



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη της Αντοχής της Μεταλλικής Κατασκευής
Πολεμικού Πλοίου Τύπου Κορβέτας Σύμφωνα με τους
Κανονισμούς του Γερμανικού Νηογνώμονα
(Germanischer Lloyd – GL) και Βασικές Αρχές
(MAESTRO)**

**Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Α. Δ. Παπανικολάου
Καθηγητής ΕΜΠ**

ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΜΑΡΓΑΡΙΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αντοχή της μεταλλικής κατασκευής ενός πολεμικού πλοίου. Πιο συγκεκριμένα, το υπό μελέτη πλοίο είναι μία κορβέτα με ολικό μήκος $L_{O.A.} = 107,5 \text{ m}$, μήκος μεταξύ καθέτων $L_{B.P.} = 100 \text{ m}$, μέγιστο πλάτος σχεδίασης $B = 14,2 \text{ m}$ και βύθισμα σχεδίασης $T = 4,1 \text{ m}$. Ο υπολογισμός των κατασκευαστικών στοιχείων του πλοίου πραγματοποιείται σύμφωνα με τους κανονισμούς του *Γερμανικού Νηογνώμονα (Germanischer Lloyd – GL)*. Επιπλέον, για τον έλεγχο των υπολογισμών που έγιναν, χρησιμοποιείται το εμπορικό λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων *MAESTRO*.

Αρχικά, πραγματοποιείται εισαγωγή και συνοπτική παρουσίαση του αντικειμένου της αντοχής της μεταλλικής κατασκευής των πλοίων, με ιδιαίτερη μνεία στις ιδιαιτερότητες των θεμάτων αντοχής των πολεμικών πλοίων καθώς και της φύσης των πολεμικών πλοίων και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν αυτά έναντι των εμπορικών πλοίων.

Επιπλέον, αναλύεται η σχετική βιβλιογραφία και το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο θα στηριχθεί η μελέτη της μεταλλικής κατασκευής του υπό μελέτη πολεμικού πλοίου. Εν συνέχεια, αναλύεται η μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της αντοχής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στους κανονισμούς του *Γερμανικού Νηογνώμονα (Germanischer Lloyd – GL)*. Επίσης παρουσιάζεται μία συνοπτική ανάλυση των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο εμπορικό λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων *MAESTRO* ώστε να μελετηθεί η επάρκεια των υπολογισμένων κατασκευαστικών στοιχείων της μεταλλικής κατασκευής σε διάφορες φορτίσεις, όπως αυτές καθορίζονται από το *Γαλλικό Νηογνώμονα (Bureau Veritas – BV)*.

Στο τελευταίο μέρος της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ανάλυση του σκάφους με το εμπορικό λογισμικό *MAESTRO* και εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για τη μεταλλική κατασκευή του σκάφους. Επιπρόσθετα, προτείνονται αντικείμενα για μελλοντικές μελέτες ώστε να υπάρξει μία ολοκληρωμένη μελέτη αντοχής για το εν λόγω πολεμικό πλοίο. Ενώ, στα παραρτήματα παρατίθενται κάποια από τα κατασκευαστικά σχέδια του πλοίου (profile & decks, typical frame, typical web frame, typical watertight bulkhead και typical bulkhead).

Ολοκληρώνοντας τον πρόλογο θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.) *δρ. Απόστολο Παπανικολάου* για την ευκαιρία που μου έδωσε να μελετήσω την αντοχή ενός τέτοιου πλοίου, με τις ιδιαιτερότητες τις οποίες παρουσιάζει λόγω της φύσης του, καθώς επίσης και για την καθοδήγησή του και τις επισημάνσεις του σε όλη την πορεία της συνεργασίας μας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω το *δρ. Ευάγγελο Μπουλουγούρη*, λέκτορα του Τμήματος Ναυπηγικής και Ναυτικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου του Strathclyde (Department of Naval Architecture, Ocean & Marine Engineering of University of Strathclyde), για τις πολύτιμες συμβουλές του και την καθοδήγησή του σε όλη την πορεία της μελέτης και της συγγραφής της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω για τη βοήθειά τους κυρίους *Μηζύθρα Παναγιώτη* και *Πειρουνάκη Δημήτριο* καθώς επίσης και τον κύριο *Χρυσάιδο Χρήστο*, αξιωματικό του Πολεμικού Ναυτικού. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία *Κιαπέ Κωνσταντίνα* και τους κυρίους *Πετρουλάκη Ιωάννη* και *Αναστασόπουλο Κωνσταντίνο* για την πολύτιμη βοήθειά τους.



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
DEPT. OF NAVAL ARCHITECTURE & MARINE ENGINEERING
SHIP DESIGN LABORATORY**

MASTER DEGREE THESIS

**Study of the Strength of the Hull of a Corvette
Type Naval Ship (“HYDRA” Class) According to
the Rules and Regulations of Germanischer
Lloyd (GL) for Naval Ships and Basic Principles
(MAESTRO).**

Supervisor

Dr. A. D. Papanikolaou
Professor NTUA

KYRIAKOS MARGARITIS

ATHENS, GREECE

JUNE 2015

ABSTRACT

The present master degree thesis deals with the strength of the hull of a naval ship. More specifically, the ship of the study is a corvette type naval ship. Her overall length is $L_{O.A.} = 107.5 \text{ m}$, length between perpendiculars $L_{B.P.} = 100 \text{ m}$, maximum moulded breadth at moulded waterline $B = 14.2 \text{ m}$ and design draught $T = 4.1 \text{ m}$. The calculations for the scantlings of the vessel were carried out according to the Rules and Regulations of Germanischer Lloyd (GL) for Naval Ships. In order to prove that the calculated scantlings provide sufficient strength to the hull girder a finite element analysis was carried out. The analysis was carried out with the commercial software "MAESTRO".

Firstly, it is performed an introduction and overview to the subject of the strength of the hull girder. A reference to the special characteristics that strength study of naval ships has is made. Another fact that is analyzed in the present thesis is the nature of the naval ship and the difference between naval and commercial ships.

Furthermore, an analysis of the relevant literature and the theoretical background which will support the study of the strength of the naval ship is carried out. More specifically, a reference to the Rules and Regulations of Germanischer Lloyd (GL) for Naval Ships is made. It is also presented a brief analysis of the parameters used in MAESTRO software in order to analyze the adequacy of the calculated scantlings. The ship analysis was carried out for various sea states according to the Rules and for Classification of Naval Ship of Bureau Veritas (BV).

At the last part of this thesis, the results of the analysis of the vessel with MAESTRO are presented. From this analysis are extracted some useful conclusions about the strength of the whole vessel. Additionally, subjects for further study are proposed in order to get a complete study of the strength of the ship. Finally, on the annexes strength calculations and some of the construction plans (profile & decks, typical frame, typical web frame, typical watertight bulkhead and typical bulkhead) are presented.

Πίνακας περιεχομένων

1	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	1
1.1	Ιστορία του κατασκευαστικού σχεδιασμού – Εμπορικά και πολεμικά πλοία.	1
1.2	Σύγχρονες τάσεις στο σχεδιασμό των πολεμικών πλοίων.	6
1.3	Φιλοσοφία σχεδίασης των πολεμικών πλοίων.	8
1.3.1	Παραδοσιακές προσεγγίσεις από τα ναυτικά διαφόρων χωρών.....	8
1.3.1.1	<i>Βασιλικό Πολεμικό Ναυτικό του Ηνωμένου Βασιλείου (United Kingdom Royal Navy – RN).</i>	8
1.3.1.2	<i>Καναδικό Πολεμικό Ναυτικό (Canadian Navy – CN).</i>	9
1.3.1.3	<i>Γερμανικό Πολεμικό Ναυτικό (German Navy – GN).</i>	10
1.3.1.4	<i>Κορεάτικο Πολεμικό Ναυτικό (Korean Navy – KN).....</i>	10
1.3.1.5	<i>Ιταλικό Πολεμικό Ναυτικό (Italian Navy – IN).</i>	10
1.3.1.6	<i>Βασιλικό Πολεμικό Ναυτικό των Κάτω Χωρών (Royal Netherlands Navy – RNN).</i>	11
1.3.1.7	<i>Αμερικανικό Πολεμικό Ναυτικό (US Navy – USN).....</i>	11
1.3.2	Προσεγγίσεις νηογνώμωνων στη σχεδίαση πολεμικών πλοίων.	12
1.3.2.1	<i>Αμερικανικός Νηογνώμονας (American Bureau of Shipping – ABS).....</i>	13
1.3.2.2	<i>Νορβηγικός Νηογνώμονας (Det Norske Veritas – DNV).</i>	13
1.3.2.3	<i>Γερμανικός Νηογνώμονας (Germanischer Lloyd – GL).....</i>	14
1.3.2.4	<i>Αγγλικός Νηογνώμονας (Lloyd’s Register – LR).....</i>	14
1.3.2.5	<i>Ιταλικός Νηογνώμονας (Registro Italiano Navale – RINA).....</i>	15
1.4	Σχεδιασμός της κατασκευής σύμφωνα με τα φορτία περιβάλλοντος και λειτουργίας.....	16
1.4.1	Σχεδιασμός για περιβαλλοντικά φορτία.....	17
1.4.1.1	<i>Φορτία από κυματισμούς.....</i>	17
1.4.1.2	<i>Κρούσεις που προκαλούνται από φορτία λόγω «μαστιγώματος» (Slam induced whipping loads).</i>	18
1.4.1.3	<i>Τοπική σφυρόκρουση.</i>	19
1.4.1.4	<i>Επιπτώσεις των περιβαλλοντικών φορτίσεων στα έξαλα (topside) των πολεμικών πλοίων.....</i>	20
1.4.1.5	<i>Θερμικά φορτία.</i>	20
1.4.1.6	<i>Φορτία λόγω πάγου.....</i>	20
1.4.1.7	<i>Μέγιστη αντοχή (ultimate strength).</i>	21
1.4.1.8	<i>Κόπωση (Fatigue).....</i>	21
1.4.2	Σχεδίαση σύμφωνα με τα φορτία λειτουργίας.	22
1.4.2.1	<i>Κραδασμοί.....</i>	22

1.4.2.2	Φορτία προερχόμενα από απονήωση, προσνήωση και στάθμευση αεροσκαφών.	22
1.4.2.3	Φορτία από ίδια οπλικά συστήματα.....	22
1.4.2.4	Φορτία λόγω ανεφοδιασμού.....	23
1.5	Σχεδιασμός της κατασκευής σύμφωνα με τα φορτία από στρατιωτικές επιχειρήσεις.	24
1.5.1	Επιπτώσεις επίθεσης από οπλικά συστήματα επιφανείας.	25
1.5.1.1	Περιπτώσεις εξωτερικών ριπών (<i>external blasts</i>).	25
1.5.1.2	Εσωτερικές εκρήξεις.....	26
1.5.2	Επιδράσεις υποθαλάσσιων όπλων.....	28
1.5.2.1	Παράμετροι του ωστικού κύματος.....	28
1.5.2.2	Φαινόμενα σπηλαίωσης.....	30
1.5.2.3	Φαινόμενα «μαστιγώματος».....	31
1.5.3	Θραύσματα και διείσδυση.....	34
1.5.4	Τεχνικές προστασίας.....	35
1.5.5	Παραμένουσα αντοχή.....	35
1.5.5.1	Κριτήρια σχεδίασης.....	36
1.6	Ομοιότητες και διαφορές στον κατασκευαστικό σχεδιασμό των πολεμικών και εμπορικών πλοίων.....	38
1.6.1	Ιστορικό στον κατασκευαστικό σχεδιασμό των πολεμικών πλοίων.....	38
1.6.2	Ομοιότητες και διαφορές.....	41
1.6.3	Ομοιότητες.	41
1.6.4	Διαφορές.....	43
1.6.5	Συμπεράσματα.	43
1.7	Υλικά για την κατασκευή των πολεμικών πλοίων.	45
1.7.1	Χάλυβες.	45
1.7.2	Κράματα αλουμινίου.	46
1.7.3	Σύνθετα υλικά.	46
2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ	49
2.1	Το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο.....	49
2.2	Έλεγχος κατασκευαστικής σχεδίασης με βάση κανονισμούς νηογνώμωνων.	51
2.3	Έλεγχος κατασκευαστικής σχεδίασης με βασικές αρχές – Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων.	56
2.3.1	Μοντελοποίηση με το εμπορικό λογισμικό MAESTRO.	56
2.3.1.1	Ήρεμο νερό – Μέγιστο Εκτόπισμα (<i>Still Water – Full Load</i>).	64
2.3.1.2	Πλοίο στην κορυφή του κύματος (<i>Hogging – Full Load</i>).	74
2.3.1.3	Πλοίο στην κοιλιάδα του κύματος (<i>Sagging – Full Load Condition</i>).	83

2.3.2	Έλεγχος τοπικής αντοχής της βάσης του πρωραίου πυροβόλου με το εμπορικό λογισμικό SOLIDWORKS.....	92
3	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ ΝΗΟΓΝΩΜΟΝΩΝ & ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ.....	95
3.1	Συμπεράσματα – Προτάσεις για το μέλλον.....	95
4	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	99
5	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	105
5.1	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – Υπολογισμός κατασκευαστικών στοιχείων βάσει των κανονισμών του Γερμανικού Νηογνώμονα (GL).....	107
5.2	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – Υπολογισμός δείκτη εξαρτισμού (Equipment Numeral) βάσει των κανονισμών του Γερμανικού Νηογνώμονα (GL)	183
5.3	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ – Εκτίμηση βάρους μεταλλικής κατασκευής βάσει των υπολογισθέντων στοιχείων	187
5.4	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ – Υπολογισμός ροπής αντίστασης (section modulus) και ροπής αδράνειας (moment of inertia) μέσης τομής.....	201
5.5	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε – Αποτελέσματα από το εμπορικό λογισμικό MAESTRO.....	223
5.5.1	Vertical wave shear force (0°).....	226
5.5.2	Vertical wave shear force (180°)	228
5.5.3	Vertical wave shear force (0°).....	230
5.5.4	Vertical wave shear force (180°)	232
5.5.5	Horizontal wave bending moment (0°)	234
5.5.6	Horizontal wave bending moment (180°).....	236
5.5.7	Vertical acceleration in inclined ship condition (270°)	238
5.5.8	Vertical acceleration in inclined ship condition (285°)	240
5.5.9	Vertical acceleration in upright ship condition (0°)	242
5.5.10	Transverse acceleration (270°)	244
5.5.11	Vertical relative motion at sides in upright ship condition (0°).....	246
5.5.12	Vertical relative motion at sides in upright ship condition (180°)	248
5.5.13	Vertical relative motion at sides in inclined ship condition (270°)	250
5.5.14	Aegean Sea (0°).....	252
5.5.15	Aegean Sea (45°).....	254
5.5.16	Aegean Sea (90°).....	256
5.5.17	Aegean Sea (135°)	258
5.5.18	Aegean Sea (180°)	260
5.5.19	Aegean Sea (225°)	262
5.5.20	Aegean Sea (270°)	264
5.5.21	Aegean Sea (315°)	266

5.6	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ – Ανάλυση πρωραίου πυροβόλου στο εμπορικό λογισμικό SOLIDWORKS	271
5.7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ – Κατασκευαστικά σχέδια (profile and decks, typical frame, typical web frame, typical watertight bulkhead, typical bulkhead)	279

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1. USS Cole [31].	27
Εικόνα 2. Συμπεριφορά της φουσαλίδας και φόρτιση από τους παλμούς της φουσαλίδας [33].	29
Εικόνα 3. Τυπικό διάγραμμα της σχέσης ροπής – καμπυλότητας. Στο πρώτο τεταρτημόριο του διαγράμματος η καμπύλη που σχηματίζει η δοκός – πλοίο στρέφει τα κοίλα άνω (hog), ενώ στο τρίτο τεταρτημόριο συμβαίνει το αντίθετο, στρέφει τα κοίλα κάτω (sag) [33].	33
Εικόνα 4. Στοιχεία επιβιωσιμότητας για ένα τυπικό πλοίο επιφανείας (φρεγάτα) και ένα υποβρύχιο [37].	43
Εικόνα 5. Κορβέτα κλάσης Skjold [39].	47
Εικόνα 6. Κορβέτα κλάσης Visby [40].	48
Εικόνα 7. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κορβέτας κλάσης «Υδρα» [43].	50
Εικόνα 8. Προοπτική απεικόνιση του πλοίου (starboard side) στο MAESTRO.	57
Εικόνα 9. Διαμήκης τομή του πλοίου (port side) στο MAESTRO.	57
Εικόνα 10. Εγκάρσια τομή του πλοίου (fr. No. 32) στο MAESTRO.	58
Εικόνα 11. Διαφορές συστημάτων αναφοράς μεταξύ Bureau Veritas και MAESTRO.	58
Εικόνα 12. Πάχη ελασμάτων στο MAESTRO.	59
Εικόνα 13. Πάχη ελασμάτων στο MAESTRO.	60
Εικόνα 14. Πάχη ελασμάτων στο MAESTRO.	60
Εικόνα 15. Κατανομή θάρους μεταλλικής κατασκευής στο MAESTRO.	64
Εικόνα 16. Κατανομή εκτοπίσματος στο MAESTRO.	65
Εικόνα 17. Δύναμη άντωσης στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	65
Εικόνα 18. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	66
Εικόνα 19. Παραμόρφωση του σκάφους στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	66
Εικόνα 20. Παραμόρφωση του σκάφους στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	67
Εικόνα 21. Παραμόρφωση του σκάφους στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	67
Εικόνα 22. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	68
Εικόνα 23. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	68
Εικόνα 24. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	69
Εικόνα 25. Τάσεις κατά τον άξονα X στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	69
Εικόνα 26. Τάσεις κατά τον άξονα X στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	70
Εικόνα 27. Τάσεις κατά τον άξονα X στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	70
Εικόνα 28. Τάσεις κατά τον άξονα Y στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	71
Εικόνα 29. Τάσεις κατά τον άξονα Y στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	71
Εικόνα 30. Τάσεις κατά τον άξονα Y στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	72
Εικόνα 31. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	72
Εικόνα 32. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	73
Εικόνα 33. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στο ήρεμο νερό (MAESTRO).	73
Εικόνα 34. Δύναμη άντωσης στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	74
Εικόνα 35. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	75
Εικόνα 36. Παραμόρφωση του σκάφους στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	75
Εικόνα 37. Παραμόρφωση του σκάφους στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	76
Εικόνα 38. Παραμόρφωση του σκάφους στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	76
Εικόνα 39. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	77
Εικόνα 40. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	77

Εικόνα 41. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κορυφή του κύματος (MAESTRO)..	78
Εικόνα 42. Τάσεις κατά τον άξονα X στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	78
Εικόνα 43. Τάσεις κατά τον άξονα X στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	79
Εικόνα 44. Τάσεις κατά τον άξονα X στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	79
Εικόνα 45. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	80
Εικόνα 46. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	80
Εικόνα 47. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	81
Εικόνα 48. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	81
Εικόνα 49. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	82
Εικόνα 50. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).	82
Εικόνα 51. Δύναμη άντωσης στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	83
Εικόνα 52. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	84
Εικόνα 53. Παραμόρφωση του σκάφους στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	84
Εικόνα 54. Παραμόρφωση του σκάφους στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	85
Εικόνα 55. Παραμόρφωση του σκάφους στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	85
Εικόνα 56. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	86
Εικόνα 57. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	86
Εικόνα 58. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	87
Εικόνα 59. Τάσεις κατά τον άξονα X στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	87
Εικόνα 60. Τάσεις κατά τον άξονα X στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	88
Εικόνα 61. Τάσεις κατά τον άξονα X στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	88
Εικόνα 62. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	89
Εικόνα 63. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	89
Εικόνα 64. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	90
Εικόνα 65. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	90
Εικόνα 66. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	91
Εικόνα 67. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).	91
Εικόνα 68. Τάσεις στην έδραση του πυροβόλου και στο κατάστρωμα σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (SOLIDWORKS).	92
Εικόνα 69. Παραμορφώσεις στην έδραση του πυροβόλου και στο κατάστρωμα (SOLIDWORKS).	93
Εικόνα 70. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).	226
Εικόνα 71. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).	226
Εικόνα 72. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).	227
Εικόνα 73. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).	227
Εικόνα 74. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).	228
Εικόνα 75. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).	228
Εικόνα 76. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).	229
Εικόνα 77. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).	229
Εικόνα 78. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).	230
Εικόνα 79. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).	230
Εικόνα 80. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).	231
Εικόνα 81. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).	231
Εικόνα 82. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).	232

Εικόνα 83. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	232
Εικόνα 84. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	233
Εικόνα 85. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	233
Εικόνα 86. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	234
Εικόνα 87. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	234
Εικόνα 88. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	235
Εικόνα 89. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	235
Εικόνα 90. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	236
Εικόνα 91. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	236
Εικόνα 92. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	237
Εικόνα 93. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	237
Εικόνα 94. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	238
Εικόνα 95. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	238
Εικόνα 96. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	239
Εικόνα 97. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	239
Εικόνα 98. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	240
Εικόνα 99. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	240
Εικόνα 100. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	241
Εικόνα 101. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	241
Εικόνα 102. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	242
Εικόνα 103. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	242
Εικόνα 104. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	243
Εικόνα 105. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	243
Εικόνα 106. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	244
Εικόνα 107. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	244
Εικόνα 108. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	245
Εικόνα 109. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	245
Εικόνα 110. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	246
Εικόνα 111. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	246
Εικόνα 112. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	247
Εικόνα 113. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	247
Εικόνα 114. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	248
Εικόνα 115. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	248
Εικόνα 116. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	249
Εικόνα 117. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	249
Εικόνα 118. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	250
Εικόνα 119. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	250
Εικόνα 120. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	251
Εικόνα 121. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	251
Εικόνα 122. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	252
Εικόνα 123. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	252
Εικόνα 124. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	253
Εικόνα 125. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	253
Εικόνα 126. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	254
Εικόνα 127. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	254
Εικόνα 128. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	255
Εικόνα 129. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	255
Εικόνα 130. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	256

Εικόνα 131. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	256
Εικόνα 132. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	257
Εικόνα 133. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	257
Εικόνα 134. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	258
Εικόνα 135. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	258
Εικόνα 136. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	259
Εικόνα 137. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	259
Εικόνα 138. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	260
Εικόνα 139. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	260
Εικόνα 140. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	261
Εικόνα 141. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	261
Εικόνα 142. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	262
Εικόνα 143. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	262
Εικόνα 144. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	263
Εικόνα 145. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	263
Εικόνα 146. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	264
Εικόνα 147. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	264
Εικόνα 148. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	265
Εικόνα 149. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	265
Εικόνα 150. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).....	266
Εικόνα 151. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).....	266
Εικόνα 152. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).....	267
Εικόνα 153. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).....	267

Ευρετήριο Πινάκων

<i>Πίνακας 1. Ομοιότητες και διαφορές για συγκεκριμένους τύπους πλοίων [37].</i>	39
<i>Πίνακας 2. Ομοιότητες της μεταλλικής κατασκευής εμπορικών και πολεμικών πλοίων [37].</i>	40
<i>Πίνακας 3. Εγγενείς διαφορές στο σχεδιασμό των κατασκευαστικών στοιχείων πολεμικών και εμπορικών πλοίων [37].</i>	42
<i>Πίνακας 4. Κύρια χαρακτηριστικά και διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου [42].</i>	49
<i>Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά χάλυβα GL-A 40 [41].</i>	51
<i>Πίνακας 6. Πάχη ελασμάτων κυριότερων κατασκευαστικών στοιχείων.</i>	53
<i>Πίνακας 7. Μορφή και διαστάσεις ενισχυτικών.</i>	54
<i>Πίνακας 8. Στήριξη του σκάφους.</i>	59
<i>Πίνακας 9. Κατανεμημένα βάρη της κόμβους.</i>	61
<i>Πίνακας 10. Βάρη δεξαμενών στην κατάσταση “Full Load Departure”.</i>	62
<i>Πίνακας 11. Κατανεμημένα βάρη στα ελάσματα.</i>	63
<i>Πίνακας 12. Χαρακτηριστικά κύματος [44].</i>	74
<i>Πίνακας 13. Χαρακτηριστικά κύματος [44].</i>	83
<i>Πίνακας 14. Μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις.</i>	96
<i>Πίνακας 15. Καταστάσεις φόρτισης και θάλασσας [44].</i>	225
<i>Πίνακας 16. Αντιδράσεις στα σημεία στηρίξεως.</i>	268

1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Ο κατασκευαστικός σχεδιασμός είναι η παλαιότερη και πιο θεμελιώδης των τεχνικών παραμέτρων οι οποίες συνεισφέρουν στο αντικείμενο της ναυπηγικής. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες ο κατασκευαστικός σχεδιασμός των πολεμικών πλοίων άρχισε σταδιακά να παρεκκλίνει από τον παραδοσιακό τρόπο και συγκλίνει περισσότερο στο σχεδιασμό των εμπορικών πλοίων για διάφορους λόγους. Ένας από αυτούς είναι οι περικοπές των δημοσίων δαπανών που καθιστούν αναγκαία, για τις κυβερνήσεις διαφόρων χωρών, την αναζήτηση εναλλακτικών οικονομικών λύσεων σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης και της ναυπήγησης πολεμικών πλοίων. Η σύγκλιση στις πρακτικές σχεδιασμού εμπορικών και πολεμικών πλοίων επέτρεψε και την υιοθέτηση πρακτικών ναυπήγησης των πολεμικών πλοίων κατά τα πρότυπα των εμπορικών. Έτσι το πολεμικό ναυτικό αρκετών χωρών στράφηκε στην υιοθέτηση διαδικασιών ελέγχου και κανονισμών νηογνυμένων, που καταλήγουν στη δημιουργία και εφαρμογή τεχνικών κριτηρίων για το σχεδιασμό και την κατασκευή πολεμικών πλοίων.

1.1 Ιστορία του κατασκευαστικού σχεδιασμού – Εμπορικά και πολεμικά πλοία.

Ο κατασκευαστικός σχεδιασμός των πολεμικών πλοίων, κατά τη διάρκεια της ιστορίας, παρουσίασε άλλες φορές ομοιότητες και άλλες διαφορές. Τα ελληνικά και ρωμαϊκά πολεμικά πλοία (διήρεις και τριήρεις), με ρόλο κυρίως εμβολισμού, χτίζονταν με μικρό βάρος αλλά με πολύ ενισχυμένη τρόπιδα σε σύγκριση με τα βαρύτερα εμπορικά πλοία της ίδιας περιόδου. Κατά το Μεσαίωνα ο αριθμός των χωρών που διέθεταν αμιγώς πολεμικά πλοία ήταν περιορισμένος και στις περισσότερες μάχες έπαιρναν μέρος εμπορικά πλοία, τα οποία είχαν μετασκευαστεί κατάλληλα για να μεταφέρουν ελαφρύ οπλισμό και να εκτελούν χρέη πολεμικών. Στα 1500 η ανακάλυψη των πυροβόλων βαρέος τύπου και των θυρίδων οπλισμού οδήγησε στη δημιουργία στόλων με πλοία κατασκευασμένα αμιγώς για πολεμικές επιχειρήσεις. Αυτά τα πλοία διέθεταν ενισχυμένα καταστρώματα και γάστρες ώστε να μπορούν να αντέξουν το βάρος και την ανάκρουση των πυροβόλων καθώς και τις εκρήξεις από τα εχθρικά πυρά. Παρά τις κατασκευαστικές τους ιδιαιτερότητες τα πολεμικά πλοία κατασκευάζονταν στα ίδια ναυπηγεία με τα εμπορικά. Μάλιστα, οι εργάτες και οι σχεδιαστές των δύο αυτών τύπων πλοίων αντιμετώπιζαν ελάχιστες δυσκολίες στην κατασκευή και σε αρκετές περιπτώσεις, στα πολεμικά και εμπορικά πλοία ενσωματώνονταν κοινά τεχνολογικά επιτεύγματα. Για παράδειγμα, στα τέλη του 1700 μεγάλο μέρος του εμπορικού στόλου των Ευρωπαϊκών Ανατολικών Ινδιών ναυπηγήθηκε σύμφωνα με τις πρακτικές που εφαρμόζαν όπως στα πολεμικά πλοία. Στις αρχές του 1800, βελτιώθηκαν οι πρωτοποριακές τεχνικές αύξησης της αντοχής της γάστρας, όπως αυτές είχαν προταθεί από τη Εταιρία Βρετανικών Ανατολικών Ινδιών (British East Indies Company), και υιοθετήθηκαν αρχικά από τα βρετανικά πολεμικά πλοία και εν συνεχεία από το πολεμικό ναυτικό και άλλων χωρών.

Η ολοένα όμως αυξανόμενη χρήση του σιδήρου στη ναυπηγική βιομηχανία οδήγησε τα πολεμικά ναυτικά των χωρών αλλά και τους πλοιοκτήτες εμπορικών σκαφών να επανεξετάσουν τις πρακτικές σχεδίασης και ναυπήγησης των πλοίων τους. Για ακόμη μια φορά υπήρξε σημαντική ανταλλαγή νέων ιδεών και τεχνολογιών μεταξύ των δύο τύπων

πλοίων. Η σημαντικότερη εξέλιξη πραγματοποιήθηκε στη Βρετανία, κέντρο της Βιομηχανικής Επανάστασης, όπου οι πολιτικοί μηχανικοί που εργάζονταν στη γεφυροποιία και στα σιδηροδρομικά έργα προσέφεραν τις πολύτιμες γνώσεις τους, στον τομέα του κατασκευαστικού σχεδιασμού και στη ναυπηγική βιομηχανία γενικότερα. Πιο συγκεκριμένα η χρήση της κοίλης δοκού (box girder) που αναπτύχθηκε για την Britannia Bridge αποτέλεσε το πρότυπο για το σύστημα διαμήκους ενίσχυσης των πλοίων. Στην πραγματικότητα, με τα περισσότερα πολεμικά ναυτικά των χωρών να λειτουργούν υπό περιορισμένους προϋπολογισμούς, τη συγκεκριμένη περίοδο (το χρονικό διάστημα έπειτα από τους Ναπολεόντειους πολέμους), ο κύριος όγκος της έρευνας, που αφορούσε τη μεταλλουργία και το σχεδιασμό των συνδέσεων, είχε αφηθεί στον τομέα των εμπορικών πλοίων. Ο τομέας αυτός, το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, γνώρισε αλματώδη ανάπτυξη εξαιτίας της ολοένα αυξανόμενης αξιοπιστίας των ναυτικών ατμομηχανών. Την ίδια περίοδο, η εμφάνιση των νηογνωμόνων – και ειδικότερα του Lloyd's Register στην Αγγλία και Bureau Veritas στη Γαλλία – άνοιξε το δρόμο για τον εξορθολογισμό των πρακτικών ναυπήγησης μεταλλικών πλοίων, μέσω των κανονισμών που δημοσιεύθηκαν το 1855 και 1858 αντίστοιχα. Ωστόσο, οι περισσότεροι από αυτούς τους κανονισμούς παρείχαν πολύ πρόχειρους υπολογισμούς για τα ενισχυτικά και τα πάχη των ελασμάτων, οι οποίοι βασιζόνταν στην εμπειρία της εποχής. Οι κανονισμοί αυτοί, που βασιζόνταν στην εμπειρία της εποχής, εξυπηρετούσαν επαρκώς τη ναυπήγηση των εμπορικών πλοίων, αλλά ήταν άκρως ακατάλληλοι για τα πολεμικά πλοία.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1870 το Βρετανικό ναυτικό άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη πρακτικών κατασκευαστικού σχεδιασμού χρησιμοποιώντας στους υπολογισμούς του βασικές αρχές της μηχανικής. Για παράδειγμα, οι σχεδιαστές πολεμικών πλοίων ξεκίνησαν να υπολογίζουν τις καμπτικές ροπές βασιζόμενοι στη στατική ισορροπία του πλοίου στο κύμα και έχοντας ως δεδομένο μια αρκετά λεπτομερή κατανομή των βαρών κατά μήκος του πλοίου. Αντίθετα, οι περισσότεροι νηογνώμονες, της ίδιας περιόδου, εκτελούσαν τους αντίστοιχους υπολογισμούς βασιζόμενοι σε κάποιες ημιεμπειρικές εξισώσεις, οι οποίες συσχέτιζαν τις καμπτικές ροπές με το μήκος και το εκτόπισμα του πλοίου. Οι υπολογισμοί αυτοί ήταν επαρκείς για το μεγάλο αριθμό σχετικά όμοιων εμπορικών πλοίων που ναυπηγούνταν σύμφωνα με τους κανονισμούς των νηογνωμόνων. Τα πολεμικά ναυτικά, ωστόσο, σχεδίαζαν και κατασκεύαζαν σχετικά λίγα πλοία και οι απαιτήσεις για κάθε ένα ήταν αυξημένες με αποτέλεσμα να εξελίσσονται πολύ πιο γρήγορα από ότι στηρίζονται τα εμπορικά. Έτσι, οι κατασκευαστές πολεμικών πλοίων είχαν την τάση να καταφεύγουν στις βασικές αρχές της μηχανικής και σε παρατηρήσεις που είχαν προκύψει από τη λειτουργία των προηγούμενων σχεδιάσεων, για να καταλήξουν στο τελικό πλοίο. Επιπλέον, η ικανότητα των ναυπηγών να διαστασιολογούν τα ενισχυτικά και τα ελάσματα ήταν άμεσα συνυφασμένη με τη ραγδαία ανάπτυξη της ναυπηγικής εκπαίδευσης, η οποία προοριζόταν αποκλειστικά για την εξυπηρέτηση των αναγκών του πολεμικού ναυτικού. Στις αρχές του 1900 τα πολεμικά ναυτικά αρκετών χωρών στον κόσμο είχαν ιδρύσει σχολές ναυπηγικής, οι απόφοιτοι των οποίων προοριζόνταν για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες του ναυτικού. Τα περισσότερα μελετητικά γραφεία, που ασχολούνταν με το σχεδιασμό πολεμικών πλοίων, είχαν και τη δυνατότητα αλλά και τη διαχειριστική υποστήριξη για τη διεξαγωγή πολύπλοκων υπολογισμών. Σε αντίθεση με ό,τι συνέβαινε στη ναυπηγική βιομηχανία πολεμικών πλοίων, ο αριθμός των αποφοίτων ναυπηγών στα ναυπηγικά γραφεία που ασχολούνταν με τα εμπορικά πλοία ήταν περιορισμένος (σε σχέση με τους εμπειρικούς σχεδιαστές).

Η κατάσταση αυτή άλλαξε σταδιακά κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, για δύο λόγους. Καταρχάς, αυξήθηκε σημαντικά ο αριθμός των αποφοίτων μηχανικών, καθώς αναγνωρίστηκε από τις επιχειρήσεις και τις κυβερνήσεις η

ανάγκη για μηχανικούς με γνώσεις και ικανότητες πανεπιστημιακού επιπέδου προσαρμοσμένοι σύμφωνα με τις απαιτήσεις της νέας οικονομικής πραγματικότητας. Κατά δεύτερον, αυξήθηκαν κατακόρυφα οι επενδύσεις για έρευνα και τεχνολογία, με το μεγαλύτερο ποσοστό να απευθύνεται σε πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα ώστε να λύσουν πρακτικά προβλήματα, αλλά και να αναπτύξουν την τελευταία λέξη της τεχνολογίας. Ένα πρώιμο παράδειγμα, αυτής της τάσης, ήταν η ανάπτυξη της Επιτροπής Κατασκευαστικών Στοιχείων του Πλοίου (Ship Structure Committee – SSC) ως εξέλιξη της Επιτροπής Έρευνας του Αμερικανικού Πολεμικού Ναυτικού (US Navy Board of Investigation), για να διερευνήσει τα αίτια ψαθυρής θραύσης των συγκολλήσεων των εμπορικών πλοίων κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου. Παρόμοιες έρευνες έγιναν και στο Ηνωμένο Βασίλειο από την Επιτροπή Συγκολλήσεων Πλοίου του Ναυαρχείου (Admiralty Ship Welding Committee), μια υπηρεσία που αργότερα ονομάστηκε Συμβουλευτική Επιτροπή Κατασκευαστικού Χάλυβα (Advisory Committee of Structural Steel). Παρουσιάζει ενδιαφέρον να αναφέρουμε ότι αμφότερες οι κυβερνητικές επιτροπές συμπεριέλαβαν και τους αντίστοιχους νηογνώμονες των χωρών τους στις συνεδριάσεις τους – υπολογίζοντας ότι η μεταφορά πρακτικών μεταξύ πολεμικών και εμπορικών σχεδιάσεων θα αποφέρει θετικά αποτελέσματα σε όλους. Στην έρευνα, που χρηματοδοτήθηκε από αυτούς τους οργανισμούς, συμπεριλήφθηκαν αρκετές δοκιμές πραγματικής κλίμακας. Η έρευνα αυτή προώθησε σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη των κανονισμών κατασκευής και τις προδιαγραφές των πλοίων, λαμβάνοντας υπόψιν τις βασικές αρχές της μηχανικής. Παράλληλα, η νέα γενιά των μηχανικών που αποφοιτούσαν από τα πανεπιστημιακά ιδρύματα κατείχαν τις απαιτούμενες γνώσεις ώστε να εφαρμόσουν τις νέες τεχνολογίες. Με τον καιρό, προτάθηκε από τους νηογνώμονες η αναγκαιότητα για ανάπτυξη βελτιωμένων μεθόδων υπολογισμού, κάνοντας χρήση της τελευταίων εξελίξεων της τεχνολογίας, όπως η πιθανολογική ανάλυση (probabilistic analysis), η χρήση εργαλείων ηλεκτρονικών υπολογιστών για τη σχεδίαση, όπως για παράδειγμα κώδικες πεπερασμένων στοιχείων. Η ικανότητα να εκτελούνται αναλύσεις των κατασκευαστικών στοιχείων με υψηλό βαθμό εμπιστοσύνης βοήθησε στην ταχεία ανάπτυξη εξειδικευμένων πλοίων όπως για παράδειγμα τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG carriers), πλωτές μονάδες παραγωγής αποθήκευσης και διάθεσης υδρογονανθράκων (Floating Production, Storage and Offloading – FPSOs) και τα πολύ μεγάλων διαστάσεων πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

Αν και η διαδικασία ανάλυσης και υπολογιστικού σχεδιασμού όπως επίσης και τα εργαλεία υποστήριξης, που εφαρμόζονταν στα εμπορικά και στα πολεμικά πλοία, συνέκλιναν, υπήρχαν ακόμη στοιχεία διαφοροποίησης που έκαναν τον ένα τύπο πλοίου μοναδικό από τον άλλο. Τα ναυτικά των χωρών συνέχισαν να αναπτύσσουν και να βελτιστοποιούν τα σχεδιαστικά τους πρότυπα βασισμένοι σε παρατηρήσεις που είχαν συγκεντρώσει από καταστροφές κατά τη διάρκεια των μαχών και από εκτεταμένη έρευνα της απόκρισης των κατασκευών. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1940 έως και τη δεκαετία του 1960 αρκετά πολεμικά ναυτικά χωρών διεξήγαγαν πολυάριθμες δοκιμές φυσικής κλίμακας σε πολεμικά πλοία που είχαν παροπλιστεί ή είχαν αιχμαλωτιστεί για να ερευνήσουν τα πάντα, από την καμπτική ροπή που αναπτύσσεται στη γάστρα του πλοίου μέχρι και την απόκριση της κατασκευής του πλοίου υπό ακραία φόρτιση (shock loading). Από τη δεκαετία του 1980 μέχρι τη δεκαετία του 1990, οι δοκιμές φυσικής κλίμακας αντικαταστάθηκαν σε μεγάλο βαθμό από τα πειράματα με μοντέλα υπό κλίμακα και από τα συνεχώς εξελισσόμενα λογισμικά ανάλυσης σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις βασίζονταν στις ίδιες αρχές με τους κώδικες των εμπορικών λογισμικών. Τα αποτελέσματα από αυτά τα πειράματα και τις δοκιμές οδήγησαν στην ανάπτυξη ειδικών χαλύβων για χρήση

σε πολεμικά πλοία και σε ολοκληρωμένα πρότυπα και προδιαγραφές διαφόρων κατασκευαστικών λεπτομερειών για αύξηση της αντοχής μετά από βλάβη. Για παράδειγμα, τα περισσότερα πολεμικά ναυτικά υιοθέτησαν τη χρήση συμμετρικών ενισχυτικών διατομής «Τ» και συνεχείς ραφές συγκόλλησης των μελών, ώστε να επιβραδυνθεί η κατάρρευση της κατασκευής έπειτα από μία ακραία φόρτιση.

Οι διαφορές, οι οποίες σχετίζονταν με τις λειτουργίες και τη συντήρηση, συνέβαλλαν στην απόκλιση των μεθόδων και προτύπων σχεδιασμού μεταξύ των εμπορικών και των πολεμικών πλοίων. Τα εμπορικά πλοία είχαν μεγαλύτερη ποικιλία, όσον αφορά τις καταστάσεις φόρτισης, κατάσταση πλήρους φορτίου (fully laden) ή κατάσταση ερματισμού (ballast condition). Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ύπαρξη μεγαλύτερους κύκλους κόπωσης από εκείνους που απαντώνται σε ένα πολεμικό πλοίο, το οποίο είχε άμεση συνέπεια την ύπαρξη βαρύτερων ενισχυτικών σε εμπορικά πλοία με συγκρίσιμο μέγεθος. Επιπλέον, τα πληρώματα των πολεμικών πλοίων επιθεωρούσαν και έβαφαν συχνά τη μεταλλική κατασκευή του σκάφους, ενώ στα εμπορικά πλοία αυτές οι εργασίες εκτελούνταν μόνο περιοδικά, όπως για παράδειγμα κατά τη διάρκεια του δεξαμενισμού. Έτσι, στους περισσότερους κανονισμούς των νηογνώμωνων, για την εκτέλεση των υπολογισμών, λαμβάνεται υπόψη μία επιτρεπόμενη μείωση λόγω διάβρωσης στα πάχη των κατασκευαστικών στοιχείων. Αυτή η μείωση του πάχους δεν υπήρχε στα κριτήρια σχεδίασης των πολεμικών πλοίων.

Ίσως ο πιο σημαντικός λόγος για αυτή τη συνεχή απόκλιση μεταξύ των μεθόδων σχεδιασμού πολεμικών και εμπορικών πλοίων είναι η σχετική χαλαρότητα που προσδίδουν οι κανονισμοί των νηογνώμωνων (για τα εμπορικά πλοία), σε σύγκριση με την αυστηρότητα που υπάρχει στα γραφεία μελετών των πολεμικών πλοίων. Με απλά λόγια, οι νηογνώμονες έπρεπε (και ακόμη πρέπει) να αναπτύξουν τους κανονισμούς τους έχοντας υπόψη ότι πρέπει να ικανοποιήσουν τα διάφορα εμπλεκόμενα μέλη, στα οποία λογοδοτούν, όπως για παράδειγμα τους πλοιοκτήτες, τους διαχειριστές, τα ναυπηγεία και τις κυβερνητικές Αρχές. Η προσπάθεια αυτή, να ικανοποιηθούν όλες οι αντικρουόμενες οι πλευρές, δε σημαίνει ότι υιοθετείται μία λογική του «ελάχιστου που θα γίνει αποδεκτό», αλλά γίνεται προσπάθεια να κρατηθεί ισορροπία μεταξύ πολλών πτυχών, όπως είναι η σχετική σημασία του κόστους, του κινδύνου, της αποδοτικότητας και της ασφάλειας. Αντίθετα, τα γραφεία μελετών πολεμικών πλοίων, αν και λογοδοτούν και αυτά σε αρκετούς συμβαλλόμενους, έχουν την ελευθερία να κάνουν αλλαγές στις μεθόδους και στα πρότυπα σχεδιασμού της κατασκευής, καθώς αυτά εγκρίνονται από μια μικρή μερίδα στελεχών με μεγάλη εμπειρία.

Αυτό έχει αλλάξει στις μέρες μας. Στην εποχή μετά τον ψυχρό πόλεμο, που ξεκίνησε τη δεκαετία του 1990 και εξελίσσεται μέχρι τις ημέρες μας, πολλά πολεμικά ναυτικά έχουν υποστεί περικοπές στο τεχνικό προσωπικό τους, καθώς οι κυβερνήσεις άλλαξαν τον τρόπο με τον οποίο αποκτούν τα πολεμικά πλοία. Στο παρελθόν, συνήθως τα πολεμικά ναυτικά σχεδίαζαν τα πλοία που επρόκειτο να ναυπηγήσουν σύμφωνα με τις δικές τους προδιαγραφές. Σήμερα, τη διαδικασία σχεδιασμού και ναυπήγησης πολεμικών πλοίων την αναλαμβάνουν εμπορικοί οργανισμοί με τα ναυτικά των χωρών να παρέχουν μόνο κριτήρια επιδόσεων που πρέπει να πληρούνται και τεχνική καθοδήγηση ανάλογα με τις ανάγκες. Με λίγα λόγια, αρκετά πολεμικά ναυτικά δεν είναι πλέον σε θέση να αναπτύξουν και να διατηρούν τα δικά τους πρότυπα και προδιαγραφές. Αρχίζοντας από το Βρετανικό Πολεμικό Ναυτικό, και επεκτεινόμενοι και στα ναυτικά άλλων χωρών, η ευθύνη για τα εν λόγω πρότυπα έχει μετατεθεί στους νηογνώμονες, υπό την αυστηρή εποπτεία όμως του πολεμικού ναυτικού. Παρά το γεγονός ότι η διαδικασία αυτή βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη, η πρόωπη

εμπειρία έχει δείξει ότι πολλές διαδικασίες που εφαρμόζονται στη σχεδίαση εμπορικών πλοίων, μπορούν να εφαρμοστούν και στα πολεμικά πλοία, έχοντας υπόψιν τις κατασκευαστικές ιδιαιτερότητες των πολεμικών πλοίων. Πολλά από αυτά στην πραγματικότητα είναι συγκρίσιμα με τα παραδοσιακά πολεμικά πρότυπα και σε μερικές περιπτώσεις, όπως τα ταχύπλοα πλοία, αυτά τα πρότυπα εφαρμόζονται και για ορισμένα ταχύπλοα επιβατηγά οχηματαγωγά εμπορικά πλοία, ώστε να καλύψουν τις αυστηρές απαιτήσεις. Είναι πιθανό ότι οι κανονισμοί εμπορικών και πολεμικών πλοίων θα συνεχίσουν να εξελίσσονται παράλληλα και μπορεί να σε κάποια σημεία να αλληλοκαλύπτονται, όπως είναι για παράδειγμα μια τελευταία απαίτηση των πλοιοκτητών εμπορικών πλοίων για επιβιωσιμότητα έπειτα από τρομοκρατικές ενέργειες. Το γεγονός ότι οι νηογνώμονες χρησιμοποιούν συνήθως τις ίδιες θεμελιώδεις αρχές της μηχανικής, όπως άλλωστε κάνουν και τα πολεμικά ναυτικά των διαφόρων χωρών, σημαίνει ότι ο κατασκευαστικός σχεδιασμός των εμπορικών και των πολεμικών πλοίων μπορεί να αναπτυχθεί παράλληλα, χρησιμοποιώντας συγκρίσιμα μέσα ανάλυσης, ώστε η διαφορά των δύο μεθόδων να διαφέρει ανάλογα με τη χρήση και όχι λόγω παρανόησης της μεθοδολογίας.

1.2 Σύγχρονες τάσεις στο σχεδιασμό των πολεμικών πλοίων.

Μερικές από τις σύγχρονες τάσεις που θα επηρεάσουν τον τρόπο που σχεδιάζονται και κατασκευάζονται τα πολεμικά πλοία:

- Επεκτασιμότητα (modularity), ευελιξία και πολλαπλές αποστολές. Η ταχεία ανάπτυξη των λογισμικών ελεύθερων προτύπων, τα συστήματα «plug and play» και η πρόοδος που έχει επιτευχθεί όσον αφορά στα αυτόματα τηλεχειριζόμενα οχήματα προσδίδουν τη δυνατότητα στα μελλοντικά πολεμικά πλοία να φέρουν εις πέρας μια ποικιλία από αποστολές. Οι αποστολές αυτές ξεπερνούν τα όρια των παραδοσιακών ρόλων των πολεμικών πλοίων, που ήταν η προβολή ισχύος, η μάχη και η υποστήριξη είτε ταυτόχρονα είτε διαδοχικά. Επομένως, οι κλασικοί κανονισμοί θα πρέπει να επανεξεταστούν (για παράδειγμα, πρέπει να εξεταστεί κατά πόσο θα πρέπει τα πλοία με ευελιξία στις αποστολές που αναλαμβάνουν να ενισχυθούν έναντι ακραίων φορτίσεων, π.χ. υποθαλάσσιες εκρήξεις από νάρκες, όταν η αποστολή πραγματοποιείται ουσιαστικά από τηλεχειριζόμενα μη επανδρωμένα οχήματα).
- Αυξημένη μυστικότητα (enhanced stealth). Στην εποχή μετά τον ψυχρό πόλεμο, τα πολεμικά πλοία πιστεύεται ότι θα δραστηριοποιούνται περισσότερο σε παράκτιες ζώνες παρά στον ανοικτό ωκεανό. Η διαχείριση της υπογραφής του σκάφους, που είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη μυστικότητα, θεωρείται όλο και σημαντικότερη παράμετρος για τη μείωση της πιθανότητας εντοπισμού και επίθεσης σε τέτοιες περιοχές. Νέα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, καινούρια υλικά και σύγχρονες διατάξεις βρίσκονται στη φάση της ανάπτυξης ώστε να μειωθούν οι ακουστικές και θερμικές εκπομπές καθώς και το ίχνος των πλοίων στα radar, ακόμη και οι οπτικές υπογραφές.
- Μεταβολή των απειλών (changing threats). Μετά το τέλος του ψυχρού πολέμου η φύση των απειλών που αντιμετωπίζουν τα πολεμικά πλοία έχει μεταβληθεί ριζικά. Αν και οι πιο φρόνιμοι σχεδιαστές θα λάβουν υπόψιν στο σχεδιασμό και τις απειλές της ανοικτής θάλασσας, όπως τορπίλες υποβρυχίων και πυρηνικά όπλα, τα πολεμικά πλοία στο εγγύς μέλλον είναι πιο πιθανό να κληθούν να αντιμετωπίσουν οπτικά συστήματα χαμηλής τεχνολογίας, όπως απλές νάρκες και επιθέσεις από εύκολα διαθέσιμους πυραύλους και ταχύπλοα πλοία. Η λειτουργία των πλοίων στις παράκτιες περιοχές θα τα κάνει πιο ευάλωτα σε επιθέσεις από συστήματα χαμηλής τεχνολογίας και θα πρέπει να γίνουν παραχωρήσεις για την επιβιωσιμότητα σε αυτές τις περιοχές.
- Υψηλή ταχύτητα. Με το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου θεωρήθηκε ότι τελείωσε και η εποχή των πολεμικών πλοίων με ταχύτητες που έφθαναν τους 40 κόμβους. Εντούτοις, η έμφαση που δόθηκε τα τελευταία χρόνια στις επιχειρήσεις παράκτιας ζώνης έχει αναζωπυρώσει το ενδιαφέρον για τα στρατηγικά πλεονεκτήματα της υψηλής ταχύτητας. Για το λόγο αυτό έχει δοθεί αρκετή προσπάθεια στη μελέτη της απόκρισης του σκάφους στα φαινόμενα σφυρόκρουσης, στην αντοχή σε κόπωση και στους κραδασμούς των λεπτότοιχων κατασκευών, ώστε να αναπτυχθούν κατάλληλα μέσα για τη μείωση της συντήρησης και την αύξηση της ζωής του σκάφους.
- Πολλαπλές γάστρες / γάστρες προηγμένης σχεδίασης. Παρά το γεγονός ότι οι γάστρες νέας σχεδίασης, όπως είναι τα καταμαράν, SWATHs, τριμαράν και πλοία επίδρασης επιφανείας, προϋπήρχαν για μεγάλο χρονικό διάστημα, οι απαιτήσεις για αυξημένες ταχύτητες πλεύσης, όπως περιγράφηκαν παραπάνω, βελτιωμένη

συμπεριφορά σε κυματισμούς και σχεδιαστική ευελιξία (σε αμφότερα τα εμπορικά και πολεμικά πλοία) δημιουργούν νέες ανάγκες όσον αφορά τους τύπους της μεταλλικής κατασκευής των πλοίων. Μέχρι στιγμής υπάρχει πολύ περιορισμένη γνωστική βάση της συμπεριφοράς αυτών των σχεδιάσεων κατά τη λειτουργία τους, όπως για παράδειγμα η δομική αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών, οι ροές των τάσεων και άλλα ζητήματα, στα οποία θα πρέπει να βασιστούν οι νέοι κανονισμοί και τα κριτήρια.

- Υλικά. Τα ναυπηγεία και οι πλοιοκτήτες (συμπεριλαμβανομένων και των πολεμικών ναυτικών) συνεχίζουν να διερευνούν τη χρήση νέων υλικών και συστημάτων υλικών, τα οποία θα βελτιώσουν τις επιδόσεις ή / και θα μειώσουν τα έξοδα κατασκευής και συντήρησης. Τα σύνθετα υλικά και συστήματα (για παράδειγμα υλικά sandwich, που αποτελούνται από μέταλλο και πλαστικό), τα νέα μέταλλα, όπως το τιτάνιο, και τα συστήματα επιστρώσεων θεωρούνται ότι παρέχουν ιδιότητες όπως είναι το μικρότερο βάρος, ευκολία στην κατεργασία και υψηλότερη αντοχή στη διάβρωση. Ένας άλλος παράγοντας είναι η αυξημένη προσοχή έναντι τρομοκρατικών επιθέσεων, που μπορεί να οδηγήσει αμφότερους τους ιδιοκτήτες πολεμικών και εμπορικών σκαφών να υιοθετήσουν επιπρόσθετα μέτρα αύξησης της σκληρότητας των ναυπηγικών υλικών.
- Κατασκευή πολεμικών πλοίων από ναυπηγεία του εξωτερικού. Κατά το μεγαλύτερο διάστημα του 20^{ου} αιώνα, οι ανεπτυγμένες χώρες κατασκεύαζαν τα πολεμικά τους πλοία στα δικά τους εγχώρια ναυπηγεία. Στις μέρες μας, κάποιες από αυτές τις χώρες άρχισαν να συνάπτουν συμβόλαια με ναυπηγεία άλλων χωρών για να κατασκευάσουν για λογαριασμό τους τα πολεμικά πλοία που επιθυμούν. Σε μερικές περιπτώσεις, αυτή η τάση, η οποία φαίνεται να βρίσκεται σε έξαρση, οφείλεται στο χαμηλότερο κόστος των ξένων (μη εγχώριων) ναυπηγείων. Σε άλλες περιπτώσεις, οι εξεζητημένες απαιτήσεις ολοκλήρωσης (integration) απλά δεν είναι διαθέσιμες στα εγχώρια ναυπηγεία. Άμεση συνέπεια είναι η απομάκρυνση της διαδικασίας κατασκευής από τα πρότυπα των πολεμικών πλοίων και η σύγκλιση αυτής στα πρότυπα των εμπορικών, ένα πεδίο που γνωρίζουν πολύ καλά τα ξένα ναυπηγεία.

1.3 Φιλοσοφία σχεδίασης των πολεμικών πλοίων.

Τα πολεμικά πλοία σχεδιάζονταν παραδοσιακά με τα εσωτερικά πρότυπα της εκάστοτε χώρας. Αναπτύχθηκε, όμως, μια ιδέα για να ένα σύστημα κανονισμών πολεμικών πλοίων, που θα βασίζεται στους νηογνώμονες (classification) και θα συνδυάζει τις υποχρεωτικές απαιτήσεις αντοχής πολεμικών και εμπορικών πλοίων ώστε να παράσχει μία ολοκληρωμένη μέριμνα για τα πολεμικά πλοία σε όλο το χρόνο ζωής τους. Σε αυτήν την παράγραφο θα περιγράψουμε σύντομα την προσέγγιση του θέματος από διάφορα πολεμικά ναυτικά και από διάφορους νηογνώμονες, οι οποίοι έχουν εκδώσει κανονισμούς για πολεμικά πλοία.

Αναγνωρίζοντας ότι δεν υπάρχει αντίστοιχος οργανισμός για πολεμικά πλοία, όπως είναι ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization – I.M.O.), ιδρύθηκε μία ομάδα ειδικών στο NATO, για την ασφάλεια και την ταξινόμηση των πολεμικών πλοίων (NATO Specialist Team on “Naval Ship Safety and Classification”). Αυτή η ομάδα ιδρύθηκε για να αναπτύξει τον Κώδικα Πολεμικών Πλοίων (Naval Ship Code). Ο Κώδικας αυτός στοχεύει να αναπληρώσει το κενό που υπάρχει, παρέχοντας στα διάφορα πολεμικά ναυτικά το γενικό περίγραμμα ώστε αυτά να είναι σε θέση να αποκτήσουν τη διαβεβαίωση ότι έχουν επιτευχθεί ικανοποιητικά επίπεδα ασφαλείας. Με τον τρόπο αυτό, ο Κώδικας αποτελεί την αντίστοιχη (όπως συμβαίνει με τα εμπορικά πλοία) σύνδεση μεταξύ Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) και νηογνωμόνων. Επιπλέον, προωθεί βελτιωμένες σχεδιάσεις πλοίων και μεγαλύτερη συνοχή και διαφάνεια των προτύπων ασφαλείας [1].

1.3.1 Παραδοσιακές προσεγγίσεις από τα ναυτικά διαφόρων χωρών.

Τα πολεμικά πλοία σχεδιάζονταν παραδοσιακά με τα εγχώρια πρότυπα των χωρών στις οποίες ανήκαν. Αυτά τα πρότυπα και οι προσεγγίσεις σχεδιασμού από τα ναυτικά των διαφόρων χωρών, που αναπτύχθηκαν κατά το παρελθόν, βασίζονταν σε εκτεταμένες παρατηρήσεις και εμπειρία από τη λειτουργία των πλοίων σε διάφορες συνθήκες.

1.3.1.1 Βασιλικό Πολεμικό Ναυτικό του Ηνωμένου Βασιλείου (United Kingdom Royal Navy – RN).

Στο Ηνωμένο Βασίλειο τα πολεμικά πλοία αποτελούσαν αντικείμενο που αυτορυθμιζόταν από το Υπουργείο Άμυνας (Ministry of Defense – UK MoD), κάνοντας χρήση μίας ευρείας συλλογής διαδικασιών. Το σύστημα περιείχε όλα τα στοιχεία ενός υγιούς καθεστώτος, δηλαδή: καθορισμένα πρότυπα για το σχεδιασμό και την κατασκευή, καθορισμένες αρμοδιότητες, καθορισμένα σχεδιαγράμματα συντήρησης, χρονοδιαγράμματα για τις επιθεωρήσεις και τις συντηρήσεις, μηχανισμούς αλληλεπίδρασης και εξωτερικό έλεγχο. Αυτή η οργάνωση είχε εξυπηρετήσει επαρκώς το Βασιλικό Πολεμικό Ναυτικό και είχε ως αποτέλεσμα υψηλά επίπεδα διαθεσιμότητας για τα πλοία και τα όπλα του.

Ο ακρογωνιαίος λίθος του συστήματος που περιγράψαμε παραπάνω είναι τα Πρότυπα Ναυπηγικής του Ναυτικού (Naval Engineering Standards – NES) που εκδόθηκαν από το Υπουργείο Άμυνας του Ηνωμένου Βασιλείου (1972, 1999). Για πρώτη φορά αναπτύχθηκαν επίσης το 1972 και είχαν στόχο να συγκεντρώσουν τη συνολική γνώση των ορθών

πρακτικών σχεδίασης πολεμικών πλοίων. Η προσέγγιση ήταν αιτιοκρατική (deterministic), λαμβάνοντας υπόψιν τα φορτία από δυσμενείς θαλάσσιες καταστάσεις, όπως για παράδειγμα η κάμψη λόγω κυματισμών και η σφυρόκρουση, λειτουργικά φορτία, όπως είναι τα φορτία από ρυμουλκά ή από προσγειώσεις αεροσκαφών και επιδράσεις από οπλικά συστήματα, όπως εκρήξεις και ακραίες φορτίσεις (shock). Η μελέτη συνδύαζε αποτελέσματα από πειράματα σε δοκίμια υπό κλίμακα και δοκίμια με κανονικές διαστάσεις. Η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής αξιολογείται μέσω ενός συνδυασμού προσέγγισης των τάσεων, κυρίως όσον αφορά την κατασκευή τοπικά, αλλά και εξετάζοντας την κατασκευή στο σύνολό της. Επιπλέον, γίνεται ευρεία χρήση προηγμένων τεχνικών ανάλυσης και σχεδίασης, όπως είναι τα πεπερασμένα στοιχεία και η ανάλυση της αντοχής σε κόπωση.

Υπάρχουν περίπου 700 Πρότυπα Ναυπηγικής του Ναυτικού που καλύπτουν όλες τις πτυχές σχεδίασης και κατασκευής ενός πολεμικού πλοίου. Από τη δημοσίευσή τους το 1972, τα πρότυπα αυτά, έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη 5 νέων σχεδιάσεων πολεμικών πλοίων, καλύπτοντας τις ανάγκες ναυπήγησης 49 πλοίων επιφανείας και 3 κλάσεων υποβρυχίων. Στις μέρες μας το πολεμικό ναυτικό κάθε χώρας έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις και παραγγέλλει πλοία που σχεδιάζονται και κατασκευάζονται σύμφωνα με τους κανονισμούς των νηογνώμωνων.

1.3.1.2 Καναδικό Πολεμικό Ναυτικό (Canadian Navy – CN).

Το πολεμικό ναυτικό του Καναδά, με ελάχιστες εξαιρέσεις, χρησιμοποιούσε τα δικά του πρότυπα σχεδίασης όσον αφορά τα νεότευκτα σκάφη. Τα πρότυπα αυτά εκδόθηκαν για πρώτη φορά το 1978 από το Υπουργείο Άμυνας του Καναδά (Canada Department of Defense – DoD) με την κωδική ονομασία DMEM 10. Από όλα τα πολεμικά πλοία του Καναδά που βρίσκονται ακόμη σε υπηρεσία, μόνο τα πολεμικά πλοία της κλάσης KINGSTON είχαν ναυπηγηθεί σύμφωνα με κανονισμούς από νηογνώμονα. Το DMEM 10 αποτελείται από 4 μέρη: (1). Design Procedures for CP Surface Ship Structures, (2). Standard for the Structural Design of Ship Surface Ships, (3). Structural Practices Standard for CF Steel Surface Ships και (4). Structural Survivability Requirements for the CF Surface Ships. Αν και έχουν γίνει ανανεώσεις στο DMEM 10, εντούτοις παραμένει σχεδόν αμετάβλητο από τότε που εκδόθηκε για πρώτη φορά. Κατά τη διάρκεια των ετών, αποδείχθηκε ότι συγκεκριμένα τμήματά του είναι δύσκολα στην εφαρμογή τους και δεν ενδείκνυται για χρήση στο σχεδιασμό των επόμενων γενεών πολεμικών πλοίων. Επιπλέον, έγιναν προσπάθειες για να ενσωματωθούν κάποια μέρη του σε προηγμένα εργαλεία κατασκευαστικής ανάλυσης (για παράδειγμα ενσωμάτωση των οριακών περιπτώσεων που περιγράφονται στο DMEM στο εμπορικό λογισμικό MAESTRO), αλλά η γενική διαπίστωση είναι ότι το πρότυπο αυτό έχει παγώσει αυτή την περίοδο. Τέλος, δεν υπάρχουν περιθώρια για την ενσωμάτωση της έως τώρα προόδου (αλλά και αυτής που συνεχίζει να εξελίσσεται) στην εικονική ανάλυση των κατασκευών.

1.3.1.3 Γερμανικό Πολεμικό Ναυτικό (German Navy – GN).

Οι Ομοσπονδιακές Γερμανικές Ένοπλες Δυνάμεις (Bundeswehr) έχουν θεσπίσει κάποιες διαδικασίες για την ικανοποίηση των απαιτήσεών τους, με την ονομασία CPM 2001 (Customer, Product, Management – Πελάτης, Προϊόν, Διαχείριση). Αυτή η διαδικασία έχει ως στόχο την απόκτηση των απαιτούμενων χαρακτηριστικών μέσω της έγκαιρης, οικονομικής και λειτουργικής προμήθειας των προϊόντων και των υπηρεσιών. Είναι πλέον σαφές ότι η βιομηχανία καθορίζει όλο και περισσότερο το ρυθμό της τεχνολογικής ανάπτυξης εξαιτίας της ραγδαίας εξέλιξης καινοτομιών. Ωστόσο, η στενή συνεργασία μεταξύ των Ομοσπονδιακών Ενόπλων Δυνάμεων και της βιομηχανίας κρίνεται άκρως αναγκαία, ώστε οι ένοπλες δυνάμεις να είναι σύγχρονες και αποδοτικές. Ολόκληρη η διαδικασία διέπεται από τις αρχές της αποτελεσματικότητας του κόστους. Σύμφωνα με αυτές τις αρχές έγινε η αναθεώρηση των προτύπων του Γερμανικού Πολεμικού Ναυτικού (German Naval Standard – BV), τα οποία εκδόθηκαν από το Ομοσπονδιακό Γραφείο Αμυντικής Τεχνολογίας και Προμηθειών (Federal Office of Defense Technology and Procurement – BWB). Αυτοί οι κανονισμοί αφορούν μόνο την κατασκευή των τμημάτων των πολεμικών εξοπλισμών (που ανήκουν στο Γερμανικό Πολεμικό Ναυτικό) και δεν περιγράφονται από άλλους βιομηχανικούς κανονισμούς ή κανονισμούς νηογνωνώνων.

1.3.1.4 Κορεάτικο Πολεμικό Ναυτικό (Korean Navy – KN).

Τα πολεμικά πλοία στην Κορέα σχεδιάζονται στην πραγματικότητα για περιβαλλοντικά και στρατιωτικά φορτία βάσει των εσωτερικών κανονισμών σχεδίασης πολεμικών πλοίων. Αυτοί οι κανονισμοί αναπτύσσονται από κοινού από το Κορεάτικο Πολεμικό Ναυτικό (Korean Navy – KN), τον Κορεάτικο Νηογνώμονα (Korean Register of Shipping – KR) και από εγχώριους κατασκευαστές πολεμικών πλοίων. Οι κανονισμοί, οι οποίοι ανανεώνονται για να εκδοθούν ως κανονισμοί της κλάσης, έχουν ως κύριο σημείο αναφοράς τις συνήθειες πρακτικές του Κορεάτικου Πολεμικού Ναυτικού, τις διαδικασίες του Αμερικανικού Πολεμικού Ναυτικού (US Navy) και γενικές τεχνολογίες ναυπήγησης. Για έναν πιο ορθολογικό υπολογισμό της αντοχής της γάστρας των πλοίων χρησιμοποιούνται συνήθως τεχνικές απευθείας ανάλυσης των φορτίων και φασματικής ανάλυσης. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται για ταχύπλοα και πλοία μεγάλου μήκους ώστε να ληφθούν υπόψιν οι φορτίσεις από τους κυματισμούς σε όλη τη διάρκεια ζωής και ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και τα χαρακτηριστικά σχεδίασης. Συνήθως γίνεται και εφαρμογή κάποιας αριθμητικής μεθόδου προσομοίωσης, η οποία κάνει χρήση κάποιου κώδικα για ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία, ώστε να εξεταστούν οι αποκρίσεις της κατασκευής και να προταθούν επιπλέον ενισχύσεις για φορτίσεις από πολεμικές επιχειρήσεις, όπως είναι οι υποθαλάσσιες εκρήξεις και οι ριπές αέρα από εκρήξεις (air blast).

1.3.1.5 Ιταλικό Πολεμικό Ναυτικό (Italian Navy – IN).

Ιστορικά το Ιταλικό Πολεμικό Ναυτικό ασχολήθηκε με την αξιολόγηση του κατασκευαστικού σχεδιασμού των πολεμικών πλοίων ρίχνοντας περισσότερο βάρος στην εμπειρία του παρελθόντος σε ορισμένα εν ενεργεία πλοία. Η ολική αξιολόγηση της κατασκευής της γάστρας εκτιμήθηκε σύμφωνα με τους κανονισμούς του Ιταλικού

Νηογνώμονα (Registro Italiano Navale – RINA). Οι κανονισμοί αυτοί αναπτύχθηκαν από κοινού με το Ιταλικό Πολεμικό Ναυτικό, τα ναυπηγεία Fincantieri και τον Ιταλικό Νηογνώμονα, λαμβάνοντας υπόψιν την εμπειρία σε αυτόν τον τομέα και τις διαδικασίες και μεθοδολογίες μελέτης και ναυπήγησης πολεμικών πλοίων.

1.3.1.6 Βασιλικό Πολεμικό Ναυτικό των Κάτω Χωρών (Royal Netherlands Navy – RNN).

Ο κατασκευαστικός σχεδιασμός του Βασιλικού Πολεμικού Ναυτικού των Κάτω Χωρών, που αναφέρεται στα πολεμικά πλοία, δεν έχει διαφορές από τους αντίστοιχους για τα άλλα πλοία. Αρχικά υπάρχει η περιγραφή των αποστολών, οι απαιτήσεις πληρώματος και κάποιο δεδομένο ωφέλιμο φορτίο. Ο αρχικός κατασκευαστικός σχεδιασμός της γάστρας του πολεμικού πλοίου ακολουθεί τους παραδοσιακούς κανονισμούς. Αυτοί αποτελούνται από διάφορα «κανονικά» φορτία σχεδίασης, όπως είναι οι καμπτικές ροπές και οι πιέσεις δεξαμενών και καταστρώματος, και άλλα συνδυασμένα με μία σειρά από απαιτήσεις αντοχής, όπως επιτρεπόμενες τάσεις και συντελεστές ασφαλείας έναντι κατάρρευσης. Στις περισσότερες των περιπτώσεων οι κανονισμοί σχεδίασης αποτελούν υποκατηγορία των κανονισμών κάποιου νηογνώμονα αλλά με κατάλληλες διαφοροποιήσεις για το υλικό κατασκευής, ή είναι κανονισμοί νηογνώμονα που έχουν αναπτυχθεί για την κατασκευή πολεμικών πλοίων. Οι κανονισμοί του Βασιλικού Πολεμικού Ναυτικού των Κάτω Χωρών είναι σαφώς διαφορετικοί από τους σύγχρονους κανονισμούς των νηογνωμόνων. Ο σχεδιασμός της κατασκευής για επαρκή αντοχή έναντι των φορτίων από οπλικά συστήματα αντιμετωπίζεται ως προσθήκη στην υπάρχουσα μελέτη αντοχής της κατασκευής.

1.3.1.7 Αμερικανικό Πολεμικό Ναυτικό (US Navy – USN).

Τα πλοία του Αμερικανικού Πολεμικού Ναυτικού πρέπει να είναι σχεδιασμένα ώστε να αντέχουν στις φορτίσεις λόγω ακραίων περιβαλλοντικών φαινομένων, αλλά και στις φορτίσεις από στρατιωτικές επιχειρήσεις. Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, αλλά κυρίως κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, η φύση και το μέγεθος των φορτίων που καταπονούν την κατασκευή των πολεμικών πλοίων έχουν αναλυθεί μέσω δοκιμών σε μοντέλα υπό κλίμακα, σε μοντέλα με πραγματικές διαστάσεις όπως επίσης και από τις εκτιμήσεις των ζημιών στις μάχες. Η παραδοσιακή προσέγγιση ήταν αιτιοκρατική, λαμβάνοντας υπόψιν ακραίες θαλάσσιες φορτίσεις, όπως κάμψη λόγω κυματισμών και σφυρόκρουση, φορτία λόγω της λειτουργίας του πλοίου, όπως είναι η προσγείωση αεροσκαφών και τα φορτία από ρυμουλκά και φορτία που καταπονούν την κατασκευή του πλοίου και οφείλονται στα οπλικά συστήματα, όπως ακραίες φορτίσεις (shock) και εκρήξεις (blast). Αυτές οι πρακτικές καταγράφηκαν σχολαστικά σε μία σειρά από Σχεδιαστικά Φύλλα Εργασίας (Design Data Sheets – DDS) και ανέφεραν τις προδιαγραφές κατασκευής για διάφορους τύπους πλοίων.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 έγιναν δύο αλλαγές σε αυτήν την προσέγγιση. Εν πρώτοις, έχουμε την ενσωμάτωση των υπολογιστικών προσεγγίσεων, με τη βοήθεια υπολογιστών, στον υπολογισμό των φορτίων και την πρόβλεψη της απόκρισης της κατασκευής σε αυτά τα φορτία. Πιο πρόσφατα, με την απαίτηση για ενσωμάτωση

αισθητήρων στην κατασκευή, παρέχονται στους διαχειριστές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο όσον αφορά την απόκριση της κατασκευής και τα φορτία στα οποία υποβάλλεται. Επιπλέον ένα άλλο πλεονέκτημα των αισθητήρων είναι ότι παρέχουν τις πληροφορίες που συλλέγουν ώστε να είναι δυνατόν να υπάρχουν ακριβή στοιχεία για τη βελτίωση και τον έλεγχο των εργαλείων ανάλυσης.

Κατά δεύτερον, και με πιο μακροπρόθεσμο χαρακτήρα, οι σχεδιαστές πολεμικών πλοίων αναγνώρισαν ότι η πιθανολογική προσέγγιση προσφέρει πιο ορθολογικά μέσα για την ποσοτικοποίηση των αβεβαιοτήτων, οι οποίες μπορεί να αμεληθούν κατά την αιτιοκρατική προσέγγιση. Μια άλλη μέθοδος, η οποία είναι υπό ανάπτυξη, βασίζεται περισσότερο στην αξιοπιστία της κατασκευής και ονομάζεται Σχεδίαση Συντελεστή Αντίστασης και Φορτίου (Load and Resistance Factor Design – LRFD). Αυτή η προσέγγιση, η οποία βρίσκεται σε συμφωνία με τις αντίστοιχες μεθόδους που αναπτύσσονται για τις κατασκευές πολιτικού μηχανικού και τις παράκτιες κατασκευές, αρχίζει να εφαρμόζεται πιλοτικά, ενώ η παραδοσιακή μέθοδος χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς.

1.3.2 Προσεγγίσεις νηογνωμόνων στη σχεδίαση πολεμικών πλοίων.

Με τη μείωση του αριθμού των πολεμικών πλοίων τα οποία συντηρούνται, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται σύμφωνα με τα πρότυπα του πολεμικού ναυτικού κάθε χώρας, η μείωση των προϋπολογισμών που διατίθενται για τη διατήρηση της ποιότητας των προτύπων αυτών, καθώς και η μειωμένη εμπειρία του δυναμικού του πολεμικού ναυτικού, οδηγεί στην ανάγκη για ριζικές αλλαγές στην παραδοσιακή προσέγγιση του σχεδιασμού των πολεμικών πλοίων και στην τεχνική τους υποστήριξη. Κατά το παρελθόν, οι υπηρεσίες σχεδιασμού πολεμικών πλοίων ήταν στην πρώτη γραμμή της τεχνολογικής καινοτομίας και ανάπτυξης στους τομείς της ναυπηγικής, ναυτικής μηχανολογίας και θαλάσσιας μηχανικής. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στους ίδιους τομείς από τις αντίστοιχες υπηρεσίες για το σχεδιασμό εμπορικών πλοίων. Τέτοια παραδείγματα είναι η πρόοδος στο πεδίο των παράκτιων κατασκευών και η ανάπτυξη της βιομηχανίας ταχύπλων σκαφών με τα πολλά και ποικίλα σχέδια μονόγαστρων και πολύγαστρων πλοίων καθώς και τα καινοτόμα συστήματα πρόωσης. Επιπλέον, οι απαιτήσεις των επιβατών και των πολιτικών Αρχών, για συνολικά υψηλές επιδόσεις (για παράδειγμα χαμηλά επίπεδα κραδασμών και θορύβου, ελαχιστοποίηση της προκαλούμενης μόλυνσης, υψηλή απόδοση, υψηλή ταχύτητα και επαρκή επιβιωσιμότητα μετά από βλάβη) έχουν εισάγει πολλούς από τους προβληματισμούς που παραδοσιακά ανήκαν στο σχεδιασμό των πολεμικών πλοίων και στο σχεδιασμό των εμπορικών.

Εν ολίγοις, τα πολεμικά ναυτικά επιθυμούν να διατηρήσουν τα δικά τους πρότυπα όσον αφορά τη ναυπήγηση πολεμικών πλοίων. Στην πραγματικότητα όμως, λόγω του μικρού αριθμού σκαφών που κατασκευάζονται, αλλά και λόγω της μειωμένης χρηματοδότησης, η πρακτική ανάπτυξης και διατήρησης ιδίων προτύπων καθίσταται όλο και λιγότερο βιώσιμη. Υπήρχε ένα όραμα δημιουργίας ενός συστήματος κανονισμών για πολεμικά πλοία, το οποίο θα βασίζεται σε κανονισμούς νηογνωμόνων. Το σύστημα αυτό θα λαμβάνει υπόψιν στους υπολογισμούς αντοχής των πολεμικών πλοίων, τις υποχρεωτικές απαιτήσεις αντοχής εμπορικών και πολεμικών πλοίων για όλη τη διάρκεια ζωής τους.

Η προσαρμοστικότητα στις διάφορες καταστάσεις, η αξιοπιστία λειτουργίας και η καλή σχέση ποιότητας και τιμής είναι οι τρεις άξονες ανάπτυξης που τίθενται από τους πλοιοκτήτες κατά τη ναυπήγηση των εμπορικών πλοίων. Τις ίδιες απαιτήσεις καλούνται να εξυπηρετήσουν και οι σχεδιαστές των πολεμικών πλοίων. Η χρήση πρακτικών μελέτης για τα πολεμικά πλοία, σύμφωνα με τα πρότυπα των νηογνωμόνων, προσφέρει στα πολεμικά ναυτικά μία εναλλακτική για τις παραδοσιακές πρακτικές, διαδικασίες και παραδοχές που χρησιμοποιούν. Οι πρακτικές αυτές έχουν καθιερωθεί για τη μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή των εμπορικών πλοίων.

Η πλειοψηφία των νηογνωμόνων, μελών της Διεθνούς Ένωσης Νηογνωμόνων (International Association of Classification Societies – I.A.C.S.), έχουν αναπτύξει ή βρίσκονται στη διαδικασία ανάπτυξης κανονισμών για πολεμικά πλοία. Αυτοί οι κανονισμοί βασίζονται εν πολλοίς στους κανονισμούς του πολεμικού ναυτικού του αντίστοιχου κράτους που έχει τα κεντρικά γραφεία (headquarters) του ο εκάστοτε νηογνώμονας.

1.3.2.1 Αμερικανικός Νηογνώμονας (American Bureau of Shipping – ABS).

Από το 1998, ο Αμερικανικός Νηογνώμονας συνεργάζεται με το Πολεμικό Ναυτικό των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (ΗΠΑ) για την ανάπτυξη των κανονισμών που αφορούν τη μελέτη και κατασκευή των πολεμικών πλοίων. Οι πρώτοι κανονισμοί ήταν διαθέσιμοι στα μέσα του 2004, [2]. Οι κανονισμοί ακολουθούν αποτελεσματικά την παραδοσιακή προσέγγιση του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ, όσον αφορά τη σχεδίαση πολεμικών πλοίων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση χρησιμοποιεί την ημιστατική (quasi – static) ανάλυση, που έχει αναπτύξει το Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ, για τον υπολογισμό των καμπτικών ροπών σε συνδυασμό με μια πιθανολογική προσέγγιση για τον προσδιορισμό της κάμψης του πλοίου, θεωρούμενου ως δοκού. Οι κανονισμοί απαιτούν την ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία και ανάλυση της κόπωσης για όλα τα νέα πλοία. Επιπλέον, μπορεί να γίνει θεώρηση μοναδικών και ειδικών περιπτώσεων φόρτισης, βασισμένη σε λεπτομερή περιγραφή και αιτιολόγηση, σύμφωνα με όλους τους κανονισμούς. Οι νομείς των πολεμικών πλοίων έχουν αναπτυχθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να διευκολύνουν την προσπάθεια ανάπτυξης μορφών γάστρας για υψηλότερες ταχύτητες, με την επιπλέον δυνατότητα τη γρήγορη μεταβολή του στόχου της αποστολής που αναλαμβάνουν, μέσω της προσαρμοστικότητάς τους, [3].

1.3.2.2 Νορβηγικός Νηογνώμονας (Det Norske Veritas – DNV).

Οι κανονισμοί του Νορβηγικού Νηογνώμονα (DNV) για τα πολεμικά πλοία επιφανείας (2004) περιλαμβάνουν την κατασκευαστική επαλήθευση των πολεμικών πλοίων μέσω του σχεδιασμού, της κατασκευής και της λειτουργίας τους. Λόγω της έλλειψης αμιγώς εμπορικών διαδικασιών και διαδικασιών και απαιτήσεων που επιβάλλονται από τη Σημαία για τα πολεμικά πλοία, οι κανονισμοί προκύπτουν ως συνδυασμός των παραδοσιακών προτύπων του Πολεμικού Ναυτικού και των εμπορικών πρακτικών. Ομοίως με τους κανονισμούς των υπολοίπων νηογνωμόνων, οι διαθέσιμες παρατηρήσεις διασφαλίζουν την ασφάλεια, σε ισοδυναμία με τους κανονισμούς του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization – IMO). Οι παρατηρήσεις ενσωματώνουν λειτουργικές απαιτήσεις,

όπως επίσης και ποικίλες κατασκευαστικές και σχεδιαστικές απαιτήσεις, για τα πλοία του πολεμικού ναυτικού είτε αυτά ανήκουν ή όχι στις μάχιμες μονάδες.

1.3.2.3 Γερμανικός Νηογνώμονας (Germanischer Lloyd – GL).

Το Ομοσπονδιακό Γραφείο Αμυντικής Τεχνολογίας και Προμηθειών (Federal Office of Defence Technology and Procurement – BWB) ανέθεσε, το 1999, στο Γερμανικό Νηογνώμονα (GL) να συντονίσει την αναθεώρηση των Προτύπων του Γερμανικού Πολεμικού Ναυτικού (German Naval Standard – BV) και να εκτελέσει τη συγκεκριμένη εργασία σε στενή συνεργασία με τις Αρχές του Γερμανικού Πολεμικού Ναυτικού. Οι κανονισμοί κατασκευής πολεμικών πλοίων του Ομοσπονδιακού Γραφείου Αμυντικής Τεχνολογίας και Προμηθειών αφορούν το τμήμα του πλοίου που είναι αμιγώς για πολεμική χρήση και προορίζεται για εφαρμογή στα πολεμικά πλοία του Γερμανικού Πολεμικού Ναυτικού.

Οι κανονισμοί του Γερμανικού Νηογνώμονα (2004) εξετάζουν το πολεμικό πλοίο ως πλατφόρμα. Τα οπλικά συστήματα και οι αισθητήρες εξετάζονται μόνο όσον αφορά τη στήριξή τους και την παροχή ισχύος. Οι κανονισμοί κατασκευής καλύπτουν καθοριστικά θέματα ασφαλείας και περιβαλλοντικά θέματα των πολεμικών πλοίων, μία ολόκληρη σειρά από ειδικούς τύπους πολεμικών πλοίων καθώς και ειδικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτά. Τελικά το σύνολο των κανονισμών με θέμα «Τεχνολογία Πολεμικών Πλοίων» (Naval Ship Technology) αποτελούν ένα πλήρες και ανεξάρτητο τμήμα των κανονισμών του Γερμανικού Νηογνώμονα. Επιπλέον, έχει γίνει προσπάθεια να μειωθούν στο ελάχιστο οι παραπομπές σε άλλους κανονισμούς του Γερμανικού Νηογνώμονα και σε πρότυπα, [4].

1.3.2.4 Αγγλικός Νηογνώμονας (Lloyd's Register – LR).

Το 1998, ο Αγγλικός Νηογνώμονας δημοσίευσε τους πρώτους παγκοσμίως κανονισμούς για το σχεδιασμό, την κατασκευή και την ένταξη σε κλάση (classification) πολεμικών πλοίων, σε απόλυτη αντιστοιχία με τους κανονισμούς που ίσχυαν για τα εμπορικά πλοία. Οι κανονισμοί καλύπτουν όλα τα μεγέθη και όλους τους τύπους πλοίων, όπως για παράδειγμα των αεροπλανοφόρων, φρεγάτων, κορβετών, περιπολικών πλοίων και άλλων και δίνουν στα σκάφη αυτά διάφορες πολεμικές και μη επιχειρησιακές δυνατότητες. Οι συγκεκριμένοι κανονισμοί καλύπτουν όλες τις πτυχές της σχεδίασης των πολεμικών πλοίων, συμπεριλαμβανομένων της μεταλλικής κατασκευής, του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και διαφόρων άλλων συστημάτων με τέτοιο τρόπο ώστε η διάταξή τους να είναι τέτοια που να δίνει στο πλοίο μεγάλη ικανότητα επιβίωσης και πολλές στρατιωτικές δυνατότητες.

Οι κανονισμοί του Αγγλικού Νηογνώμονα υιοθετούν τη μεθοδολογία προσέγγισης μέσω των κριτηρίων ζήτησης, δυνατότητας και αποδοχής, [5]. Η ζήτηση καθορίζεται από τις λειτουργικές απαιτήσεις, οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι φορτίσεις παρουσιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε, αν είναι δυνατόν, να υπολογιστούν άμεσα από την ανάλυση ή από δοκιμές σε μοντέλα. Αυτό μπορεί να εφαρμοστεί για οποιοδήποτε φορτίο ασκείται στο πλοίο. Εκτός από την παραδοχή για τα συμβατικά φορτία και την αντοχή, στην ανάλυση χρησιμοποιούνται και αυξημένες τιμές καμπικών ροπών για την απόδειξη της αυξημένης αντοχής ακόμη και σε ακραίες συνθήκες φόρτισης της κατασκευής. Ομοίως, στην περίπτωση παραμένουσας αντοχής μετά από

βλάβη, γίνεται θεώρηση μικρότερων τιμών της καμπτικής ροπής, μια και ένα πλοίο με βλάβη δεν αναμένεται να επιβιώσει στο ίδιο περιβάλλον με ένα πλοίο χωρίς βλάβη. Στους κανονισμούς παρέχονται οδηγίες για σχεδίαση σύμφωνα με τα φορτία από πολεμικές επιχειρήσεις.

Όπου υπάρχει απαίτηση για αποδεδειγμένη συμμόρφωση με κάποια διεθνή σύμβαση ή κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο του πολεμικού ναυτικού, οι κανονισμοί του Αγγλικού Νηογνώμονα αναγνωρίζουν τα χαρακτηριστικά του πολεμικού πλοίου και επιτρέπουν διάφορες εναλλακτικές διατάξεις, εφόσον διατηρούνται οι διατάξεις που ορίζει ο νηογνώμονας [6], [7], [8].

1.3.2.5 Ιταλικός Νηογνώμονας (*Registro Italiano Navale – RINA*).

Οι κανονισμοί του Ιταλικού Νηογνώμονα (2003) καλύπτουν όλες τις πτυχές που σχετίζονται με την πλατφόρμα ενός χαλύβδινου πολεμικού πλοίου επιφανείας και λαμβάνουν υπόψη με τη δέουσα προσοχή τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, όπως είναι: η εμπιστευτικότητα, οι επιχειρησιακές ανάγκες, οι πρακτικές διαχείρισης των πλοίων, οι επιδόσεις των πολεμικών πλοίων (δυναμική συμπεριφορά του πλοίου για τη σωστή λειτουργία των οπλικών του συστημάτων, ανάλυση τρωτότητας, λειτουργία σε μολυσμένες περιοχές και άλλα), ο έλεγχος των ορίων της κατασκευής σε φορτία από πολεμικές επιχειρήσεις, για παράδειγμα η αντοχή σε εσωτερικές, εξωτερικές ή υποβρύχιες εκρήξεις [9], [10], η άνεση επί του πλοίου, το περιβάλλον εργασίας και η αυξημένη προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Αν και οι κανονισμοί του Ιταλικού Νηογνώμονα για τα πολεμικά πλοία βασίζονται στους αντίστοιχους για τα εμπορικά, εν τούτοις διαφοροποιούνται σημαντικά από αυτούς. Αυτή η διαφοροποίηση οφείλεται στο γεγονός ότι οι κανονισμοί των πολεμικών πλοίων πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την πολύ εξειδικευμένη φύση των πολεμικών πλοίων και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ωφέλιμου φορτίου τους (στρατιωτικό προσωπικό και συστήματα μάχης), που απαιτεί ιδιαίτερη και αυτόνομη προσέγγιση και όχι απλή εφαρμογή των κανονισμών των εμπορικών πλοίων.

1.4 Σχεδιασμός της κατασκευής σύμφωνα με τα φορτία περιβάλλοντος και λειτουργίας.

Τα τελευταία χρόνια, η προσπάθεια για μείωση του κόστους προμηθειών και των εξόδων συντήρησης και υποστήριξης έχει ωθήσει πολλά πολεμικά ναυτικά σε στενότερες συνεργασίες με νηογνώμονες και μεγάλα ναυπηγεία. Σκοπός τους είναι η υιοθέτηση προτύπων, που χρησιμοποιούνται για τα εμπορικά πλοία, στη σχεδίαση και ναυπήγηση των πολεμικών πλοίων, όπου φυσικά αυτό είναι εφικτό, και ο καθορισμός συγκεκριμένων κανονισμών για τη ναυπήγηση και ένταξη σε κλάση των πολεμικών πλοίων. Αν και η χρήση των κανονισμών για εμπορικά πλοία στη ναυπήγηση βοηθητικών πλοίων, όπως πλοία αμφίβιων επιχειρήσεων (Landing Platform / Dock – LPD) και υποστήριξης στόλου (Logistics Support Vessel – LSV), ήταν μια τυπική διαδικασία, η προσαρμογή των κανονισμών αυτών για εφαρμογή σε μάχιμες μονάδες πρώτης γραμμής ήταν κάτι καινούριο και απαιτούσε αρκετούς υπολογισμούς, οδηγώντας σε σχέσεις υπολογισμού (formulations) οι οποίες έπρεπε να επαληθευθούν μέσω της εμπειρίας από τη λειτουργία στη θάλασσα. Τα περιβαλλοντικά φορτία που καλούνται να υποστούν τα πολεμικά πλοία δε διαφέρουν ουσιαστικά από τα αντίστοιχα φορτία για τα εμπορικά πλοία. Τα περισσότερα τοπικά φορτία μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμα και οι διαδικασίες υπολογισμού των κατασκευαστικών στοιχείων είναι όμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται για τα εμπορικά πλοία. Τα φορτία, όμως, λόγω κυματισμών διαφέρουν ανάμεσα στα εμπορικά και πολεμικά πλοία ως συνέπεια των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των πολεμικών πλοίων έναντι των εμπορικών.

Η κύρια διαφορά μεταξύ εμπορικών και πολεμικών πλοίων, η οποία ευθύνεται και για τις διαφορετικές επιδράσεις όταν πλέουν σε ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες, είναι το προφίλ λειτουργίας τους. Η πρώτη βασική διαφορά είναι ότι τα πολεμικά πλοία πρέπει να έχουν την ικανότητα να αντέχουν τις καταστάσεις θάλασσας, σύμφωνα με τις οποίες έχουν σχεδιαστεί, χωρίς καμία μείωση στην ικανότητα μάχης ή στην υποστήριξη αεροπορικών επιχειρήσεων (εάν υπάρχει η δυνατότητα). Αυτό συνεπάγεται ένα σημαντικό αριθμό προβλέψεων για δυναμική συμπεριφορά του πλοίου σε κυματισμούς όπως επίσης και αρκετές δοκιμές. Αυτοί οι περιορισμοί σημαίνουν ότι το πλοίο θα υποστεί σημαντικές επιταχύνσεις, γεγονός που θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά τα ακούσιμα φορτία.

Η άλλη σημαντική διαφορά έγκειται στην κόπωση. Γενικά, τα εμπορικά πλοία σχεδιάζονται και διαστασιοποιούνται για υποτιθέμενη διάρκεια ζωής είκοσι (20) ετών και με υψηλούς συντελεστές πλεύσης (sailing factors) (μέχρι $0.8 \div 0.9$). Αντίθετα, τα πολεμικά πλοία σχεδιάζονται για υποτιθέμενο χρόνο ζωής τριάντα (30) ετών και με συντελεστές πλεύσης που σπάνια υπερβαίνουν το $0.5 \div 0.6$. Επιπλέον, ενώ τα εμπορικά πλοία λειτουργούν σχεδόν πάντοτε στην ταχύτητα σχεδίασης (που συνήθως επιτυγχάνεται στο 90% της Μέγιστης Ονομαστικής Συνεχούς Ισχύος – MCR), τα πολεμικά πλοία πλέουν κανονικά με την ταχύτητα μάχης, η οποία είναι η μέγιστη ταχύτητα που μπορούν να αναπτύξουν, συχνά κάνοντας χρήση για το σκοπό αυτό και επιπλέον βοηθητικών μηχανών.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, που οδηγεί σε διαφορετικές συνθήκες φόρτισης και αποκρίσεις της κατασκευής πολεμικών και εμπορικών πλοίων, ενώ εκτίθενται σε κοινό αίτιο, είναι η αξιοσημείωτη διαφορά στο σχήμα της γάστρας που έχουν αυτοί οι δύο τύποι πλοίων. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο μερικοί νηογνώμονες, κατά την προσέγγιση των ολικών φορτίων, έπρεπε να εισάγουν διορθωτικούς συντελεστές, για το συντελεστή γάστρας (block coefficient – C_B), στις εξισώσεις υπολογισμού που πρότεινε ο IACS για τα

εμπορικά πλοία. Μελέτες [9], [10] έδειξαν ότι εισάγοντας αυτούς τους συντελεστές στους μέσους όρους της κατανομής Weibull, η μακροπρόθεσμη (long term) κατανομή της καμπτικής ροπής, από τα κύματα, που προκύπτει από τους παραπάνω υπολογισμούς, βρίσκεται κοντά στα αποτελέσματα που προκύπτουν από απ' ευθείας υπολογισμούς της δυναμικής απόκρισης.

Υπάρχουν κάποια φορτία που δεν εξαρτώνται από το περιβάλλον ή από στρατιωτικές απειλές, είναι όμως τυπικά για όλα τα πολεμικά πλοία, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις δεν είναι αποκλειστικά, όπως για παράδειγμα τα φορτία που προέρχονται από ανεφοδιασμό εν πλω (Replenishment at Sea – RAS) ή κατακόρυφο ανεφοδιασμό (Vertical Replenishment – VERTREP) και οι φορτίσεις που συνδέονται με την απονήωση, προσνήωση και στάθμευση αεροσκαφών.

Βασικά οι μέθοδοι σχεδιασμού που υιοθετήθηκαν για τα πολεμικά και τα εμπορικά πλοία είναι ίδιες. Παρ' όλα αυτά, οι ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας των πολεμικών πλοίων υποχρεώνουν συχνά τους σχεδιαστές να καταφεύγουν σε ευρύτερη χρήση των αποτελεσμάτων από δοκιμές, αριθμητικές προσομοιώσεις και απευθείας υπολογισμούς κατασκευαστικών στοιχείων. Μερικές φορές, για νέες σχεδιάσεις, μπορεί να είναι απαραίτητο να γίνουν μετρήσεις σε κανονικής κλίμακας δοκίμια για μία συνολική εκτίμηση της κατασκευής του σκάφους.

Η ανάγκη για εξασφάλιση χαμηλών επιπέδων εκπεμπόμενου υποθαλάσσιου θορύβου, η σωστή λειτουργία των συστημάτων μάχης και ναυσιπλοΐας και η επιβιωσιμότητα της μεταλλικής κατασκευής του σκάφους και των εδράσεων του μηχανολογικού εξοπλισμού, όταν εκτεθούν σε διάφορους τύπους στρατιωτικών απειλών, συνεπάγεται γενικά τη χρήση περισσότερο εξεζητημένων αναλύσεων από ότι πραγματοποιούνται συνήθως για τα εμπορικά πλοία.

1.4.1 Σχεδιασμός για περιβαλλοντικά φορτία.

Όπως ορίζεται από τους κανονισμούς για πολεμικά πλοία του Αγγλικού νηογνώμονα (Lloyd's Register Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships) οι περιβαλλοντικές συνθήκες περιλαμβάνουν τα φυσικά φαινόμενα, όπως ο αέρας, τα κύματα και τα ρεύματα καθώς επίσης και πολικές ή τροπικές συνθήκες (ice and thermal conditions).

1.4.1.1 Φορτία από κυματισμούς.

Τα ολικά φορτία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Φορτία θεωρώντας το πλοίο ως δοκό, τα οποία είναι κοινά μεταξύ εμπορικών και πολεμικών πλοίων. Αυτά τα φορτία περιλαμβάνουν τις διατμητικές δυνάμεις σε ήρεμο νερό και τις αντίστοιχες καμπτικές ροπές, χαμηλόσυχνες (low frequency) διατμητικές δυνάμεις λόγω κάθετων (vertical) κυματισμών και τις αντίστοιχες καμπτικές ροπές λόγω των υδροδυναμικών πιέσεων, υψηλόσυχνες (high frequency) διατμητικές δυνάμεις λόγω κάθετων κυματισμών και τις αντίστοιχες καμπτικές ροπές και φορτία λόγω σφυρόκρουσης.

- Ακραία φορτία θεωρώντας το πλοίο ως δοκό, τα οποία χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της μέγιστης (ultimate) αντοχής και πρέπει να προέρχονται από τη συνολική εξέταση του μητρώου όλων των φορτίων που αναμένεται ότι μπορεί να ασκηθούν στην κατασκευή.
- Φορτία θεωρώντας το πλοίο ως δοκό για αξιολόγηση της εναπομείνουσας αντοχής, τα οποία συνήθως ορίζονται να είναι ένα συγκεκριμένο πακέτο συνθηκών για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.

Τα ολικά φορτία σε ήρεμο νερό πρέπει να αξιολογούνται λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενέστερες καταστάσεις φόρτισης, οι οποίες προσδιορίζονται από τους κανονισμούς ή/και τους ιδιοκτήτες και μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του πλοίου. Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να διευκρινίσουμε ότι η καμπτική ροπή σε ήρεμο νερό ενός πολεμικού πλοίου είναι κατά κανόνα μικρότερη από την αντίστοιχη ενός εμπορικού πλοίου.

Τα φορτία από κυματισμούς υπολογίζονται μέσω φυσικών αρχών και όχι από εμπειρικές σχέσεις όπως συμβαίνει και για τα εμπορικά πλοία. Όπως προτάθηκε [9], [10], η επίδραση των βασικών παραμέτρων, οι οποίες ρυθμίζουν την απόκριση του πλοίου στη θάλασσα, πρέπει να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς. Ξεκινώντας με τη διαδικασία του IACS, η οποία είναι σε συμφωνία με το STANAG 4154, προσδιορίζονται οι συντελεστές, μέσω των οποίων λαμβάνεται υπόψη το ιδιαίτερα λεπτόγραμμο σχήμα των πολεμικών πλοίων, οι εν γένει μη κατακόρυφες πλευρές τους και η ταχύτητά τους. Ως εκ τούτου, οι σχέσεις υπολογισμού, που προτείνονται από τους νηογνώμονες και προέρχονται από τους κανονισμούς των εμπορικών πλοίων, περιέχουν διορθωτικούς συντελεστές. Αυτοί οι συντελεστές είναι δυνατό να ληφθούν και από τις άμεσες μεθόδους ανάλυσης για τις μη γραμμικές κινήσεις του πλοίου.

Όπως συμβαίνει και στα ταχύπλοα ή σε μερικούς τύπους εμπορικών πλοίων (για παράδειγμα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ή κρουαζιερόπλοια), η πρόσκρουση των παρειών της πλώρης (bow flare) των πολεμικών πλοίων με τα κύματα μπορεί να αυξήσει τις καμπτικές ροπές, οι οποίες αυξάνουν σημαντικά το βέλος κάμψης κατά τη σχεδίαση (design sagging).

Ο υπολογισμός των κινήσεων του πλοίου είναι θεμελιώδους σημασίας για το σωστό προσδιορισμό των δυναμικών φορτίων που ενεργούν επί του σκάφους. Μια τέτοια ανάλυση επιτρέπει τον υπολογισμό της δυναμικής συνιστώσας των τοπικών πιέσεων, αλλά και τις συνιστώσες της επιτάχυνσης στους τρεις άξονες, οι οποίες αμφότερες δρουν όχι μόνο στο κέντρο βάρους του πλοίου, αλλά και κατά μήκος του πλοίου. Ο αξιόπιστος προσδιορισμός αυτών των επιταχύνσεων είναι απαραίτητος προκειμένου να αξιολογηθεί σωστά η συμπεριφορά διαφόρων σημαντικών κατασκευαστικών στοιχείων, όπως για παράδειγμα των συστημάτων μάχης. Επίσης σημαντικός είναι και ο προσδιορισμός των δυναμικών παραγόντων που αυξάνουν τα φορτία, όπως αυτοί που προέρχονται από τη στάθμευση των αεροσκαφών.

1.4.1.2 Κρούσεις που προκαλούνται από φορτία λόγω «μαστιγώματος» (Slam induced whipping loads).

Το «μαστίγωμα» είναι μια μεταβατική απόκριση της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου και οφείλεται στη σφυρόκρουση της πρωραίας παρειάς ή του πυθμένα. Το φαινόμενο

αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση καμπτικών ροπών χαμηλής συχνότητας στη μεταλλική κατασκευή του πλοίου (κυρίως πρώτης τάξης φυσική συχνότητα της μεταλλικής κατασκευής). Η επίδραση των φορτίων από «μαστιγώμα» στην καταστροφή από κόπωση μπορεί να είναι σημαντική για λεπτόγραμμα και ταχύπλοα πλοία [11]. Οι διαμήκεις καταπονήσεις επηρεάζονται σημαντικά από τις επιδράσεις της σφυρόκρουσης, ειδικά σε πλοία μικρού ή μεσαίου μεγέθους. Γενικά, φαίνεται ότι οι υψηλές καταπονήσεις που προέρχονται από τους κυματισμούς και οι υψηλές καταπονήσεις που προέρχονται από τη σφυρόκρουση συμβαίνουν ταυτόχρονα. Βέβαια, έχει παρατηρηθεί η τάση να υπάρχει μια διαφορά φάσης μεταξύ της έναρξης του «μαστιγώματος» και της κορυφής που παρουσιάζουν οι καταπονήσεις στην κατάσταση που το πλοίο βρίσκεται στην κορυφή του κύματος, από -20° έως 70° [12]. Η εμφάνιση φαινομένων σφυρόκρουσης προβλέπεται στην αναλυτική προσέγγιση με βάση τη σχετική ταχύτητα πλοίου και κυμάτων [11].

Από τις μετρήσεις της καμπτικής ροπής για τέσσερα μονόγαστρα πλοία δοκιμών, αποδείχθηκε [13] ότι η μέση καμπτική ροπή που οφείλεται στο κατακόρυφο «μαστιγώμα» (vertical whipping) στο μέσο του πλοίου είναι συνάρτηση του μήκους του πλοίου και του πλάτους, κατά τον όρο: $L_{BP}^2 \cdot B$. Η μέγιστη ροπή «μαστιγώματος» βρέθηκε 4.6 φορές υψηλότερη από αυτή της μέσης τιμής. Έτσι προτάθηκε [12] η χρήση πιθανολογικών μοντέλων για την πρόβλεψη της μέγιστης συνδυασμένης καταπόνησης, θεωρώντας τις καταπονήσεις από τους κυματισμούς και το «μαστιγώμα» ως ανεξάρτητες και ως συσχετισμένες. Επιπλέον διατυπώθηκε [14] μία εμπειρική εξίσωση για τον προσδιορισμό της μέγιστης καμπτικής ροπής που εμφανίζεται σε όλη τη διάρκεια ζωής στο μέσο του πλοίου, λαμβάνοντας υπόψιν τις καταπονήσεις που οφείλονται στους κυματισμούς και στο «μαστιγώμα». Αυτός ο υπολογισμός χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης για τη σχεδίαση του πλοίου σε κόπωση (fatigue design) [15]:

$$BM_{MAX} = C1 \cdot (L^{2.5} \cdot B) \quad (1)$$

Όπου: L το μήκος του πλοίου, B το πλάτος του πλοίου και $C1$ συντελεστής που υπολογίζεται ανάλογα με τη διάρκεια ζωής του πλοίου (π.χ. 30, 40, 50 έτη), την κατάσταση φόρτισης (π.χ. στην κορυφή του κύματος ή στην κοιλάδα του κύματος) και τον τύπο του πολεμικού πλοίου (π.χ. φρεγάτες, βοηθητικά, κ.λπ.).

1.4.1.3 Τοπική σφυρόκρουση.

Οι πιέσεις από το φαινόμενο της σφυρόκρουσης δεν είναι σημαντικές μόνο για τα φαινόμενα «μαστιγώματος» που μπορεί να δημιουργήσουν στην κατασκευή, αλλά και για την τοπική αύξηση των φορτίων, τα οποία επηρεάζουν σοβαρά την κατασκευή του πυθμένα, της πλώρης και της πρύμνης. Οι εξισώσεις για τον προσδιορισμό των ισοδύναμων πιέσεων σχεδίασης (φορτίων) βασίζονται γενικά στη σφυρόκρουση Ochi – Motter. Τα κρουστικά φορτία μπορούν να υπολογιστούν επίσης και από άμεσους υπολογισμούς. Η πίεση σχεδίασης λόγω σφυρόκρουσης, για τα εμπορικά πλοία, μπορεί να περιοστεί μερικές φορές, θεωρώντας μια συγκεκριμένη (χαμηλή) συχνότητα κρούσεων, δεχόμενοι ότι το πλοίο θα λειτουργεί σύμφωνα με τα προδιαγεγραμμένα από τους κανονισμούς των νηογνομώνων πρότυπα και θα αποφεύγει τις κρούσεις με τα κύματα, αλλάζοντας πορεία και μειώνοντας ταχύτητα κ.λπ. Αντίθετα τα πολεμικά πλοία σε αντίστοιχες ακραίες συνθήκες θάλασσας και

υπό ορισμένες περιστάσεις μπορεί να μην έχουν αυτές τις επιλογές καθώς μπορεί να υποχρεωθούν να υποστούν τις ακραίες φορτίσεις από τους κυματισμούς.

1.4.1.4 Επιπτώσεις των περιβαλλοντικών φορτίσεων στα έξαλα (topside) των πολεμικών πλοίων.

Τα έξαλα των πολεμικών πλοίων σχεδιάζονται έτσι ώστε να υπάρξει ο καλύτερος συμβιβασμός μεταξύ πολλών παραγόντων, όπως είναι η ανάγκη για λειτουργικούς χώρους, μερικοί από αυτούς πρέπει να έχουν επαρκή προστασία από τα εχθρικά πυρά, η ανάγκη για μικρή υπογραφή στα ραντάρ (Radar Cross Section – RCS), η ανάγκη για εγκατάσταση του εξοπλισμού των συστημάτων μάχης (Combat Systems – CS), λαμβάνοντας υπόψιν τις τυχούσες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συσκευών και τις επιπτώσεις από επαφή άμεση ή έμμεση με τα θερμά καυσαέρια σε αυτά και τις επιδόσεις τους. Τα κυριότερα περιβαλλοντικά φορτία, που επηρεάζουν τη σχεδίαση των εξάλων των πολεμικών πλοίων, εκτός από τις επιταχύνσεις εξαιτίας των κινήσεων και των κραδασμών του πλοίου, είναι οι ισχυροί άνεμοι και η παρουσία πάγου. Αυτές οι συνθήκες αντιμετωπίζονται όπως και στα συμβατικά (εμπορικά πλοία), λαμβάνοντας υπόψιν ότι για τις υπερκατασκευές των πολεμικών πλοίων ο πραγματικός περιορισμός δεν είναι η εγγενής αντοχή τους, αλλά η ικανότητα τους να εξασφαλίζουν τη σωστή λειτουργία των συστημάτων μάχης ακόμη και υπό αντίξοες καιρικές συνθήκες.

1.4.1.5 Θερμικά φορτία.

Τα θερμικά φορτία, όπως αυτά που προκύπτουν από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία, μπορούν να αποτελέσουν ένα σημαντικό παράγοντα προς εξέταση, ανάλογα με τις επιχειρησιακές απαιτήσεις των αποστολών και τις λειτουργικές απαιτήσεις των διαφόρων συστημάτων. Οι προκύπτουσες αποκλίσεις από την ορθή λειτουργία θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ακρίβεια των αισθητήρων ή των συστημάτων μάχης που εξαρτώνται από τους αισθητήρες και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού.

1.4.1.6 Φορτία λόγω πάγου.

Τα φορτία λόγω σχηματισμού πάγου στις υπερκατασκευές και σε άλλες εκτεθειμένες περιοχές αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο. Όσον αφορά την παρουσία επιπλέοντος πάγου στη θάλασσα, οι υπάρχοντες κανονισμοί νηογνώμωνων κάνουν αναφορά στις κατηγορίες για πλεύση σε πάγο των εμπορικών πλοίων ή σε ισοδύναμους κανονισμούς, όπως είναι οι Καναδικοί ή Φινλανδικοί / Σουηδικοί. Λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι ο ιδιοκτήτης του πολεμικού πλοίου είναι πλήρως υπεύθυνος για την επιλογή του περιβάλλοντος αναφοράς. Το περιβάλλον αναφοράς καθορίζει τις συνθήκες λειτουργίας, τα υλικά της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου και γενικά βάσει αυτού γίνεται η αξιολόγηση ολόκληρης της εν λόγω κατασκευής του πλοίου. Αναλόγως δίδεται και η κατηγορία για πλεύση σε πάγο του συγκεκριμένου πλοίου (Ice Class).

1.4.1.7 Μέγιστη αντοχή (Ultimate strength).

Η μέγιστη αντοχή της γάστρας των πολεμικών πλοίων στο σύνολό της χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Σε αυτά τα πλοία πρέπει να θεωρούνται εκτός της μέγιστης αντοχής σε άθικτη κατάσταση, η μέγιστη αντοχή σε κατάσταση βλάβης, έπειτα από κάποιο ατύχημα (δηλαδή σύγκρουση ή προσάραξη), όπως επίσης και η μέγιστη αντοχή σε κατάσταση βλάβης έπειτα από εχθρικά πυρά. Ωστόσο, οι μέθοδοι για την αξιολόγηση της μέγιστης αντοχής για κάθε περίπτωση είναι οι ίδιες. Η κύρια διαφορά, εκτός από τις κατασκευαστικές διαφορές εξαιτίας της βλάβης, έγκειται στα θεωρούμενα θαλάσσια φορτία. Ενώ το σκάφος σε άθικτη κατάσταση θα πρέπει να αντέξει όλα τα κύματα για τα οποία έχει σχεδιαστεί, και μάλιστα η απόκρισή του θα πρέπει να είναι εντός της ελαστικής περιοχής (εκτός από περιπτώσεις τυχαίων ακραίων γιγαντιαίων κυμάτων, τα οποία μπορεί να το φέρουν στην οριακή κατάσταση αστοχίας), το κατεστραμμένο πλοίο θα φθάσει στην οριακή κατάσταση αστοχίας υπό σημαντικά μικρότερα φορτία.

1.4.1.8 Κόπωση (Fatigue).

Οι μεθοδολογίες σχεδιασμού των εμπορικών πλοίων, οι οποίες βασίζονται στην κόπωση, και η βελτίωσή τους αναλύονται ευρύτατα και διεξοδικά στη βιβλιογραφία [16], [17], [18]. Οι κυριότερες περιοχές στα πολεμικά πλοία, στις οποίες εμφανίζεται η κόπωση, είναι οι κατασκευαστικές ασυνέχειες όπως τα άκρα των υπερκατασκευών και υπερκατασκευασμάτων, τα ανοίγματα του καταστρώματος στους χώρους του μηχανοστασίου και των οπλικών συστημάτων, ασυνέχειες στο κατάστρωμα (deck knuckles) και η ένωση των εγκάρσιων ενισχυτικών με τα διαμήκη ενισχυτικά. Επιπλέον έχουν μελετηθεί [19] τυπικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες και πρακτικές σχεδίασης για πολεμικά πλοία. Άλλοι ερευνητές μελέτησαν τις μεθόδους ανάλυσης που βασίζονται στην κόπωση όσον αφορά τα εμπορικά και πολεμικά πλοία, βασισμένοι στις προσεγγίσεις του Αμερικανικού Νηογνώμονα και του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ. Η τελευταία μελέτη έδειξε ότι η κύρια διαφορά, ανάμεσα σε εμπορικά και πολεμικά πλοία, είναι το φάσμα των φορτίσεων κατά τη διάρκεια ζωής τους, που οφείλεται στο διαφορετικό περιβάλλον λειτουργίας.

Γενικά, τα εμπορικά πλοία λειτουργούν στη θάλασσα το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου ζωής τους, π.χ. το 85% των 20 ετών, του χρόνου ζωής για τον οποίο έχουν σχεδιαστεί. Αντίθετα τα πολεμικά πλοία περνούν πολύ λιγότερο χρόνο της ζωής τους στη θάλασσα σε ήπιες καταστάσεις θάλασσας, π.χ. το 35% των 30 ή 40 ετών (δηλαδή του χρόνου ζωής για τον οποίο έχουν σχεδιαστεί). Ο Αγγλικός Νηογνώμονας [20] απαιτεί άμεση φασματική ανάλυση κόπωσης (Fatigue Direct Analysis – FDA Level 3) για τα μεγάλα πολεμικά πλοία. Ο Γερμανικός [21] και ο Ιταλικός Νηογνώμονας [22] έχουν υιοθετήσει μία απλοποιημένη μέθοδο, η οποία βασίζεται στα κριτήρια των εμπορικών πλοίων. Τα κριτήρια αυτά κάνουν χρήση των μέγιστων επιτρεπόμενων τάσεων λαμβάνοντας υπόψιν τον αυξημένο χρόνο ζωής των πολεμικών πλοίων, για παράδειγμα είναι 25 έτη για το Γερμανικό και 30 έτη για τον Ιταλικό Νηογνώμονα. Την κόπωση της κατασκευής μπορεί να επηρεάσουν εκτός από τα φορτία λόγω κυματισμών και οι ροπές «μαστιγώματος» που οφείλονται στη σφυρόκρουση των πρωραίων παρειών ή του πυθμένα.

1.4.2 Σχεδίαση σύμφωνα με τα φορτία λειτουργίας.

1.4.2.1 Κραδασμοί.

Οι κραδασμοί εκτός από τις πιθανές επιπτώσεις στην αξιοπιστία της κατασκευής και το θόρυβο, μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά και τη σωστή λειτουργία των συστημάτων μάχης. Ανάλογα με τη φύση των υποστηριζόμενων οπλικών συστημάτων ή κεραιών, καθώς επίσης και ανάλογα με τη θέση τους επί του πλοίου, οι εδράσεις των συστημάτων μάχης πρέπει να σχεδιαστούν πολύ προσεκτικά. Ο σχεδιασμός των εδράσεων αυτών πρέπει να εξασφαλίζει ότι μπορούν να ικανοποιήσουν όλες τις απαιτήσεις της ημιστατικής (ακραίες περιβαλλοντικές φορτίσεις, φορτία από εκρήξεις κ.λπ.) και της δυναμικής (απόκριση στις πηγές κραδασμών) ανάλυσης. Οι αναλύσεις αυτές συνεπάγονται εκτεταμένη χρήση αριθμητικών προσομοιώσεων και εξελιγμένες μεθόδους ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία, όπως είναι οι μη γραμμικοί μεταβατικοί υπολογισμοί σε αμφότερα τα πεδία συχνοτήτων και χρόνου. Οι απαιτήσεις των συστημάτων μάχης, όπως επίσης τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των υπολογισμών είναι απόρρητες πληροφορίες. Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός αυτών των εδράσεων είναι ότι συχνά πρέπει να ικανοποιούν πολύ περιορισμένες ελάχιστες τιμές ακαμψίας.

1.4.2.2 Φορτία προερχόμενα από απονήωση, προσνήωση και στάθμευση αεροσκαφών.

Ένα τυπικό παράδειγμα για τη διαστασιολόγηση των διαφόρων τμημάτων της υπερκατασκευής, έχοντας ως γνώμονα τη μέγιστη αντοχή, είναι η ζώνη πρόσκρουσης (crash zone) γύρω από το κατάστρωμα ελικοπτέρου σε φρεγάτες και κορβέτες. Ενώ η κατασκευή του προδιαγεγραμμένου σημείου προσνήωσης διαστασιολογείται βάσει του ορίου έναρξης της διαρροής υπό το φορτίο λειτουργίας (για παράδειγμα τρεις ή τέσσερις φορές το βάρος του ελικοπτέρου), ολόκληρη η περιοχή του καταστρώματος πρέπει να αντέξει μια πιθανή πρόσκρουση. Για ένα τέτοιο σενάριο πρόσκρουσης, θεωρείται ακόμη υψηλότερο φορτίο (π.χ. έξι φορές το βάρος του ελικοπτέρου), αλλά η κατασκευή διαστασιολογείται μόνο έναντι μέγιστης αντοχής – επιτρέποντας μόνιμη παραμόρφωση, αλλά όχι κατάρρευση. Αν και η ανάλυση με τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να εφαρμοστεί και σε αυτή την περίπτωση, συνήθως κατά τη σχεδίαση χρησιμοποιούνται οι αναλυτικές σχέσεις υπολογισμού πλαστικής δοκού υπό κάμψη. Για μια τέτοια προσέγγιση σχεδιασμού, η ρηγμάτωση (tearing) ή η θραύση (fraction) είναι οριακές καταστάσεις που πρέπει να αποφεύγονται. Τέλος υπάρχουν μελέτες [23] μεθόδων για την πρόβλεψη της θραύσης.

1.4.2.3 Φορτία από ίδια οπλικά συστήματα.

Ένα επιπλέον φορτίο, που προκύπτει από τη λειτουργία των πολεμικών πλοίων, είναι η φόρτιση που προκαλούν τα θερμά αέρια από τις κάνες των πυροβόλων (muzzle blast) του ίδιου του πλοίου. Οι βολές των πυροβόλων υπό μικρή γωνία ανύψωσης της κάνης,

υποβάλλουν το κατάστρωμα, γύρω από το πυροβόλο, σε αρκετά υψηλές πιέσεις. Αυτή η κατάσταση φόρτισης γίνεται όλο και σημαντικότερη για τις νέες φρεγάτες και κορβέτες, οι οποίες διαθέτουν πολύ μικρά πάχη ελασμάτων στα καταστρώματα, ώστε να ελαχιστοποιούν το βάρος της μεταλλικής κατασκευής. Εάν δεν αναλυθεί η απόκριση του καταστρώματος, σε αυτό το δυναμικό φορτίο, με τη βοήθεια πεπερασμένων στοιχείων στο πεδίο του χρόνου, λαμβάνοντας υπόψη τη διάδοση του κύματος πίεσης, η διαστασιολόγηση των ελασμάτων θα πρέπει να γίνει βάσει της μέγιστης αντοχής ενός μεμονωμένου τμήματος υπό πλευρική φόρτιση (lateral pressure) και αγνοώντας τις μεμβρανικές τάσεις. Οι πιέσεις και τα δυναμικά θερμοκρασίας που σχετίζονται με την εκτόξευση πυραύλων πρέπει να αναλυθούν με απευθείας (direct) υπολογισμούς όπως συμβαίνει και με τις βολές των πυροβόλων. Ακόμη και στην περίπτωση πυροβόλων μικρού και μεσαίου διαμετρήματος πρέπει να γίνεται ανάλυση για να διασφαλίζεται ότι οι εδράσεις και τα γειτονικά τμήματα της κατασκευής δεν επηρεάζονται από επικίνδυνους κραδασμούς, οι οποίοι μπορεί να οδηγήσουν σε ρηγματώσεις της κατασκευής λόγω κόπωσης.

1.4.2.4 Φορτία λόγω ανεφοδιασμού.

Οι διαδικασίες ανεφοδιασμού εν πλω είναι άλλη μία ιδιαιτερότητα των πολεμικών πλοίων. Ο κατακόρυφος ανεφοδιασμός (VERTREP) και κυρίως ο ανεφοδιασμός εν πλω (RAS), με μεθόδους είτε από την πρύμνη είτε από τις πλευρές του πλοίου, υποβάλλει τα καταστρώματα και τις υπερκατασκευές σε επιπλέον φορτίσεις. Γενικά τα φορτία ελέγχου περιλαμβάνουν και κάποιους συντελεστές ασφαλείας σε σχέση με τα φορτία λειτουργίας. Έτσι, η χρήση αυτών των φορτίων (σ.σ. φορτίων ελέγχου) στους υπολογισμούς των σχετικών στοιχείων της κατασκευής, διασφαλίζει συνήθως επαρκή αντοχή, όπως έχει επιβεβαιωθεί από τη θετική εμπειρία του παρελθόντος.

1.5 Σχεδιασμός της κατασκευής σύμφωνα με τα φορτία από στρατιωτικές επιχειρήσεις.

Τα πολεμικά πλοία επιφανείας απαιτείται να διατηρούν ένα υψηλό επίπεδο επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας, ιδιαίτερα στην περίπτωση που δέχονται επίθεση από εχθρικές δυνάμεις. Πέρα από τις κανονικές απαιτήσεις σχεδίασης, όσον αφορά τα πολεμικά πλοία, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ένας επιπλέον παράγοντας σχεδίασης, δεδομένου ότι ένα πολεμικό πλοίο πρέπει να έχει επαρκή αντοχή σε συνθήκες μάχης. Αυτός ο παράγοντας είναι βασικός ώστε να επιβεβαιώνεται η ικανότητα του πλοίου να επιβιώνει ακόμη και μετά την προσβολή του από εχθρικά πυρά. Οι επιδράσεις των εχθρικών πυρών που θα πρέπει να εξεταστούν είναι: επιθέσεις πάνω από τη θάλασσα, κυρίως εσωτερικές, αλλά και εξωτερικές εκρήξεις, υποθαλάσσιες εκρήξεις, ακραίες φορτίσεις και «μαστιγώμα», θραύσματα (fragmentation) και παραμένονσα αντοχή.

Για να ελαχιστοποιηθεί η τρωτότητα των πλοίων πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα, όπως είναι η ενσωμάτωση προστατευτικών ή σκληρυμένων κατασκευών και εξοπλισμού. Οι διατάξεις των συστημάτων και των κατασκευαστικών τμημάτων θα πρέπει να είναι διαμορφωμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η μεγαλύτερη πιθανότητα επιβίωσης κατά τη διάρκεια της μάχης. Ο ρόλος του πλοίου είναι αυτός που θα καθορίσει και τα ελάχιστα αποδεκτά πρότυπα ευπάθειας έναντι εχθρικής επίθεσης.

Επιπλέον, σημασία κατά το σχεδιασμό ενός πλοίου έχει και η πολιτική υποδιαίρεσης που υιοθετήθηκε. Η έκταση και το πρότυπο υποδιαίρεσης που υιοθετήθηκαν έχουν σημαντική επίδραση στην ασφάλεια και την αντίσταση του πλοίου έναντι βλάβης από τις επιδράσεις των εχθρικών οπλικών συστημάτων. Η υποδιαίρεση που υιοθετείται θα πρέπει να εξασφαλίζει και επαρκή αντίσταση στην εξάπλωση της πυρκαγιάς, του καπνού και της πλημμύρας (flooding). Εκτιμήσεις, όσον αφορά τη διάταξη και την αντοχή τίθενται προς συζήτηση μόνο όταν επηρεάζουν τη δομή και τα κατασκευαστικά πρότυπα των μέσων υδατοστεγούς και αεροστεγούς (smoke-tight) υποδιαίρεσης.

Ένα πολεμικό πλοίο, όπως για παράδειγμα μια φρεγάτα, μπορεί να εκτεθεί σε μία πληθώρα οπλικών συστημάτων είτε άνωθεν (π.χ. πύραυλοι, βόμβες, οβίδες και πυρηνικές εκρήξεις) είτε κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (π.χ. τορπίλες και νάρκες). Τα αποτελέσματα κάθε όπλου διαφέρουν σημαντικά. Σε κάθε περίπτωση, το όπλο μπορεί να εκρήγνυται κατά ή ακολουθώντας την επαφή του με το πλοίο ή από απόσταση, χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρονικό πυροκροτητή που προκαλεί την έκρηξη του βλήματος, όταν έρχεται σε προκαθορισμένη απόσταση από το στόχο.

Η διείσδυση ενός υποθαλάσσιου όπλου (π.χ. τορπίλη), που έπεται της σύγκρουσής του με το σκάφος, θα είναι περιορισμένη καθώς η ταχύτητά του είναι χαμηλή. Η έκταση της βλάβης, υπό την προϋπόθεση ότι δε θα υπάρξει έκρηξη περιορίζεται στην περιοχή γύρω από το σημείο που έγινε η πρόσκρουση. Παρατηρείται συχνά ότι μεγαλύτερη καταστροφή στη μεταλλική κατασκευή του σκάφους επιφέρουν οι υποθαλάσσιες εκρήξεις από απόσταση. Αυτές προκαλούν εκτεταμένες καταστροφές σε μεγάλο τμήμα του σκάφους, λόγω των ακραίων φορτίσεων που υποβάλουν το σκάφος. Επιπλέον, μπορεί να καταστραφεί η κύρια φέρουσα κατασκευή (primary structure) του πλοίου λόγω «μαστιγώματος» [24], [25], [26]. Αντίθετα, οι επιθέσεις πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας έχουν ως χαρακτηριστικό γνώρισμα τις υψηλές ταχύτητες, οπότε το όπλο διεισδύει αρκετά μέσα στο πλοίο προτού εκραγεί προκαλώντας μεγάλες βλάβες. Επιπλέον, οι εκρήξεις όπλων από απόσταση στον

αέρα έχουν ως αποτέλεσμα μόνο το πλήγμα του στόχου από τα θραύσματα της έκρηξης (εξαιρέση αποτελεί η περίπτωση των εκρηκτικών καυσίμου – αέρα). Προς τούτο κατά τη διάρκεια της σχεδίασης του πλοίου, λαμβάνονται υπόψιν όλα αυτά τα φαινόμενα, ώστε να εκτιμηθεί ικανοποιητικά η μείωση της τρωτότητας του σκάφους.

1.5.1 Επιπτώσεις επίθεσης από οπλικά συστήματα επιφανείας.

Οι επιπτώσεις των επιθέσεων από οπλικά συστήματα επιφανείας περιλαμβάνουν επιθέσεις από σφαίρες, οβίδες, μη κατευθυνόμενους πυραύλους, τρομοκρατικές ενέργειες, βόμβες, κατευθυνόμενα βλήματα. Τα όπλα υψηλής εκρηκτικότητας διαθέτουν συνήθως επαρκή ταχύτητα και αντοχή περιβλήματος για να διεισδύσουν στη μεταλλική κατασκευή και να εκραγούν εσωτερικά του πλοίου. Με χρήση ειδικών πυροκροτητών μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να εκραγούν πριν την επαφή τους ή κατά την επαφή τους με το πλοίο ή μετά τη διείσδυση τους στο πλοίο. Η καταστροφή προκαλείται από τη θερμότητα, το κύμα αέρα που δημιουργείται μετά την έκρηξη, τα θραύσματα της έκρηξης ή και από συνδυασμό όλων αυτών.

1.5.1.1 Περιπτώσεις εξωτερικών ριπών (*external blasts*).

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες αυτά τα φαινόμενα προκύπτουν από εκρήξεις που συμβαίνουν σε κάποια απόσταση από το πλοίο και προκαλούνται από εκρήξεις πυρηνικών κεφαλών, εκρήξεις συμβατικών κεφαλών υψηλής εκρηκτικότητας (*high explosive – HE*), ενισχυμένες εκρηκτικές κεφαλές, όπως για παράδειγμα εκρήξεις καυσίμου – αέρος (*fuel air explosions – FEA*), ασύμμετρη / τρομοκρατική δραστηριότητα και των ίδιων οπλικών συστημάτων του πλοίου (θερμά καυσαέρια από τα πυροβόλα και την εκτόξευση πυραύλων).

Γενικά, τα αποτελέσματα όλων των ριπών αέρος υπακούν στον ίδιο νόμο κλιμάκωσης ($R/W_e^{1/3}$) ανεξάρτητα από το είδος της έκρηξης, είτε αυτή είναι πυρηνική [27] ή συμβατική [28].

Οι σημαντικές διαφορές προέρχονται από τη σχέση μεταξύ του χαρακτηριστικού μήκους του ωστικού κύματος της έκρηξης και των χαρακτηριστικών μηκών της κατασκευής που φορτίζεται. Το απόλυτο μήκος του ωστικού κύματος μίας πυρηνικής έκρηξης είναι 100 φορές μεγαλύτερο από αυτό μίας συμβατικής έκρηξης. Έτσι το χαρακτηριστικό μήκος ενός πυρηνικού παλμού είναι τάξης μεγέθους του μήκους του πλοίου και ως εκ τούτου η φόρτιση επηρεάζει ολόκληρη την κατασκευή στο σύνολό της. Αντίθετα, το χαρακτηριστικό μήκος από συμβατικές εκρήξεις είναι τάξης μεγέθους της ισαπόστασης των νομέων ή του ύψους των καταστρωμάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η φόρτιση να επηρεάζει την κατασκευή μόνο τοπικά. Η περιοχή που έχει επηρεαστεί από την έκρηξη είναι συγκρίσιμη με το χαρακτηριστικό μήκος κύματος αυτής (σ.σ. της έκρηξης).

Ο χρόνος δράσης του ωστικού κύματος της έκρηξης σχετίζεται με το μήκος κύματος αυτής. Συνεπώς, η απόκριση της κατασκευής επηρεάζεται έντονα από τους χρόνους απόκρισης του συστήματος (φυσικές συχνότητες). Η εξέταση αυτών των συσχετίσεων καθορίζει εάν στην απόκριση του συστήματος θα επικρατήσουν κρουστικά φαινόμενα ή

ημιστατική συμπεριφορά. Αυτή η απόκριση του συστήματος καθορίζει την πιο κατάλληλη μέθοδο ανάλυσης που θα πρέπει να υιοθετηθεί κατά τη διάρκεια της σχεδίασης.

Όλα τα τμήματα της κατασκευής του πλοίου, τα οποία επηρεάζουν την επιχειρησιακή ικανότητα και επιβιωσιμότητά του, πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούν μια σειρά προκαθορισμένων κριτηρίων. Αυτά τα κριτήρια καθορίζονται συνήθως από το ρόλο του πλοίου και προδιαγράφονται στις επιχειρησιακές απαιτήσεις. Η υιοθέτηση συγκεκριμένων κριτηρίων μπορεί να γίνει μέσω σχετικών υπολογισμών [29] ή/και με χρήση σχετικών δεδομένων από πειράματα εκρήξεων ευρείας κλίμακας.

Έχοντας υπόψιν τη χρονική εξάρτηση των κρουστικών φορτίσεων, που επάγονται στην κατασκευή από τη ριπή αερίων λόγω έκρηξης, η χρήση στατικής ανάλυσης για τον υπολογισμό των φορτίων αυτής έχει σοβαρούς περιορισμούς. Ωστόσο, αν η στατική ανάλυση συνδυαστεί με κατάλληλους συντελεστές δυναμικής φόρτισης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μία πρώτη προσέγγιση κατά τη φάση του αρχικού σχεδιασμού [30].

1.5.1.2 Εσωτερικές εκρήξεις.

Η εσωτερική έκρηξη συμβαίνει συνήθως, όταν διαρραγεί το περίβλημα του σκάφους πριν την έκρηξη και προκαλείται ως επί το πλείστον από τα συμβατικά όπλα. Συνήθως, αυτά τα όπλα έχουν κατάλληλη ενίσχυση (armour piercing – AP ή semi armour piercing – SAP) για να διεισδύουν από το εξωτερικό περίβλημα και δυνατότητα χρονικής υστέρησης της έκρηξης, για βελτιστοποίηση της θέσης του πλήγματος στο εσωτερικό του πλοίου.

Χαρακτηριστικά της έκρηξης. Το ωστικό κύμα που δημιουργείται από τις εκρήξεις στο εσωτερικό του πλοίου εξαρτάται από τη μάζα, το σχήμα, τον τύπο και τη θέση της γόμωσης σε σχέση με την περιβάλλουσα κατασκευή. Το αρχικό χαρακτηριστικό ωστικό κύμα είναι ίδιο με αυτό της έκρηξης σε άπειρο χώρο. Οι κύριες διαφορές τους είναι αποτέλεσμα των πολλαπλών περιοριστικών στοιχείων, που προκαλούν πολλαπλές ανακλάσεις και ο περιορισμός των θερμών αερίων, ο οποίος οδηγεί στη δημιουργία μίας ημιστατικής υπερπίεσης. Επομένως, η φόρτιση από την έκρηξη ενός όπλου υψηλής εκρηκτικότητας μπορεί να θεωρηθεί ότι πραγματοποιείται σε διακριτές φάσεις:

- Ωστικό κύμα. Ανάλογα με τη γεωμετρία του διαμερίσματος, το αρχικά σφαιρικό ωστικό κύμα ανακλάται αρκετές φορές στα όρια ή στον εσωτερικό εξοπλισμό έως ότου αποσβεστεί. Αν και η φόρτιση μεταβάλλεται αρκετά στην έκταση της κατασκευής, για υπολογιστικούς λόγους είναι δυνατό να απλοποιήσουμε αυτό το αρχικό στάδιο σε τρία ανακλώμενα ωστικά κύματα. Η συνολική επίδραση των τριών κυμάτων μπορεί να εκτιμηθεί από την παρακάτω ισότητα:

$$I_{imp} = 1.75 \cdot R_f \cdot I_i \quad (2)$$

Όπου: I_i = εμπειρικά προσδιορισμένες πληροφορίες, R_f = συντελεστής ανάκλασης, 1.75 = συντελεστής, ο οποίος ενσωματώνει τις επιδράσεις και των τριών ανακλώμενων κυμάτων.

- Ημιστατική υπερπίεση. Σε αυτή τη φάση συμμετέχουν δύο κύρια φαινόμενα, φαινόμενα θερμότητας (θερμότητα από την έκρηξη, θερμότητα του κύματος

της έκρηξης και θερμότητα μετάκαυσης) και φαινόμενα αερίων. Αυτή η φάση μπορεί να απλοποιηθεί θεωρώντας μία υπερπίεση των αερίων, η οποία αυξάνεται γραμμικά μέχρι μία μέγιστη τιμή. Αυτή η μέγιστη τιμή μπορεί να προσεγγιστεί από την εξίσωση Weibull:

$$P_{qs} = 2.25 \cdot 10^6 \cdot \left(W_e / V \right)^{0.72} \quad (3)$$

Όπου: V = όγκος του διαμερίσματος [m^3], W_e = η ισοδύναμη μάζα TNT της εκρηκτικής γόμωσης, υπολογισμένη σύμφωνα με τη θερμότητα της καύσης [kg].



Εικόνα 1. USS Cole [31].

- Φόρτιση της κατασκευής του πλοίου. Γενικά η φόρτιση από τους χρονοεξαρτώμενους παλμούς (ωστικά κύματα) είναι περίπου ίδια όπως η φόρτιση κατά τη διάρκεια της φάσης αυξανόμενης ημιστατικής υπερπίεσης. Συνεπώς, χάριν απλότητας, είναι επαρκές να χρησιμοποιηθεί ως συνάρτηση φόρτισης μία βηματική συνάρτηση με μέγιστη τιμή την τιμή P_{qs} .
- Αερισμός. Είναι πιθανό ότι ο αερισμός του διαμερίσματος θα γίνεται μέσω ανοιγμάτων όπως θύρες, κανάλια εξαερισμού και επίσης μέσω των οπών που έχουν προκαλέσει τα εχθρικά πυρά. Λόγω του αερισμού μπορεί να μειωθεί η μέγιστη πίεση που θα αναπτυχθεί σε ένα διαμέρισμα, αλλά θα επιτρέψει την αύξηση της πίεσης σε γειτονικά διαμερίσματα.
- Κατασκευαστικός σχεδιασμός για εσωτερικές εκρήξεις. Έπειτα από τον υπολογισμό της υπερπίεσης στο διαμέρισμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία απλοποιημένη μεθοδολογία για τον υπολογισμό της έκτασης της βλάβης από την εσωτερική έκρηξη. Με αυτή τη μέθοδο επεκτείνεται σταδιακά η βλάβη και στα γειτονικά διαμερίσματα μέχρι η ημιστατική υπερπίεση να φθάσει σε ένα

τέτοιο επίπεδο, ώστε να μπορεί πλέον να περιοριστεί από τα όρια της κατασκευής. Αυτός ο τρόπος είναι μία αμιγώς στατική προσέγγιση σε ένα δυναμικό πρόβλημα.

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της κατασκευής και είναι (με αύξουσα σειρά πολυπλοκότητας) οι εξής:

- i. στατικοί υπολογισμοί, στους οποίους τα δυναμικά φορτία αντικαθίστανται από ισοδύναμα στατικά φορτία,
- ii. η απλοποιημένη δυναμική ανάλυση, στην οποία τα κατασκευαστικά στοιχεία και οι κατασκευές αντικαθίστανται από ισοδύναμα συστήματα ενός βαθμού ελευθερίας και
- iii. τέλος η λεπτομερής δυναμική ανάλυση, στην οποία χρησιμοποιούνται κώδικες πεπερασμένων στοιχείων σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές και ενδεχομένως να γίνεται χρήση φαινομένων αλληλεπίδρασης του ρευστού (αερίων της έκρηξης) με την κατασκευή.

1.5.2 Επιδράσεις υποθαλάσσιων όπλων.

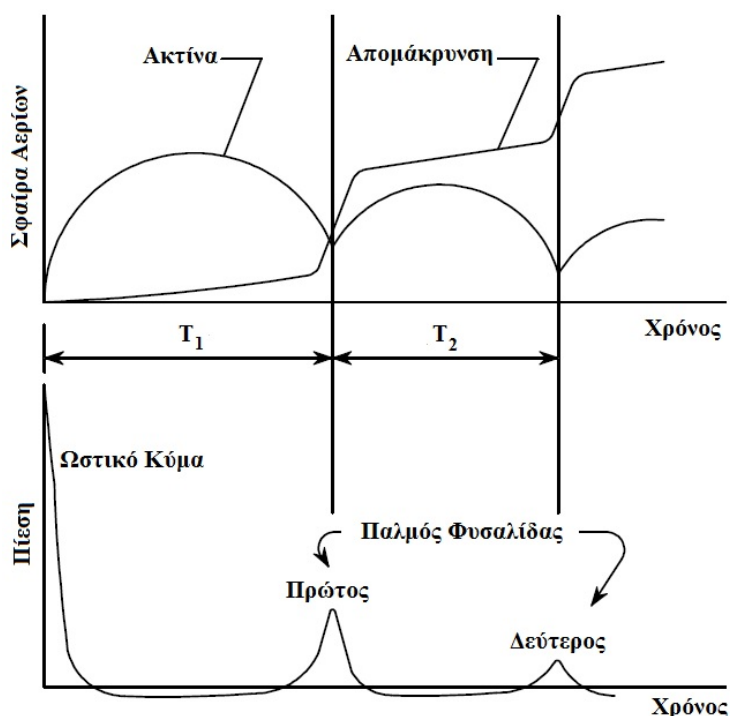
Τα υποθαλάσσια όπλα αποτελούν οι τορπίλες και οι νάρκες, αν και οι βόμβες που εκρήγνυνται σε μικρή απόσταση από το πλοίο και κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας μπορεί να έχουν ίδια αποτελέσματα. Αμφότερες οι νάρκες και οι τορπίλες μπορούν να ενεργοποιηθούν από τις υπογραφές ενός πλοίου, να το ακολουθήσουν και να εκραγούν σε πολύ μικρή απόσταση από αυτό. Τα υποθαλάσσια όπλα εκρήγνυνται συνήθως σε μικρή απόσταση από τη γάστρα του πλοίου, προξενώντας σημαντικές βλάβες λόγω των ακραίων φορτίων που επάγουν και λόγω του φαινομένου του «μαστιγώματος». Τα ακραία φορτία μπορεί να καταστρέψουν τον εξοπλισμό, το μηχανολογικό εξοπλισμό και το προσωπικό ή να προκαλέσουν μεγάλες παραμορφώσεις ή ρήξη της γάστρας του πλοίου αν είναι πολύ ισχυρά. Το «μαστιγώμα», το οποίο συνίσταται σε συντονισμένη ταλάντωση του σκάφους με μεγάλα πλάτη, μπορεί να προκαλέσει λυγισμό του καταστρώματος ή του πυθμένα ή ακόμη και την κατάρρευση της πρύμνης του πλοίου. Οι εκρήξεις που γίνονται σε επαφή με το πλοίο προκαλούν ρήξη της γάστρας του πλοίου (**Εικόνα 1. USS Cole.**) και φαινόμενα εσωτερικών εκρήξεων μέχρι κάποιο βαθμό, συνοδευόμενα από πυρκαγιά και ωστικά κύματα.

1.5.2.1 Παράμετροι του ωστικού κύματος.

Η υποθαλάσσια έκρηξη μίας πολύ εκρηκτικής γόμωσης μετατρέπει τη συμπαγή εκρηκτική ύλη σε αέρια προϊόντα της αντίδρασης, τα οποία έχουν εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Αυτή η πίεση μεταφέρεται στο νερό και διαδίδεται ως μία σφαιρική κυματική διαταραχή (ωστικό κύμα), η οποία κινείται περίπου με την ταχύτητα του ήχου στο νερό.

Με την έλευση του ωστικού κύματος, η πίεση αυξάνεται με ασυνεχή τρόπο έως τη μέγιστη τιμή της. Η κορύφωση (της πίεσης) ακολουθείται από μία φθίνουσα πορεία, η οποία μπορεί να προσεγγιστεί στο αρχικό της στάδιο από μία εκθετική συνάρτηση. Ο χρόνος μέχρι η πίεση να μειωθεί στο $1/e$ της μέγιστης τιμής της είναι της τάξης των 10^{-3} s. Έπειτα από αυτό

το χρονικό διάστημα ο ρυθμός μείωσης της πίεσης γίνεται μικρότερος από αυτόν της εκθετικής συνάρτησης. Η μέγιστη πίεση του ωστικού κύματος και η σταθερά μείωσης της πίεσης εξαρτώνται από το υλικό της γόμωσης, το βάρος της γόμωσης και την απόσταση έως το σημείο παρατήρησης [32]. Η ταχύτητα του ωστικού κύματος είναι περίπου πέντε φορές μεγαλύτερη της αντίστοιχης ταχύτητας στον αέρα. Τα αέρια της έκρηξης σχηματίζουν μια φυσαλίδα η οποία μπορεί να προκαλέσει επιπλέον καταστροφές αν η έκρηξη γίνει πλησίον ή κάτω από τη γάστρα του πλοίου. Αυτή η φυσαλίδα διαστέλλεται και συστέλλεται εκπέμποντας επιπλέον παλμούς πίεσης, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2**. Σε αυτούς τους παλμούς το μέγεθος της πίεσης μειώνεται συνεχώς και μάλιστα ακόμη και ο πρώτος παλμός από τη φυσαλίδα είναι πολύ ασθενέστερος σε σύγκριση με τον αρχικό παλμό πίεσης. Τυπικά, η πίεση στον πρώτο παλμό πίεσης από τη φυσαλίδα είναι περίπου το 10% του αρχικού παλμού, αλλά η σταθερά χρόνου του είναι περίπου 10 φορές μεγαλύτερη, καταλήγοντας να έχει το ίδιο αποτέλεσμα με αυτό του αρχικού ωστικού κύματος.



Εικόνα 2. Συμπεριφορά της φυσαλίδας και φόρτιση από τους παλμούς της φυσαλίδας [33].

Η περίοδος των παλμών της φυσαλίδας είναι πολύ μεγάλη σε σύγκριση με τη διάρκεια του τμήματος υψηλής πίεσης (ωστικό κύμα) στο διάγραμμα πίεσης χρόνου της έκρηξης. Κατά τη διάρκεια της κίνησης της φυσαλίδας υπάρχει αρκετός χρόνος για να δράσει αποτελεσματικά η βαρύτητα και έτσι οι δυνάμεις άντωσης οδηγούν σε μία ανοδική απομάκρυνση της φυσαλίδας. Ο ρυθμός ανόδου είναι μέγιστος, όταν η φυσαλίδα έχει το ελάχιστο μέγεθος, ενώ όταν αυτή έχει μεγάλο μέγεθος, σχεδόν μηδενίζεται. Έτσι, παρόλο που οι μέγιστες δυνάμεις άντωσης ασκούνται στη φυσαλίδα όταν αυτή έχει το μέγιστο μέγεθος, οι σχετικές δυνάμεις αντίστασης εμποδίζουν την επιτάχυνση της, μέχρι αυτή να φθάσει στο ελάχιστο μέγεθός της.

Καθώς καταρρέει η φυσαλίδα είναι ασταθής και δεν μπορεί να συρρικνωθεί σε ένα σφαιρικό σχήμα, αλλά είναι πιθανό να διαιρεθεί σε μικρότερες φυσαλίδες, οι οποίες μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους στην επόμενη εκτόνωση. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της συμπεριφοράς της φυσαλίδας είναι η «ιδιαίτερη προτίμησή» της (attraction) στις άκαμπτες (rigid) επιφάνειες. Μία άκαμπτη επιφάνεια ασκεί ελάχιστη δύναμη άπωσης όταν διαστέλλεται η φυσαλίδα, αλλά κατά τη διάρκεια της συστολής της υπάρχει μια ισχυρή έλξη. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι ότι η φυσαλίδα θα κινηθεί προς μία επιφάνεια όπως είναι η γάστρα του πλοίου και θα μείνει εκεί, αν δημιουργηθεί επαφή, προκαλώντας συνήθως μεγάλες καταστροφές κατά το σπάσιμο της. Αν, ωστόσο, το επιτιθέμενο όπλο εκραγεί πάνω ή πολύ κοντά στον πυθμένα της θάλασσας, αυτός τείνει να απορροφά τη δημιουργούμενη φυσαλίδα μειώνοντας την επίδραση των παλμών της φυσαλίδας επί του πλοίου. Μία ελεύθερη επιφάνεια, όπως είναι η επιφάνεια της θάλασσας, θα απωθήσει τη φυσαλίδα. Η δύναμη αυτή μπορεί, σε μερικές περιπτώσεις, να εξισορροπήσει τις δυνάμεις άντωσης και να προκαλέσει την ταλάντωση (pulsate) της φυσαλίδας σε σταθερό βάθος.

1.5.2.2 Φαινόμενα σπηλαιώσης.

Η σπηλαιώση που προέρχεται από υποθαλάσσιες εκρήξεις χωρίζεται γενικά σε δύο κατηγορίες τοπική σπηλαιώση της γάστρας και γενικευμένη (bulk) σπηλαιώση. Η τοπική σπηλαιώση προκαλείται από την πρόσκρουση του ωστικού κύματος επί ενός στόχου. Τα ελάσματα του στόχου επιταχύνονται και μπορεί να διαχωριστούν από το νερό ανακλώντας πίσω στο νερό ένα εντατικό κύμα (tension wave) δημιουργώντας έτσι μια τοπική περιοχή σπηλαιώσης. Εν συνεχεία, καθώς επιβραδύνεται το έλασμα, λόγω των κατασκευαστικών περιορισμών, η περιοχή της σπηλαιώσης περιορίζεται και φορτίζει το έλασμα. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να οδηγήσει σε πολύ υψηλά τοπικά φορτία.

Ακόμη και στην περίπτωση ελασμάτων που υποστηρίζονται και από την πίσω πλευρά τους από νερό (water-backed) το φορτίο που επιβάλλεται από το χτύπημα του ωστικού κύματος στην πλευρά δε μηδενίζεται ποτέ. Η βασική υπόθεση ήταν πάντοτε ότι η σπηλαιώση δεν εμφανίζεται σε αυτή την κατάσταση. Πίσω από το έλασμα, το κύμα διαδίδεται με όμοιο τρόπο όπως το αρχικό κύμα, ελαφρώς μειωμένο λόγω της επιτάχυνσης του ελάσματος. Συνεπώς το έλασμα δεν έχει μεγάλη επίδραση στο αρχικό κύμα. Στην περίπτωση του ελάσματος της γάστρας ενός πλοίου, τα ελάσματα του εξωτερικού περιβλήματος θα αποκτήσουν χαμηλότερη ταχύτητα από ό,τι θα αποκτούσαν στην περίπτωση που η μία τους πλευρά θα ήταν εκτεθειμένη στον αέρα (air-backed), ακόμη και αν η εσωτερική κατασκευή αναπτύξει μεγαλύτερη ταχύτητα από ό,τι τα εξωτερικά ελάσματα.

Σπηλαιώση εμφανίζεται, επίσης, στο νερό από την ανάκλαση του ωστικού κύματος σε μία ελεύθερη επιφάνεια. Το ανακλώμενο ωστικό κύμα, όταν συναντά ένα δεύτερο μέσο με πυκνότητα μικρότερη από του νερού, μετατρέπεται σε ένα κύμα αραιώσης (rarefaction wave) και διαδίδεται προς τα κάτω, μειώνοντας την πίεση πίσω από το αρχικό ωστικό κύμα. Η πίεση στην επιφάνεια θα πρέπει να είναι μηδενική, λόγω του αρχικού και των ανακλώμενων κυμάτων, ικανοποιώντας τις οριακές συνθήκες. Ωστόσο, κάτω από την επιφάνεια, οι δύο πιέσεις δεν έχουν μηδενικό άθροισμα τη στιγμή της αποκοπής (cut-off). Κάνοντας υπολογισμούς, η συνολική πίεση που προκύπτει μπορεί να είναι αρνητική, ανάλογα με το βάθος κάτω από την επιφάνεια. Δεδομένου ότι το νερό δεν είναι σε θέση να

υποστηρίζει την εντατική κατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα, η σπηλαιώση θα εμφανιστεί στα σημεία όπου η συνολική πίεση υπολογίζεται να έχει αρνητική τιμή.

Όταν περιοχή του νερού, η οποία σπηλαιώνει, είναι εκτεταμένη, όπως στην περίπτωση της ανάκλασης του ωστικού κύματος στην ελεύθερη επιφάνεια, το φαινόμενο ονομάζεται «γενικευμένη σπηλαιώση». Η περιοχή στην οποία συμβαίνει αυτό το φαινόμενο καλείται «περιοχή γενικευμένης σπηλαιώσης». Τα άνω και κάτω όρια αυτής της περιοχής σχηματίζουν τον καλούμενο «φάκελο γενικευμένης σπηλαιώσης». Αυτός υποδεικνύει τη μέγιστη έκταση της σπηλαιούμενης περιοχής του νερού. Η συνολική πίεση είναι το άθροισμα των διαταραχών των κυμάτων, της υδροστατικής πίεσης και της ατμοσφαιρικής πίεσης. Το νερό παραμένει σε κατάσταση σπηλαιώσης όσο η συνολική πίεση βρίσκεται χαμηλότερα από την τάση ατμών αυτού. Η τάση ατμών του νερού αντιστοιχεί σε μία μικρή αρνητική τιμή (περίπου $2.0 \text{ kPa} / 0.3 \text{ psi}$). Στις περισσότερες περιπτώσεις, η τιμή της πίεσης σπηλαιώσης μπορεί να θεωρηθεί μηδενική. Η συρρίκνωση (closure) της περιοχής γενικευμένης σπηλαιώσης επέρχεται λόγω των βαρυτικών δυνάμεων. Κατά τη διάρκεια αυτής της συρρίκνωσης δημιουργείται μία υψηλή πίεση ανατροφοδότησης. Η χρονική διάρκεια του παλμού της πίεσης ανατροφοδότησης μπορεί να προκαλέσει φορτία συντονισμού σε διάφορα τμήματα της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου.

Τα φαινόμενα, που περιγράφηκαν παραπάνω, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν σε κάθε προσέγγιση που ακολουθείται για την πρόβλεψη των φορτίων ή της απόκρισης της μεταλλικής κατασκευής εξαιτίας υποθαλάσσιων εκρήξεων.

Η απόκριση μίας πλήρως βυθισμένης ή ημιβυθισμένης κατασκευής στις επιδράσεις μίας υποθαλάσσιας έκρηξης είναι ένα μεταβατικό, τρισδιάστατο, ρευστοκατασκευαστικό πρόβλημα αλληλεπιδράσεων. Η πρόβλεψη είτε των φορτίων ή της απόκρισης της κατασκευής στα φορτία από το ωστικό κύμα και τις φυσαλίδες απαιτεί ένα πολύπλοκο συνδυασμό της απόκρισης του ρευστού και της κατασκευής. Συνήθως, η επίλυση επιτυγχάνεται με χρήση μεθόδων υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics – CFD), όσον αφορά τη συμπεριφορά του ρευστού και μεθόδων πεπερασμένων στοιχείων (Finite Elements – FE) όσον αφορά την απόκριση της κατασκευής.

1.5.2.3 Φαινόμενα «μαστιγώματος».

Μια σημαντική και περίπλοκη κατάσταση αλληλεπίδρασης ρευστού και μεταλλικής κατασκευής είναι το «μαστίγωμα» των πλοίων και των υποβρυχίων, το οποίο προκαλείται από υποθαλάσσιες εκρήξεις [34], [35]. Το «μαστίγωμα» ορίζεται ως η μεταβατική χαμηλής συχνότητας απόκριση ενός πλοίου ή ενός υποβρυχίου, η οποία προσομοιάζει με την απόκριση μίας δοκού, και προκαλείται από μεταβατικά εξωτερικά φορτία. Η πηγή του φορτίου είναι συνήθως το πεδίο ροής του ρευστού, το οποίο σχετίζεται με μία παλλόμενη και μετακινούμενη φυσαλίδα αερίων. Η φυσαλίδα αυτή προκαλείται από υποθαλάσσια έκρηξη κοντά στο σκάφος, αλλά σε καμία περίπτωση όταν η έκρηξη πραγματοποιηθεί στην επιφάνεια του πλοίου. Δεδομένου ότι η περίοδος της φυσαλίδας είναι συχνά πολύ κοντά στις χαμηλότερες συχνότητες καμπτικής ταλάντωσης του πλοίου, η επαγόμενη κίνησή του μπορεί να οδηγήσει σε ολική αστοχία της μεταλλικής κατασκευής αυτού.

Από την άλλη πλευρά, η επίδραση του ωστικού κύματος, του οποίου το φάσμα κυριαρχείται από υψηλές συχνότητες, θεωρείται μικρή όσον αφορά την καμπτική ροπή του

πλοίου. Το ωστικό κύμα έχει μεγάλη επίδραση στα ελάσματα της γάστρας, προκαλώντας τελικά σημαντικές τοπικές βλάβες. Αν και η ορμή από την κίνηση των ελασμάτων μεταφράζεται σε κίνηση ολόκληρου του σκάφους, το ποσοστό της κινητικής ενέργειας του ωστικού κύματος που συμβάλλει στη συνολική κίνηση, η οποία προέρχεται από το φαινόμενο «μαστιγώματος» του πλοίου, αποδεικνύεται ότι είναι μικρότερο από 1%. Ακόμη και αν πρόσφατοι υπολογισμοί φαίνεται να δείχνουν ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις, το «μαστίγωμα» που προέρχεται από το ωστικό κύμα είναι συγκρίσιμο με εκείνο από τις φυσαλίδες, γενικά θεωρείται ότι είναι ήσσονος σημασίας στην ανάλυση.

Στην περίπτωση της απόκρισης του πλοίου στο «μαστίγωμα» δεν υπάρχουν απλοί κανόνες, όπως αυτός του αντίχειρα, που να δίνουν ασφαλή αποτελέσματα. Η σύγχρονη πρακτική μοντελοποίησης για την πρόβλεψη της απόκρισης του πλοίου στο «μαστίγωμα» από φυσαλίδες, ακόμη από το στάδιο σχεδίασης, περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

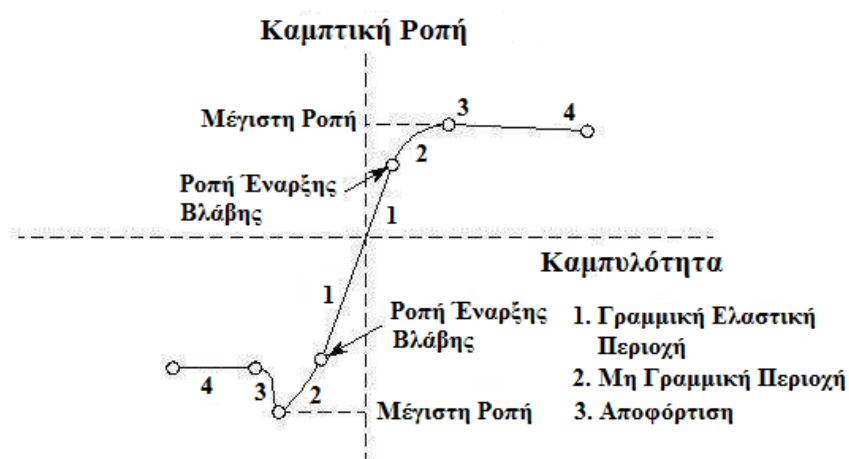
1. Ένα μοντέλο, για την περιγραφή της δυναμικής των ταλαντούμενων και κινούμενων φυσαλίδων σε συνδυασμό με την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της φόρτισης, τα οποία προκαλούνται σε διακριτά σημεία κατά μήκος του πλοίου, λόγω της ροής που δημιουργείται από τις κινήσεις των φυσαλίδων. Γενικά ακολουθείται η θεωρία φυσαλίδων από υποθαλάσσια έκρηξη και η θεωρία υδροδυναμικής ροής, οι οποίες οδηγούν στην εκτίμηση των συναρτήσεων μεταβατικής δυναμικής φόρτισης.
2. Ένα μοντέλο για την αναπαράσταση της γάστρας του πλοίου ώστε να προβλεφθεί η συνολική απόκριση του πλοίου στα δυναμικά φορτία. Η γάστρα του πλοίου μοντελοποιείται συνήθως ως μία δοκός μεταβλητής διατομής με μάζα συγκεντρωμένη στους κόμβους και αναλύεται μέσω ενός γραμμικού κώδικα πεπερασμένων στοιχείων με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στην ανάλυση αυτή μπορεί να υιοθετηθεί είτε ένας βηματικός αλγόριθμος απευθείας ολοκλήρωσης ή ένας αλγόριθμος επαλληλίας των ιδιομορφών (modal superposition). Σε αυτήν την αναπαράσταση απαιτούνται οι ιδιότητες των διατομών, η μορφή της γάστρας και η κατανομή της μάζας της μεταλλικής κατασκευής. Επιπλέον απαιτούμενα στοιχεία είναι οι ιδιότητες της άντωσης και της υδροδυναμικής (πρόσθετης) μάζας (added mass), που προκύπτουν από τα υδροδυναμικά διαγράμματα για τη συγκεκριμένη γάστρα.
3. Ο καθορισμός των κριτηρίων αντοχής σχετίζεται με τα ελαστικά όρια γραμμικής απόκρισης, με τη μορφή του ορίου καμπτικής ροπής ή με το όριο επιτρεπόμενης τάσης για κάθε μία διατομή ξεχωριστά. Μπορεί να γίνει χρήση κωδίκων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπως ο NAS94/ULTSR [36], για την πρόβλεψη της τιμής της καμπτικής ροπής (ή τάσης) στην οποία η ελαστική απόκριση της γάστρας του πλοίου γίνεται μη γραμμική.

Εφόσον έχουν υπολογιστεί τα μεταβατικά φορτία (βήμα 1^ο), εφαρμόζονται στους κόμβους του πλέγματος του κατασκευαστικού μοντέλου της γάστρας του πλοίου και πραγματοποιείται η μεταβατική ανάλυση του «μαστιγώματος» (βήμα 2^ο). Τέλος, μπορεί να γίνει μία εκτίμηση της κρισιμότητας του «μαστιγώματος» της γάστρας του πλοίου, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μεταβατικής ανάλυσης με αυτά από τους υπολογισμούς της μέγιστης αντοχής (βήμα 3^ο).

Ο προσδιορισμός του ορίου της ελαστικής κάμψης (καμπτικής ροπής), στην εγκάρσια τομή (διατομή) του πλοίου, είναι απλός, εφόσον είναι δεδομένες η ροπή αντίστασης της

διατομής (section modulus) και οι αποστάσεις από τον ουδέτερο άξονα της κάμψης και τις εξωτερικές ίνες.

Η καμπτική ροπή ελέγχου, η οποία καθορίζεται από το όριο διαρροής των εξωτερικών ινών, μπορεί να υπολογιστεί εύκολα για κάθε εγκάρσια τομή του πλοίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η μέγιστη ροπή, η οποία καθορίζεται θεωρώντας επίπεδα κάμψης τέτοια ώστε οι εξωτερικές ίνες να βρίσκονται ακριβώς στο όριο διαρροής τους, είναι μεγαλύτερη από ό,τι συμβαίνει αν θεωρήσουμε ότι η κάμψη ολόκληρης της γάστρας του πλοίου γίνεται μη γραμμική. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ορισμένα μέλη της εγκάρσιας τομής του πλοίου, τα οποία υποβάλλονται σε κάμψη λόγω θλιπτικών τάσεων, έχουν την τάση να εμφανίζουν λυγισμό σε τάσεις μικρότερες από το όριο διαρροής. Ως εκ τούτου, η μέγιστη φέρουσα ικανότητα μίας διατομής σε κάμψη δεν εξαρτάται ποτέ από το μέγιστο όριο ελαστικότητας αυτής, αλλά μειώνεται σε ένα κατώτερο επίπεδο. Για να εξασφαλιστεί η ελαστική συμπεριφορά αυτό το μειωμένο όριο τάσεων γίνεται το οριακό κριτήριο ελαστικότητας. Τάσεις υψηλότερες από αυτό το όριο θεωρούνται ότι φέρνουν την κατασκευή εκτός ελαστικής περιοχής και θα πρέπει να αποφεύγονται αυστηρά. Αυτό παρουσιάζεται και στην **Εικόνα 3**, όπου παριστάνεται ένα τυπικό διάγραμμα καμπτικής ροπής – καμπυλότητας.



Εικόνα 3. Τυπικό διάγραμμα της σχέσης ροπής – καμπυλότητας. Στο πρώτο τεταρτημόριο του διαγράμματος η καμπύλη που σχηματίζει η δοκός – πλοίο στρέφει τα κοίλα άνω (hog), ενώ στο τρίτο τεταρτημόριο συμβαίνει το αντίθετο, στρέφει τα κοίλα κάτω (sag) [33].

Επομένως, η τοπική μέγιστη καμπτική ροπή μπορεί να οριστεί ως η ελάχιστη καμπτική ροπή σε μία συγκεκριμένη εγκάρσια τομή της γάστρας του πλοίου, η οποία πληροί μία από τις παρακάτω προϋποθέσεις: οι εξωτερικές ίνες στην περιοχή του κυρίου καταστρώματος αντοχής ή της τρόπιδας αρχίζουν να εισέρχονται στην περιοχή διαρροής ή τα κατασκευαστικά στοιχεία στην περιοχή του κυρίου καταστρώματος ή της τρόπιδας αρχίζουν να υφίστανται ελαστικό λυγισμό.

Η μέγιστη τιμή του λόγου της μέγιστης υπολογιζόμενης καμπτικής ροπής προς τη μέγιστη τοπική καμπτική ροπή, για όλες τις θέσεις κατά μήκος του πλοίου, καλείται «δείκτης μαστιγώματος» (Whipping Index – WI). Τιμή του δείκτη «μαστιγώματος» μικρότερη της

μονάδας ($WI < 1$) υποδηλώνει ότι η γάστρα του πλοίου δε θα υποστεί κάποια βλάβη από μαστίγωμα για τη δεδομένη γεωμετρία και γόμωση.

$$WI = \max_{all\cdot x\cdot and\cdot t} of \left(\frac{M(x, t)}{M_{ult}(x)} \right) \quad (4)$$

1.5.3 Θραύσματα και διείσδυση.

Τα πολεμικά πλοία υπόκεινται σε διάφορους μηχανισμούς βλάβης, για τους οποίους θα μπορούσαν να ληφθούν μέτρα προστασίας από βαλλιστικές επιθέσεις. Το κύριο πρόβλημα σε αυτόν τον τομέα είναι ότι υπάρχει τεράστια ποικιλία τέτοιων μηχανισμών, που κυμαίνονται από μικρά θραύσματα με περιορισμένες δυνατότητες διείσδυσης από τα κοινά ελάσματα της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου (ενισχυμένα ελάσματα μαλακού χάλυβα με πάχος 5 – 15 mm) μέχρι βλήματα με υψηλή διατρητική ικανότητα ακόμη και σε θωρακισμένο χάλυβα. Ένας παλιός κανόνας ορίζει ότι το απαιτούμενο πάχος μίας χαλύβδινης πλάκας (ελάσματος) για να ανακόψει τη διείσδυση ενός βλήματος ισούται με τη διάμετρό του. Η απόφαση για απαιτήσεις ή συστάσεις για τη βαλλιστική προστασία των διαμερισμάτων του πλοίου θα πρέπει να λαμβάνεται αφού μελετηθεί η πιθανότητα το συγκεκριμένο διαμέρισμα να δεχθεί πλήγμα από κάποιο συγκεκριμένο μηχανισμό.

Τα θραύσματα και γενικά τα διεισδυτικά μέσα προκύπτουν από: υψηλής εκρηκτικότητας πολεμικές κεφαλές, οβίδες, βόμβες κ.λπ., τα οποία εκρήγνυνται εξωτερικά (σε κάποια απόσταση) ή εσωτερικά του πλοίου (ενεργοποιούμενες από δικό τους πυροκροτητή)· συντρίμμια που κτυπούν το πλοίο και προέρχονται από πολεμικές κεφαλές, οβίδες, βόμβες κ.λπ., οι οποίες έχουν καταστραφεί από τα συστήματα άμυνας του πλοίου (για παράδειγμα το Close-In Weapon System – CIWS)· δευτερογενή θραύσματα από τον εξοπλισμό ή τη μεταλλική κατασκευή του πλοίου τα οποία προκαλούνται από πρωτογενή θραύσματα (όπως αυτά που περιγράφηκαν στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις)· όπλα μικρού και μεσαίου διαμετρήματος.

Η επίδραση που θα έχουν τα θραύσματα στη μεταλλική κατασκευή του πλοίου εξαρτάται από την ταχύτητα τους, τη μάζα τους, τη γωνία πρόσκρουσης με το πλοίο, το σχήμα τους και τις φυσικές ιδιότητες του υλικού κατασκευής τους. Η χωρική κατανομή των θραυσμάτων και τα χαρακτηριστικά τους καθορίζουν επίσης την προκαλούμενη βλάβη. Τα βλήματα μικρού και μεσαίου διαμετρήματος αποτελούν σημαντική απειλή για τα πολεμικά πλοία. Για παράδειγμα τα βλήματα μικρού διαμετρήματος μπορούν να εξαπολυθούν από όπλα χειρός (επίσης μικρού διαμετρήματος) από τρομοκράτες. Τα βλήματα μεσαίου διαμετρήματος εξαπολύονται συνήθως από αεροσκάφη ή μικρού μεγέθους πολεμικά πλοία. Η αρχική βλάβη (διάτρηση) στην κατασκευή μπορεί να οδηγήσει και σε δευτερογενή βλάβη, εξαιτίας της εισροής υδάτων σε κάποιο διαμέρισμα· μείωση ή και απώλεια της αντιτυρικής προστασίας· διαρροή κάποιας δεξαμενής (καυσίμων, έρματος, καθαρού νερού)· απώλεια της ολοκληρωμένης προστασίας (loss of citadel-integrity (degradation of collective NBC-protection)).

Καταστροφές στο δίκτυο καλωδίων, δίκτυο σωληνώσεων και στον εξοπλισμό μπορούν να προκαλέσουν υποβάθμιση σε βασικούς τομείς της αποστολής του πλοίου καθώς και στο

σύστημα ελέγχου βλαβών. Τα χτυπήματα από θραύσματα στα πολεμοφόδια ή την προωθητική γόμωση πυραύλων και βλημάτων ή η συσσώρευση θερμότητας από κάποια πυρκαγιά μπορεί να προκαλέσει εκδήλωση νέας πυρκαγιάς ή έκρηξη των πυρομαχικών και δυνητικά να προκαλέσει αλυσιδωτές εκρήξεις στα πολεμοφόδια, που βρίσκονται στοιβαγμένα στις αποθήκες πυρομαχικών. Τότε τα οπλικά συστήματα μπορεί να τεθούν εκτός λειτουργίας. Επιπλέον, η διάτρηση του χώρου που φυλάσσονται οι σωστικές σχεδίες μπορεί να προκαλέσει απώλεια της πλευστότητας της σχεδίας και κατά συνέπεια απώλεια της ικανότητας διάσωσης του πληρώματος. Τέλος τα χτυπήματα από τα θραύσματα μπορεί να προκαλέσουν την απώλεια ανθρώπινου δυναμικού λόγω τραυματισμού ή θανάτου από τα θραύσματα.

1.5.4 Τεχνικές προστασίας.

Τα αποτελέσματα της βαλλιστικής προστασίας στην επιβιωσιμότητα του πλοίου μπορούν να εκτιμηθούν μόνο μέσω μίας λεπτομερούς ανάλυσης τρωτότητας. Πρέπει να αποφασιστεί ποια διαμερίσματα θα προστατευθούν και σε ποιο βαθμό. Μια πρώτη προσέγγιση θα ήταν να προστατευτούν μόνο τα διαμερίσματα υψηλής σημαντικότητας. Η κατασκευή που θα σχεδιαστεί για προστασία ενάντια σε θραύσματα θα πρέπει να έχει επαρκή αντοχή και ενάντια στα φορτία που σχετίζονται με την έκρηξη της θεωρούμενης πολεμικής κεφαλής (σ.σ. αυτή από την οποία θα προκύψουν τα θραύσματα). Ανάλογα με τον τύπο του πλοίου θα πρέπει να προσδιοριστούν η σημαντικότητα των διαμερισμάτων καθώς και ο προϋπολογισμός του βάρους, ανάλογα με το επίπεδο προστασίας κάθε διαμερίσματος.

Οι εγκάρσιες φρακτές πρέπει να σχεδιαστούν με κατάλληλο τρόπο, ώστε να είναι σε θέση να αντέξουν και να εγκλωβίσουν τα θραύσματα (και το ωστικό κύμα) από μία εσωτερική έκρηξη, τα οποία εξαρτώνται από το βάρος της πολεμικής κεφαλής. Οι φρακτές στα γειτονικά διαμερίσματα από το διαμέρισμα της έκρηξης θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να συγκρατούν τα θραύσματα, τα οποία έχουν διαπεράσει τις φρακτές του κατεστραμμένου διαμερίσματος, όπως επίσης και το εναπομείναν ωστικό κύμα. Οι φρακτές με αυτές τις δυνατότητες αντοχής θα πρέπει να εκτείνονται μέχρι το ανώτερο κατάστρωμα των υπερκατασκευών. Οι απαιτήσεις για αντοχή στο ωστικό κύμα της έκρηξης και στα θραύσματα είναι επιπρόσθετες απαιτήσεις από τις αντίστοιχες απαιτήσεις φόρτισης της κατασκευής.

Παραδείγματα από στοιχεία που χρήζουν προστασίας είναι: κανάλια ηλεκτρικών καλωδίων που διατρέχουν περισσότερα από ένα διαμερίσματα· αποθήκες πολεμοφοδίων· τα τοιχώματα των υπερκατασκευών στο εσωτερικό των οποίων υπάρχει σημαντικός εξοπλισμός· σημαντικά στοιχεία για τη λειτουργία των αισθητήρων και των οπλικών συστημάτων· σωστικές σχεδίες· κ.λπ.

1.5.5 Παραμένουσα αντοχή.

Τα μέτρα επιβιωσιμότητας ενός πλοίου είναι χρήσιμα, εφόσον η παραμένουσα αντοχή της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, μετά από βλάβη, είναι επαρκής για να αντέξει τα φορτία λειτουργίας στη θάλασσα. Η ετοιμότητα μάχης και οι επιδόσεις των συστημάτων σε ένα εχθρικό περιβάλλον βασίζονται στις δυνατότητες της γάστρας του πλοίου. Ως εκ τούτου,

η εκτίμηση της αντοχής της μεταλλικής κατασκευής είναι απαραίτητη [36]. Στη συγκεκριμένη παράγραφο περιγράφονται οι διαδικασίες και τα δεδομένα που απαιτούνται κατ' ελάχιστο, ώστε να επαληθευθεί η επάρκεια του επιπέδου επιβιωσιμότητας.

Συνήθως, η βασική υπόθεση επαρκούς παραμένουσας αντοχής είναι όταν το πλοίο μετά από ένα χτύπημα πυραύλου στη γάστρα του θα μπορεί να επιβιώσει για 100 ώρες σε μέση κατάσταση θάλασσας. Η εμπειρία έχει δείξει ότι οι συμβατικές σχεδιάσεις είναι επιρρεπείς σε σημαντική απώλεια της αντοχής, έπειτα από μία έκρηξη στο εσωτερικό του πλοίου, ενώ η απειλή σχεδίασης (π.χ. η έκρηξη του πυραύλου στο εσωτερικό του πλοίου) μπορεί να αντιμετωπιστεί με κατάλληλα προσαρμοσμένη κατασκευή, η οποία θα έχει επαρκή αντοχή σε καταστροφή, συμβάλλοντας έτσι στην επαρκή αντίσταση έναντι βλάβης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί ακόμη και με συμβατικές κατασκευαστικές διατάξεις.

Μία εναλλακτική μέθοδος για να διασφαλιστεί η απαιτούμενη παραμένουσα αντοχή είναι η χρήση διαμηκών κοίλων δοκών με μορφή κουτιού (longitudinal box girders). Αυτές με επαρκή στιβαρότητα, ως τμήματα της γάστρας του σκάφους, συμβάλλουν στην αντοχή του. Τα ενισχυτικά αυτά θα πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή έναντι του ωστικού κύματος της θεωρούμενης έκρηξης χωρίς απώλεια των ιδιοτήτων τους. Επιπλέον θα πρέπει να διαθέτουν επαρκή φέρουσα ικανότητα σε εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις. Ιδιαίτερη έμφαση θα πρέπει να δοθεί σε φαινόμενα λυγισμού, τα οποία εμφανίζονται σε περιοχές όπου οι τάσεις πλησιάζουν το όριο διαρροής. Τα πλεονεκτήματα της παροχής παραμένουσας αντοχής μετά από επίθεση και της παροχής προστασίας για τα συστήματα ζωτικής σημασίας, εντός των δοκών αυτών, είναι πολύ ελκυστικά. Στα σύγχρονα πολεμικά πλοία θα πρέπει να ερευνάται η ιδέα για χρήση κοίλων δοκών στο μέσον του πλοίου και κατά το κρίσιμο μήκος του. Ως κρίσιμο μήκος θεωρείται η περιοχή του σκάφους όπου η φόρτιση από τα κύματα είναι μεγαλύτερη και η πιθανότητα χτυπήματος από βλήματα υψηλότερη. Επιπλέον, θα πρέπει να διερευνώνται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα σε σύγκριση με τις συμβατικές σχεδιάσεις.

1.5.5.1 Κριτήρια σχεδίασης.

Ως βάση για το σχεδιασμό, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν λεπτομερή αποτελέσματα από τα οπικά συστήματα, λόγω της αοριστίας της επίθεσης, μπορούν να θεωρηθούν οι παραδοχές βλάβης που ακολουθούν συνήθως την ιδέα της ακτίνας καταστροφής (Damage Radius Concept). Σύμφωνα με αυτή, διάφοροι τύποι πλοίων σχεδιάζονται για να αντέξουν συγκεκριμένες απειλές. Οι υποθέσεις σχετικά με τα επίπεδα βλάβης βασίζονται στην υπόθεση ότι τα συγκεκριμένα όπλα έχουν μία συγκεκριμένη ακτίνα καταστροφής, εντός της οποίας θεωρείται ότι καταστρέφεται η κατασκευή. Η αποτελεσματικότητα της παραμένουσας κατασκευής γύρω από την κατεστραμμένη περιοχή πρέπει να αξιολογηθεί. Γενικά, αυτή θεωρείται ότι είναι αναποτελεσματική, οπότε οι υπολογισμοί γίνονται για το εγγύτερο κύριο κατασκευαστικό στοιχείο (κατάστρωμα, φρακτή κ.λπ.). Σε αυτήν την περίπτωση μπορούν να εφαρμοστούν συμβατικές θεωρήσεις αντοχής για την εκτίμηση της παραμένουσας αντοχής της κατεστραμμένης περιοχής.

Η παραμένουσα αντοχή, που υπολογίστηκε, θα συγκριθεί με την πρόβλεψη του απαιτούμενου περιβαλλοντικού φορτίου, που ασκείται στο εξωτερικό περιβλήμα του πλοίου λόγω κυματισμού, ώστε να επιβεβαιωθεί το απαιτούμενο επίπεδο αντοχής μετά από βλάβη για το εν λόγω πλοίο. Επιπλέον, απαιτείται να γίνουν υπολογισμοί ώστε να αποδειχθεί η

επάρκεια όχι μόνο στην περίπτωση της μέγιστης αντοχής σε κάμψη αλλά και για τον συνδυασμό κάμψης και διάτμησης.

1.6 Ομοιότητες και διαφορές στον κατασκευαστικό σχεδιασμό των πολεμικών και εμπορικών πλοίων.

Τα πολεμικά πλοία συνυπάρχουν παράλληλα με τα εμπορικά για πολλά χρόνια, αλλά με πολλές τεχνικές διαφορές. Τα τελευταία δέκα χρόνια, έχουν μεταβληθεί οι συνθήκες πολέμου και μαζί με αυτές έχουν μεταβληθεί οι προμήθειες πολεμικών πλοίων καθώς και η διαδικασία σχεδιασμού τους. Επιπλέον, παρατηρείται μία όλο και συχνότερη χρήση κανονισμών νηογνωμόνων, όσον αφορά το σχεδιασμό των πολεμικών πλοίων. Με αυτό τον τρόπο, παρατηρούμε πολλές ομοιότητες στο σχεδιασμό πολεμικών και εμπορικών πλοίων.

Στην παρούσα ενότητα θα υπογραμμίσουμε τις ομοιότητες και τις διαφορές μεταξύ αυτών των δύο τύπων πλοίου και θα εξάγουμε συμπεράσματα για τις κύριες περιοχές που απαιτείται ιδιαίτερη θεώρηση, σύμφωνα με δύο διαφορετικές οπτικές:

- i. Περιοχές, όπου τα πολεμικά και τα εμπορικά πλοία παρουσιάζουν ομοιότητες, συνεπώς είναι δυνατό να μελετηθούν κατά παρόμοιο τρόπο, αντλώντας χρήσιμες πληροφορίες από κοινή δεξαμενή γνώσεων.
- ii. Περιοχές στις οποίες τα πολεμικά πλοία διαφέρουν εγγενώς από τα εμπορικά (πλοία). Σε αυτές τις περιοχές μία σχεδίαση σύμφωνα με τα πρότυπα των εμπορικών πλοίων θα οδηγούσε σε λανθασμένη και μη εργονομική σχεδίαση του πολεμικού πλοίου.




Στη συνέχεια θα εξετάσουμε αυτές τις διαφορές με αναφορά και στα φορτία λόγω πολεμικών επιχειρήσεων όπως για παράδειγμα τα φορτία από εκρήξεις.

1.6.1 Ιστορικό στον κατασκευαστικό σχεδιασμό των πολεμικών πλοίων.

Παρατηρώντας τα κατασκευαστικά σχέδια των πολεμικών πλοίων περασμένων δεκαετιών, είμαστε σε θέση να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά τις ομοιότητες και τις διαφορές που εμφανίζουν. Κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου, δόθηκε μεγάλη βαρύτητα στην κάθε μία μεμονωμένη σχεδίαση. Σε κάθε νέα σχεδίαση η ταχύτητα ήταν πολύ πιο σημαντική από ό,τι στις μέρες μας. Το αποτέλεσμα στο κατασκευαστικό σχέδιο ήταν μια βελτιστοποιημένη ως προς το βάρος λεπτότοιχη κατασκευή. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες, ώστε τα σκάφη να έχουν αυξημένη επιβιωσιμότητα μετά από βλάβη. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό αυτών των πλοίων είναι ότι το κόστος δεν αποτελούσε τον πρωταρχικό στόχο.




Την ίδια περίοδο, τα εμπορικά πλοία μεγάλωναν σε μέγεθος, ειδικά τα δεξαμενόπλοια, τα πλοία μεταφοράς φορτίων χύδην, τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και τα κρουαζιερόπλοια. Αντίθετα με τα πολεμικά, στα εμπορικά πλοία πρωταρχικό στόχο αποτελεί το κόστος παραγωγής και η διατήρησή του σε όσο το δυνατόν χαμηλότερο επίπεδο. Άμεσα συνδεδεμένη με το χαμηλό κόστος κατασκευής των πλοίων αυτών είναι η ευκολία συναρμολόγησης και η ευκολία κατασκευής των διάφορων επιμέρους τμημάτων της κατασκευής. Το βάρος ήταν λιγότερο σημαντική παράμετρος και η βιομηχανία ήταν σε θέση να εργαστεί αποτελεσματικά με τα ελάχιστα απαιτούμενα πάχη ελασμάτων που

υπαγορεύονταν από τους κανονισμούς των νηογνωμόνων. Τα πάχη αυτά ήταν τέτοια ώστε να δίνουν στην κατασκευή ένα αποδεκτό επίπεδο στιβαρότητας για να αντέχουν τα φορτία, όπως αυτά προσδιορίζονταν από τους κανονισμούς των νηογνωμόνων.

<u>Γενικές Προδιαγραφές</u>	<u>Φορτηγό πλοίο</u> 	<u>Επιβατηγό πλοίο</u> 	<u>Πολεμικό πλοίο</u> 
Ομοιότητες	<ul style="list-style-type: none"> - Λειτουργία σε παγκόσμια κλίμακα - Ανοιχτή θάλασσα και παράκτια ύδατα - Ετήσια λειτουργία - Λειτουργία και επιβίωση με κάθε καιρό και κάθε κατάσταση θαλάσσης - Ελλιμενισμός σε προγραμματισμένες περιόδους, επιπλέον σε έκτακτες καταστάσεις - Ζημιές από προσάραξη/σύγκρουση 	<ul style="list-style-type: none"> - Ομοίως με τα φορτηγά πλοία. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ομοίως με τα φορτηγά πλοία.
Διαφορές	<ul style="list-style-type: none"> - Μέτρια επιβιωσιμότητα μετά από βλάβη - Μέτρια αντοχή μετά από βλάβη - Μεταφορά φορτίου 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλή επιβιωσιμότητα μετά από βλάβη - Μέτρια αντοχή μετά από βλάβη - Μεταφορά επιβατών 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλή επιβιωσιμότητα μετά από βλάβη - Υψηλή αντοχή μετά από βλάβη - Μεταφορά οπλικών συστημάτων, αισθητήρων, προσωπικού - Απαιτήσεις πολεμικής σχεδίασης - Βλάβη από εχθρικά πυρά - Φορτία λόγω πολεμικών επιχειρήσεων - Αντοχή μετά από βλάβη

Πίνακας 1. Ομοιότητες και διαφορές για συγκεκριμένους τύπους πλοίων [37].

Από το τέλος του ψυχρού πολέμου και έως τις μέρες μας τα ναυπηγεία καθώς και τα πολεμικά ναυτικά των χωρών υποχρεώθηκαν να προσαρμοστούν σε μία νέα κατάσταση. Δεν είναι πλέον ξεκάθαρο ποιος θα είναι ο μελλοντικός ρόλος ενός πολεμικού πλοίου. Άλλωστε έχουν προστεθεί και κάποιες νέες αποστολές όπως είναι οι επιχειρήσεις προστασίας των εμπορικών πλοίων από πειρατικές επιθέσεις, οι κοινές ειρηνευτικές αποστολές και άλλες.

<u>Στοιχείο πλοίου</u>	<u>Φορηγό πλοίο</u> 	<u>Επιβατηγό πλοίο</u> 	<u>Πολεμικό πλοίο</u> 
Πυθμένες, Πλευρές, Πλώρη	Φορτία από τη θάλασσα, φορτία σφυρόκρουσης, φορτία λόγω της ταχύτητας και των κυμάτων	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές
Κύριο κατάστρωμα	Τοπικές πιέσεις από θάλασσα, φορτία από διαβροχή καταστρώματος, ολικά φορτία της γάστρας	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές
Υδατοστεγείς φρακτές	Υδροστατική πίεση	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές
Υπερκατασκευές	Φορτία στο κατάστρωμα, φορτία από τη θάλασσα, αδρανειακά φορτία	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές
Εσωτερικά καταστρώματα	Τοπικά φορτία καταστρώματος	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές
Δεξαμενές	Τοπική πίεση (πλήρωση, αδρανειακά φορτία, πίεση από την αντλία)	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές
Εδράσεις (κινητήρες, εργάτες, κ.α.)	Εξωτερικά φορτία, αδρανειακά φορτία	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές	Όμοια φορτία, αλλά διαφορετικές τιμές

Πίνακας 2. Ομοιότητες της μεταλλικής κατασκευής εμπορικών και πολεμικών πλοίων [37].

Σε αντίθεση με παλαιότερες εποχές ο παράγων της ταχύτητας είναι λιγότερο σημαντικός, ενώ ο περιορισμός του κόστους φαίνεται να είναι πρωταρχικός στόχος. Επιπλέον, κατά την ίδια περίοδο, οι νηογνώμονες εισήλθαν στο πεδίο του σχεδιασμού των πολεμικών πλοίων. Η χρήση των υπηρεσιών που προσφέρουν οι νηογνώμονες καθώς και των

κανονισμών τους, ως τεχνικά πρότυπα για τη σχεδίαση και ναυπήγηση των πολεμικών πλοίων είναι πλέον πολύ συχνό φαινόμενο. Μέσω αυτής της σχετικά νέας συνεργασίας έρχονται πιο κοντά η ναυπήγηση εμπορικών και πολεμικών πλοίων. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα πιο πρακτικές σχεδιάσεις, οι οποίες μπορεί να είναι λιγότερο βελτιστοποιημένες, αλλά παρέχουν μια γενικότερη στιβαρότητα στην κατασκευή, όπως συμβαίνει και με τους άλλους τύπους πλοίων. Θα μπορούσαμε, λοιπόν, να ισχυριστούμε ότι οι σχεδιάσεις των πολεμικών πλοίων, όσον αφορά τα κατασκευαστικά τους στοιχεία, αρχίζει να ομοιάζει με αυτή των εμπορικών πλοίων.

1.6.2 Ομοιότητες και διαφορές.

Για να εμβαθύνουμε περισσότερο θα αναφερθούμε στις κύριες παραμέτρους για την κατάταξη των διαφόρων παραμέτρων σχεδίασης της γάστρας.

- Διαφορετικές τιμές σχεδίασης: σε αυτήν την περίπτωση τα κατασκευαστικά στοιχεία των εμπορικών και των πολεμικών πλοίων βασίζονται στα ίδια αποτελέσματα φορτίου και στις ίδιες εξισώσεις, διαφέρουν, όμως, σημαντικά στην κλίμακα. Για αυτό το λόγο αυτά τα στοιχεία κατηγοριοποιούνται ως ομοιότητες.
- Εγγενείς διαφορές: σε αυτήν την περίπτωση τα πολεμικά και τα εμπορικά πλοία υπόκεινται σε διαφορετικούς τύπους φορτίων που απαιτούν διαφορετικές μεθόδους.

1.6.3 Ομοιότητες.




Τα πολεμικά και τα εμπορικά πλοία παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες όσον αφορά το σχεδιασμό των κατασκευαστικών στοιχείων τους. Η αιτία είναι προφανής, καθώς λειτουργούν στο ίδιο περιβάλλον και υπόκεινται στους ίδιους νόμους φυσικής και μηχανικής, μια και αυτοί δε μεταβάλλονται ανάλογα με τον τύπο του πλοίου. Οι κοινές παράμετροι σχεδίασης των κατασκευαστικών στοιχείων παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1**.

Από τον **Πίνακα 1** παρατηρούμε ότι στην πλειοψηφία τους τα χαρακτηριστικά στοιχεία είναι κοινά για τα πολεμικά και τα εμπορικά πλοία. Επιπλέον οι διαφορές που παρατηρούνται σχετίζονται με τις απαιτήσεις που τίθεται λόγω της χρήσης τους σε καιρό πολέμου, όπως για παράδειγμα είναι η επιβιωσιμότητα μετά από βλάβη, ένα αρκετά σημαντικό χαρακτηριστικό των πολεμικών πλοίων.

Βασισμένοι στην παραπάνω διαπίστωση, συμπεραίνουμε ότι για κανονικά φορτία από το περιβάλλον και για κανονικές συνθήκες φόρτισης, τα κατασκευαστικά στοιχεία των πολεμικών και των εμπορικών πλοίων διαστασιολογούνται κατά παρόμοιο τρόπο. Οι διαφορές που παρατηρούνται σχετίζονται κυρίως με τις τιμές και όχι με τις βασικές αρχές σχεδίασης. Το γεγονός αυτό, μας υπενθυμίζει απλώς ότι τα πολεμικά και εμπορικά πλοία υπόκεινται στους ίδιους νόμους φυσικής, υδροδυναμικής, μηχανικής κ.α..

Ο κοινός σύνδεσμος μεταξύ των φορτίων που παρατίθενται στον **Πίνακα 2** είναι ότι αυτά τα φορτία λαμβάνονται υπόψιν ώστε να εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία του

πλοίου, όταν σε αυτό εφαρμοστούν τα δεδομένα φορτία λόγω των συνθηκών λειτουργίας και περιβάλλοντος.

<u>Τύπος φόρτισης</u>	<u>Φορτηγό πλοίο</u> 	<u>Επιβατηγό πλοίο</u> 	<u>Πολεμικό πλοίο</u> 
Ριπή αέρος (air blast)	Δεν εφαρμόζεται	Δεν εφαρμόζεται	Όμοια περίπτωση σχεδίασης, θεωρήσεις τοπικής σχεδίασης
Υποθαλάσσιο πλήγμα (underwater shock)	Δεν εφαρμόζεται	Δεν εφαρμόζεται	Όμοια περίπτωση σχεδίασης, επηρεάζει τη γάστρα του πλοίου, τοπικές σχεδιάσεις και εδράσεις
Κατακερματισμός (fragmentation)	Δεν εφαρμόζεται	Δεν εφαρμόζεται	Όμοια περίπτωση σχεδίασης, τοπική προστασία
Εναπομείνουσες απαιτήσεις βλάβης (residual damage requirement)	Περιορισμός σύμφωνα με τις «προβλέψιμες» περιπτώσεις βλάβης	Περιορισμός σύμφωνα με τις «προβλέψιμες» περιπτώσεις βλάβης	Όμοια περίπτωση σχεδίασης, ανακατανομή των στοιχείων που συμβάλλουν στην αντοχή
Μαγνητική υπογραφή	Δεν εφαρμόζεται	Δεν εφαρμόζεται	Όμοια περίπτωση σχεδίασης, περιορισμοί στην επιλογή υλικών
Χαρακτηριστικά Stealth	Δεν εφαρμόζεται	Δεν εφαρμόζεται	Όμοια περίπτωση σχεδίασης, περιορισμοί στο σχήμα της γάστρας
Αντοχή στη βλάβη (ruggedness)	Επαρκής επιβίωση μετά από βλάβη, βασισμένη στα κατασκευαστικά στοιχεία	Επαρκής επιβίωση μετά από βλάβη, βασισμένη στα κατασκευαστικά στοιχεία	Όμοια περίπτωση σχεδίασης, βελτιωμένες κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Πίνακας 3. Εγγενείς διαφορές στο σχεδιασμό των κατασκευαστικών στοιχείων πολεμικών και εμπορικών πλοίων [37].

Χαρακτηριστικό παράδειγμα για το διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης ενός προβλήματος μεταξύ πολεμικών και εμπορικών πλοίων είναι η διαχείριση μιας ρωγμής που έχει προκύψει από κόπωση (fatigue crack management). Σύμφωνα με μία τυπική εμπορική προσέγγιση, η κατασκευή θα σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει ένα ασφαλές περιθώριο για να αποφευχθούν οι ρωγμές. Αντίθετα, κατά το σχεδιασμό ενός πολεμικού πλοίου θα προσδιοριστεί για πόσο διάστημα θα μπορεί να επιχειρεί με τη δεδομένη ρωγμή.

1.6.4 Διαφορές.

Παρατηρώντας τις εγγενείς διαφορές μεταξύ πολεμικών και εμπορικών πλοίων, συμπεραίνουμε ότι οι σημαντικότερες διαφοροποιήσεις σχετίζονται με τα φορτία λόγω πολεμικών επιχειρήσεων. Η σχεδίαση και η λειτουργία των εμπορικών πλοίων είναι τέτοια ώστε να αποφεύγονται οι αβαρίες (damages). Οι αβαρίες, που δεν μπορούν να εξαλειφθούν παντελώς, αναφέρονται ως «προβλέψιμες αβαρίες (foreseeable damages)» και είναι η προσάραξη, η σύγκρουση και η πυρκαγιά. Αυτά τα μη προβλέψιμα γεγονότα καλύπτονται από τα διπύθμενα (double bottom), τη φρακτή συγκρούσεως (collision bulkhead) και τη μόνωση έναντι πυρκαγιάς (fire insulation).

Στον αντίποδα, τα πολεμικά πλοία οφείλουν να είναι καλύτερα προετοιμασμένα για την περίπτωση βλάβης από εχθρικά πυρά σε περίπτωση εμπλοκής τους σε πολεμικές επιχειρήσεις. Συνεπώς, τα πολεμικά πλοία απαιτείται να έχουν επαρκή αντοχή έναντι κάποιας βλάβης, αλλά και επαρκή επιβιωσιμότητα μετά από βλάβη. Τα κυριότερα φορτία από πολεμικές επιχειρήσεις παρουσιάζονται στον **Πίνακα 3**.



1.6.5 Συμπεράσματα.

Βασιζόμενοι στους **Πίνακες 1** έως **3**, συμπεραίνουμε ότι η κύρια διαφορά στον κατασκευαστικό σχεδιασμό μεταξύ πολεμικών και εμπορικών πλοίων είναι τα φορτία που ασκούνται στην κατασκευή λόγω της λειτουργίας των πρώτων σε εμπόλεμες συνθήκες. Στην **Εικόνα 4** δίδεται μία γενική παρουσίαση των στοιχείων επιβιωσιμότητας για δυο τύπους πολεμικών πλοίων (πλοία επιφανείας – υποβρύχια).

Όσον αφορά τα υποβρύχια είναι πολύ δύσκολο να τα συγκρίνουμε με τα πλοία επιφανείας, μια και έχουν πολύ διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Η **Εικόνα 4** μας αναδεικνύει ορισμένες από τις κατασκευαστικές διαφορές μεταξύ των υποβρυχίων και φρεγατών. Μία σημαντική διαφορά που παρατηρούμε είναι ότι η φρεγάτα κατασκευάζεται με επαρκή αντοχή για κανονικές συνθήκες βλάβης καθώς και για κάποιες καταστάσεις

βλάβης που οφείλονται σε πολεμικές επιχειρήσεις. Αντίθετα η επιβιωσιμότητα των υποβρυχίων οφείλεται στην ικανότητα τους να αποφεύγουν τον εντοπισμό. Έτσι η κύρια παράμετρος που καθορίζει το σχεδιασμό των κατασκευαστικών τους στοιχείων είναι το μέγιστο βάθος κατάδυσης, ώστε να δώσουν στην κατασκευή επαρκή αντοχή.

Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, οι περισσότερες απαιτήσεις σχεδιασμού της κατασκευής των πολεμικών πλοίων προέρχονται από τα φορτία περιβάλλοντος και λειτουργίας, ενώ κάποιες επιπλέον σχεδιαστικές απαιτήσεις προκύπτουν λόγω των φορτίων από πολεμικές επιχειρήσεις.

Αυτή η διαπίστωση αντικατοπτρίζεται και στους κανονισμούς μεγάλων νηογνωμόνων που πραγματεύονται την κατασκευή πολεμικών πλοίων. Μεγάλο τμήμα των κατασκευαστικών απαιτήσεων είναι κοινό για πολεμικά και εμπορικά πλοία, αν και υπάρχουν ελάχιστες διαφορές σε χαρακτηριστικές τιμές. Οι κατασκευαστικές απαιτήσεις για τη λειτουργία του πλοίου σε συνθήκες πολέμου αντιπροσωπεύουν ένα μικρό τμήμα των κριτηρίων σχεδίασης της κατασκευής.

1.7 Υλικά για την κατασκευή των πολεμικών πλοίων.

Όποιοι και αν είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του υλικού κατασκευής, θα πρέπει να είναι η βέλτιστη λύση όσον αφορά το κόστος, την ευκολία στην κατεργασία και στην συντήρηση κ.λπ., λαμβάνοντας υπόψιν ότι πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά τα έξοδα λειτουργίας σε όλη τη διάρκεια ζωής, ώστε να ποσοτικοποιηθούν τα οφέλη από τη χρήση ενός υλικού έναντι κάποιου άλλου. Πριν αρκετά χρόνια [38] παρουσιάστηκε μία πολύ ενδιαφέρουσα σύγκριση ανάμεσα στο χάλυβα υψηλής αντοχής, τα κράματα αλουμινίου και τα ινοπλισμένα πολυμερή (Fibre Reinforced Plastic – FRP). Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στις ιδιαίτερες πτυχές που σχετίζονται με τη χρήση αυτών των υλικών σε πολεμικά πλοία.

1.7.1 Χάλυβες.

Η επιλογή του χάλυβα εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του πλοίου, το προφίλ λειτουργίας του και τη δυνατότητα εύκολης προμήθειας (γεωγραφικοί περιορισμοί). Τα πλοία εμπορικού τύπου χτίζονται ορισμένες φορές από μαλακό χάλυβα (mild steel), τον οποίο εξακολουθούν να απαιτούν ρητά ορισμένα πολεμικά ναυτικά, ώστε η προμήθεια του να γίνει από εθνικούς προμηθευτές και να περιορίσουν τα προβλήματα συντήρησης.

Στις περισσότερες χώρες, η χρήση χάλυβα υψηλής αντοχής δεν είναι πλέον ένα κρίσιμο θέμα. Χάλυβες με όριο διαρροής 355 MPa υιοθετούνται πλέον αντί του μαλακού χάλυβα, καθώς έχουν περίπου την ίδια εμπορική αξία και δεν παρουσιάζουν προβλήματα κατά τη συγκόλληση. Μάλιστα, ορισμένοι προμηθευτές δεν παράγουν πλέον μαλακό χάλυβα. Οι χάλυβες υψηλής αντοχής μικρής περιεκτικότητας σε πρόσθετα (high strength low alloy steel – HSLA) είναι πλέον στο προσκήνιο. Στα νέα μονόγαστρα παράκτια περιπολικά σκάφη του Αμερικανικού Ναυτικού (Littoral Combat Ship – LCS) η γάστρα κατασκευάζεται από το χάλυβα HY80. Χάλυβες με όριο διαρροής από 460 έως 520 MPa χρησιμοποιούνται ευρέως για εξειδικευμένες εφαρμογές όπως είναι τα καταστρώματα αεροσκαφών και τα καταστρώματα του χώρου υποστήριξης αεροσκαφών (hangar). Η υιοθέτηση αυτών των υλικών έχει επιφέρει σημαντικές μειώσεις στο βάρος της κατασκευής, λόγω της υψηλότερης αντοχής τους, όπου ο καθορισμός των κατασκευαστικών στοιχείων γίνεται από στατικές, ημιστατικές και κρουστικές φορτίσεις. Οι HSLA χάλυβες (χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, σκληρυμένοι με τη μέθοδο καθίζησης χαλκού, των οποίων η αντοχή και η σκληρότητα είναι ισοδύναμη με αυτή των χαλύβων HY και οι οποίοι μπορούν να συγκολληθούν με ευκολία χωρίς προθέρμανση) μπορούν να εγγραφούν υψηλότερη αντίσταση, όταν υποβληθούν σε απότομα κρουστικά φορτία, όπως είναι οι υποθαλάσσιες εκρήξεις.

Από την άλλη πλευρά δεν υπάρχει κανένα πρακτικό πλεονέκτημα, όταν κυριαρχούν κυκλικές φορτίσεις, καθώς η συμπεριφορά σε κόπωση δεν εξαρτάται από τον τύπο του χάλυβα, αλλά από τη γεωμετρία των κατασκευαστικών στοιχείων και την ποιότητα παραγωγής τους. Στην περίπτωση αυτή η χρήση HSLA χάλυβα μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά προβλήματα εξαιτίας των μεγαλύτερης ακρίβειας διαδικασιών παραγωγής· οι συγκολλήσεις αν δε γίνουν σωστά μπορεί να γίνουν εύθραυστες και πιο ευαίσθητες σε ρηγματώσεις και επομένως είναι πιθανότερο να υποστούν ρωγμές λόγω κόπωσης. Καθώς η κόπωση είναι το κύριο κριτήριο υπολογισμού των κατασκευαστικών στοιχείων, είναι γενικά καλύτερο να υιοθετούνται χάλυβες, οι οποίοι έχουν υψηλότερη ανθεκτικότητα, ώστε να

μειωθεί η ευαισθησία έναντι ρωγμών. Οι κατασκευαστικοί χάλυβες υψηλής αντοχής, που χαρακτηρίζονται από μεγάλη σκληρότητα, χρησιμοποιούνται στη βαλλιστική προστασία του σκάφους.

1.7.2 Κράματα αλουμινίου.

Από την οπτική του πολεμικού ναυτικού, η χρήση του αλουμινίου χρήζει ειδικών θεωρήσεων: μέχρι τη δεκαετία του 1970 πολλά πολεμικά πλοία σχεδιάστηκαν και χτίστηκαν με υπερκατασκευές από αλουμίνιο. Το γεγονός αυτό μείωσε σημαντικά το βάρος, ακόμη και αν λάβει κανείς υπόψιν τη μεγαλύτερη ποσότητα μόνωσης που χρειαζόταν για προστασία έναντι πυρκαγιάς με μικρή επίδραση στην άθικτη ευστάθεια και την ευστάθεια μετά από βλάβη του πλοίου. Μια σειρά από συμβάντα ανάγκασε τους σχεδιαστές πολεμικών πλοίων να ξανασκεφτούν τη γενικευμένη χρήση του αλουμινίου. Στις μέρες μας, εξαιτίας της εκτεταμένης χρήσης ελαφρών κραμάτων στα ταχύπλοα σκάφη, τα κράματα αλουμινίου άρχισαν να διαδραματίζουν πάλι περιορισμένο μεν αλλά σημαντικό ρόλο. Για παράδειγμα, έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ιστών, φουγάρων (funnels) και υπερκατασκευασμάτων (deckhouses). Μερικά ταχύπλοα πολεμικά πλοία μεσαίου μεγέθους, τα οποία βρίσκονται στη φάση του σχεδιασμού, θα εφοδιαστούν με υπερκατασκευές κατασκευασμένες εξ ολοκλήρου από κράματα αλουμινίου. Η αποδοχή της χρήσης του αλουμινίου στα πολεμικά πλοία ποικίλλει μεταξύ των ναυτικών και εξαρτάται κυρίως από την προηγούμενη εμπειρία.

Εκτός από την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς, άλλα πιθανά μειονεκτήματα της χρήσης κραμάτων αλουμινίου στο πεδίο των πολεμικών πλοίων, σε σύγκριση με το χάλυβα, περιλαμβάνουν την κρισιμότητα της κατεργασίας, τη δυσκολία επισκευής, αντοχή σε εκρήξεις, έλλειψη βαλλιστικών ιδιοτήτων και μειωμένη ηλεκτρομαγνητική θωράκιση (electro-magnetic shielding – EMS). Τα κράματα αλουμινίου, όταν χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ιστών, δίνουν τη δυνατότητα σημαντικής μείωσης του βάρους, εάν συγκριθούν με τις ισοδύναμες λύσεις από χάλυβα. Στον αντίποδα, εξαιτίας του χαμηλού μέτρου ελαστικότητας του Young (Young modulus), ορισμένες φορές δεν είναι ικανή η κατασκευή να παράσχει την απαιτούμενη ακαμψία (stiffness) για την έδραση ορισμένων συσκευών των συστημάτων μάχης.

1.7.3 Σύνθετα υλικά.

Η χρήση των σύνθετων υλικών στην κατασκευή πολεμικών πλοίων βρίσκει εφαρμογή, γιατί προφανώς αυτά μπορούν να προσφέρουν ιδιότητες που είναι ελκυστικές για τις λειτουργικές απαιτήσεις αυτών. Για παράδειγμα, τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται στα πλοία ναρκοπολέμου (mine countermeasure vessels – MCMVs) εξαιτίας των μη μαγνητικών ιδιοτήτων τους. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των σύνθετων κατασκευών sandwich, συγκρινόμενες με τις παραδοσιακές ενισχυμένες χαλύβδινες κατασκευές, είναι η μείωση του βάρους (τυπικά 30 έως 70%). Μόνο αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να ενθαρρύνει τη χρήση των συνθετικών υλικών στα μικρά ταχύπλοα πολεμικά σκάφη, όπως τα πλοία κλάσης Skjold και Visby, όπου το χαμηλό βάρος τους τους επιτρέπει την ανάληψη αποστολών που δε θα μπορούσαν να αναλάβουν αν ήταν κατασκευασμένα από χάλυβα. Αμφότερα τα σκάφη είναι

κατασκευασμένα από FRP sandwich. Το χαμηλότερο βάρος των υπερκατασκευών προσφέρει χαμηλότερο κέντρο βάρους και αυξημένο ωφέλιμο φορτίο για τα πλοία. Αυτή η μείωση στο βάρος μπορεί να προσφέρει περισσότερα πλεονεκτήματα, όταν το πλοίο πρέπει να αναβαθμιστεί με την πάροδο των χρόνων ή όταν υπάρχουν αλλαγές στο σχεδιασμό την τελευταία στιγμή.



Εικόνα 5. Κορβέτα κλάσης Skjold [39].

Ένας άλλος παράγοντας που βοηθάει στην υιοθέτηση της χρήσης σύνθετων υλικών είναι οι αυστηρές απαιτήσεις υπογραφών. Επιπλέον, τα σύνθετα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των ιστών, όπου η κατασκευή περιλαμβάνει αισθητήρες και κεραίες παρέχοντάς τους ιδιότητες μη εντοπισμού και προστασία. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, χρησιμοποιούνται υλικά που απορροφούν όλες τις συχνότητες, ενώ είναι διαπερατά μόνο από τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τις κεραίες και τους αισθητήρες εντός των ιστών. Τέλος, η χρήση των σύνθετων υλικών έχει και άλλα πλεονεκτήματα έναντι του χάλυβα όπως τη μειωμένη συντήρηση, το μειωμένο κόστος στη διάρκεια ζωής του πλοίου και την εκτεταμένη διάρκεια ζωής.

Παρά τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, η χρήση των σύνθετων υλικών στη ναυπήγηση πολεμικών πλοίων είναι ακόμη περιορισμένη. Ένας πρωταρχικός λόγος για αυτό είναι ο συντηρητισμός των ναυτικών και των σχεδιαστών πολεμικών πλοίων, οι οποίοι στρέφονται συνήθως σε παραδοσιακά υλικά και λύσεις (όπως άλλωστε θα γίνει στη συνέχεια της έκθεσης και με το υπό μελέτη πλοίο). Επιπλέον, η έλλειψη γνώσης για το πώς χρησιμοποιούνται αυτά τα υλικά μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκείς σχεδιάσεις και χαμηλή ποιότητα, που οδηγούν σε μη αποδεκτές επιδόσεις κατά τα πειράματα και τις δοκιμές. Η ναυπήγηση με χρήση χάλυβα είναι ευρέως διαδεδομένη, ενώ υπάρχει περιορισμένος αριθμός ναυπηγείων που χρησιμοποιούν σύνθετα υλικά και αντίστοιχη τεχνολογία. Επίσης, τα ναυπηγεία που κάνουν χρήση σύνθετων υλικών και σύγχρονων τεχνικών είναι περιορισμένα σε πολύ μικρό αριθμό γεωγραφικών περιοχών, οπότε σε περίπτωση βλάβης, κατά τη διάρκεια μίας επιχείρησης, θα είναι πολύ πιο δύσκολο να βρεθεί ένα εξειδικευμένο

ναυπηγείο, για την επισκευή, σε λογική απόσταση, ειδικά όσον αφορά ένα ναυτικό το οποίο επιχειρεί σε παγκόσμιο επίπεδο. Τέλος, τα σύνθετα υλικά δεν έχουν την ίδια αντοχή στην έκρηξη με τις χαλύβδινες κατασκευές και όταν την αποκτήσουν χάνουν το πλεονέκτημα μειωμένου βάρους, ενώ αυξάνεται υπερβολικά και το κόστος.



Εικόνα 6. Κορβέτα κλάσης *Visby* [40].

2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Αυτό το τμήμα της εργασίας πραγματεύεται τον υπολογισμό των κατασκευαστικών στοιχείων του υπό μελέτη πλοίου, σύμφωνα με τους κανονισμούς του Γερμανικού Νηογνώμονα [41]. Επιπλέον, σύμφωνα με τα υπολογισμένα στοιχεία καταρτίζονται τα κατασκευαστικά σχέδια του πλοίου, ενώ γίνεται και ανάλυση της αντοχής του με τη βοήθεια των πεπερασμένων στοιχείων.

2.1 Το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο.

Το πλοίο που μελετήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι η κορβέτα κλάσης «ΥΔΡΑ» (“HYDRA” class corvette) [42]. Η κορβέτα είναι ένα πολεμικό πλοίο επιφανείας και ειδικότερα εντάσσεται στην κατηγορία των μικρών μάχιμων μονάδων. Ειδικότερα είναι το μεγαλύτερο πλοίο αυτής της κατηγορίας και ο κύριος ρόλος αυτής είναι η επιβολή ισχύος και η προστασία του εθνικού χώρου. Αυτά τα πλοία, συνήθως, δεν απομακρύνονται πάνω από 200 ναυτικά μίλια από τις ακτές, λόγω του μικρού μεγέθους τους.

Η κορβέτα «ΥΔΡΑ» (**Εικόνα 7**) είναι ένα πολεμικό πλοίο σχεδιασμένο για την κάλυψη επιχειρησιακών αναγκών κυρίως στο χώρο του Αιγαίου Πελάγους. Εντούτοις, λόγω της συμμετοχής της χώρας μας σε αμυντικές συμμαχίες κρατών (π.χ. NATO) δεν αποκλείεται και η ανάληψη καθηκόντων εκτός της προστατευμένης περιοχής του Αιγαίου Πελάγους. Τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4**.

Μέγεθος	Τιμή	Μονάδα
L_{oa}	107.5	<i>m</i>
L_{bp}	100	<i>m</i>
B	14.2	<i>m</i>
D	7.9	<i>m</i>
T	4.1	<i>m</i>
Δ	2826.8	<i>t</i>
C_B	0.472	-
v_0	29.20	<i>kn</i>
v_M	16.00	<i>kn</i>
v_{max}	30.90	<i>kn</i>
s (longitudinals)	0.6	<i>m</i>
s (transverse)	1.5	<i>m</i>
n	35	έτη

Πίνακας 4. Κύρια χαρακτηριστικά και διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου [42].

Το πλήρωμα του πλοίου θα αποτελείται από περίπου 93 άτομα (αξιωματικούς, υπαξιωματικούς και οπλίτες). Επιπλέον, θα έχει τη δυνατότητα ανεφοδιασμού και συντήρησης ενός ελικοπτήρου (Sikorsky S-70B-6 “Aegean Hawk”) στον ειδικά διαμορφωμένο χώρο που διαθέτει (ελικοδρόμιο και hangar).

Τα οπλικά συστήματα του πλοίου θα αποτελούνται από ένα πρωραίο πυροβόλο διαμετρήματος 76mm (*76 mm Super Rapid gun with STRALES kit*), έναν κατακόρυφο εκτοξευτήρα πυραύλων επιφανείας – αέρος (*Mk 41 VLS – 16 cells*), δύο πυροβόλα διαμετρήματος 30 mm (*MARLIN WS 30 mm*) -ένα σε κάθε πλευρά του-, δύο πυροβόλα διαμετρήματος 12.7 mm για την αντιμετώπιση ασύμμετρων απειλών (*12.7 mm Automatic Machine guns*) -ένα σε κάθε πλευρά του-, έξι торπιλοσωλήνες (*324 mm Mk 32 Triple Launchers for Mk 46*) -τρεις σε κάθε πλευρά του-, έναν εκτοξευτήρα πυραύλων στο πρυμναίο τμήμα της υπερκατασκευής (*PDMS RAM – 21 cells*) και δύο εκτοξευτήρες πυραύλων επιφανείας – επιφανείας (*2x4 SSM Harpoon Block 2*).



Εικόνα 7. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κορβέτας κλάσης «Υδρα» [43].

Επιπλέον των προαναφερθέντων, τον εξοπλισμό του πλοίου συμπληρώνουν δύο ταχύπλοα φουσκωτά σκάφη για τη μεταφορά ανδρών των ειδικών δυνάμεων (*RIBS*), ηλεκτρονικά αντίμετρα, ένας ολοκληρωμένος ιστός I mast 400 της Thales, ένα ηχοβολιστικό σύστημα (sonar) το οποίο θα είναι ενσωματωμένο στη γάστρα του σκάφους (*hull mounted sonar*), ένα συρόμενο ηχοβολιστικό σύστημα (*towed array VD sonar*), βοηθητικά συστήματα για τη ναυσιπλοΐα (*navigator radar subsystems*) και συστήματα εσωτερικής και εξωτερικής επικοινωνίας.

Τέλος, το πλοίο διαθέτει δύο μηχανοστάσια και δύο ηλεκτροστάσια. Στο ένα μηχανοστάσιο (πρωραίο) βρίσκονται εγκατεστημένοι οι δύο αεριοστρόβιλοι (*Rolls Royce Marine SPEY*), ενώ στο έτερο (πρυμναίο) οι δύο κινητήρες diesel (*Rolls Royce Bergen C25:33L6P*). Στο πρωραίο ηλεκτροστάσιο βρίσκονται εγκατεστημένα τα δύο από τρία ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (*MTU 8V 4000 M33F*) και στο πρυμναίο ηλεκτροστάσιο το άλλο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Το μηχανολογικό εξοπλισμό του σκάφους συμπληρώνουν οι μειωτήρες των αεριοστρόβιλων και των κινητήρων diesel, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε ένα χωριστό υδατοστεγές διαμέρισμα μεταξύ των δύο μηχανοστασίων.

2.2 Έλεγχος κατασκευαστικής σχεδίασης με βάση κανονισμούς νηογνώμωνων.

Η μελέτη και ο έλεγχος των κατασκευαστικών στοιχείων έγιναν βάσει των κανονισμών του Γερμανικού Νηογνώμονα (Germanischer Lloyd – GL) για πολεμικά πλοία. Η μελέτη των κατασκευαστικών στοιχείων είχε δύο κύριους περιορισμούς. Ο πρώτος και βασικότερος περιορισμός ήταν η επάρκεια των κατασκευαστικών στοιχείων ώστε το πλοίο να έχει την απαιτούμενη αντοχή έναντι των φορτίσεων, όπως αυτές υπαγορεύονται από τους κανονισμούς του νηογνώμονα. Ο δεύτερος περιορισμός, αν και εκ πρώτης όψεως φαίνεται ήσσονος σημασίας σε σχέση με τον πρώτο, είναι εξίσου σημαντικός. Αυτός είναι το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του σκάφους. Φαίνεται ήσσονος σημασίας καθώς κατά την κατασκευή του πλοίου προέχει η αντοχή του. Όταν όμως πρόκειται για πολεμικό πλοίο, το οποίο θα πρέπει να έχει μία υψηλή ταχύτητα μάχης, το βάρος της κατασκευής διαδραματίζει αρκετά σημαντικό ρόλο στον κατασκευαστικό σχεδιασμό.

Πριν την έναρξη της μελέτης και του ελέγχου των κατασκευαστικών στοιχείων χρειάστηκε να προσδιοριστούν διάφορα χαρακτηριστικά της κατασκευής του πλοίου. Το βασικότερο δεδομένο που απαιτούνταν για την έναρξη της μελέτης αντοχής ήταν το υλικό κατασκευής. Αρχικά η μελέτη πραγματοποιήθηκε θεωρώντας ως υλικό κατασκευής τον κοινό ναυπηγικό χάλυβα. Η μελέτη με τον κοινό χάλυβα είχε ως αποτέλεσμα ένα σκάφος αρκετά βαρύτερο από αυτό που είχε προκύψει από τη διαδικασία της προμελέτης (περίπου κατά 150 τόνους) και με αντοχή η οποία ήταν οριακή ίσως και ανεπαρκής σε κάποια σημεία του. Συνεπώς η επιλογή άλλου υλικού ήταν προφανής.

Μέγεθος	Τιμή	Μονάδα
E	2.06×10^5	MPa
R_{eH} or $R_{p0.2}$	390	MPa
R_m	510	MPa
ν	0.3	
ρ	7.85	t/m^3

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά χάλυβα GL-A 40 [41].

Το νέο υλικό που εκλέχθηκε ήταν ο χάλυβας υψηλής αντοχής με κωδικό *GL-A 40*. Τα στοιχεία του υλικού, όπως αναφέρονται στους κανονισμούς, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5**. Πραγματοποιώντας τη μελέτη με αυτό το υλικό παρατηρήσαμε σημαντική μείωση στα πάχη των ελασμάτων, αλλά και στις διαστάσεις των ενισχυτικών ακόμη και στην περίπτωση που ελήφθησαν οι δυσμενέστερες καταστάσεις φόρτισης. Ακόμη και με τα μειωμένα πάχη ελασμάτων και διαστάσεις ενισχυτικών η αντοχή της κατασκευής παρέμεινε σε αποδεκτά όρια και σε καμία περίπτωση δεν υπήρξε οριακή ή ανεπαρκής σύμφωνα με τους κανονισμούς.

Όσον αφορά το δεύτερο περιορισμό, το τελικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής προέκυψε περίπου ίσο με 1032t όταν το αντίστοιχο βάρος στην προμελέτη είχε ληφθεί ίσο περίπου με 1060t. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι το βάρος της μεταλλικής κατασκευής υπολογίσθηκε με δύο τρόπους. Με τον πρώτο τρόπο, ο οποίος εμπεριέχει και μεγαλύτερο σφάλμα, υπολογίσθηκε ο συνολικός όγκος του χάλυβα που

απαιτείται για την κατασκευή του πλοίου με μία προσθήκη 10% επί του συνολικού για τυχούσες ελλείψεις. Η διαδικασία υπολογισμού του βάρους παρουσιάζεται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ - Εκτίμηση βάρους μεταλλικής κατασκευής βάσει των υπολογισθέντων στοιχείων**. Ο δεύτερος υπολογισμός, και πιο ορθός, έγινε από την προσομοίωση του σκάφους στο εμπορικό λογισμικό MAESTRO.

Το σύστημα ενίσχυσης του σκάφους εκλέχθηκε να είναι το διάμηκες (*longitudinal stiffening*) με ισαπόσταση των δευτερευόντων ενισχυτικών (*secondary longitudinal stiffeners*) 600mm και ισαπόσταση των κύριων ενισχυτικών κατά τη διαμήκη κατεύθυνση (*primary longitudinal stiffeners – girders*) 2400mm. Η εκλογή αυτού του συστήματος έγινε γιατί, όπως αναφέρεται και στους κανονισμούς [41], παρουσιάζει καλύτερα χαρακτηριστικά όσον αφορά την αντοχή του σκάφους (σε άθικτη κατάσταση ή σε κατάσταση μετά από βλάβη) από το εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης (*transverse stiffening*). Όσον αφορά τα εγκάρσια ενισχυτικά (*transverse stiffeners*) του σκάφους, αυτά βρίσκονται στους κατασκευαστικούς νομείς (*frames*) του σκάφους, δηλαδή σε ισαπόσταση 1500mm μεταξύ τους.

Για τη μελέτη της αντοχής και την εφαρμογή των αντίστοιχων φορτίων στους υπολογισμούς, το πλοίο θεωρήθηκε ότι δεν έχει κάποιο περιορισμό όσον αφορά την περιοχή λειτουργίας (*unrestricted service area*) του. Επίσης, όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία έχουν υπολογιστεί για τη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτισης. Η παρούσα μελέτη δεν περιλαμβάνει φορτίσεις από εκρήξεις πυρομαχικών είτε στο εσωτερικό του πλοίου ή στο εξωτερικό ή υποθαλάσσιες εκρήξεις. Ο λόγος για αυτό είναι ότι οι πληροφορίες αυτές είναι απόρρητες. Επιπλέον, κατόπιν σχετικής ερώτησης στο Γερμανικό Νηογνώμονα, λήφθηκε η απάντηση ότι στις μελέτες των πολεμικών πλοίων δε λαμβάνονται υπόψιν τα φορτία από εκρήξεις, καθώς θεωρείται ότι το πλοίο έχει τα απαιτούμενα μέσα για την αναχαίτηση και καταστροφή αυτών πολύ πριν πλησιάσουν το πλοίο. – «*In case of loads / pressures of weapon effects or impacts we cannot give a recommendation. This is usually to be specified by the customer (the relevant Navy). Modern navy ships have usually active detection and defense systems therefore the hull structure / shell is usually not specially protected against the impact/effect of weapons*». Jörg Peschmann Dr.-Ing., Dep. Head of Sec., Structures Research & Development, Safety Technology, DNV GL - Maritime Technology and R&D.

Όσον αφορά τη μορφή των ενισχυτικών του σκάφους (είτε εγκάρσια ή διαμήκη), στους κανονισμούς αναφέρεται ότι θα πρέπει να είναι συμμετρικού σχήματος, ώστε να έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά απόκρισης στα φορτία που υποβάλλονται τα πολεμικά πλοία κατά τη λειτουργία τους. Συνεπώς, η μορφή των ενισχυτικών εκλέχθηκε να είναι T (*tau – tee*). Εξαιρέση αποτελούν τα ενισχυτικά στα ανοίγματα, όπου εκεί η μορφή τους για λόγους εργονομίας δε θα μπορούσε να είναι συμμετρική, οπότε εκλέχθηκαν ενισχυτικά με μορφή L (*γωνία – angle*).

Ένα άλλο στοιχείο που καθορίζεται από τους κανονισμούς, είναι η ύπαρξη διπύθμενου. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, αυτό θα πρέπει να καλύπτει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του σκάφους. Επιπλέον, μία ακόμα απαίτηση των κανονισμών είναι η ύπαρξη κατάλληλων ενισχύσεων στο έλασμα της τρόπιδας (*keel plate*) για την περίπτωση που το πλοίο δεξαμενίζεται (*docking brackets*). Τα στοιχεία αυτά τοποθετήθηκαν σε όλο το μήκος του πλοίου και με ισαπόσταση 500mm αρχής γενομένης από το νομέα 0 (fr. No. 0). Η ύπαρξη εδρών (*floors*) υδατοστεγών ή όχι, καθορίζεται και αυτή από τους κανονισμούς. Οι έδρες έχουν τοποθετηθεί στο εσωτερικό του διπύθμενου στους κατασκευαστικούς νομείς του σκάφους και με ισαπόσταση 1500mm, δηλαδή όπως ακριβώς και οι κατασκευαστικοί νομείς.

Έπειτα από τον καθορισμό των βασικών χαρακτηριστικών της κατασκευής, όπως αυτά αναφέρθηκαν νωρίτερα, έγιναν οι υπολογισμοί για να καθοριστεί το πάχος των ελασμάτων και οι διαστάσεις των ενισχυτικών. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τα κύριότερα κατασκευαστικά στοιχεία παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6** και στον **Πίνακα 7**. Η διαδικασία υπολογισμών καθώς και το σύνολο των κατασκευαστικών στοιχείων παρουσιάζεται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - Υπολογισμός κατασκευαστικών στοιχείων βάσει των κανονισμών του Γερμανικού Νηογνώμονα (GL)**.

Κατασκευαστικό Στοιχείο	Κατακόρυφη θέση [mm]	Πάχος [mm]
Έλασμα πυθμένα (<i>bottom plate</i>)	$z \leq 1500$	10
Έλασμα τρόπιδας (<i>flat keel plate</i>)	-	12
Έλασμα έδρας (<i>floor plate</i>)	-	6
Έλασμα ενισχύσεων δεξαμενισμού (<i>docking bracket plate</i>)	-	6
Έλασμα διπύθμενου (<i>tank top plate</i>)	$z = 1500$	7
Έλασμα πλευράς (<i>side shell plate</i>)	$1500 \leq z \leq 4100$	9
Έλασμα πλευράς (<i>side shell plate</i>)	$4100 \leq z \leq 7900$	8
Έλασμα πλευράς (<i>side shell plate</i>)	$7900 \leq z \leq 10500$	7
Έλασμα πλευράς (<i>side shell plate</i>)	$10500 \leq z \leq 12900$	5
Έλασμα πλευράς (<i>side shell plate</i>)	$12900 \leq z \leq 15500$	5
Έλασμα δεξαμενών (<i>tank plate</i>)	-	6
Έλασμα <u>υδατοστεγών</u> φρακτών (<i>watertight bulkhead plate</i>)	-	6
Έλασμα φρακτών (<i>bulkhead plate</i>)	-	5
Έλασμα καταστρώματος ελικοδρομίου (<i>heliport deck plate</i>)	-	15
Έλασμα καταστρώματος <i>hangar</i> (<i>hangar deck plate</i>)	-	15
Έλασμα προστατευμένων καταστρωμάτων (<i>protected deck plate</i>)	-	5
Έλασμα εκτεθειμένων καταστρωμάτων (<i>exposed deck plate</i>)	-	5

Πίνακας 6. Πάχη ελασμάτων κυριότερων κατασκευαστικών στοιχείων.

Κατασκευαστικό Στοιχείο	Κατακόρυφη θέση [mm]	Μορφή – Διαστάσεις [mm]
Διάμηκες ενισχυτικό πυθμένα	-	T150x12+120x12
Διάμηκες ενισχυτικό διπύθμενου	-	T50x7+50x7
Διάμηκες ενισχυτικό πλευράς	1500 ≤ z ≤ 4100	T100x8+80x10
Εγκάρσιο ενισχυτικό πλευράς		T200x10+100x12
Διάμηκες ενισχυτικό πλευράς	4100 ≤ z ≤ 7900	T100x10+80x10
Εγκάρσιο ενισχυτικό πλευράς		T220x8+100x10
Διάμηκες ενισχυτικό πλευράς	7900 ≤ z ≤ 10500	T100x7+70x8
Εγκάρσιο ενισχυτικό πλευράς		T150x10+100x12
Διάμηκες ενισχυτικό πλευράς	10500 ≤ z ≤ 12900	T60x6+50x6
Εγκάρσιο ενισχυτικό πλευράς		T80x8+80x8
Διάμηκες ενισχυτικό πλευράς	12900 ≤ z ≤ 15500	T60x5+50x5
Εγκάρσιο ενισχυτικό πλευράς		T80x6+80x8
Διάμηκες ενισχυτικό τοιχώματος δεξαμενής	-	T90x8+90x10
Εγκάρσιο ενισχυτικό τοιχώματος δεξαμενής	-	T100x10+100x12
Κατακόρυφο ενισχυτικό υδατοστεγούς φρακτής	-	T120x8+120x12
Κατακόρυφο ενισχυτικό φρακτής	-	T50x5+50x5
Πρωτεύον διάμηκες ενισχυτικό καταστρώματος ελικοδρομίου	-	T300x15+180x20
Δευτερεύον διάμηκες ενισχυτικό καταστρώματος ελικοδρομίου	-	T100x8+80x8
Εγκάρσιο ενισχυτικό καταστρώματος ελικοδρομίου	-	T100x8+100x10
Πρωτεύον διάμηκες ενισχυτικό καταστρώματος hangar	-	T200x10+100x10
Δευτερεύον διάμηκες ενισχυτικό καταστρώματος hangar	-	T100x8+80x8
Εγκάρσιο ενισχυτικό καταστρώματος hangar	-	T80x8+80x10
Πρωτεύον διάμηκες ενισχυτικό κύριου καταστρώματος	-	T300x15+180x20
Δευτερεύον διάμηκες ενισχυτικό κύριου καταστρώματος	-	T60x6+50x6
Εγκάρσιο ενισχυτικό κύριου καταστρώματος	-	T100x8+100x10

Πίνακας 7. Μορφή και διαστάσεις ενισχυτικών.

Από τη μελέτη προέκυψαν πολύ μικρά πάχη ελασμάτων (3mm) για αρκετά κατασκευαστικά στοιχεία. Εντούτοις, επιλέχθηκε να μην υιοθετηθούν αυτά τα πάχη ελάσματος, λόγω της δυσκολίας στην κατεργασία τους. Έτσι, όλα τα ελάσματα με πάχος μικρότερο των 5mm λήφθηκαν ότι έχουν πάχος 5mm, ώστε το πλοίο να μπορεί να κατασκευαστεί ακόμη και σε ναυπηγεία τα οποία δε χρησιμοποιούν υψηλής τεχνολογίας πρακτικές στη ναυπήγηση.

Έχοντας υπολογίσει τα χαρακτηριστικά των κατασκευαστικών στοιχείων από την τοπική αντοχή, γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί της ολικής (διαμήκους – longitudinal) αντοχής του σκάφους. Ακολουθώντας τους κανονισμούς παρατηρήθηκε ότι για το σκοπό αυτό πρέπει να υπολογιστεί η ροπή αδράνειας (moment of inertia) της μέσης τομής του σκάφους. Επιπλέον, η τιμή της ροπής αδράνειας που υπολογίστηκε θα πρέπει να υπερβαίνει την αντίστοιχη ελάχιστη τιμή που υπολογίζεται βάσει των κανονισμών ή να είναι έστω οριακά ίση με αυτήν.

Σύμφωνα με το Γερμανικό Νηογνώμονα, η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης της μέσης τομής θα πρέπει να είναι **727,629,753.012 cm⁴** και η ροπή αντίστασης της μέσης τομής του σκάφους, όπως υπολογίζεται από τα κατασκευαστικά σχέδια του σκάφους (**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ - Κατασκευαστικά σχέδια (profile and decks, typical frame, typical web frame, typical watertight bulkhead, typical bulkhead).**) είναι **1,646,768,514.299 cm⁴**. Συνεπώς το σκάφος έχει υπερδιπλάσια ροπή αντίστασης από την αντίστοιχη ελάχιστη τιμή που προτείνουν οι κανονισμοί. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης της μέσης τομής λήφθηκε υπόψιν και η συνεισφορά του πρώτου καταστρώματος (first floor) πάνω από το κύριο κατάστρωμα, μια και αυτό εκτείνεται κατά μήκος του πλοίου για περισσότερο από το 40% μήκους του. Η διαδικασία υπολογισμού της ροπής αντίστασης και της ροπής αδράνειας της μέσης τομής παρουσιάζεται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ - Υπολογισμός ροπής αντίστασης (section modulus) και ροπής αδράνειας (moment of inertia) μέσης τομής.**

Τέλος, τμήμα της μελέτης αντοχής αποτελεί και ο υπολογισμός του δείκτη εξαρτισμού (Equipment Numeral) του πλοίου, ο οποίος παρουσιάζεται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - Υπολογισμός δείκτη εξαρτισμού (Equipment Numeral) βάσει των κανονισμών του Γερμανικού Νηογνώμονα (GL).** Βάσει αυτού του δείκτη υπολογίζονται τα βάρη και ο απαιτούμενος αριθμός των αγκυρών. Επιπλέον καθορίζονται διάφορα άλλα στοιχεία που αφορούν στην ασφαλή αγκυροβολία, πρόσδεση και ρυμούλκηση του σκάφους.

2.3 Έλεγχος κατασκευαστικής σχεδίασης με βασικές αρχές – Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων.

Ο Γερμανικός Νηογνώμονας στους κανονισμούς του, αναφέρει ότι αποδέχεται τη μελέτη αντοχής του σκάφους αν αυτή έχει γίνει με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων. Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια να μοντελοποιηθεί το πλοίο σε κατάλληλο λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων ώστε να διαπιστωθεί αν οι υπολογισμοί των κατασκευαστικών στοιχείων, που έγιναν σύμφωνα με της κανονισμούς του νηογνώμονα, προσδίδουν στο σκάφος επαρκή αντοχή.

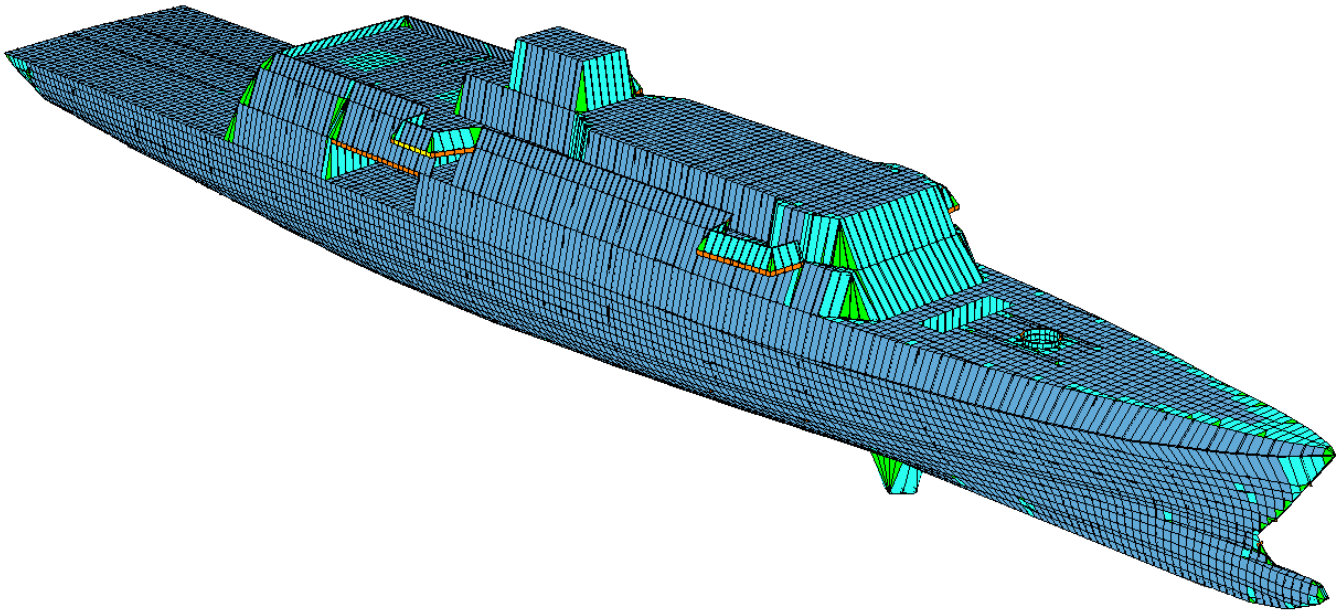
Για το λόγο αυτό, το υπό μελέτη σκάφος υποβλήθηκε σε διάφορες καταστάσεις φόρτισης. Οι καταστάσεις αυτές λήφθηκαν από τους κανονισμούς του Γαλλικού Νηογνώμονα (Bureau Veritas – BV) [44], μια και ο Γερμανικός Νηογνώμονας δεν έχει κάποιο αντίστοιχο τμήμα στους κανονισμούς του. Η εκλογή των κανονισμών του Γαλλικού Νηογνώμονα δεν είναι τυχαία, καθώς ο συγκεκριμένος είναι μέλος της Διεθνούς Ένωσης Νηογνώμωνων (International Association of Classification Societies – I.A.C.S.) και επιπλέον είναι από της πρώτους νηογνώμονες που ανέπτυξαν κανονισμούς για πολεμικά πλοία.

2.3.1 Μοντελοποίηση με το εμπορικό λογισμικό MAESTRO.

Η ανάλυση της αντοχής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του εμπορικού λογισμικού MAESTRO. Το λογισμικό αυτό κάνει χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων για την ανάλυση των φορτίσεων και της απόκρισης της κατασκευής. Έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί στατική, αλλά και δυναμική ανάλυση της κατασκευής. Στην παρούσα μελέτη έγινε χρήση της στατικής ανάλυσης, δηλαδή το πλοίο και το κύμα ακίνητα. Το συγκεκριμένο λογισμικό εκλέχθηκε γιατί είναι σε θέση να δώσει ασφαλή αποτελέσματα σε πολύ γρήγορο χρονικό διάστημα και με μικρές απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ.

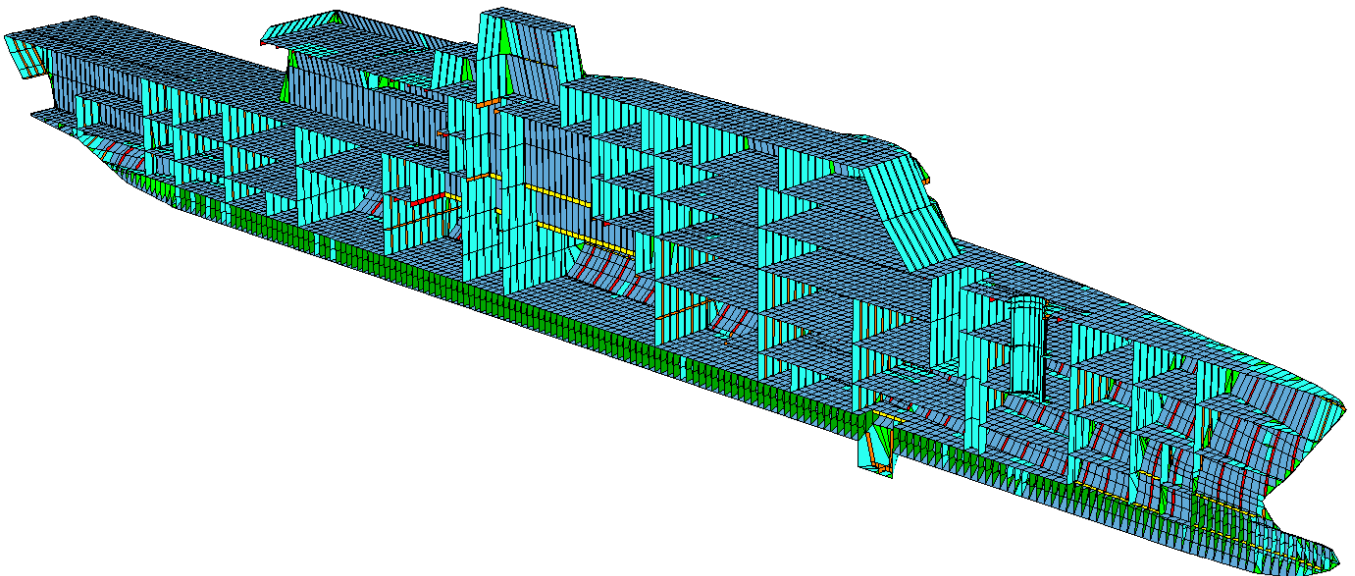
Η μοντελοποίηση της κατασκευής γίνεται με σειρές σημείων οι οποίες περιγράφουν τη γεωμετρία του σκάφους. Τα σημεία αυτά αποτελούν και τους κόμβους του υπολογιστικού πλέγματος. Ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτών των σημείων είναι ότι προέρχονται από γραμμική παρεμβολή του πρώτου και του τελευταίου σημείου της σειράς. Ο αριθμός των ενδιάμεσων σημείων εξαρτάται από τη διαμέριση που θα ορίσει ο χρήστης. Εκτός από τις σειρές σημείων, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει επιπρόσθετους κόμβους όπου απαιτείται.

Στο υπό μελέτη πλοίο η διαμέριση κατά το διάμηκες έγινε ανά 500mm. Επιπλέον, για την ορθότερη περιγραφή της γεωμετρίας του σκάφους, το αρχικό και τελικό σημείο κάθε ευθύγραμμου τμήματος λήφθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να συμπίπτει με τους σχεδιαστικούς νομείς του σκάφους. Με αυτό τον τρόπο, το πρώτο σημείο κάθε σειράς σημείων βρίσκεται στον ένα σχεδιαστικό νομέα και το τελευταίο στον αμέσως επόμενο. Κάνοντας αυτή την ενέργεια η γεωμετρία του σκάφους προσεγγίσθηκε με ευθύγραμμα τμήματα των 5000mm. Εξαιρεση από τελούν το πρωραίο τμήμα και το πρυμναίο τμήμα, στα οποία οι αντίστοιχες σειρές σημείων έχουν μήκος 2500mm, ώστε να επιτευχθεί καλύτερη περιγραφή της έντονης γεωμετρίας που παρατηρείται σε αυτές της περιοχές.



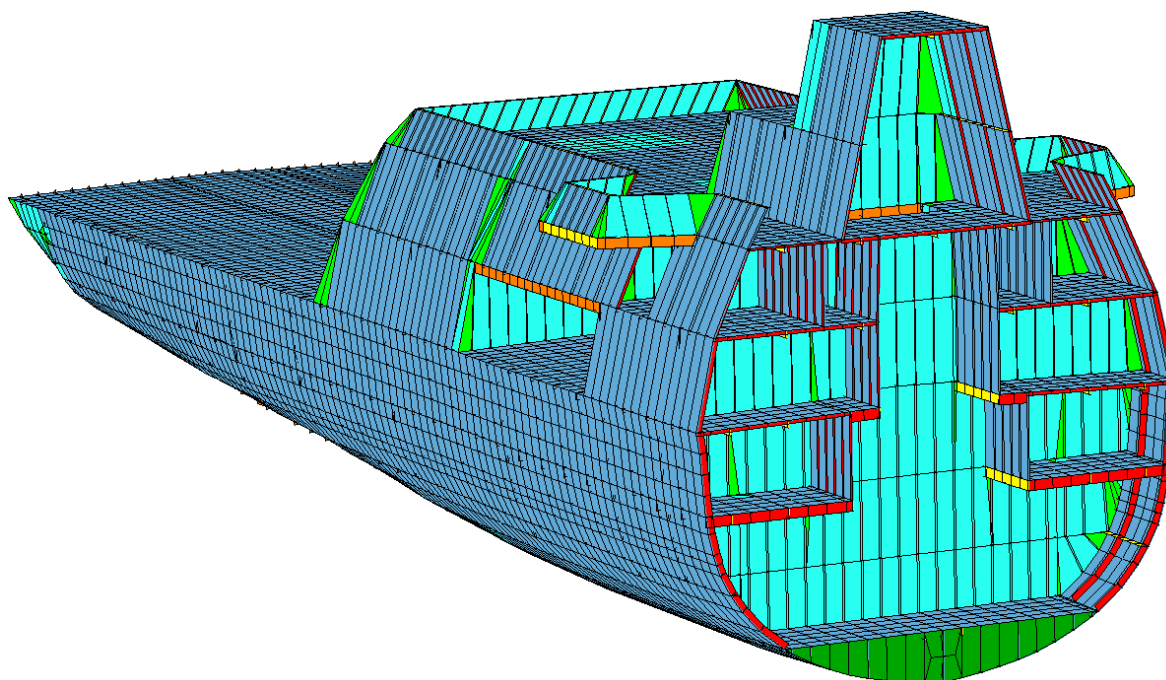
Εικόνα 8. Προοπτική απεικόνιση του πλοίου (starboard side) στο MAESTRO.

Όσον αφορά τη διάμεριση κατά το εγκάρσιο επίπεδο (κατά πλάτος) αυτή λήφθηκε ανά 600mm, δηλαδή όση και η ισαπόσταση των ενισχυτικών. Εξαιρέση αποτελούν περιοχές του σκάφους όπου υπάρχουν μεγάλες αλλαγές στη γεωμετρία (κυρίως της περιοχής που το κατάστρωμα συναντά την πλευρά του πλοίου). Η ίδια διάμεριση (600mm) κρατήθηκε και κατά το κατακόρυφο επίπεδο, αλλά μόνο όσον αφορά την πλευρά του σκάφους. Η πλευρά του σκάφους έχει καμπύλο σχήμα οπότε εκλέχθηκε σχετικά μικρή διαμέριση για να προσεγγισθεί η μορφή της όσο καλύτερα γίνεται.

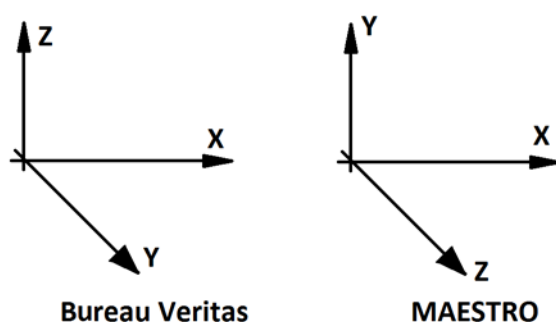


Εικόνα 9. Διαμήκης τομή του πλοίου (port side at C.L.) στο MAESTRO.

Κατά τη διαδικασία της εισαγωγής των κόμβων έγινε προσπάθεια ώστε ο αριθμός τους να διατηρηθεί όσο το δυνατόν μικρότερος, για να ληφθούν τα αποτελέσματα σε μικρό χρονικό διάστημα. Αυτή είναι άλλωστε και η φιλοσοφία αυτού του λογισμικού, με όσο το δυνατόν λιγότερους κόμβους να παίρνουμε ασφαλή στοιχεία για την απόκριση του σκάφους και σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Τελικά, ο αριθμός των κόμβων για το υπό μελέτη σκάφος είναι 32051 και ο αριθμός των στοιχείων είναι 48162.



Εικόνα 10. Εγκάρσια τομή του πλοίου (fr. No. 32) στο MAESTRO.



Εικόνα 11. Διαφορές συστημάτων αναφοράς μεταξύ Bureau Veritas και MAESTRO.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιεί το λογισμικό για την περιγραφή του υπό μελέτη πλοίου είναι:

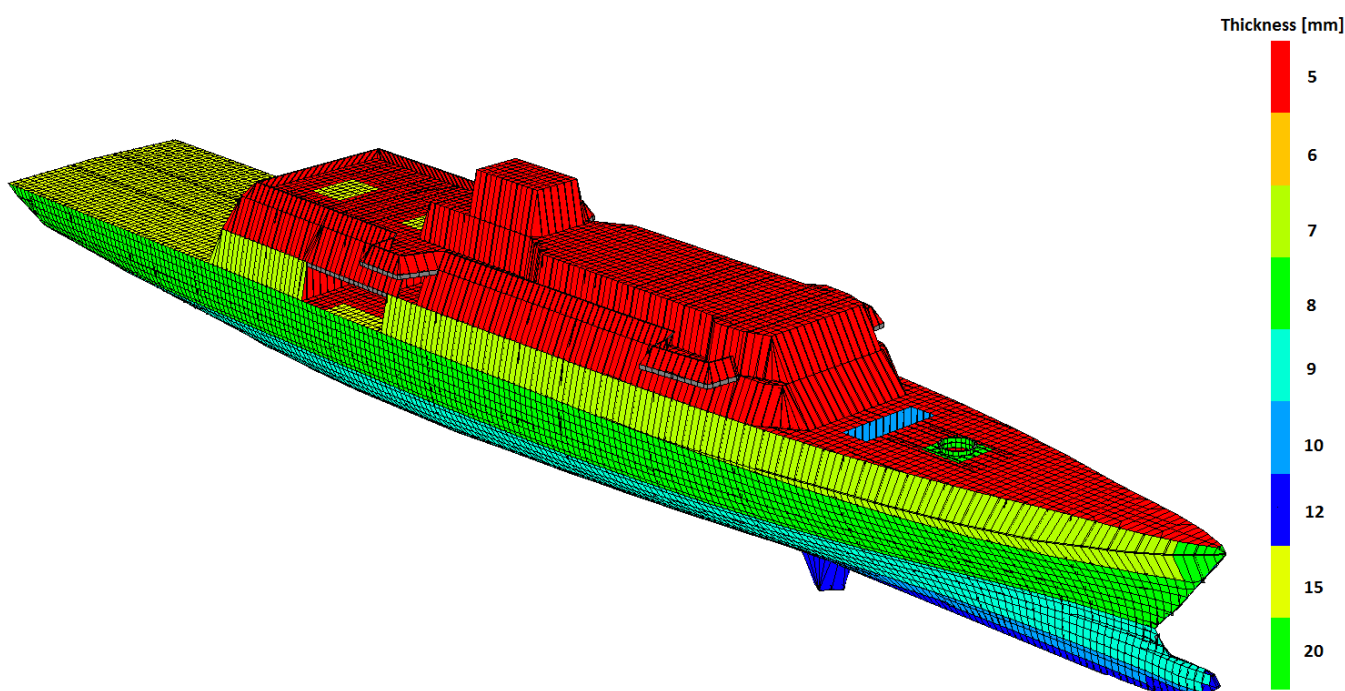
- Τετράπλευρα στοιχεία (quad elements),
- Τριγωνικά στοιχεία (tri-elements),
- Στοιχεία δοκοί (beam elements),
- Στοιχεία ράβδοι (rod elements) και

- Σύνθετα υπερστοιχεία (compounds, strakes), τα οποία σχηματίζονται από την ένωση των παραπάνω απλών στοιχείων.

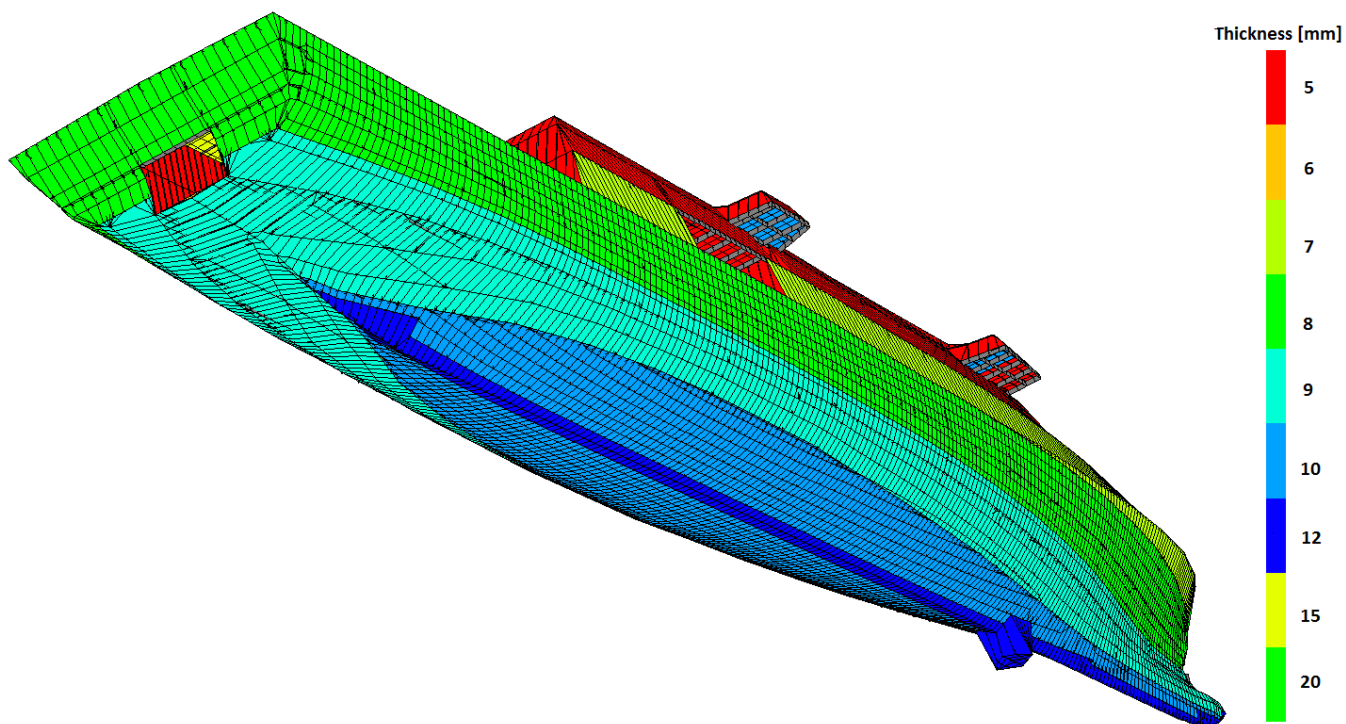
Η ανάλυση που πραγματοποιεί το MAESTRO είναι στατική. Αυτό υποδηλώνει ότι πλοίο και κύμα είναι αμφότερα ακίνητα. Για να εξασφαλιστεί ότι το πλοίο δε θα κινηθεί από την επιβολή του κύματος, απαιτείται η εισαγωγή κάποιων περιορισμών. Για την επιβολή αυτών των περιορισμών ακολουθήθηκαν οι κανονισμοί του Γαλλικού Νηογνώμονα (**Πίνακας 8**). Η μόνη διαφορά είναι ότι ο εγκάρσιος άξονας (κατά πλάτος) στο MAESTRO είναι ο άξονας Z, ενώ στους κανονισμούς είναι ο άξονας Y και αντίστοιχα ο κατακόρυφος άξονας στο MAESTRO είναι ο άξονας Y και στους κανονισμούς είναι ο άξονας Z (**Εικόνα 11**).

	X	Y	Z
1 κόμβος στην πλώρη	Πακτωμένος	Πακτωμένος	Ελεύθερος
1 κόμβος στην πρύμνη αριστερά	Ελεύθερος	Πακτωμένος	Πακτωμένος
1 κόμβος στην πρύμνη δεξιά	Πακτωμένος	Πακτωμένος	Ελεύθερος

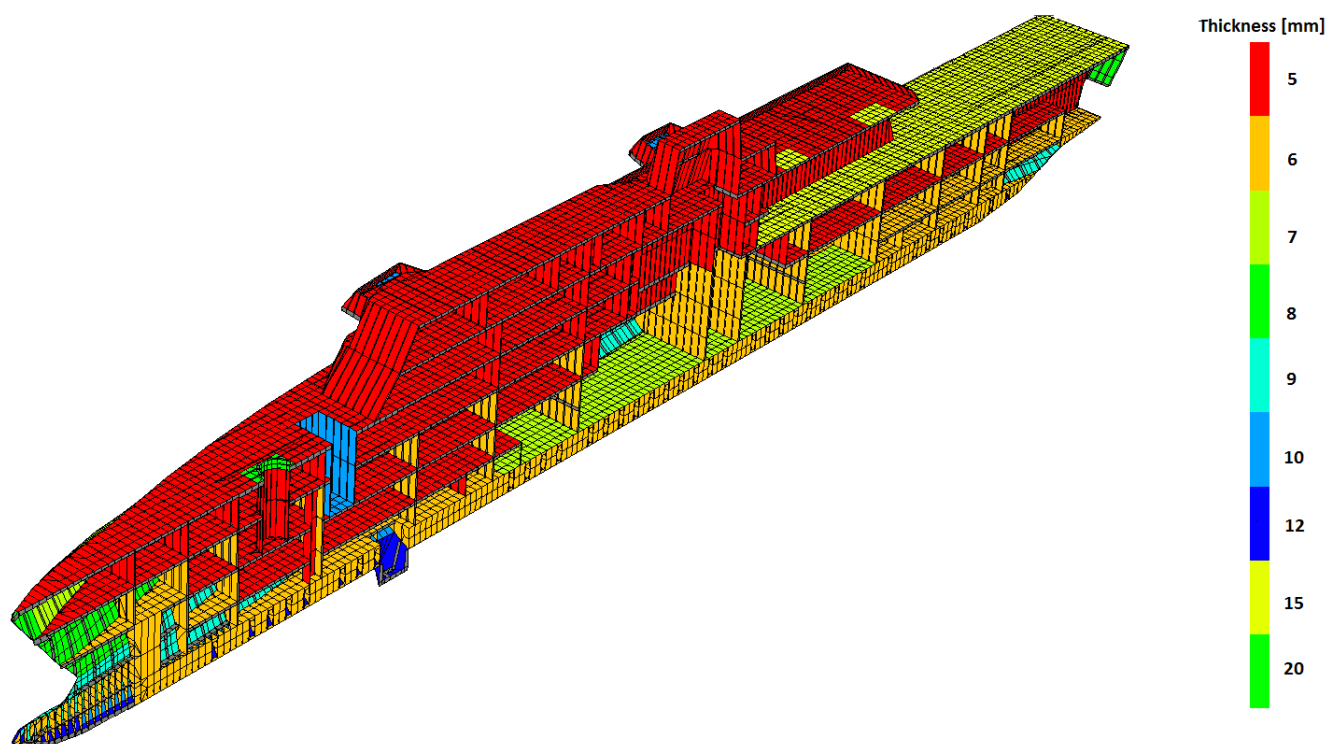
Πίνακας 8. Στήριξη του σκάφους.



Εικόνα 12. Πάχη ελασμάτων στο MAESTRO.



Εικόνα 13. Πάχη ελασμάτων στο MAESTRO.



Εικόνα 14. Πάχη ελασμάτων στο MAESTRO.

Φορτία	Βάρος [t]	Κέντρα Βαρών (συντεταγμένες στο MAESTRO)		
		X [m]	Y [m]	Z [m]
Otto melara 72mm	7.900	87.500	12.000	0
I-mast-400	52.000	59.500	18.000	0
Harpoon-1	5.900	39.000	14.200	0
Harpoon-2	5.900	40.500	14.200	0
Ram	6.124	30.500	15.200	0
Marlin (stbd side)	1.430	44.500	14.500	7.200
Marlin (port side)	1.430	44.500	14.500	- 7.200
VLS-Launcher	48.624	82.000	8.100	0
Hitrole (stbd side)	0.260	70.000	14.500	6.600
Hitrole (port side)	0.260	70.000	14.500	- 6.600
Rolls-Royce Marine Spey (gas turbine – stbd side)	25.700	54.750	2.800	1.500
Rolls-Royce Marine Spey (gas turbine – port side)	25.700	54.750	2.800	- 1.500
Diesel Engine's Reduction Gear (stbd side)	5.000	45.500	2.000	1.500
Diesel Engine's Reduction Gear (port side)	5.000	45.500	2.000	- 1.500
Gas Turbine's Reduction Gear	10.000	47.000	2.200	0
Rolls-Royce C25:33L6P (stbd side)	20.000	41.000	2.500	1.500
Rolls-Royce C25:33L6P (port side)	20.000	41.000	2.500	- 1.500
MTU 8V4000M33F genset (fore part – stbd side)	10.000	63.500	2.500	1.500
MTU 8V4000M33F genset (fore part – port side)	10.000	63.500	2.500	- 1.500
MTU 8V4000M33F genset (aft part)	10.000	63.500	2.500	0
RIB Davit (stbd side)	1.650	43.00	8.500	6.600
RIB Davit (stbd side)	1.650	43.00	8.500	- 6.600
RIB (7m) (stbd side)	2.540	38.500	8.500	6.600
RIB (7m) (stbd side)	2.540	38.500	8.500	- 6.600
S-70B AH (helicopter)	10.000	9.000	11.100	0
Torpedo Launcher (stbd side)	1.100	45.250	11.000	5.400
Torpedo Launcher (port side)	1.100	45.250	11.000	- 5.400

Πίνακας 9. Κατανεμημένα βάρη της κόμβους.

Για την ανάλυση του πλοίου στο MAESTRO εκτός από τη μορφή του πρέπει να οριστούν επιπλέον τα υλικά κατασκευής καθώς και τα κατασκευαστικά στοιχεία με τις διαστάσεις τους. Σε αυτή τη φάση θα πρέπει να οριστούν και τα ενισχυτικά με τις ισαποστάσεις τους. Όσον αφορά τα ενισχυτικά, το λογισμικό έχει δύο επιλογές. Η πρώτη είναι να εισαχθεί η ισαπόσταση των ενισχυτικών, ενώ η δεύτερη είναι να εισαχθεί ο αριθμός

των ενισχυτικών που υπάρχουν σε κάποιο κατασκευαστικό στοιχείο. Στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο τρόποι.

Δεξαμενή	Όγκος [m ³]	Πυκνότητα [t/m ³]	Βάρος [t]	Κέντρα Βαρών (συντεταγμένες στο MAESTRO)		
				X [m]	Y [m]	Z [m]
f.w.	36.708	1.005	36.892	46.249	0.910	0
f.o.1-stbd	15.889	0.83	13.188	20.039	2.614	3.705
f.o.1-port	15.889	0.83	13.188	20.039	2.614	- 3.705
f.o.2	40.800	0.83	33.864	24.500	2.350	0
f.o.3	68.247	0.83	56.645	33.582	0.885	0
f.o.4	45.870	0.83	38.072	64.418	0.885	0
f.o.5-stbd	9.495	0.83	7.881	72.000	2.685	4.010
f.o.5-port	9.495	0.83	7.881	71.998	2.685	- 4.010
f.o.6	44.323	0.83	36.788	26.181	0.928	0
f.o.7-stbd	17.927	0.83	14.880	71.781	0.977	1.100
f.o.7-port	17.927	0.83	14.880	71.781	0.977	- 1.100
f.o.8	14.257	0.83	11.833	80.846	0.996	0
f.o.serv1	26.194	0.83	21.741	42.500	0.814	0
f.o.serv2	78.449	0.83	65.113	54.173	0.839	0
f.o.serv3	19.645	0.83	16.306	39.000	0.814	0
j.p.5.-stor-stbd	10.608	0.81	8.592	16.101	2.641	2.588
j.p.5.-stor-port	10.608	0.81	8.591	16.101	2.642	- 2.588
j.p.5-cont.sett.	4.881	0.81	3.954	16.205	1.048	0
j.p.5-serv.	11.755	0.81	9.522	16.048	2.351	0
l.o.-stbd	7.897	0.9	7.107	42.500	1.069	3.424

Πίνακας 10. Βάρη δεξαμενών στην κατάσταση "Full Load Departure".

Προτού αρχίσει η ανάλυση πρέπει να προστεθούν τα βάρη του σκάφους έτσι ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό βύθισμα, για το οποίο θα γίνει η μελέτη. Τα βάρη εντάσσονται σε διάφορες κατηγορίες, και είναι συγκεντρωμένα φορτία στους κόμβους, καταναμημένα φορτία στους κόμβους, καταναμημένα φορτία στα ελάσματα, καταναμημένα φορτία σε ένα τμήμα ή περισσότερα του σκάφους και φορτία δεξαμενών.

Όσον αφορά τα φορτία λόγω των δεξαμενών υπάρχει η δυνατότητα να δοθεί η πυκνότητα του υγρού που περιέχεται στη δεξαμενή και το ποσοστό πλήρωσης της αντί της περιεχόμενης μάζας. Το πρόγραμμα υπολογίζει τον όγκο της δεξαμενής και την πληρώνει ανάλογα με της τιμές που έχουν δοθεί από το χρήστη. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται τυχόν σφάλματα που μπορεί να προκύψουν κατά τον ορισμό της μάζας της δεξαμενής (για παράδειγμα η δεξαμενή να πληρωθεί πάνω από το 100%, αν δεν έχει γίνει σωστά ο υπολογισμός της).

Στα φορτία που ισοκατανέμονται στους κόμβους υπάρχει η επιλογή να ορίσει ο χρήστης το ύψος του κέντρου βάρους του φορτίου. Αυτό βοηθάει στον υπολογισμό της γυροσκοπικής ακτίνας του πλοίου με ικανοποιητική ακρίβεια. Στο συγκεκριμένο πλοίο η

γυροσκοπική ακτίνα για την κίνηση του διατοιχισμού (roll radius of gyration) προέκυψε **6163.4 mm** ή **0.41** του πλάτους σχεδίασης. Αυτό ήταν αναμενόμενο μια και για τα εμπορικά πλοία η αντίστοιχη ακτίνα είναι 0.35. Στην περίπτωση του πολεμικού πλοίου έχουμε μεγάλα βάρη σε υπολογίσιμη απόσταση από το κέντρο βάρους του πλοίου οπότε η τιμή της ακτίνας θα είναι αυξημένη.

Η ανάλυση της αντοχής του πλοίου πραγματοποιήθηκε για την κατάσταση “*Full Load Departure*”. Σε αυτή την κατάσταση το πλοίο διαθέτει τη μεγαλύτερη ποσότητα εφοδίων την οποία έχει δυνατότητα να μεταφέρει. Επιπλέον, στην κατάσταση αυτή, το πλοίο διαθέτει το μέγιστο αριθμό πληρώματος και την ελάχιστη ποσότητα θαλάσσιου έρματος. Όσον αφορά την υπό μελέτη κορβέτα η ποσότητα του θαλάσσιου έρματος είναι μηδενική σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης. Αναλυτικότερα τα βάρη παρουσιάζονται στον **Πίνακα 9**, στον **Πίνακα 10** και στον **Πίνακα 11**. Όσον αφορά τα υπόλοιπα βάρη μέχρι την επίτευξη του επιθυμητού εκτοπίσματος και βυθίσματος αυτά είναι ισοκατανεμημένα σε όλη την κατασκευή.

Φορτία	Βάρος [t]	Κέντρα Βαρών (συντεταγμένες στο MAESTRO)		
		X [m]	Y [m]	Z [m]
Αλυσίδα Άγκυρας (stbd side)	19.500	97.477	1.500	0.226
Αλυσίδα Άγκυρας (port side)	19.500	97.477	1.500	-0.226
Sonar	10.000	77.273	-1.500	0

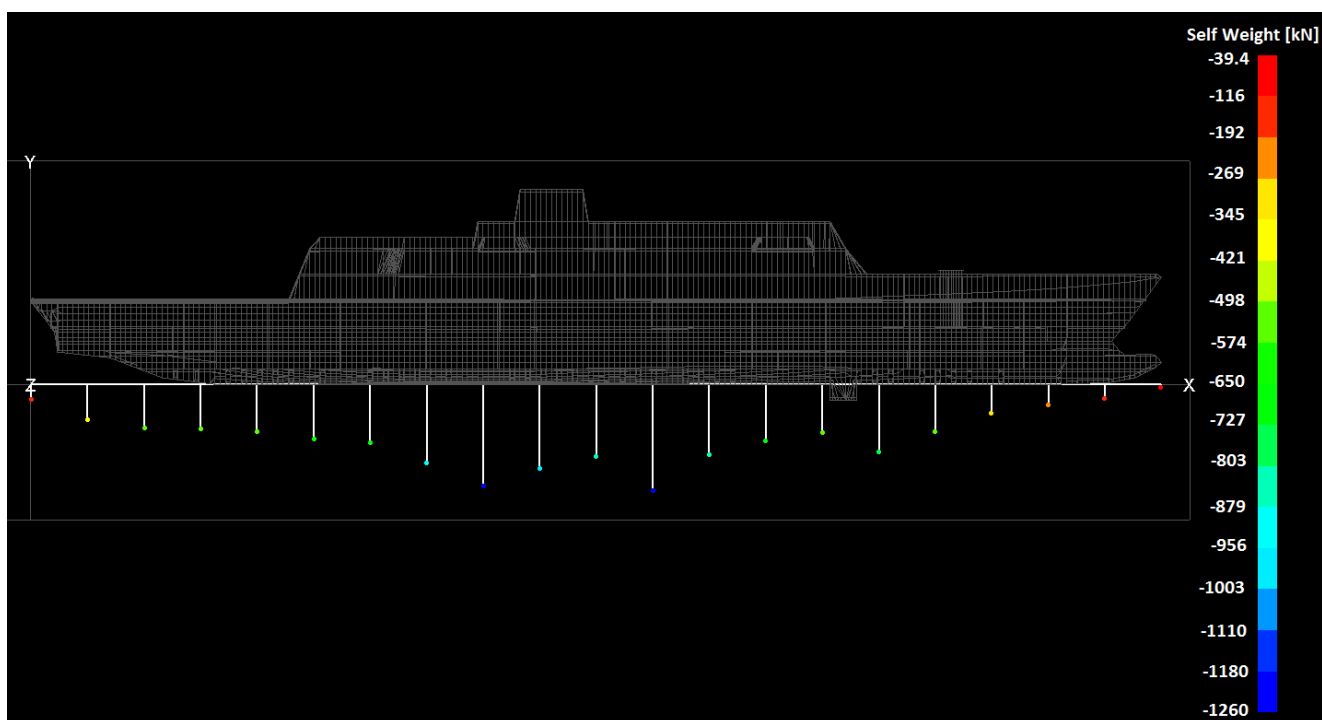
Πίνακας 11. Κατανεμημένα βάρη στα ελάσματα.

Όσον αφορά τις καταστάσεις φόρτισης του πλοίου (σε ήρεμο νερό και σε διάφορα κύματα) αυτές λήφθηκαν σύμφωνα με τους κανονισμούς του Γαλλικού Νηογνώμονα [44]. Επιπλέον, επειδή το συγκεκριμένο πλοίο έχει μελετηθεί ως μονάδα που μπορεί να ενταχθεί στο στόλο του Πολεμικού Ναυτικού, έχουν μελετηθεί και κάποιες καταστάσεις με κύμα το οποίο είναι αντιπροσωπευτικό των κυμάτων που συναντώνται στο Αιγαίο Πέλαγος. Οι κυριότερες καταστάσεις φόρτισης παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια, ενώ όλες οι καταστάσεις παρουσιάζονται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε - Αποτελέσματα από το εμπορικό λογισμικό MAESTRO**.

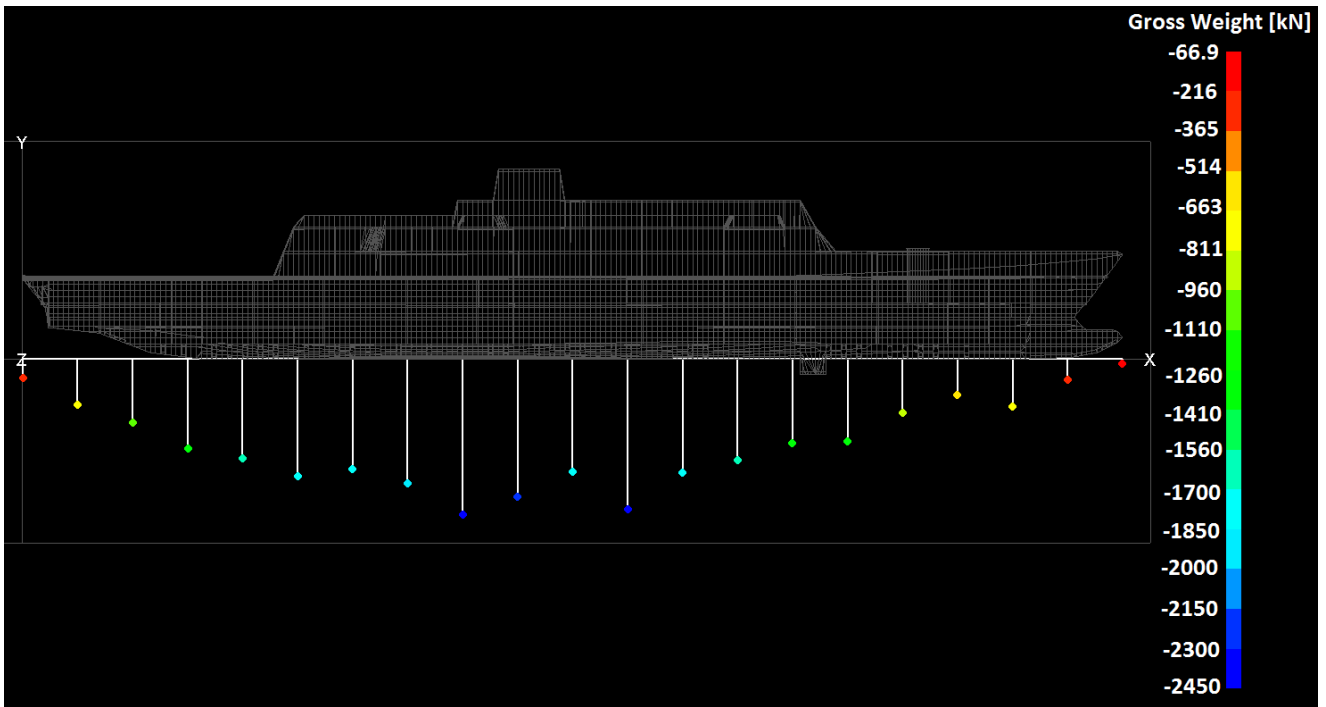
2.3.1.1 Ήρεμο νερό – Μέγιστο Εκτόπισμα (Still Water – Full Load).

Στην κατάσταση αυτή το πλοίο ισορροπεί στη θάλασσα στο βύθισμα σχεδίασης υπό την επίδραση του βάρους του και της άντωσης. Η κατάσταση αυτή είναι ιδανική και συνήθως το σκάφος υποβάλλεται σπάνια σε αυτή τη φόρτιση κατά τη λειτουργία του. Εν τούτοις είναι πολύ χρήσιμη κατά την ανάλυση για να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά την ορθότητα της διαδικασίας σχεδίασης και της διαδικασίας εφαρμογής των διαφόρων φορτίων του πλοίου.

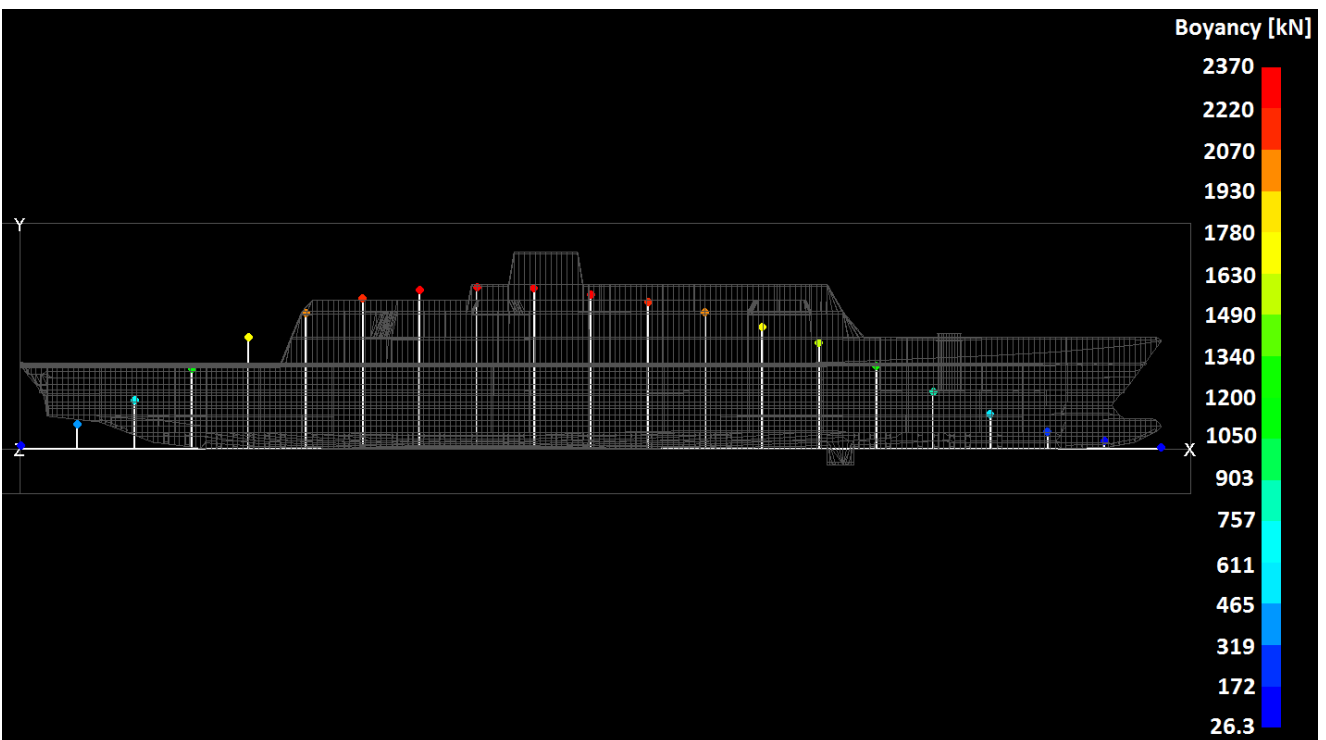
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ανάλυση του πλοίου στο MAESTRO. Όσον αφορά τις τάσεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή, αυτές θα πρέπει να είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες τάσεις όπως αυτές έχουν υπολογιστεί από τους κανονισμούς του Γερμανικού Νηογνώμονα [41]. Επιπλέον, τα διαγράμματα των τάσεων που θα παρουσιαστούν είναι αυτά που προτείνονται από τους κανονισμούς Γαλλικού Νηογνώμονα [44].



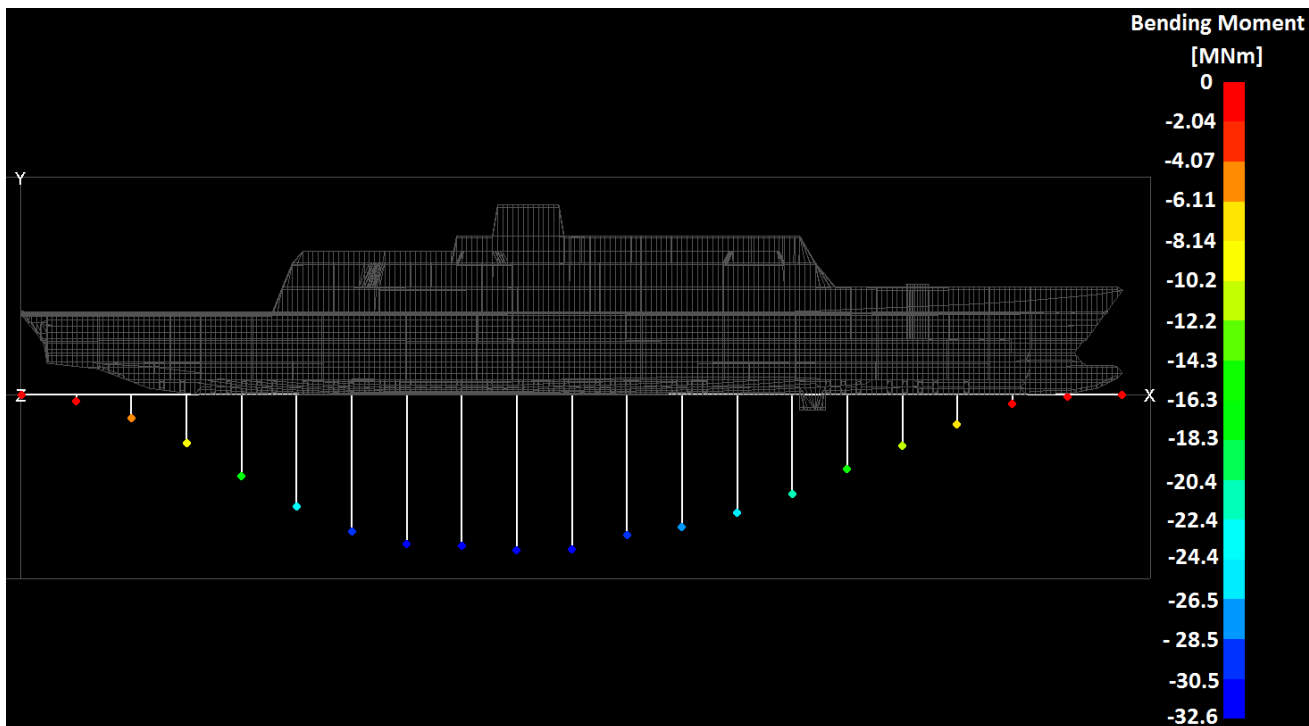
Εικόνα 15. Κατανομή βάρους μεταλλικής κατασκευής στο MAESTRO.



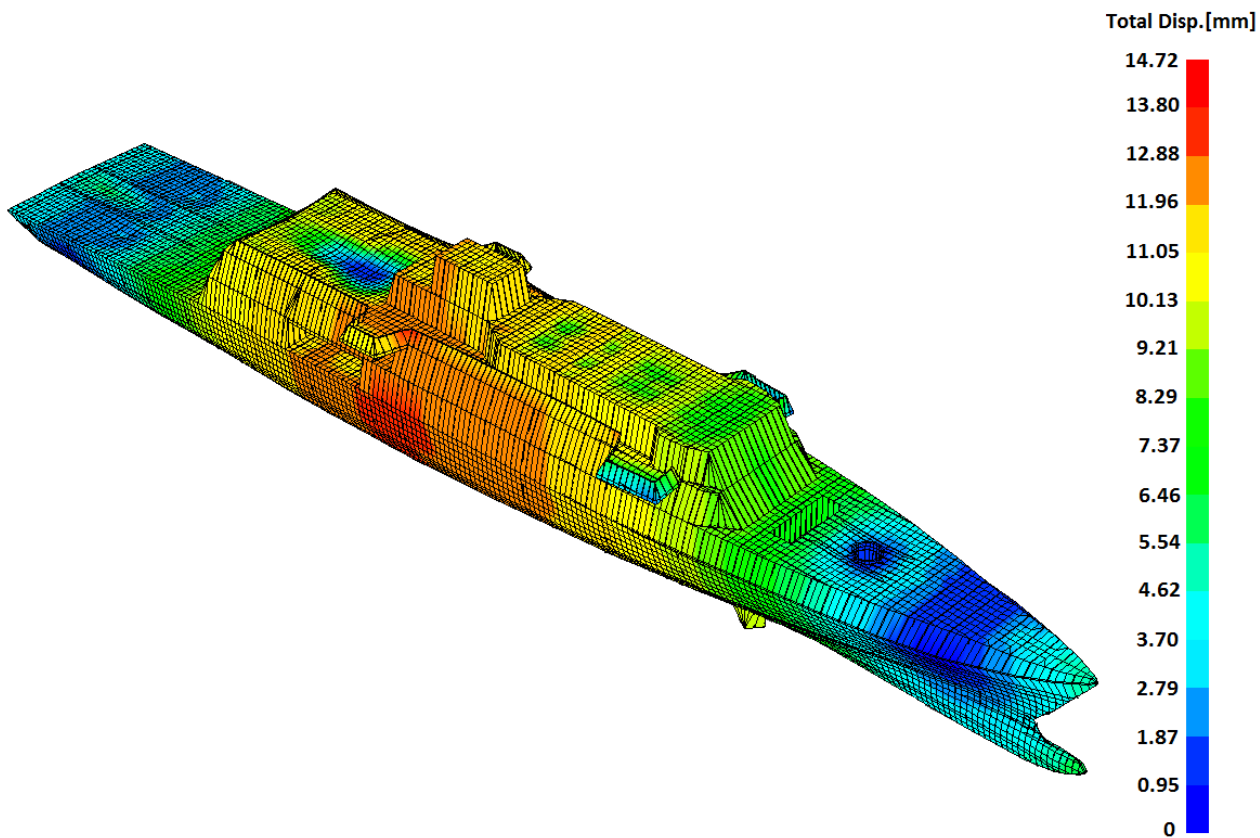
Εικόνα 16. Κατανομή εκποτίσματος στο MAESTRO.



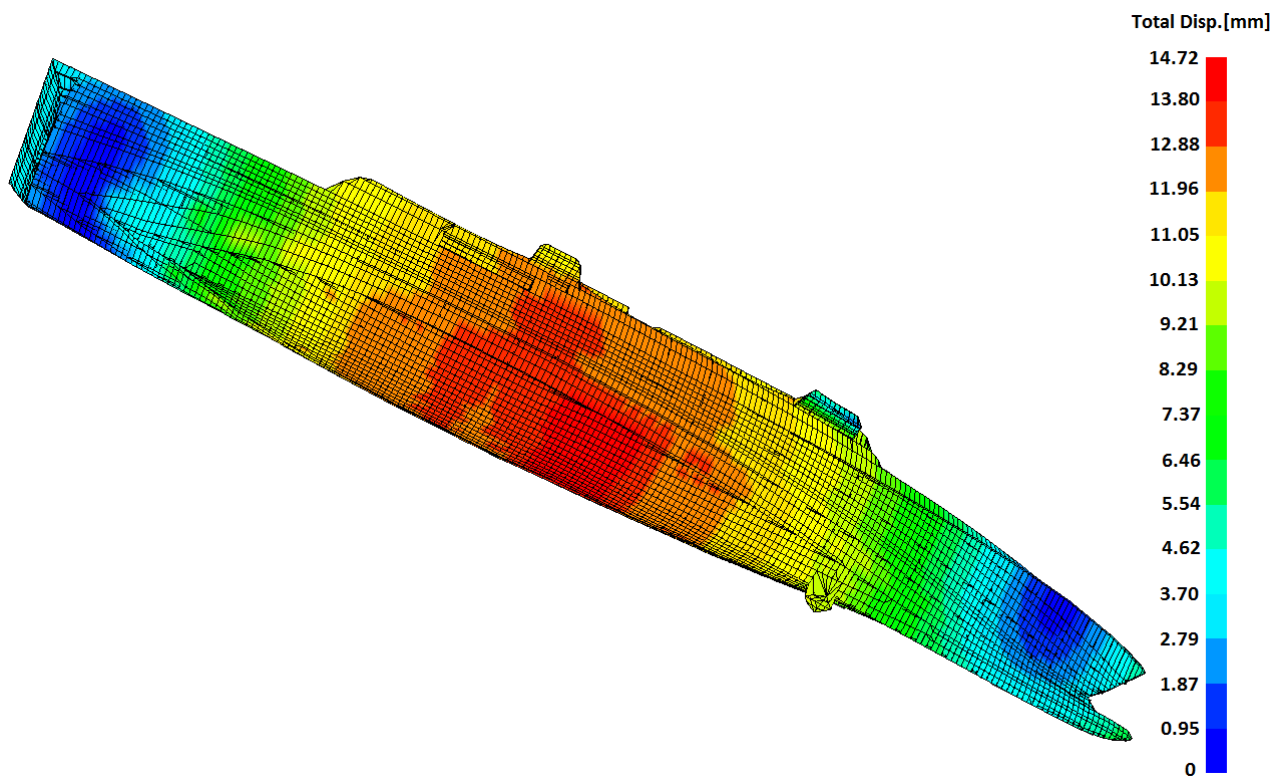
Εικόνα 17. Δύναμη άντωσης στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



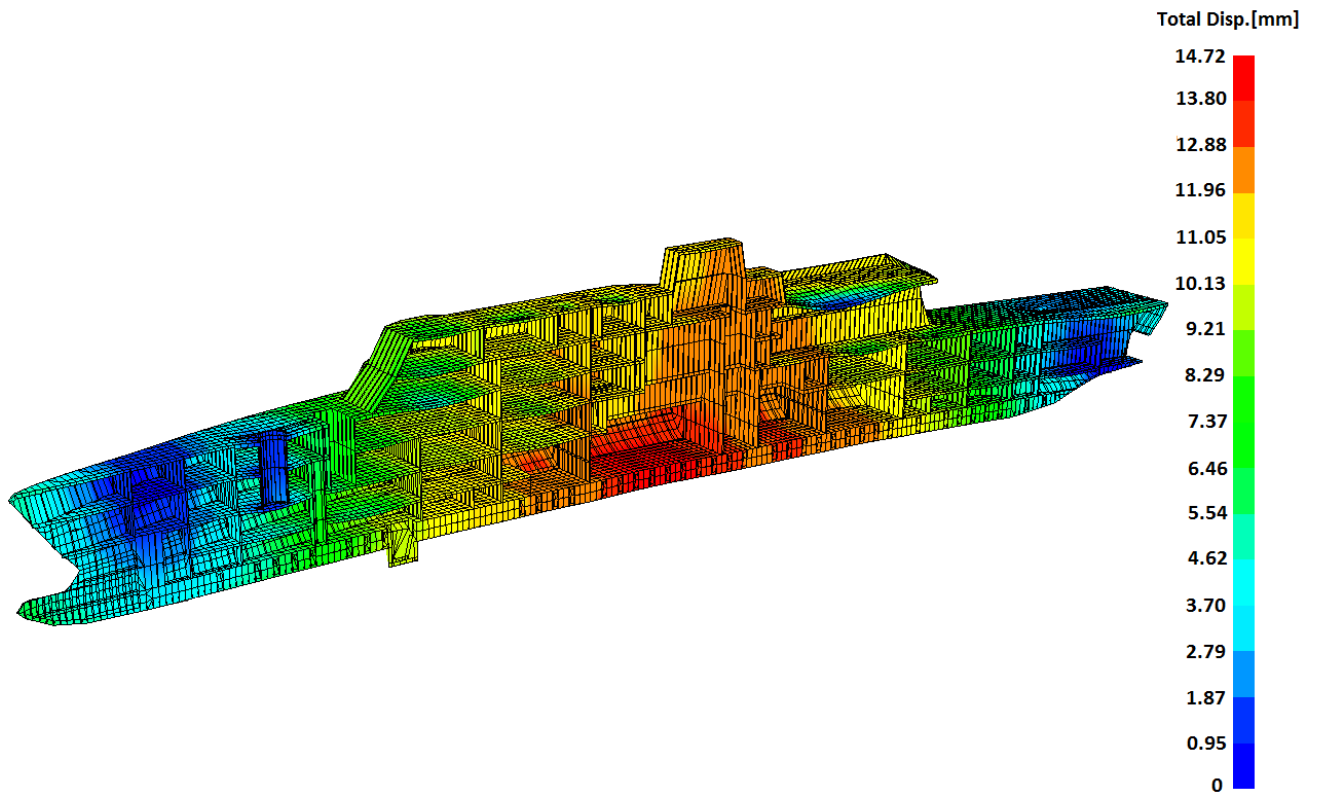
Εικόνα 18. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



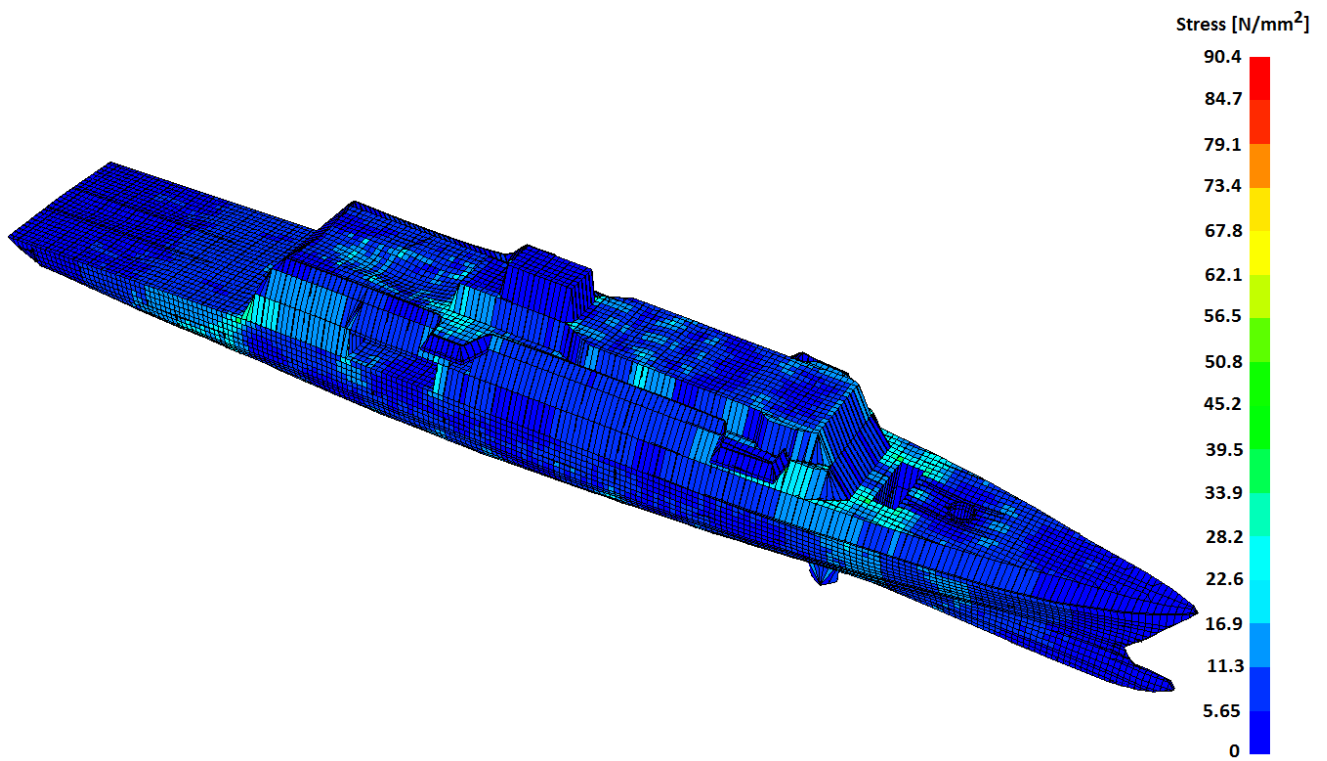
Εικόνα 19. Παραμόρφωση του σκάφους στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



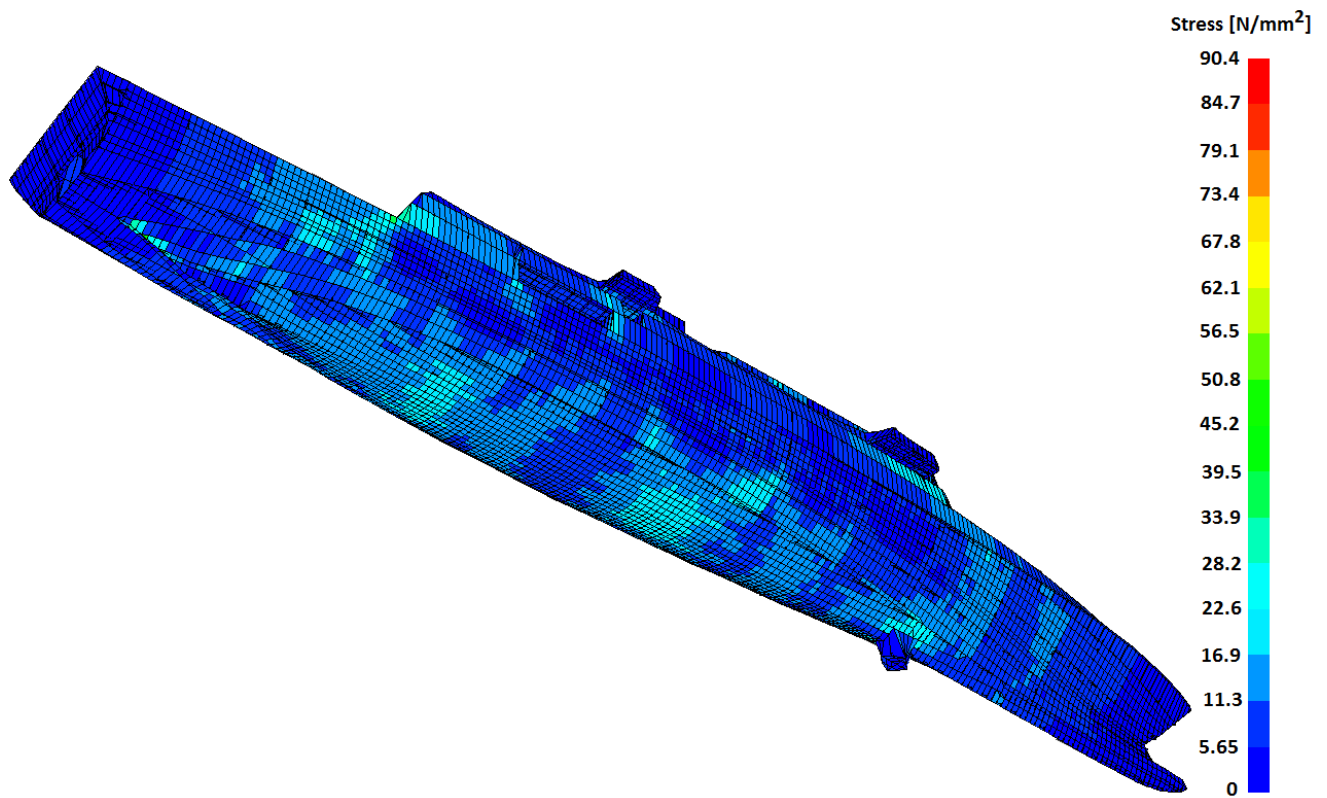
Εικόνα 20. Παραμόρφωση του σκάφους στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



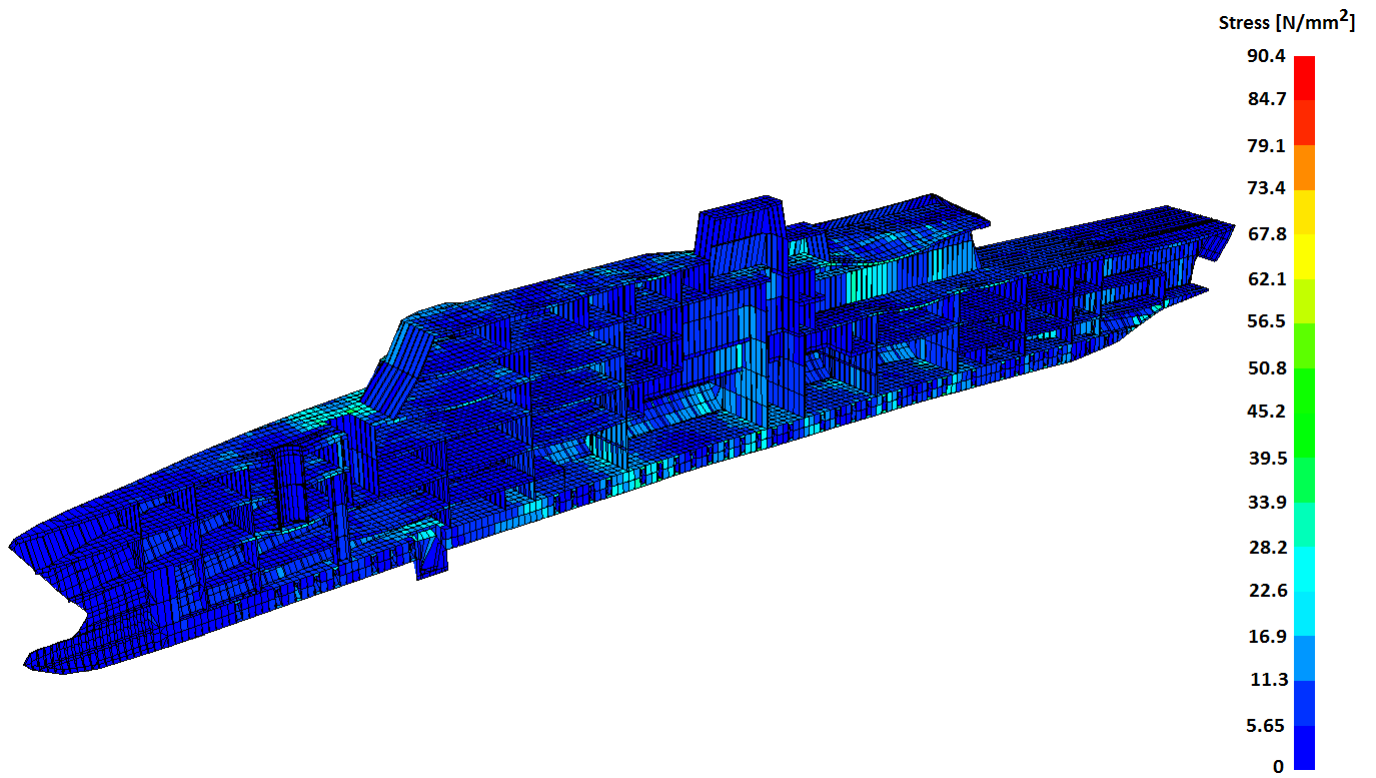
Εικόνα 21. Παραμόρφωση του σκάφους στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



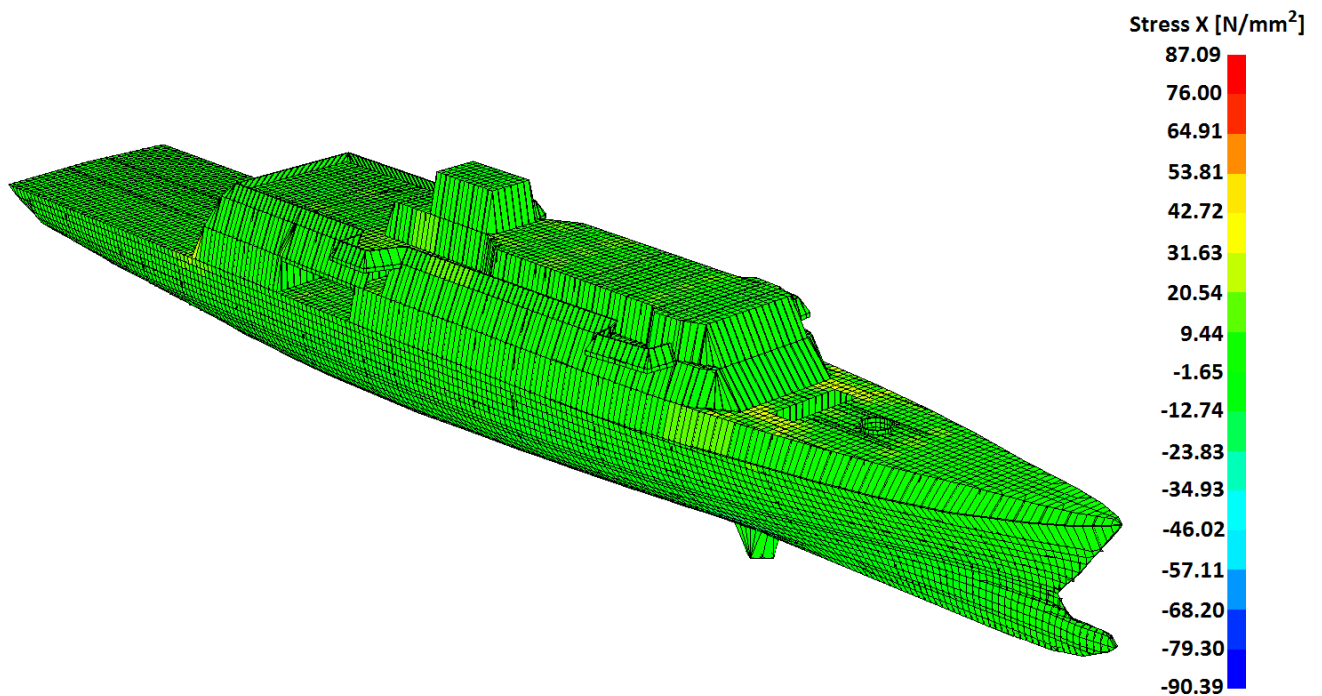
Εικόνα 22. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



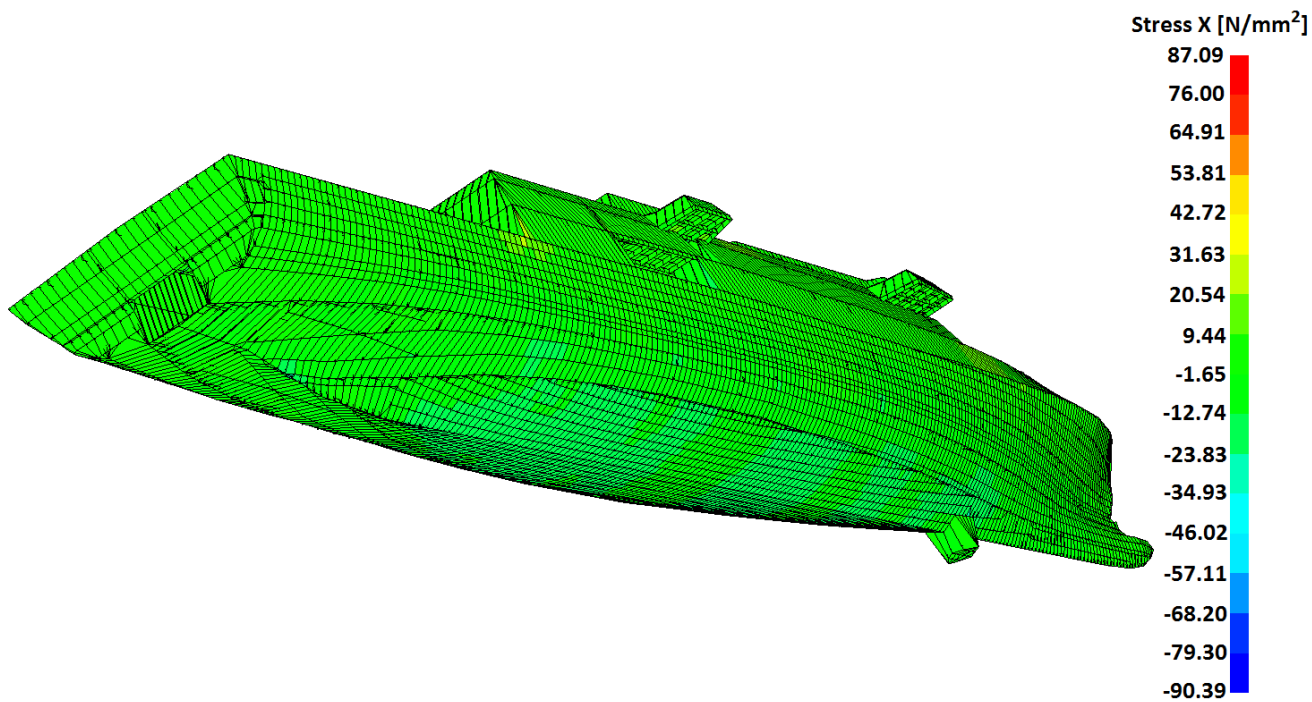
Εικόνα 23. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



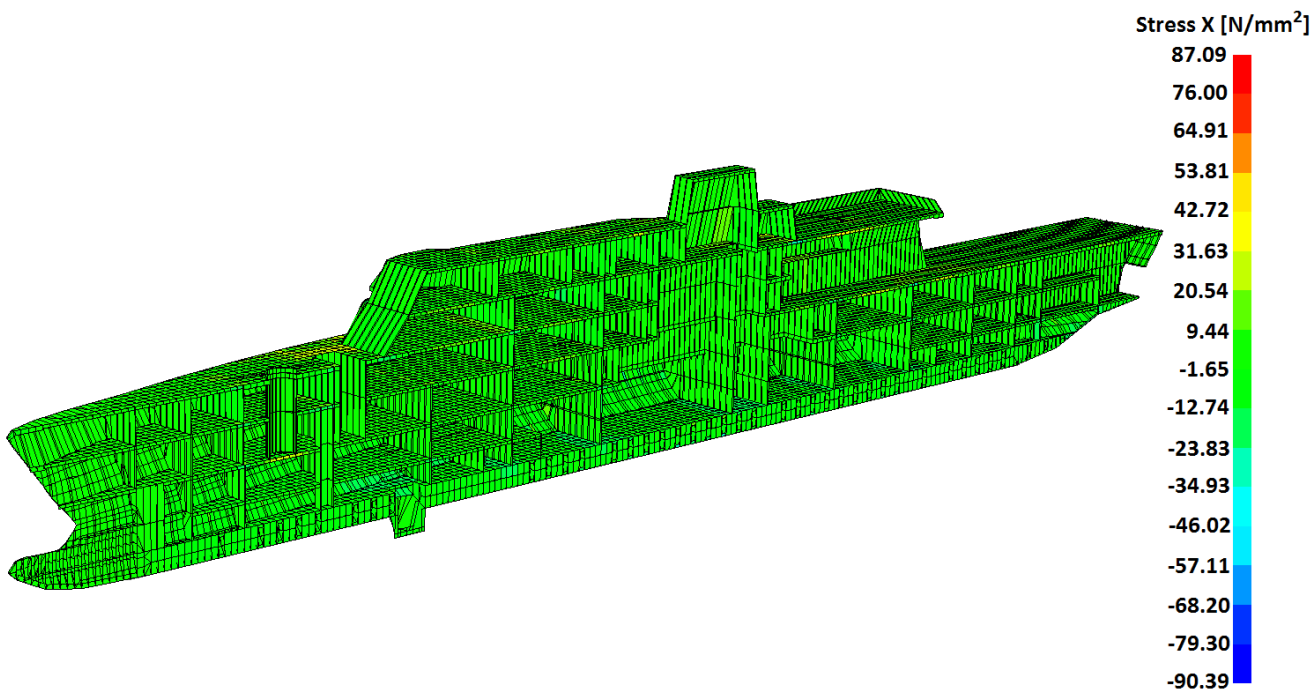
Εικόνα 24. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στο ήρεμο νερό (MAESTRO)..



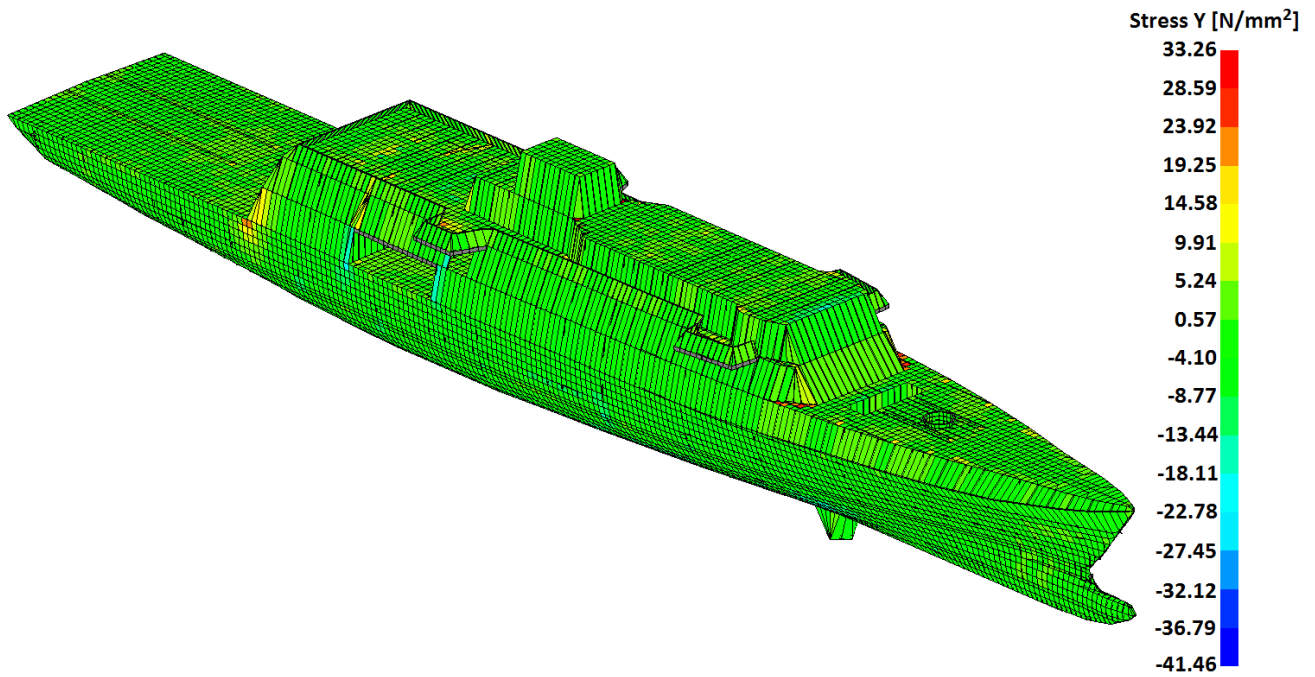
Εικόνα 25. Τάσεις κατά τον άξονα X στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



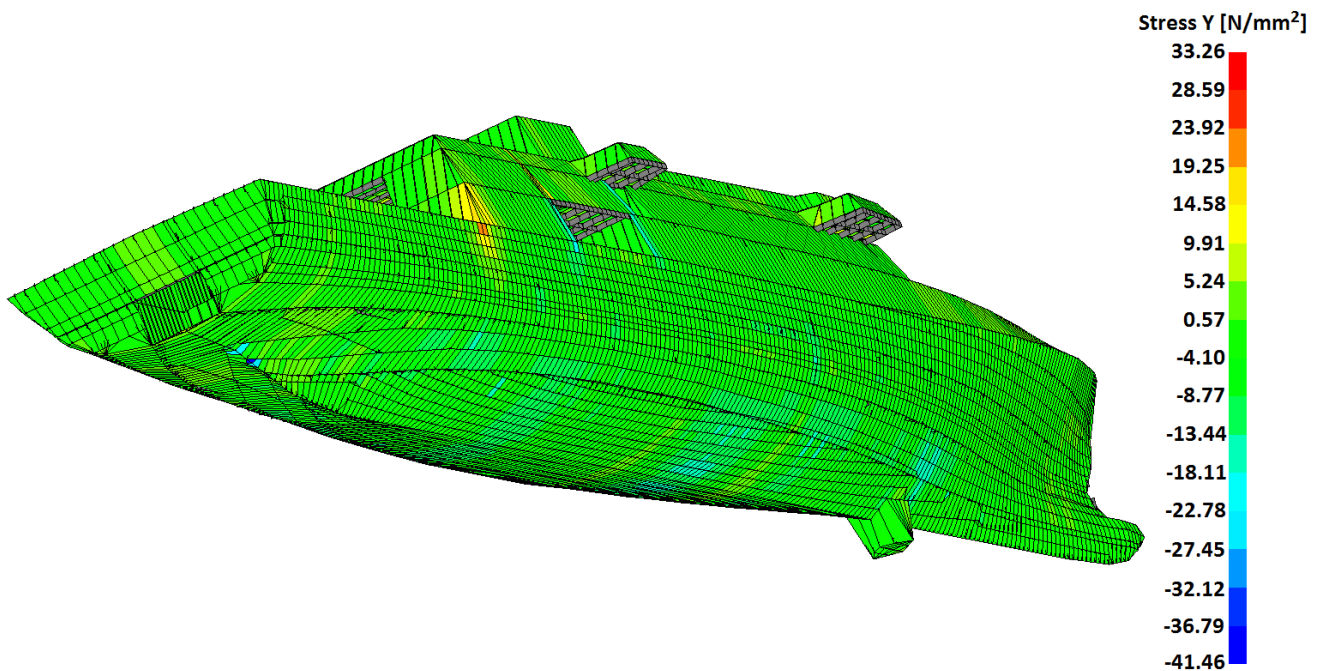
Εικόνα 26. Τάσεις κατά τον άξονα X στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



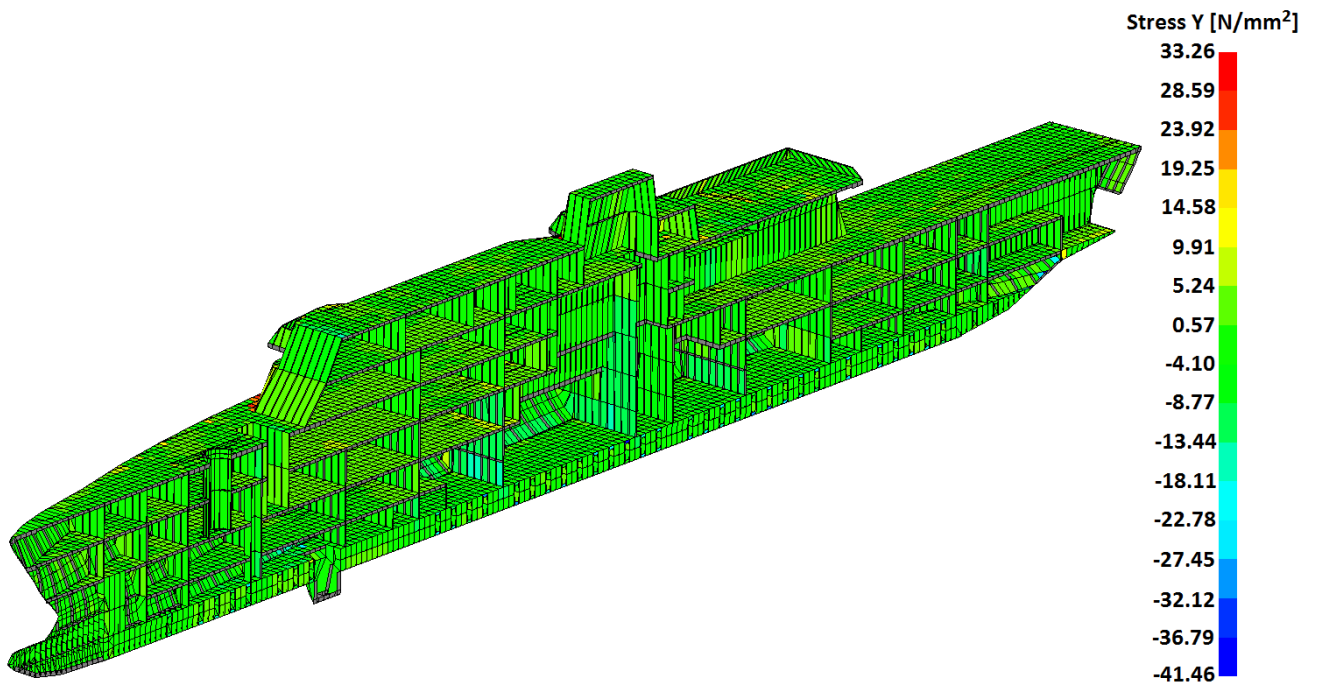
Εικόνα 27. Τάσεις κατά τον άξονα X στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



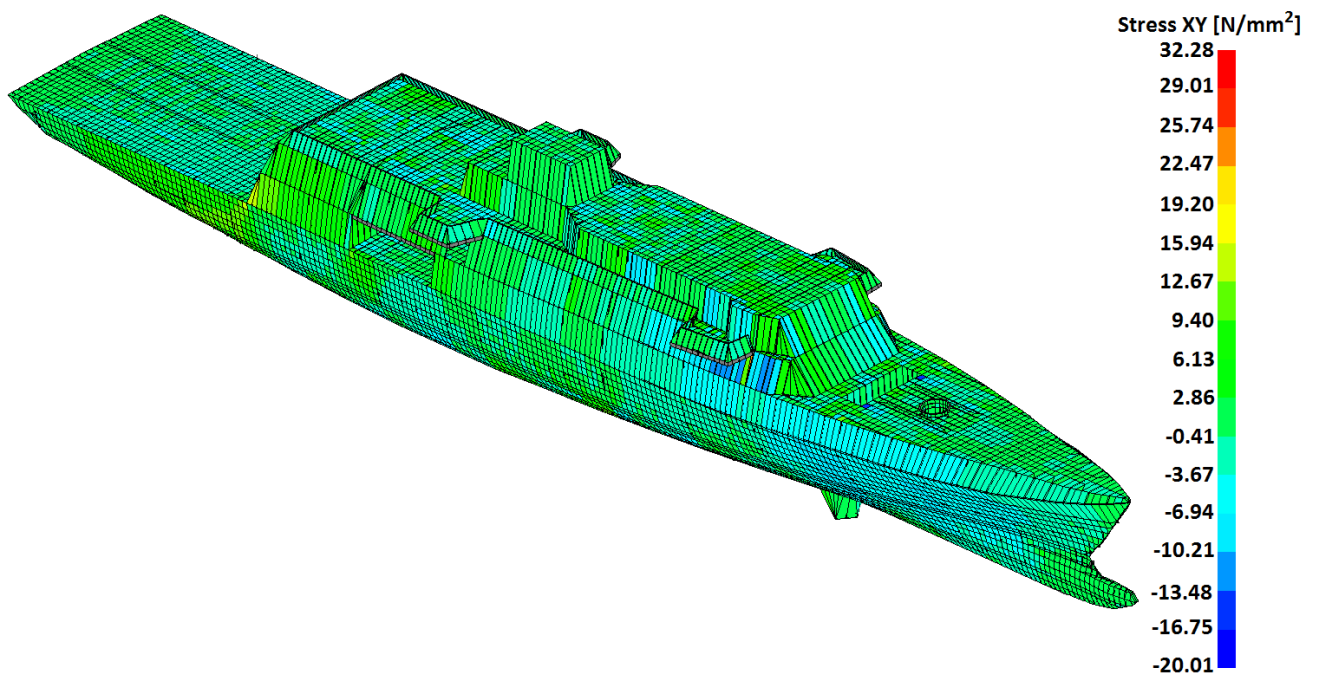
Εικόνα 28. Τάσεις κατά τον άξονα Y στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



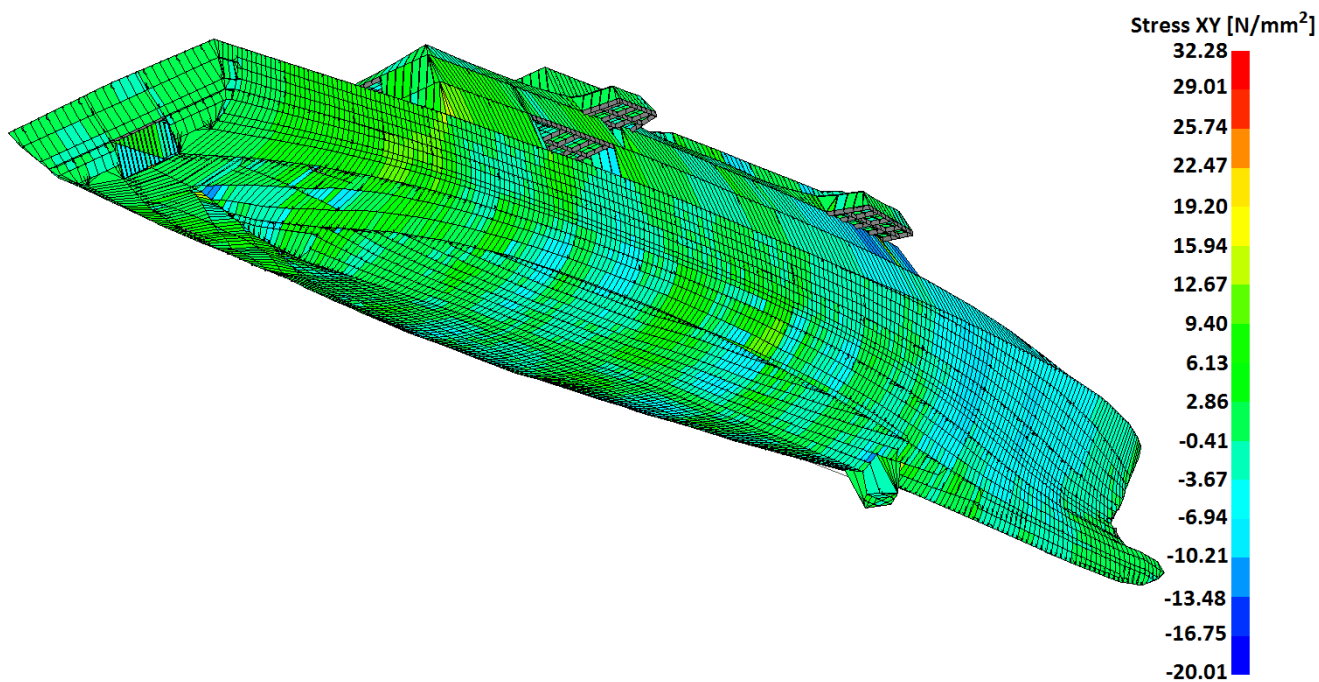
Εικόνα 29. Τάσεις κατά τον άξονα Y στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



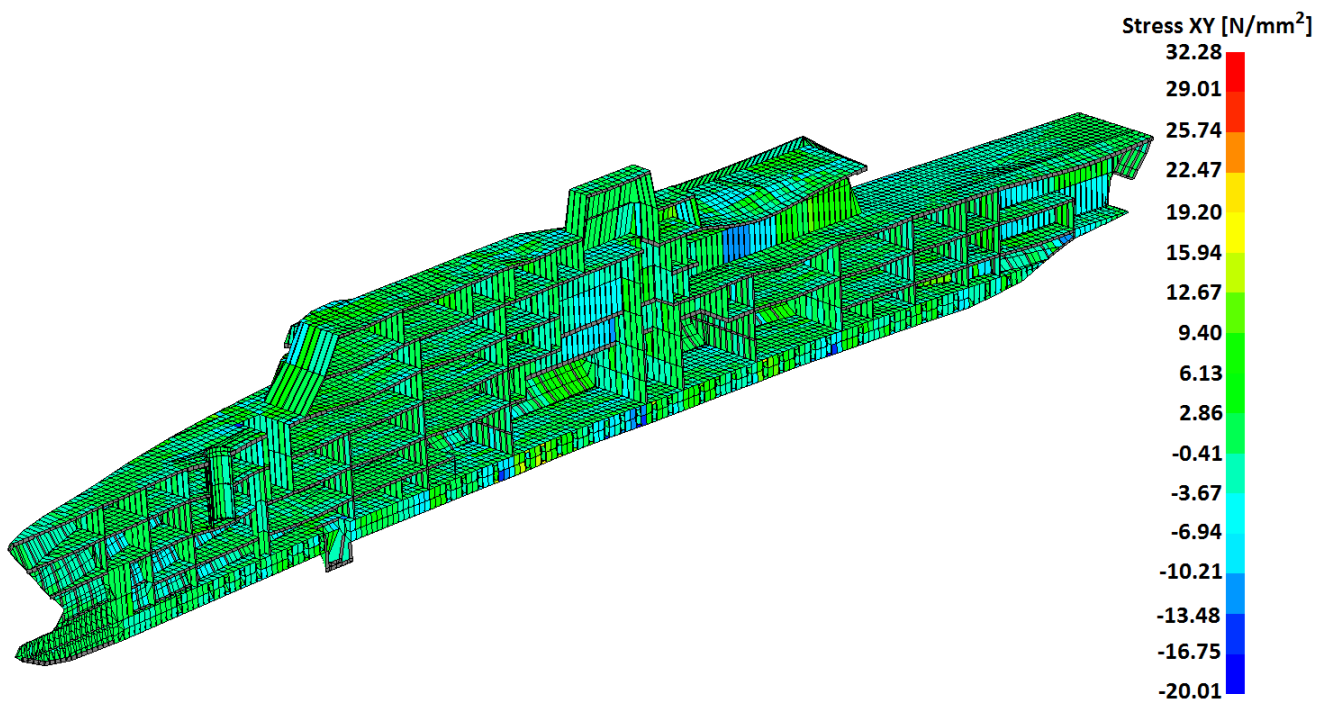
Εικόνα 30. Τάσεις κατά τον άξονα Y στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



Εικόνα 31. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



Εικόνα 32. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στο ήρεμο νερό (MAESTRO).



Εικόνα 33. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στο ήρεμο νερό (MAESTRO).

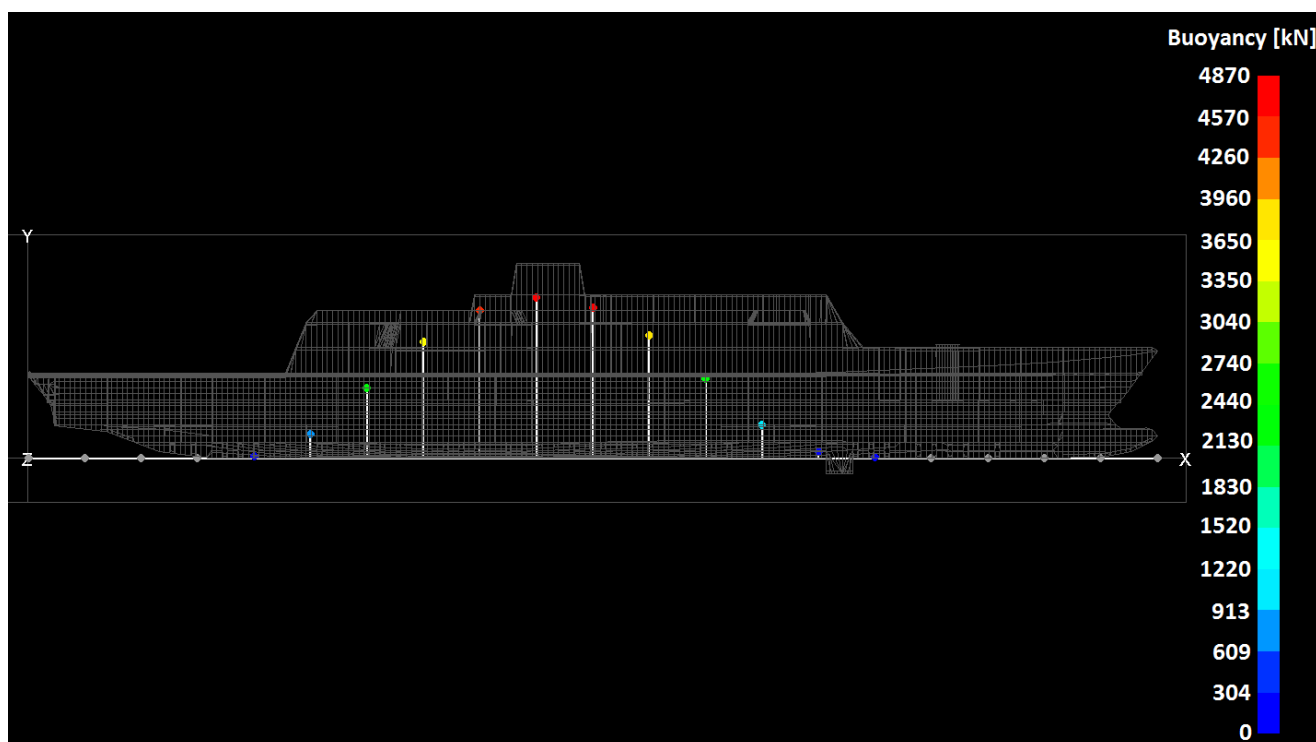
2.3.1.2 Πλοίο στην κορυφή του κύματος (Hogging – Full Load).

Η κατάσταση φόρτισης αυτή είναι από τις χειρότερες που θα συναντήσει το πλοίο στη διάρκεια ζωής του. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, το κύμα έχει μήκος όσο το μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου. Η κορυφή του κύματος βρίσκεται στο μέσον του πλοίου και το πλοίο ισορροπεί πάνω σε αυτήν. Επιπλέον, το αντίστοιχο ύψος κύματος είναι αρκετά υψηλό. Μήκος κύματος και ύψος κύματος, υπολογισμένα σύμφωνα με τους κανονισμούς, συνιστούν μία ακραία φόρτιση στην οποία μπορεί το σκάφος να μην υποβληθεί ποτέ κατά τη διάρκεια της ζωής του. Τα χαρακτηριστικά του κύματος, όπως έχουν υπολογιστεί από τους κανονισμούς του Γαλλικού Νηογνώμονα [44], παρουσιάζονται στον **Πίνακα 12**.

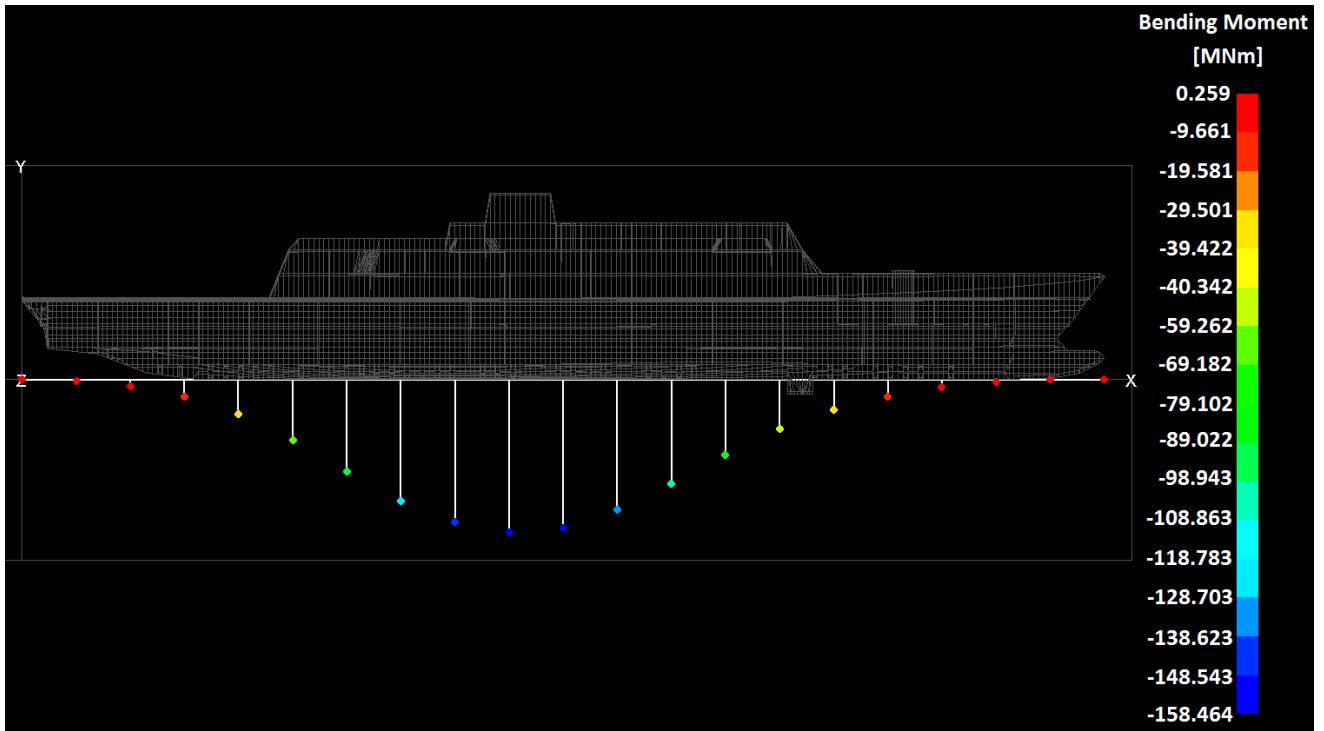
Μήκος Κύματος [m]	Ύψος Κύματος [m]	Περίοδος [s]
100.000	12.566	8.003

Πίνακας 12. Χαρακτηριστικά κύματος [44].

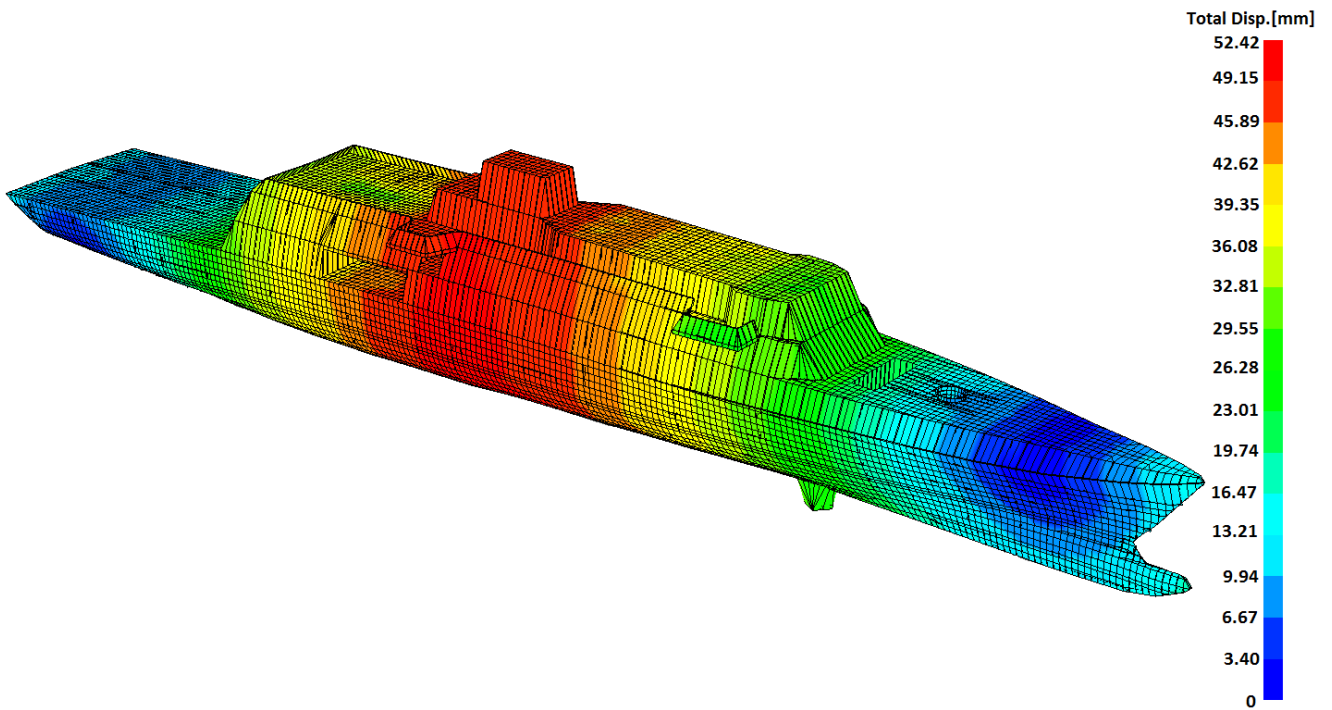
Σε αυτή την κατάσταση φόρτισης δε μεταβάλλεται η κατανομή των βαρών του σκάφους. Εντούτοις, μεταβάλλεται η δύναμη της άντωσης και η καμπτική ροπή. Συνεπώς στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα παραληφθούν οι εικόνες που παρουσιάζουν την κατανομή του βάρους της μεταλλικής κατασκευής καθώς και του εκτοπίσματος.



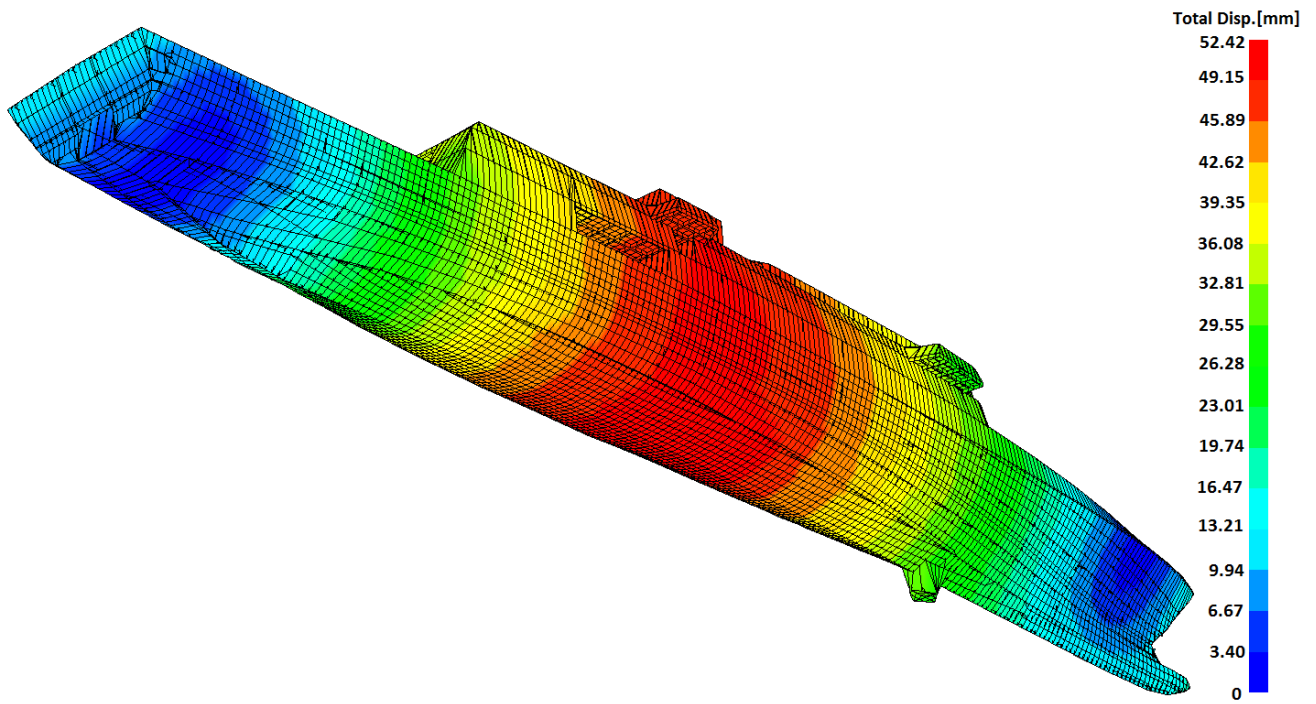
Εικόνα 34. Δύναμη άντωσης στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



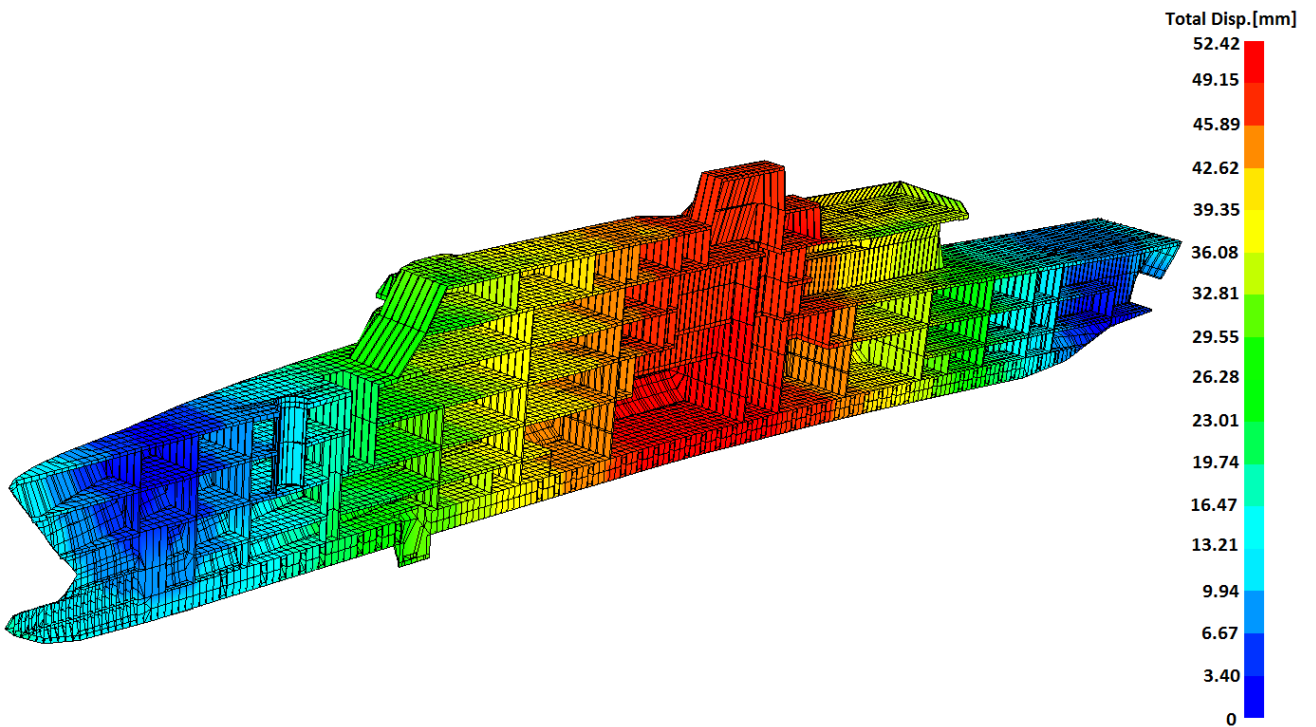
Εικόνα 35. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



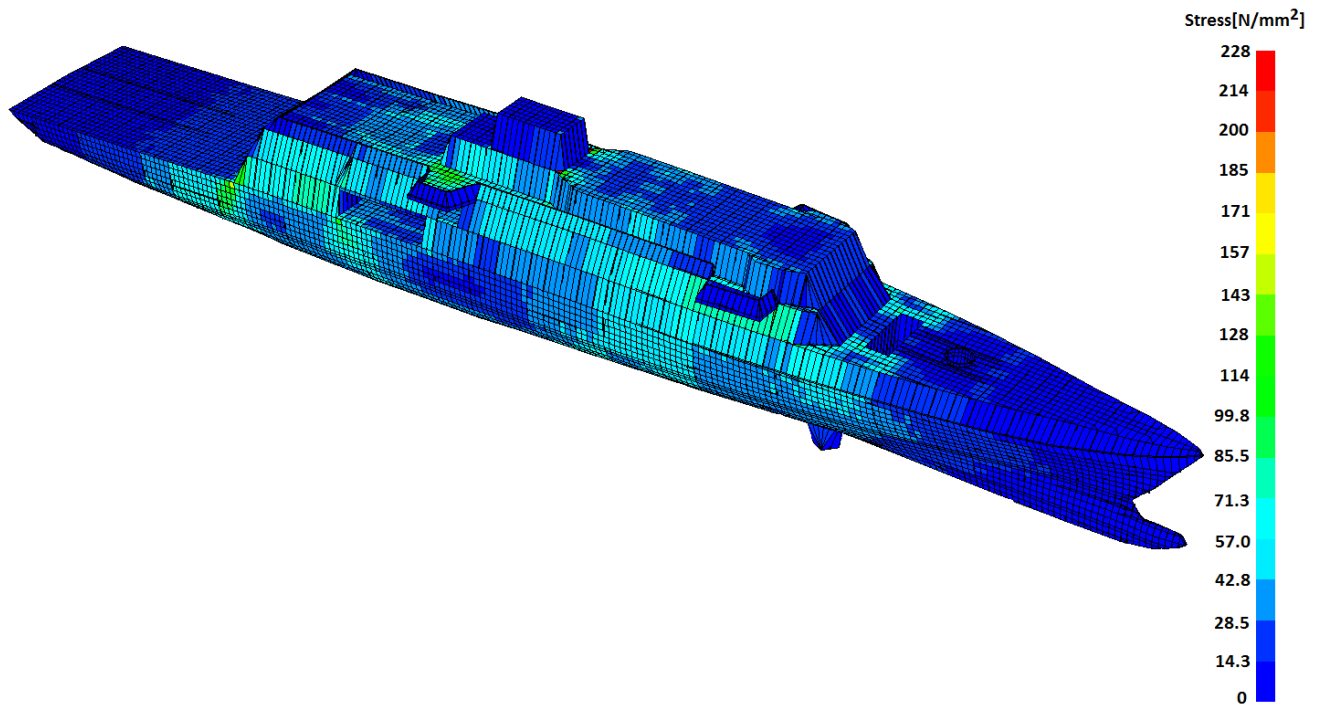
Εικόνα 36. Παραμόρφωση του σκάφους στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



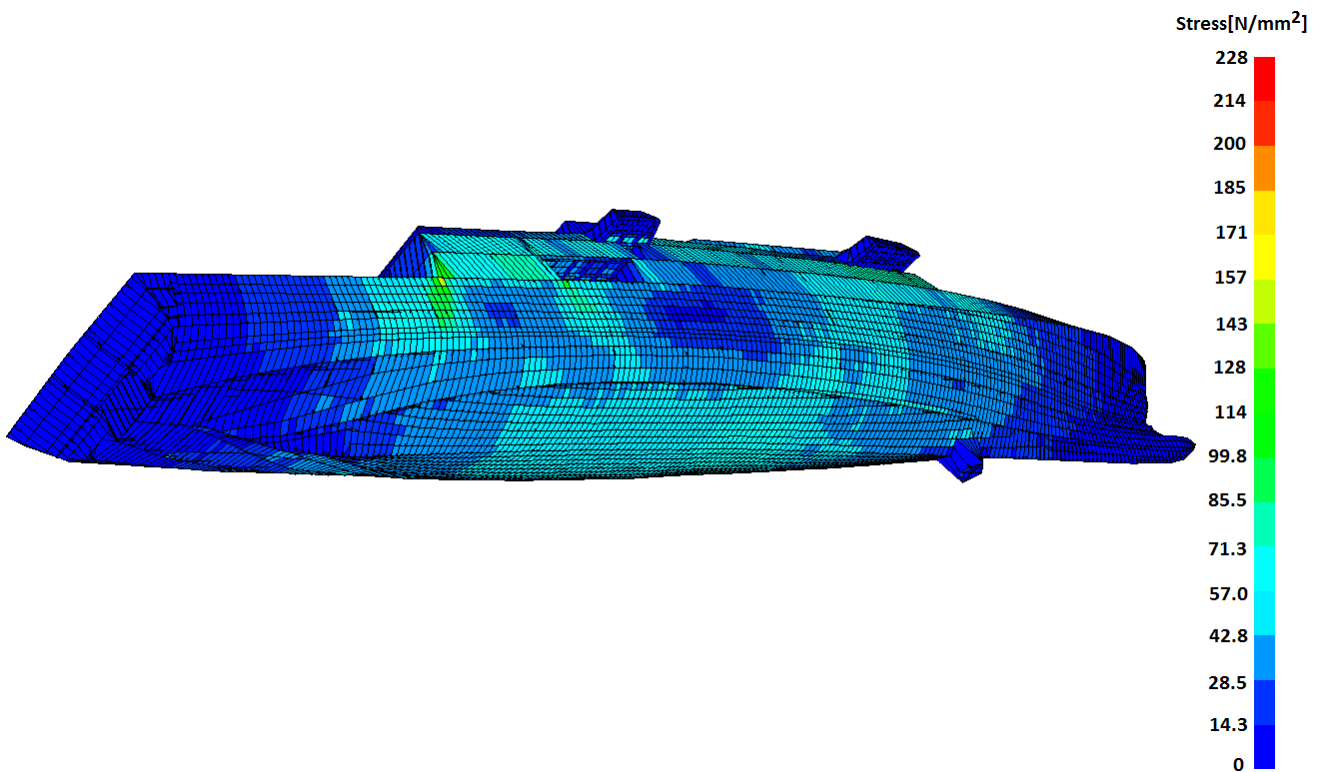
Εικόνα 37. Παραμόρφωση του σκάφους στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



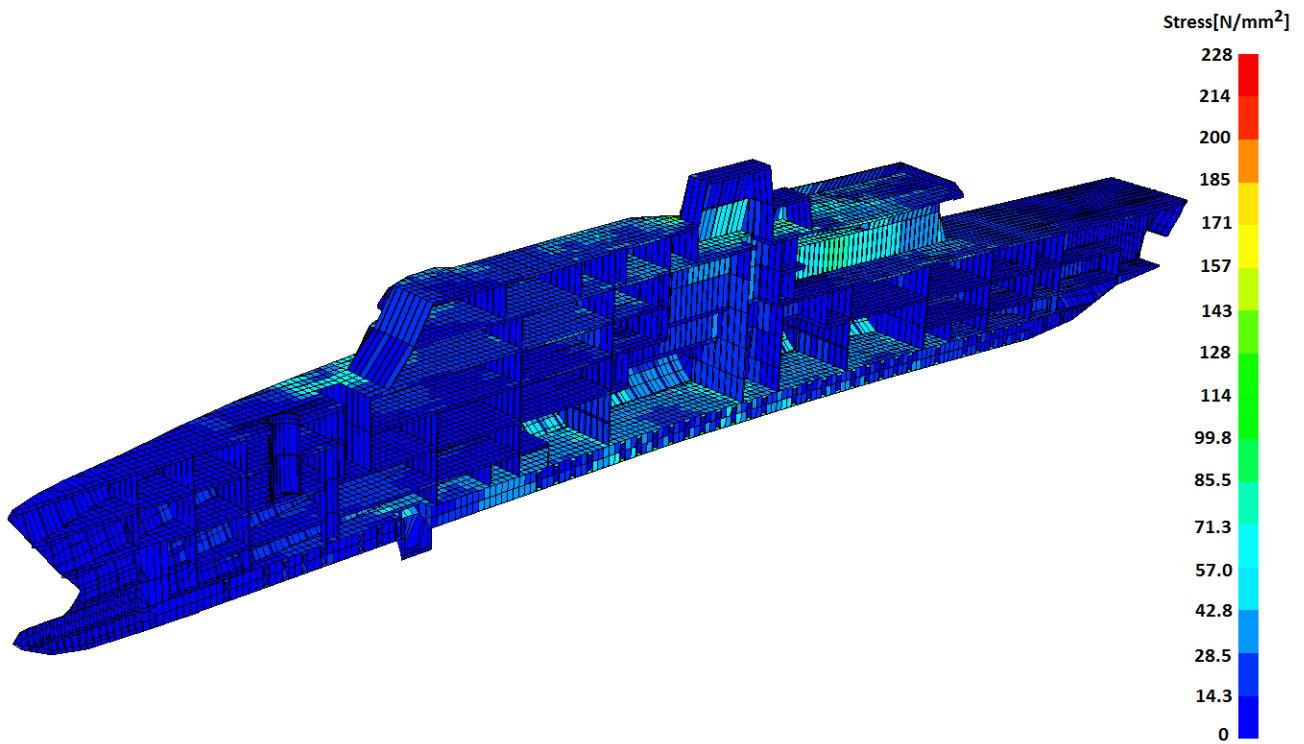
Εικόνα 38. Παραμόρφωση του σκάφους στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



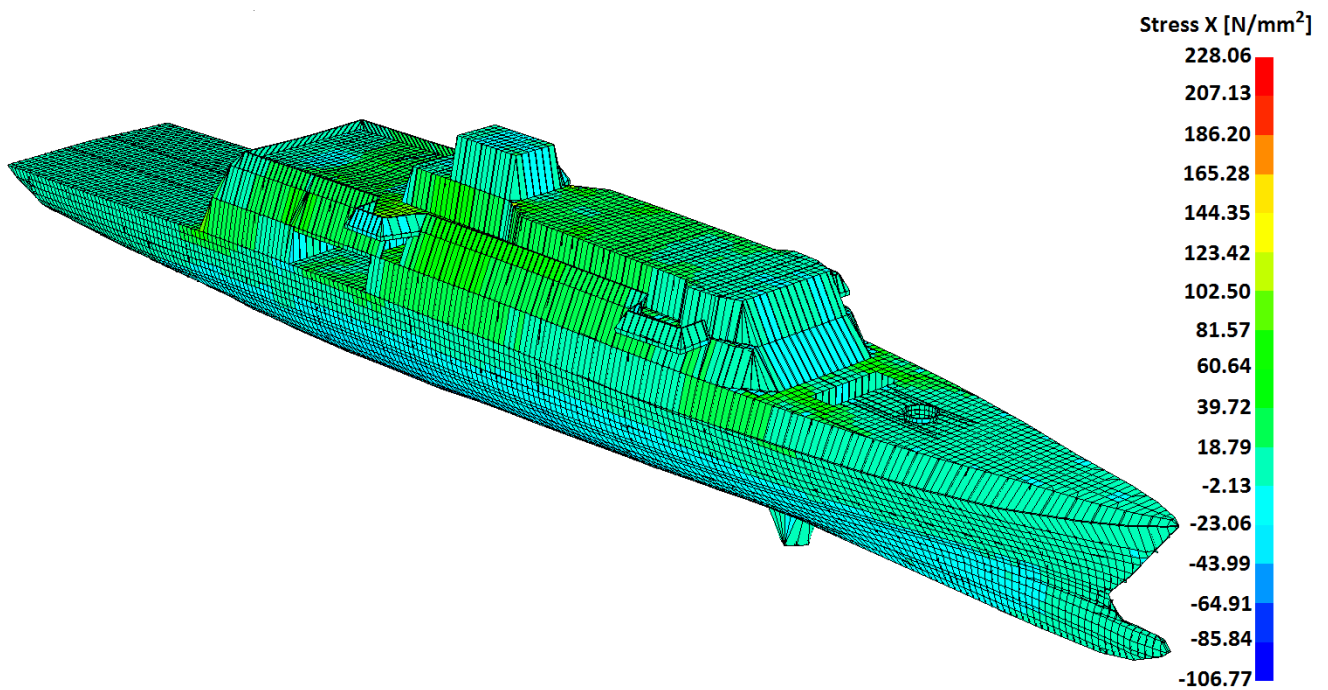
Εικόνα 39. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



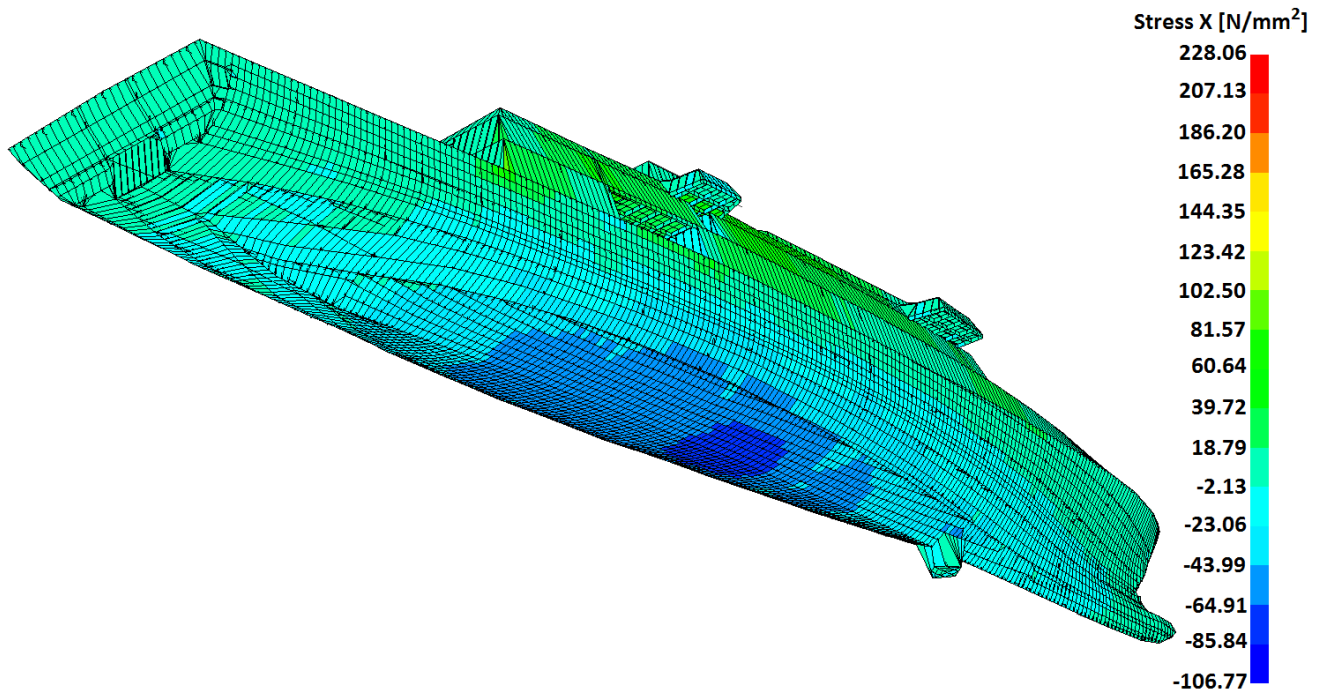
Εικόνα 40. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



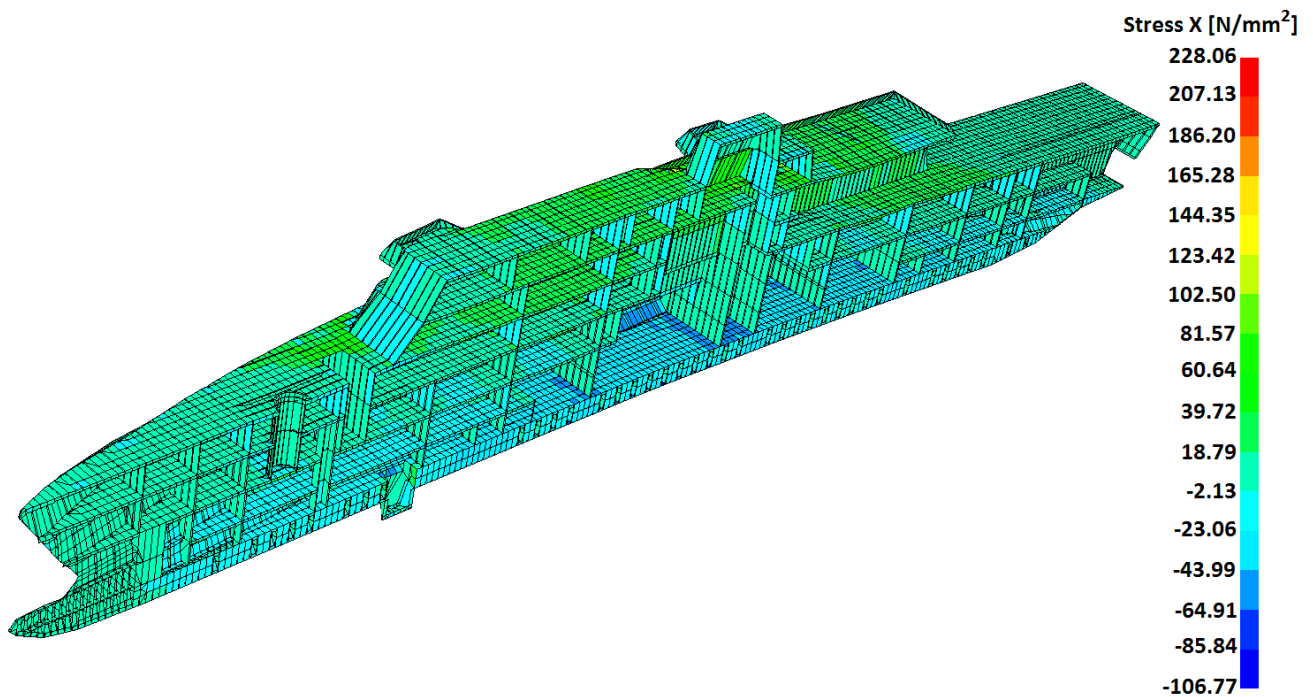
Εικόνα 41. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κορυφή του κύματος (MAESTRO)..



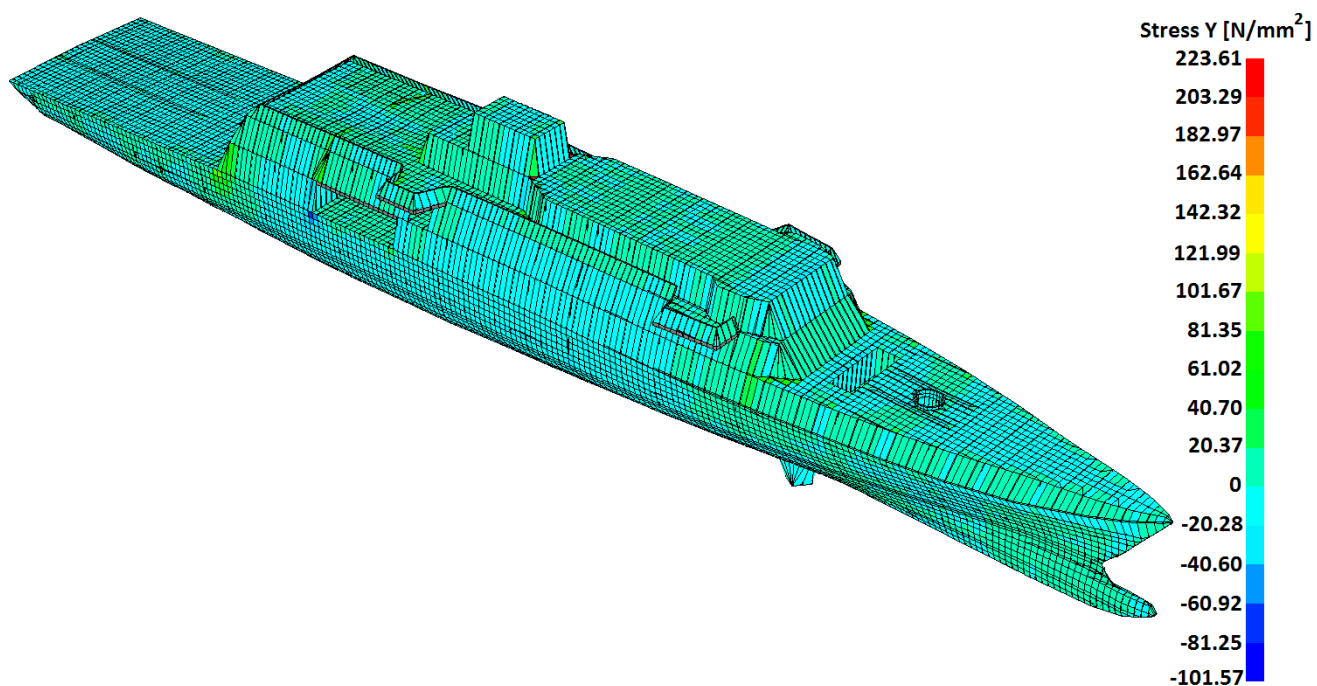
Εικόνα 42. Τάσεις κατά τον άξονα X στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



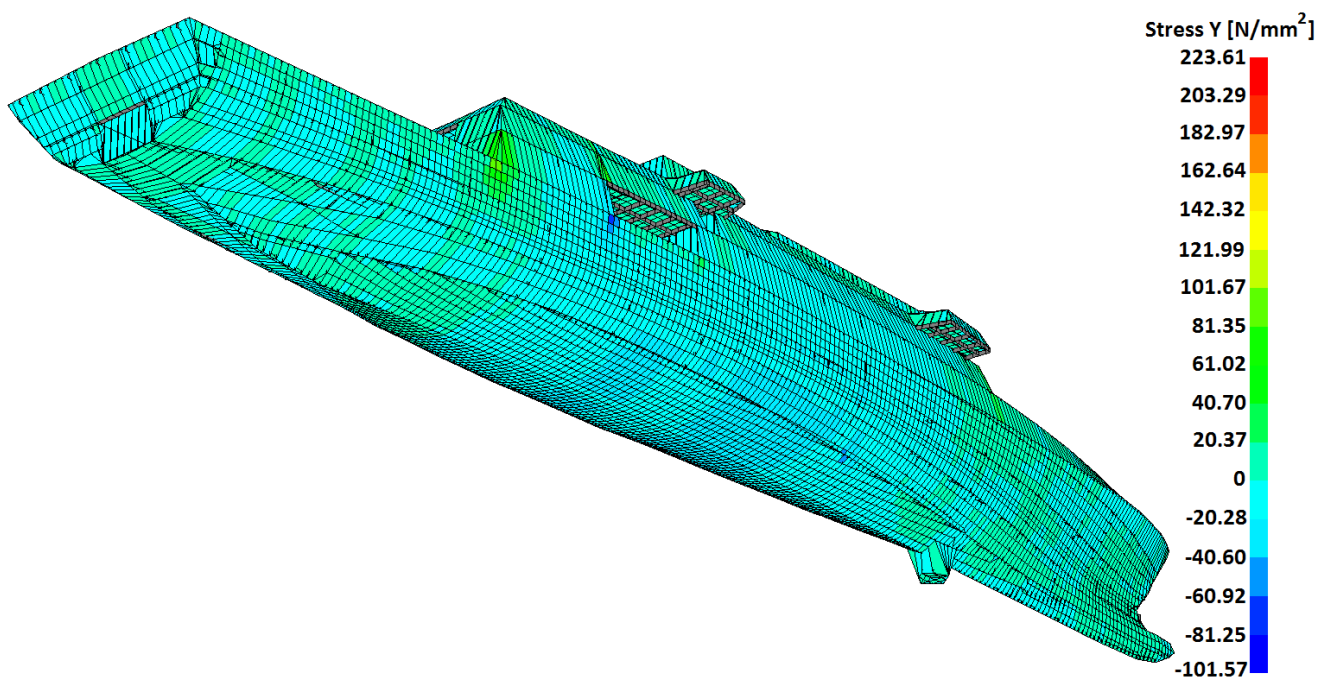
Εικόνα 43. Τάσεις κατά τον άξονα X στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



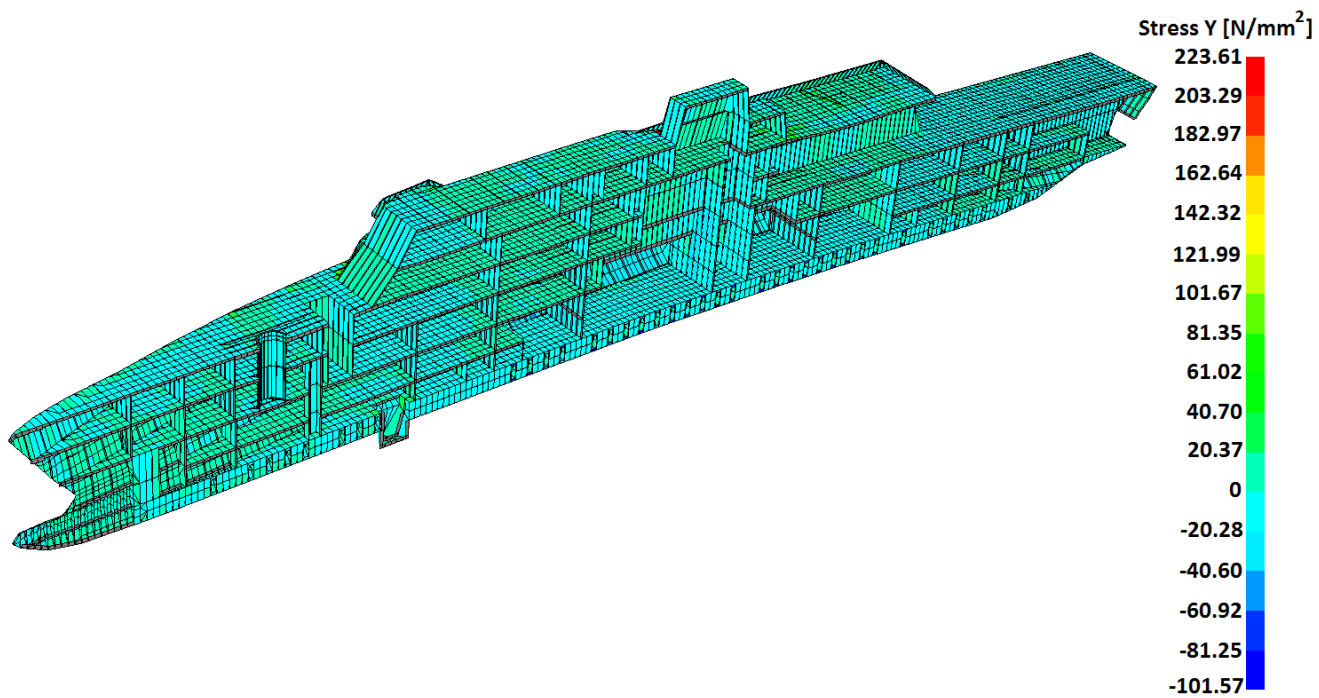
Εικόνα 44. Τάσεις κατά τον άξονα X στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



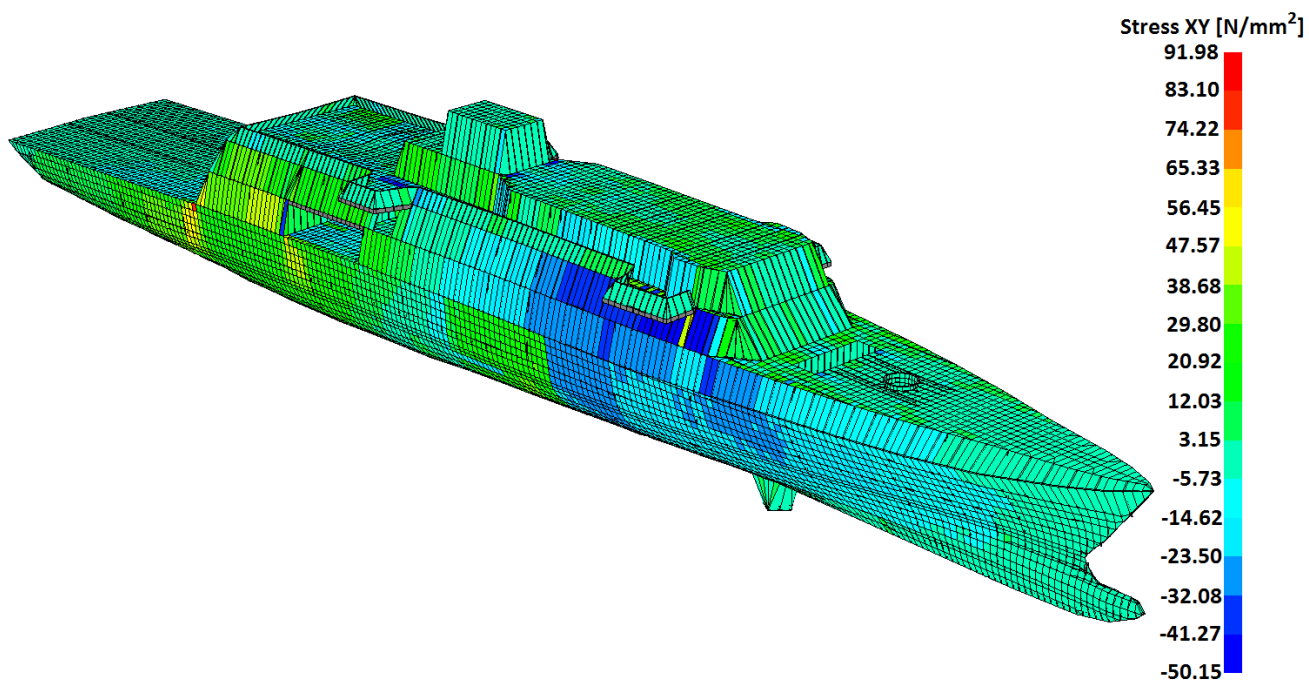
Εικόνα 45. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



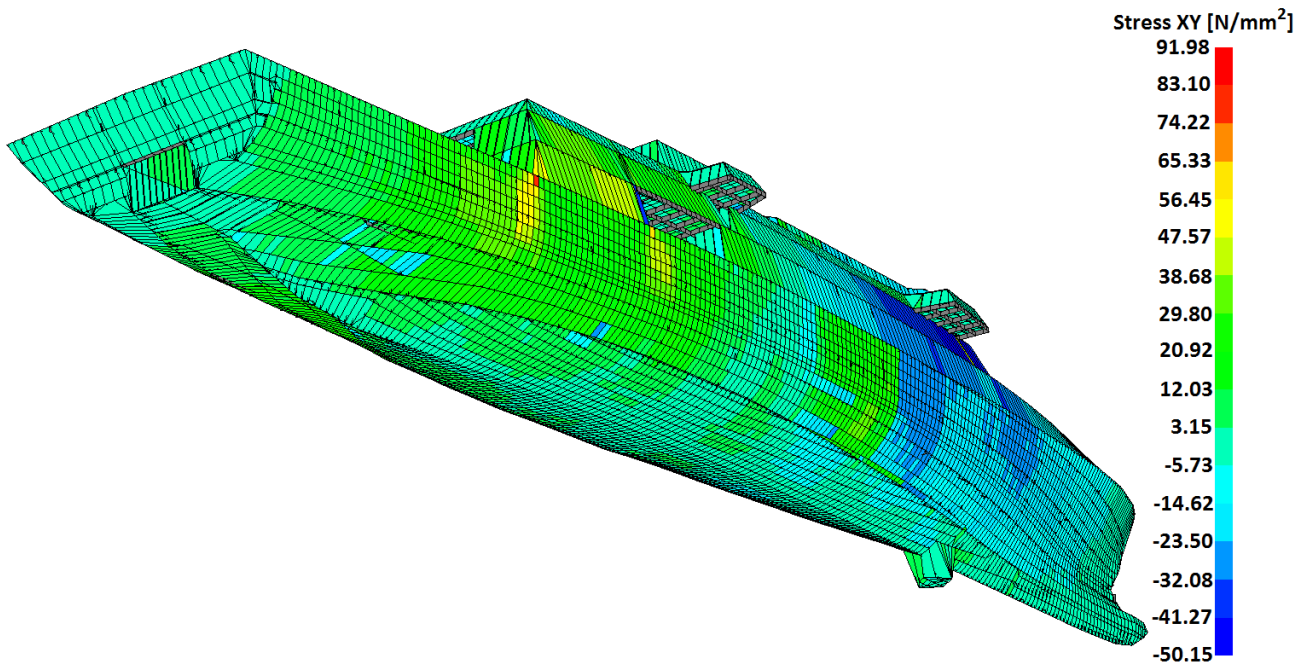
Εικόνα 46. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



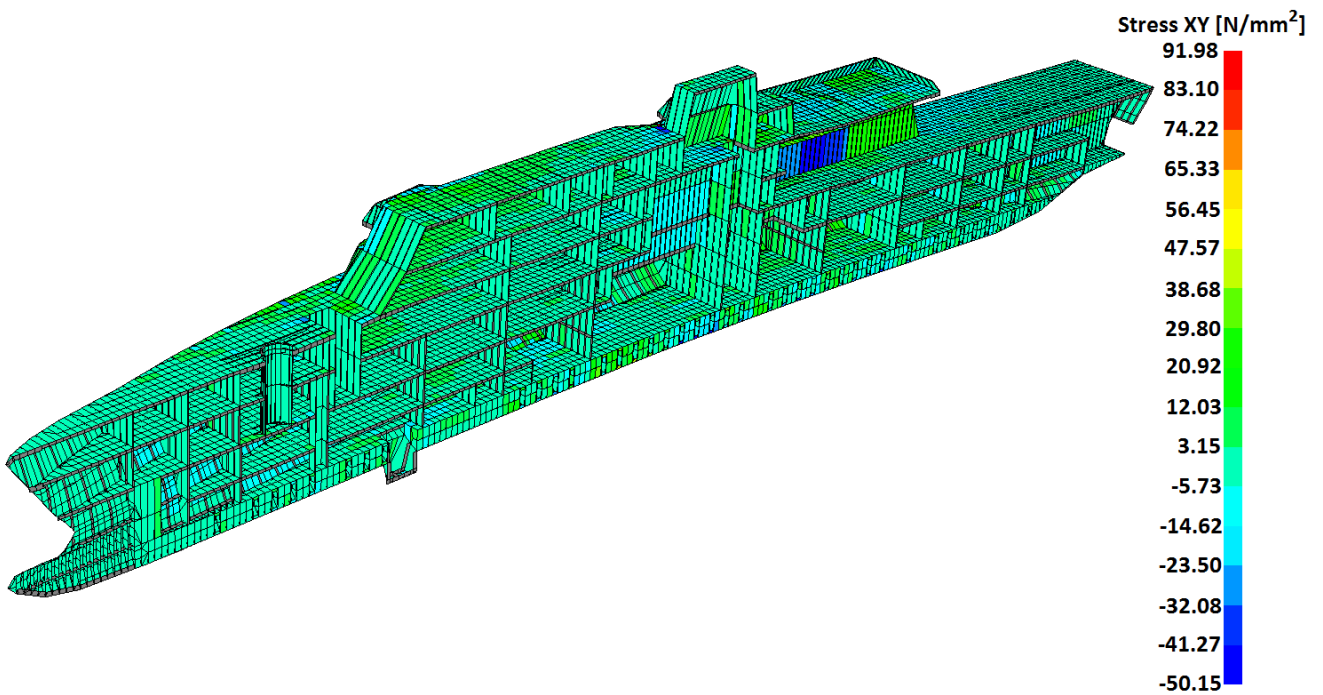
Εικόνα 47. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



Εικόνα 48. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



Εικόνα 49. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).



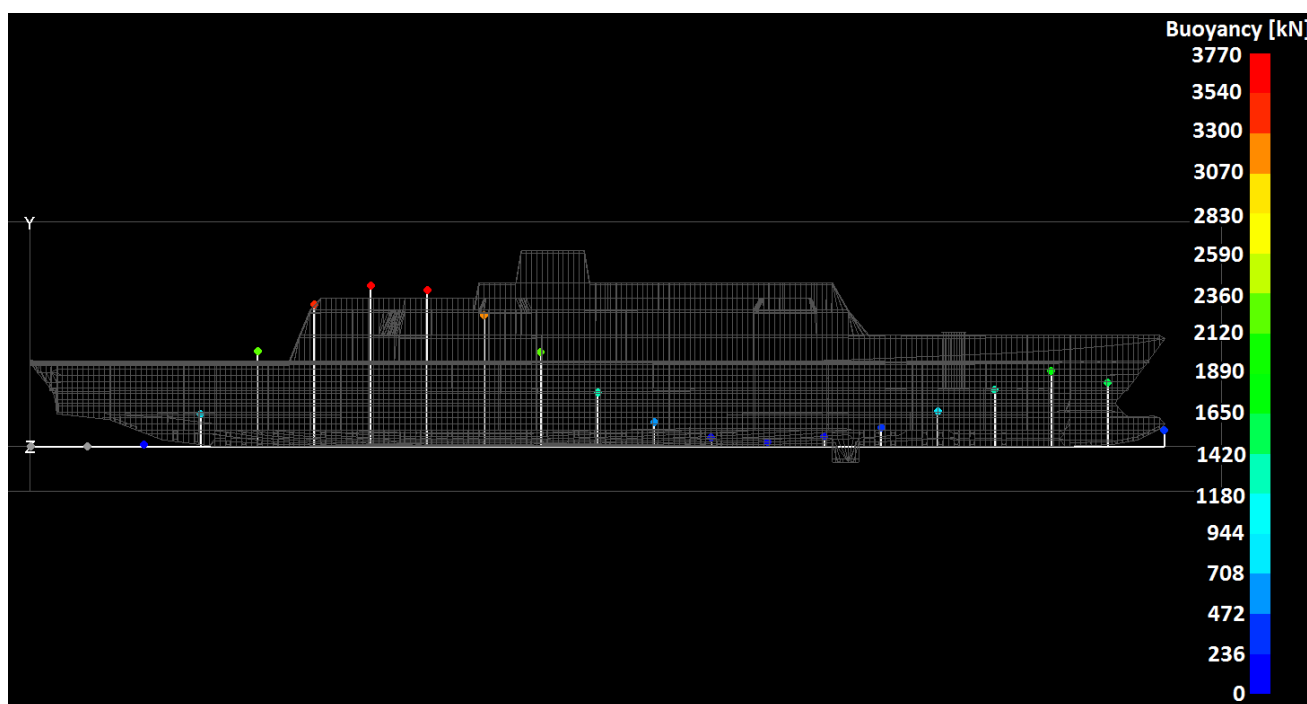
Εικόνα 50. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κορυφή του κύματος (MAESTRO).

2.3.1.3 Πλοίο στην κοιλάδα του κύματος (Sagging – Full Load Condition).

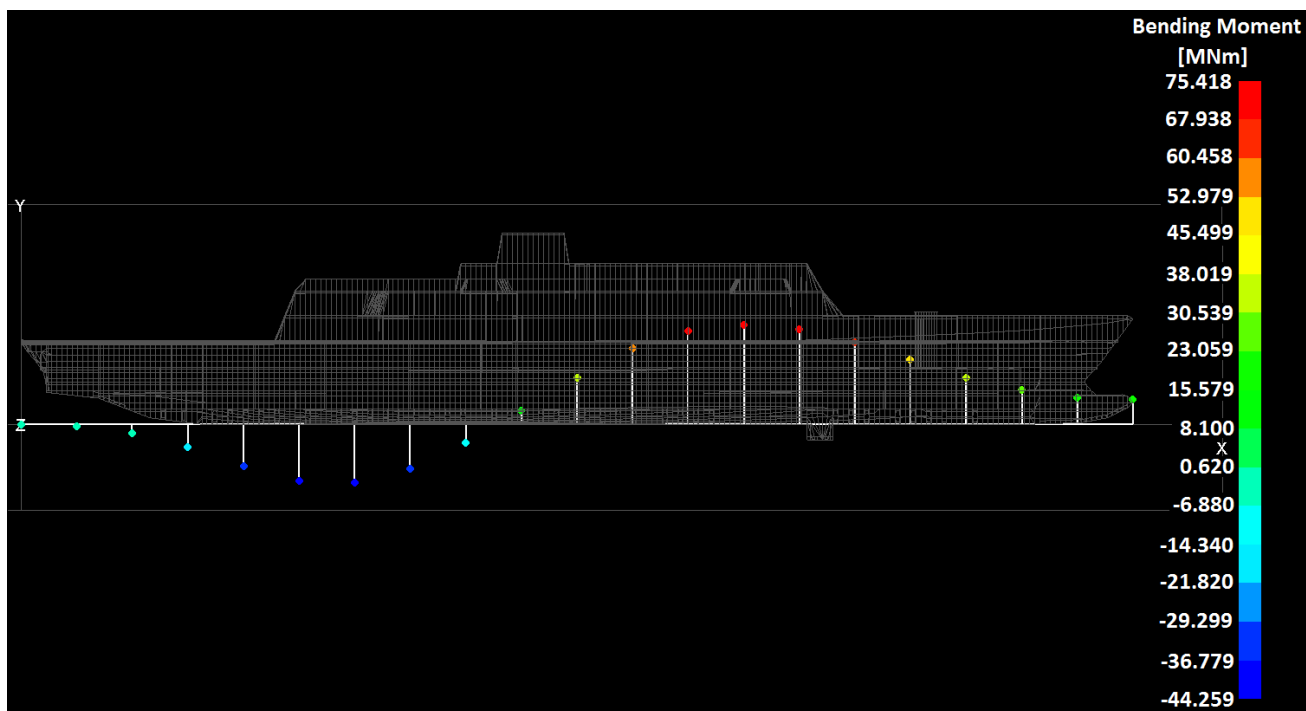
Η κατάσταση φόρτισης αυτή μαζί με την προηγούμενη αποτελούν τις δυσμενέστερες καταστάσεις τις οποίες θα συναντήσει κατά τη διάρκεια ζωής του το πλοίο. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, και σε αυτή την κατάσταση φόρτισης το κύμα έχει μήκος όσο το μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου. Αντίθετα με την προηγούμενη περίπτωση, εδώ στο μέσον του πλοίου υπάρχει η κοιλάδα του κύματος και υπάρχουν δύο κορυφές στο πρωραίο και πρυμναίο άκρο του. Τα χαρακτηριστικά του κύματος, όπως έχουν υπολογιστεί από τους κανονισμούς του Γαλλικού Νηογνώμονα [44], παρουσιάζονται στον **Πίνακα 13**.

Μήκος Κύματος [m]	Ύψος Κύματος [m]	Περίοδος [s]
100.000	12.566	8.003

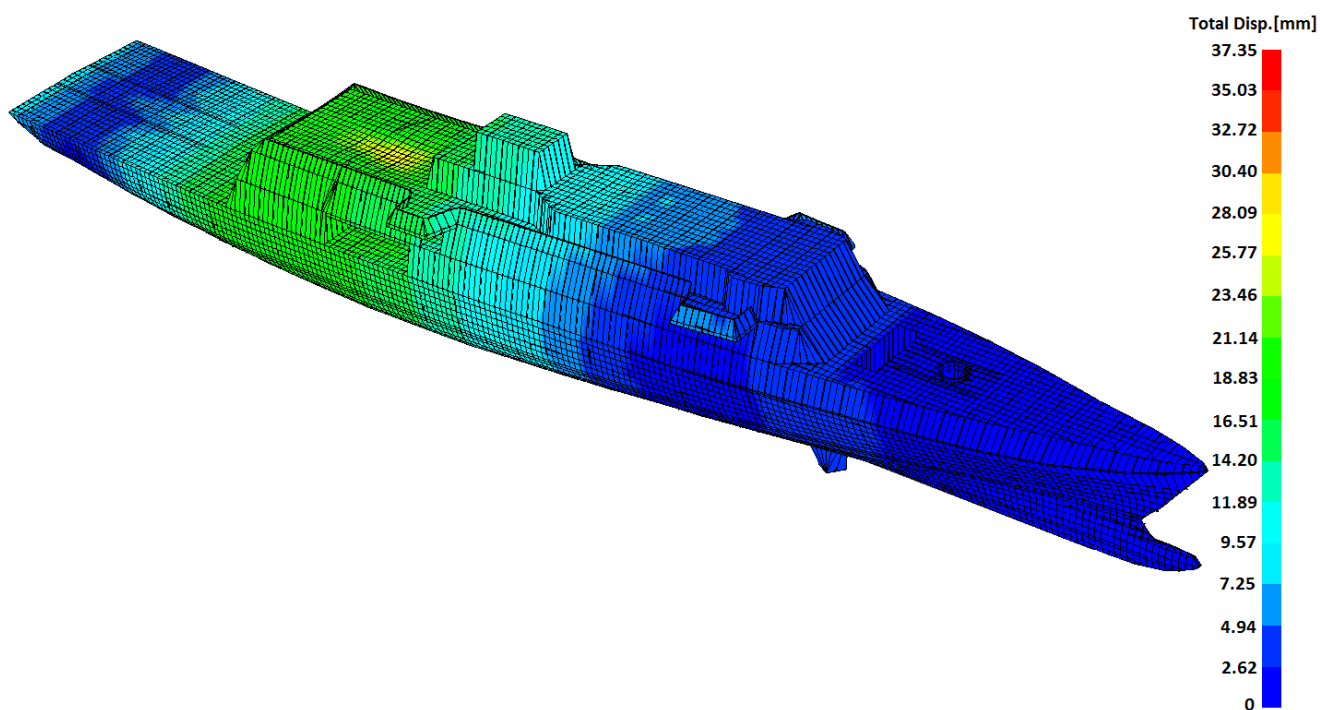
Πίνακας 13. Χαρακτηριστικά κύματος [44].



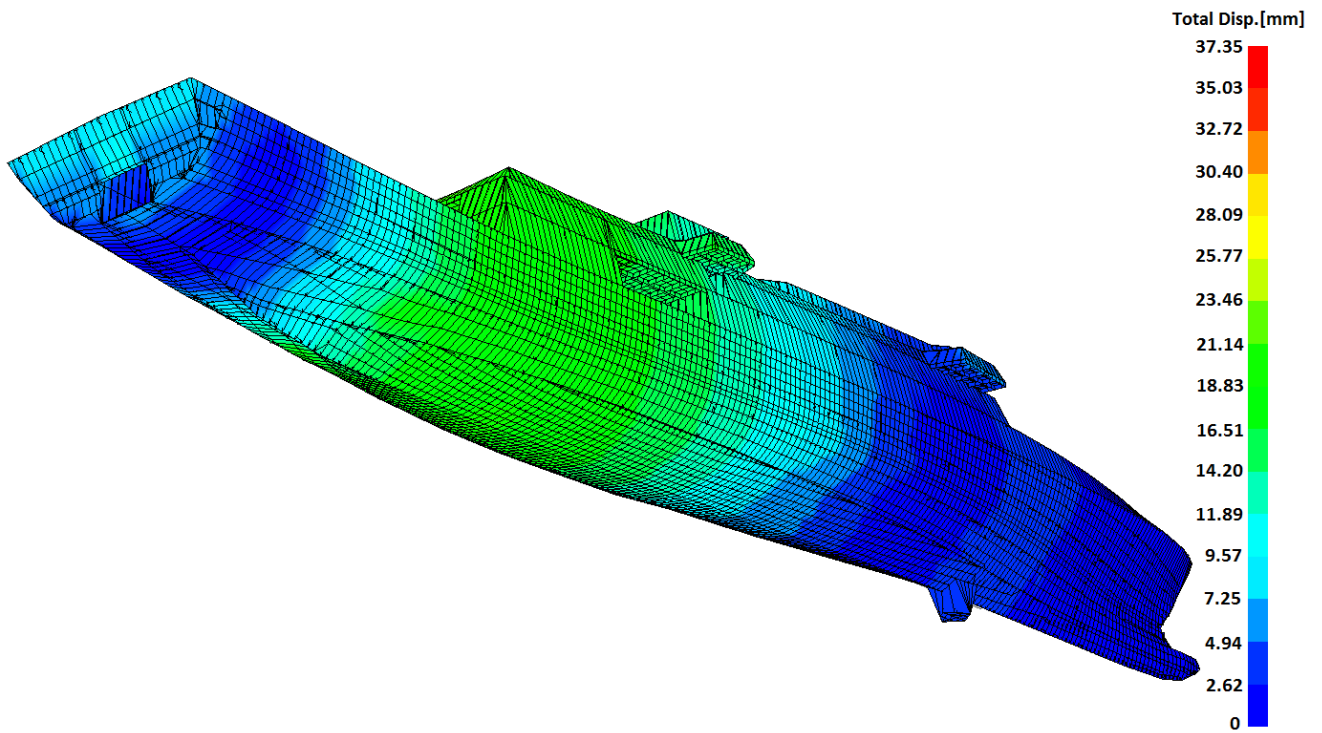
Εικόνα 51. Δύναμη άντωσης στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



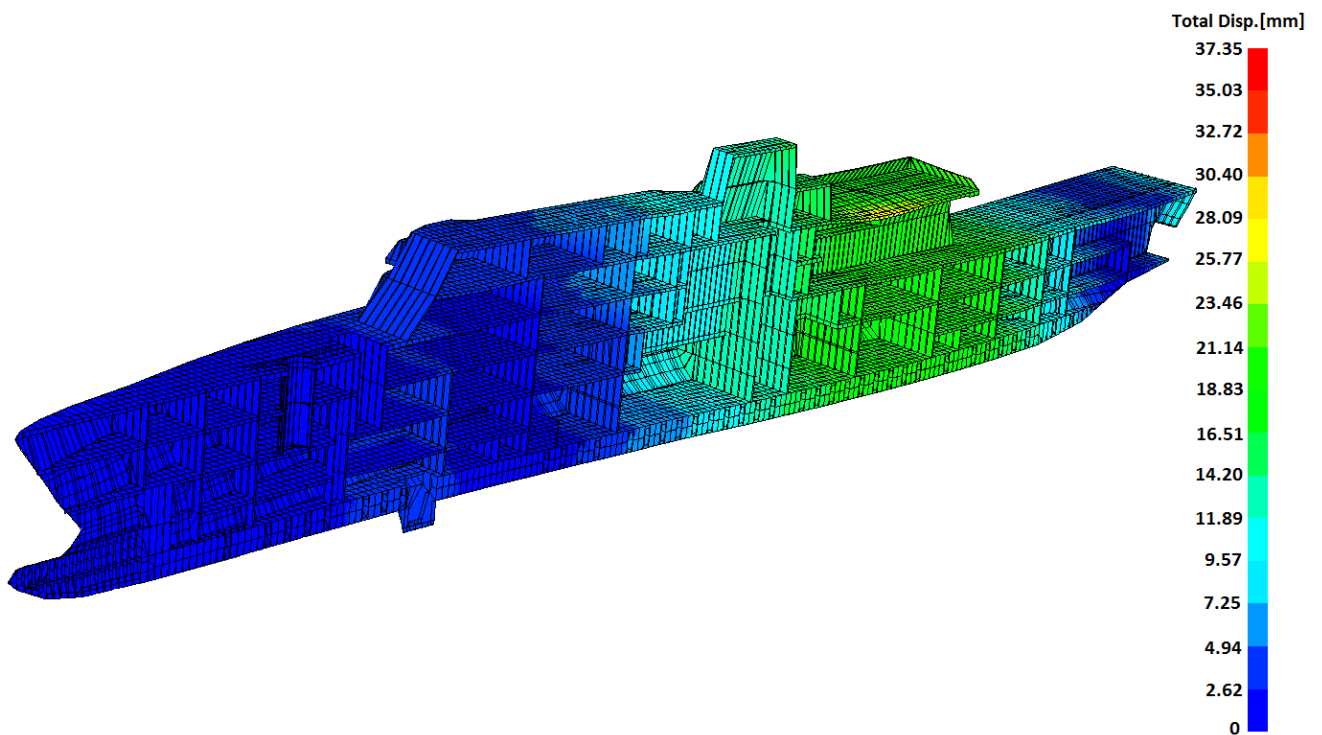
Εικόνα 52. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



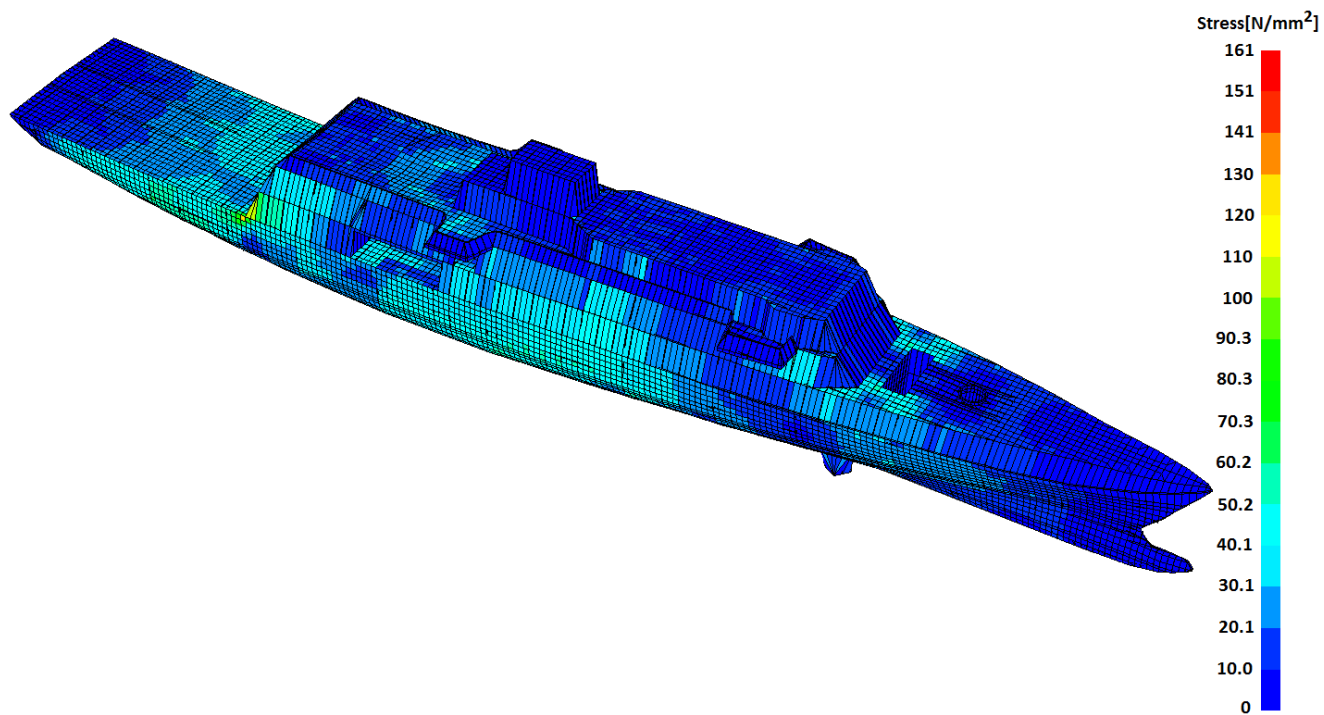
Εικόνα 53. Παραμόρφωση του σκάφους στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



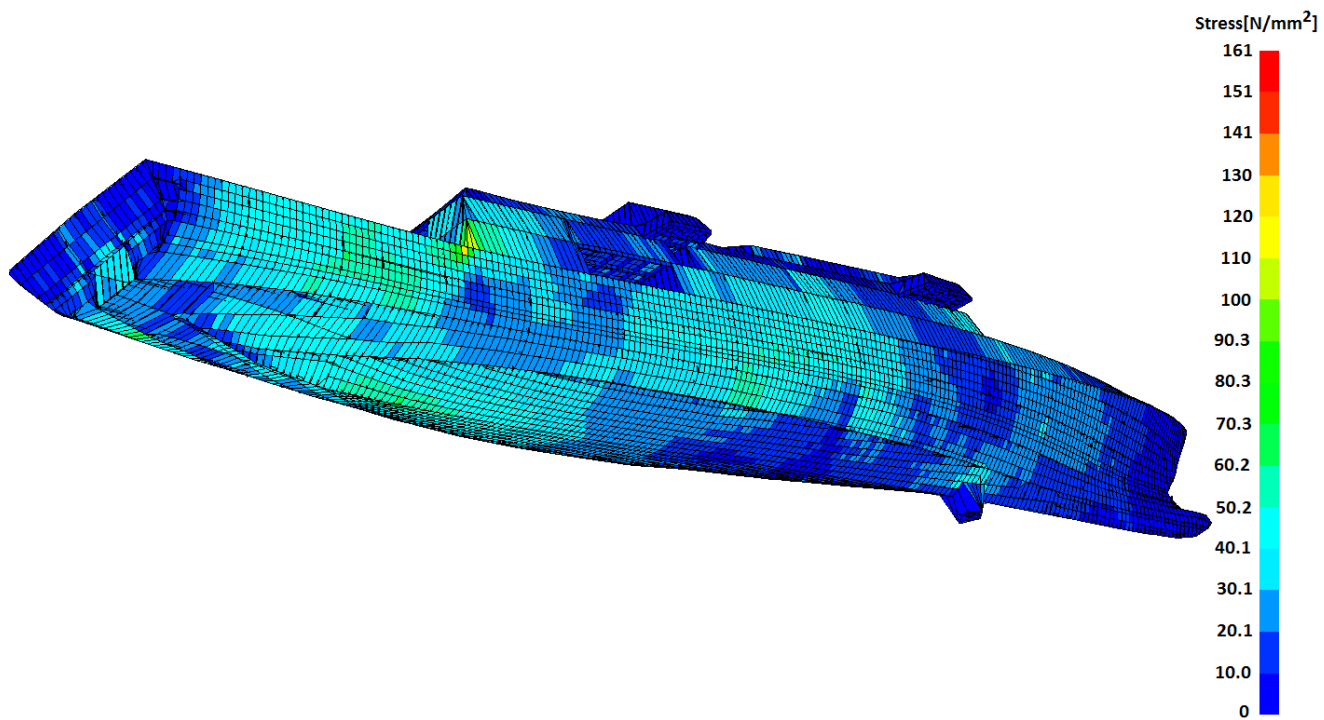
Εικόνα 54. Παραμόρφωση του σκάφους στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



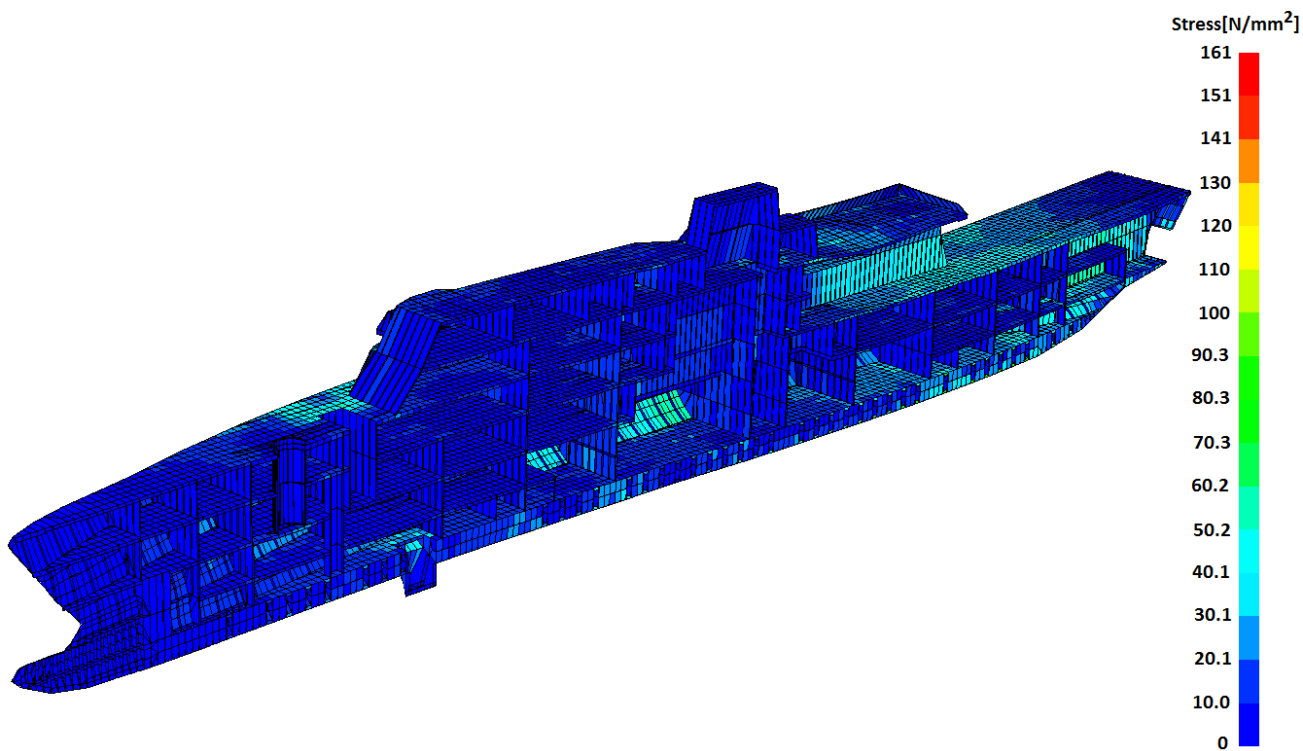
Εικόνα 55. Παραμόρφωση του σκάφους στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



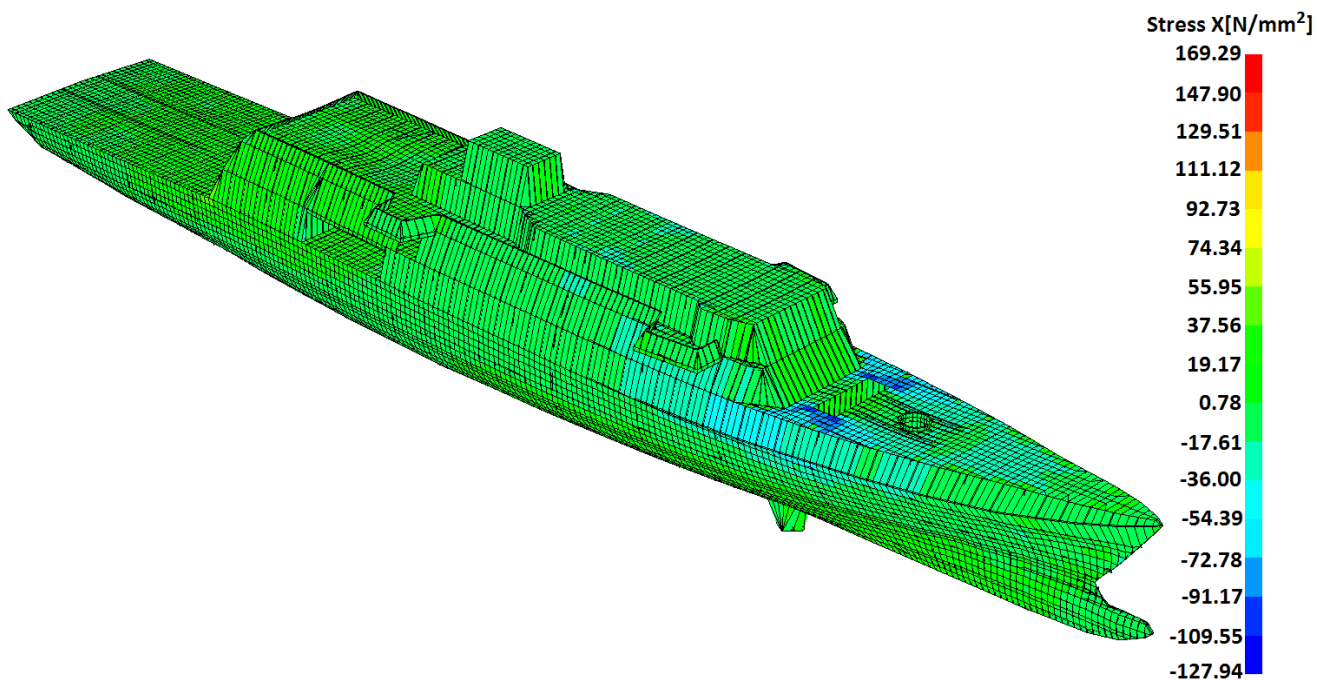
Εικόνα 56. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



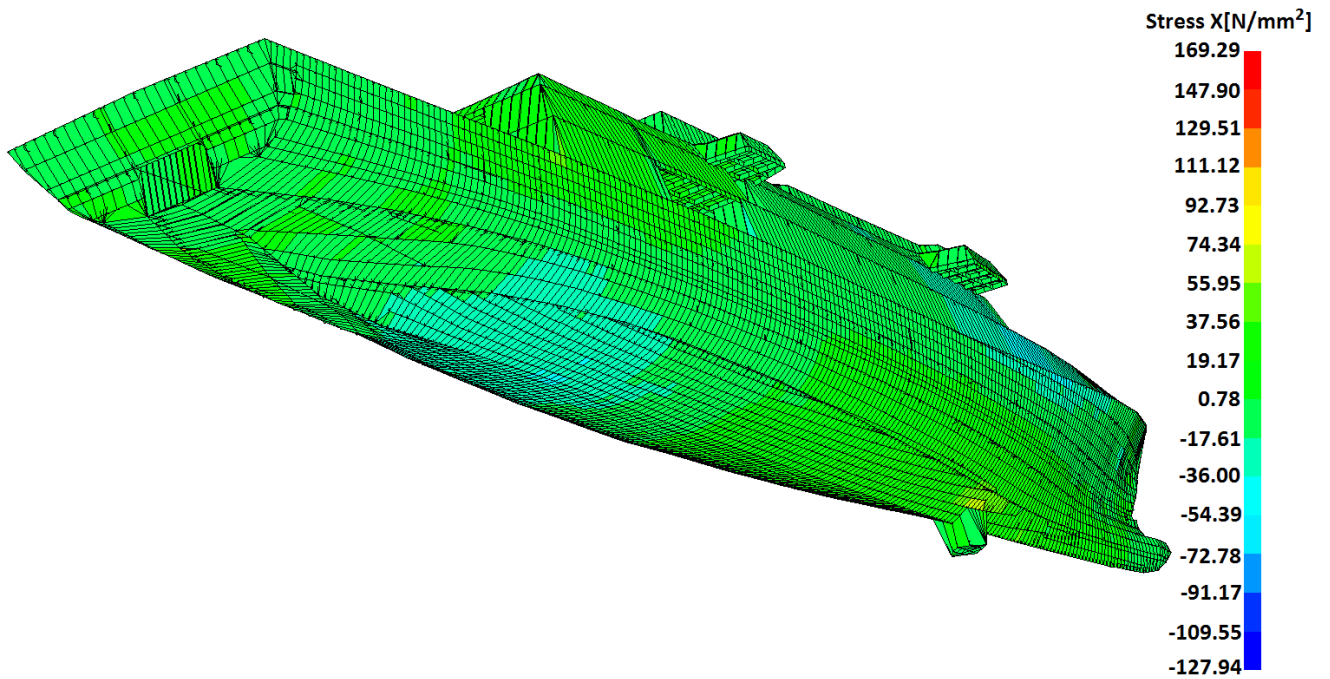
Εικόνα 57. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



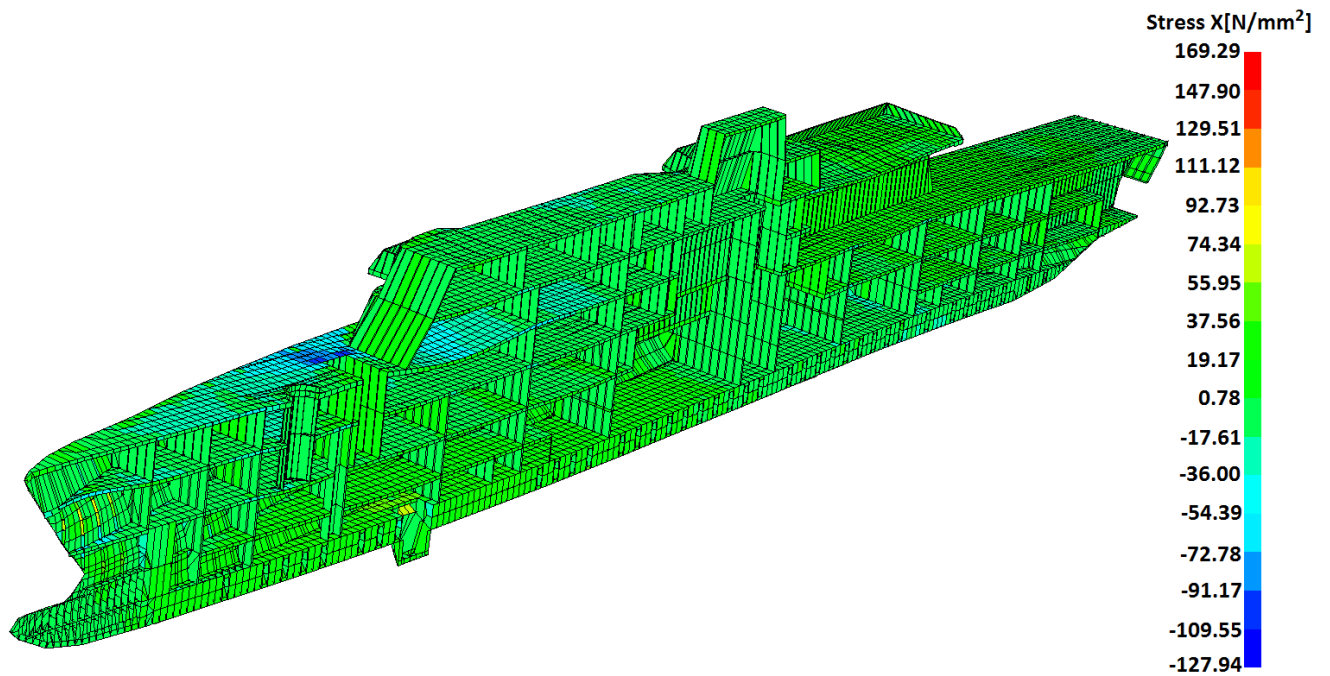
Εικόνα 58. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO)..



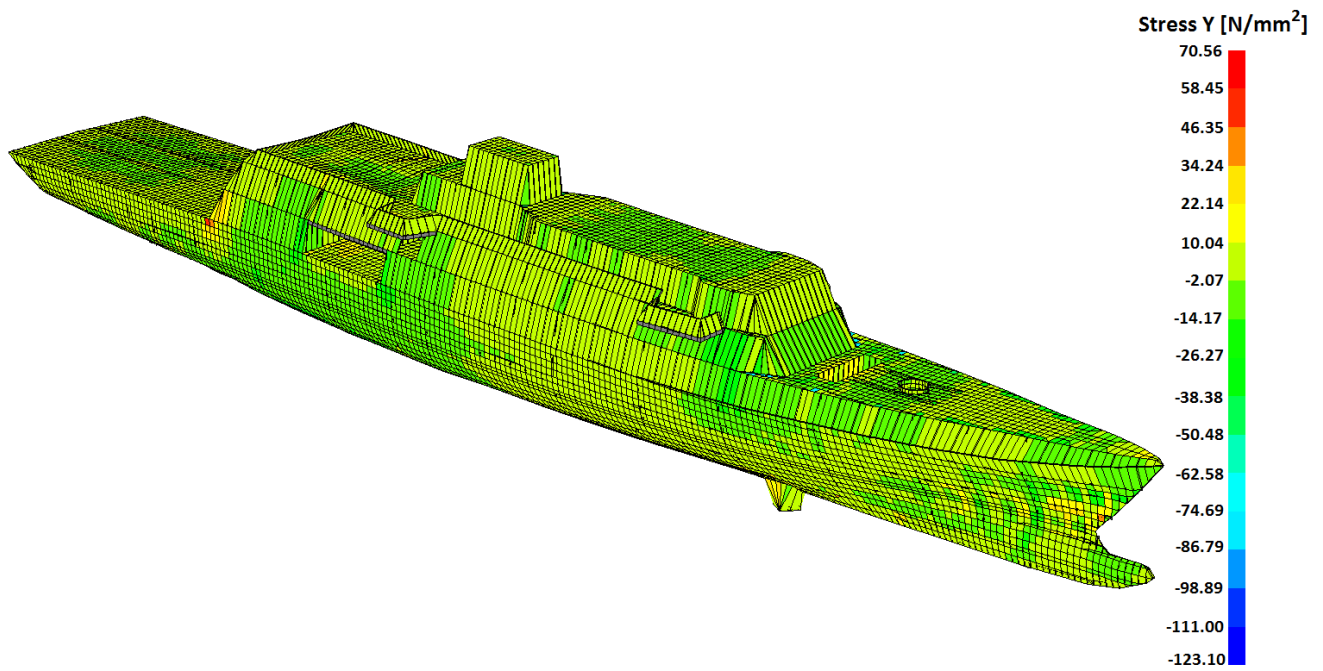
Εικόνα 59. Τάσεις κατά τον άξονα X στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



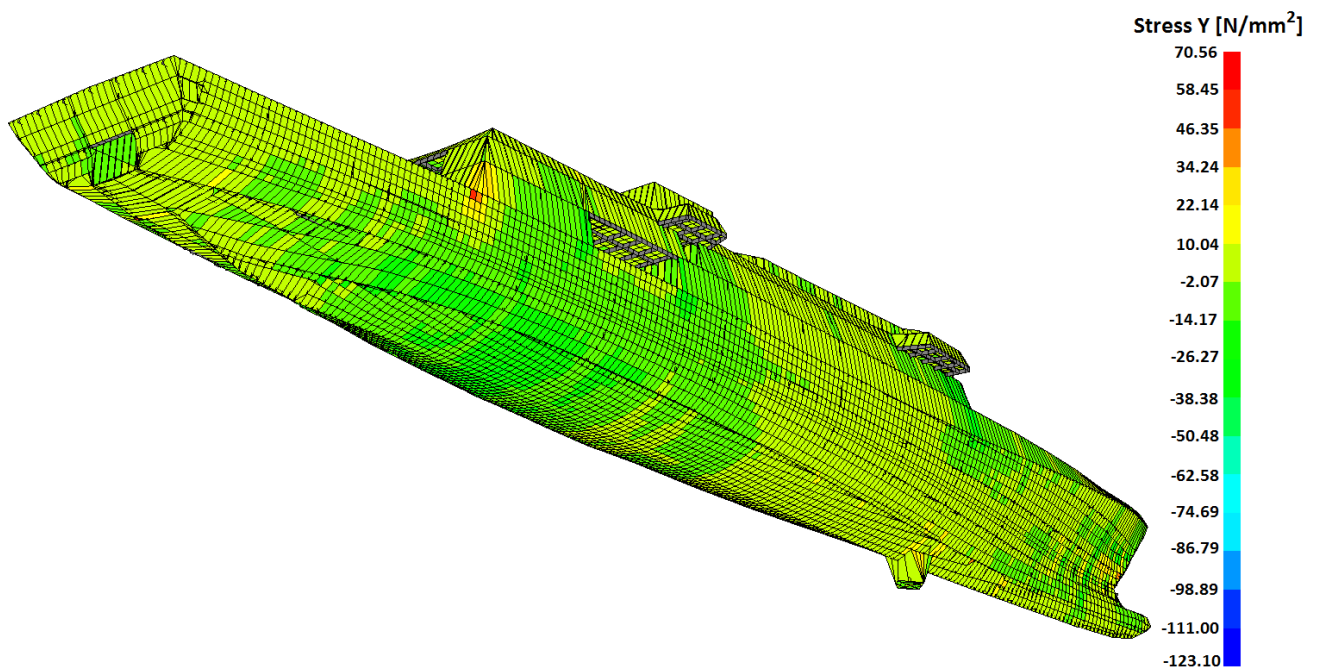
Εικόνα 60. Τάσεις κατά τον άξονα Χ στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



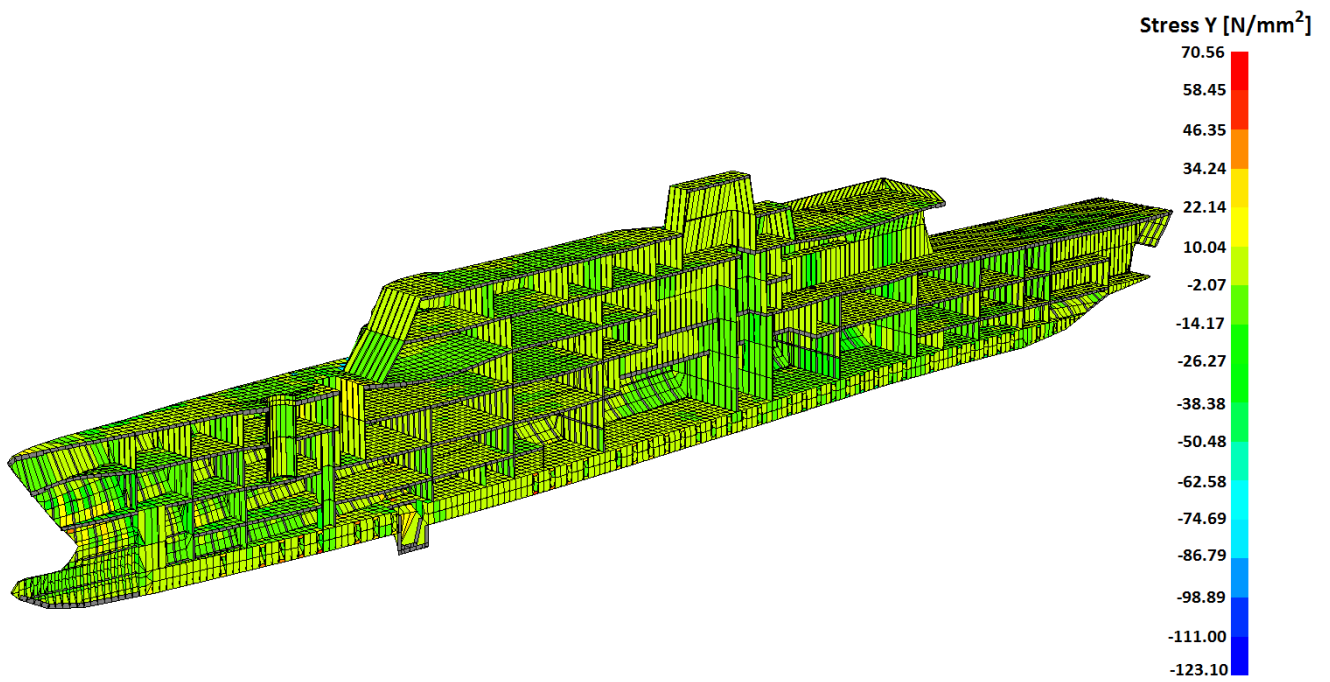
Εικόνα 61. Τάσεις κατά τον άξονα Χ στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



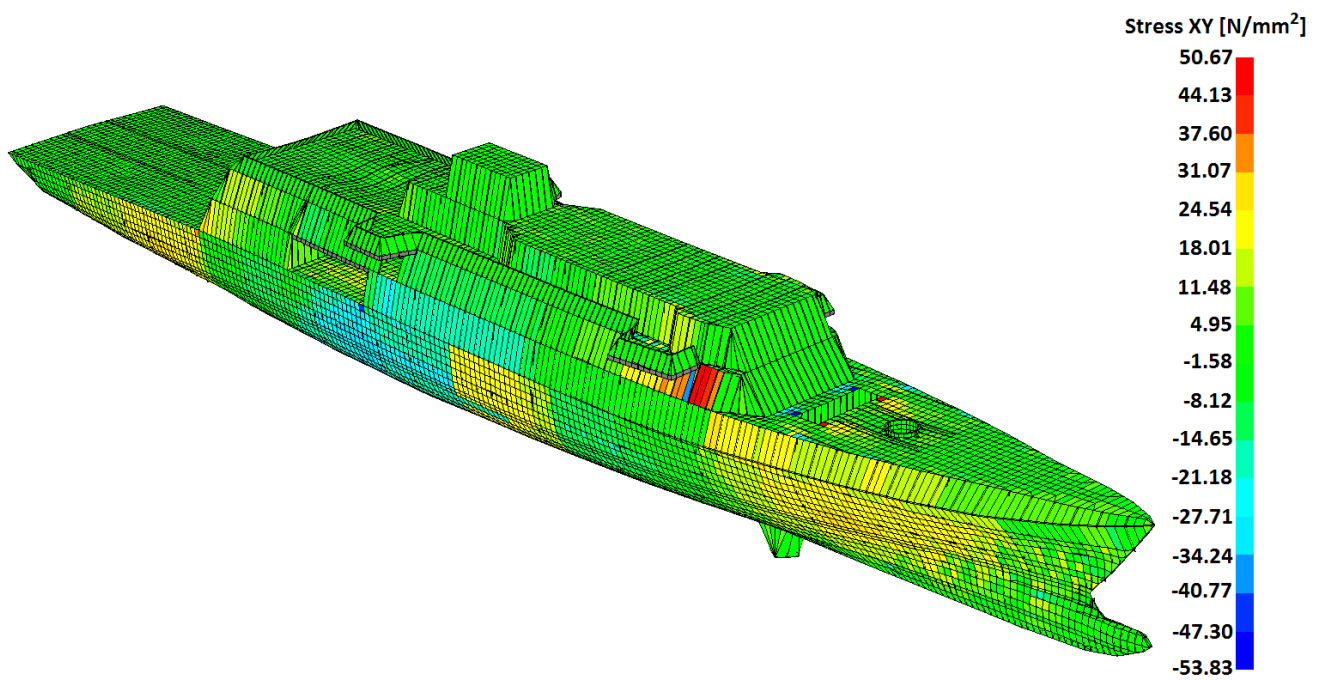
Εικόνα 62. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



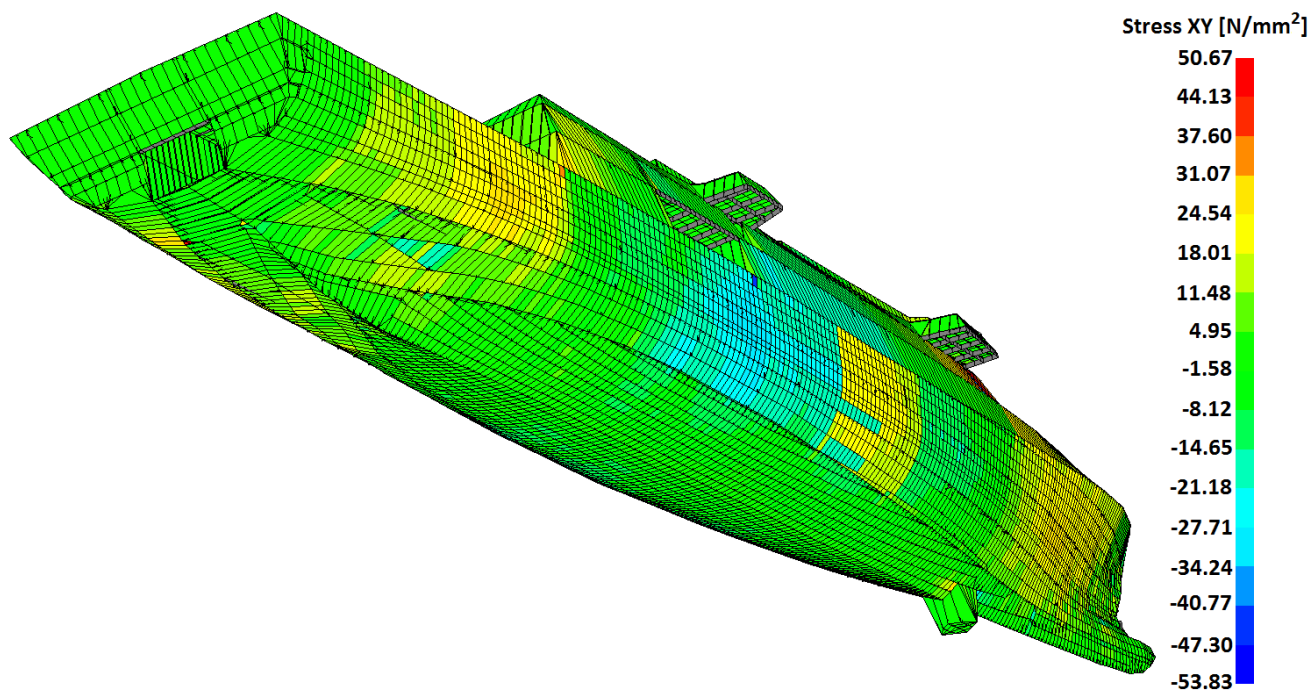
Εικόνα 63. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



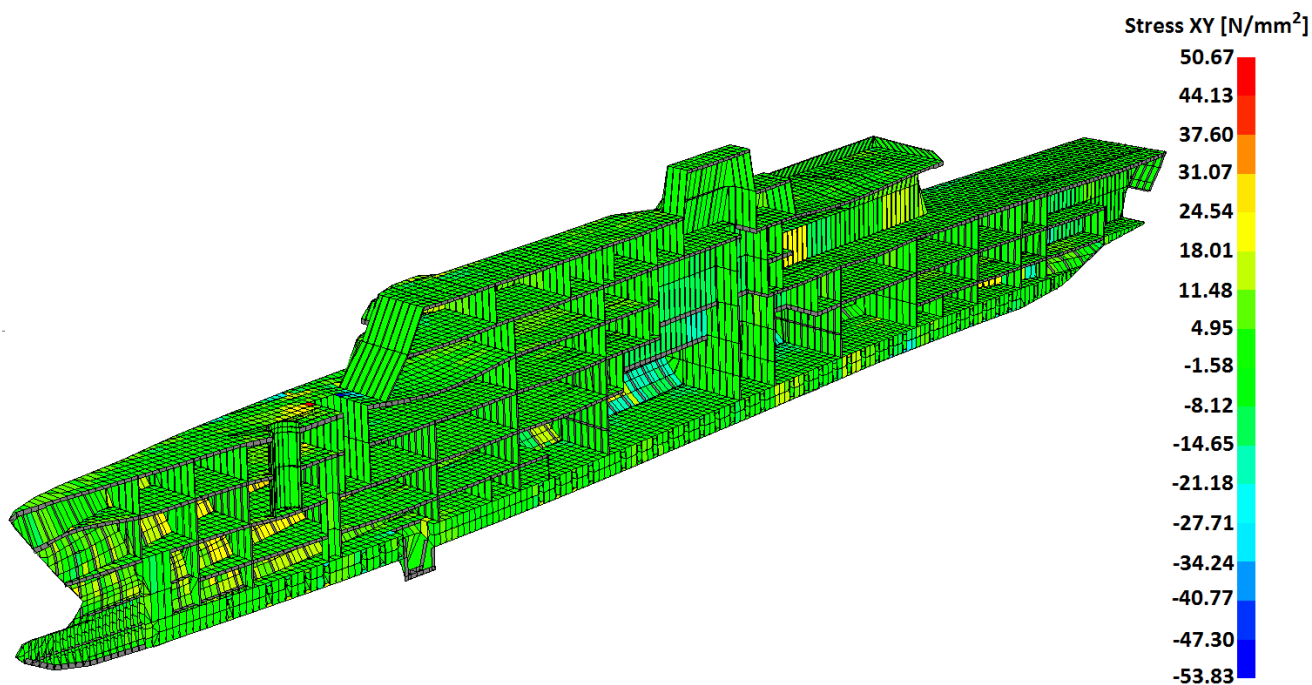
Εικόνα 64. Τάσεις κατά τον άξονα Y στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



Εικόνα 65. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).



Εικόνα 66. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).

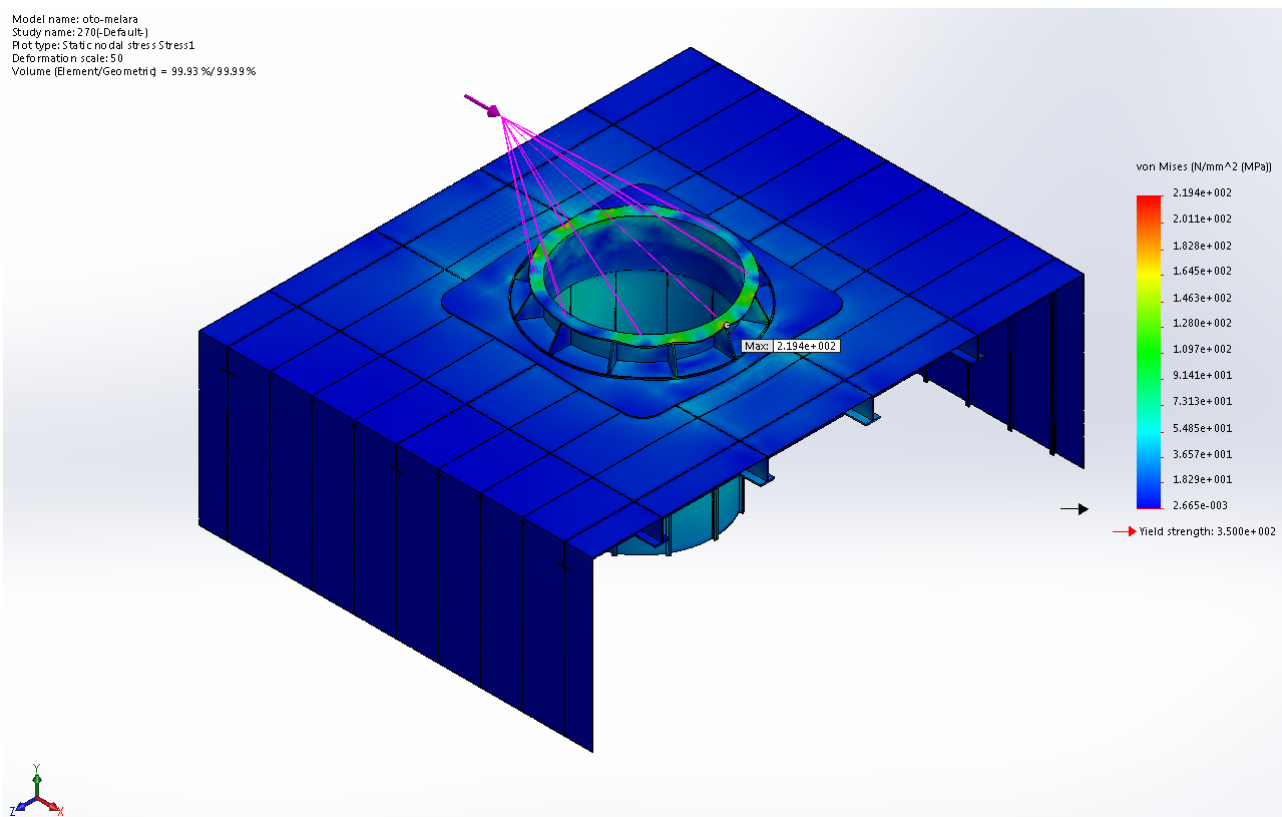


Εικόνα 67. Τάσεις κατά το επίπεδο XY στην κοιλάδα του κύματος (MAESTRO).

2.3.2 Έλεγχος τοπικής αντοχής της βάσης του πρωραίου πυροβόλου με το εμπορικό λογισμικό SOLIDWORKS.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη της αντοχής της έδρασης του πρωραίου πυροβόλου. Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή της παραγράφου, ο Γερμανικός Νηογνώμονας δέχεται τη μελέτη αντοχής με χρήση λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων όχι μόνο όσον αφορά την ολική αντοχή αλλά και την τοπική αντοχή. Συνεπώς, η αντοχή των καταστρωμάτων στα σημεία που εδράζονται τα οπλικά συστήματα θα ήταν φρόνιμο να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια ενός τέτοιου λογισμικού.

Το πρωραίο πυροβόλο ήταν το μόνο οπλικό σύστημα για το οποίο υπήρχαν επαρκή δεδομένα ώστε να γίνει ο υπολογισμός των δυνάμεων που ασκούνται στην έδραση κατά την εκτόξευση του βλήματος. Για τον υπολογισμό της δύναμης αντίδρασης έγινε χρήση της ταχύτητας εξόδου των αερίων (η οποία θεωρήθηκε ίση με την ταχύτητα εξόδου του βλήματος) από την κάνη του πυροβόλου [45]. Έπειτα εκμεταλλευόμενοι το θεώρημα διατήρησης της ορμής και γνωρίζοντας τη μάζα του πυροβόλου και ενός τυπικού βλήματος υπολογίσθηκε η δύναμη που ασκείται από το βλήμα στο πυροβόλο. Το πυροβόλο θεωρήθηκε ότι έπειτα από τη βολή δεν πληρώνεται με νέο βλήμα (δυσμενέστερη κατάσταση φόρτισης, μεγαλύτερη δύναμη αντίδρασης).

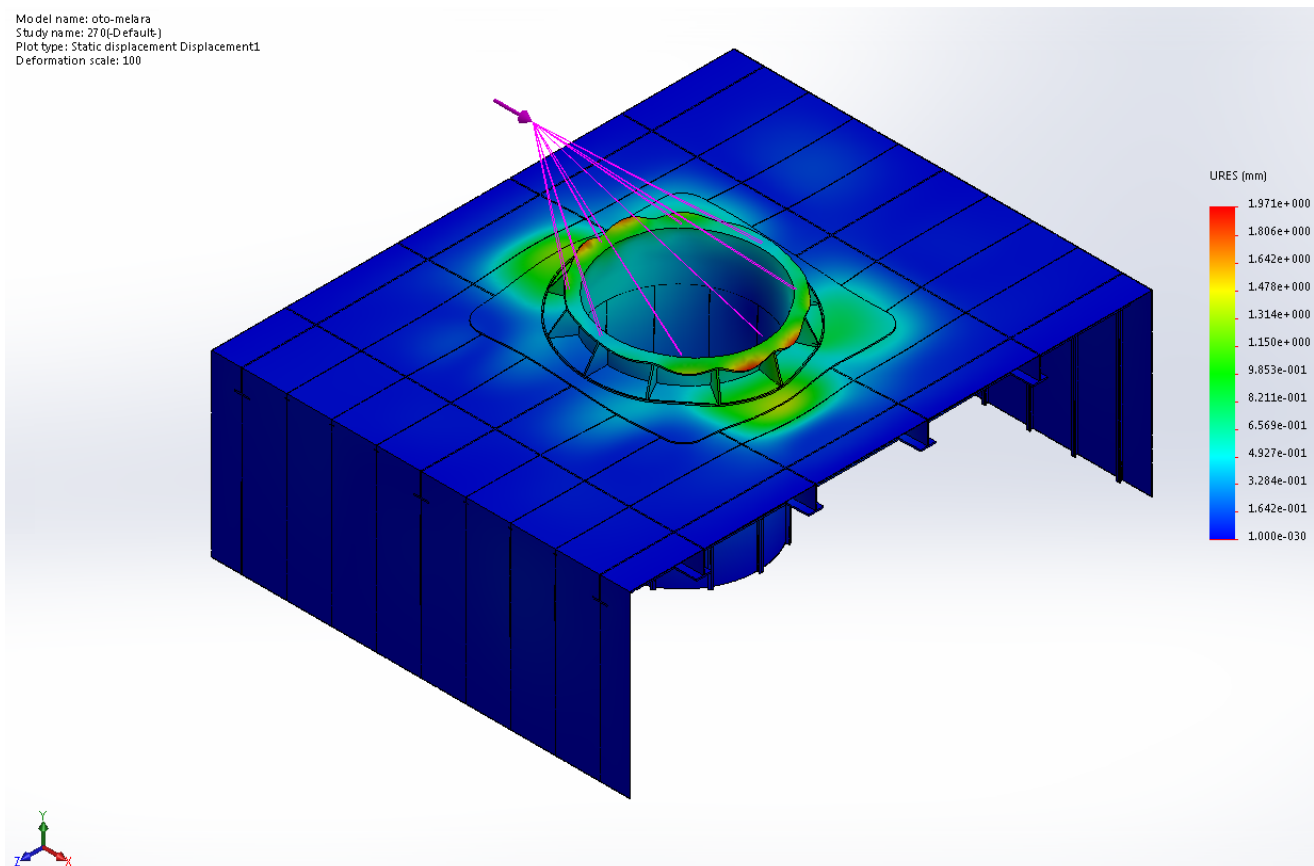


Εικόνα 68. Τάσεις στην έδραση του πυροβόλου και στο κατάστρωμα σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (SOLIDWORKS).

Στην ανάλυση με το λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων εισήχθη η γεωμετρία του του καταστρώματος και της βάσης του πυροβόλου. Το τμήμα που σχεδιάστηκε αποτελείται από ένα μέρος του εκτεθειμένου πρωραίου καταστρώματος ένα τμήμα των υδατοστεγών φρακτών και τη βάση του πυροβόλου. Συνεπώς, ο περιορισμός που θα έχει στα άκρα του το μοντέλο είναι η πάκτωση, καθώς είναι συγκολλημένο στην υπόλοιπη κατασκευή.

Όσον αφορά τα φορτία στα οποία υποβλήθηκε η κατασκευή αυτά είναι το ίδιο βάρος της κατασκευής, το βάρος του πυροβόλου και η δύναμη αντίδρασης κατά την εκपुरσοκρότηση του πυροβόλου. Στα δύο τελευταία φορτία έχει ληφθεί υπόψη συντελεστής ασφαλείας 1.3, ώστε να συμπεριληφθούν πρόσθετες επιταχύνσεις λόγω των κινήσεων του πλοίου.

Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε για διάφορες θέσεις του πυροβόλου και η μέγιστη τάση που αναπτύχθηκε ήταν 220 MPa (**Εικόνα 68**), τιμή αρκετά χαμηλότερη από την επιτρεπόμενη τάση, όπως αυτή ορίζεται στους κανονισμούς του Γερμανικού Νηογνώμονα. Επιπλέον η μέγιστη παραμόρφωση ήταν 2mm (**Εικόνα 69**).



Εικόνα 69. Παραμορφώσεις στην έδραση του πυροβόλου και στο κατάστρωμα (SOLIDWORKS).

3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ ΝΗΟΓΝΩΜΟΝΩΝ & ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

3.1 Συμπεράσματα – Προτάσεις για το μέλλον.

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με το εμπορικό λογισμικό MAESTRO είναι αρχική και δεν είναι όσο λεπτομερής απαιτείται για την κατασκευή ενός τέτοιου πλοίου ειδικού σκοπού. Εντούτοις έγινε για να επιβεβαιωθεί η επάρκεια των κατασκευαστικών στοιχείων του πλοίου, όπως υπολογίστηκαν βάσει των κανονισμών του Γερμανικού Νηογνώμονα.

Επιπλέον από την ανάλυση αυτή εξάγονται συμπεράσματα για τις περιοχές που παρατηρούνται οι δυσμενέστερες φορτίσεις. Έχοντας υπόψιν αυτές τις περιοχές του σκάφους, μπορεί να επιχειρηθεί βελτιστοποίηση των κατασκευαστικών στοιχείων, ώστε να υπάρξει μείωση στο βάρος της μεταλλικής κατασκευής. Η μείωση αυτή έχει μικρό όφελος όσον αφορά το κόστος κατασκευής του πλοίου, μια και το κόστος του μετάλλου, σε τέτοιου είδους πλοία, αποτελεί μικρό ποσοστό της συνολικής αξίας του πλοίου. Η βελτιστοποίηση αυτή έχει, όμως, σημαντική επίδραση στο βάρος του πλοίου. Έτσι ένα σκάφος με μικρότερο βάρος θα έχει τη δυνατότητα να αναπτύσσει υψηλότερη μέγιστη ταχύτητα με μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ μηχανών. Ενώ, το μειωμένο βάρος μεταλλικής κατασκευής θα συμβάλλει στην οικονομία του καυσίμου γεγονός που θα δίνει στο πλοίο μεγαλύτερη αυτονομία και άρα μεγαλύτερη ακτίνα δράσης (range). Τέλος, θα υπάρξει μεγαλύτερο περιθώριο αύξησης του βάρους της μεταλλικής κατασκευής για μεταγενέστερες αναβαθμίσεις, δεδομένης της θεώρησης που έγινε για το χρόνο ζωής του σκάφους (35 έτη).

Σύμφωνα με τους κανονισμούς του Γερμανικού Νηογνώμονα οι μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις μεταβάλλονται ανάλογα με τη θέση του πλοίου στην οποία βρίσκεται το κατασκευαστικό στοιχείο. Επιπλέον διαφοροποίηση στις τιμές παρατηρείται και ανάλογα με το κατασκευαστικό στοιχείο (ελάσματα ή ενισχυτικά). Οι μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις ανάλογα με το κατασκευαστικό στοιχείο και τη θέση του παρουσιάζονται στον **Πίνακα 14**.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε δεν παρατηρήθηκαν, σε καμία από τις περιπτώσεις φόρτισης που εξετάστηκαν, υπερβολικές τάσεις στα κατασκευαστικά στοιχεία. Επιπλέον, κάποιες υψηλές τιμές των τάσεων οφείλονται στο γεγονός ότι το πλέγμα επίλυσης δεν έχει την πυκνότητα που θα έπρεπε. Βέβαια, αυτό έγινε ώστε να έχουμε αποτελέσματα σε σχετικά γρήγορο χρόνο, όπως άλλωστε είναι η φιλοσοφία του λογισμικού (MAESTRO) που χρησιμοποιήθηκε.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της ανάλυσης είναι ότι πλοίο και κύμα θεωρήθηκαν στατικά. Συνεπώς, μία πρόταση για μελλοντική έρευνα θα ήταν ο έλεγχος της απόκρισης της κατασκευής για δυναμικά φορτία, δηλαδή με πλοίο και κύμα σε σχετική κίνηση μεταξύ τους. Αυτές οι καταστάσεις φόρτισης θα μπορούσαν να συνδυαστούν και με ανάλυση των ταλαντώσεων (vibrations) που εμφανίζονται στην κατασκευή είτε λόγω της κίνησης του

σκάφους μέσα στο κύμα ή λόγω της λειτουργίας των διαφόρων συστημάτων του ή από το συνδυασμό αυτών των δύο.

Κατασκευαστικό στοιχείο	Τάση [N/mm²]
Έλασμα πυθμένα	415
Ενισχυτικό πυθμένα	287
Έλασμα υδατοστεγούς φρακτής	412
Ενισχυτικό υδατοστεγούς φρακτής	412
Έλασμα διπυθμένου	399
Ενισχυτικό διπυθμένου	250
Έλασμα δεξαμενών	399
Ενισχυτικό δεξαμενών	250
Έλασμα πλευράς πλοίου	412
Ενισχυτικό πλευράς πλοίου	314
Έλασμα καταστρωμάτων	399
Ενισχυτικό καταστρωμάτων	250
Έλασμα φρακτής	412
Ενισχυτικό φρακτής	314

Πίνακας 14. Μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις.

Σημαντικό χαρακτηριστικό των πολεμικών πλοίων είναι η επιβιωσιμότητα (survivability). Η επιβιωσιμότητα ενός σκάφους είναι η ικανότητά του να παραμένει στην επιφάνεια και με ικανοποιητική ευστάθεια και ικανότητα να ολοκληρώσει ορισμένες από τις λειτουργίες του μετά από ένα πλήγμα [46]. Για τα πολεμικά πλοία κρίνεται απαραίτητη η μελέτη επιβιωσιμότητας, η οποία θα πρέπει να γίνεται και κατά τη φάση σχεδίασης του σκάφους, ώστε να γίνονται εύκολα οι αλλαγές που απαιτούνται.

Για την πραγματοποίηση αυτού του ελέγχου θα πρέπει να ελεγχθεί η τρωτότητα του σκάφους. Σύμφωνα με αυτή θα πρέπει να εξεταστεί η απόκριση της κατασκευής σε διάφορες εσωτερικές και εξωτερικές απειλές. Το ωστικό κύμα από εσωτερικές, εξωτερικές ή υποθαλάσσιες εκρήξεις είναι κάποιες τέτοιες απειλές. Επιπλέον, τα θραύσματα που παράγονται από βλήματα διασποράς ή οι σφαίρες είναι εξίσου σημαντικά στοιχεία για έλεγχο. Έχοντας αυτές τις φορτίσεις μπορεί να καθοριστεί η θωράκιση που θα πρέπει να εφαρμοστεί στο εξωτερικό περίβλημα του πλοίου, ώστε να μειωθεί η τρωτότητα του.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειώσουμε ότι αυτές είναι απαιτήσεις που θέτει η εκάστοτε χώρα που κατασκευάζει το πλοίο. Οι νηογνώμονες θεωρούν ότι το σκάφος έχει τον απαιτούμενο εξοπλισμό για να αποφύγει ή να καταστρέψει αυτές τις απειλές πριν φθάσουν σε απόσταση τέτοια που να απειληθεί το σκάφος.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που έχει άμεση επίδραση στην επιβιωσιμότητα του σκάφους είναι η αντοχή του κατάσταση βλάβης. Οπότε σε μία μελέτη είναι καλό να έχει εξεταστεί και αυτή η περίπτωση. Σε αυτή την κατάσταση θα πρέπει να θεωρηθεί ότι ένα ή περισσότερα υδατοστεγή διαμερίσματα (όχι μόνο δεξαμενές) έχουν κατακλιστεί από θαλασσινό νερό. Οι αλλαγές που πιθανώς να παρατηρηθούν είναι στο βύθισμα, στη γωνία διαγωγής (trim angle) και στη γωνία εγκάρσιας κλίσης (heel angle). Όλα αυτά έχουν επίδραση στην αντοχή του σκάφους και ειδικά αν λάβει υπόψιν του κανείς και τη μείωση της αντοχής λόγω της οπής από την οποία έγινε η εισροή των υδάτων.

Όσον αφορά το συγκεκριμένο πλοίο, έχουν γίνει κάποιες αλλαγές από τον αρχικό σχεδιασμό [42]. Το πλοίο είχε σχεδιαστεί αρχικά χωρίς διπύθμενο (double bottom) και με πλευρικές δεξαμενές (side tanks) στους χώρους των μηχανοστασίων. Λόγω των απαιτήσεων όμως των κανονισμών, προστέθηκε διπύθμενο σε όλο το μήκος του πλοίου (και όπου αυτό ήταν εφικτό και είχε νόημα να προστεθεί) και οι πλευρικές δεξαμενές έγιναν δεξαμενές διπυθμένου (double bottom tanks). Λόγο αυτής της αλλαγής, θα πρέπει να εξεταστεί εκ νέου η ευστάθεια του πλοίου και σε άθικτη κατάσταση, αλλά και μετά από βλάβη.

Τέλος μία αρκετά σημαντική παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί είναι η τοπική αντοχή των εδράσεων των διαφόρων συστημάτων και των υφισταμένων τους καταστρωμάτων. Μερικά παραδείγματα εδράσεων οι οποίες θα πρέπει να ελεγχθούν είναι οι εδράσεις όλων των οπλικών συστημάτων του πλοίου (εκτός από το πρωραίο πυροβόλο που εξετάστηκε στην παρούσα μελέτη), των διαφόρων γερανών, των συστημάτων αγκυροβολίας (εργάτες άγκυρας) και των συστημάτων πρόσδεσης. Ενώ καλό θα ήταν να ελεγχθεί και η αντοχή του καταστρώματος στο ελικοδρόμιο για πρόσκρουση του ελικοπτέρου σε αυτό. Ενώ, θα πρέπει να γίνει και έλεγχος για λυγισμό όλων των κατασκευαστικών στοιχείων, όπως αυτός υπαγορεύεται από τους κανονισμούς του Γερμανικού Νηογνώμονα.

Τα τμήματα της κατασκευής, τα οποία θα βρεθούν με ανεπαρκή ή οριακή αντοχή, θα πρέπει να ενισχυθούν κατάλληλα είτε με ελάσματα μεγαλύτερου πάχους ή με μεγαλύτερα ενισχυτικά. Στα σημεία που θα πρέπει να προστεθεί έλασμα μεγαλύτερου πάχους θα πρέπει να κοπεί το υφιστάμενο έλασμα και να τοποθετηθεί ένα νέο με το απαιτούμενο πάχος (insert plate) και όχι να συγκολληθεί πάνω στο υφιστάμενο έλασμα άλλο έλασμα (doubler plate). Η συγκεκριμένη πρακτική υπαγορεύεται και από τους κανονισμούς του νηογνώμονα.

4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] G. Rudgley, E. ter Bekke, P. Boxall και R. Humphrey, «Development of a NATO "Naval Ship Code",» σε *RINA Safety Regulations and Naval Classification II*, London, 2005.
- [2] *American Bureau of Shipping, Guide for Building and Classing Naval Vessels*, Huston, Texas: American Bureau of Shipping, 2004.
- [3] P. E. Sullivan, G. M. Ashe, H. Fireman και R. Finney, *Naval Vessel Rules – A NAVSEA/ABS Partnership for the Future*, ASNE, 2004.
- [4] L. Petersen, «Classification of Naval Ships,» *Naval Forces*, pp. 108-115, 2004.
- [5] F. Cheng, J. James και N. Rattenbury, *Naval Ship Rules 2000*, *Lloyd's Register*, 2000.
- [6] R. V. e. a. Pomeroy, «The Classification Process and the Safety Case for Naval,» σε *Using the Classification Process For Naval Ships*, INEC, 2000.
- [7] N. Rattenbury, «Classification Process and the Safety Case for Naval Ships,» σε *The Modern Warship – Management of Safety in Peace and War Conference*, 1999.
- [8] *Lloyd's Register, Naval Classification*, *Lloyd's Register*, 2000.
- [9] C. Boccalatte, D. Cervetto, R. Dattola, S. Ferraris, R. Folsø και S. Simone, «Military Notations in the frame of the new rules developed by RINA for Naval Vessels,» σε *NAV 2003*, Palermo, 2003.
- [10] C. Boccalatte, D. Cervetto, R. Dattola, S. Ferraris, R. Folsø και S. Simone, «On the Development of Structural Rules for the Classification of Naval Vessels,» σε *FAST 2003*, Ischia, 2003.
- [11] P. F. Hansen και A. K. Thayamballi, «Fatigue damage considering whipping arising from slamming,» σε *OMAE'95 14th International Conference*, New York, 1995.
- [12] G. Jiao, «Probabilistic prediction of extreme stress and fatigue damage for ships in slamming conditions,» *Marine Structures* 9, pp. 759-785, 1995.
- [13] Birmingham et al., *Development of a fatigue lifetime load spectrum for a large-scale*, τόμ. STP671, ASTM, 1979.
- [14] M. W. Sieve, D. P. Kihl και B. M. Ayyub, *Fatigue Design Guidance for Surface Ships*, Τόμ. %1 από %2Technical Report NSWCCD-65-TR-2000/25, Naval Surface Warfare Center, US Navy, 2000.
- [15] J. P. Sikora, A. Dinsenbacher και J. E. Beach, «A method for estimating lifetime loads and fatigue lives for swath and conventional monohull ships,» *Naval Engineers Journal*, αρ. 95:3, pp. 63-84, 1983.

- [16] *Technical Committee III.2, «Fatigue and Fracture,» σε 13th International Ship and Offshore Structures Congress, Trondheim, 1997.*
- [17] *Technical Committee III.2, «Fatigue and Fracture,» σε 14th International Ship and Offshore Structures Congress, Nagasaki, 2000.*
- [18] *Technical Committee III.2, «Fatigue and Fracture,» σε 15th International Ship and Offshore Structures Congress, San Diego, 2003.*
- [19] *J. L. Glen, A. Dinovitzer, R. B. Paterson, L. Luznik και C. Bayley, «Fatigue-Resistant Detail Design Guide for Ship Structures,» σε Report SSC-405, Ship Structure Committee, 1999.*
- [20] *Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships, Lloyd's Register, 2005.*
- [21] *Germanischer Lloyd, Rules for Classification and Construction (III) Naval Ship Technology - Surface Ships, Germanischer Lloyd, 2005.*
- [22] *Registro Italiano Navale, RINA Naval Rules, Registro Italiano Navale, 2005.*
- [23] *Y. W. Lee, K. Galanis και T. Wierzbicki, Development of Damage Tolerant Designs for Naval Vessels, Massachusetts Institute of Technology, Impact and Crashworthiness Laboratory, 2002.*
- [24] *T. L. Geers, «Residual potential and approximate methods for three-dimensional fluid-structure interaction problems,» JASA 49(5) Pt 2, pp. 1505-1510, 1971.*
- [25] *A. H. Keil, «Introduction to Underwater Explosion Research,» σε U.E.R.D-Report, 1956, pp. 19-56.*
- [26] *A. H. Keil, The Response of Ships to Underwater Explosions, No. 7 επιμ., The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1961.*
- [27] *S. Glasstone, The Effects of Nuclear Weapons, US Department of Energy, 1957.*
- [28] *W. E. Baker, Explosion Hazards and Evaluation, Elsevier, 1983.*
- [29] *J. M. Biggs, Introduction to Structural Dynamics, McGraw-Hill, 1964.*
- [30] *W. J. Forrestal και D. L. Wesenberg, «Elastic-Plastic Response of Simply-Supported 1018 Steel Beams to Impulse Loads,» Journal of Applied Mechanics, αρ. 44 (4), pp. 779-780, 1977.*
- [31] *Wikipedia, «USS Cole bombing - Wikipedia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/USS_Cole_bombing.*
- [32] *C. M. Harris και C. E. Crede, Shock and Vibration Handbook, New York: McGRAW-HILL Book Co., 1976.*

- [33] G. Ashe, T. Bosman, F. Cheng, S. Dow, S. Ferraris, L. Ferreiro, P. Kaeding, H. Kaneko, D. McGeorge, D. Norwood και J. Park, «Naval Ship Design,» σε *16th International Ship and Offshore Structures Congress, Southampton, 2006.*
- [34] A. N. Hicks, «The Theory of explosion induced ship whipping motions,» σε *NCRE Report R579, Naval Construction Research Establishment, 1972.*
- [35] A. N. Hicks, «Explosion Induced Hull Whipping,» σε *The Structural Design of Warships, US Naval Institute, Annapolis, Spon & Chamberlin, 1986.*
- [36] R. S. Dow, «Structural Redundancy and Damage Tolerance in Relation to Ultimate Ship Hull Strength,» σε *International Conference on Advances in Marine Structures 3, 1997.*
- [37] R. Dow, G. Ashe, J. Broekhuijsen, R. Doig, A. Fredriksen, A. Imakita, W. S. Jeon, J. F. Leguin, H. J. Liu, N. Pegg, S. Silva, D. W. Truelock και F. Viejo, «Naval Ship Design,» σε *18th International Ship and Offshore Structures Congress, Rostock, 2012.*
- [38] Specialist Committee V.2, «Structural Design of High Speed Vessels,» σε *14th International Ship and Offshore Structures Congress, Nagasaki, 2000.*
- [39] «World's Armed Forum,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.network54.com/Forum/211833/thread/1249870976/The+thread+on+Scandinavian+navies>.
- [40] Wikipedia, «Visby Class Corvette - Wikipedia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Visby-class_corvette.
- [41] Germanischer Lloyd, *Rules for Classification and Construction (III) Naval Ship Technology - Surface Ships, Germanischer Lloyd, 2012.*
- [42] E. A. Καλκούνης, *Μελέτη και Σχεδίαση Πολεμικού Πλοίου Τύπου Κορβέτας (Διπλωματική Εργασία), Αθήνα, 2013.*
- [43] Ι. Τζαγκαράκης, «Ελληνικό Ινστιτούτο Ναυτικής Τεχνολογίας - ALS CLASS 100 Multi-Purpose Corvette (Κορβέτα Πολλαπλών Ρόλων),» 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.elint.org.gr/annual-meeting/2012/schedule/scientific-subjects/212-als-class-100-multi-purpose-corvette.html#>.
- [44] Bureau Veritas, *Rules for the Classification of Naval Ships, Part B - Hull and Stability, Bureau Veritas, 2011.*
- [45] Wikipedia, «OTO Melara 76mm - Wikipedia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/OTO_Melara_76_mm.
- [46] Ε. Κ. Μπουλουγούρης και Α. Δ. Παπανικολάου, *Πρόχειρες Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος "Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίων Ειδικού Τύπου", Αθήνα, 2008.*
- [47] Registro Italiano Navale, *Rules for the Classification of Naval Ships - Part B - Hull and Stability, Genova: Registro Italiano Navale, 2011.*

- [48] *OTO Melara - A Finnmechanica Company, Naval Systems - Medium Calibres - 76/62 SR, OTO Melara - A Finnmechanica Company, 2013.*
- [49] *A. Δ. Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης, Τεύχος 1, Αθήνα: Εκδόσεις Συμείων, 2009.*
- [50] *A. Δ. Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης, Τεύχος 2, Αθήνα: Εκδόσεις Συμείων, 2009.*
- [51] *A. Mansoor και D. Liu, The Principles of Naval Architecture Series, Strength of Ships and Ocean Structures, Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2008.*
- [52] *Ship Design & Construction, New York: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1980.*
- [53] *EN358 Ship Structures - Notes for an Undergraduate Course, Annapolis, Maryland: United States Naval Academy, 2009.*
- [54] *MAESTRO Basic Features Tutorial (Version 9.1.0), DRS Defense Solutions, Advanced Technology Center, 2009.*
- [55] *E. C. Tupper, Introduction to Naval Architecture, 4th Edition, Elsevier, 2004.*
- [56] *G. Ashe, F. Cheng, P. Kaeding, H. Kaneko, R. Dow, J. Broekhuijsen, N. Pegg, A. Fredriksen, F. V. de Francisco, J. F. Leguen, P. Hess, L. Gruenitz, W. Jeon, H. Kaneko, S. Silva και R. Sheinberg, «Naval Ship Design,» σε 17th International Ship and Offshore Structures Congress, Seoul, 2009.*
- [57] *Ship Structure Committee, Effect of High Strength Steels on Strength Considerations of Design and Construction Details of Ships, Ship Structure Committee, 1994.*
- [58] *A. M. Hansen, «Strength of Midship Sections,» Marine Structures 9, pp. 471-494, 1996.*
- [59] *H.-C. Kuo και J.-R. Chang, «A Simplified Approach to Estimate the Ultimate Longitudinal Strength of Ship Hull,» Journal of Marine Science and Technology, pp. 130-148, 2003.*
- [60] *R. Curry, G. Ashe και D. S. Novak, «Applicability of High Speed Craft and High Speed Naval Craft Classification Rules to Current Mission Requirements,» Journal of Ship Production, pp. 208-215, 11 2002.*
- [61] *B. A. Smith, «Effect of U.S. Navy Shock Criteria Upon Detail Design and Construction of Foundations and Structure,» σε Spring Meeting/STAR Symposium, Philadelphia, Pennsylvania, 1987.*
- [62] *S. I. Seo, K. H. Son και M. K. Park, «Optimum Structural Design of Naval Vessels,» Marine Technology, pp. 149-157, July 2003.*
- [63] *Det Norske Veritas, Structural Design of Ships, Recommended Practice DNV-RP-C102, Det Norske Veritas, 2002.*

- [64] O. Pedatzur, «Feasibility Study for a Littoral Corvette Ship,» σε *New England Section Student Paper Competition*, 2004.
- [65] *Technical Committee III.1, «Ultimate Strength,»* σε *13th International Ship and Offshore Structures Congress (ISSC), Trondheim*, 1997.
- [66] *Technical Committee III.1, «Ultimate Strength,»* σε *14th International Ship and Offshore Structures Congress, Nagasaki*, 2000.
- [67] *Registro Italiano Navale, RINA Naval Rules, Registro Italiano Navale*, 2003.
- [68] *Thales Group, I-Mast 400, Thales Group*.
- [69] *RAM-System GmbH, Rolling Airframe Missile, München: RAM-System GmbH*.
- [70] *OTO Melara - A Finnmechanica Company, Naval Systems - Small Calibres - HITROLE N, OTO Melara - A Finnmechanica Company*, 2013.
- [71] *OTO Melara - A Finnmechanica Company, Naval Systems - Small Calibres - MARLIN WS, OTO Melara - A Finnmechanica Company*, 2013.
- [72] *Rolls Royce, Propulsion engines - Liquid fuel - Bergen C25:33L, Τόμ. %1 από %2Diesel and gas engines, generator sets and propulsion systems, Rolls Royce*, 2012.
- [73] *MTU Friedrichshafen GmbH - Rolls-Royce Power Systems Companies, Gensets 720 – 3000 kWe with MTU Series 4000, MTU Friedrichshafen GmbH - Rolls-Royce Power Systems Companies*, 2014.
- [74] *Sikorsky, «S-70B™ Helicopter - Sikorsky,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.sikorsky.com/Pages/Products/Military/SeaHawk/S70B.aspx>.*
- [75] Π. Α. Καρύδης, *Η Μεταλλική Κατασκευή του Πλοίου - Θέματα Τοπικής Αντοχής*, Αθήνα: Γ. Αργυρόπουλος Ε.Π.Ε., 2000.
- [76] Π. Α. Καρύδης, *Υπολογιστικές Μέθοδοι και Εφαρμογές σε Λεπτότοιχες Κατασκευές*, Αθήνα, 2001.
- [77] Π. Α. Καρύδης, *Επιθεώρηση, Συντήρηση και Επισκευή της Μεταλλικής Κατασκευής του Πλοίου*, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2002.
- [78] Μ. Σ. Σαμουηλίδης, *Σημειώσεις για το Προπτυχιακό Μάθημα της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.: "Αντοχή Πλοίου"*, 2010.
- [79] B. F. Tibbitts, «*Naval Surface Ships,*» σε *Ship Design and Construction, Volume 2, Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 2004, pp. 55.1-55.48.
- [80] O. F. Hughes, *Ship Structural Design, A Rationally-Based, Computer-Aided Optimization Approach*, New Jersey: *The Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 1988.

5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

**5.1 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – Υπολογισμός κατασκευαστικών
στοιχείων βάσει των κανονισμών του Γερμανικού
Νηογνώμονα (GL)**

Ship Particulars (GL-III-1-1/Ch.1/Sec. 1÷3)

L=	100	m						
B=	14.200	m						
D=	7.900	m						
T=	4.100	m						
						Partial Safety Factor (global)		
v_{max} =	32.000	kn				LCA	LCB	LCC
v_0 =	29.200	kn		γ_{stat}	1.000	1.000	1.000	1.000
v_M =	16.000	kn		γ_{ftyn}	1.000	1.000	1.000	1.000
C_B =	0.472							
						Partial Safety Factor (local)		
Δ =	2826.8	t				LCA	LCB	LCC
v =	0.3			γ_{stat}	1.250	1.050	1.000	1.000
$\rho_{saltwater}$ =	1.025	t/m ³		γ_{ftyn}	1.250	1.050	1.000	1.000
$\rho_{freshwater}$ =	1.000	t/m ³		γ_m	1.100	1.100	1.000	1.000
$\rho_{bilgewater}$ =	1.005	t/m ³						
$\rho_{wastewater}$ =	1.050	t/m ³						
ρ_{diesel} =	0.830	t/m ³						
$\rho_{aircraftfuel}$ =	0.810	t/m ³						
$\rho_{lubricants}$ =	0.900	t/m ³						
$\rho_{firefoam}$ =	1.150	t/m ³						
g =	9.810	m/s ²						
E =	206000	N/mm ²		Q_0	= 10 ⁻⁸ probability level, reference value			
R_{eH} =	390	MPa		Q	= 10 ⁻⁸ in general			
R_m =	510	MPa		f_{pL}	= $\frac{R_m}{1.5 \cdot R_{eH}}$ for isotropic plate material			
					≤ 1.0 for isotropic plate material			
f_{pL} =	0.872							
n =	35	years		f_Q	= $\frac{\log\left(\frac{25}{n} \cdot Q\right)}{\log Q_0}$			
Q =	0.00000001				= 1.0 in general			
Q_0 =	0.00000001							
f_Q =	1.018			ψ	= combination factor for simultaneousness of statistically independent dynamic loads			
ψ =	1.000				= 1.0 in general or for major load of load combination			
Q	= 0.00000001	in general and for pillars						
	= 0.00000001	for stiffener						
	= 0.00000001	for girder		f_p	= shape factor			
f_p ≤	1.31	but not grater than:						
	= 1.31	for flat bars with plating			≤ $\frac{R_m}{R_{eH}}$			
	= 1.31	for bulb bars with plating						
	= 1.25	for rolled angle bars with plating						
	= 1.15	for T-profiles with plating						
	= 1.05	for corrugated bulkhead elements						
	= 1	for sandwich panels						
	= 1.31	for rods						
	= 1.27	for tubes						
	= 1.31	for plates						

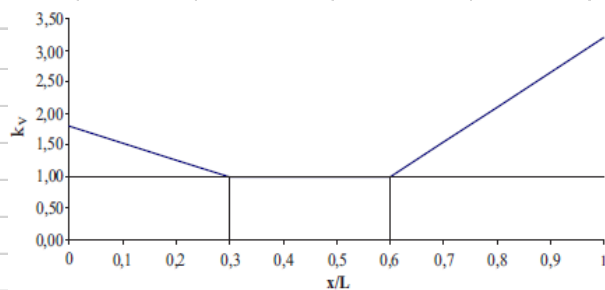
Design Loads (GL-III-1-1/Ch.1/Sec. 5)

Q = 0.0000001	for fixed elements such as pillars etc.
= 0.0000001	for lattice masts
= 0.000001	for bulkheads, masts
= 0.00001	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.

Probability factor

$f_Q = 1.018$	for fixed elements such as pillars etc.
= 0.893	for lattice masts
= 0.768	for bulkheads, masts
= 0.643	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.

x/L	k_v
0	1.800
0.2	1.267
0.3	1.000
0.5	1.000
0.7	1.550
1	3.200



Service Range Coefficient

$c_{RW} = 1$	for unlimited service range
= 0.9	for restricted service area RSA(200)
= 0.75	for restricted service area RSA(50)
= 0.6	for restricted service area RSA(SW)

c_0 = wave coefficient

= $\left(\frac{L}{25} + 4,1\right) \cdot c_{RW}$ for $L < 90$ m

= $\left[10,75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1,5}\right] \cdot c_{RW}$ for $90 \leq L \leq 300$ m

= $10,75 \cdot c_{RW}$ for $L > 300$ m

Velocity Coefficient

$c_v = 1.260$

c_v = velocity coefficient

$$= \sqrt[3]{\frac{v_0}{1,6 \cdot \sqrt{L}}} \geq 1$$

Wave Coefficient

$c_0 = 7.922$

Flare Factor

design frame	α [°]	c_α
8.5	32	0.643
9.0	29	0.596
9.5	19	0.473

c_α = flare factor

= $\frac{0,4}{1,2 - 1,09 \cdot \sin \alpha}$ in general

$\geq 1,0$ for bow doors and stem structures

= 0 for decks and walls

Design Values of Acceleration Components (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.5/B)

The acceleration components, that will be calculated underneath, are the maximum dimensionless accelerations (i.e., relative to the acceleration of gravity) in the respective x-, y-, z-directions and account for the following motion components:

$$a_0 = 0.613 \quad a_0 = \frac{c_0 \cdot c_B}{L^2} (0,6 \cdot v_0 + 2,3 \cdot \sqrt{L})^2$$

Vertical acceleration (perpendicular to the base line) due to heave and pitch motions: $a_z = a_0 k_v f_Q$

for $x/L = 0$

$a_z =$	1.124	for fixed elements such as pillars etc.
=	0.986	for lattice masts
=	0.848	for bulkheads, masts
=	0.710	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.

for $x/L = 0.2$

$a_z =$	0.791	for fixed elements such as pillars etc.
=	0.694	for lattice masts
=	0.597	for bulkheads, masts
=	0.500	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.

for $x/L = 0.3$

$a_z =$	0.625	for fixed elements such as pillars etc.
=	0.548	for lattice masts
=	0.471	for bulkheads, masts
=	0.395	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.

for $x/L = 0.5$

$a_z =$	0.625	for fixed elements such as pillars etc.
=	0.548	for lattice masts
=	0.471	for bulkheads, masts
=	0.395	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.

for $x/L = 0.7$

$a_z =$	0.968	for fixed elements such as pillars etc.
=	0.849	for lattice masts
=	0.730	for bulkheads, masts
=	0.612	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.

for $x/L = 1$

$a_z =$	1.999	for fixed elements such as pillars etc.
=	1.753	for lattice masts
=	1.508	for bulkheads, masts
=	1.263	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.

Transverse acceleration due to sway, yaw and roll motions, including the gravity component of roll as maximum value of a_{y1} and a_{y2} but is not to be taken less than $0.5 \cdot g$:

$$a_{y1} = 0,35 (1 + k_v \cdot a_0) f_Q \quad a_{y2} = c_0 \frac{z}{B^2} f_Q$$

<u>for $x/L = 0$</u>									
$a_{y1} =$	0.750	for fixed elements such as pillars etc.							
=	0.658	for lattice masts							
=	0.566	for bulkheads, masts							
=	0.474	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>for $x/L = 0.2$</u>									
$a_{y1} =$	0.633	for fixed elements such as pillars etc.							
=	0.556	for lattice masts							
=	0.478	for bulkheads, masts							
=	0.400	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>for $x/L = 0.3$</u>									
$a_{y1} =$	0.575	for fixed elements such as pillars etc.							
=	0.504	for lattice masts							
=	0.434	for bulkheads, masts							
=	0.363	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>for $x/L = 0.5$</u>									
$a_{y1} =$	0.575	for fixed elements such as pillars etc.							
=	0.504	for lattice masts							
=	0.434	for bulkheads, masts							
=	0.363	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>for $x/L = 0.7$</u>									
$a_{y1} =$	0.695	for fixed elements such as pillars etc.							
=	0.610	for lattice masts							
=	0.525	for bulkheads, masts							
=	0.439	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>for $x/L = 1$</u>									
$a_{y1} =$	1.056	for fixed elements such as pillars etc.							
=	0.926	for lattice masts							
=	0.797	for bulkheads, masts							
=	0.667	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>Base Line</u>		$z = 0$							
$a_{y2} =$	0	for fixed elements such as pillars etc.							
=	0	for lattice masts							
=	0	for bulkheads, masts							
=	0	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>Double Bottom</u>		$z = 1.5$							
$a_{y2} =$	0.005	for fixed elements such as pillars etc.							
=	0.004	for lattice masts							
=	0.004	for bulkheads, masts							
=	0.003	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							

<u>3rd Deck</u>	$z = 3.1$								
$a_{y2} =$	0.010	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.008	for lattice masts							
$=$	0.007	for bulkheads, masts							
$=$	0.006	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>2nd Deck</u>	$z = 5.5$								
$a_{y2} =$	0.017	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.015	for lattice masts							
$=$	0.013	for bulkheads, masts							
$=$	0.011	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>Main Deck</u>	$z = 7.9$								
$a_{y2} =$	0.024	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.021	for lattice masts							
$=$	0.018	for bulkheads, masts							
$=$	0.015	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>First Floor</u>	$z = 10.3$								
$a_{y2} =$	0.032	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.028	for lattice masts							
$=$	0.024	for bulkheads, masts							
$=$	0.020	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>2nd Floor</u>	$z = 12.7$								
$a_{y2} =$	0.039	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.035	for lattice masts							
$=$	0.030	for bulkheads, masts							
$=$	0.025	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>3rd Floor</u>	$z = 15.3$								
$a_{y2} =$	0.047	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.042	for lattice masts							
$=$	0.036	for bulkheads, masts							
$=$	0.030	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
Longitudinal acceleration due to surge and pitch motions, including the gravity component of pitch:									
									$a_x = 5,8 \cdot a_0 \cdot \frac{z}{L} \cdot f_Q$ but not less than $0,3 \cdot f_Q$
<u>Base Line</u>	$z = 0$								
$a_x =$	0.305	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.268	for lattice masts							
$=$	0.230	for bulkheads, masts							
$=$	0.193	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>Double Bottom</u>	$z = 1.5$								
$a_x =$	0.305	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.268	for lattice masts							
$=$	0.230	for bulkheads, masts							
$=$	0.193	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							

<u>3rd Deck</u>	$z = 3.1$								
$a_x =$	0.305	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.268	for lattice masts							
$=$	0.230	for bulkheads, masts							
$=$	0.193	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>2nd Deck</u>	$z = 5.5$								
$a_x =$	0.305	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.268	for lattice masts							
$=$	0.230	for bulkheads, masts							
$=$	0.193	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>Main Deck</u>	$z = 7.9$								
$a_x =$	0.305	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.268	for lattice masts							
$=$	0.230	for bulkheads, masts							
$=$	0.193	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>First Floor</u>	$z = 10.3$								
$a_x =$	0.373	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.327	for lattice masts							
$=$	0.282	for bulkheads, masts							
$=$	0.236	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>2nd Floor</u>	$z = 12.7$								
$a_x =$	0.460	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.404	for lattice masts							
$=$	0.347	for bulkheads, masts							
$=$	0.291	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							
<u>3rd Floor</u>	$z = 15.3$								
$a_x =$	0.554	for fixed elements such as pillars etc.							
$=$	0.486	for lattice masts							
$=$	0.418	for bulkheads, masts							
$=$	0.350	for military cargo, loose equipment, content of tanks, deck loads etc.							

Plate Thickness

The thickness of the plating is not to be less than: $t = t' + t_K$ [mm]

t' = required net thickness

t_K = corrosion addition

c_a = factor considering aspect ratio of plate panel = $\frac{\sqrt{3+\alpha^2} - \alpha}{\sqrt{3}}$

α = aspect ratio of single plate field = $\frac{a}{b} \leq 1,0$

$\beta = \frac{1}{\alpha}$

a = breadth of smaller side of plate panel [m]

b = breadth of larger side of plate panel [m]

$c_r = 1$ for flat plates

= $1 - \frac{a}{2 \cdot r}$ for curved plates

r = radius of curvature [m]

$r_{\min} \geq 2 \cdot a$

σ_L = hull girder bending stress

τ_L = shear stress due to hull girder bending

Corrosion addition to the theoretical plate thickness (t_K):

$t_K =$	0.5	mm in general
=	0.7	mm for lubrication oil, gas oil or equivalent tanks
=	1.0	mm for water ballast, sewage tanks, sea chests
=	2.0	mm for chain locker

Minimum Thickness of Plating:

Elements of the hull structure	t_{\min} [mm]
Flat plate keel	7.089
Side plating z [m] ≤ 8.061	5.064
Side plating z [m] > 8.061	3.545
Chain locker	5
All strength relevant structural plating	3

Thickness for lateral pressures

The net thickness of the plating is not to be less than:

$$t' = 15,81 \cdot a \sqrt{\frac{p \cdot \gamma_m}{f_{pL} \cdot \sigma_{perm}}} \cdot c_a \cdot c_T \quad [\text{mm}]$$

p = respective total lateral design pressure [kN/m²]

$$\sigma_{perm} = \text{permissible stress [N/mm}^2] = 1,125 \cdot R_{eH} \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \left(\frac{\tau_L}{R_{eH}} \right)^2} - 0,786 \left(\frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right)^2 - 0,062 \frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right]$$

For longitudinally stiffened plates (larger side of plate parallel to ships longitudinal direction, parallel to direction of σ_L).

As a first approximation σ_L and τ_L may be taken as follows for:

– bottom plating:

$$\sigma_L = 0,34 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL}$$

$$\tau_L = 0$$

– side shell plating:

$$\sigma_L = 0,25 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL}$$

$$\tau_L = 0,15 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL}$$

– deck plating:

$$\sigma_L = 0,46 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL}$$

$$\tau_L = 0$$

Design Pressure

The external total design load p_S at the load centre is defined as follows:

$$p_S = \gamma_{stat} p_{Sstat} + \gamma_{dyn} p_{Sdyn} \quad [\text{kN/m}^2]$$

p_{Sstat} = static pressure [kN/m²]

$$= 10 (1,4 \cdot T - z) \quad \text{for } z < T$$

$$= 0 \quad \text{for } z \geq T$$

p_{Sdyn} = dynamic pressure [kN/m²]

$$= p_0 \cdot c_F \cdot \left[1 + \left(\frac{z}{T} \right)^{0,75} \right] \quad \text{for } z < T$$

$$p_{Sdyn} = p_0 \cdot c_F \cdot \left[0,25 + \frac{1,75}{1 + \frac{z-T}{c_0}} \right] \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$$

$$\geq p_{Smin} \quad \text{for } z \geq T$$

$$p_{Smin} = 4 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{for weather decks in general and unprotected front wall}$$

$$= 2,5 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{for observation decks}$$

$$= 3 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{for walls, except unprotected front walls}$$

$f_Q =$	1.018	in general and for pillars
	= 0.893	for stiffener
	= 0.768	for girder

p_0 = basic external dynamic load

$$= 5,0 \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_v \cdot f_Q \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

p_0 = 34.896 kN/m² in general and for pillars

= 30.612 kN/m² for stiffener

= 26.328 kN/m² for girder

Region	Factor c_f	Factor c_z	Factor n_4
$0 \leq \frac{x}{L} < 0,25$	$1,0 + \frac{6 + c_\alpha^2}{1 + 3 C_B} \cdot \left(0,25 - \frac{x}{L}\right) - c_z \geq 1,0$	$\frac{z - T}{c_0} - 0,5 \geq 0$	$0,75 + \frac{x}{L}$
$0,25 \leq \frac{x}{L} < 0,7$	1,0	-	1,0
$0,7 \leq \frac{x}{L} \leq 0,9$	$1,0 + \frac{20 + (c_\alpha + c_v)^2}{C_B} \cdot \left(\frac{x}{L} - 0,7\right)^2 - c_z \geq 1,0$	$\frac{z - T}{c_0} - 1,0 \geq 0$	$3,94 - 4,2 \cdot \frac{x}{L}$
$0,9 < \frac{x}{L} \leq 1,0$	$1,0 + \frac{1}{25 C_B} \cdot [20 + (c_\alpha + c_v)^2] - c_z \geq 1,0$		

Surface element	Factor n_1	Factor n_2	Factor n_3
Shell	1,0	1,0	1,0
Weather decks	0,25	1,0	1,0
Unprotected front walls	$0,25 \leq 1,0 - \frac{n_4 (z - T - 0,02 L - 0,5)}{c_0} \leq 1,0$	$0,3 + 0,7 \frac{b'}{B'}$	$2 + \frac{T - z + h_N}{0,02 \cdot L + 1} \geq 1,0$
Protected front walls and side walls			1,0
Aft end walls			$1,0 - \left(\frac{x}{L}\right)^2 \geq 0,6$

n_4 see Table 5.2

$$h_N = 0,8 + 0,01 L \leq 2,3$$

b' = breadth of superstructure or deckhouse at position considered

B' = actual maximum breadth of ship on the exposed weather deck at position considered

Surface Element	Factor n_1	Factor n_2	Factor n_3
Shell	1,0	1,0	1,0
Weather Decks	0,25	1,0	1,0

Bottom Structure (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/C)*Bottom structure amidships* $x/L = 0.5$ Bottom plating design pressureAs bottom we consider the part of the hull that is above keel and up to the bilgr keel ($0 \leq z \leq 1.5$ m).

$z =$	1.5	m
$p_{Sstat} =$	42.4	kN/m ²
$c_f =$	1.0	
$p_{Sdyn} =$	51.311	kN/m ²
$p_s =$	117.139	kN/m ²

Minimum thicknessFlat plate keel

$t_{min} =$	7.089	mm
-------------	-------	----

Thickness for lateral pressure

$a =$	0.7	m
$b =$	2	m
$\alpha =$	0.35	
$\beta =$	2.857	
$c_a =$	0.818	
$r =$	10.988	m
$c_r =$	1.000	flat plates
$c_r =$	0.968	curved plates
$p =$	117.139	kN/m ²
$\sigma_L =$	115.600	MPa
$\tau_L =$	0	MPa
$\sigma_{perm} =$	415.266	MPa
$t' =$	5.402	mm (flat plates)
$t' =$	5.230	mm (curved plates)

Bottom structure aft part $x/L = 0$ Bottom plating design pressureAs bottom we consider the part of the hull that is above keel and up to the bilgr keel ($0 \leq z \leq 1.5$ m).

$z =$	0	m
$p_{Sstat} =$	57.4	kN/m ²
$c_f =$	1.6	
$p_{Sdyn} =$	83.184	kN/m ²
$p_s =$	175.730	kN/m ²

Minimum thicknessFlat plate keel

$t_{min} =$	7.089	mm
-------------	-------	----

<u>Thickness for lateral pressure</u>								
a=	0.7	m						
b=	2	m						
α =	0.35							
β =	2.857							
c_a =	0.818							
r=	10.988	m						
c_r =	1.000	flat plates						
c_r =	0.968	curved plates						
p =	175.730	kN/m ²						
σ_L =	115.600	MPa						
τ_L =	0	MPa						
σ_{perm} =	415.266	MPa						
t' =	6.616	mm (flat plates)						
t' =	6.405	mm (curved plates)						
<u>Bottom structure fore</u>			x/L =	0.95				
<u>Bottom plating design pressure</u>								
As bottom we consider the part of the hull that is above keel and up to the bilge keel ($0 \leq z \leq 1.5$ m).								
z =	0	m	The design impact pressure on the ship's shell forward of x/L = 0.6 is to be determined according to the following formula:					
p_{Sstat} =	57.4	kN/m ²						
c_r =	3.0		p_{SL} =	166.997581	kN/m ²			
p_{Sdyn} =	151.427	kN/m ²	C_A =	2				
p_S =	280.497	kN/m ²	c_{SL} =	1				
<u>Minimum thickness</u>			For the design of the shell structure, p_{SL} shall not be less than p_S according to 1. The partial safety factor for the local dynamic pressure γ_{dyn} may be taken as 1.0					
<u>Flat plate keel</u>								
t_{min} =	7.089	mm						
<u>Thickness for lateral pressure</u>								
a=	0.7	m						
b=	2	m						
α =	0.35							
β =	2.857							
c_a =	0.818							
r=	10.988	m						
c_r =	1.000	flat plates						
c_r =	0.968	curved plates						
p =	280.497	kN/m ²						
σ_L =	115.600	MPa						
τ_L =	0	MPa						
σ_{perm} =	415.266	MPa						
t' =	8.359	mm (flat plates)						
t' =	8.093	mm (curved plates)						
t' =	8.359	mm						
t =	9.359	mm						
t_B =	10.000	mm	→	t_B =	10.000	mm		

The thickness of the flat plate keel is not to be less than: $t_{FK} = t_B + 1,5$ [mm]

$$t_{FK} = 11.500 \text{ mm} \rightarrow \boxed{t_{FK} = 12.000 \text{ mm}}$$

Bottom Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$$\sigma_{perm} = 287.116 \quad [\text{N/mm}^2] \text{ (permissible stress = } R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L)$$

$$\tau = 0 \quad [\text{N/mm}^2] \text{ (0, if the shear stress is less than } 0.12 \cdot R_{eH})$$

$$k_{sp} = 1.000 \quad \text{factor for profile type Table 4.6}$$

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$$z = 0 \quad \text{m}$$

$$p_{Sstat} = 57.4 \quad \text{kN/m}^2$$

$$c_f = 3.0$$

$$p_{Sdyn} = 132.838 \quad \text{kN/m}^2$$

$$p_s = 280.497 \quad \text{kN/m}^2$$

$$l = 2.000 \quad \text{m} \quad \text{Table 4.7}$$

$$m = 0.226$$

$$n = 1 \quad \text{worst case}$$

$$e = 0.700 \quad \text{m}$$

$$l/e = 2.857$$

$$e_{m1}/e = 0.794 \quad \text{Table 4.7}$$

$$e_{m1} = 0.556 \quad \text{m}$$

$$F_s = 151.936 \quad \text{kN}$$

$$M_b = 60.427 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$A_s \geq 8.514 \quad \text{cm}^2$$

$$W_{el} \geq 265.552 \quad \text{cm}^3 \rightarrow \boxed{\text{T150x12+120x12}} \rightarrow 291.518 \text{ cm}^3$$

$$\varepsilon_{ST} = 0.776$$

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 12.5$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 10.0$$

Watertight Partition (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/D)

The total design load for watertight bulkheads is: $p_{WT} = \gamma_{fstat} \cdot p_{WTstat} + \gamma_{fdyn} \cdot p_{WTdyn}$ [kN/m²]

$$p_{WTstat} = \rho \cdot g \cdot (T_{dam} - z) \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$p_{WTdyn} = \rho \cdot g \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

T_{dam} = draught [m] for the extreme damage waterline above base line.

For ships without proven damage stability, the height of the bulkhead deck above baseline has to be used.

For the collision bulkhead, the distance of the upper edge of the collision bulkhead at the ship's side to the base line has to be used.

z = distance from the load centre of the structure to the base line [m]

$p_{WTstat} =$	38.713	kN/m ²			
$p_{WTdyn} =$	10.055	kN/m ²			
$z =$	4.05	m			
$p_{WT} =$	60.960	kN/m ²			
$a =$	0.6	m			
$b =$	2.6	m			
$\alpha =$	0.231				
$c_\alpha =$	0.876				
$\sigma_L =$	85.000	MPa			
$\tau_L =$	51	MPa			
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa			
$t' =$	4.182	mm			
$t =$	5.182	mm	→	$t_{WT} = 6.000$	mm

The thickness of the floors, center girder and side girders will be equal to the thickness of the watertight partition. At every 500 mm from the frame No. 8 to the frame No. 68 will be fitted docking brackets with thickness equal to the thickness of the floors.

Watertight Partition Vertical Stiffeners (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	314.350	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F _S and M _b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:						
l =	4.000	m	Table 4.7			
m =	0.099					
n =	1	worst case				
e =	0.600	m	Table 4.7			
l/e =	6.667					
e _{m1} /e =	0.993					
e _{m1} =	0.596	m				
F _S =	65.878	kN				
M _b =	48.045	kN·m				
A _S ≥	3.692	cm ²				
W _{el} ≥	192.846	cm ³	→	T120x8+120x12	→	197.209 cm ³
flat bars:						
h _w /t _w ≤	10.887					
angle, tee & bulb sections:						
web:						
h _w /t _w ≤	33.471			15.0		
flange:						
b _f /t _f ≤	10.887			10.0		

Inner Bottom (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/E)

The total design load for decks consists of static and dynamic components.

$$p_L = \gamma_{fstat} \cdot p_{Lstat} + \gamma_{fdyn} \cdot p_{Ldyn} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

p_{Lstat} = static service load in kN/m²

≥ 3,5 kN/m² in general

. = 8,0 kN/m² for platforms of machinery decks

. = 6,0 kN/m² for platforms of mooring decks

p_{Ldyn} = dynamic load component in kN/m²

$$. = p_{Lstat} \cdot a_z$$

p_{Lstat} = 8.000 kN/m² worst case

a_z = 0.710 worst case

p_{Ldyn} = 5.682 kN/m²

p_L = 17.102 kN/m²

σ_L = 156.400 MPa

τ_L = 0 MPa

σ_{perm} = 399.174 MPa

a = 0.7 m

b = 2 m

α = 0.35

β = 2.857

c_a = 0.818

c_r = 1.000

t_{min} = 3 mm (Table 4.3)

t' = 6.366 mm

t = 6.866 mm

→ **t = 7.000 mm**

Inner Bottom Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	250.804	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$l =$	2.000	m	Table 4.7
$m =$	0.226		
$n =$	1	worst case	Table 4.7
$e =$	0.700	m	
$l/e =$	2.857		
$e_{m1}/e =$	0.794		
$e_{m1} =$	0.556	m	

$F_s =$	9.264	kN
$M_b =$	3.684	kN·m

$A_s \geq$	0.519	cm ²	
$W_{el} \geq$	18.535	cm ³	→ T50x7+50x7 → 24.39 cm ³

$\epsilon_{ST} =$	0.776
-------------------	-------

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 7.1$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 7.1$$

Tank Structures (GL-III-1-1/Ch.1/Sec. 5/F)

Design Loads

The total design pressure p_{T1} consists of static and dynamic components.

$$p_{T1} = \gamma_{stat} \cdot p_{T1stat} + \gamma_{dyn} \cdot p_{T1dyn} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$p_{T1stat} = \rho \cdot g \cdot h_1 + 100 \cdot \Delta p \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

h_1 = distance [m] of load centre from tank top

ρ = density of tank liquid [t/m³]

$$\geq 1,025 \text{ t/m}^3$$

Δp = additional pressure component [bar], created by overflow systems, replenishment at sea, etc.

$$p_{T1dyn} = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot a_z \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

The maximum static design pressure at load centre may be taken as:

$$p_{T2} = \gamma_{stat} \cdot \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2) \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

h_1 = distance [m] of load centre to tank top

h_2 = distance [m] from tank top to top of overflow

$h_1 =$	0.85	m	
$h_2 =$	6.8	m	(0.4 m over the main deck)
$\Delta p =$	0	bar	
$p_{T1stat} =$	8.547	kN/m ²	
$p_{T1dyn} =$	10.791	kN/m ²	
$p_{T1} =$	24.173	kN/m ²	
$p_{T2} =$	96.153	kN/m ²	

Tank Top Plating

$\sigma_L =$	156.400	MPa	
$\tau_L =$	0	MPa	
$\sigma_{perm} =$	399.174	MPa	
$a =$	0.6	m	
$b =$	2	m	
$\alpha =$	0.3		
$\beta =$	3.333		
$c_a =$	0.842		
$c_r =$	1.000		
$t_{min} =$	3	mm (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.10/C.1.1.)	
$t' =$	4.402	mm	
$t =$	5.402	mm	→ t = 6.000 mm

Tank Structures (GL-III-1-1/Ch.1/Sec. 5/F)

Design Loads

The total design pressure p_{T1} consists of static and dynamic components.

$$p_{T1} = \gamma_{\text{stat}} \cdot p_{T1\text{stat}} + \gamma_{\text{dyn}} \cdot p_{T1\text{dyn}} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$p_{T1\text{stat}} = \rho \cdot g \cdot h_1 + 100 \cdot \Delta p \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

h_1 = distance [m] of load centre from tank top

ρ = density of tank liquid [t/m³]

$\geq 1,025 \text{ t/m}^3$

Δp = additional pressure component [bar], created by overflow systems, replenishment at sea, etc.

$$p_{T1\text{dyn}} = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot a_z \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

The maximum static design pressure at load centre may be taken as:

$$p_{T2} = \gamma_{\text{stat}} \cdot \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2) \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

h_1 = distance [m] of load centre to tank top

h_2 = distance [m] from tank top to top of overflow

$h_1 =$	0.85	m	
$h_2 =$	6.8	m	(0.4 m over the main deck)
$\Delta p =$	0	bar	
$p_{T1\text{stat}} =$	8.547	kN/m ²	
$p_{T1\text{dyn}} =$	10.791	kN/m ²	
$p_{T1} =$	24.173	kN/m ²	
$p_{T2} =$	96.153	kN/m ²	

Tank Top Plating

$\sigma_L =$	156.400	MPa	
$\tau_L =$	0	MPa	
$\sigma_{\text{perm}} =$	399.174	MPa	
$a =$	0.6	m	
$b =$	2	m	
$\alpha =$	0.3		
$\beta =$	3.333		
$c_a =$	0.842		
$c_r =$	1.000		
$t_{\text{min}} =$	3	mm	(GL-III-1-1/Ch.1/Sec.10/C.1.1.)
$t' =$	4.402	mm	
$t =$	5.402	mm	→ t = 6.000 mm

Tank Side Plating

$\sigma_L =$	85.000	MPa	
$\tau_L =$	51	MPa	
$\sigma_{\text{perm}} =$	412.925	MPa	
$a =$	0.6	m	
$b =$	2	m	
$\alpha =$	0.3		
$\beta =$	3.333		
$c_a =$	0.842		
$c_r =$	1.000		
$t_{\text{min}} =$	3	mm	(GL-III-1-1/Ch.1/Sec.10/C.1.1.)
$t' =$	4.328	mm	
$t =$	5.328	mm	→ t = 6.000 mm

Tank Plating Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	250.804	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$l =$	2.000	m	Table 4.7
$m =$	0.196		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.600	m	
$l/e =$	3.333		Table 4.7
$e_{m1}/e =$	0.850		
$e_{m1} =$	0.510	m	

$F_s =$	46.413	kN
$M_b =$	18.128	kN·m

$$A_s \geq 2.601 \quad \text{cm}^2$$

$$W_{el} \geq 91.201 \quad \text{cm}^3 \quad \rightarrow \quad \boxed{\text{T90x8+90x10}} \quad \rightarrow \quad 98.804 \quad \text{cm}^3$$

$$\varepsilon_{ST} = 0.776$$

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 11.3$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 9.0$$

Tank Plating Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l						
j	=	number of constraint (fixed) end conditions						
	=	2	for both ends fixed					
	=	1	for one end simply supported and one end fixed					
	=	0	for both ends simply supported					
k_{sp}	=	1.000	factor for profile type Table 4.6					
F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:								
s	=	2.000	m					
l	=	2.000	m	Table 4.7				
n_a	=	2						
m	=	0.333						
n	=	1	worst case					
e	=	2.000	m					
l/e	=	1.000						
e_{m1}/e	=	0.360		Table 4.7				
e_{m1}	=	0.720	m					
F_s	=	128.204	kN					
M_b	=	40.954	kN·m					
$A_s \geq$		6.531	cm ²					
$W_{el} \geq$		132.499	cm ³	→	T100x10+100x12	→	146.821	cm ³
ε_{ST}	=	0.776						
flat bars:								
$h_w/t_w \leq$		10.887						
angle, tee & bulb sections:								
web:								
$h_w/t_w \leq$		33.471			10.0			
flange:								
$b_f/t_f \leq$		10.887			8.3			

Side Shell Structure ($1.5 \leq z \leq 4.1$) (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/C)									
<i>Side Shell structure amidships</i>			x/L	0.5					
<i>Side Shell plating design pressure</i>									
$z =$	1.5	m							
$p_{Sstat} =$	42.4	kN/m ²							
$c_f =$	1.0								
$p_{Sdyn} =$	51.311	kN/m ²							
$p_S =$	117.139	kN/m ²							
<u>Minimum thickness</u>									
<u>Side Shell Plate</u>									
$t_{min} =$	5.064	mm							
<u>Thickness for laterial pressure</u>									
$a =$	0.7	m							
$b =$	1.5	m							
$\alpha =$	0.467								
$\beta =$	2.143								
$c_\alpha =$	0								
$c_a =$	0.766								
$c_r =$	1.000	flat plates							
$p =$	117.139	kN/m ²							
$\sigma_L =$	85.000	MPa							
$\tau_L =$	51	MPa							
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa							
$t' =$	5.073	mm (flat plates)							
<i>Side Shell structure aft part</i>			$x/L =$	0					
<i>Side Shell plating design pressure</i>									
$z =$	1.5	m							
$p_{Sstat} =$	42.4	kN/m ²							
$c_f =$	2.5								
$p_{Sdyn} =$	128.278	kN/m ²							
$p_S =$	213.348	kN/m ²							
<u>Thickness for laterial pressure</u>									
$a =$	0.7	m							
$b =$	1.5	m							
$\alpha =$	0.467								
$\beta =$	2.143								
$c_a =$	0.766								
$c_r =$	1.000	flat plates							
$p =$	213.348	kN/m ²							
$\sigma_L =$	85.000	MPa							
$\tau_L =$	51	MPa							
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa							
$t' =$	6.847	mm (flat plates)							

<u>Side Shell structure fore part</u>		$x/L = 0.95$							
<u>Side Shell plating design pressure</u>									
As bottom we consider the part of the hull that is above keel and up to the bilge keel ($0 \leq z \leq 1.5$ m).									
$z =$	4.1	m	The design impact pressure on the ship's shell forward of $x/L = 0.6$ is to be determined according to the following formula:						
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²							
$c_f =$	3.0		$p_{SL} =$	132.700	kN/m ²				
$p_{Sdyn} =$	205.965	kN/m ²	$C_A =$	2					
$p_S =$	257.457	kN/m ²	$c_{SL} =$	1					
For the design of the shell structure, p_{SL} shall not be less than p_s according to 1. The partial safety factor for the local dynamic pressure γ_{dyn} may be taken as 1.0									
<u>Thickness for lateral pressure</u>									
$a =$	0.7	m							
$b =$	1.5	m							
$\alpha =$	0.467								
$\beta =$	2.143								
$c_a =$	0.766								
$c_r =$	1.000	flat plates							
$p =$	257.457	kN/m ²							
$\sigma_L =$	85.000	MPa							
$\tau_L =$	51	MPa							
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa							
$t' =$	7.521	mm (flat plates)							
Special Strengthening of Side Shell against harbour and tug manoeuvres and berthing impacts (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 7/F).									
For tug manoeuvres these zones are mainly the plates in way of the ship's fore and aft shoulder. The exact locations are to be identified in the shell expansion plan. The length of the strengthened areas shall not be less than approximately 5 m. The height of the strengthened areas shall extend from about 0,5 m to 2,0 m above design waterline.									
For ships with $L \geq 100$ m at least one strengthened area is to be provided amidships in addition to the two strengthened areas at the ship's shoulders.									
The net thickness of deck plating for single point or wheel loads is to be determined by the following formula:									
$t' = c \cdot \sqrt{\frac{P_E \cdot \gamma_m}{f_{pL} \cdot R_{eH}}}$									
P_E = total wheel or single point load in [kN]									
c = load distribution factor as defined below									
For forces induced by a tug or fender into the shell plating following load distribution factor c may be taken:									
$c =$	10	in general							
$P_E =$	170	kN							
$t' =$	7.416	mm							
$t' =$	7.521	mm							
$t =$	8.521	mm							
$t_s =$	9.000	mm	→	$t_s = 9.000$	mm				

Side Shell Plating Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	314.350	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$z =$	4.1	m	
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²	
$c_f =$	3.0		
$p_{Sdyn} =$	180.681	kN/m ²	
$p_s =$	225.852	kN/m ²	
$l =$	1.500	m	Table 4.7
$m =$	0.294		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.700	m	
$l/e =$	2.143		
$e_{m1}/e =$	0.666		Table 4.7
$e_{m1} =$	0.466	m	
$F_s =$	83.692	kN	
$M_b =$	25.795	kN·m	

$A_s \geq$	4.690	cm ²	
$W_{el} \geq$	103.539	cm ³	→ T100x8+80x10 → 105.591 cm ³
$\varepsilon_{ST} =$	0.776		

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 12.5$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 8.0$$

Side Shell Plating Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l						
j	=	number of constraint (fixed) end conditions						
	=	2	for both ends fixed					
	=	1	for one end simply supported and one end fixed					
	=	0	for both ends simply supported					
k_{sp}	=	1.000	factor for profile type Table 4.6					
F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:								
z	=	4.1	m					
p_{Sstat}	=	0	kN/m ²					
c_f	=	3.0						
p_{Sdyn}	=	155.398	kN/m ²					
p_s	=	194.247	kN/m ²					
s	=	1.500	m					
l	=	2.450	m	Table 4.7				
n_a	=	3						
m	=	0.250						
n	=	1	worst case					
e	=	1.500	m					
l/e	=	1.633		Table 4.7				
e_{m1}/e	=	0.537						
e_{m1}	=	0.806	m					
F_s	=	267.697	kN					
M_b	=	100.200	kN·m					
$A_s \geq$		13.637	cm ²					
$W_{el} \geq$		324.178	cm ³	→	T200x10+100x12	→	356.035	cm ³
ϵ_{ST}	=	0.776						
flat bars:								
$h_w/t_w \leq$		10.887						
angle, tee & bulb sections:								
web:								
$h_w/t_w \leq$		33.471			20.0			
flange:								
$b_f/t_f \leq$		10.887			8.3			

Side Shell Structure ($4.1 \leq z \leq 7.9$) (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/C)									
<i>Side Shell structure amidships</i>			x/L	0.5					
<i>Side Shell plating design pressure</i>									
$z =$	4.1	m							
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²							
$c_f =$	1.0								
$p_{Sdyn} =$	69.792	kN/m ²							
$p_S =$	87.239	kN/m ²							
<u>Minimum thickness</u>									
<u>Side Shell Plate</u>									
$t_{min} =$	5.064	mm							
<u>Thickness for laterial pressure</u>									
$a =$	0.7	m							
$b =$	1.5	m							
$\alpha =$	0.467								
$\beta =$	2.143								
$c_\alpha =$	0								
$c_a =$	0.766								
$c_r =$	1.000	flat plates							
$p =$	87.239	kN/m ²							
$\sigma_L =$	85.000	MPa							
$\tau_L =$	51	MPa							
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa							
$t' =$	4.378	mm (flat plates)							
<i>Side Shell structure aft part</i>			$x/L =$	0					
<i>Side Shell plating design pressure</i>									
$z =$	4.1	m							
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²							
$c_f =$	2.5								
$p_{Sdyn} =$	174.479	kN/m ²							
$p_S =$	218.099	kN/m ²							
<u>Thickness for laterial pressure</u>									
$a =$	0.7	m							
$b =$	1.5	m							
$\alpha =$	0.467								
$\beta =$	2.143								
$c_a =$	0.766								
$c_r =$	1.000	flat plates							
$p =$	218.099	kN/m ²							
$\sigma_L =$	85.000	MPa							
$\tau_L =$	51	MPa							
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa							
$t' =$	6.923	mm (flat plates)							

<u>Side Shell structure fore part</u>		$x/L = 0.95$							
<u>Side Shell plating design pressure</u>									
$z =$	4.1	m	The design iMPact pressure on the ship's shell forward of $x/L = 0.6$ is to be determined according to the following formula:						
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²							
$c_f =$	3.0		$p_{SL} =$	132.700	kN/m ²				
$p_{Sdyn} =$	205.965	kN/m ²	$C_A =$	2					
$p_S =$	257.457	kN/m ²	$c_{SL} =$	1					
			For the design of the shell structure, p_{SL} shall not be less than p_s according to 1. The partial safety factor for the local dynamic pressure γ_{flyn} may be taken as 1.0						
<u>Thickness for laterial pressure</u>									
$a =$	0.7	m							
$b =$	1.5	m							
$\alpha =$	0.467								
$\beta =$	2.143								
$c_a =$	0.766								
$c_r =$	1.000	flat plates							
$p =$	257.457	kN/m ²							
$\sigma_L =$	85.000	MPa							
$\tau_L =$	51	MPa							
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa							
$t' =$	7.521	mm (flat plates)							
Special Strengthening of Side Shell against harbour and tug manoeuvres and berthing iMPacts (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 7/F).									
For tug manoeuvres these zones are mainly the plates in way of the ship's fore and aft shoulder. The exact locations are to be identified in the shell expansion plan. The length of the strengthened areas shall not be less than approximately 5 m. The height of the strengthened areas shall extend from about 0,5 m to 2,0 m above design waterline.									
For ships with $L \geq 100$ m at least one strengthened area is to be provided amidships in addition to the two strengthened areas at the ship's shoulders.									
The net thickness of deck plating for single point or wheel loads is to be determined by the following formula:									
$t' = c \cdot \sqrt{\frac{P_E \cdot \gamma_m}{f_{pL} \cdot R_{eH}}}$									
P_E = total wheel or single point load in [kN]									
c = load distribution factor as defined below									
For forces induced by a tug or fender into the shell plating following load distribution factor c may be taken:									
$c =$	10	in general							
$P_E =$	170	kN							
$t' =$	7.416	mm							
$t' =$	7.521	mm							
$t =$	8.021	mm							
$t_s =$	8.000	mm	→	$t_s = 8.000$	mm				

Side Shell Plating Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	314.350	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$z =$	4.1	m	
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²	
$c_f =$	3.0		
$p_{Sdyn} =$	180.681	kN/m ²	
$p_s =$	225.852	kN/m ²	
$l =$	1.500	m	Table 4.7
$m =$	0.294		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.700	m	
$l/e =$	2.143		
$e_{m1}/e =$	0.666		Table 4.7
$e_{m1} =$	0.466	m	
$F_s =$	88.744	kN	
$M_b =$	25.795	kN·m	

$A_s \geq$	4.973	cm ²	
$W_{el} \geq$	103.539	cm ³	→ T100x10+80x10 → 109.364 cm ³
$\epsilon_{ST} =$	0.776		

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 10.0$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 8.0$$

Side Shell Plating Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a = number of supported secondary stiffeners within the length l

j = number of constraint (fixed) end conditions

=	2	for both ends fixed
=	1	for one end simply supported and one end fixed
=	0	for both ends simply supported
k_{sp} =	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_S and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

z =	4.1	m
p_{Sstat} =	0	kN/m ²
c_f =	3.0	
p_{Sdyn} =	155.398	kN/m ²
p_S =	194.247	kN/m ²

s =	1.500	m	
l =	2.410	m	Table 4.7
n_a =	3		
m =	0.250		
n =	1	worst case	
e =	1.500	m	
l/e =	1.607		Table 4.7
e_{m1}/e =	0.530		
e_{m1} =	0.795	m	

F_S =	263.326	kN
M_b =	96.955	kN·m

$A_s \geq$	13.415	cm ²					
$W_{el} \geq$	313.679	cm ³	→	T220x8+100x10	→	332.894	cm ³

ϵ_{ST} =	0.776
-------------------	-------

flat bars:

$h_w/t_w \leq$	10.887
----------------	--------

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq$	33.471	27.5
----------------	--------	------

flange:

$b_f/t_f \leq$	10.887	10.0
----------------	--------	------

Side Shell Structure (7.9 ≤ z ≤ 10.5) (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/C)				
<u>Side Shell structure amidships</u>		x/L	0.5	
<u>Side Shell plating design pressure</u>				
z =	7.9	m		
p _{Sstat} =	0	kN/m ²		
c _f =	1.0			
p _{Sdyn} =	49.994	kN/m ²		
p _S =	62.493	kN/m ²		
<u>Minimum thickness</u>				
<u>Side Shell Plate</u>				
t _{min} =	5.064	mm		
<u>Thickness for lateral pressure</u>				
a =	0.7	m		
b =	1.5	m		
α =	0.467			
β =	2.143			
c _α =	0			
c _a =	0.766			
c _r =	1.000	flat plates		
p =	62.493	kN/m ²		
σ _L =	85.000	MPa		
τ _L =	51	MPa		
σ _{perm} =	412.925	MPa		
t' =	3.706	mm (flat plates)		
<u>Side Shell structure fore part</u>		x/L =	0.95	
<u>Side Shell plating design pressure</u>				
z =	7.9	m	The design impact pressure on the ship's shell forward of x/L = 0.6 is to be determined according to the following formula:	
p _{Sstat} =	0	kN/m ²		
c _f =	3.0			p _{SL} = 132.700 kN/m ²
p _{Sdyn} =	147.540	kN/m ²		C _A = 2
p _S =	184.425	kN/m ²		c _{SL} = 1
For the design of the shell structure, p _{SL} shall not be less than p _s according to 1. The partial safety factor for the local dynamic pressure γ _{dyn} may be taken as 1.0				
<u>Thickness for lateral pressure</u>				
a =	0.7	m		
b =	1.5	m		
α =	0.467			
β =	2.143			
c _α =	0.766			
c _r =	1.000	flat plates		
p =	184.425	kN/m ²		
σ _L =	85.000	MPa		
τ _L =	51	MPa		
σ _{perm} =	412.925	MPa		
t' =	6.366	mm (flat plates)		
t =	6.866	mm		
t _S =	7.000	mm	→ t_S = 7.000 mm	

Side Shell Plating Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	314.350	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$z =$	7.9	m	
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²	
$c_f =$	3.0		
$p_{Sdyn} =$	129.428	kN/m ²	
$p_s =$	161.786	kN/m ²	
$l =$	1.500	m	Table 4.7
$m =$	0.294		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.700	m	
$l/e =$	2.143		
$e_{m1}/e =$	0.666		Table 4.7
$e_{m1} =$	0.466	m	
$F_s =$	59.951	kN	
$M_b =$	18.478	kN·m	

$A_s \geq$	3.359	cm ²	
$W_{el} \geq$	74.169	cm ³	→ T100x7+70x8 → 77.482 cm ³
$\epsilon_{ST} =$	0.776		

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 14.3$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 8.8$$

Side Shell Plating Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a = number of supported secondary stiffeners within the length l

j = number of constraint (fixed) end conditions

- = 2 for both ends fixed
- = 1 for one end simply supported and one end fixed
- = 0 for both ends simply supported

k_{sp} = 1.000 factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

- z = 7.9 m
- p_{Sstat} = 0 kN/m²
- c_f = 3.0
- p_{Sdyn} = 111.317 kN/m²
- p_s = 139.146 kN/m²

- s = 1.500 m
- l = 2.410 m **Table 4.7**

- n_a = 3
- m = 0.250
- n = 1 worst case

- e = 1.500 m
- l/e = 1.607 **Table 4.7**
- e_{m1}/e = 0.530
- e_{m1} = 0.795 m

- F_s = 188.630 kN
- M_b = 69.452 kN·m

- $A_s \geq 9.609$ cm²
- $W_{el} \geq 224.699$ cm³ → **T150x10+100x12** → 242.457 cm³

ϵ_{ST} = 0.776

flat bars:

$h_w/t_w \leq 10.887$

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq 33.471$ 15.0

flange:

$b_f/t_f \leq 10.887$ 8.3

Side Shell Structure ($10.5 \leq z \leq 12.9$) (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/C)

Side Shell structure amidships x/L 0.5

Side Shell plating design pressure

$z =$	10.5	m
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²
$c_f =$	1.0	
$p_{Sdyn} =$	42.502	kN/m ²
$p_S =$	53.127	kN/m ²

Minimum thickness

Flat plate keel

$t_{min} =$	3.545	mm
-------------	-------	----

Thickness for lateral pressure

$a =$	0.7	m
$b =$	1.5	m
$\alpha =$	0.467	
$\beta =$	2.143	
$c_\alpha =$	0	
$c_a =$	0.766	
$c_r =$	1.000	flat plates
$p =$	53.127	kN/m ²
$\sigma_L =$	85.000	MPa
$\tau_L =$	51	MPa
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa
$t' =$	3.417	mm (flat plates)

$t =$	5.045	mm
-------	-------	----

$t_S =$	5.000	mm	→	$t_S = 5.000$ mm
---------	-------	----	---	------------------------------------

Side Shell Plating Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	314.350	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$z =$	10.5	m
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²
$c_f =$	1.0	
$p_{Sdyn} =$	37.284	kN/m ²
$p_s =$	46.605	kN/m ²

$l =$	1.500	m	Table 4.7
$m =$	0.294		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.700	m	
$l/e =$	2.143		Table 4.7
$e_{m1}/e =$	0.666		
$e_{m1} =$	0.466	m	

$F_s =$	17.270	kN
$M_b =$	5.323	kN·m

$A_s \geq$	0.968	cm ²		
$W_{el} \geq$	21.366	cm ³	→	T60x6+50x6 → 25.500 cm ³
$\varepsilon_{ST} =$	0.776			

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 10.0$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 8.3$$

Side Shell Plating Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l							
j	=	number of constraint (fixed) end conditions							
	=	2	for both ends fixed						
	=	1	for one end simply supported and one end fixed						
	=	0	for both ends simply supported						
k_{sp}	=	1.000	factor for profile type Table 4.6						
F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:									
z	=	10.5	m						
p_{Sstat}	=	0	kN/m ²						
c_f	=	1.0							
p_{Sdyn}	=	32.067	kN/m ²						
p_s	=	40.084	kN/m ²						
s	=	1.500	m						
l	=	2.410	m	Table 4.7					
n_a	=	3							
m	=	0.250							
n	=	1	worst case						
e	=	1.500	m						
l/e	=	1.607		Table 4.7					
e_{m1}/e	=	0.530							
e_{m1}	=	0.795	m						
F_s	=	54.338	kN						
M_b	=	20.007	kN·m						
$A_s \geq$		2.768	cm ²						
$W_{el} \geq$		64.729	cm ³	→	T80x8+80x8	→	67.865	cm ³	
ϵ_{ST}	=	0.776							
flat bars:									
$h_w/t_w \leq$		10.887							
angle, tee & bulb sections:									
web:									
$h_w/t_w \leq$		33.471			10.0				
flange:									
$b_f/t_f \leq$		10.887			10.0				

Side Shell Structure ($12.9 \leq z \leq 15.5$) (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/C)			
<i>Side Shell structure amidships</i>		x/L	0.5
<i>Side Shell plating design pressure</i>			
$z =$	12.9	m	
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²	
$c_f =$	1.0		
$p_{Sdyn} =$	37.654	kN/m ²	
$p_S =$	47.067	kN/m ²	
<i>Minimum thickness</i>			
<i>Flat plate keel</i>			
$t_{min} =$	3.545	mm	
<i>Thickness for lateral pressure</i>			
$a =$	0.7	m	
$b =$	1.5	m	
$\alpha =$	0.467		
$\beta =$	2.143		
$c_\alpha =$	0		
$c_a =$	0.766		
$c_r =$	1.000	flat plates	
$p =$	47.067	kN/m ²	
$\sigma_L =$	85.000	MPa	
$\tau_L =$	51	MPa	
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa	
$t' =$	3.216	mm (flat plates)	
$t =$	4.045	mm	→ $t_s = 5.000$ mm

Side Shell Plating Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	314.350	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$z =$	12.9	m	
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²	
$c_f =$	1.0		
$p_{Sdyn} =$	33.031	kN/m ²	
$p_s =$	41.289	kN/m ²	
$l =$	1.500	m	Table 4.7
$m =$	0.294		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.700	m	
$l/e =$	2.143		
$e_{m1}/e =$	0.666		Table 4.7
$e_{m1} =$	0.466	m	
$F_s =$	15.300	kN	
$M_b =$	4.716	kN·m	

$A_s \geq$	0.857	cm ²	
$W_{el} \geq$	18.929	cm ³	→ T60x5+50x5 → 21.100 cm ³
$\varepsilon_{ST} =$	0.776		

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 10.0$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 10.0$$

Side Shell Plating Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l							
j	=	number of constraint (fixed) end conditions							
	=	2	for both ends fixed						
	=	1	for one end simply supported and one end fixed						
	=	0	for both ends simply supported						
k_{sp}	=	1.000	factor for profile type Table 4.6						
F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:									
z	=	12.9	m						
p_{Sstat}	=	0	kN/m ²						
c_f	=	1.0							
p_{Sdyn}	=	28.409	kN/m ²						
p_s	=	35.511	kN/m ²						
s	=	1.500	m						
l	=	2.410	m	Table 4.7					
n_a	=	3							
m	=	0.250							
n	=	1	worst case						
e	=	1.500	m	Table 4.7					
l/e	=	1.607							
e_{m1}/e	=	0.530		Table 4.7					
e_{m1}	=	0.795	m						
F_s	=	48.140	kN						
M_b	=	17.725	kN·m						
$A_s \geq$		2.452	cm ²						
$W_{el} \geq$		57.345	cm ³	→	T80x6+80x8	→	63.424	cm ³	
ϵ_{ST}	=	0.776							
flat bars:									
$h_w/t_w \leq$		10.887							
angle, tee & bulb sections:									
web:									
$h_w/t_w \leq$		33.471			13.3				
flange:									
$b_f/t_f \leq$		10.887			10.0				

Second Deck + All Protected Decks (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/E)

The total design load for decks consists of static and dynamic components.

$$p_L = \gamma_{fstat} \cdot p_{Lstat} + \gamma_{fdyn} \cdot p_{Ldyn} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$p_{Lstat} = \text{static service load in kN/m}^2$$

$$\geq 3,5 \text{ kN/m}^2 \text{ in general}$$

$$:= 8,0 \text{ kN/m}^2 \text{ for platforms of machinery decks}$$

$$:= 6,0 \text{ kN/m}^2 \text{ for platforms of mooring decks}$$

$$p_{Ldyn} = \text{dynamic load component in kN/m}^2$$

$$:= p_{Lstat} \cdot a_z$$

$$p_{Lstat} = 6.000 \text{ kN/m}^2 \text{ worst case}$$

$$a_z = 1.263 \text{ worst case}$$

$$p_{Ldyn} = 7.576 \text{ kN/m}^2$$

$$p_L = 16.969 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_L = 156.400 \text{ MPa}$$

$$\tau_L = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{perm} = 399.174 \text{ MPa}$$

$$a = 0.7 \text{ m}$$

$$b = 1.5 \text{ m}$$

$$\alpha = 0.467$$

$$\beta = 2.143$$

$$c_a = 0.766$$

$$c_r = 1.000$$

$$t_{min} = 3 \text{ mm (Table 4.3)}$$

$$t' = 3.000 \text{ mm}$$

$$t = 3.500 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \boxed{t = 5.000 \text{ mm}}$$

Second Deck Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	250.804	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$l =$	2.000	m	Table 4.7
$m =$	0.226		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.700	m	
$l/e =$	2.857		
$e_{m1}/e =$	0.794		
$e_{m1} =$	0.556	m	

$F_s =$	9.192	kN
$M_b =$	3.656	kN·m

$A_s \geq$	0.515	cm ²	
$W_{el} \geq$	18.391	cm ³	→ T60x6+50x6 → 24.707 cm ³

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 10.0$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 8.3$$

Second Deck Primary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a = number of supported secondary stiffeners within the length l

j = number of constraint (fixed) end conditions

= 2 for both ends fixed

= 1 for one end simply supported and one end fixed

= 0 for both ends simply supported

k_{sp} = 1.000 factor for profile type Table 4.6

F_S and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

s = 2.650 m

l = 12.000 m **Table 4.7**

n_a = 8

m = 0.111

n = 1 worst case

e = 2.525 m

l/e = 4.752

e_{m1}/e = 1.000 **Table 4.7**

e_{m1} = 2.525 m

F_S = 239.835 kN

M_b = 398.060 kN·m

$A_s \geq$ 12.218 cm²

$W_{el} \geq$ 1287.841 cm³ → **T300x15+180x20** → 1386.782 cm³

flat bars:

$h_w/t_w \leq$ 10.887

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq$ 33.471 20.0

flange:

$b_f/t_f \leq$ 10.887 9.0

Second Deck Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l
j	=	number of constraint (fixed) end conditions
	=	2 for both ends fixed
	=	1 for one end simply supported and one end fixed
	=	0 for both ends simply supported
k_{sp}	=	1.000 factor for profile type Table 4.6

F_S and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

s	=	1.500	m	
l	=	4.800	m	Table 4.7
n_a	=	8		
m	=	0.111		
n	=	1	worst case	
e	=	1.500	m	Table 4.7
l/e	=	3.200		
e_{m1}/e	=	0.838		
e_{m1}	=	1.257	m	
F_S	=	54.302	kN	
M_b	=	36.051	kN·m	

$A_s \geq$	2.766	cm ²	
$W_{el} \geq$	116.635	cm ³	→ T100x8+100x10 → 122.565 cm ³

flat bars:

$h_w/t_w \leq$	10.887	
----------------	--------	--

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq$	33.471	12.5
----------------	--------	------

flange:

$b_f/t_f \leq$	10.887	10.0
----------------	--------	------

Main Deck (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/E)

The total design load for decks consists of static and dynamic components.

$$p_L = \gamma_{fstat} \cdot p_{Lstat} + \gamma_{fdyn} \cdot p_{Ldyn} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

p_{Lstat} = static service load in kN/m²

≥ 3,5 kN/m² in general

:= 8,0 kN/m² for platforms of machinery decks

:= 6,0 kN/m² for platforms of mooring decks

p_{Ldyn} = dynamic load component in kN/m²

$$:= p_{Lstat} \cdot a_z$$

$p_{Lstat} =$	5.000	kN/m ²	worst case
---------------	-------	-------------------	------------

$a_z =$	1.263		worst case
---------	-------	--	------------

$p_{Ldyn} =$	6.313	kN/m ²	
--------------	-------	-------------------	--

$p_L =$	14.141	kN/m ²	
---------	--------	-------------------	--

$\sigma_L =$	156.400	MPa	
--------------	---------	-----	--

$\tau_L =$	0	MPa	
------------	---	-----	--

$\sigma_{perm} =$	399.174	MPa	
-------------------	---------	-----	--

$a =$	0.7	m	
-------	-----	---	--

$b =$	1.5	m	
-------	-----	---	--

$\alpha =$	0.467		
------------	-------	--	--

$\beta =$	2.143		
-----------	-------	--	--

$c_a =$	0.766		
---------	-------	--	--

$c_r =$	1.000		
---------	-------	--	--

$t_{min} =$	3	mm (Table 4.3)	
-------------	---	----------------	--

$t' =$	3.000	mm	
--------	-------	----	--

$t =$	3.500	mm	→	t = 5.000 mm
-------	-------	----	---	---------------------

Helicopter Deck (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.5/G3.2)

The total wheel or skid load consists of static and dynamic components.

$$P_E = \gamma_{\text{stat}} \cdot P_{\text{Estat}} + \gamma_{\text{dyn}} \cdot P_{\text{Edyn}} \text{ [kN]}$$

P_{Estat} = wheel or skid load according to the construction of the heaviest kind of helicopter to be used on board. This load is evenly distributed over the contact area $f = 0,3 \cdot 0,3 \text{ m}^2$ for a single wheel, or it is specified according to data supplied by helicopter manufacturers. For dual wheels or skids, this load is to be determined individually in accordance with given dimensions.

$$P_{\text{Edyn}} = 0,5 \cdot G$$

$$P_{\text{Edyn}} = P_{\text{Estat}} \cdot a_z$$

G = maximum take-off weight [kN] of the helicopter, including deadweight, crew, fuel, cargo, weapons, etc.

a_z = vertical acceleration factor according

$$G = 98,1 \text{ kN (10t = maximum take off weight for Agcan Seahawk)}$$

$$a_z = 0,710$$

$$P_{\text{Estat}} = 49,05 \text{ kN}$$

$$P_{\text{dyn}} = 34,836 \text{ kN}$$

$$P_E = 104,857 \text{ kN}$$

Total load for landing:

The landing iMPact for one wheel or skid at any landing position is:

$$P_E = 2,0 \cdot P_{\text{Estat}} \text{ [kN]}$$

$$P_E = 98,1 \text{ kN}$$

External Sea Loads

$$p_S = \gamma_{\text{stat}} \cdot p_{\text{Sstat}} + \gamma_{\text{dyn}} \cdot p_{\text{Sdyn}} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Main Deck structure aft part $x/L = 0$

$$z = 7,9 \text{ m} \quad p_{\text{Lstat}} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{\text{Sstat}} = 0 \text{ kN/m}^2 \quad a_z = 0,710$$

$$c_f = 1,6 \quad p_{\text{Ldyn}} = 1,420 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{\text{Sdyn}} = 20,262 \text{ kN/m}^2 \quad p_L = 4,276 \text{ kN/m}^2$$

$$p_S = 25,328 \text{ kN/m}^2 \quad p_{\text{tot}} = 29,603 \text{ kN/m}^2$$

Minimum thickness

Main Deck Plate

$$t_{\text{min}} = 3,000 \text{ mm}$$

Thickness for wheel load

$$a = 0,6 \text{ m}$$

$$b = 1,5 \text{ m}$$

$$\alpha = 0,4$$

$$\beta = 2,500$$

$$F = 0,900 \text{ m}^2$$

$$f = 0,090 \text{ m}^2$$

$$f/F = 0,100$$

$$c = 18,504$$

$$t' = 10,778$$

$$t = 11,278$$

<u>Thickness for wheel load</u>			
$\sigma_{perm} =$	399.174	MPa	
$c_a =$	0.749		
$c_r =$	1.000		
$t_{min} =$	3	mm (Table 4.3)	
$t' =$	3.000	mm	
$t =$	3.000	mm	→ t = 15.000 mm
Helicopter Deck Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)			
For secondary stiffening members the required web area A_s [cm ²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm ³] can alternatively be determined as follows:			
$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [cm^2]$			
$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [cm^3]$			
$\sigma_{perm} =$	379.963	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)	
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)	
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6	
F_S and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:			
$z =$	7.9	m	
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²	
$c_f =$	1.6		
$p_{Sdyn} =$	17.775	kN/m ²	
$p_S =$	22.219	kN/m ²	$p_{tot} = 26.494 \text{ kN/m}^2$
$l =$	1.500	m	Table 4.7
$m =$	0.256		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.700	m	Table 4.7
$l/e =$	2.143		
$e_{m1}/e =$	0.666		
$e_{m1} =$	0.466	m	
$F_S =$	113.728	kN	
$M_b =$	28.902	kN·m	
$A_s \geq$	6.373	cm ²	
$W_{el} \geq$	95.976	cm ³	→ T100x8+80x8 → 96.171 cm ³
flat bars:			
$h_w/t_w \leq$	10.887		
angle, tee & bulb sections:			
web:			
$h_w/t_w \leq$	33.471		12.5
flange:			
$b/t_f \leq$	10.887		10.0

Helicopter Deck Primary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l
j	=	number of constraint (fixed) end conditions
	=	2 for both ends fixed
	=	1 for one end simply supported and one end fixed
	=	0 for both ends simply supported
k_{sp}	=	1.000 factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

s	=	2.400	m	
l	=	9.000	m	Table 4.7
n_a	=	4		
m	=	0.200		
n	=	1	worst case	
e	=	2.400	m	Table 4.7
l/e	=	3.750		
e_{m1}/e	=	0.888		
e_{m1}	=	2.130	m	
F_s	=	333.767	kN	
M_b	=	416.560	kN·m	
$A_s \geq$		17.003	cm ²	
$W_{el} \geq$		1347.694	cm ³	→ T300x15+180x20 → 1505.284 cm ³

flat bars:

$h_w/t_w \leq 10.887$

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq 33.471$ 20.0

flange:

$b_f/t_f \leq 10.887$ 9.0

Helicopter Deck Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l
j	=	number of constraint (fixed) end conditions
	=	2 for both ends fixed
	=	1 for one end simply supported and one end fixed
	=	0 for both ends simply supported
k_{sp}	=	1.000 factor for profile type Table 4.6

F_S and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

s	=	1.500	m	
l	=	3.000	m	Table 4.7
n_a	=	4		
m	=	0.200		
n	=	1	worst case	
e	=	1.500	m	
l/e	=	2.000		Table 4.7
e_{m1}/e	=	0.640		
e_{m1}	=	0.960	m	
F_S	=	152.547	kN	
M_b	=	41.125	kN·m	
$A_s \geq$		7.771	cm ²	
$W_{el} \geq$		133.051	cm ³	→ T100x8+100x10 → 136.428 cm ³

flat bars:

$h_w/t_w \leq 10.887$

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq 33.471$ 12.5

flange:

$b_f/t_f \leq 10.887$ 10.0

Hangar Deck (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.5/G3.2)

The total wheel or skid load consists of static and dynamic components.

$$P_E = \gamma_{\text{stat}} \cdot P_{\text{Estat}} + \gamma_{\text{dyn}} \cdot P_{\text{Edyn}} \text{ [kN]}$$

P_{Estat} = wheel or skid load according to the construction of the heaviest kind of helicopter to be used on board. This load is evenly distributed over the contact area $f = 0,3 \cdot 0,3 \text{ m}^2$ for a single wheel, or it is specified according to data supplied by helicopter manufacturers. For dual wheels or skids, this load is to be determined individually in accordance with given dimensions.

$$P_{\text{Edyn}} = 0,5 \cdot G$$

$$P_{\text{Edyn}} = P_{\text{Estat}} \cdot a_z$$

G = maximum take-off weight [kN] of the helicopter, including deadweight, crew, fuel, cargo, weapons, etc.

a_z = vertical acceleration factor according

$$G = 98,1 \text{ kN (10t = maximum take off weight for Agcan Seahawk)}$$

$$a_z = 0,710$$

$$P_{\text{Estat}} = 49,05 \text{ kN}$$

$$P_{\text{dyn}} = 34,836 \text{ kN}$$

$$P_E = 104,857 \text{ kN}$$

Uniform Loads on Hangar Deck

$$P_L = \gamma_{\text{stat}} \cdot P_{L\text{stat}} + \gamma_{\text{dyn}} \cdot P_{L\text{dyn}} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$P_{L\text{stat}} = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$a_z = 0,710$$

$$P_{L\text{dyn}} = 2,131 \text{ kN/m}^2$$

$$P_L = 6,413 \text{ kN/m}^2$$

Minimum thickness**Main Deck Plate**

$$t_{\text{min}} = 3,000 \text{ mm}$$

Thickness for wheel load

$$a = 0,6 \text{ m}$$

$$b = 1,5 \text{ m}$$

$$\alpha = 0,4$$

$$\beta = 2,500$$

$$F = 0,900 \text{ m}^2$$

$$f = 0,090 \text{ m}^2$$

$$f/F = 0,100$$

$$c = 18,504$$

$$t' = 10,778$$

$$t = 11,278$$

Thickness for wheel load

$$\sigma_{\text{perm}} = 399,174 \text{ MPa}$$

$$c_a = 0,749$$

$$c_r = 1,000$$

$$t_{\text{min}} = 3 \text{ mm (Table 4.3)}$$

$$t' = 3,000 \text{ mm}$$

→

$$t = 15,000 \text{ mm}$$

Hangar Deck Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	379.963	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$l =$	1.500	m	Table 4.7
$m =$	0.256		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.700	m	
$l/e =$	2.143		
$e_{m1}/e =$	0.666		
$e_{m1} =$	0.466	m	

$F_s =$	107.004	kN
$M_b =$	26.865	kN·m

$$A_s \geq 5.996 \quad \text{cm}^2$$

$$W_{el} \geq 89.212 \quad \text{cm}^3 \quad \rightarrow \quad \boxed{\text{T100x8+80x8}} \quad \rightarrow \quad 96.171 \quad \text{cm}^3$$

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 12.5$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 10.0$$

Hangar Deck Primary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l							
j	=	number of constraint (fixed) end conditions							
	=	2	for both ends fixed						
	=	1	for one end simply supported and one end fixed						
	=	0	for both ends simply supported						
k_{sp}	=	1.000	factor for profile type Table 4.6						
<p>F_S and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:</p>									
s	=	2.400	m						
l	=	8.000	m	Table 4.7					
n_a	=	4							
m	=	0.200							
n	=	1	worst case						
e	=	2.400	m	Table 4.7					
l/e	=	3.333							
e_{m1}/e	=	0.850							
e_{m1}	=	2.040	m						
F_S	=	154.111	kN						
M_b	=	90.272	kN·m						
$A_s \geq$		7.851	cm ²						
$W_{el} \geq$		292.056	cm ³	→	T200x10+100x10	→	342.218	cm ³	
flat bars:									
$h_w/t_w \leq$		10.887							
angle, tee & bulb sections:									
web:									
$h_w/t_w \leq$		33.471			20.0				
flange:									
$b_f/t_f \leq$		10.887			10.0				

Hangar Deck Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l
j	=	number of constraint (fixed) end conditions
	=	2 for both ends fixed
	=	1 for one end simply supported and one end fixed
	=	0 for both ends simply supported
k_{sp}	=	1.000 factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

s	=	1.500	m	
l	=	3.000	m	Table 4.7
n_a	=	4		
m	=	0.200		
n	=	1	worst case	
e	=	1.500	m	Table 4.7
l/e	=	2.000		
e_{m1}/e	=	0.640		
e_{m1}	=	0.960	m	
F_s	=	116.401	kN	
M_b	=	19.889	kN·m	
$A_s \geq$		5.930	cm ²	
$W_{el} \geq$		64.347	cm ³	→ T80x8+80x10 → 90.408 cm ³

flat bars:

$h_w/t_w \leq 10.887$

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq 33.471$ 10.0

flange:

$b_f/t_f \leq 10.887$ 8.0

Forward Mooring Deck (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.5/E1)

Uniformly Distributed Loads

$p_{Lstat} = 6 \text{ kN/m}^2$

$a_z = 1.263 \text{ (x/L = 1)}$

$p_{Lstat} = 7.576 \text{ kN/m}^2$

$p_L = 16.969 \text{ kN/m}^2$

External Sea Loads

$x/L = 1$

$z = 10.5 \text{ m}$

$p_{Sstat} = 0 \text{ kN/m}^2$

$c_f = 3.0$

$p_{Sdyn} = 31.357 \text{ kN/m}^2$

$p_S = 39.197 \text{ kN/m}^2$

$p_{tot} = 56.166 \text{ kN/m}^2$

$\sigma_L = 156.400 \text{ MPa}$

$\tau_L = 0 \text{ MPa}$

$\sigma_{perm} = 399.174 \text{ MPa}$

$a = 0.6 \text{ m}$

$b = 1.5 \text{ m}$

$\alpha = 0.400$

$\beta = 2.500$

$c_a = 0.795$

$c_r = 1.000$

$t_{min} = 3 \text{ mm (Table 4.3)}$

$t' = 3.179 \text{ mm}$

$t = 3.679 \text{ mm}$

→ **t = 5.000 mm**

Forward Mooring Deck Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	250.804	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$z =$	10.5	m		
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²		
$c_f =$	3.0			
$p_{Sdyn} =$	27.508	kN/m ²		
$p_s =$	34.385	kN/m ²	$p_{tot} =$	51.354 kN/m ²

$l =$	1.500	m	Table 4.7
$m =$	0.256		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.700	m	
$l/e =$	2.143		
$e_{m1}/e =$	0.666		Table 4.7
$e_{m1} =$	0.466	m	

$F_s =$	17.193	kN
$M_b =$	5.209	kN·m

$A_s \geq$	0.963	cm ²		
$W_{el} \geq$	26.208	cm ³	→	T60x6+60x6 → 28.640 cm ³

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 10.0$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 10.0$$

Forward Mooring Deck Primary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l							
j	=	number of constraint (fixed) end conditions							
	=	2	for both ends fixed						
	=	1	for one end simply supported and one end fixed						
	=	0	for both ends simply supported						
k_{sp}	=	1.000	factor for profile type Table 4.6						
F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:									
z	=	10.5	m						
p_{Sstat}	=	0	kN/m ²						
c_f	=	3.0							
p_{Sdyn}	=	23.659	kN/m ²						
p_s	=	29.573	kN/m ²		$p_{tot} =$	46.543	kN/m ²		
s	=	2.400	m						
l	=	8.000	m	Table 4.7					
n_a	=	6							
m	=	0.143							
n	=	1	worst case						
e	=	2.400	m						
l/e	=	3.333		Table 4.7					
e_{m1}/e	=	0.850							
e_{m1}	=	2.040	m						
F_s	=	382.980	kN						
M_b	=	434.652	kN·m						
$A_s \geq$		19.510	cm ²						
$W_{el} \geq$		1406.226	cm ³	→	T300x15+200x20	→	1501.197	cm ³	
flat bars:									
$h_w/t_w \leq$		10.887							
angle, tee & bulb sections:									
web:									
$h_w/t_w \leq$		33.471			20.0				
flange:									
$b_f/t_f \leq$		10.887			10.0				

Forward Mooring Deck Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l
j	=	number of constraint (fixed) end conditions
	=	2 for both ends fixed
	=	1 for one end simply supported and one end fixed
	=	0 for both ends simply supported
k_{sp}	=	1.000 factor for profile type Table 4.6

F_S and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

s	=	1.500	m	
l	=	3.000	m	Table 4.7
n_a	=	4		
m	=	0.200		
n	=	1	worst case	
e	=	1.500	m	
l/e	=	2.000		Table 4.7
e_{m1}/e	=	0.640		
e_{m1}	=	0.960	m	
F_S	=	83.777	kN	
M_b	=	37.176	kN·m	
$A_s \geq$		4.268	cm ²	
$W_{el} \geq$		120.275	cm ³	→ T100x10+100x10 → 128.126 cm ³

flat bars:

$h_w/t_w \leq 10.887$

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq 33.471$ → 20.0

flange:

$b_f/t_f \leq 10.887$ → 10.0

Second Floor Exposed Deck (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/E)

The total design load for decks consists of static and dynamic components.

$$P_L = \gamma_{fstat} \cdot P_{Lstat} + \gamma_{fdyn} \cdot P_{Ldyn} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

P_{Lstat} = static service load in kN/m²

≥ 3,5 kN/m² in general

. = 8,0 kN/m² for platforms of machinery decks

. = 6,0 kN/m² for platforms of mooring decks

P_{Ldyn} = dynamic load component in kN/m²

$$. = P_{Lstat} \cdot a_z$$

$$z = 12.9 \text{ m}$$

$$P_{Sstat} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$c_f = 1.0$$

$$P_{Sdyn} = 9.413 \text{ kN/m}^2$$

$$p_s = 11.767 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{Lstat} = 5.000 \text{ kN/m}^2 \text{ worst case}$$

$$a_z = 1.263 \text{ worst case}$$

$$P_{Ldyn} = 6.313 \text{ kN/m}^2$$

$$P_L = 14.141 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{tot} = 25.908 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_L = 156.400 \text{ MPa}$$

$$\tau_L = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{perm} = 399.174 \text{ MPa}$$

$$a = 0.7 \text{ m}$$

$$b = 1.5 \text{ m}$$

$$\alpha = 0.467$$

$$\beta = 2.143$$

$$c_a = 0.766$$

$$c_r = 1.000$$

$$t_{min} = 3 \text{ mm (Table 4.3)}$$

$$t' = 3.000 \text{ mm}$$

$$t = 3.500 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \boxed{t = 5.000 \text{ mm}}$$

Second Floor Exposed Deck Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	250.804	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$z =$	12.9	m
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²
$c_f =$	1.0	
$p_{Sdyn} =$	8.258	kN/m ²
$p_s =$	10.322	kN/m ²
$p_{tot} =$	24.464	kN/m ²

$l =$	2.000	m	Table 4.7
$m =$	0.226		
$n =$	1	worst case	Table 4.7
$e =$	0.700	m	
$l/e =$	2.857		
$e_{m1}/e =$	0.794		
$e_{m1} =$	0.556	m	

$F_s =$	13.251	kN
$M_b =$	5.270	kN·m

$A_s \geq$	0.743	cm ²	
$W_{el} \geq$	26.513	cm ³	→ T60x6+60x6 → 28.776 cm ³

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 10.0$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 10.0$$

Second Floor Exposed Deck Primary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a = number of supported secondary stiffeners within the length l

j = number of constraint (fixed) end conditions

=	2	for both ends fixed
=	1	for one end simply supported and one end fixed
=	0	for both ends simply supported
k_{sp} =	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_S and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

z =	12.9	m
p_{Sstat} =	0	kN/m ²
c_f =	1.0	
p_{Sdyn} =	7.102	kN/m ²
p_S =	8.878	kN/m ²
p_{tot} =	23.019	kN/m ²

s =	2.650	m	
l =	8.000	m	Table 4.7
n_a =	8		
m =	0.111		
n =	1	worst case	
e =	2.525	m	
l/e =	3.168		Table 4.7
e_{m1}/e =	0.868		
e_{m1} =	2.193	m	

F_S =	216.891	kN
M_b =	239.986	kN·m

$A_s \geq$	11.049	cm ²					
$W_{el} \geq$	776.425	cm ³	→	T300x15+180x20	→	1371.482	cm ³

flat bars:

$h_w/t_w \leq 10.887$

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq 33.471$ → 20.0

flange:

$b_f/t_f \leq 10.887$ → 9.0

Second Floor Exposed Deck Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l
j	=	number of constraint (fixed) end conditions
	=	2 for both ends fixed
	=	1 for one end simply supported and one end fixed
	=	0 for both ends simply supported
k_{sp}	=	1.000 factor for profile type Table 4.6

F_S and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

s	=	1.500	m	
l	=	2.400	m	Table 4.7
n_a	=	8		
m	=	0.111		
n	=	1	worst case	
e	=	1.500	m	
l/e	=	1.600		Table 4.7
e_{m1}/e	=	0.694		
e_{m1}	=	1.041	m	
F_S	=	36.831	kN	
M_b	=	12.226	kN·m	
$A_s \geq$		1.876	cm ²	
$W_{el} \geq$		39.554	cm ³	→ T120x10+100x12 → 181.368 cm ³

flat bars:

$h_w/t_w \leq 10.887$

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq 33.471$ 12.0

flange:

$b_f/t_f \leq 10.887$ 8.3

Third Floor Exposed Deck (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/E)

The total design load for decks consists of static and dynamic components.

$$P_L = \gamma_{fstat} \cdot P_{Lstat} + \gamma_{fdyn} \cdot P_{Ldyn} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

P_{Lstat} = static service load in kN/m²

≥ 3,5 kN/m² in general

. = 8,0 kN/m² for platforms of machinery decks

. = 6,0 kN/m² for platforms of mooring decks

P_{Ldyn} = dynamic load component in kN/m²

$$. = P_{Lstat} \cdot a_z$$

$$z = 15.5 \text{ m}$$

$$P_{Sstat} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$c_f = 1.0$$

$$P_{Sdyn} = 8.440 \text{ kN/m}^2$$

$$p_s = 10.550 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{Lstat} = 5.000 \text{ kN/m}^2 \text{ worst case}$$

$$a_z = 1.263 \text{ worst case}$$

$$P_{Ldyn} = 6.313 \text{ kN/m}^2$$

$$p_L = 14.141 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{tot} = 24.691 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_L = 156.400 \text{ MPa}$$

$$\tau_L = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{perm} = 399.174 \text{ MPa}$$

$$a = 0.7 \text{ m}$$

$$b = 1.5 \text{ m}$$

$$\alpha = 0.467$$

$$\beta = 2.143$$

$$c_a = 0.766$$

$$c_r = 1.000$$

$$t_{min} = 3 \text{ mm (Table 4.3)}$$

$$t' = 3.000 \text{ mm}$$

$$t = 3.500 \text{ mm} \rightarrow \boxed{t = 5.000 \text{ mm}}$$

Third Floor Exposed Deck Secondary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	250.804	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$z =$	15.5	m
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²
$c_f =$	1.0	
$p_{Sdyn} =$	7.404	kN/m ²
$p_s =$	9.255	kN/m ²
$p_{tot} =$	23.396	kN/m ²

$l =$	2.000	m	Table 4.7
$m =$	0.226		
$n =$	1	worst case	Table 4.7
$e =$	0.700	m	
$l/e =$	2.857		
$e_{m1}/e =$	0.794		
$e_{m1} =$	0.556	m	

$F_s =$	12.673	kN
$M_b =$	5.040	kN·m

$A_s \geq$	0.710	cm ²	
$W_{el} \geq$	25.357	cm ³	→ T60x6+60x6 → 28.278 cm ³

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 10.0$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 10.0$$

Third Floor Exposed Deck Primary Stiffeners (Longitudinal Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l						
j	=	number of constraint (fixed) end conditions						
	=	2	for both ends fixed					
	=	1	for one end simply supported and one end fixed					
	=	0	for both ends simply supported					
k_{sp}	=	1.000	factor for profile type Table 4.6					
F_S and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:								
z	=	15.5	m					
p_{Sstat}	=	0	kN/m ²					
c_f	=	1.0						
p_{Sdyn}	=	6.368	kN/m ²					
p_S	=	7.960	kN/m ²					
p_{tot}	=	22.101	kN/m ²					
s	=	2.650	m					
l	=	8.000	m	Table 4.7				
n_a	=	8						
m	=	0.111						
n	=	1	worst case					
e	=	2.525	m					
l/e	=	3.168		Table 4.7				
e_{m1}/e	=	0.868						
e_{m1}	=	2.193	m					
F_S	=	208.243	kN					
M_b	=	230.417	kN·m					
$A_s \geq$		10.608	cm ²					
$W_{el} \geq$		745.466	cm ³	→	T200x15+180x20	→	844.724	cm ³
flat bars:								
$h_w/t_w \leq$		10.887						
angle, tee & bulb sections:								
web:								
$h_w/t_w \leq$		33.471			13.3			
flange:								
$b_f/t_f \leq$		10.887			9.0			

Third Floor Exposed Deck Primary Stiffeners (Transverse Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l
j	=	number of constraint (fixed) end conditions
	=	2 for both ends fixed
	=	1 for one end simply supported and one end fixed
	=	0 for both ends simply supported
k_{sp}	=	1.000 factor for profile type Table 4.6

F_S and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

s	=	1.500	m	
l	=	2.400	m	Table 4.7
n_a	=	8		
m	=	0.111		
n	=	1	worst case	
e	=	1.500	m	
l/e	=	1.600		Table 4.7
e_{m1}/e	=	0.568		
e_{m1}	=	0.852	m	
F_S	=	35.362	kN	
M_b	=	11.738	kN·m	
$A_s \geq$		1.801	cm ²	
$W_{el} \geq$		37.977	cm ³	→ T80x8+80x8 → 65.910 cm ³

flat bars:

$h_w/t_w \leq 10.887$

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq 33.471$ 10.0

flange:

$b/t_f \leq 10.887$ 10.0

Second Floor Exposed Front (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/E)

The total design load for decks consists of static and dynamic components.

$z =$	11.7	m							
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²							
$B' =$	14.250	m							
$b' =$	14.250	m							
$h_N =$	1.8	m							
$x/L =$	0.7								
$c_f =$	1								
$n_1 =$	0.356								
$n_2 =$	1								
$n_3 =$	1								
$n_4 =$	1								
$\rho_L =$	0.002	t/m ³							
$v_W =$	45.083	m/s							
$q_w =$	1.850	kN/m ²							
$p_{Sdyn} =$	14.208	kN/m ²							
$p_S =$	19.610	kN/m ²							
$\sigma_L =$	85.000	MPa							
$\tau_L =$	51	MPa							
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa							
$a =$	0.6	m							
$b =$	1.5	m							
$\alpha =$	0.400								
$\beta =$	2.500								
$c_a =$	0.795								
$c_r =$	1.000								
$t' =$	1.847	mm							
$t =$	2.347	mm	→	t = 5.000 mm					

Second Floor Exposed Front Secondary Stiffeners (Vertical Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	314.350	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$p_{Sdyn} =$	12.464	kN/m ²	
$p_s =$	17.430	kN/m ²	
$l =$	3.000	m	Table 4.7
$m =$	0.132		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.600	m	
$l/e =$	5.000		
$e_{m1}/e =$	0.960		Table 4.7
$e_{m1} =$	0.576	m	
$F_s =$	13.616	kN	
$M_b =$	7.638	kN·m	

$A_s \geq$	0.763	cm ²	
$W_{el} \geq$	30.660	cm ³	→ T80x6+60x8 → 48.083 cm ³

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 13.3$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 7.5$$

Second Floor Exposed Front Primary Stiffeners (Vertical Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l						
j	=	number of constraint (fixed) end conditions						
	=	2	for both ends fixed					
	=	1	for one end simply supported and one end fixed					
	=	0	for both ends simply supported					
k_{sp}	=	1.000	factor for profile type Table 4.6					
F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:								
$p_{S_{dyn}}$	=	10.720	kN/m ²					
p_s	=	15.250	kN/m ²					
s	=	2.400	m					
l	=	3.000	m	Table 4.7				
n_a	=	8						
m	=	0.111						
n	=	1	worst case					
e	=	2.400	m					
l/e	=	1.250		Table 4.7				
e_{m1}/e	=	0.430						
e_{m1}	=	1.032	m					
F_s	=	48.799	kN					
M_b	=	20.248	kN·m					
$A_s \geq$		2.486	cm ²					
$W_{el} \geq$		65.509	cm ³	→	T1000x6+80x8	→	80.488	cm ³
flat bars:								
$h_w/t_w \leq$		10.887						
angle, tee & bulb sections:								
web:								
$h_w/t_w \leq$		33.471			16.7			
flange:								
$b_f/t_f \leq$		10.887			10.0			

Second Floor Exposed Aft (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/E)

The total design load for decks consists of static and dynamic components.

$z =$	11.7	m							
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²							
$B' =$	14.250	m							
$b' =$	14.250	m							
$h_N =$	1.8	m							
$x/L =$	0.25								
$c_f =$	1								
$n_1 =$	0.356								
$n_2 =$	1								
$n_3 =$	0.938								
$n_4 =$	1								
$\rho_L =$	0.002	t/m ³							
$v_W =$	45.083	m/s							
$q_w =$	1.850	kN/m ²							
$p_{Sdyn} =$	13.320	kN/m ²							
$p_S =$	18.500	kN/m ²							
$\sigma_L =$	85.000	MPa							
$\tau_L =$	51	MPa							
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa							
$a =$	0.6	m							
$b =$	1.5	m							
$\alpha =$	0.400								
$\beta =$	2.500								
$c_a =$	0.795								
$c_r =$	1.000								
$t' =$	1.794	mm							
$t =$	2.294	mm	→	t = 5.000 mm					

Second Floor Exposed Aft Secondary Stiffeners (Vertical Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	314.350	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$p_{Sdyn} =$	11.685	kN/m ²	
$p_s =$	16.456	kN/m ²	
$l =$	3.000	m	Table 4.7
$m =$	0.132		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.600	m	
$l/e =$	5.000		
$e_{m1}/e =$	0.960		Table 4.7
$e_{m1} =$	0.576	m	
$F_s =$	12.856	kN	
$M_b =$	7.212	kN·m	
$A_s \geq$	0.720	cm ²	
$W_{el} \geq$	28.947	cm ³	→ T60x6+60x8 → 34.362 cm ³

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 10.0$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 7.5$$

Second Floor Exposed Aft Primary Stiffeners (Vertical Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l							
j	=	number of constraint (fixed) end conditions							
	=	2	for both ends fixed						
	=	1	for one end simply supported and one end fixed						
	=	0	for both ends simply supported						
k_{sp}	=	1.000	factor for profile type Table 4.6						
F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:									
$p_{S_{dyn}}$	=	10.050	kN/m ²						
p_s	=	14.412	kN/m ²						
s	=	2.400	m						
l	=	3.000	m	Table 4.7					
n_a	=	8							
m	=	0.111							
n	=	1	worst case						
e	=	2.400	m						
l/e	=	1.250		Table 4.7					
e_{m1}/e	=	0.430							
e_{m1}	=	1.032	m						
F_s	=	46.119	kN						
M_b	=	19.136	kN·m						
$A_s \geq$		2.349	cm ²						
$W_{el} \geq$		61.911	cm ³	→	T100x6+80x8	→	80.488	cm ³	
flat bars:									
$h_w/t_w \leq$		10.887							
angle, tee & bulb sections:									
web:									
$h_w/t_w \leq$		33.471			16.7				
flange:									
$b_f/t_f \leq$		10.887			10.0				

Third Floor Exposed Front (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/E)

The total design load for decks consists of static and dynamic components.

$z =$	14.2	m							
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²							
$B' =$	13.200	m							
$b' =$	12.400	m							
$h_N =$	1.8	m							
$x/L =$	0.7								
$c_f =$	1								
$n_1 =$	0.250								
$n_2 =$	0.958								
$n_3 =$	1								
$n_4 =$	1								
$\rho_L =$	0.002	t/m ³							
$v_W =$	45.083	m/s							
$q_w =$	1.850	kN/m ²							
$p_{Sdyn} =$	8.514	kN/m ²							
$p_S =$	12.493	kN/m ²							
$\sigma_L =$	85.000	MPa							
$\tau_L =$	51	MPa							
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa							
$a =$	0.6	m							
$b =$	1.5	m							
$\alpha =$	0.400								
$\beta =$	2.500								
$c_a =$	0.795								
$c_r =$	1.000								
$t' =$	1.474	mm							
$t =$	1.974	mm	→	t = 5.000 mm					

Third Floor Exposed Front Secondary Stiffeners (Vertical Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	314.350	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$p_{Sdyn} =$	7.469	kN/m ²	
$p_s =$	11.186	kN/m ²	
$l =$	3.000	m	Table 4.7
$m =$	0.132		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.600	m	
$l/e =$	5.000		
$e_{m1}/e =$	0.960		Table 4.7
$e_{m1} =$	0.576	m	
$F_s =$	8.739	kN	
$M_b =$	4.902	kN·m	

$A_s \geq$	0.490	cm ²	
$W_{el} \geq$	19.677	cm ³	→ T60x5+50x5 → 20.409 cm ³

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 12.0$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 10.0$$

Third Floor Exposed Front Primary Stiffeners (Vertical Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l						
j	=	number of constraint (fixed) end conditions						
	=	2	for both ends fixed					
	=	1	for one end simply supported and one end fixed					
	=	0	for both ends simply supported					
k_{sp}	=	1.000	factor for profile type Table 4.6					
F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:								
$p_{S_{dyn}}$	=	6.424	kN/m ²					
p_s	=	9.880	kN/m ²					
s	=	2.400	m					
l	=	3.000	m	Table 4.7				
n_a	=	8						
m	=	0.111						
n	=	1	worst case					
e	=	2.400	m					
l/e	=	1.250		Table 4.7				
e_{m1}/e	=	0.430						
e_{m1}	=	1.032	m					
F_s	=	31.615	kN					
M_b	=	13.118	kN·m					
$A_s \geq$		1.611	cm ²					
$W_{el} \geq$		42.441	cm ³	→	T80x6+60x8	→	49.419	cm ³
flat bars:								
$h_w/t_w \leq$		10.887						
angle, tee & bulb sections:								
web:								
$h_w/t_w \leq$		33.471			13.3			
flange:								
$b_f/t_f \leq$		10.887			7.5			

Third Floor Exposed Aft (GL-III-1-1/Ch.1/Sect. 5/E)

The total design load for decks consists of static and dynamic components.

$z =$	14.2	m							
$p_{Sstat} =$	0	kN/m ²							
$B' =$	13.200	m							
$b' =$	12.400	m							
$h_N =$	1.8	m							
$x/L =$	0.25								
$c_f =$	1								
$n_1 =$	0.250								
$n_2 =$	0.958								
$n_3 =$	0.938								
$n_4 =$	1								
$\rho_L =$	0.002	t/m ³							
$v_W =$	45.083	m/s							
$q_w =$	1.850	kN/m ²							
$p_{Sdyn} =$	7.982	kN/m ²							
$p_S =$	11.828	kN/m ²							
$\sigma_L =$	85.000	MPa							
$\tau_L =$	51	MPa							
$\sigma_{perm} =$	412.925	MPa							
$a =$	0.6	m							
$b =$	1.5	m							
$\alpha =$	0.400								
$\beta =$	2.500								
$c_a =$	0.795								
$c_r =$	1.000								
$t' =$	1.434	mm							
$t =$	1.934	mm	→	t = 5.000 mm					

Third Floor Exposed Aft Secondary Stiffeners (Vertical Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C5.2.1)

For secondary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

$$A_s \geq \frac{\gamma_m F_s \sqrt{300}}{R_{eH} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^2]$$

$$W_{el} \geq 10^3 M_b \frac{\gamma_m k_{sp}}{\sigma_{perm} \cdot f_{pL}} \quad [\text{cm}^3]$$

$\sigma_{perm} =$	314.350	[N/mm ²] (permissible stress = $R_{eH} - 0.89 \cdot \sigma_L$)
$\tau =$	0	[N/mm ²] (0, if the shear stress is less than $0.12 \cdot R_{eH}$)
$k_{sp} =$	1.000	factor for profile type Table 4.6

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$p_{Sdyn} =$	7.002	kN/m ²	
$p_s =$	10.603	kN/m ²	
$l =$	3.000	m	Table 4.7
$m =$	0.132		
$n =$	1	worst case	
$e =$	0.600	m	
$l/e =$	5.000		
$e_{m1}/e =$	0.960		Table 4.7
$e_{m1} =$	0.576	m	
$F_s =$	8.283	kN	
$M_b =$	4.646	kN·m	

$A_s \geq$	0.464	cm ²	
$W_{el} \geq$	18.650	cm ³	→ T60x5+50x5 → 20.409 cm ³

flat bars:

$$h_w/t_w \leq 10.887$$

angle, tee & bulb sections:

web:

$$h_w/t_w \leq 33.471 \quad 12.0$$

flange:

$$b_f/t_f \leq 10.887 \quad 10.0$$

Third Floor Exposed Aft Primary Stiffeners (Vertical Stiffeners) (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.4/C3.3.1)

For primary stiffening members the required web area A_s [cm²] used as effective shear area and the elastic section modulus W_{el} [cm³] can alternatively be determined as follows:

n_a	=	number of supported secondary stiffeners within the length l							
j	=	number of constraint (fixed) end conditions							
	=	2	for both ends fixed						
	=	1	for one end simply supported and one end fixed						
	=	0	for both ends simply supported						
k_{sp}	=	1.000	factor for profile type Table 4.6						

F_s and M_b are calculated according to Table 4.5 and for constraints at both ends:

$p_{S_{dyn}}$	=	6.023	kN/m ²						
p_s	=	9.378	kN/m ²						
s	=	2.400	m						
l	=	3.000	m	Table 4.7					
n_a	=	8							
m	=	0.111							
n	=	1	worst case						
e	=	2.400	m						
l/e	=	1.250		Table 4.7					
e_{m1}/e	=	0.430							
e_{m1}	=	1.032	m						
F_s	=	30.009	kN						
M_b	=	12.452	kN·m						
$A_s \geq$		1.529	cm ²						
$W_{el} \geq$		40.285	cm ³	→	T80x6+50x8	→	41.996	cm ³	

flat bars:

$h_w/t_w \leq 10.887$

angle, tee & bulb sections:

web:

$h_w/t_w \leq 33.471$ → 13.3

flange:

$b_f/t_f \leq 10.887$ → 6.3

Shear Strake Plate (GL-III-1-1/Ch.1/Sec.7/B2.2)

b	=	1300	mm						
t	=	8	mm	→	t = 8.000 mm				

**5.2 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – Υπολογισμός δείκτη εξαρτισμού
(Equipment Numeral) βάσει των κανονισμών του
Γερμανικού Νηογνώμονα (GL)**

Equipment Numeral GL-III-1-1/Ch.1/Sect.18/B.1		
Monohull ships		
$EN = \Delta^{2/3} + 2 \cdot (a \cdot B + \sum b_i \cdot h_i \cdot \sin \Theta_i) + 0.1 \cdot A$		
Δ = the moulded displacement [t] at the design waterline in sea water having a density of 1.025 t/m ³		
a = distance [m], from design waterline, amidships, to the upper deck at side		
b_i = actual breadth of deckhouses		
h_i = height [m] on the centreline of each tier of superstructures and deckhouses corresponding to b_i (deck sheer, if any, is to be ignored)		
For the lowest tier "h" is to be measured at centreline from the upper deck or from a notional deck line where there is local discontinuity in the upper deck.		
Θ_i = angle of inclination of each front bulkhead		
A = area [m ²], in profile view of the hull, superstructures and deck houses, above the design waterline within the length L and up to the height a + $\sum h_i$		
Screens of bulwarks 1.5 m or more in height above the deck at side are to be regarded as parts of houses when determining h_i and A.		
Δ =	2826.8	t
T =	4.1	m
$h_{u/d}$ =	10.5	m
a =	6.4	m
B =	14.2	m
A =	854.923	m ²
<u>2nd Floor</u>		
h_i =	2.4	m
b_i =	14	m
Θ_i =	55	[°]
A =	27.524	m ²
<u>3rd Floor</u>		
h_i =	2.6	m
b_i =	8.2	m
Θ_i =	55	[°]
A =	17.464	m ²
EN =	557.151	
According to Table 18.1 for $550 \leq EN < 600$		
<u>Anchors</u>		
Number	2	
Mass	1740	kg/anchor
Length	440	m
<u>Towline</u>		
Length	190	m
Breaking Load	340	kN
<u>Mooring Ropes</u>		
Number	4	
Length	160	m
Breaking Load	130	kN

5.3 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ – Εκτίμηση βάρους μεταλλικής κατασκευής βάσει των υπολογισθέντων στοιχείων

Tank Top Plate			Longitudinal Stiffeners (T90x8+90x10)			Transverse Stiffeners (T100x10+100x12)					
A =	301.314	m ²	A =	0.002	m ²	A =	0.002	m ²			
t =	6	mm	V =	0.774	m ³	V =	0.586	m ³			
V =	1.808	m ³	W =	6.035	t	W =	4.573	t			
W =	14.102	t									
Tank Side Plate			Longitudinal Stiffeners (T90x8+90x10)			Transverse Stiffeners (T100x10+100x12)					
A =	406.974	m ²	N =	2	per side	N =	51	per side			
t =	6	mm	A =	0.002	m ²	A =	0.002	m ²			
V =	2.442	m ³	V =	0.499	m ³	V =	0.463	m ³			
W =	19.046	t	W =	3.895	t	W =	3.614	t			
Third Deck Plate			Primary Longitudinal Stiffeners (T300x15+180x20)			Transverse Stiffeners (T100x8+100x10)			Secondary Longitudinal Stiffeners (T60x6+50x6)		
A =	323.299	m ²	A =	0.008	m ²	A =	0.002	m ²	A =	0.001	m ²
t =	5	mm	V =	1.966	m ³	V =	0.258	m ³	V =	0.174	m ³
V =	1.616	m ³	W =	15.337	t	W =	2.012	t	W =	1.359	t
W =	12.609	t									

Second Deck Plate			Primary Longitudinal Stiffeners (T300x15+180x20)			Transverse Stiffeners (T100x8+100x10)			Secondary Longitudinal Stiffeners (T60x6+50x6)		
A =	900.597	m ²	A =	0.008	m ²	A =	0.002	m ²	A =	0.001	m ²
t =	5	mm	V =	3.639	m ³	V =	1.177	m ³	V =	1.007	m ³
V =	4.503	m ³	W =	28.382	t	W =	9.179	t	W =	7.857	t
W =	35.123	t									
Main Deck Plate (Protected)			Primary Longitudinal Stiffeners (T300x15+180x20)			Transverse Stiffeners (T100x8+100x10)			Secondary Longitudinal Stiffeners (T60x6+50x6)		
A =	692.474	m ²	A =	0.008	m ²	A =	0.002	m ²	A =	0.001	m ²
t =	5	mm	V =	2.641	m ³	V =	0.807	m ³	V =	0.573	m ³
V =	3.462	m ³	W =	20.599	t	W =	6.296	t	W =	4.473	t
W =	27.007	t									
Main Deck Plate (Heliport)			Primary Longitudinal Stiffeners (T300x15+180x20)			Transverse Stiffeners (T100x8+100x10)			Secondary Longitudinal Stiffeners (T100x8+80x8)		
A =	366.144	m ²	N =	7		N =	16		N =	18	
t =	15	mm	A =	0.008	m ²	A =	0.002	m ²	A =	0.001	m ²
V =	5.492	m ³	V =	1.372	m ³	V =	0.438	m ³	V =	0.627	m ³
W =	42.839	t	W =	10.703	t	W =	3.415	t	W =	4.893	t

Main Deck Plate (Hangar)			Primary Longitudinal Stiffeners (T200x10+100x10)			Transverse Stiffeners (T80x8+80x10)			Secondary Longitudinal Stiffeners (T100x8+80x8)		
A =	287.715	m ²	N =	7		N =	13		N =	18	
t =	15	mm	A =	0.003	m ²	A =	0.001	m ²	A =	0.001	m ²
V =	4.316	m ³	V =	0.416	m ³	V =	0.285	m ³	V =	0.513	m ³
W =	33.6627	t	W =	3.243	t	W =	2.219	t	W =	4.003	t
First Floor Plate (Protected)			Primary Longitudinal Stiffeners (T30x15+180x20)			Transverse Stiffeners (T100x8+100x10)			Secondary Longitudinal Stiffeners (T60x6+50x6)		
A =	535.627	m ²	A =	0.0081	m ²	A =	0.002	m ²	A =	0.001	m ²
t =	5	mm	V =	2.187	m ³	V =	0.687	m ³	V =	0.470	m ³
V =	3.071	m ³	W =	17.055	t	W =	5.361	t	W =	3.669	t
W =	23.952	t									
First Floor Plate (Mooring Deck)			Primary Longitudinal Stiffeners (T300x15+200x20)			Transverse Stiffeners (T100x10+100x10)			Secondary Longitudinal Stiffeners (T60x6+60x6)		
A =	256.695	m ²	A =	0.009	m ²	A =	0.002	m ²	A =	0.001	m ²
t =	5	mm	V =	0.638	m ³	V =	0.282	m ³	V =	0.172	m ³
V =	1.283	m ³	W =	4.975	t	W =	2.200	t	W =	1.338	t
W =	10.011	t									

First Floor Plate (Oto Melara Basement)			Primary Longitudinal Stiffeners (T300x15+200x20)		Transverse Stiffeners (T300x15+200x20)		Secondary Longitudinal Stiffeners (T60x6+60x6)	
A =	10.561	m ²	A =	0.009	m ²	A =	0.009	m ²
t =	20	mm	V =	0.280	m ³	V =	0.355	m ³
V =	0.441	m ³	W =	2.184	t	W =	2.767	t
W =	3.438	t						
Second Floor Plate (Protected)			Primary Longitudinal Stiffeners (T300x15+180x20)		Transverse Stiffeners (T100x8+100x10)		Secondary Longitudinal Stiffeners (T60x6+50x6)	
A =	317.925	m ²	A =	0.0081	m ²	A =	0.002	m ²
t =	5	mm	V =	1.200	m ³	V =	0.358	m ³
V =	1.590	m ³	W =	9.360	t	W =	2.793	t
W =	12.399	t						
Second Floor Plate (Exposed)			Primary Longitudinal Stiffeners (T300x15+180x20)		Transverse Stiffeners (T120x10+100x12)		Secondary Longitudinal Stiffeners (T60x6+60x6)	
A =	313.567	m ²	A =	0.008	m ²	A =	0.002	m ²
t =	5	mm	V =	2.213	m ³	V =	0.389	m ³
V =	1.568	m ³	W =	17.259	t	W =	3.034	t
W =	12.229	t						

Second Floor Plate (Guns)												
A =	36.042	m ²										
t =	20	mm										
V =	0.721	m ³										
W =	5.623	t										
Third Floor Plate (Exposed)												
Third Floor Plate (Exposed)			Primary Longitudinal Stiffeners (T200x15+180x20)				Transverse Stiffeners (T80x8+80x8)			Secondary Longitudinal Stiffeners (T60x6+60x6)		
A =	251.093	m ²	A =	0.007	m ²	A =	0.001	m ²	A =	0.001	m ²	
t =	5	mm	V =	0.578	m ³	V =	0.207	m ³	V =	0.219	m ³	
V =	1.255	m ³	W =	4.505	t	W =	1.618	t	W =	1.706	t	
W =	9.793	t										
Side Shell (1.5m ≤ z ≤ 3.2m)												
Side Shell (1.5m ≤ z ≤ 3.2m)			Longitudinal Stiffeners (T100x10+80x10)			Transverse Stiffeners (T200x10+100x12)						
A =	332.784	m ²	N =	3	per side	N =	56	per side				
t =	9	mm	A =	0.002	m ²	A =	0.003	m ²				
V =	2.995	m ³	V =	0.826	m ³	V =	0.898	m ³				
W =	23.361	t	W =	6.440	t	W =	7.006	t				

Side Shell ($3.2m \leq z \leq 5.5m$)			Longitudinal Stiffeners (T100x10+80x10)		Transverse Stiffeners (T220x8+100x10)	
A =	746.328	m ²	A =	0.005	m ²	N = 62 per side
t =	9	mm	V =	1.054	m ³	A = 0.003 m ²
V =	6.717	m ³	W =	8.221	t	V = 0.861 m ³
W =	52.392	t				W = 6.714 t
Side Shell ($5.5m \leq z \leq 7.9m$)			Longitudinal Stiffeners (T100x10+80x10)		Transverse Stiffeners (T220x8+100x10)	
A =	407.993	m ²	N =	3	per side	N = 65 per side
t =	8	mm	A =	0.002	m ²	A = 0.003 m ²
V =	3.264	m ³	V =	1.109	m ³	V = 0.825 m ³
W =	25.459	t	W =	8.648	t	W = 6.437 t
Side Shell ($7.9m \leq z \leq 10.5m$)			Longitudinal Stiffeners (T100x7+70x8)		Transverse Stiffeners (T150x10+100x12)	
A =	344.090	m ²	N =	4	per side	N = 48 per side
t =	7	mm	A =	0.001	m ²	A = 0.003 m ²
V =	2.409	m ³	V =	1.069	m ³	V = 0.657 m ³
W =	18.787	t	W =	8.339	t	W = 5.123 t

Side Shell (10.5m ≤ z ≤ 12.9m)			Longitudinal Stiffeners(T60x6+50x6)			Transverse Stiffeners (T80x8+80x8)		
A =	233.892	m ²	N =	3	per side	N =	34	per side
t =	5	mm	A =	0.001	m ²	A =	0.001	m ²
V =	1.169	m ³	V =	0.329	m ³	V =	0.201	m ³
W =	9.122	t	W =	2.565	t	W =	1.571	t
Side Shell (12.9m ≤ z ≤ 15.5m)			Longitudinal Stiffeners (T60x5+50x5)			Transverse Stiffeners (T80x6+80x8)		
A =	266.931	m ²	N =	4	per side	N =	23	per side
t =	5	mm	A =	0.001	m ²	A =	0.001	m ²
V =	1.335	m ³	V =	0.226	m ³	V =	0.133	m ³
W =	10.410	t	W =	1.763	t	W =	1.034	t
Exposed front 2nd Floor			Primary Vertical Stiffeners (T100x6+80x8)			Secondary Vertical Stiffeners (T80x6+60x8)		
A =	47.348	m ²	N =	5		N =	18	
t =	5	mm	A =	0.001	m ²	A =	0.001	m ²
V =	0.237	m ³	V =	0.018	m ³	V =	0.051	m ³
W =	1.847	t	W =	0.141	t	W =	0.394	t

Exposed front 2rd Floor			Primary Vertical Stiffeners (T80x6+60x8)			Secondary Vertical Stiffeners (T60x5+50x5)		
A =	58.507	m ²	N =	7		N =	18	
t =	5	mm	A =	0.001	m ²	A =	0.001	m ²
V =	0.293	m ³	V =	0.021	m ³	V =	0.031	m ³
W =	2.282	t	W =	0.166	t	W =	0.245	t
Exposed Aft 1st Floor			Primary Vertical Stiffeners (T100x8+100x8)/(T200x10+100x10)			Secondary Vertical Stiffeners (T80x6+60x8)		
A =	22.238	m ²	N =	4		N =	10	
t =	5	mm	A =	0.002	m ²	A =	0.001	m ²
V =	0.111	m ³	V =	0.047	m ³	V =	0.032	m ³
W =	0.867	t	W =	0.364	t	W =	0.252	t
Exposed Aft 2nd Floor			Primary Vertical Stiffeners (T100x6+80x8)/(T200x10+100x10)			Secondary Vertical Stiffeners (T60x6+80x8)		
A =	8.419	m ²	N =	3		N =	6	
t =	5	mm	A =	0.001	m ²	A =	0.001	m ²
V =	0.042	m ³	V =	0.024	m ³	V =	0.015	m ³
W =	0.328	t	W =	0.191	t	W =	0.119	t

Exposed Aft 3rd Floor			Primary Vertical Stiffeners (T80x6+60x8)			Secondary Vertical Stiffeners (T60x5+50x5)		
A =	13.100	m ²	N =	1		N =	6	
t =	5	mm	A =	0.001	m ²	A =	0.001	m ²
V =	0.066	m ³	V =	0.010	m ³	V =	0.009	m ³
W =	0.511	t	W =	0.076	t	W =	0.067	t
Exposed Aft Shell			Vertical Stiffeners (T220x8+100x10)					
A =	60.946	m ²	A =	0.003	m ²			
t =	9	mm	V =	0.281	m ³			
V =	0.549	m ³	W =	2.194	t			
W =	4.278	t						
Watertight Bulkheads			Vertical Stiffeners (T120x8+120x12)					
A =	1084.965	m ²	A =	0.002	m ²			
t =	5	mm	V =	4.343	m ³			
V =	5.425	m ³	W =	33.872	t			
W =	42.314	t						

Engine Room Casing			Vertical Stiffeners (T40x5+40x5)		
A =	264.624	m ²	A =	0.000	m ²
t =	5	mm	V =	0.087	m ³
V =	1.323	m ³	W =	0.678	t
W =	10.320	t			
Internal Superstructure BHDs			Vertical Stiffeners (T40x5+40x5)		
t =	5	mm	A =	0.000	m ²
V =	3.627	m ³	V =	0.277	m ³
W =	28.289	t	W =	2.160	t
Total Weight = 1045.8 t					
W_{st1} = 1060.5 t					
W_{st2} = 1184.9 t					
Average W_{st} = 1122.7 t					

5.4 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ – Υπολογισμός ροπής αντίστασης (section modulus) και ροπής αδράνειας (moment of inertia) μέσης τομής

Areas		Moments			Io	I + Io		
	Area	Moment	2 nd Moment					
	A (cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)		
Table 01 Results	3,834.12	2,122,748.53	1,708,811,041.77	2,362,377.97	1,711,173,419.74			
Table 02 Results	9,653.84	4,789,482.06	2,445,410,667.09	831,694,025.72	3,277,104,692.81			
Table 03 Results	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Table 04 Results	1,876.97	1,190,751.06	927,803,061.98	3,946,376.59	931,749,438.57			
TOTAL VALUES	15,364.93	8,102,981.65	5,082,024,770.84	838,002,780.29	5,920,027,551.12			
SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE						
Table 01	Item's ID	part No	Pieces in Full Section	Dimensions		Levers		
				width	height	Item's Lever	Item's distance of lowest point from B.L.	Item's Lever from B.L.
	Horizontal or Vertical Items ONLY		w (mm)	he (mm)	y (mm)	h (mm)	Y (mm)	
1	Centre Keelson		2.0	2.50	1500.00	750.00	0.00	750.00
2	Side Keelson 1		2.0	5.00	1078.00	539.00	414.00	953.00
3	Side Keelson 2		2.0	5.00	449.00	224.50	1043.00	1267.50
4	Bottom Long Stiffener 1-Web		2.0	12.00	150.00	75.00	69.00	144.00
5	Bottom Long Stiffener 1-Flange		2.0	120.00	12.00	6.00	219.00	225.00
6	Bottom Long Stiffener 2-Web		2.0	12.00	150.00	75.00	152.00	227.00
7	Bottom Long Stiffener 2-Flange		2.0	120.00	12.00	6.00	303.00	309.00
8	Bottom Long Stiffener 3-Web		2.0	12.00	150.00	75.00	267.00	342.00
9	Bottom Long Stiffener 3-Flange		2.0	120.00	12.00	6.00	419.00	425.00
10	Bottom Long Stiffener 4-Web		2.0	12.00	150.00	75.00	589.00	664.00
11	Bottom Long Stiffener 4-Flange		2.0	120.00	12.00	6.00	741.00	747.00
12	Bottom Long Stiffener 5-Web		2.0	12.00	150.00	75.00	786.00	861.00
13	Bottom Long Stiffener 5-Flange		2.0	120.00	12.00	6.00	938.00	944.00
14	Side Keelson 3		2.0	5.00	115.00	57.50	1377.00	1434.50
15	Inner Bottom Plate		2.0	4990.00	7.00	3.50	1493.00	1496.50

Table 01	Areas		Moments				
	Item's Area	Area	Moment	2 nd Moment	Item's Io	Io	I + Io
	a	A			(bh ³ /12)		(cm ⁴)
	(cm ²)	(cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
1	37.50	75.00	5625.00	421875.00	70312.50	140625.00	562500.00
2	53.90	107.80	10273.34	979049.30	52196.94	104393.88	1083443.18
3	22.45	44.90	5691.08	721343.76	3771.62	7543.24	728886.99
4	18.00	36.00	518.40	7464.96	337.50	675.00	8139.96
5	14.40	28.80	648.00	14580.00	1.73	3.46	14583.46
6	18.00	36.00	817.20	18550.44	337.50	675.00	19225.44
7	14.40	28.80	889.92	27498.53	1.73	3.46	27501.98
8	18.00	36.00	1231.20	42107.04	337.50	675.00	42782.04
9	14.40	28.80	1224.00	52020.00	1.73	3.46	52023.46
10	18.00	36.00	2390.40	158722.56	337.50	675.00	159397.56
11	14.40	28.80	2151.36	160706.59	1.73	3.46	160710.05
12	18.00	36.00	3099.60	266875.56	337.50	675.00	267550.56
13	14.40	28.80	2718.72	256647.17	1.73	3.46	256650.62
14	5.75	11.50	1649.68	236645.88	63.37	126.74	236772.62
15	349.30	698.60	104545.49	15645232.58	14.26	28.53	15645261.10
		1261.80	143473.38	19009319.36		256109.66	19265429.03

SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE						
Table 01	Item's ID	part No	Pieces in Full Section	Dimensions		Levers		
	Horizontal or Vertical Items ONLY			width	height	Item's Lever	Item's distance of lowest point from B.L.	Item's Lever from B.L.
				w (mm)	he (mm)	y (mm)	h (mm)	Y (mm)
16	Inner Bottom Long Stiffener-Web		8.0	7.00	50.00	25.00	1443.00	1468.00
17	Inner Bottom Long Stiffener-Flange		8.0	50.00	7.00	3.50	1436.00	1439.50
18	Inner Bottom Girder-Web		2.0	10.00	200.00	100.00	1293.00	1393.00
19	Inner Bottom Girder-Flange		2.0	180.00	20.00	10.00	1273.00	1283.00
20						0.00		0.00
21						0.00		0.00
22						0.00		0.00
23						0.00		0.00
24						0.00		0.00
25						0.00		0.00
26	2nd Deck Long Stiffener-Web		12.0	6.00	60.00	30.00	5436.00	5466.00
27	2nd Deck Long Stiffener-Flange		12.0	50.00	6.00	3.00	5430.00	5433.00
28	2nd Deck Long Girder-Web		6.0	15.00	300.00	150.00	5196.00	5346.00
29	2nd Deck Long Girder-Flange		6.0	180.00	20.00	10.00	5176.00	5186.00
30	Main Deck Long Girder 1-Web		2.0	15.00	300.00	150.00	7726.00	7876.00

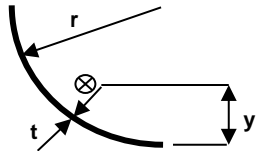
Table 01	Areas		Moments				
	Item's Area	Area	Moment	2 nd Moment	Item's Io	Io	I + Io
	a	A			(bh ³ /12)		(cm ⁴)
	(cm ²)	(cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
16	3.50	28.00	4110.40	603406.72	7.29	58.33	603465.05
17	3.50	28.00	4030.60	580204.87	0.14	1.14	580206.01
18	20.00	40.00	5572.00	776179.60	666.67	1333.33	777512.93
19	36.00	72.00	9237.60	1185184.08	12.00	24.00	1185208.08
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	3.60	43.20	23613.12	12906931.39	10.80	129.60	12907060.99
27	3.00	36.00	19558.80	10626296.04	0.09	1.08	10626297.12
28	45.00	270.00	144342.00	77165233.20	3375.00	20250.00	77185483.20
29	36.00	216.00	112017.60	58092327.36	12.00	72.00	58092399.36
30	45.00	90.00	70884.00	55828238.40	3375.00	6750.00	55834988.40
		823.20	393366.12	217764001.66		28619.49	217792621.15

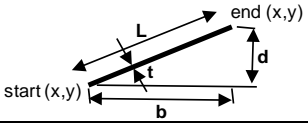
SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE						
Table 01	Item's ID	part No	Pieces in Full Section	Dimensions		Levers		
	Horizontal or Vertical Items ONLY			width	height	Item's Lever	Item's distance of lowest point from B.L.	Item's Lever from B.L.
				w (mm)	he (mm)	y (mm)	h (mm)	Y (mm)
31	Main Deck Long Girder 1-Flange		2.0	180.00	20.00	10.00	7726.00	7736.00
32	Main Deck Long Girder 2-Web		2.0	15.00	300.00	150.00	7672.58	7822.58
33	Main Deck Long Girder 2-Flange		2.0	20.00	180.00	90.00	7650.43	7740.43
34	Main Deck Long Girder 3-Web		2.0	15.00	300.00	150.00	7623.93	7773.93
35	Main Deck Long Girder 3-Flange		2.0	20.00	180.00	90.00	7601.69	7691.69
36	Main Deck Engine Room Casing		2.0	4.00	2446.00	1223.00	8050.19	9273.19
37	2nd Deck Engine Room Casing		2.0	4.00	2523.00	1261.50	5500.00	6761.50
38	Main Deck Long Stiffener 1-Web		2.0	6.00	60.00	30.00	7847.64	7877.64
39	Main Deck Long Stiffener 1-Flange		2.0	50.00	6.00	3.00	7841.64	7844.64
40	Main Deck Long Stiffener 2-Web		2.0	6.00	60.00	30.00	7879.04	7909.04
41	Main Deck Long Stiffener 2-Flange		2.0	50.00	6.00	3.00	7873.04	7876.04
42	Main Deck Long Stiffener 3-Web		2.0	6.00	60.00	30.00	7894.73	7924.73
43	Main Deck Long Stiffener 3-Flange		2.0	50.00	6.00	3.00	7888.73	7891.73
44	Main Deck Long Stiffener 4-Web		2.0	6.00	60.00	30.00	7926.13	7956.13
45	Main Deck Long Stiffener 4-Flange		2.0	50.00	6.00	3.00	7920.13	7923.13

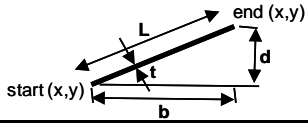
Table 01	Areas		Moments				
	Item's Area	Area	Moment	2 nd Moment	Item's Io	Io	I + Io
	a	A			(bh ³ /12)		(cm ⁴)
	(cm ²)	(cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
31	36.00	72.00	55699.20	43088901.12	12.00	24.00	43088925.12
32	45.00	90.00	70403.19	55073432.79	3375.00	6750.00	55080182.79
33	36.00	72.00	55731.09	43138252.48	972.00	1944.00	43140196.48
34	45.00	90.00	69965.34	54390548.30	3375.00	6750.00	54397298.30
35	36.00	72.00	55380.18	42596721.73	972.00	1944.00	42598665.73
36	97.84	195.68	181457.80	168269274.28	487807.08	975614.17	169244888.45
37	100.92	201.84	136474.12	92276973.53	535340.99	1070681.98	93347655.51
38	3.60	7.20	5671.90	4468123.80	10.80	21.60	4468145.40
39	3.00	6.00	4706.79	3692306.37	0.09	0.18	3692306.55
40	3.60	7.20	5694.51	4503805.69	10.80	21.60	4503827.29
41	3.00	6.00	4725.62	3721916.96	0.09	0.18	3721917.14
42	3.60	7.20	5705.81	4521699.85	10.80	21.60	4521721.45
43	3.00	6.00	4735.04	3736766.61	0.09	0.18	3736766.79
44	3.60	7.20	5728.41	4557594.72	10.80	21.60	4557616.32
45	3.00	6.00	4753.88	3766554.68	0.09	0.18	3766554.86
		846.32	666832.86	531802872.90		2063795.27	533866668.17

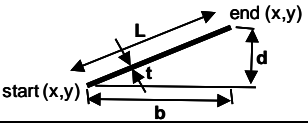
SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE							
Table 01	Item's ID	part No	Pieces in Full Section	Dimensions		Levers			
	Horizontal or Vertical Items ONLY			width	height	Item's Lever	Item's distance of lowest point from B.L.	Item's Lever from B.L.	
				w (mm)	he (mm)	y (mm)	h (mm)	Y (mm)	
46	Main Deck Long Stiffener 5-Web		2.0	6.00	60.00	30.00	7941.82	7971.82	
47	Main Deck Long Stiffener 5-Flange		2.0	50.00	6.00	3.00	7935.82	7938.82	
48	Main Deck Long Stiffener 6-Web		2.0	6.00	60.00	30.00	7957.52	7987.52	
49	Main Deck Long Stiffener 6-Flange		2.0	50.00	50.00	25.00	7951.52	7976.52	
50	Main Deck Long Stiffener 7-Web		2.0	6.00	60.00	30.00	7973.21	8003.21	
51	Main Deck Long Stiffener 7-Flange		2.0	50.00	6.00	3.00	7967.21	7970.21	
52	First Floor Plate		2.0	5200.00	4.00	2.00	10496.00	10498.00	
53	First Floor Long Girder -Web		4.0	15.00	300.00	150.00	10196.00	10346.00	
54	First Floor Long Girder -Flange		4.0	180.00	20.00	10.00	10176.00	10186.00	
55	First Floor Long Stiffener -Web		12.0	6.00	60.00	30.00	10436.00	10466.00	
56	First Floor Long Stiffener -Flange		12.0	50.00	6.00	3.00	10430.00	10433.00	
57						0.00		0.00	
58						0.00		0.00	
59						0.00		0.00	
60						0.00		0.00	

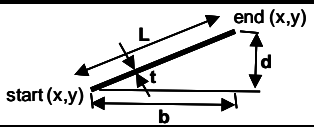
Table 01	Areas		Moments				
	Item's Area	Area	Moment	2 nd Moment	Item's Io	Io	I + Io
	a	A			(bh ³ /12)		(cm ⁴)
	(cm ²)	(cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
46	3.60	7.20	5739.71	4575595.31	10.80	21.60	4575616.91
47	3.00	6.00	4763.29	3781493.02	0.09	0.18	3781493.20
48	3.60	7.20	5751.01	4593631.38	10.80	21.60	4593652.98
49	25.00	50.00	39882.59	31812415.71	52.08	104.17	31812519.88
50	3.60	7.20	5762.31	4611702.93	10.80	21.60	4611724.53
51	3.00	6.00	4782.13	3811458.39	0.09	0.18	3811458.57
52	208.00	416.00	436716.80	458465296.64	2.77	5.55	458465302.19
53	45.00	180.00	186228.00	192671488.80	3375.00	13500.00	192684988.80
54	36.00	144.00	146678.40	149406618.24	12.00	48.00	149406666.24
55	3.60	43.20	45213.12	47320051.39	10.80	129.60	47320180.99
56	3.00	36.00	37558.80	39185096.04	0.09	1.08	39185097.12
57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		902.80	919076.17	940234847.84		13853.55	940248701.40

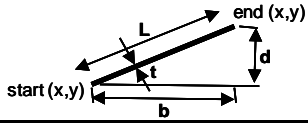
SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE					
Table 02	A ₁ Type - Round Item ID	Pieces in Full Section	Dimensions		Levers		
			Radius	Thickness	Item's Lever	Item's Lowest point Distance from B.L.	Item's Lever from B.L.
			r	t	y	h	Y
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	Bottom Plate (0÷1.5m)	2.0	12804.90	10.00	4653.05	67.35	4720.39
2	Side Shell Plate -1 (1.5÷3.2m)	2.0	6518.62	10.00	2368.74	1500.00	3868.74
3	Side Shell Plate -2 (3.2÷4.1m)	2.0	5558.81	10.00	2019.96	3200.00	5219.96
4	Side Shell Plate -3 (4.1÷5.5m)	2.0	6496.43	9.00	2360.68	4100.00	6460.68
5					0.00		0.00
Table 02	Areas		Moments				
	Item's Area	Area	Moment	I 2 nd Moment	Item's I _o	I _o	I + I _o
	a	A					
	(cm ²)	(cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
1	2011.39	4022.78	1898908.22	896359072.81	312369077.10	624738154.19	1521097227.00
2	1023.94	2047.89	792273.63	306509983.09	41210470.37	82420940.75	388930923.84
3	873.18	1746.35	911587.98	475845301.94	25555503.03	51111006.06	526956308.00
4	918.41	1836.82	1186712.22	766696309.25	36711962.36	73423924.72	840120233.97
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		9653.84	4789482.06	2445410667.09		831694025.72	3277104692.81

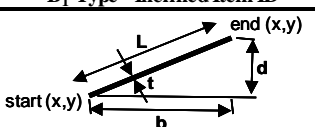
SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE						
Table 04	B₁ Type - Inclined Item ID	Pieces in Full Section	Coordinates				Thickness	
			Start - x	Start - y	End - x	End - y		
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
1	Flat Keel Plate	2.0	0.00	0.00	600.00	57.41	12.00	
2	Main Deck	2.0	1900.00	8046.29	7600.00	7900.00	4.00	
3	Side Shell Plate-4 (5.5÷7.9m)	2.0	7434.00	5500.00	7600.00	7900.00	8.00	
4	Side Shell Plate-5 (7.9÷10.5m)	2.0	7600.00	7900.00	7105.00	10500.00	7.00	
5	Side Shell Stiffener 1-Web	2.0	5483.40	1866.88	5413.50	1937.89	8.00	
Table 04				Dimensions			Levers	
	Calculated Length	Calculated Angle (absolute value)	Calculated Depth (absolute value)	Entered Length	Entered Depth	Item's Lowest point Distance from B.L.	Item's Lever	Item's Lever from B.L.
	L	φ	d	L	d	h	y	Y
	(mm)	(deg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	602.74	5.47	57.41			0.00	28.70	28.70
2	5701.88	1.47	146.29			7896.01	73.15	7822.86
3	2405.73	86.04	2400.00			5500.00	1200.00	6700.00
4	2646.70	79.22	2600.00			7900.00	1300.00	9200.00
5	99.64	45.45	71.01			1866.88	35.50	1902.39
Table 04	Areas		Moments					
	Item's Area	Area	Moment	I 2 nd Moment	Item's I _o	I _o	I + I _o	
	a	A						
	(cm ²)	(cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	
1	72.33	144.66	415.22	1191.82	198.64	397.27	1589.09	
2	228.08	456.15	356839.88	279150844.48	4067.70	8135.40	279158979.88	
3	192.46	384.92	257894.68	172789437.64	923801.85	1847603.70	174637041.34	
4	185.27	370.54	340895.06	313623455.20	1043682.34	2087364.68	315710819.88	
5	7.97	15.94	3032.89	576973.48	33.49	66.99	577040.46	
		1372.21	959077.74	766141902.62		3943568.04	770085470.66	

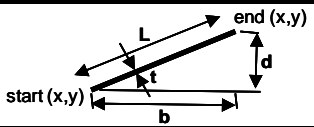
SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE						
Table 04	B₁ Type - Inclined Item ID	Pieces in Full Section	Coordinates				Thickness	
			Start - x	Start - y	End - x	End - y		
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
						t (mm)		
6	Side Shell Stiffener 1-Flange	2.0	5386.81	1913.73	5445.89	1967.67	10.00	
7	Side Shell Stiffener 2-Web	2.0	5911.46	2251.55	5841.31	2322.82	8.00	
8	Side Shell Stiffener 2-Flange	2.0	5815.65	2297.56	5872.66	2353.68	10.00	
9	Side Shell Stiffener 3-Web	2.0	6314.79	2694.13	6243.66	2766.38	8.00	
10	Side Shell Stiffener 3-Flange	2.0	6218.01	2741.13	6275.02	2797.25	10.00	
Table 04				Dimensions		Levers		
	Calculated Length	Calculated Angle (absolute value)	Calculated Depth (absolute value)	Entered Length	Entered Depth	Item's Lowest point Distance from B.L.	Item's Lever	Item's Lever from B.L.
	L (mm)	φ (deg)	d (mm)	L (mm)	d (mm)	h (mm)	y (mm)	Y (mm)
6	80.00	42.40	53.94			1913.73	26.97	1940.70
7	100.00	45.45	71.26			2251.55	35.63	2287.18
8	80.00	44.55	56.12			2297.56	28.06	2325.62
9	101.38	45.45	72.25			2694.13	36.12	2730.26
10	80.00	44.55	56.12			2741.13	28.06	2769.19
Table 04	Areas		Moments					
	Item's Area	Area	Moment	I 2 nd Moment	Item's I _o	I _o	I + I _o	
	a (cm ²)	A (cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	
6	8.00	16.00	3105.11	602608.04	19.40	38.79	602646.83	
7	8.00	16.00	3659.50	836993.98	33.86	67.71	837061.69	
8	8.00	16.00	3720.99	865362.16	21.00	42.00	865404.16	
9	8.11	16.22	4428.80	1209176.06	35.28	70.56	1209246.62	
10	8.00	16.00	4430.70	1226943.80	21.00	42.00	1226985.80	
		80.22	19345.10	4741084.04		261.06	4741345.10	

SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE						
Table 04	B₁ Type - Inclined Item ID		Pieces in Full Section	Coordinates				Thickness
				Start - x	Start - y	End - x	End - y	
				(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
							t (mm)	
11	Side Shell Stiffener 4-Web	2.0	6981.96	3725.70	6893.14	3771.66	8.00	
12	Side Shell Stiffener 4-Flange	2.0	6876.60	3739.68	6913.36	3810.73	10.00	
13	Side Shell Stiffener 5-Web	2.0	7206.99	4271.33	7113.66	4307.42	10.00	
14	Side Shell Stiffener 5-Flange	2.0	7103.66	4273.90	7126.53	4350.56	10.00	
15	Side Shell Stiffener 6-Web	2.0	7344.64	4855.12	7245.48	4862.98	10.00	
Table 04				Dimensions			Levers	
	Calculated Length	Calculated Angle (absolute value)	Calculated Depth (absolute value)	Entered Length	Entered Depth	Item's Lowest point Distance from B.L.	Item's Lever	Item's Lever from B.L.
	L	φ	d	L	d	h	y	Y
	(mm)	(deg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
11	100.00	27.36	45.96			3725.70	22.98	3748.68
12	80.00	62.64	71.05			3739.68	35.53	3775.21
13	100.06	21.14	36.09			4271.33	18.05	4289.38
14	80.00	73.39	76.66			4273.90	38.33	4312.23
15	99.47	4.53	7.86			4855.12	3.93	4859.05
Table 04	Areas		Moments					
	Item's Area	Area	Moment	I 2 nd Moment	Item's I _o	I _o	I + I _o	
	a	A						
	(cm ²)	(cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	
11	8.00	16.00	5997.89	2248414.25	14.08	28.16	2248442.41	
12	8.00	16.00	6040.33	2280351.59	33.66	67.31	2280418.91	
13	10.01	20.01	8584.16	3682069.97	10.86	21.72	3682091.70	
14	8.00	16.00	6899.56	2975247.25	39.18	78.36	2975325.61	
15	9.95	19.89	9666.46	4696983.62	0.51	1.02	4696984.65	
		87.91	37188.41	15883066.68		196.58	15883263.26	

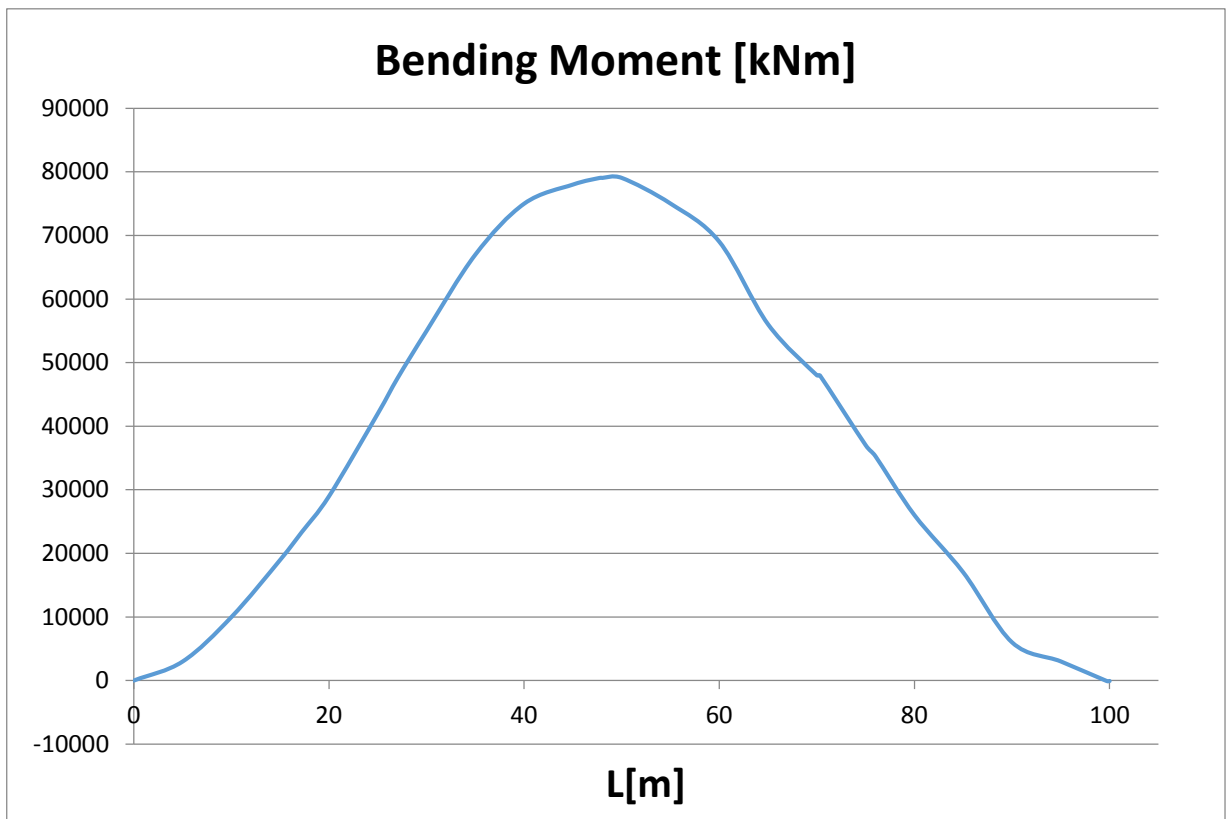
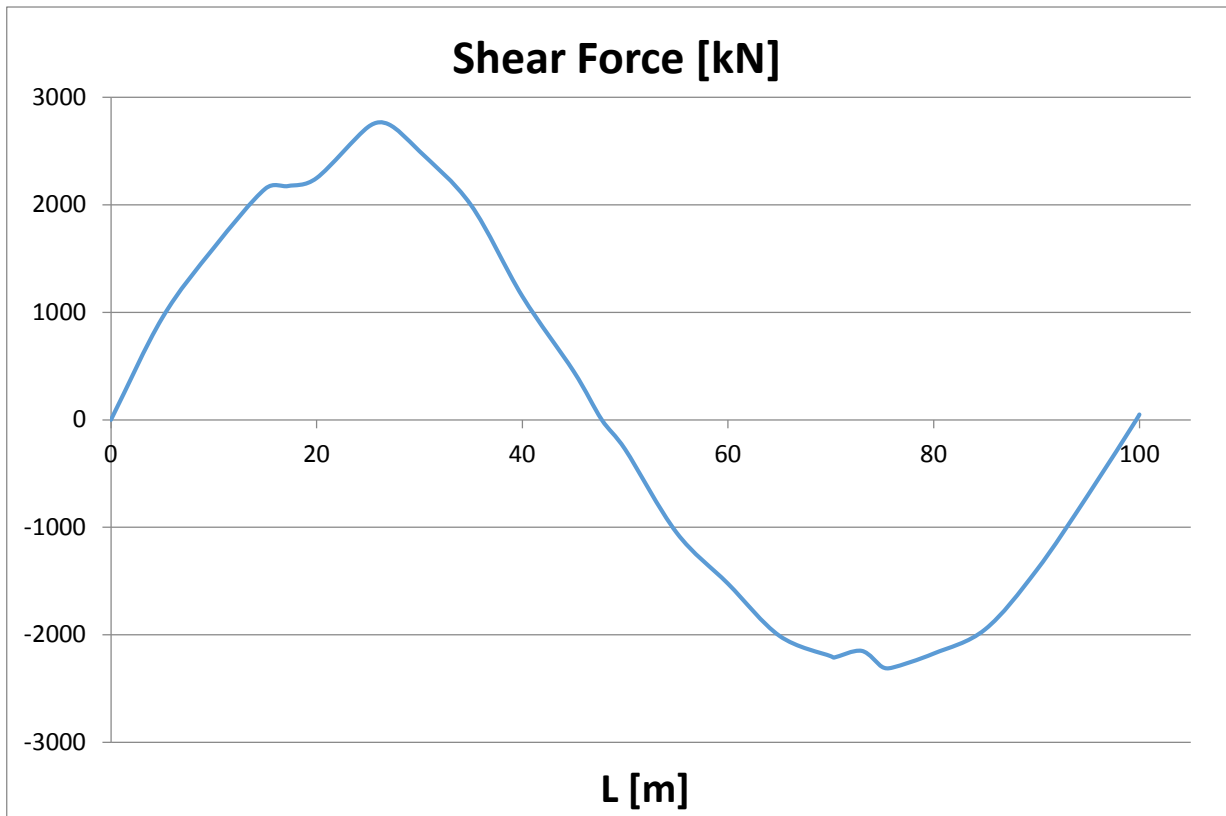
SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE						
Table 04	B₁ Type - Inclined Item ID	Pieces in Full Section	Coordinates				Thickness	
			Start - x	Start - y	End - x	End - y		
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
						t (mm)		
16	Side Shell Stiffener 6-Flange	2.0	7242.72	4828.09	7249.04	4907.84	10.00	
17	Side Shell Stiffener 7-Web	2.0	7492.05	6092.35	7394.05	6113.24	10.00	
18	Side Shell Stiffener 7-Flange	2.0	7389.49	6078.56	7399.93	6157.87	10.00	
19	Side Shell Stiffener 8-Web	2.0	7542.19	6701.82	7443.11	6713.88	10.00	
20	Side Shell Stiffener 8-Flange	2.0	7444.16	6678.93	7445.00	6758.86	10.00	
Table 04				Dimensions		Levers		
	Calculated Length	Calculated Angle (absolute value)	Calculated Depth (absolute value)	Entered Length	Entered Depth	Item's Lowest point Distance from B.L.	Item's Lever	Item's Lever from B.L.
	L	φ	d	L	d	h	y	Y
	(mm)	(deg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
16	80.00	85.47	79.75		4828.09	39.88	4867.96	
17	100.20	12.03	20.89		6092.35	10.44	6102.80	
18	80.00	82.50	79.32		6078.56	39.66	6118.21	
19	99.81	6.94	12.07		6701.82	6.03	6707.85	
20	79.93	89.40	79.93		6678.93	39.96	6718.90	
Table 04	Areas		Moments					
	Item's Area	Area	Moment	I 2 nd Moment	Item's I _o	I _o	I + I _o	
	a	A						
	(cm ²)	(cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	
16	8.00	16.00	7788.74	3791531.72	42.40	84.80	3791616.52	
17	10.02	20.04	12229.94	7463684.99	3.64	7.29	7463692.28	
18	8.00	16.00	9789.15	5989209.85	41.94	83.88	5989293.73	
19	9.98	19.96	13390.82	8982365.95	1.21	2.42	8982368.37	
20	7.99	15.99	10741.28	7216956.40	42.56	85.11	7217041.51	
		87.99	53939.94	33443748.91		263.50	33444012.41	

SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE						
Table 04		Pieces in Full Section	Coordinates				Thickness	
			Start - x	Start - y	End - x	End - y		
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
			t	(mm)				
21	Side Shell Stiffener 9-Web	2.0	7589.58	7299.94	7490.64	7313.72	10.00	
22	Side Shell Stiffener 9-Flange	2.0	7488.56	7278.80	7493.31	7358.66	10.00	
23	Side Shell Stiffener 10-Web	2.0	7517.52	8484.20	7418.78	8467.58	7.00	
24	Side Shell Stiffener 10-Flange	2.0	7424.01	8436.52	7412.39	8505.55	8.00	
25	Side Shell Stiffener 11-Web	2.0	7396.34	9071.78	7298.96	9049.39	7.00	
Table 04	Dimensions			Levers				
	Calculated Length	Calculated Angle (absolute value)	Calculated Depth (absolute value)	Entered Length	Entered Depth	Item's Lowest point Distance from B.L.	Item's Lever	Item's Lever from B.L.
	L (mm)	ϕ (deg)	d (mm)	L (mm)	d (mm)	h (mm)	y (mm)	Y (mm)
21	99.90	7.93	13.78			7299.94	6.89	7306.83
22	80.00	86.60	79.86			7278.80	39.93	7318.73
23	100.13	9.56	16.62			8467.58	8.31	8459.27
24	70.00	80.44	69.03			8436.52	34.51	8471.03
25	99.92	12.95	22.39			9049.39	11.19	9038.20
Table 04	Areas		Moments					
	Item's Area	Area	Moment	I 2 nd Moment	Item's Io	Io	I+ Io	
	a (cm ²)	A (cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	
21	9.99	19.98	14599.18	10667377.34	1.58	3.16	10667380.51	
22	8.00	16.00	11709.97	8570211.08	42.52	85.03	8570296.11	
23	7.01	14.02	11858.14	10031123.79	1.61	3.23	10031127.02	
24	5.60	11.20	9487.56	8036938.65	22.24	44.47	8036983.12	
25	6.99	13.99	12643.48	11427427.33	2.92	5.84	11427433.17	
		75.19	60298.33	48733078.20		141.74	48733219.94	

SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE						
Table 04	B₁ Type - Inclined Item ID	Pieces in Full Section	Coordinates				Thickness	
			Start - x	Start - y	End - x	End - y		
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
						t (mm)		
26	Side Shell Stiffener 11-Flange	2.0	7306.02	9018.70	7290.34	9086.92	8.00	
27	Side Shell Stiffener 12-Web	2.0	7275.17	9659.36	7177.68	9637.37	7.00	
28	Side Shell Stiffener 12-Flange	2.0	7184.61	9606.64	7169.21	9674.92	8.00	
29	Side Shell Stiffener 13-Web	2.0	7153.99	10246.94	7056.78	10223.92	7.00	
30	Side Shell Stiffener 13-Flange	2.0	7064.04	10193.27	7047.91	10261.39	8.00	
Table 04				Dimensions		Levers		
	Calculated Length	Calculated Angle (absolute value)	Calculated Depth (absolute value)	Entered Length	Entered Depth	Item's Lowest point Distance from B.L.	Item's Lever	Item's Lever from B.L.
	L	φ	d	L	d	h	y	Y
	(mm)	(deg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
26	70.00	77.05	68.22			9018.70	34.11	9052.81
27	99.94	12.71	21.99			9637.37	11.00	9626.37
28	70.00	77.29	68.28			9606.64	34.14	9640.78
29	99.90	13.32	23.01			10223.92	11.51	10212.42
30	70.00	76.68	68.12			10193.27	34.06	10227.33
Table 04	Areas		Moments					
	Item's Area	Area	Moment	I 2nd Moment	Item's I_o	I_o	I + I_o	
	a	A						
	(cm ²)	(cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	
26	5.60	11.20	10139.13	9178758.86	21.72	43.44	9178802.29	
27	7.00	13.99	13468.19	12964982.86	2.82	5.64	12964988.49	
28	5.60	11.20	10797.68	10409806.92	21.76	43.52	10409850.44	
29	6.99	13.99	14282.82	14586209.34	3.09	6.17	14586215.51	
30	5.60	11.20	11454.61	11715012.75	21.65	43.31	11715056.06	
		61.58	60142.43	58854770.73		142.07	58854912.80	

SHIPNAME		"HYDRA" CLASS CORVETTE						
Table 04	B₁ Type - Inclined Item ID	Pieces in Full Section	Coordinates				Thickness	
			Start - x	Start - y	End - x	End - y		
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
						t (mm)		
31	Side Shell Girder-Web	2.0	6678.52	3193.68	6503.03	3288.39	10.00	
32	Side Shell Girder-Flange	2.0	6446.24	3225.29	6531.74	3383.69	20.00	
33								
34								
35								
Table 04				Dimensions			Levers	
	Calculated Length	Calculated Angle (absolute value)	Calculated Depth (absolute value)	Entered Length	Entered Depth	Item's Lowest point Distance from B.L.	Item's Lever	Item's Lever from B.L.
	L	φ	d	L	d	h	y	Y
	(mm)	(deg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
31	199.42	28.36	94.72				47.36	47.36
32	180.00	61.64	158.40				79.20	79.20
33								
34								
35								
Table 04	Areas		Moments					
	Item's Area	Area	Moment	I 2 nd Moment	Item's I _o	I _o	I + I _o	
	a	A						
	(cm ²)	(cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	
31	19.94	39.88	188.88	894.47	149.08	298.16	1192.63	
32	36.00	72.00	570.24	4516.34	752.72	1505.45	6021.78	
33								
34								
35								
		111.88	759.12	5410.81		1803.60	7214.41	

		Hogging		Sagging				Positive Shear Forces		Negative Shear Force				Horizontal Shear Forces		
x/L	c _M	M _{WV} [MNm]	c _M	M _{WV} [MNm]		x/L	c _Q	Q _{WV} [MN]	c _Q	Q _{WV} [MN]		x/L	c _{QH}	Q _{WHmax}	Q _{WH}	
0	0.000	0.000	-0.020	-4.531	4.531	0	0.000	0.000	-0.100	-0.944		0	0.400	2.847	1.139	
0.1	0.155	35.007	-0.265	-60.039	60.039	0.05	0.302	2.852	-0.525	-4.956		0.1	1.000	2.847	2.847	
0.2	0.309	70.014	-0.510	-115.546	115.546	0.1	0.604	5.705	-0.950	-8.968		0.2	1.000	2.847	2.847	
0.3	0.464	105.021	-0.755	-171.054	171.054	0.15	0.604	5.705	-0.950	-8.968		0.3	1.000	2.847	2.847	
0.4	0.618	140.028	-1.000	-226.561	226.561	0.2	0.604	5.705	-0.950	-8.968		0.35	0.750	2.847	2.135	
0.5	0.618	140.028	-1.000	-226.561	226.561	0.25	0.604	5.705	-0.950	-8.968		0.4	0.500	2.847	1.424	
0.6	0.618	140.028	-1.000	-226.561	226.561	0.3	0.604	5.705	-0.950	-8.968		0.5	0.500	2.847	1.424	
0.7	0.464	105.021	-0.763	-172.753	172.753	0.35	0.553	5.219	-0.783	-7.395		0.6	0.500	2.847	1.424	
0.8	0.309	70.014	-0.525	-118.945	118.945	0.4	0.501	4.734	-0.617	-5.821		0.65	0.750	2.847	2.135	
0.9	0.155	35.007	-0.288	-65.136	65.136	0.45	0.450	4.248	-0.450	-4.248		0.7	1.000	2.847	2.847	
1	0.000	0.000	-0.050	-11.328	11.328	0.5	0.450	4.248	-0.450	-4.248		0.8	1.000	2.847	2.847	
						0.55	0.653	6.167	-0.520	-4.907		0.9	0.575	2.847	1.637	
						0.6	0.857	8.087	-0.590	-5.565		1	0.150	2.847	0.427	
						0.65	1.060	10.006	-0.659	-6.223						
						0.7	1.060	10.006	-0.659	-6.223						
						0.75	1.060	10.006	-0.659	-6.223						
						0.8	0.888	8.383	-0.527	-4.979						
						0.85	0.716	6.759	-0.396	-3.734						
						0.9	0.544	5.135	-0.264	-2.489						
						0.95	0.372	3.512	-0.132	-1.245						
						1	0.200	1.888	0.000	0.000						
Horizontal Bending Moment																
x/L	c _M	Q _{WHmax}	M _{WH} [MNm]													
0	0.020	2.847	1.822													
0.1	0.265	2.847	24.143													
0.2	0.510	2.847	46.465													
0.3	0.755	2.847	68.786													
0.4	1.000	2.847	91.107													
0.5	1.000	2.847	91.107													
0.6	1.000	2.847	91.107													
0.7	0.763	2.847	69.469													
0.8	0.525	2.847	47.831													
0.9	0.288	2.847	26.193													
1	0.050	2.847	4.555													



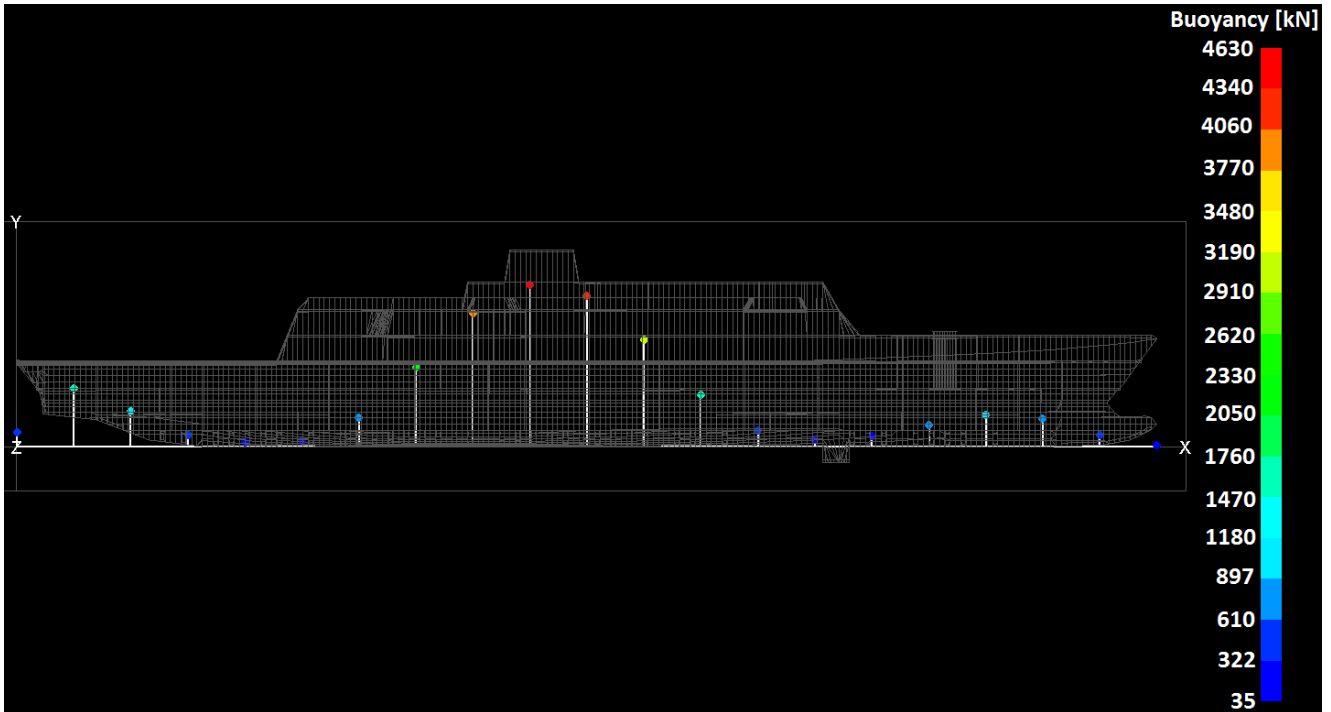
5.5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε – Αποτελέσματα από το εμπορικό λογισμικό MAESTRO

Οι καταστάσεις φόρτισης για τις οποίες ελέγχθηκε το υπό μελέτη πλοίο παρουσιάζονται μαζί με τα χαρακτηριστικά τους στον **Πίνακα 15**. Εκτός από τις καταστάσεις θάλασσας που ορίζει ο Γαλλικός Νηογνώμονας [44] στους κανονισμούς του, θεωρήθηκε ορθό να ελεγχθεί το πλοίο και σε καταστάσεις θάλασσας που πρόκειται να συναντήσει κατά την επιχειρησιακή του ζωή. Έτσι το πλοίο ελέγχθηκε και για σε καταστάσεις θάλασσας που απαντώνται στο Αιγαίο Πέλαγος.

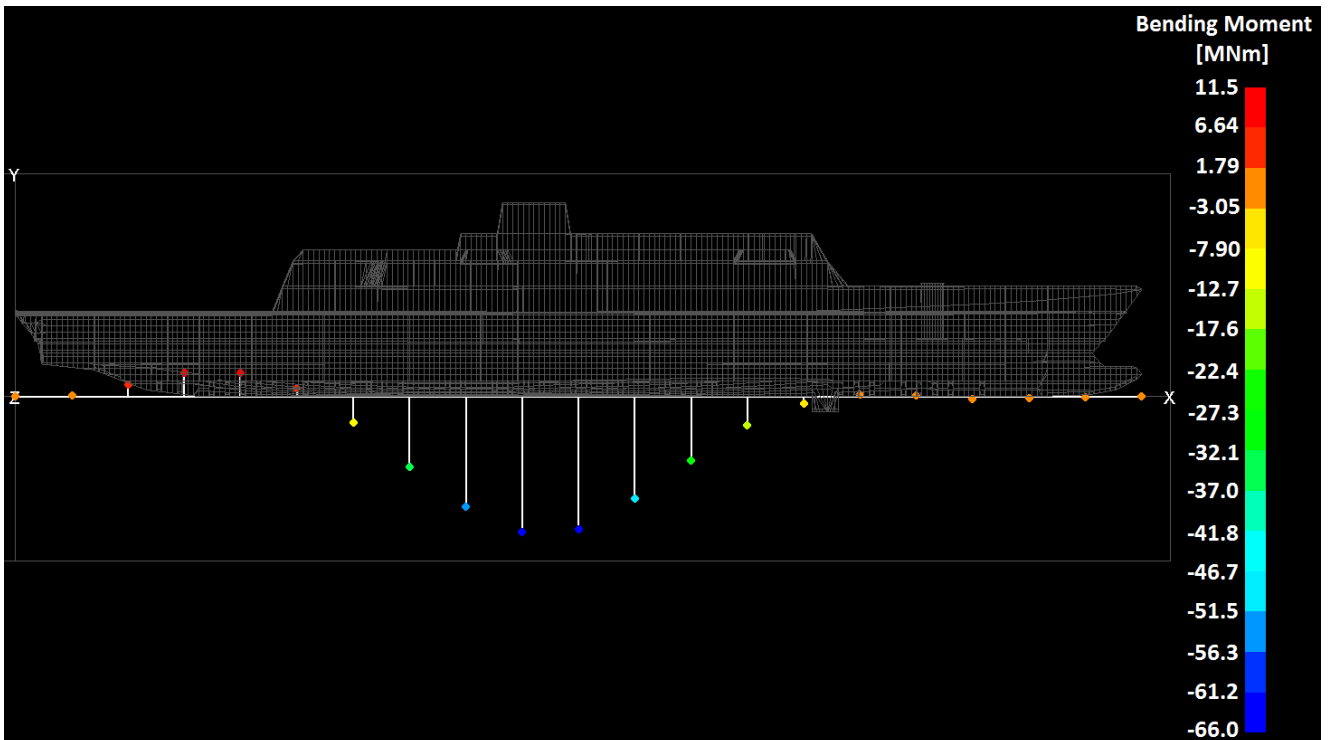
Κατάσταση Φόρτισης	Κατεύθυνση	Μήκος Κύματος [m]	Περίοδος [s]	Ύψος Κύματος [m]
<i>Still Water</i>	-	100.000	-	-
<i>Hogging</i>	0°	100.000	8.003	12.566
<i>Sagging</i>	0°	100.000	8.003	12.566
<i>Vertical wave shear force</i>	0°	50.000	5.659	6.283
	180°	50.000	5.659	6.283
	0°	25.000	4.002	3.142
	180°	25.000	4.002	3.142
<i>Horizontal wave Bending moment</i>	300°	50.000	5.659	6.283
	315°	50.000	5.659	6.283
<i>Vertical acceleration in inclined ship condition</i>	270°	32.826	4.585	4.125
	285°	37.750	4.917	4.744
<i>Vertical acceleration in upright ship condition</i>	0°	115.141	8.588	14.469
<i>Transverse acceleration</i>	270°	253.510	12.742	31.857
<i>Vertical relative motion at sides in upright ship condition</i>	0°	70.000	6.696	8.796
	180°	70.000	6.696	8.796
<i>Vertical relative motion at sides in inclined ship condition</i>	270°	65.725	6.488	8.259
<i>Aegean Sea</i>	0°	90.542	5.500	3.000
	45°	90.542	5.500	3.000
	90°	90.542	5.500	3.000
	135°	90.542	5.500	3.000
	180°	90.542	5.500	3.000
	225°	90.542	5.500	3.000
	270°	90.542	5.500	3.000
315°	90.542	5.500	3.000	

Πίνακας 15. Καταστάσεις φόρτισης και θάλασσας [44].

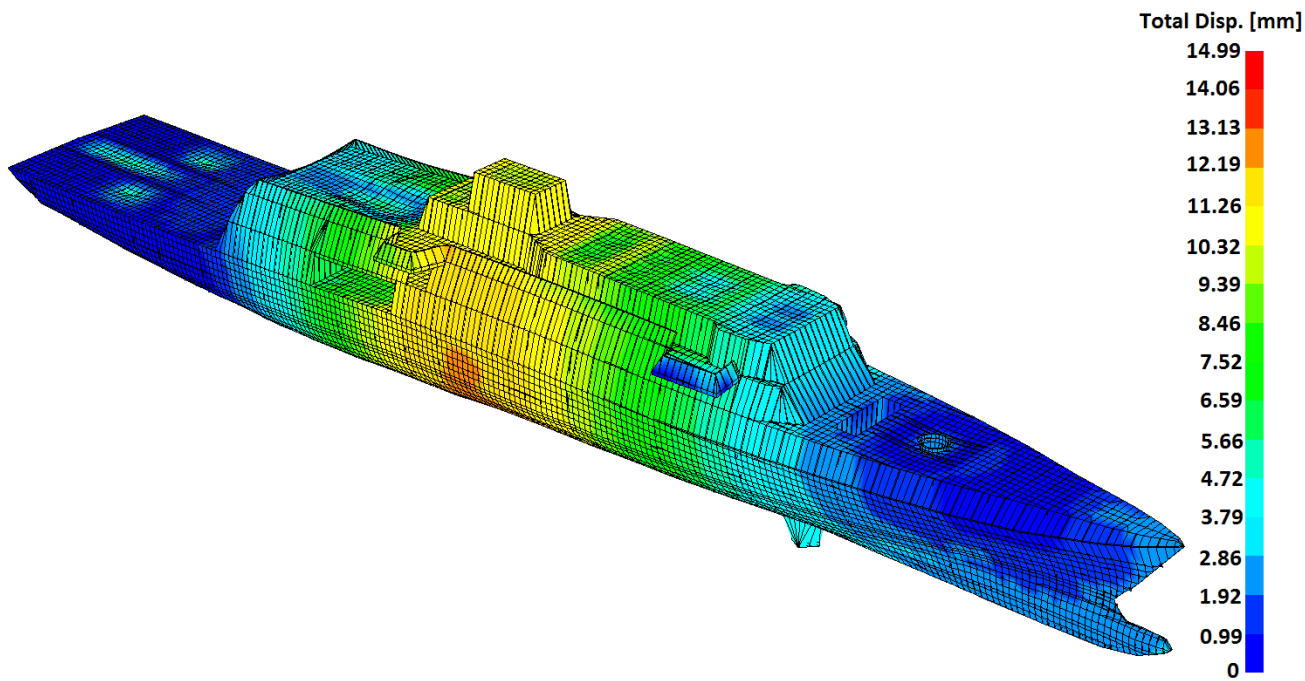
5.5.1 Vertical wave shear force (0°)



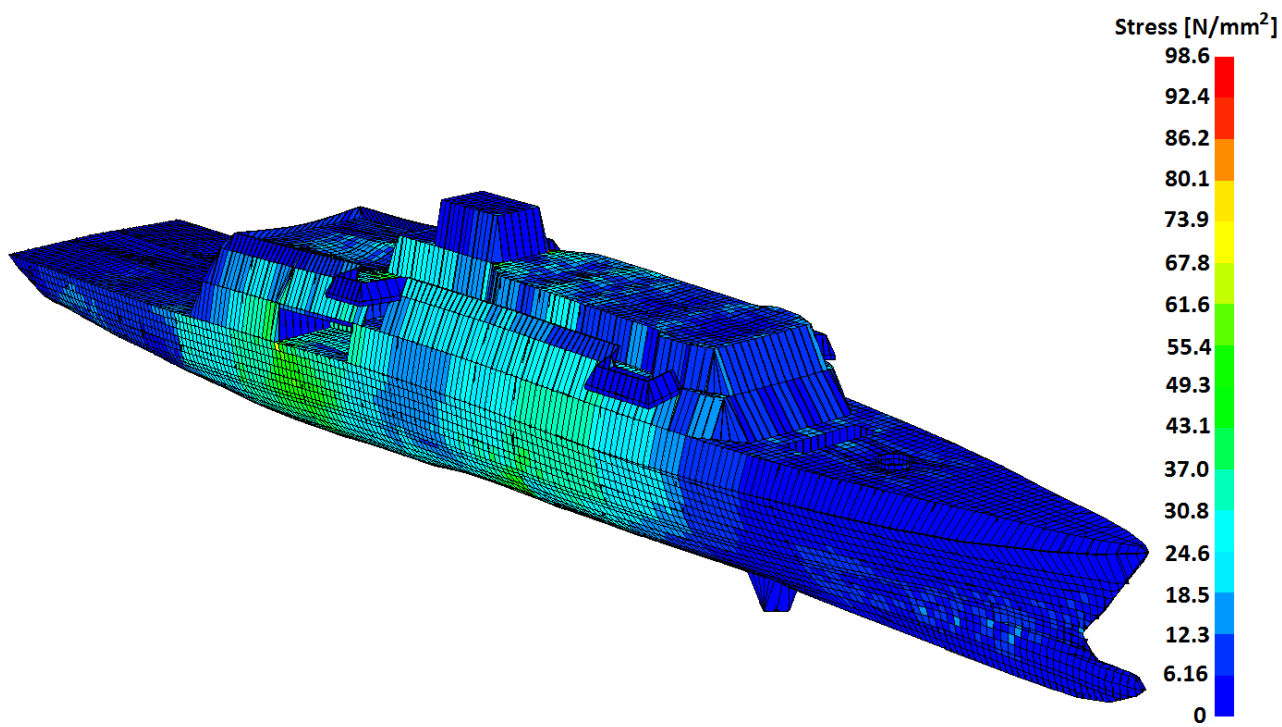
Εικόνα 70. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 71. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

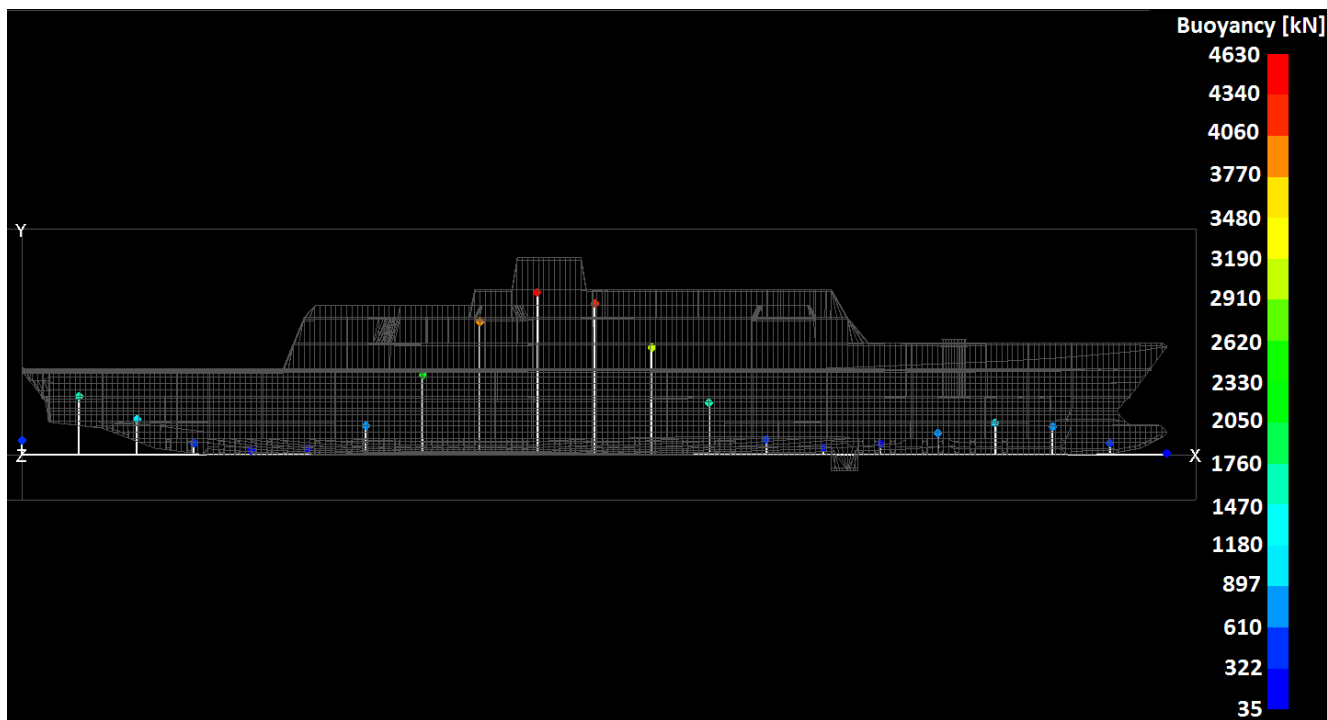


Εικόνα 72. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

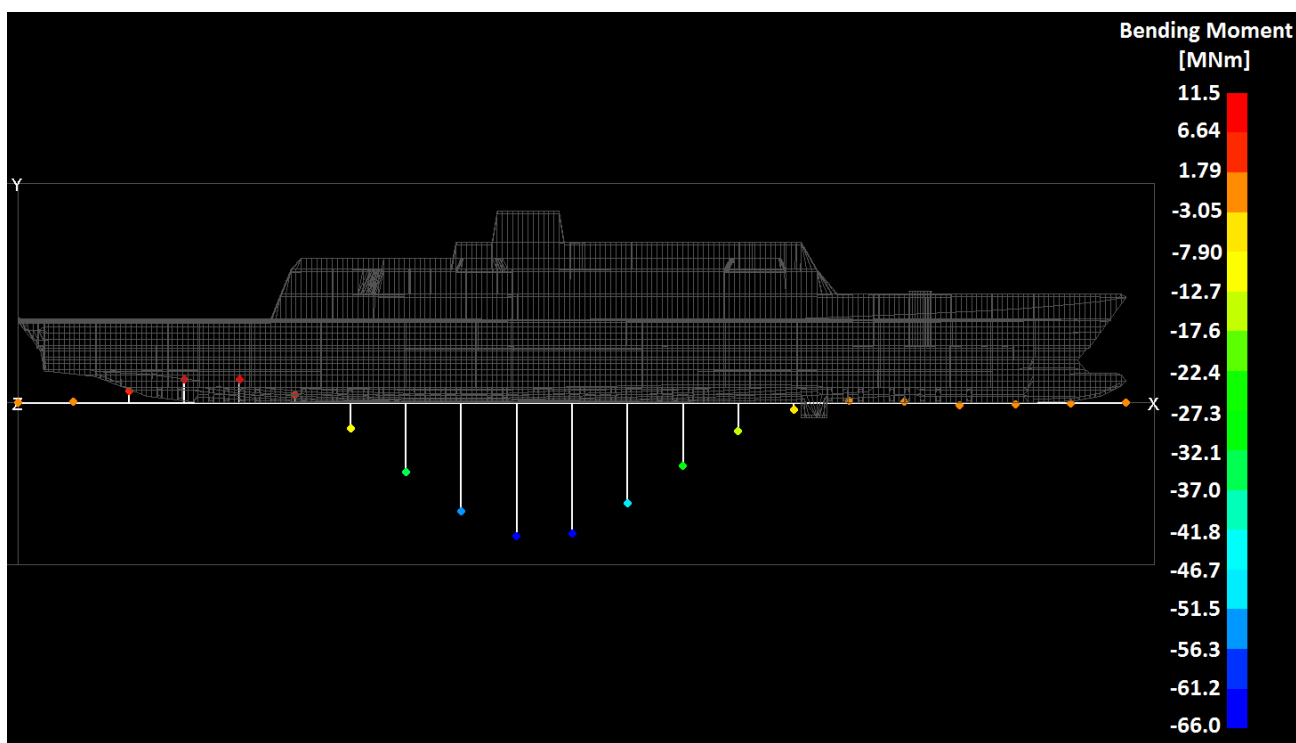


Εικόνα 73. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

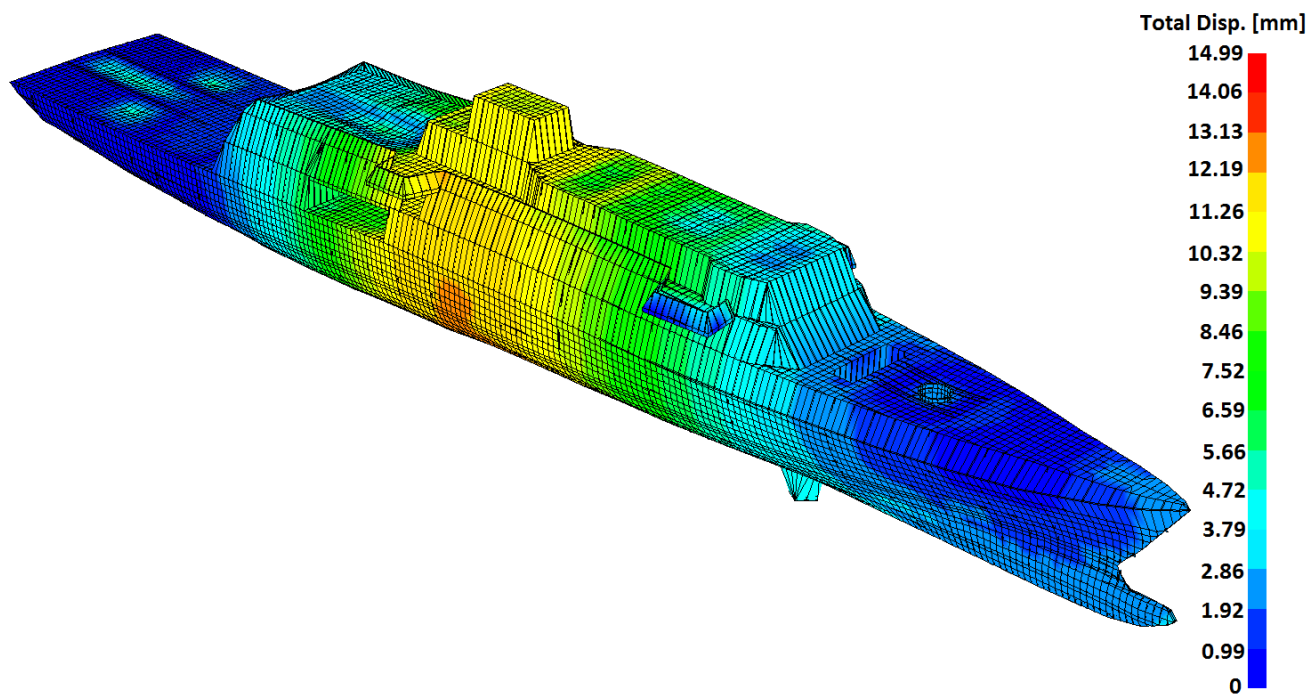
5.5.2 Vertical wave shear force (180°)



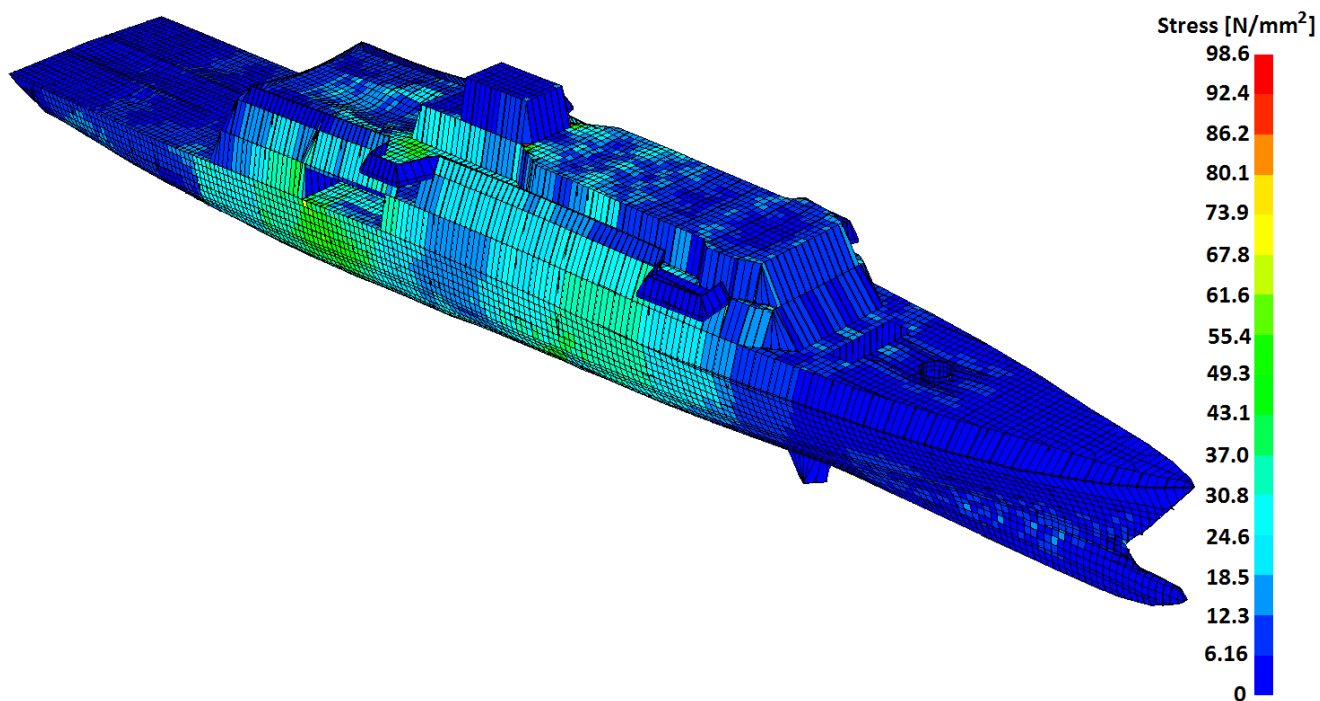
Εικόνα 74. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 75. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

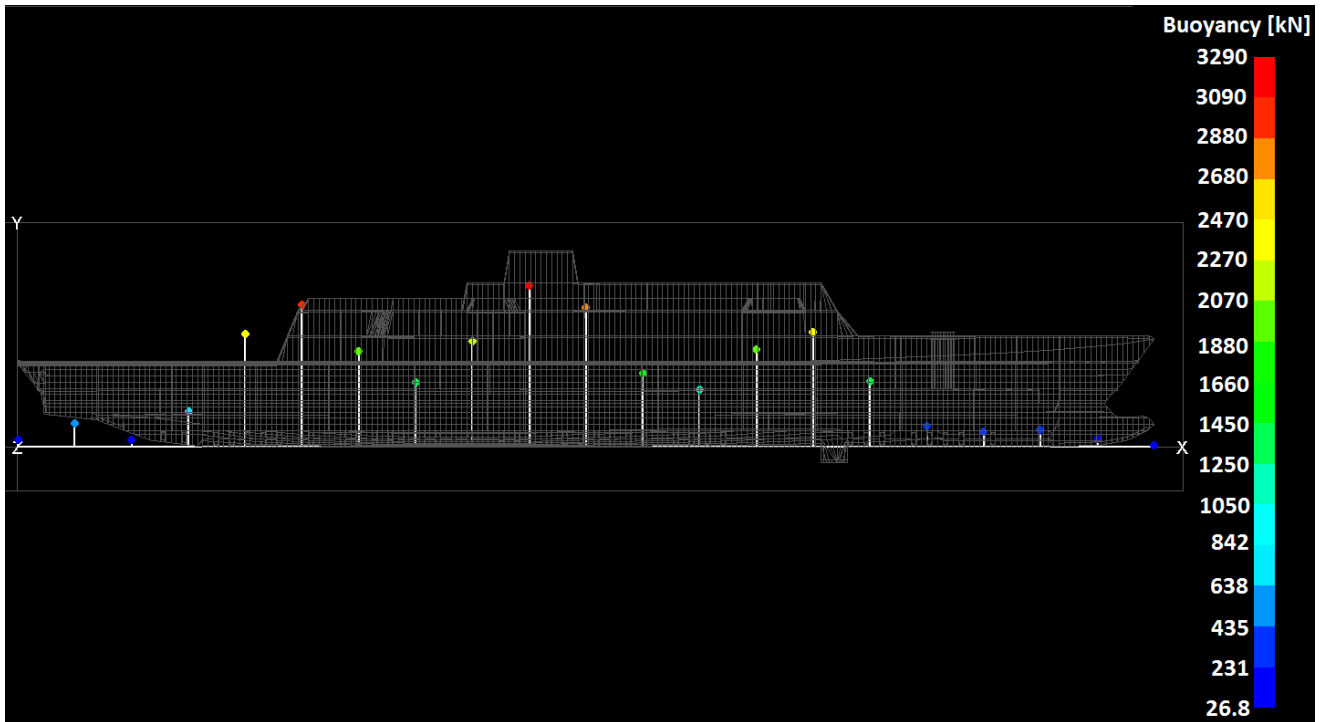


Εικόνα 76. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

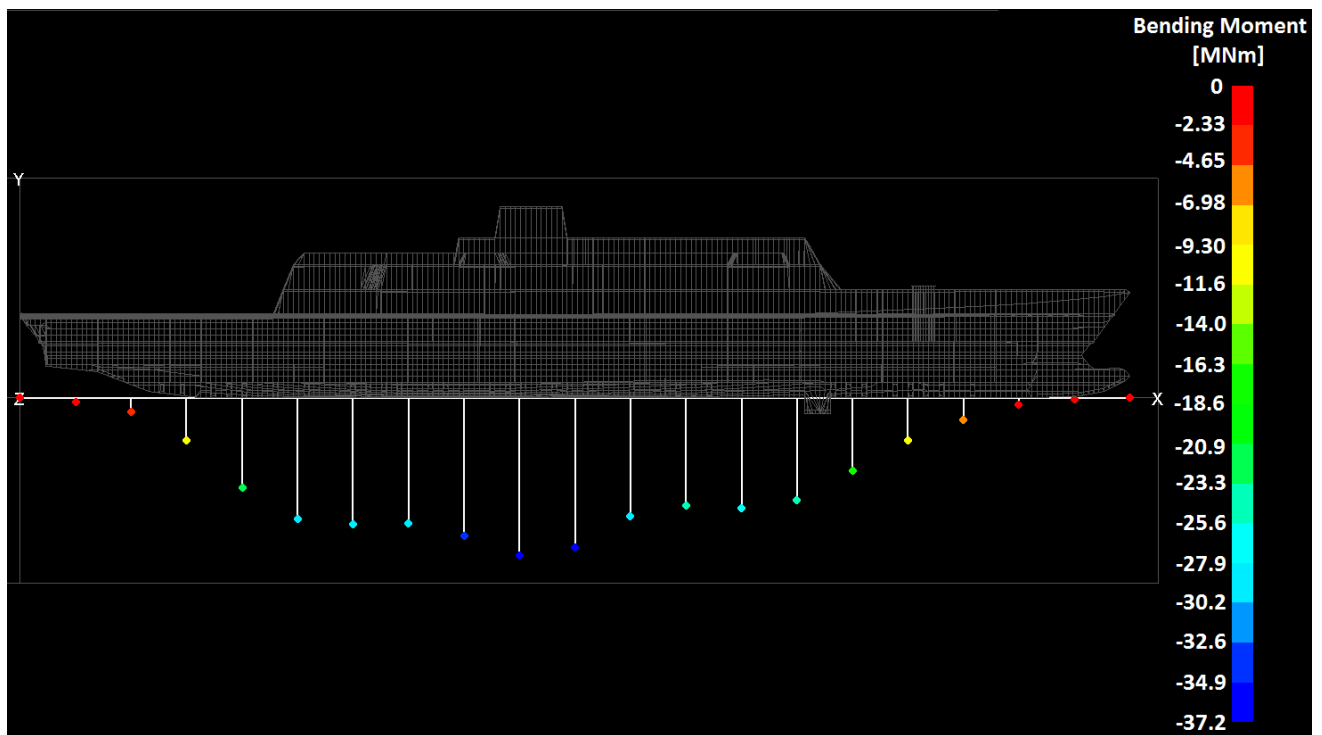


Εικόνα 77. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

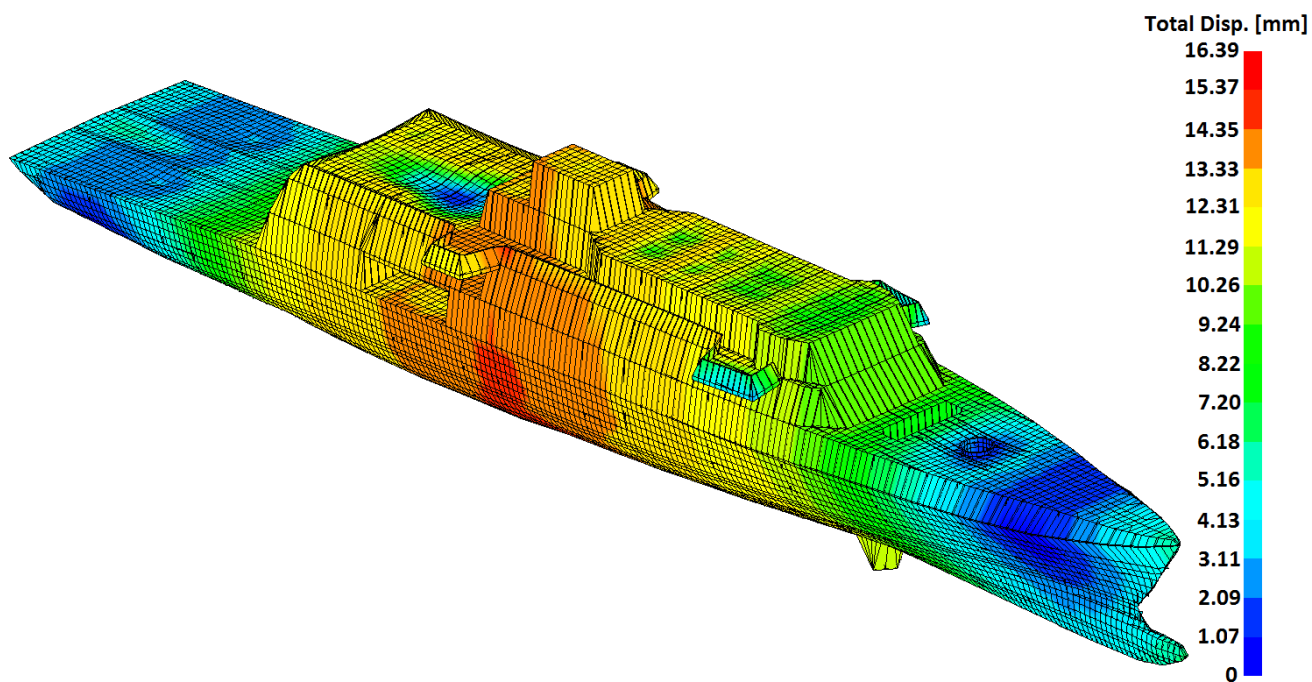
5.5.3 Vertical wave shear force (0°)



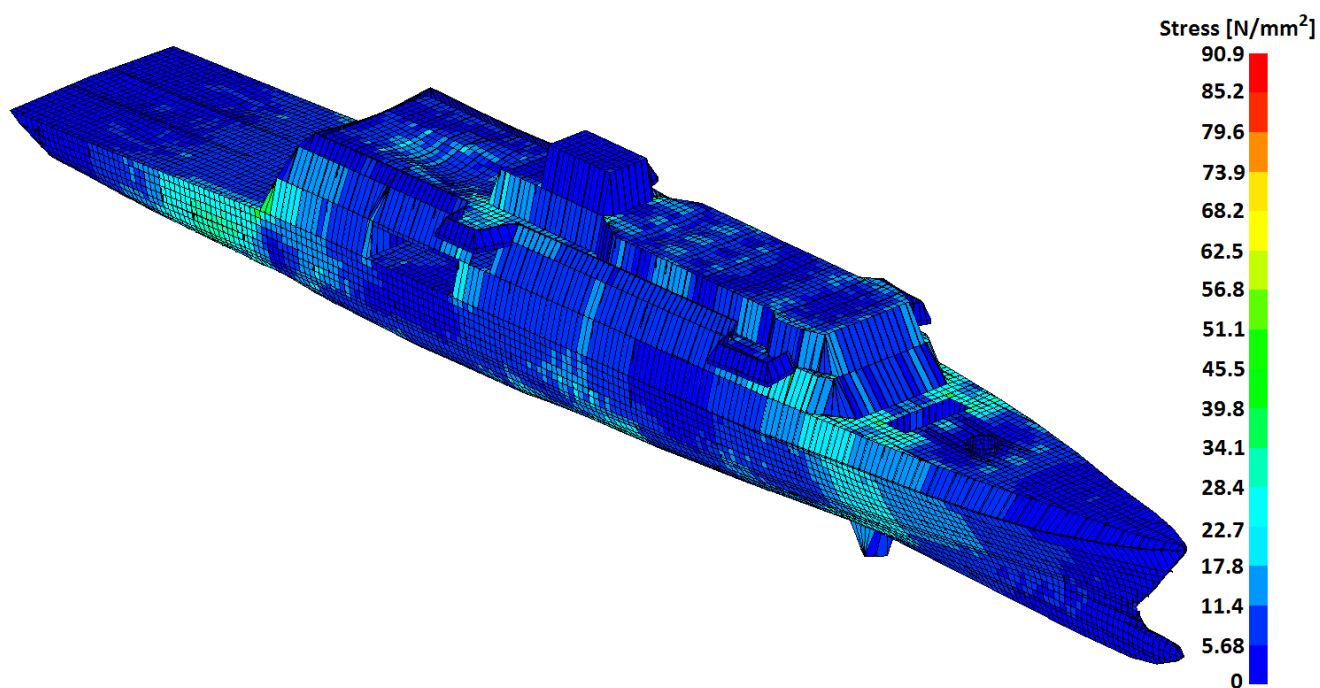
Εικόνα 78. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 79. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

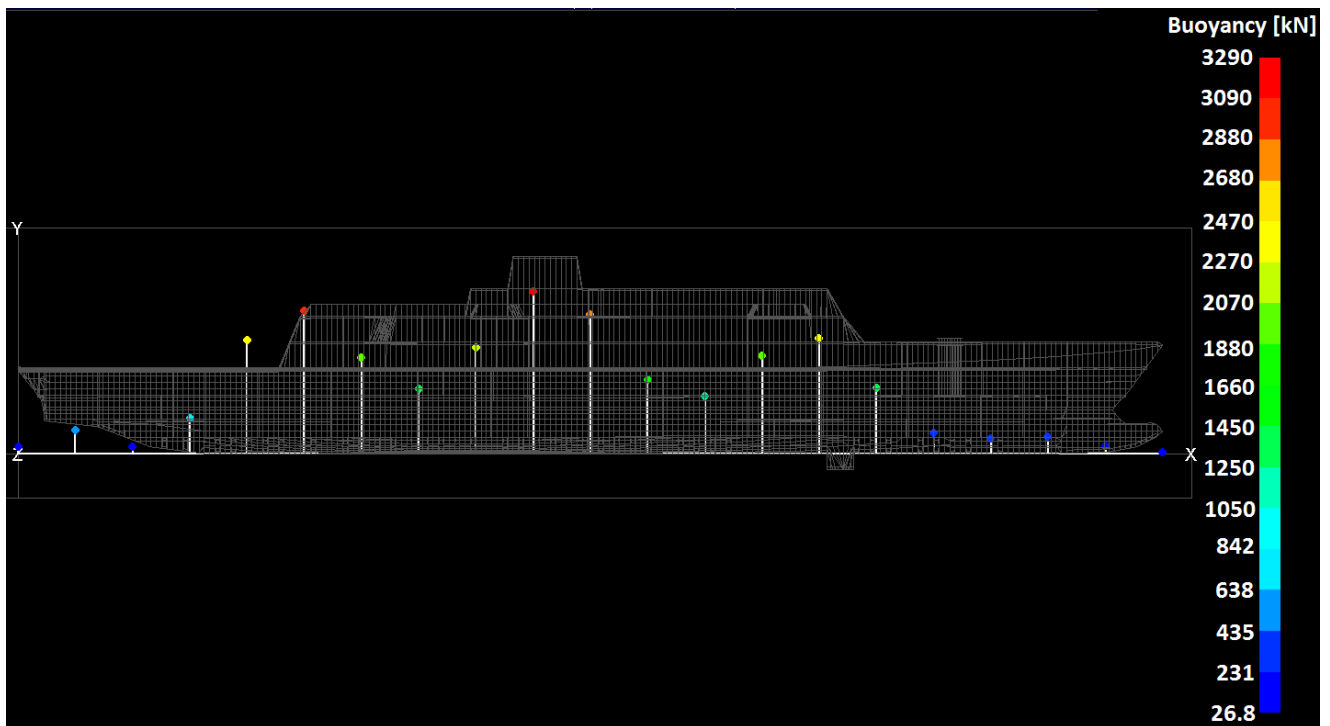


Εικόνα 80. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

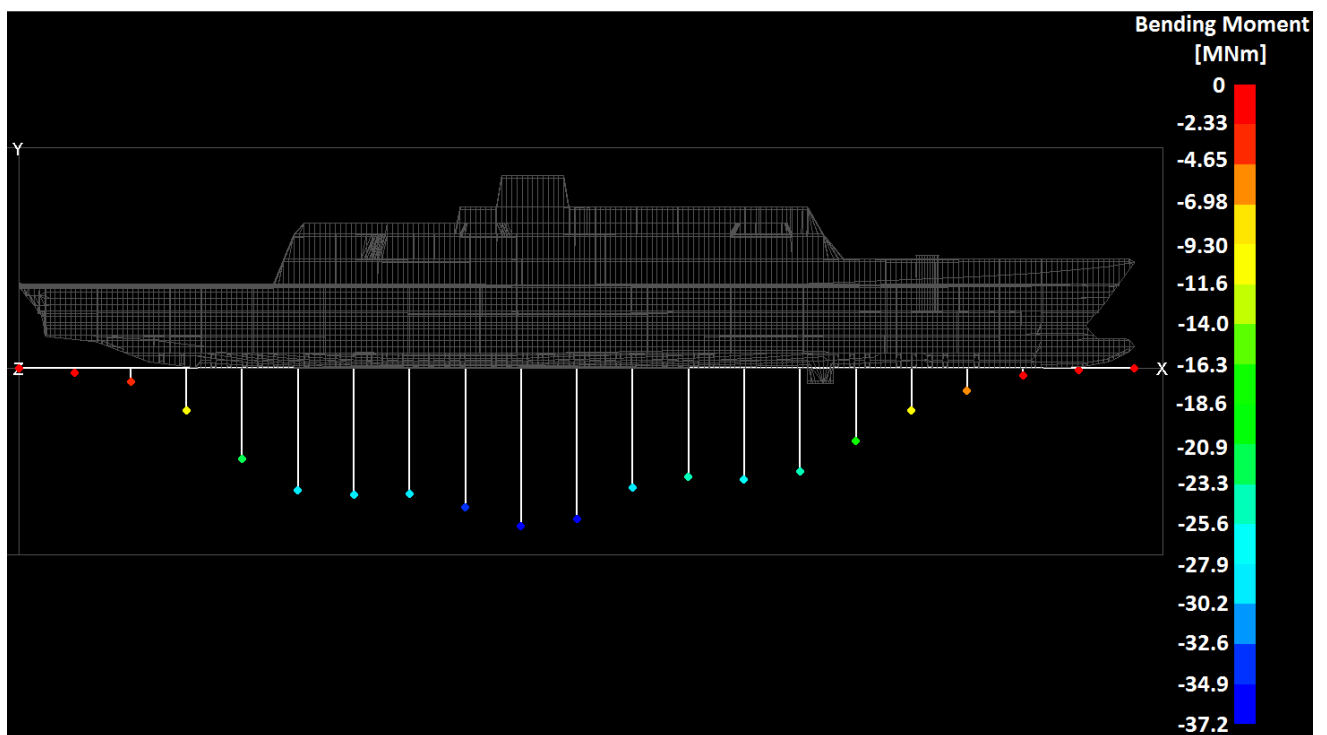


Εικόνα 81. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

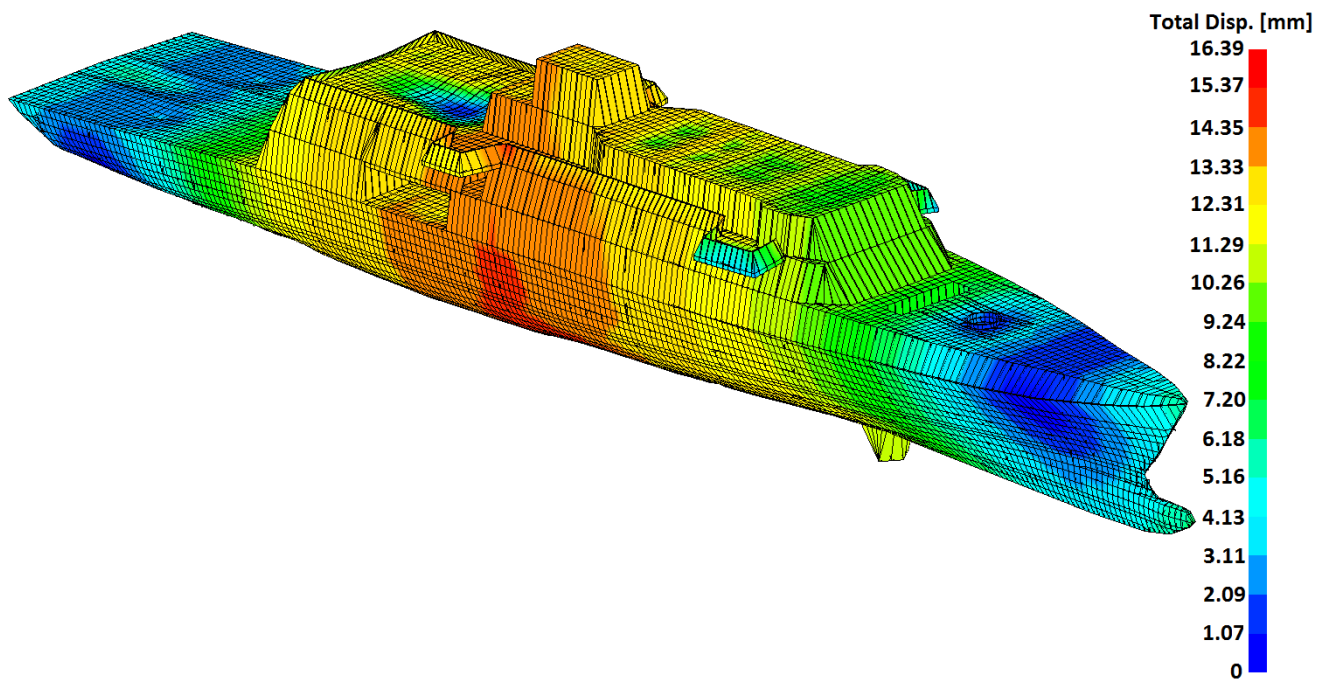
5.5.4 Vertical wave shear force (180°)



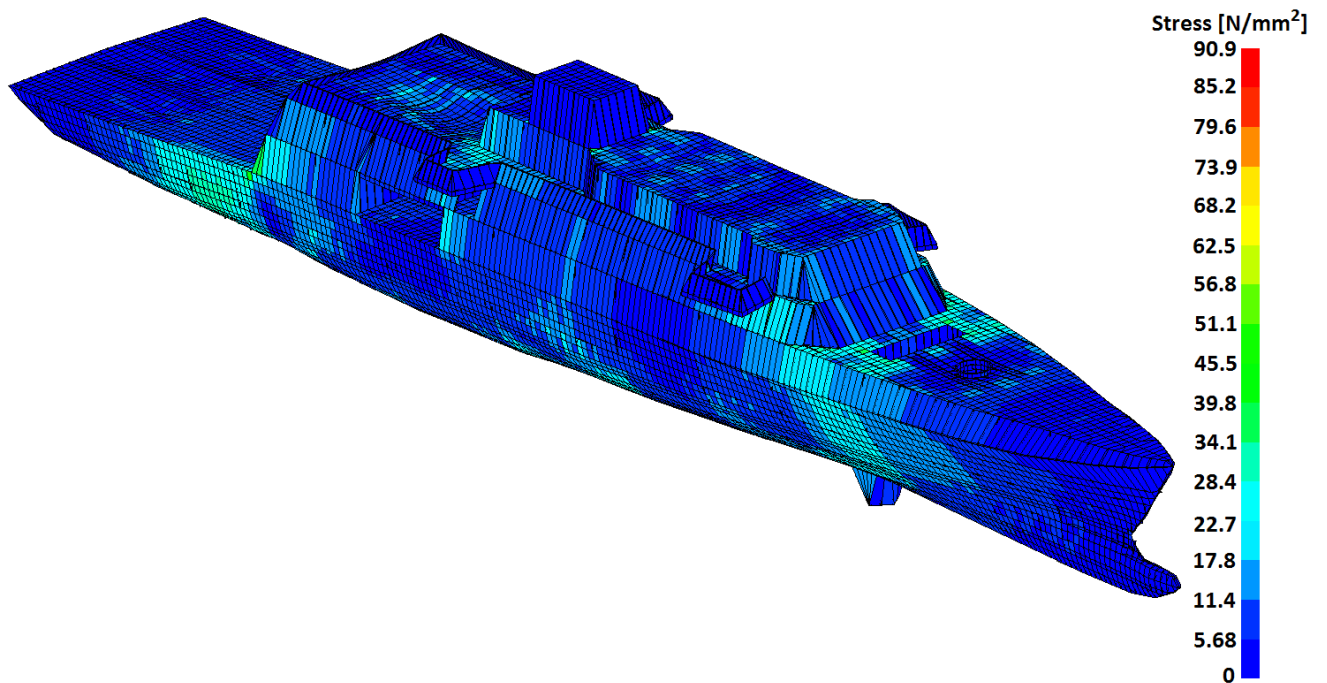
Εικόνα 82. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 83. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

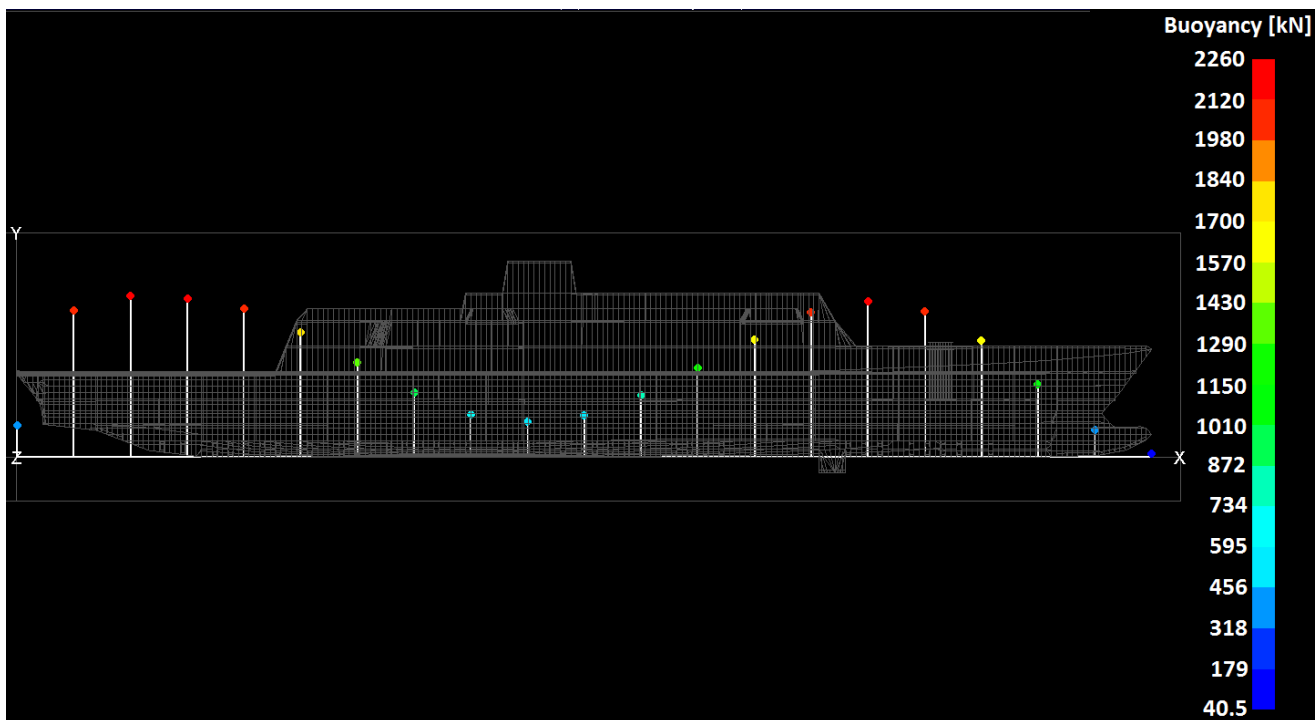


Εικόνα 84. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

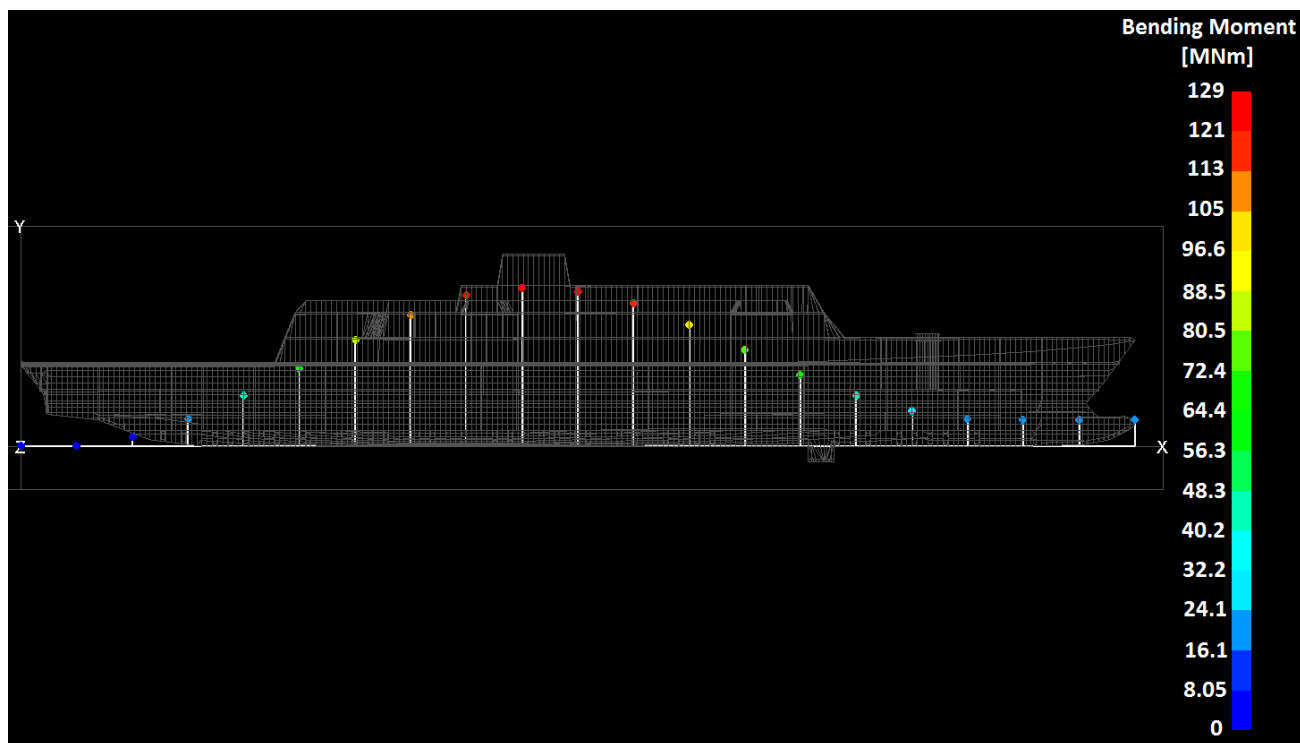


Εικόνα 85. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

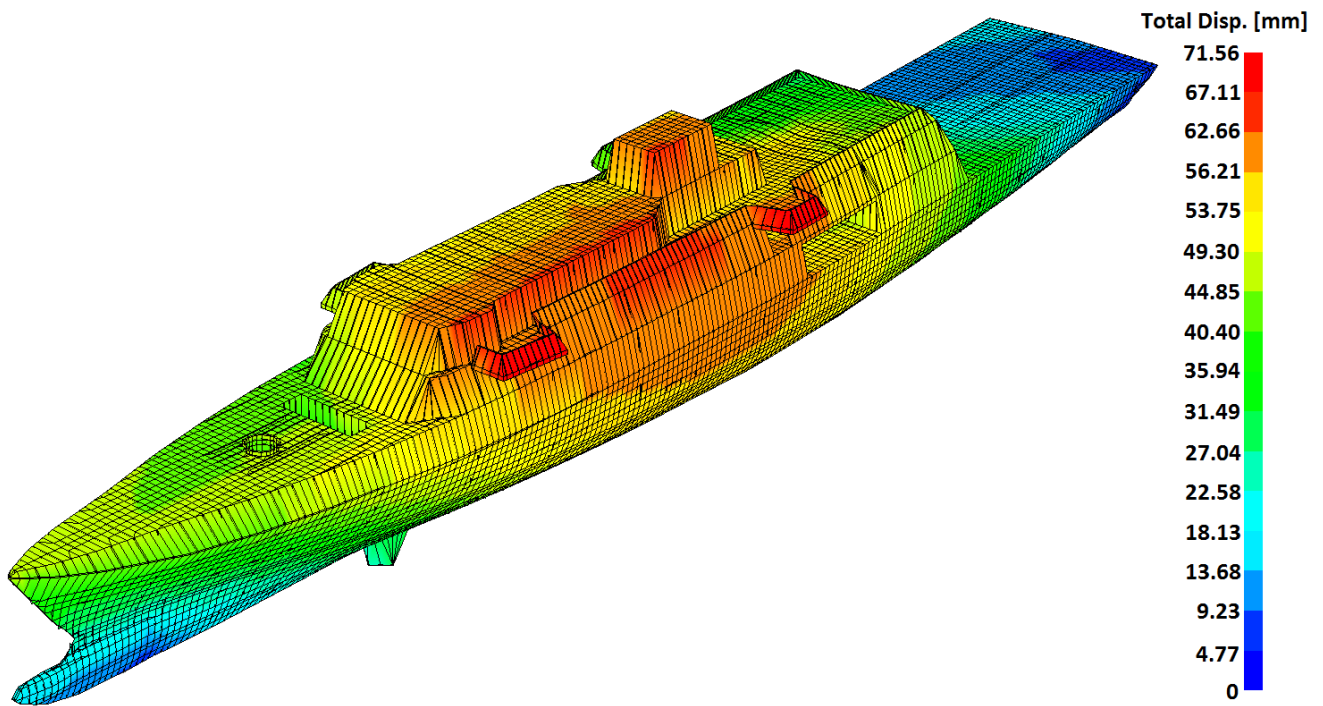
5.5.5 Horizontal wave bending moment (0°)



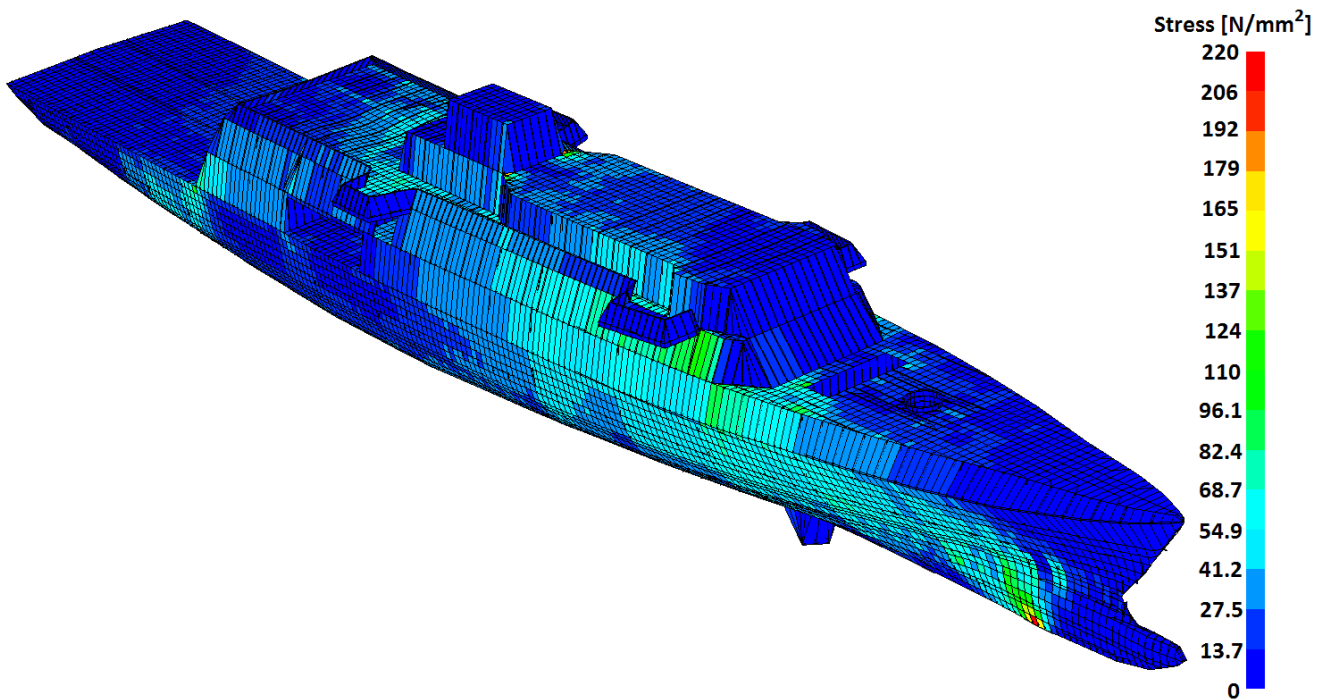
Εικόνα 86. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 87. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

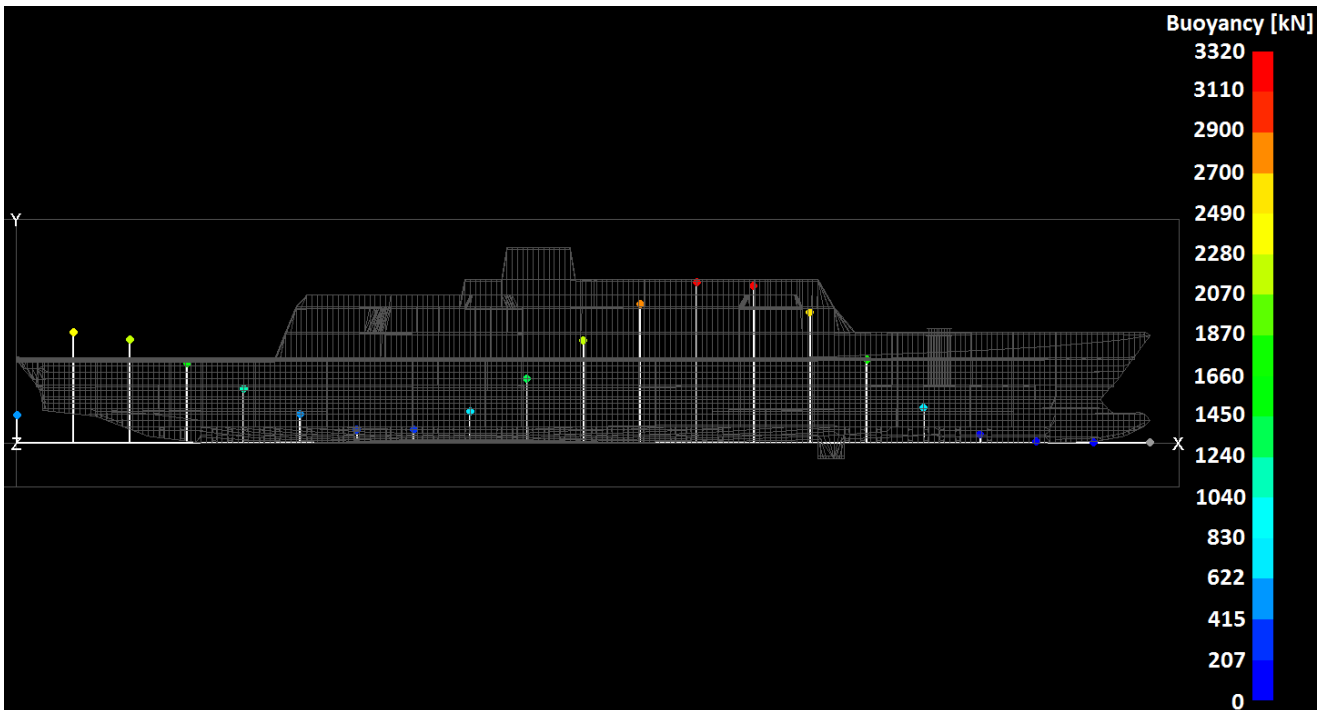


Εικόνα 88. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

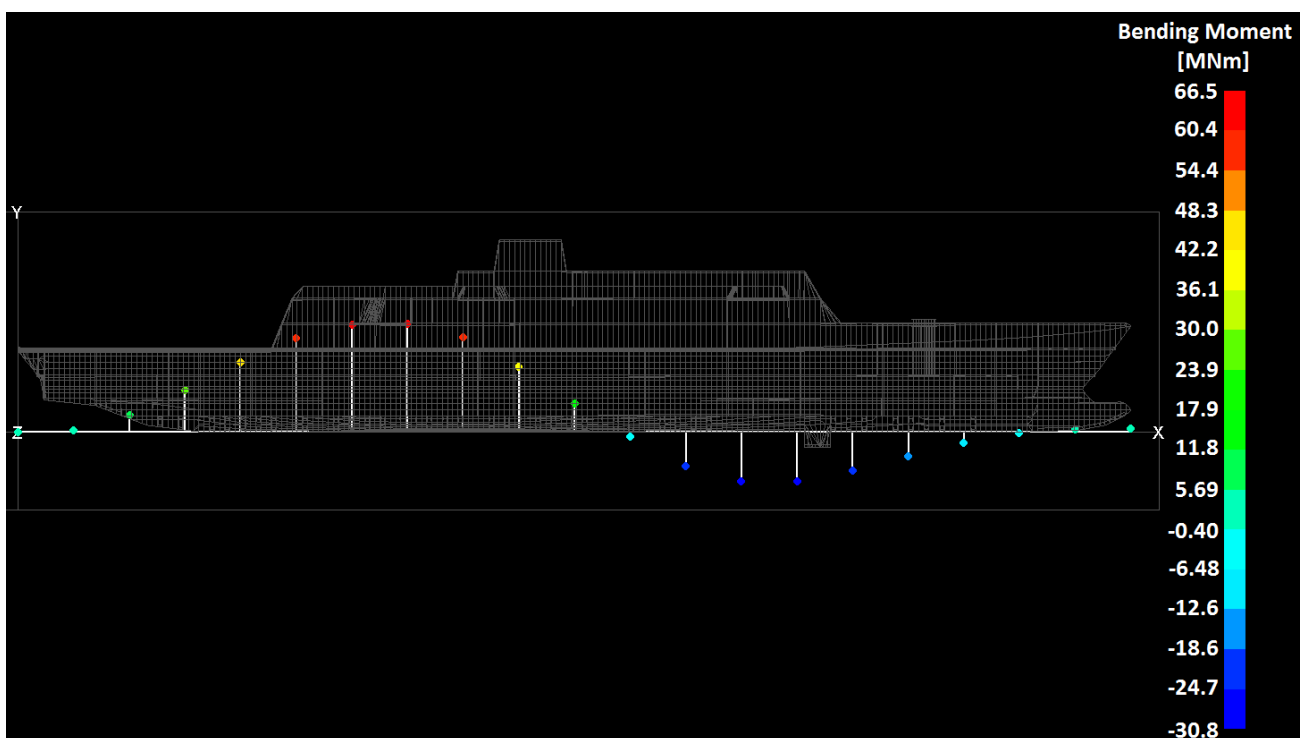


Εικόνα 89. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

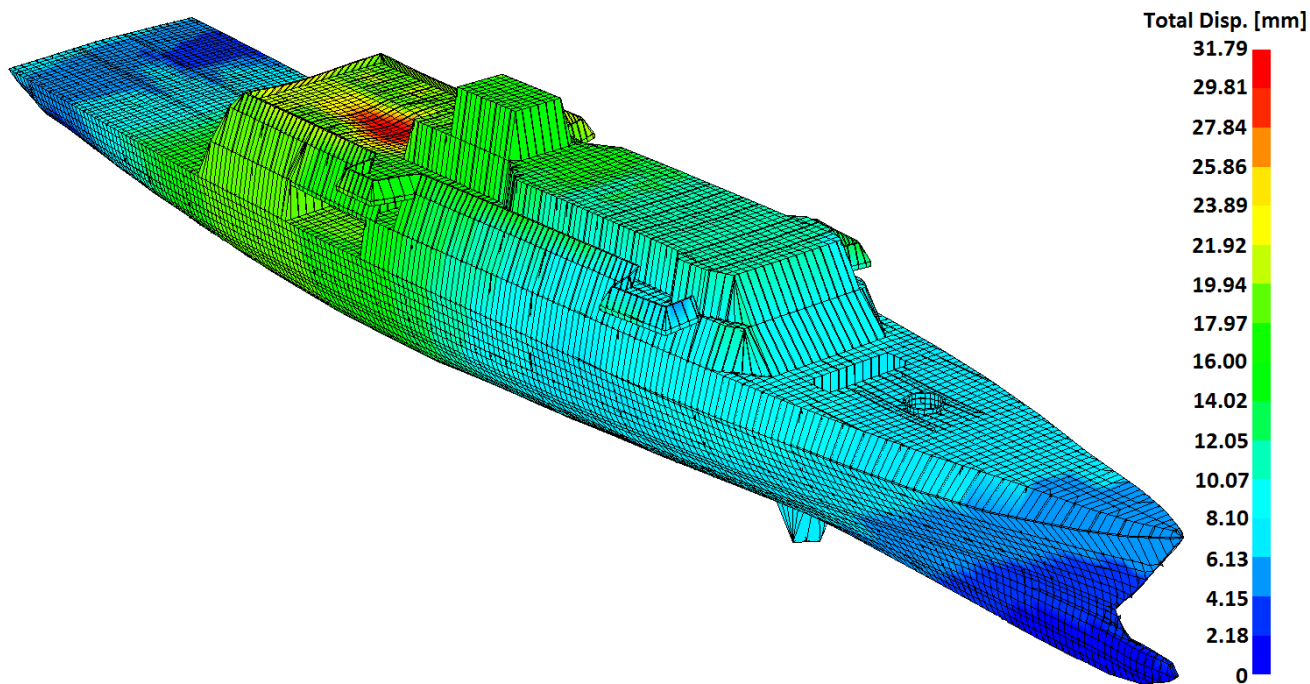
5.5.6 Horizontal wave bending moment (180°)



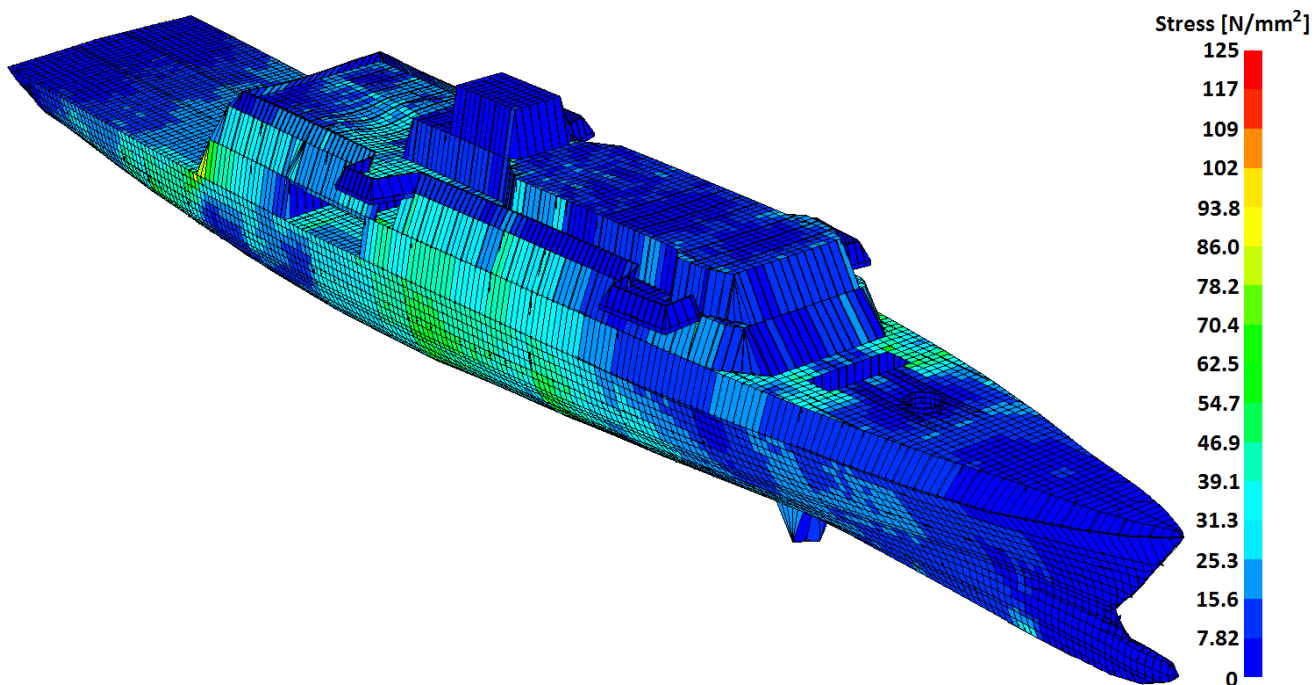
Εικόνα 90. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 91. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

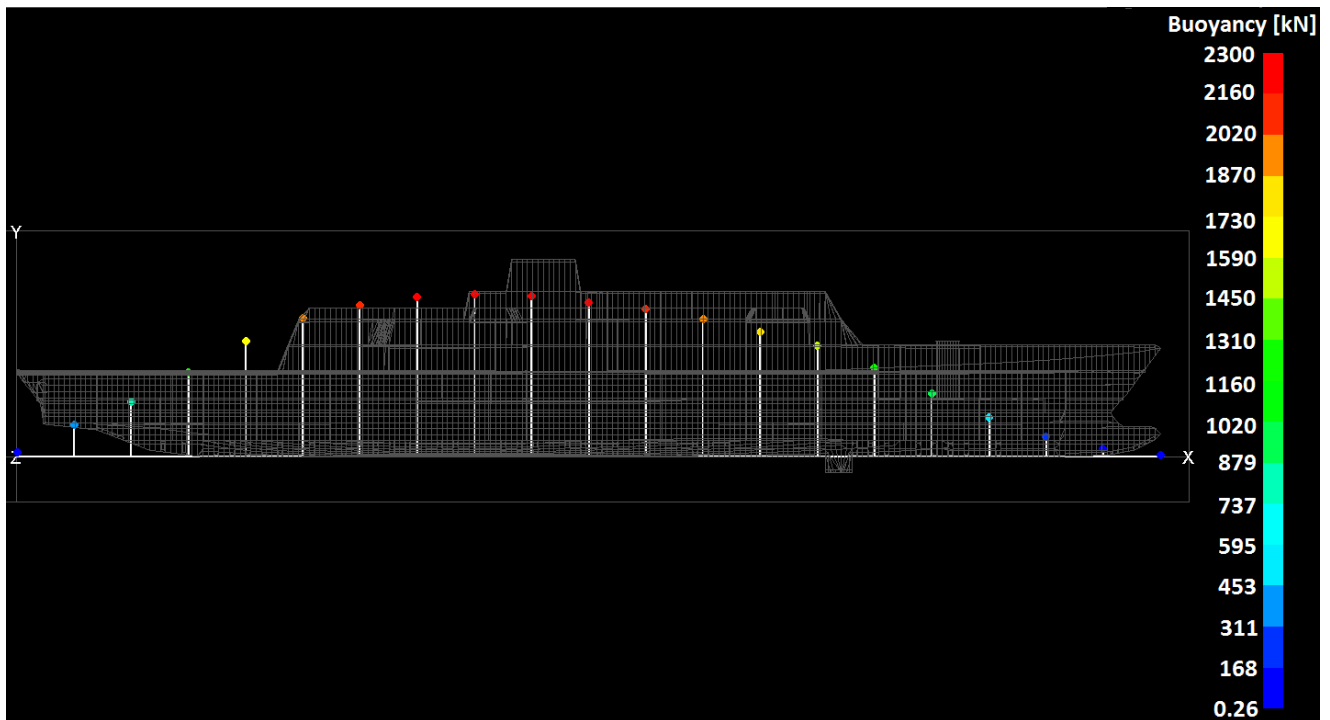


Εικόνα 92. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

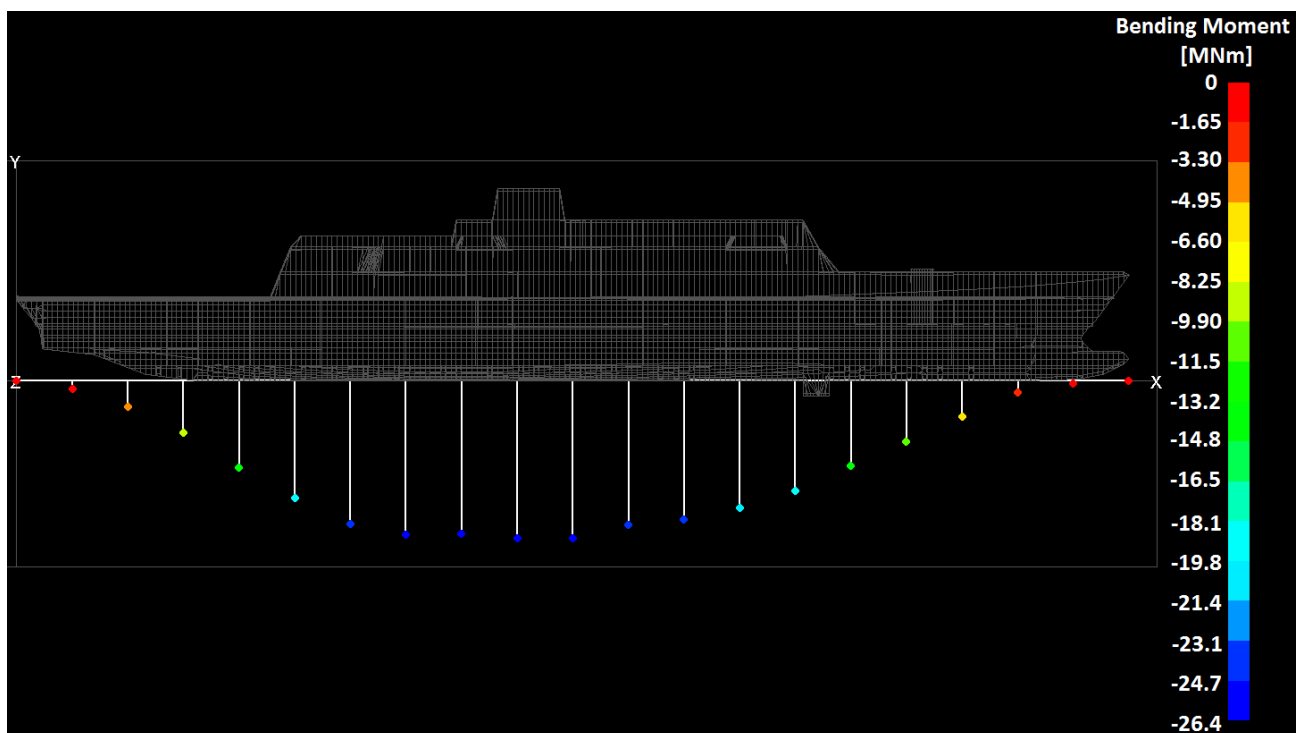


Εικόνα 93. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

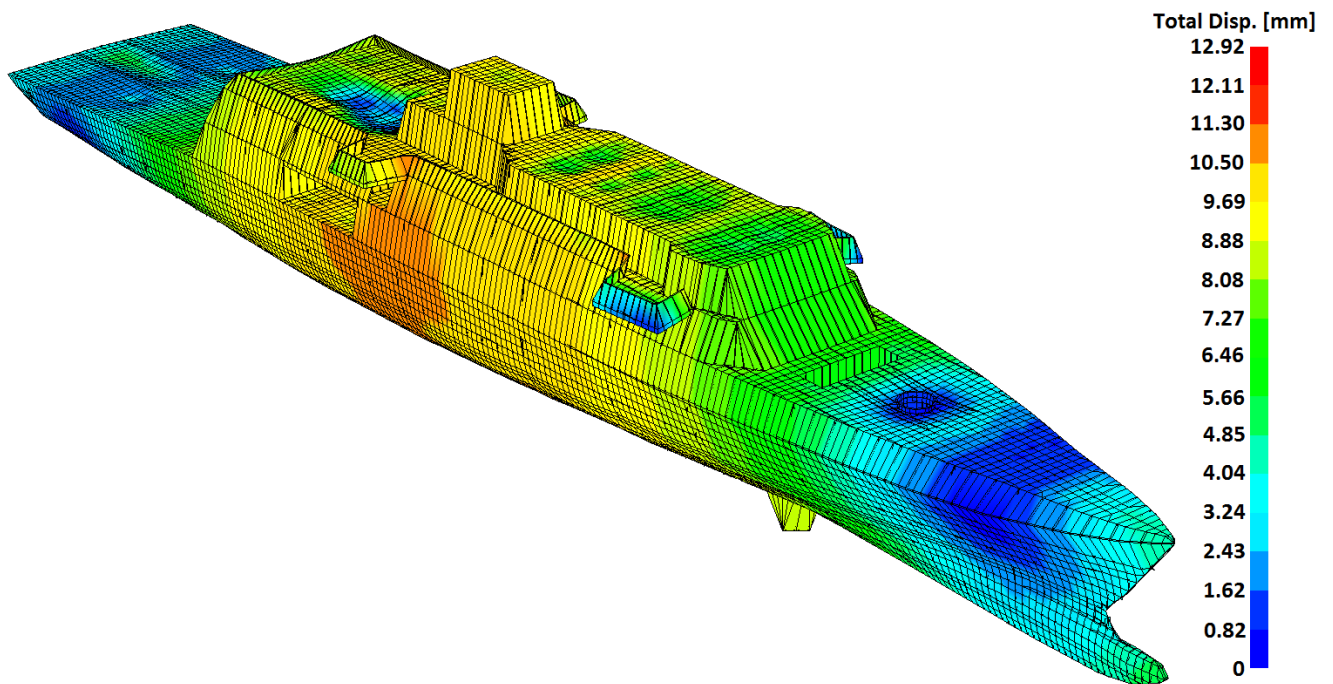
5.5.7 Vertical acceleration in inclined ship condition (270°)



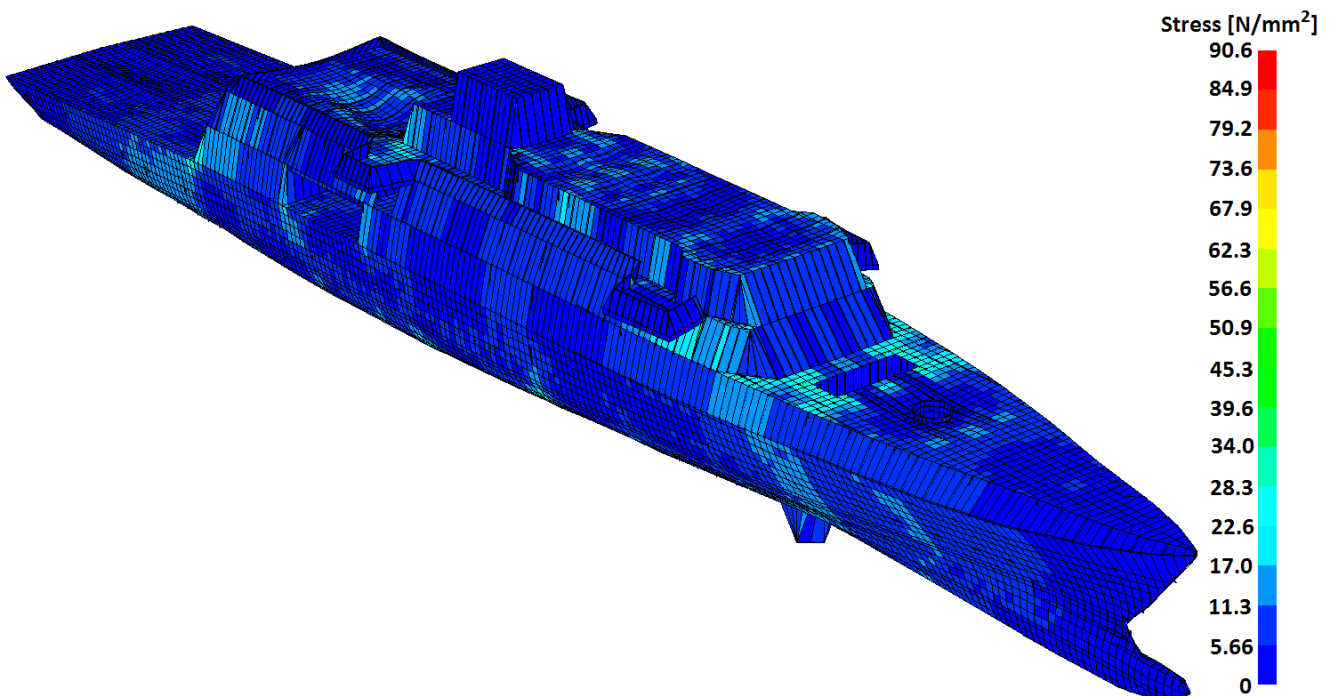
Εικόνα 94. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 95. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

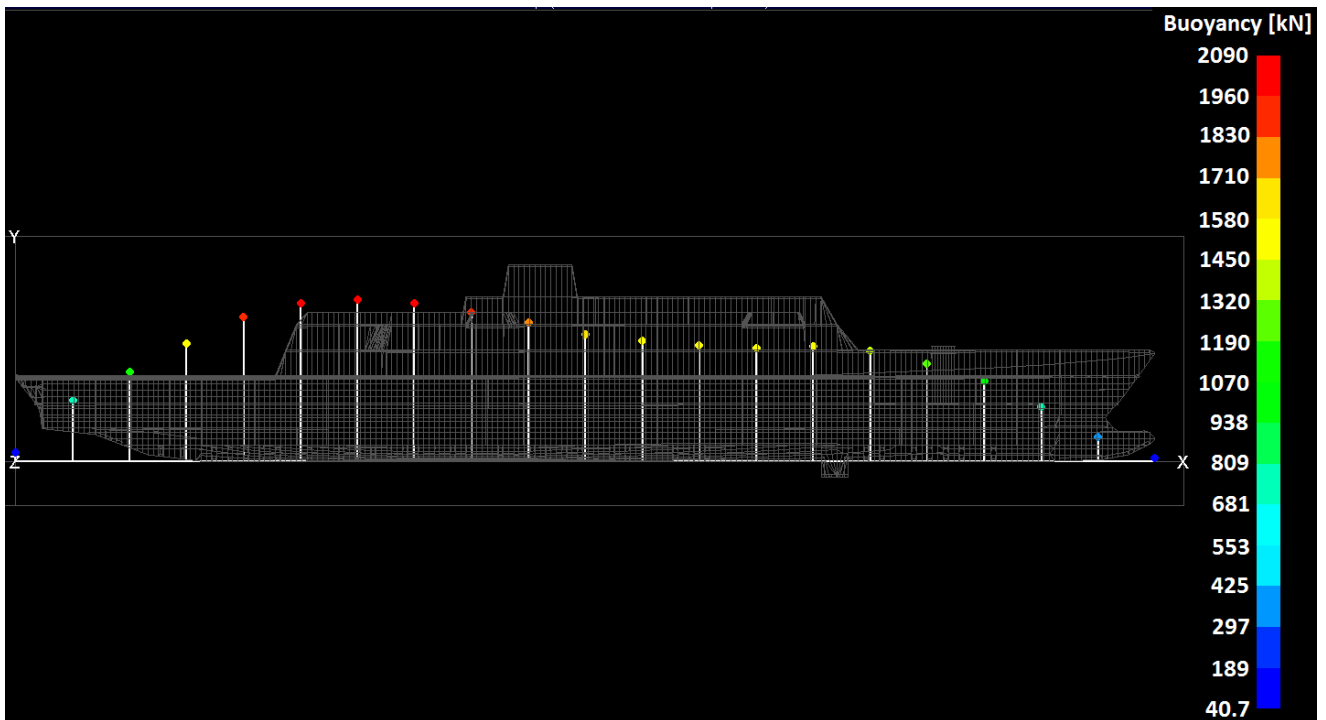


Εικόνα 96. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

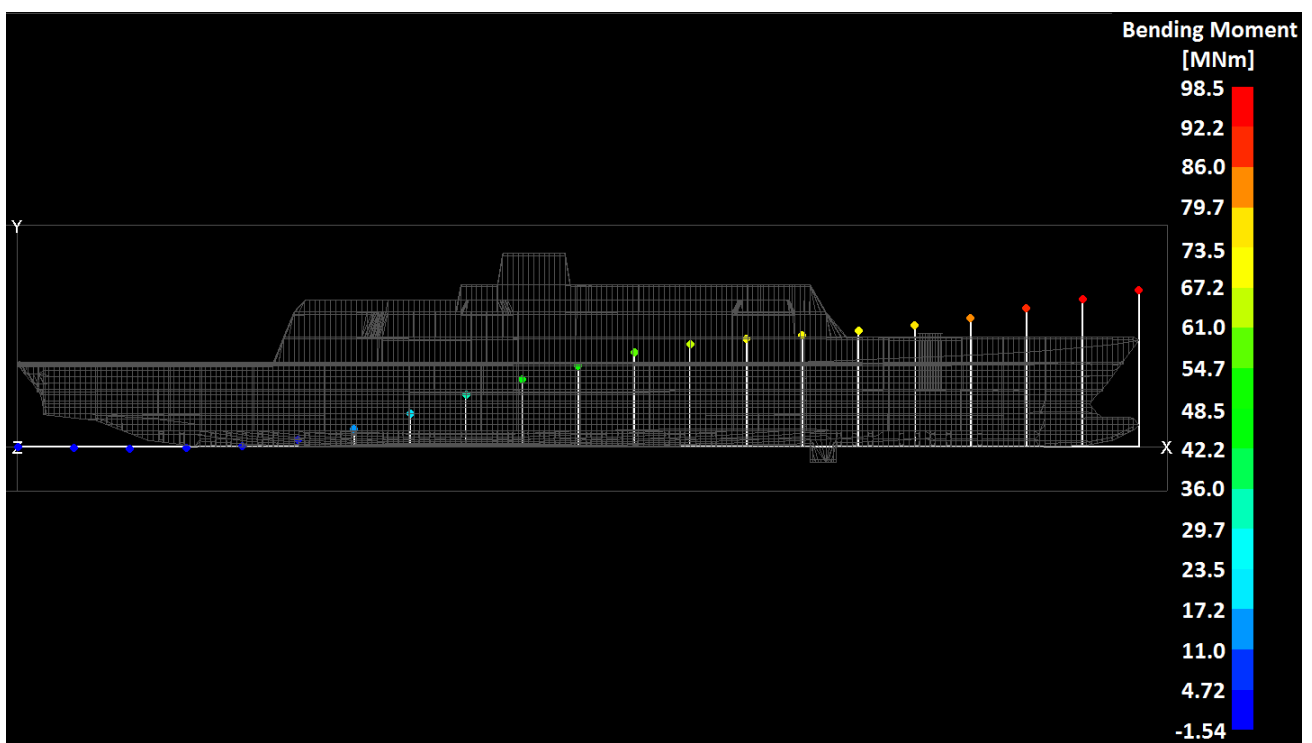


Εικόνα 97. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

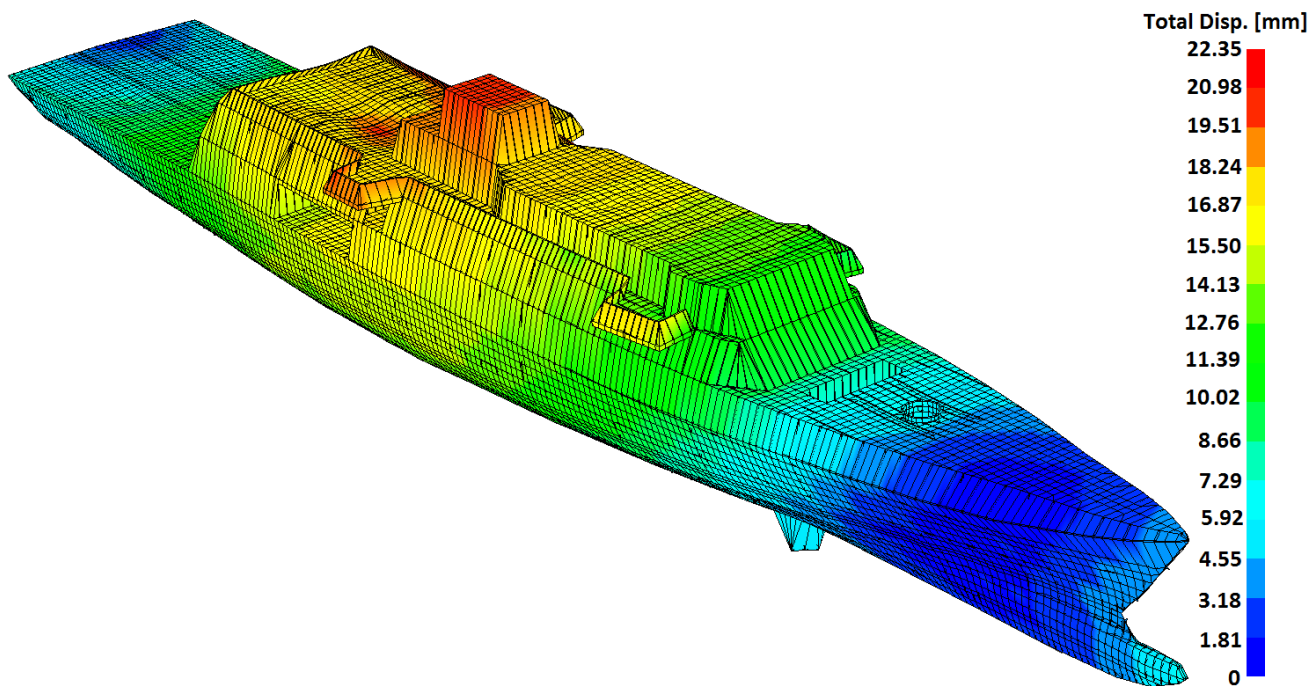
5.5.8 Vertical acceleration in inclined ship condition (285°)



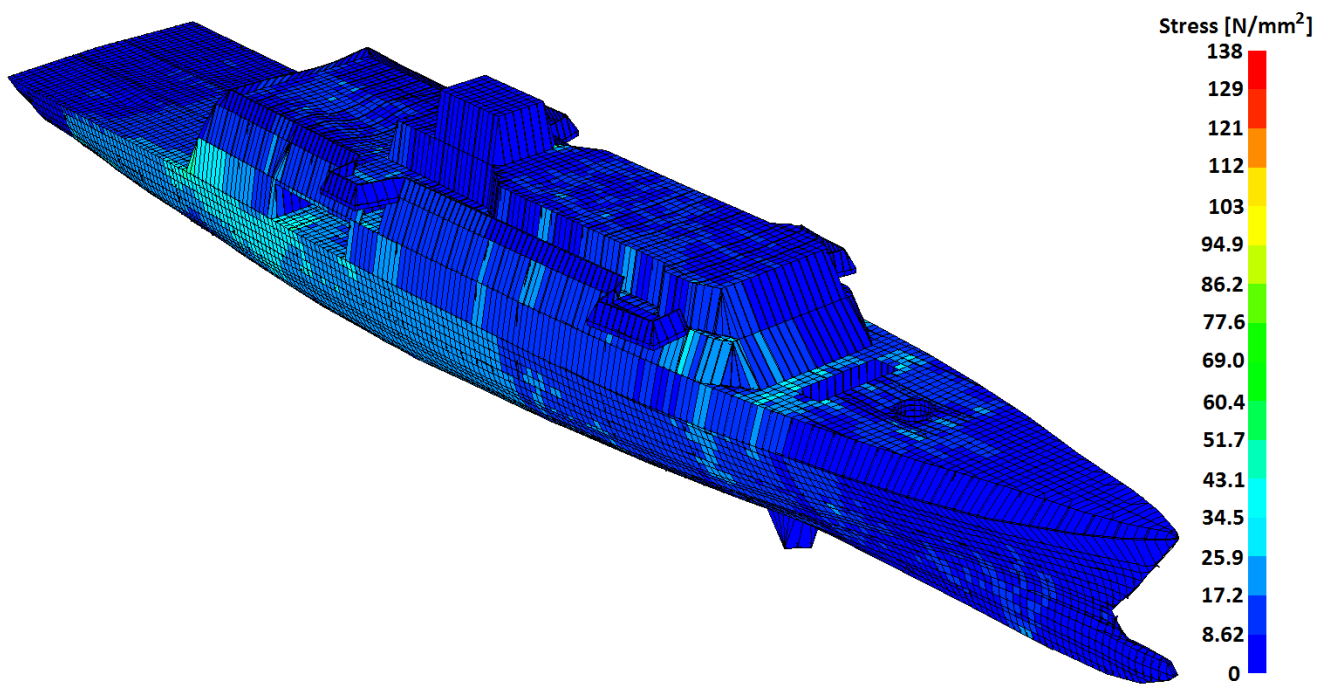
Εικόνα 98. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 99. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

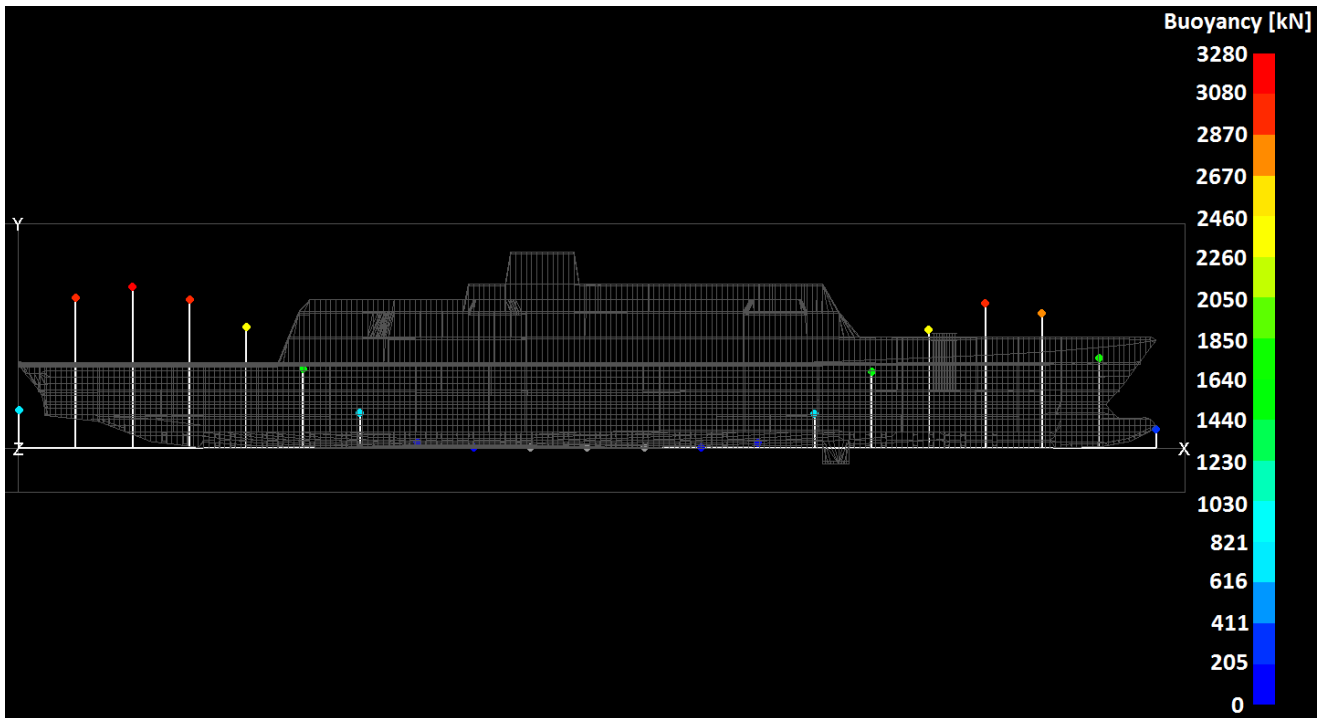


Εικόνα 100. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

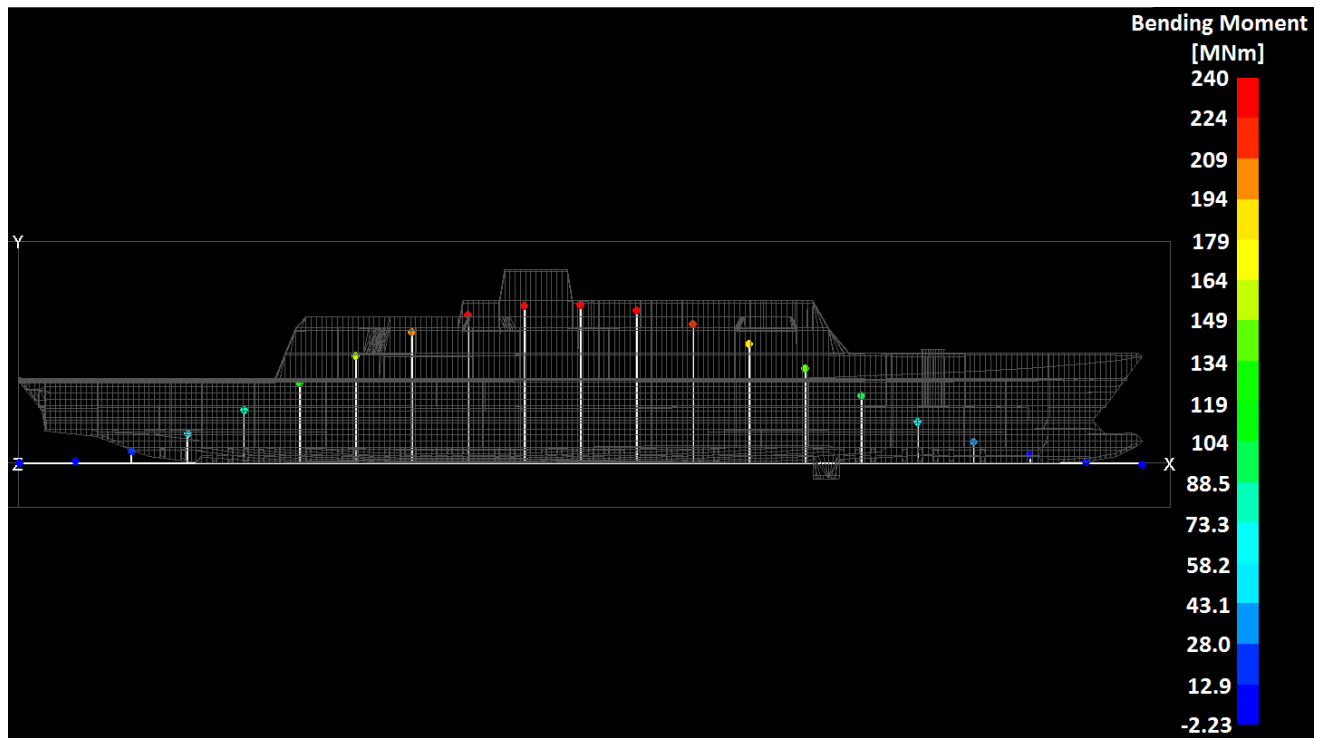


Εικόνα 101. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

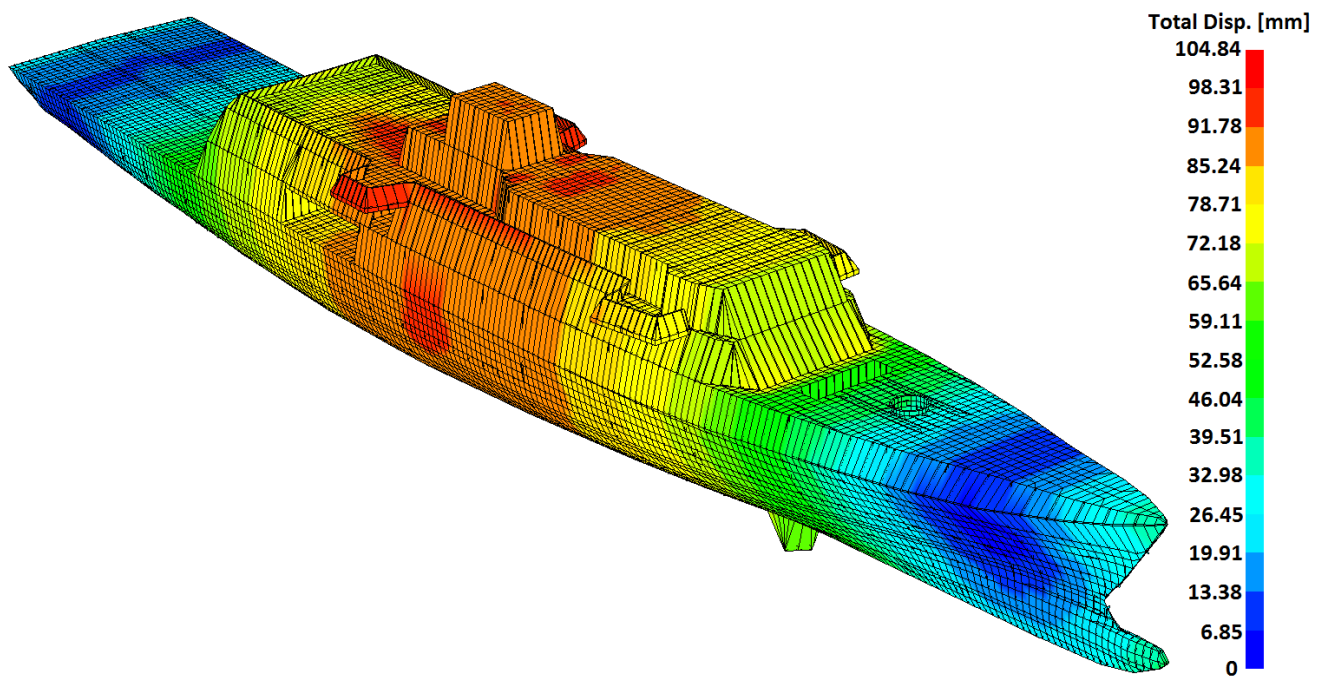
5.5.9 Vertical acceleration in upright ship condition (0°)



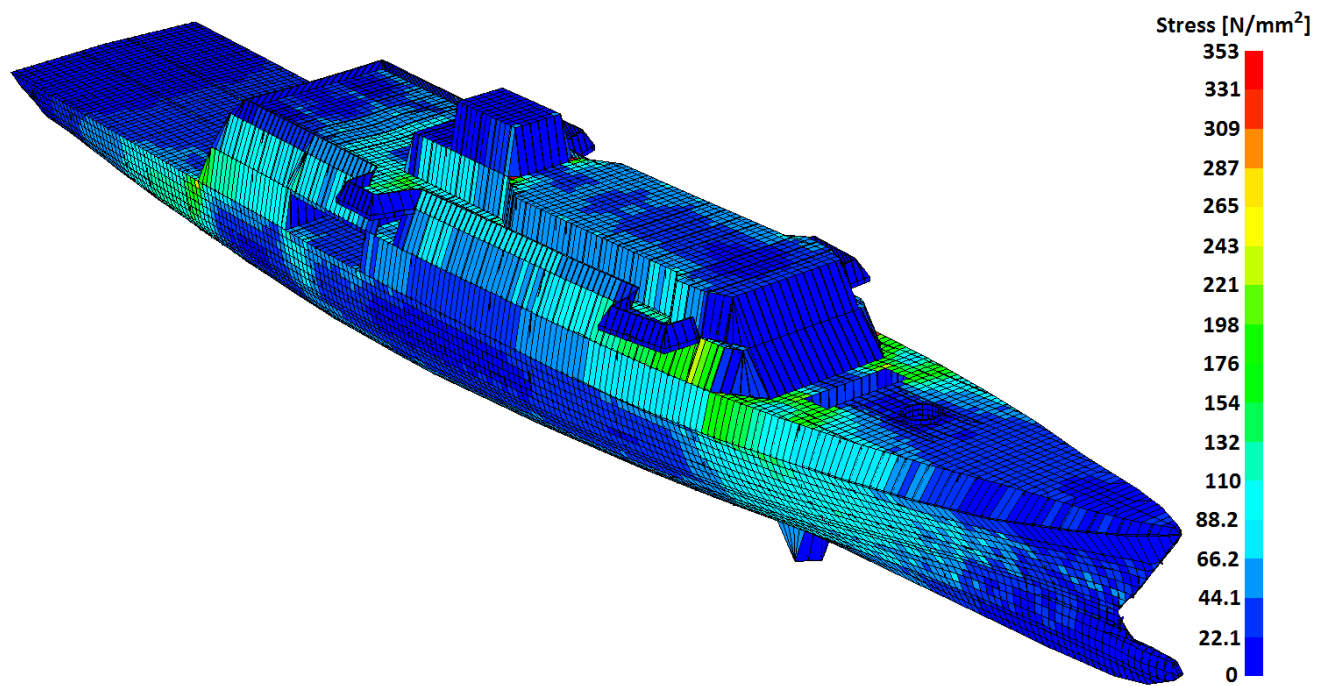
Εικόνα 102. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 103. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

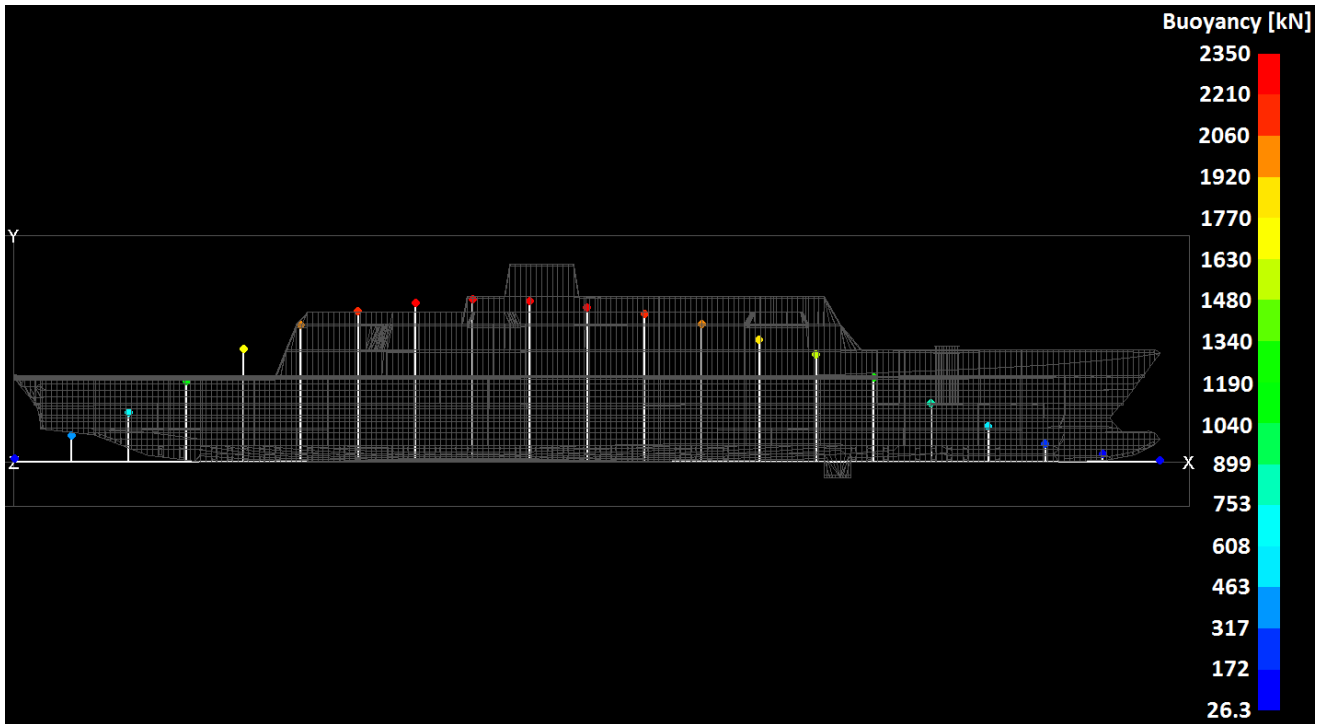


Εικόνα 104. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

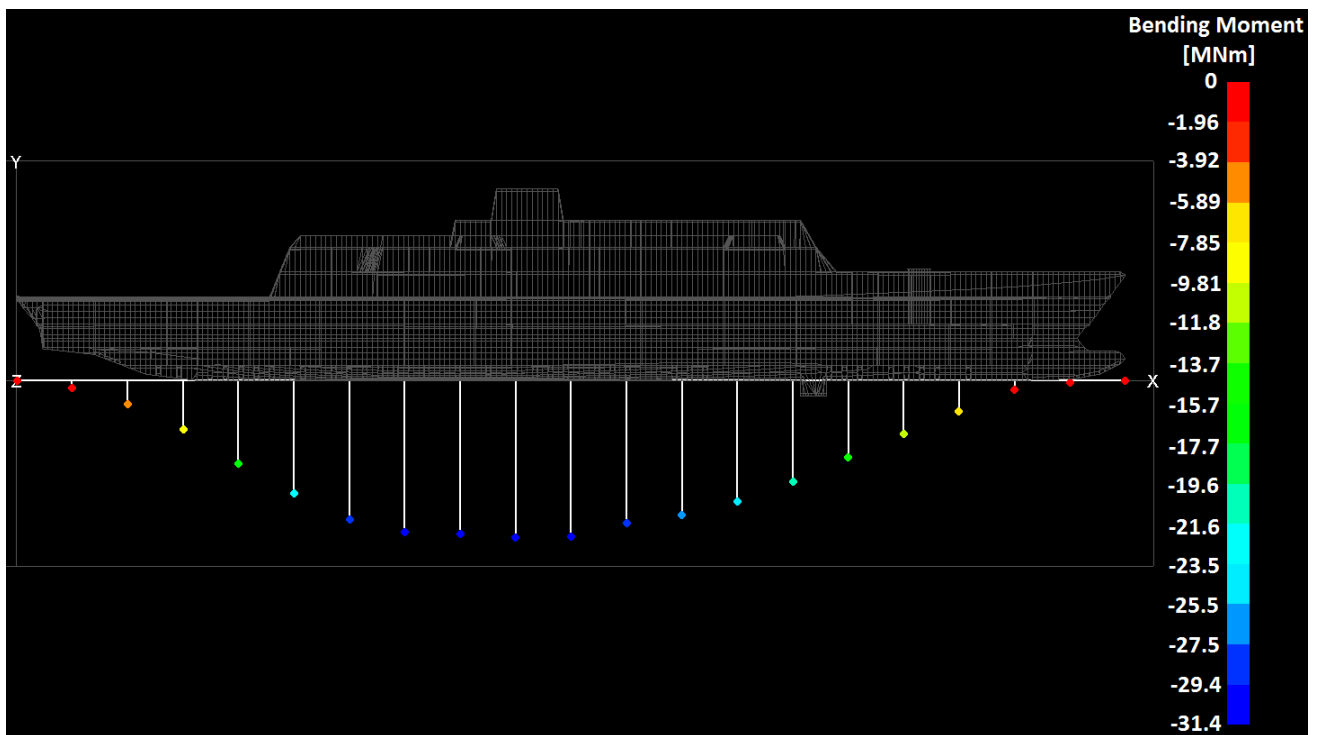


Εικόνα 105. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

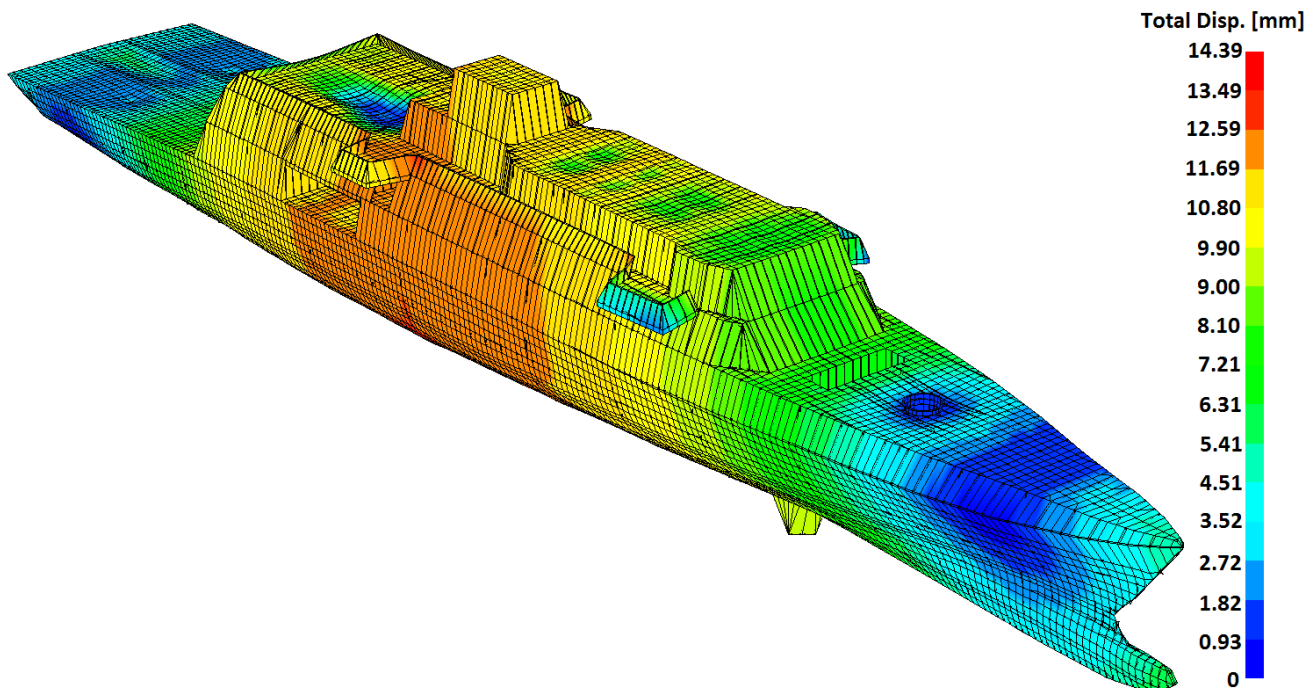
5.5.10 Transverse acceleration (270°)



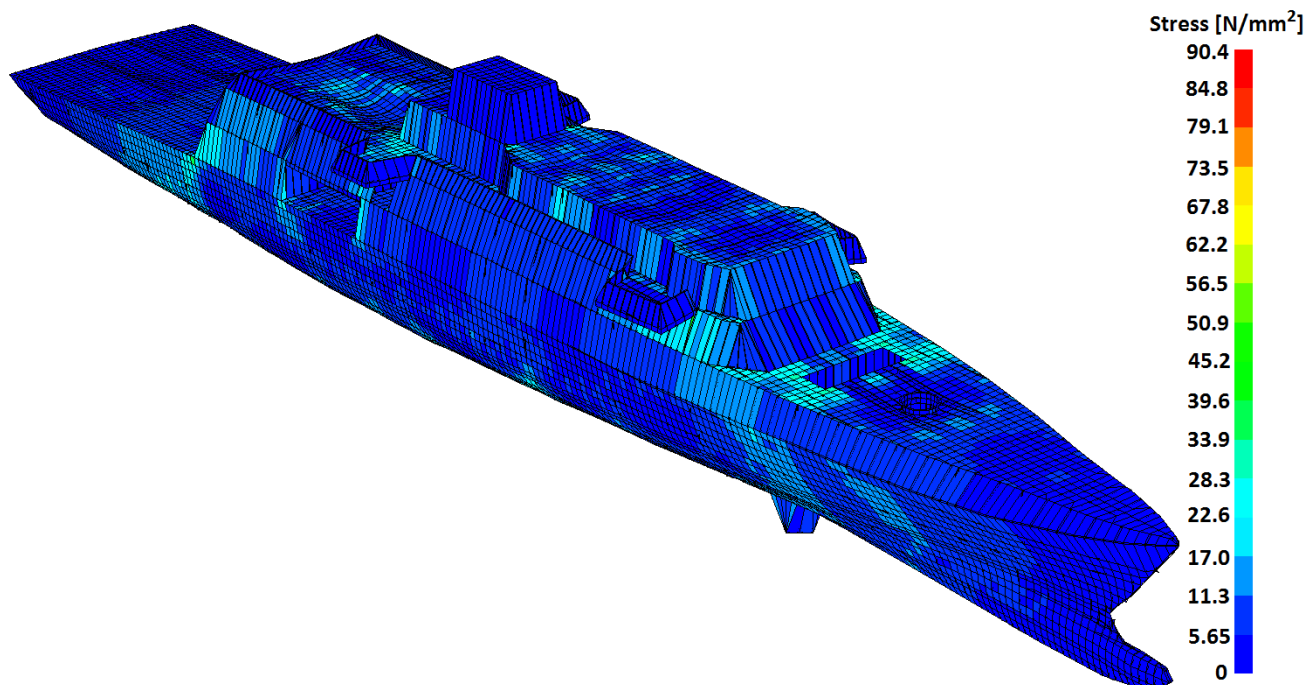
Εικόνα 106. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 107. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

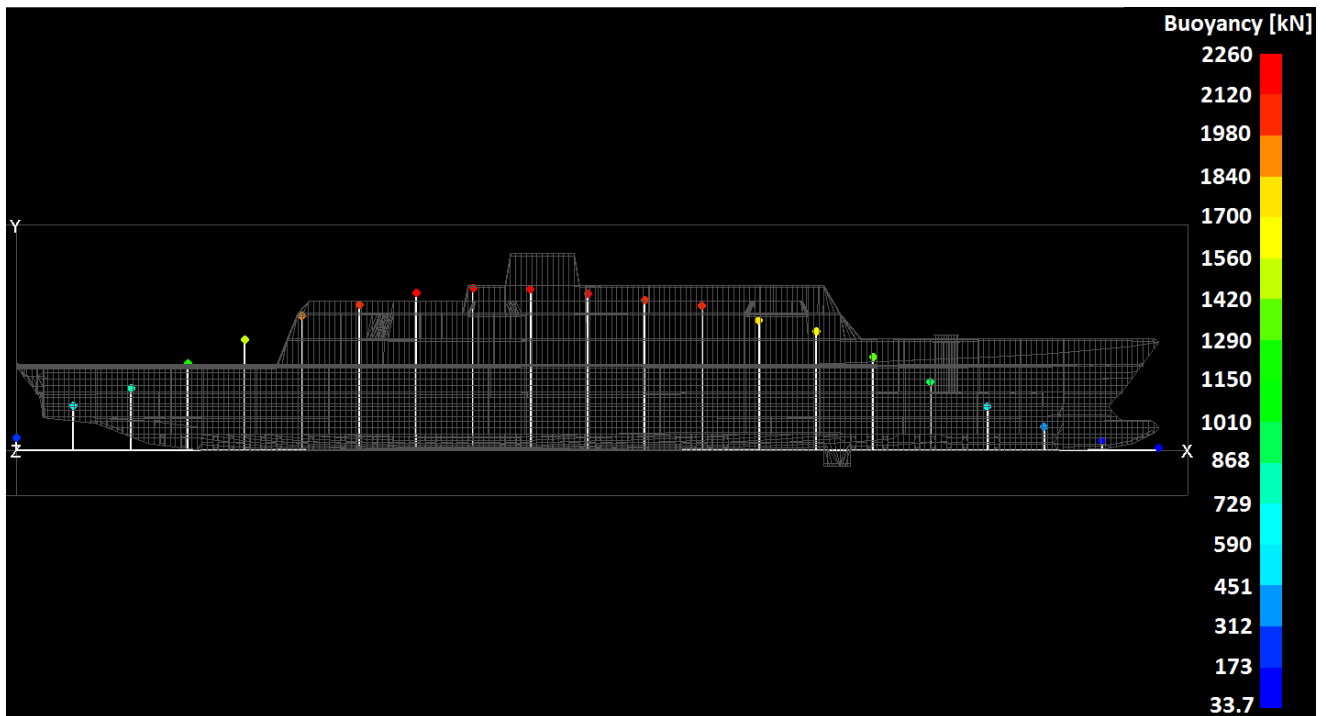


Εικόνα 108. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

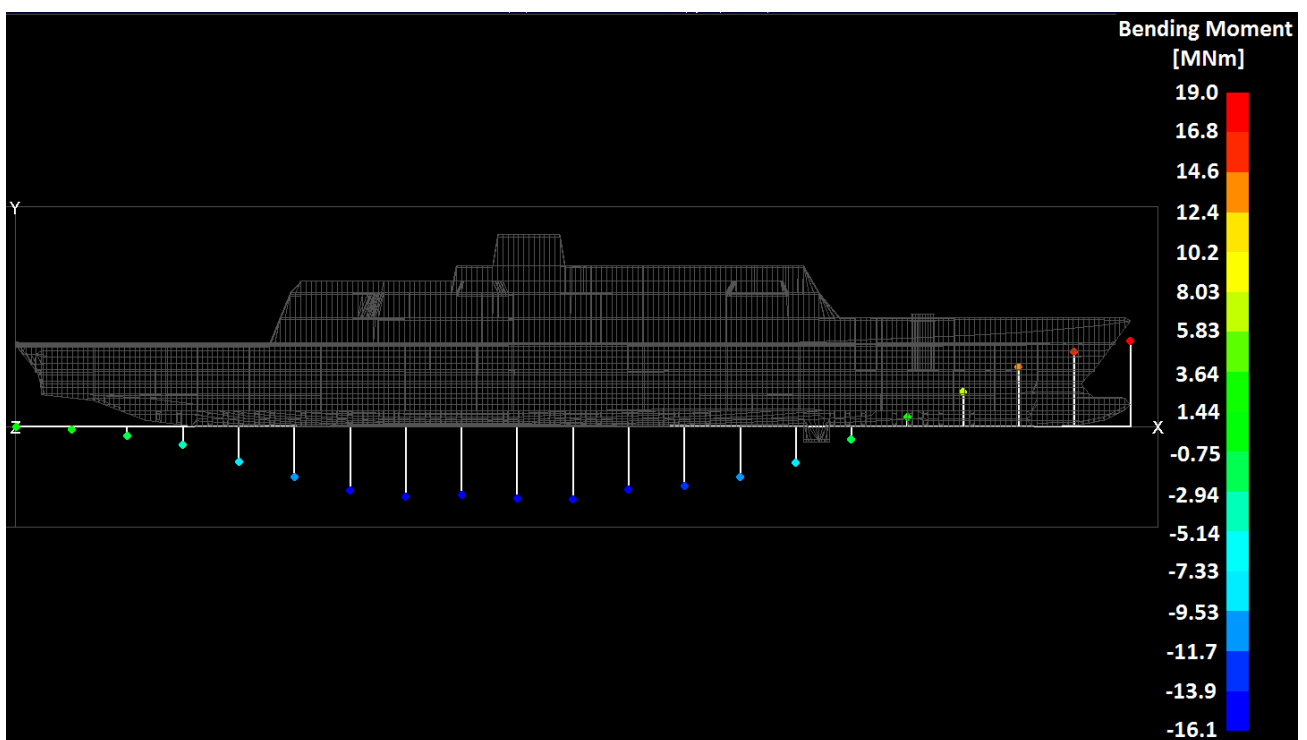


Εικόνα 109. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

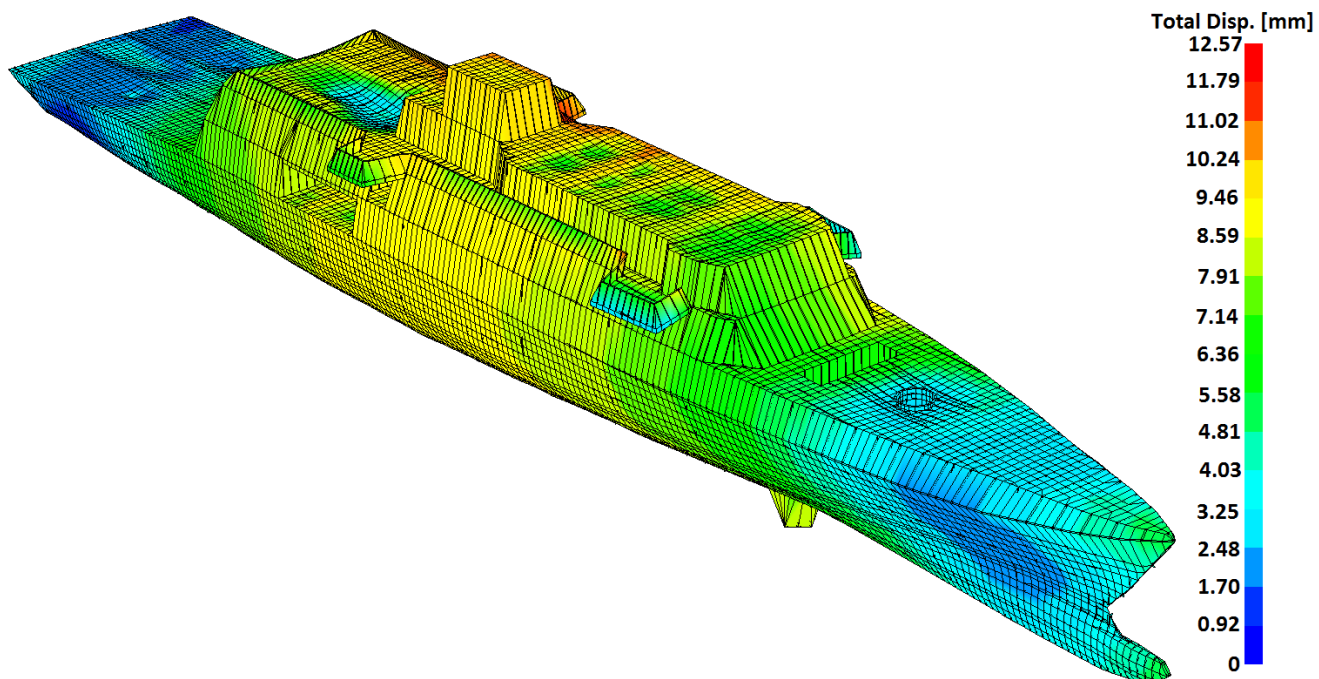
5.5.11 Vertical relative motion at sides in upright ship condition (0°)



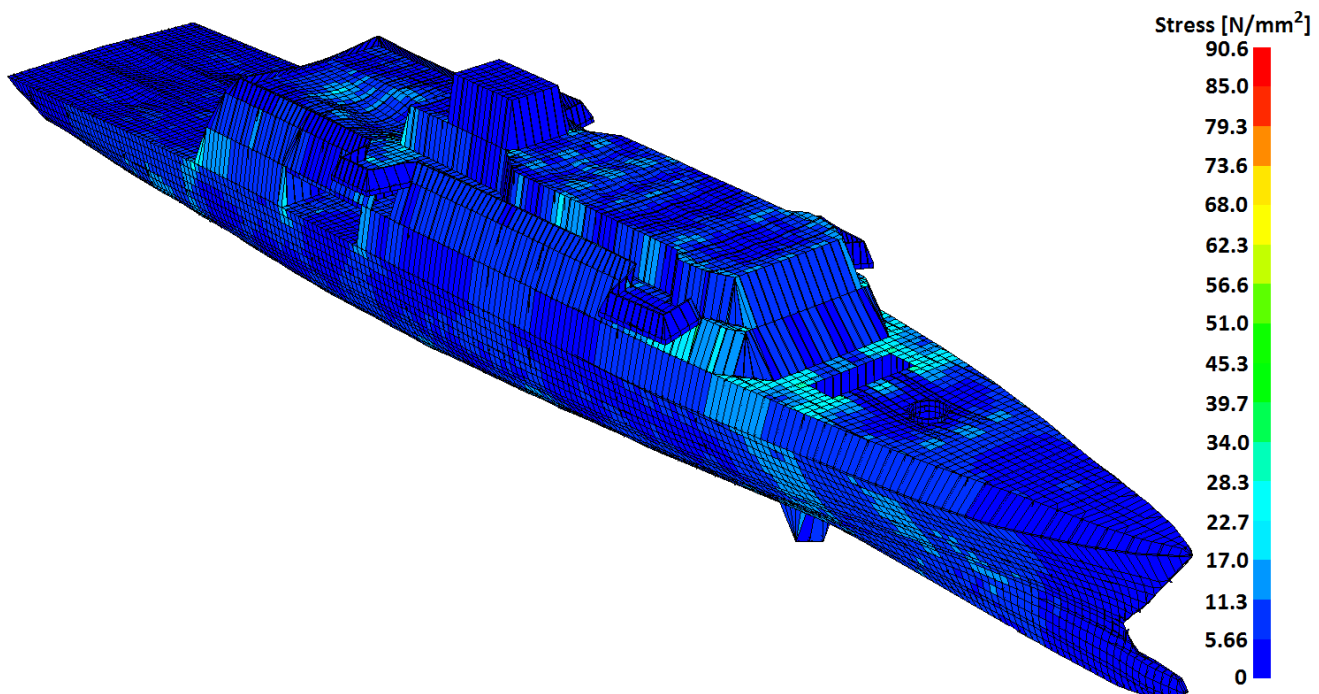
Εικόνα 110. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 111. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

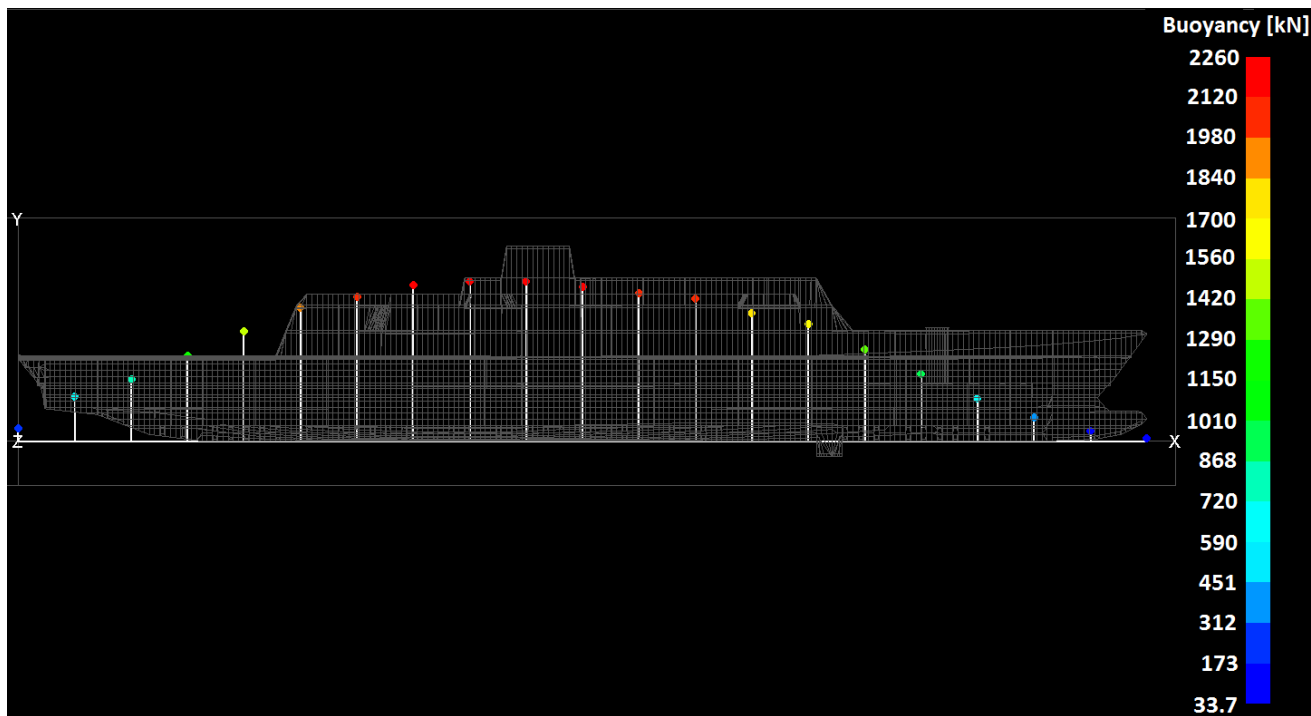


Εικόνα 112. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

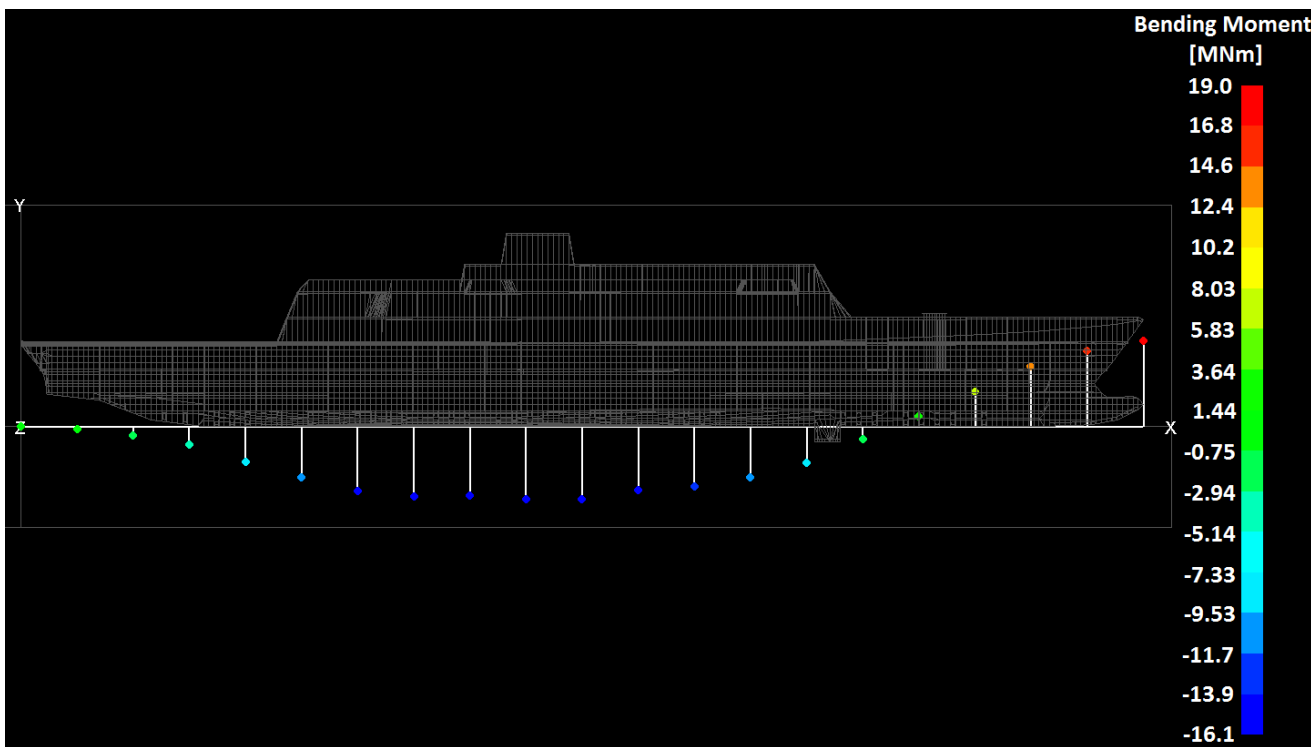


Εικόνα 113. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

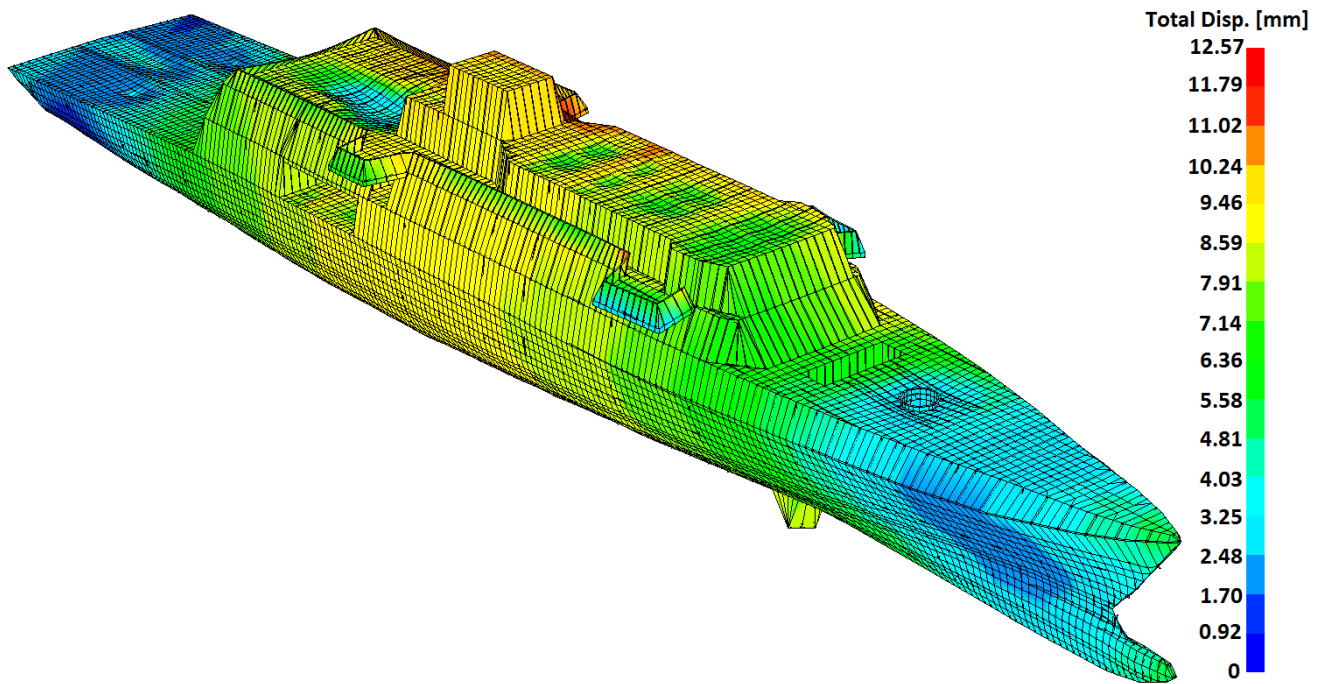
5.5.12 Vertical relative motion at sides in upright ship condition (180°)



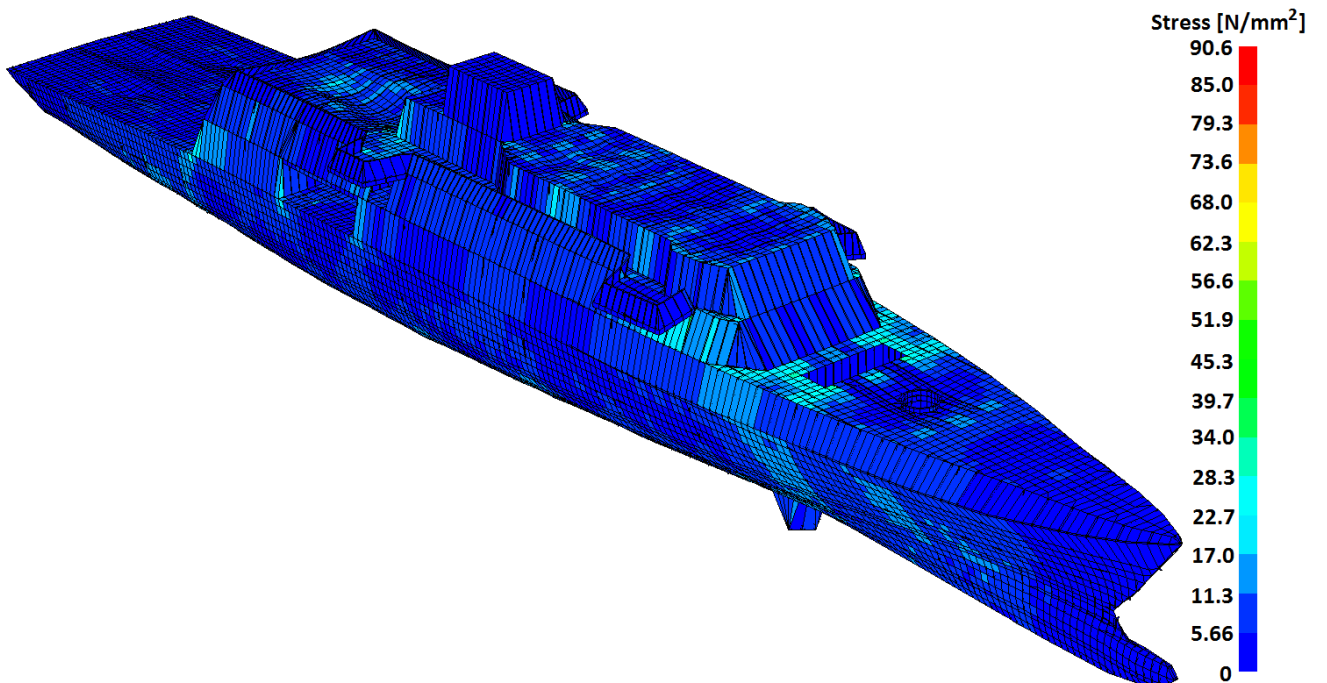
Εικόνα 114. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 115. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

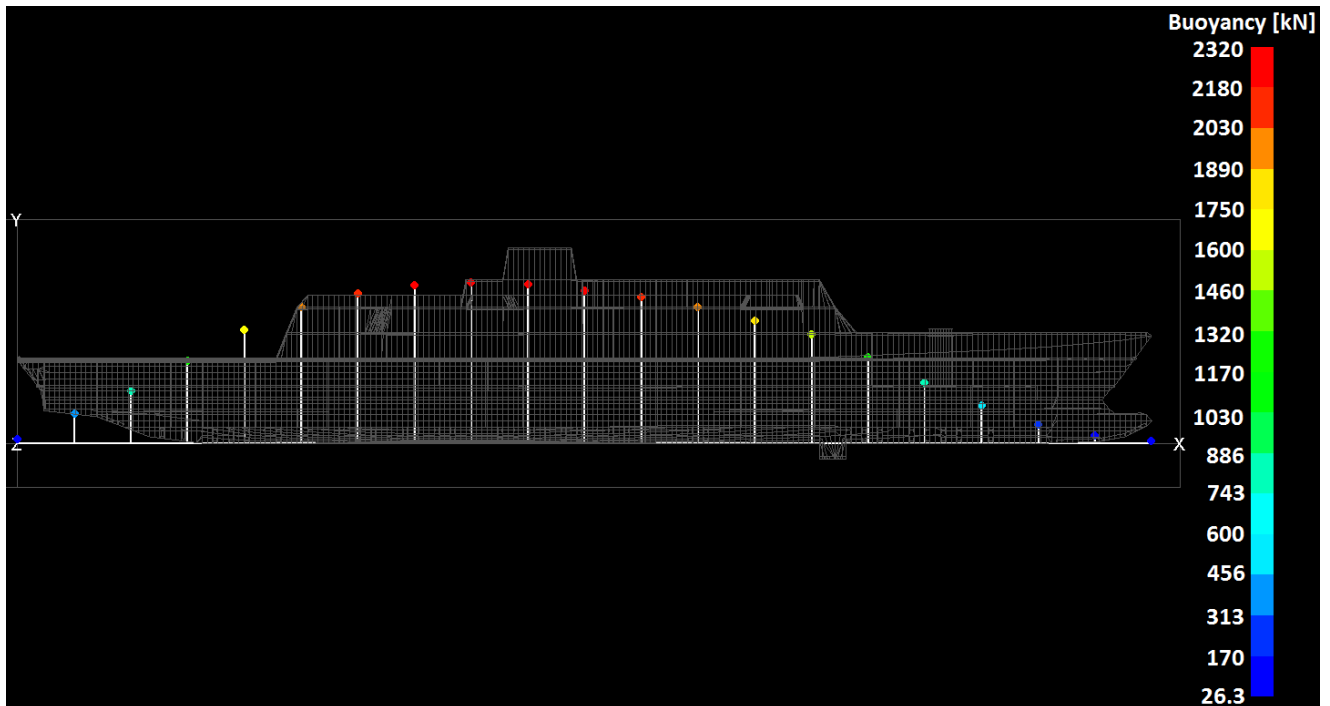


Εικόνα 116. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

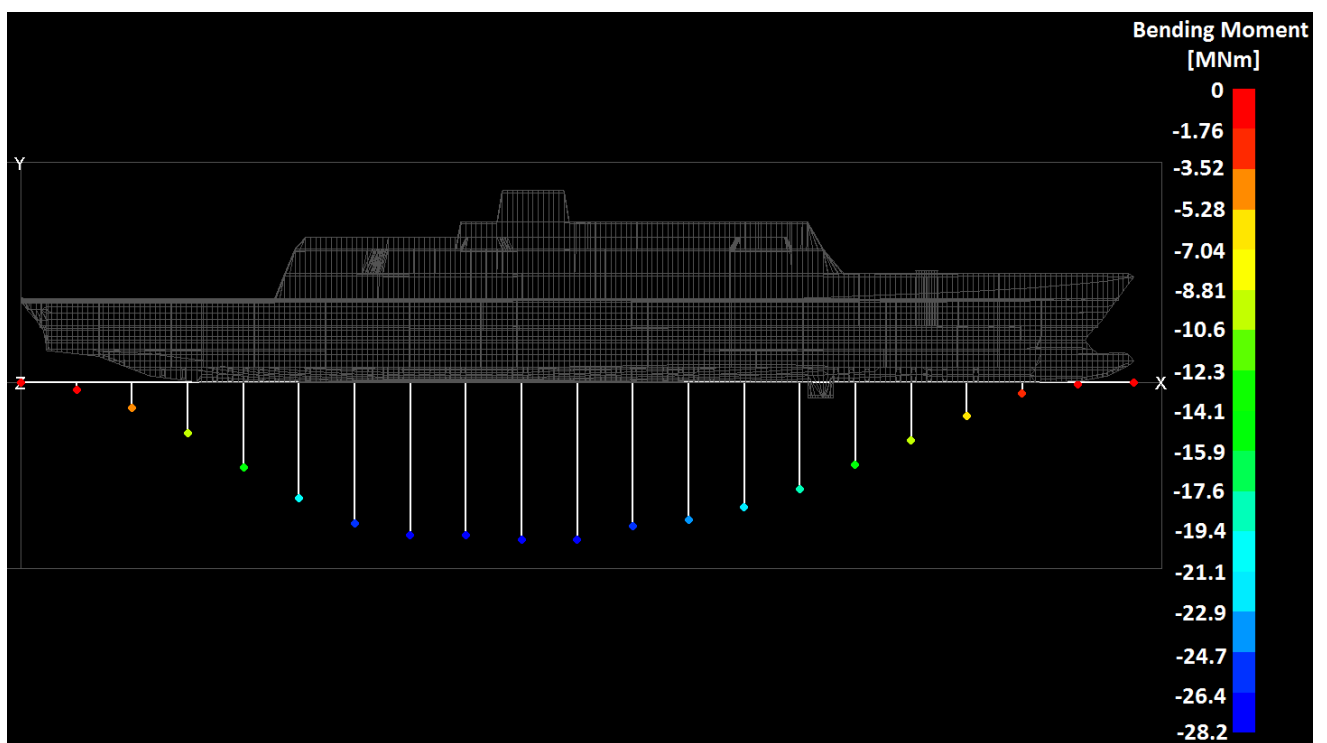


Εικόνα 117. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

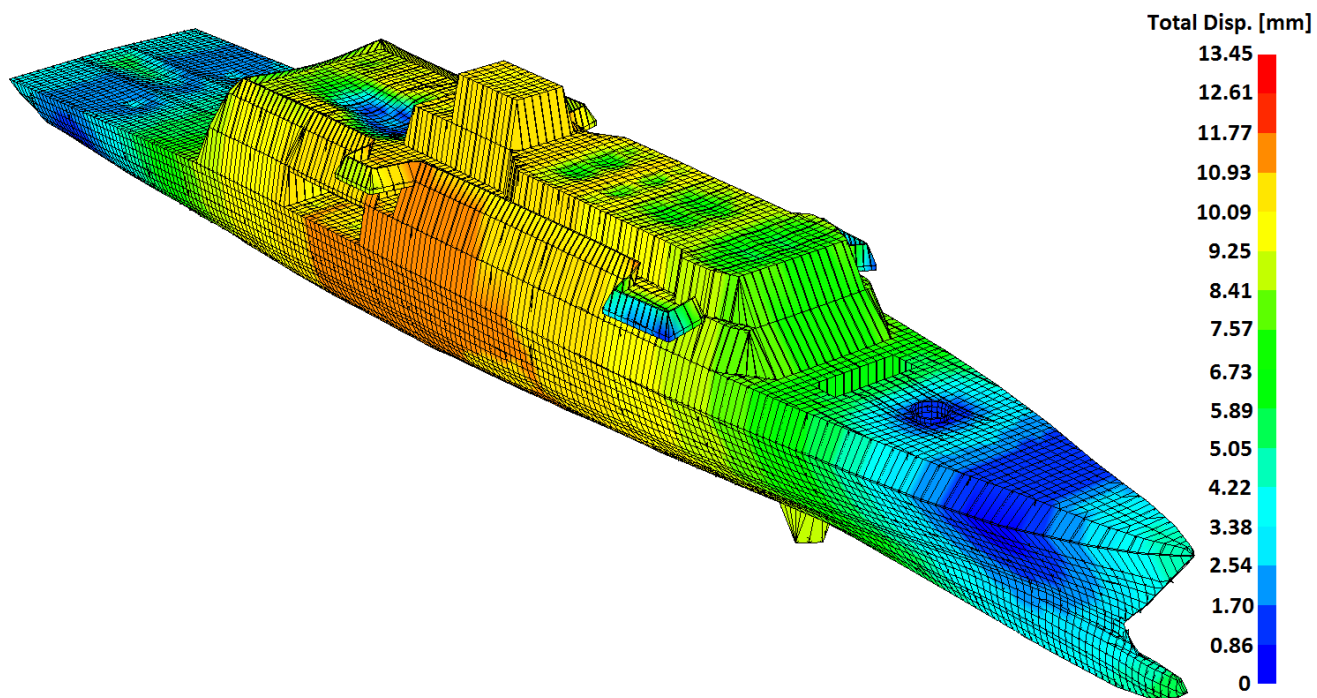
5.5.13 Vertical relative motion at sides in inclined ship condition (270°)



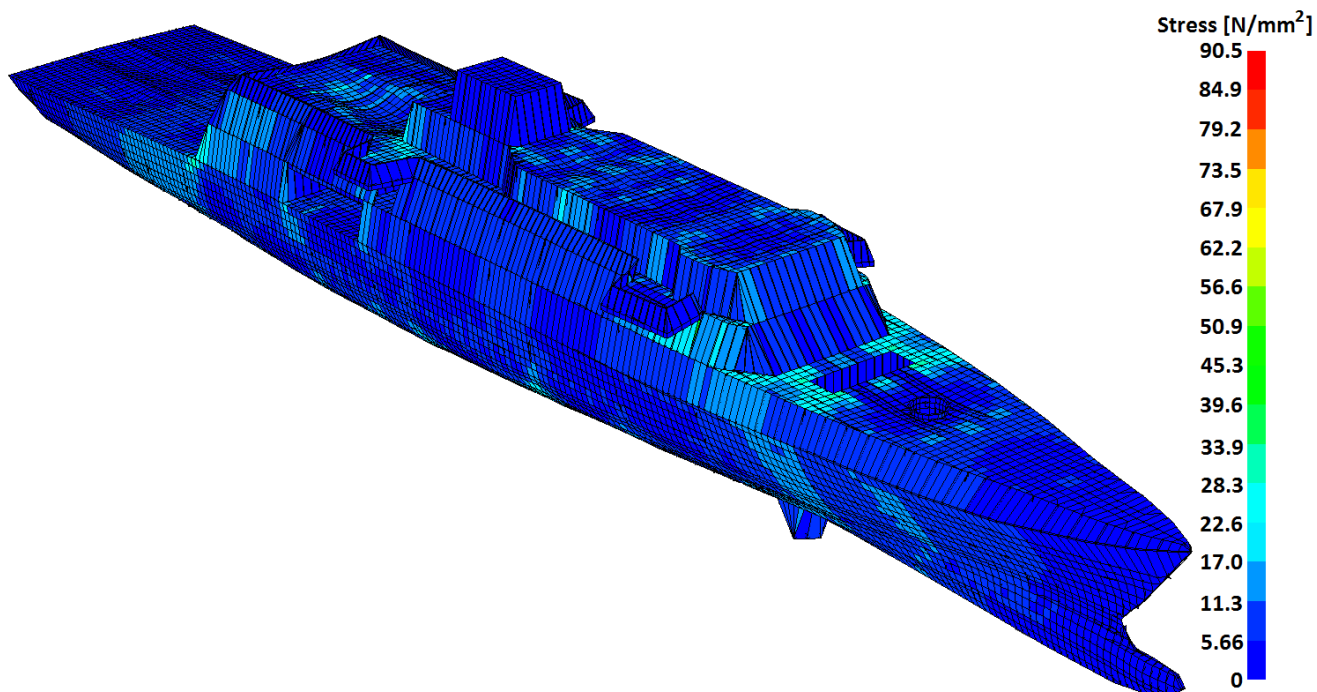
Εικόνα 118. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 119. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

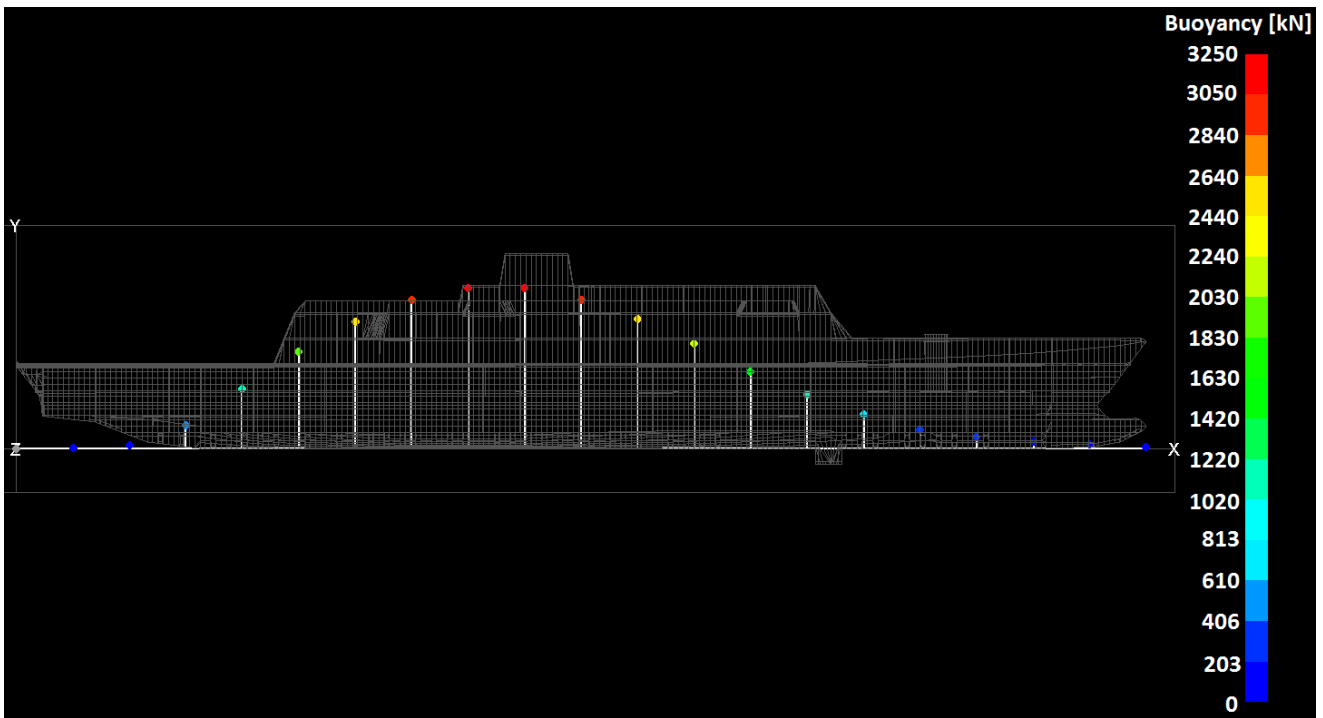


Εικόνα 120. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

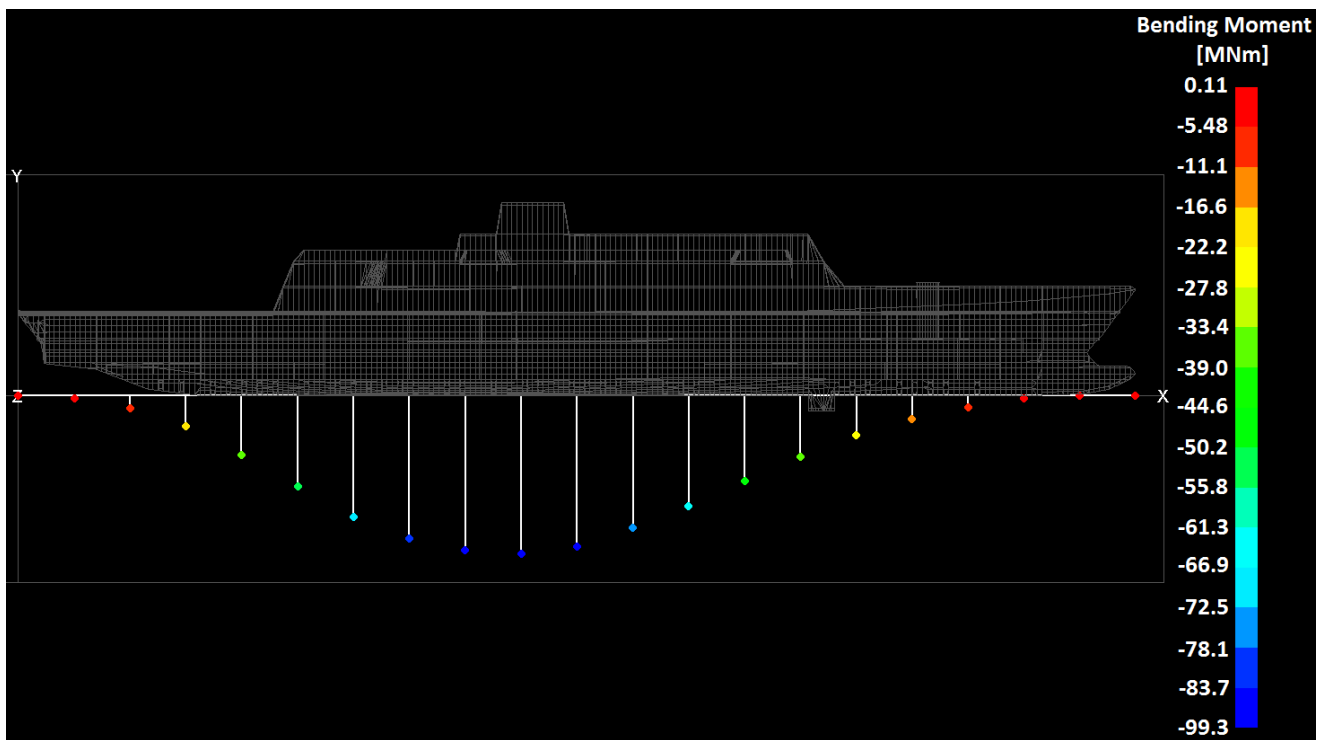


Εικόνα 121. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

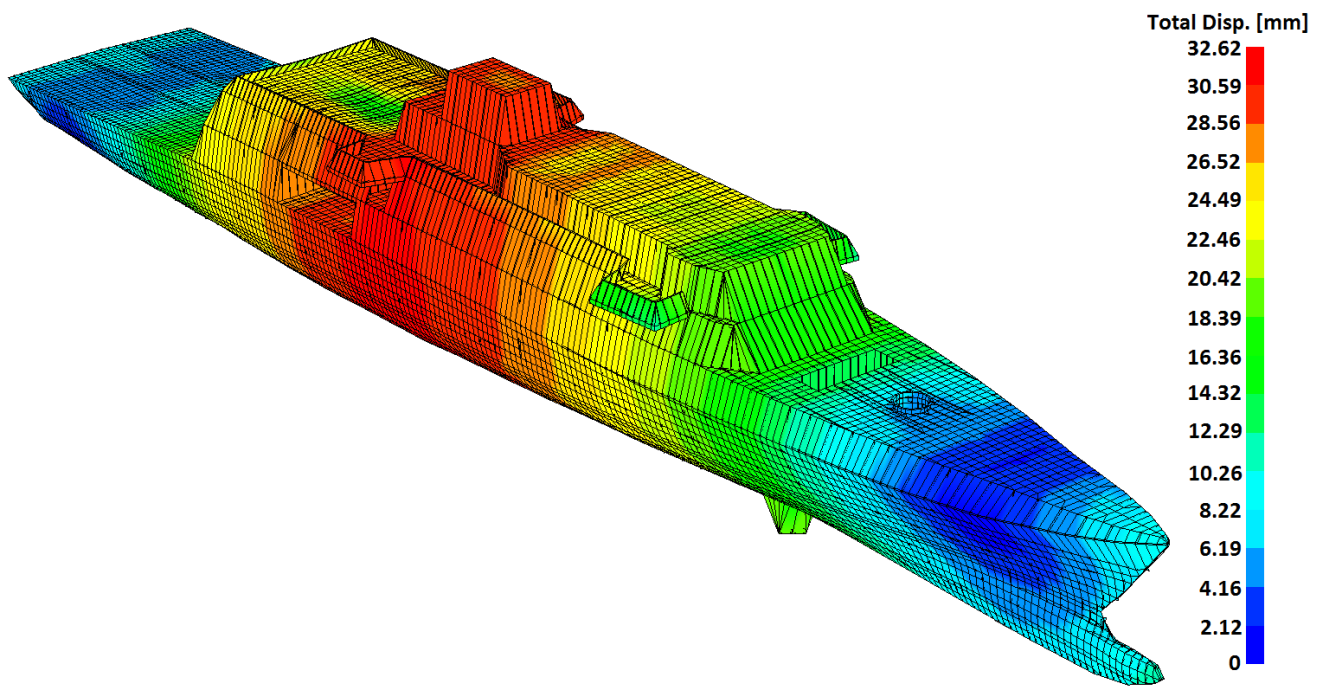
5.5.14 Aegean Sea (0°)



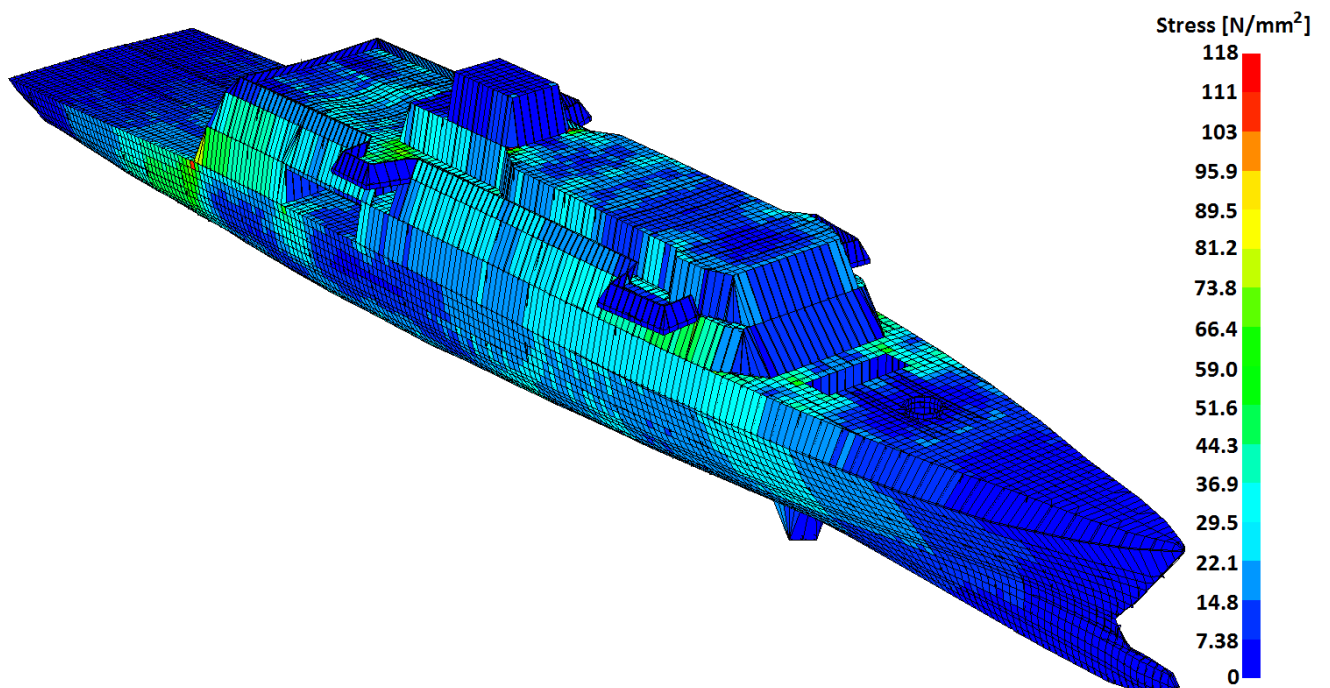
Εικόνα 122. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 123. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

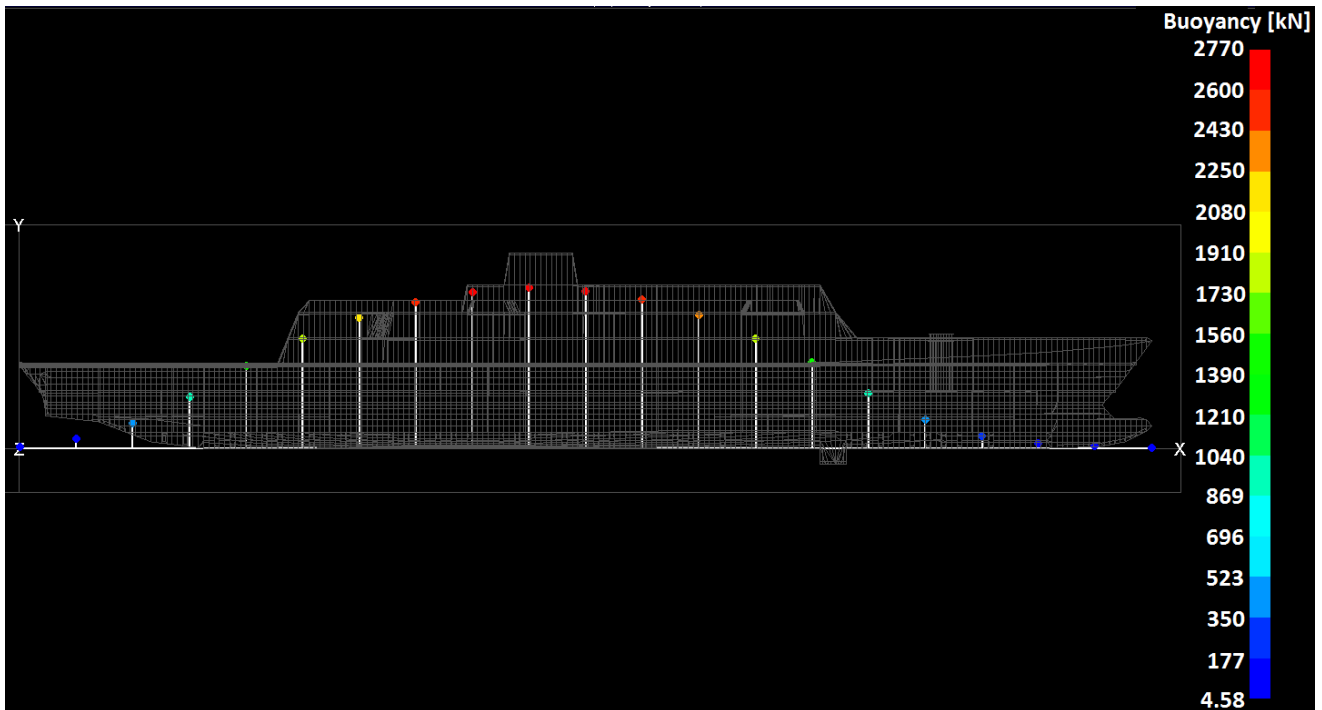


Εικόνα 124. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

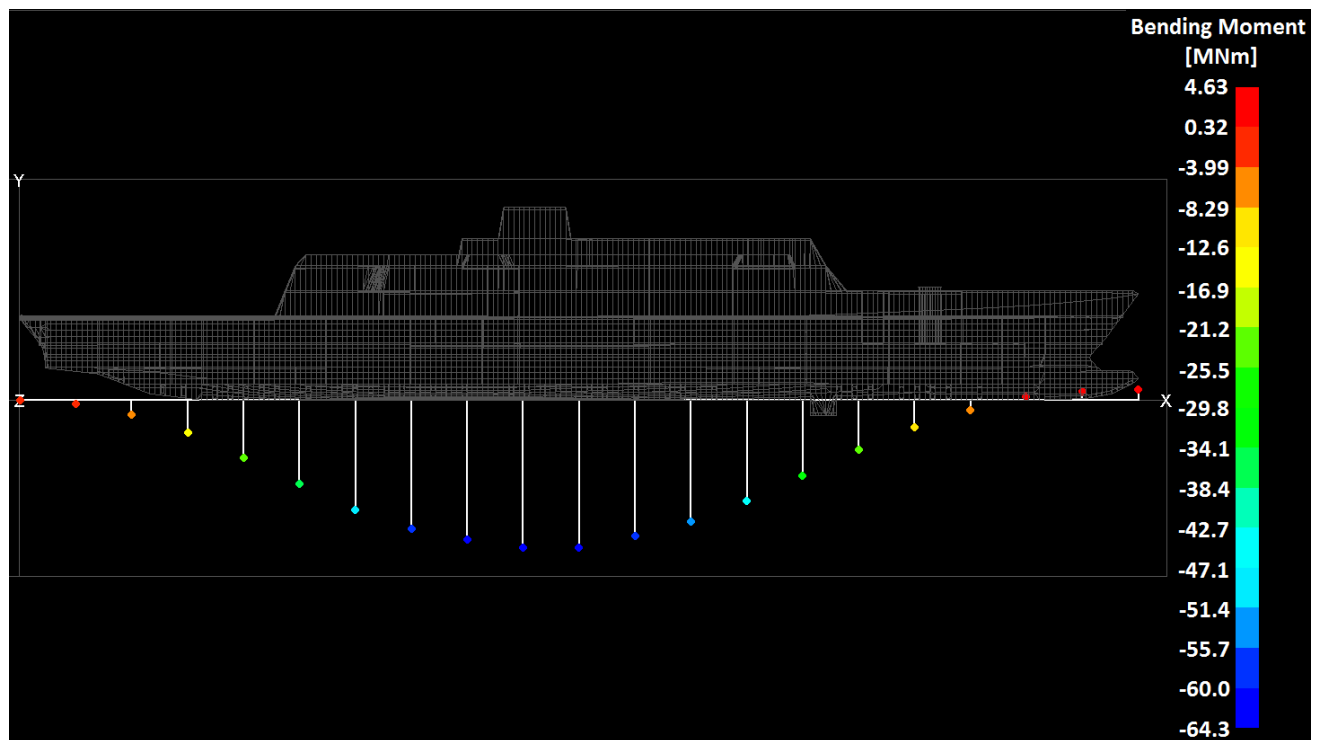


Εικόνα 125. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

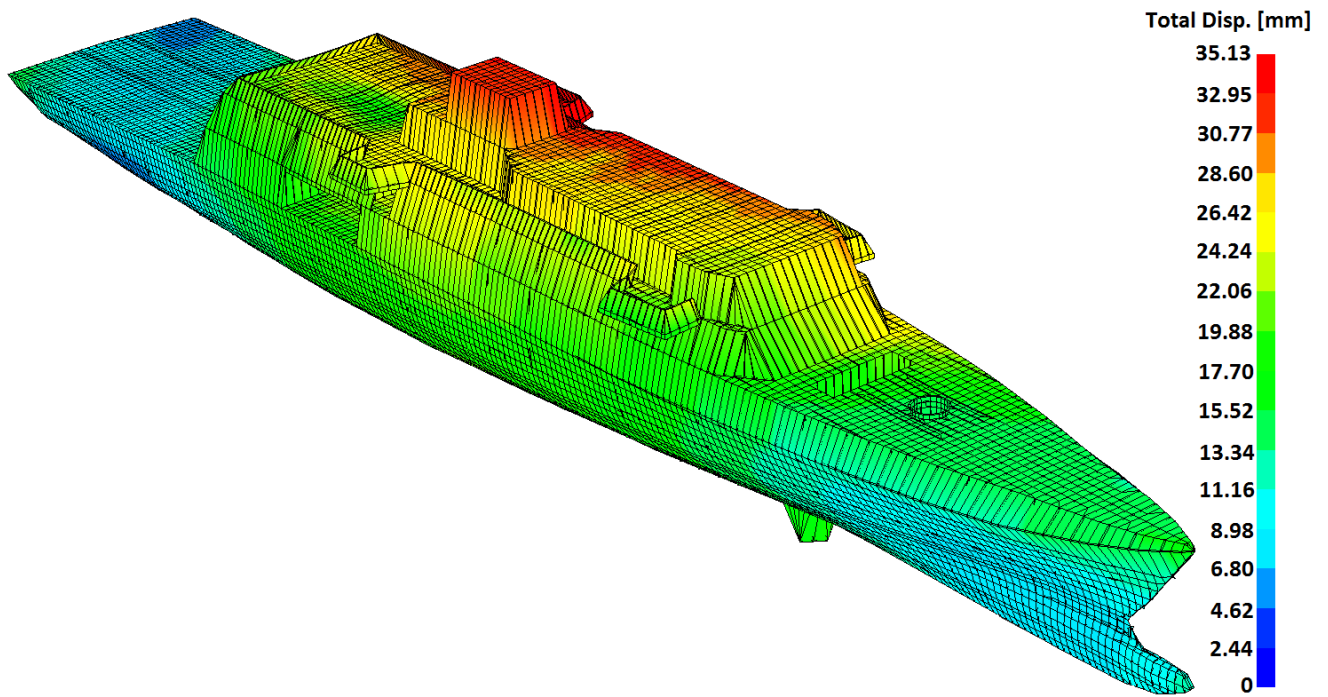
5.5.15 Aegean Sea (45°)



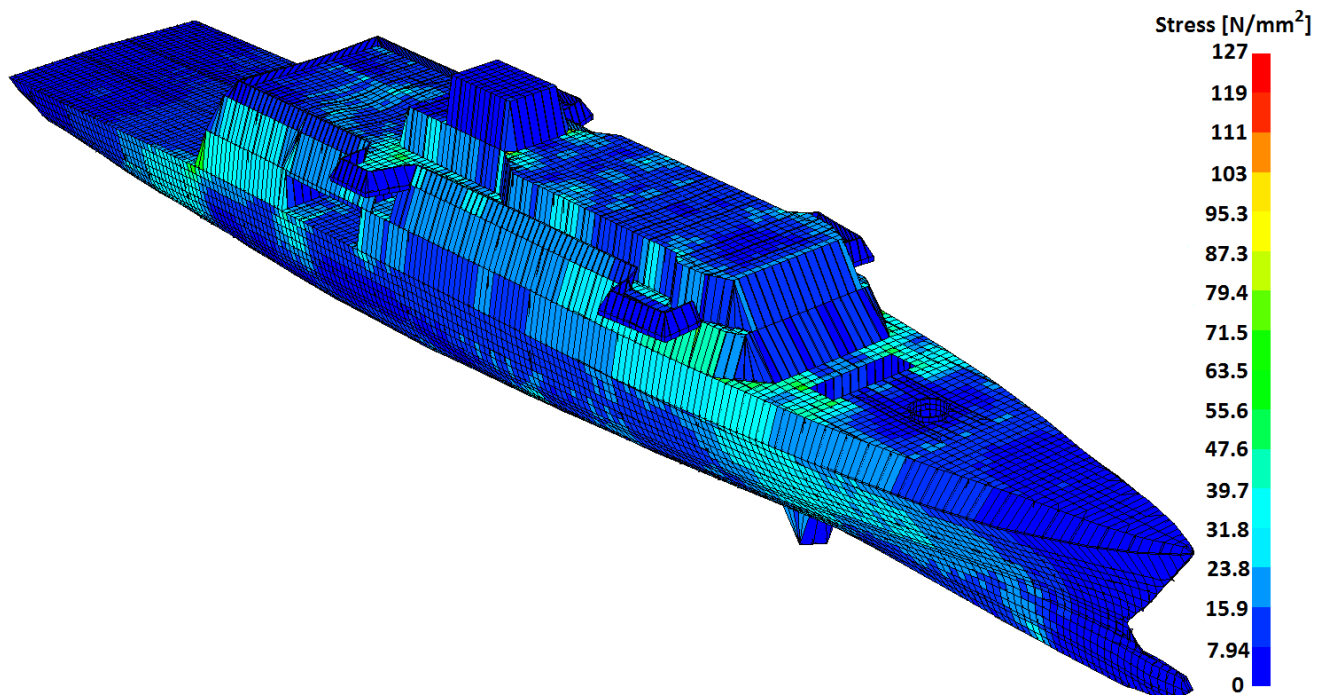
Εικόνα 126. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 127. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

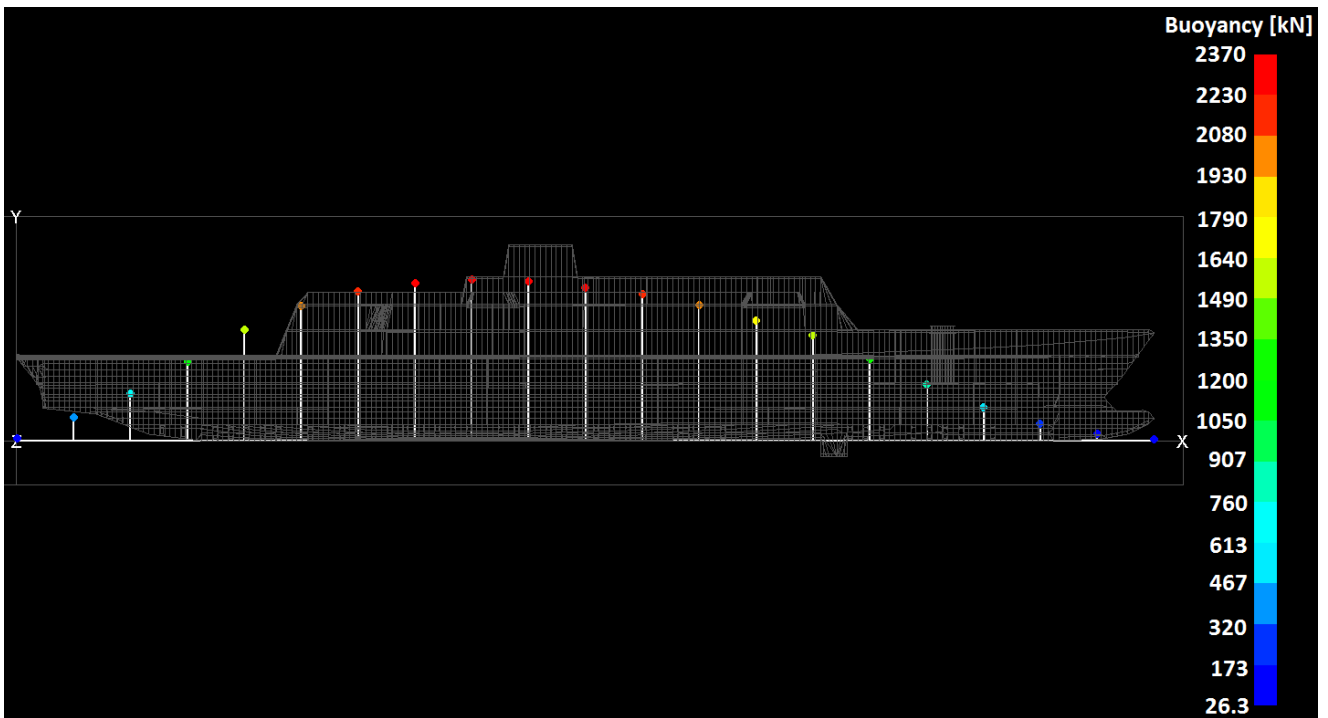


Εικόνα 128. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

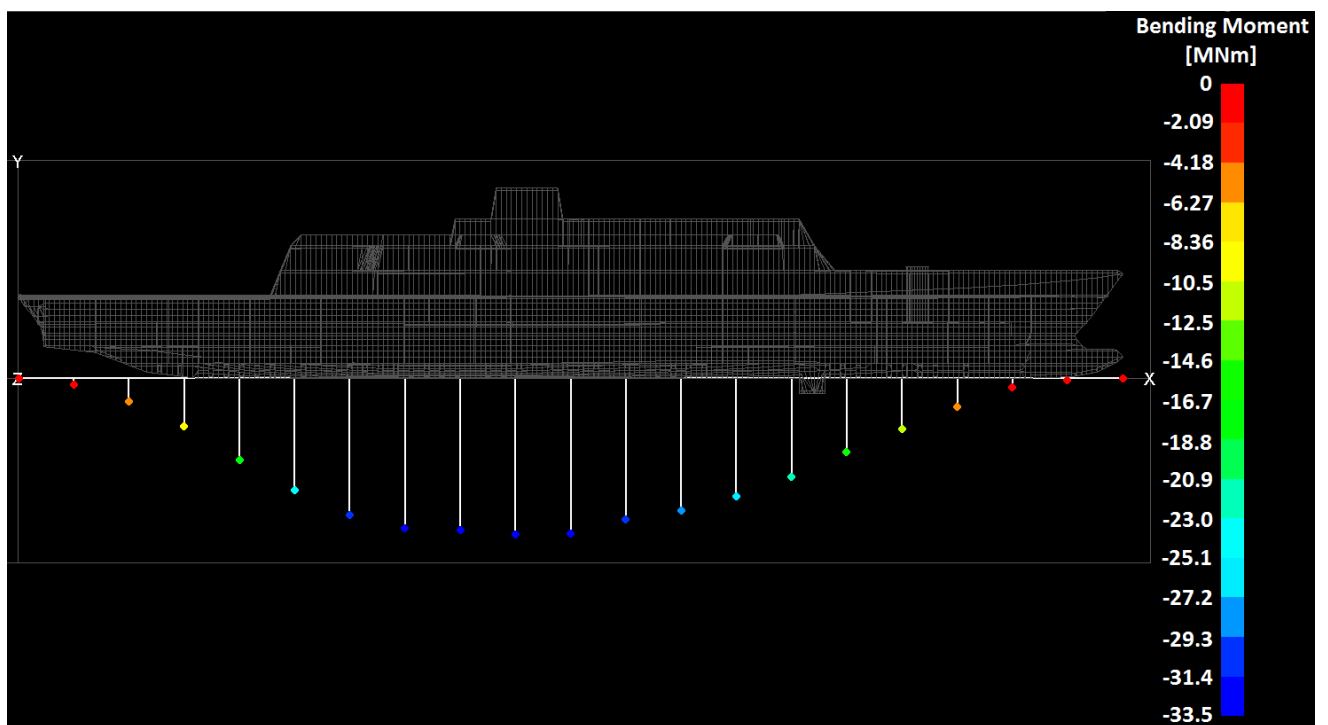


Εικόνα 129. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

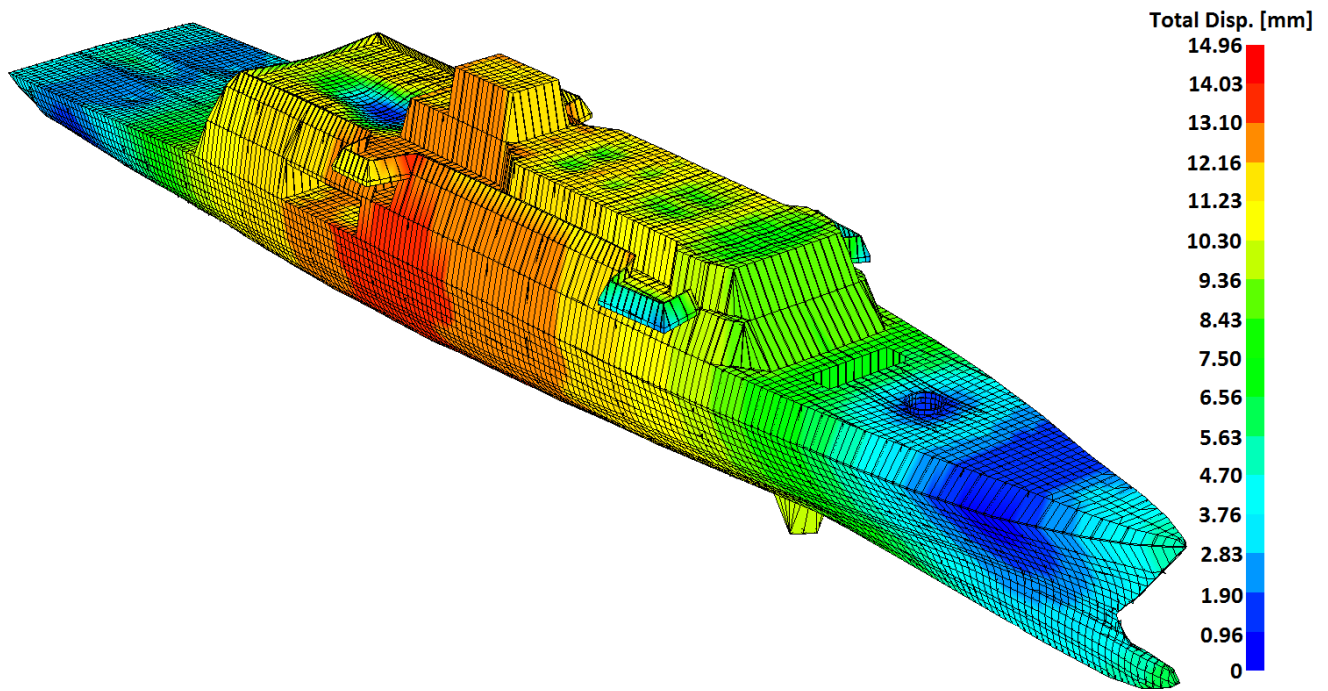
5.5.16 Aegean Sea (90°)



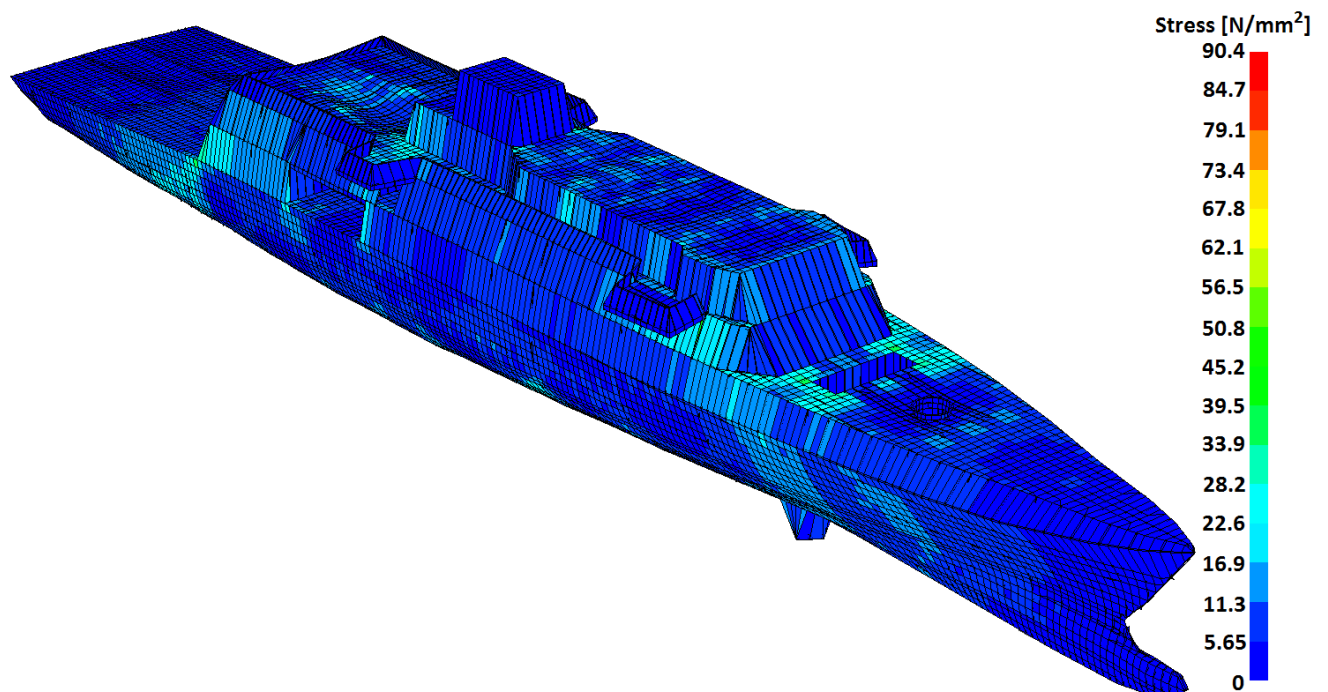
Εικόνα 130. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 131. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

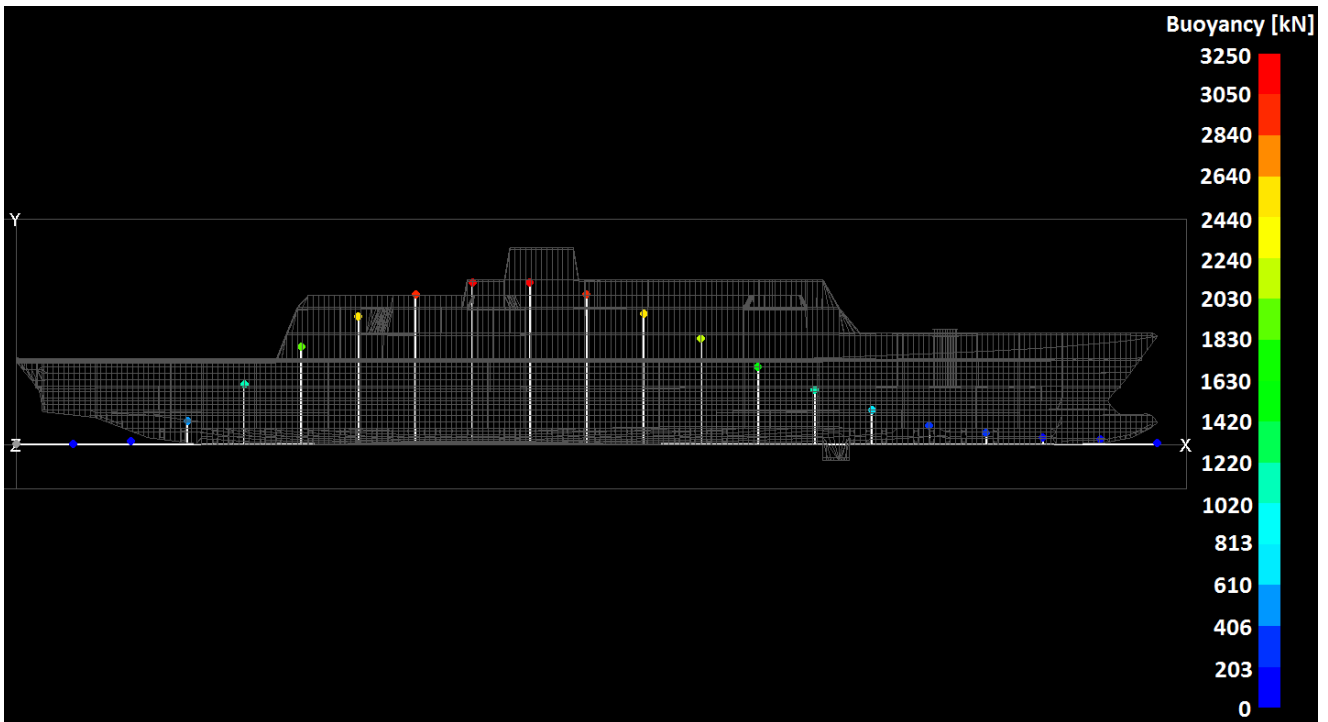


Εικόνα 132. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

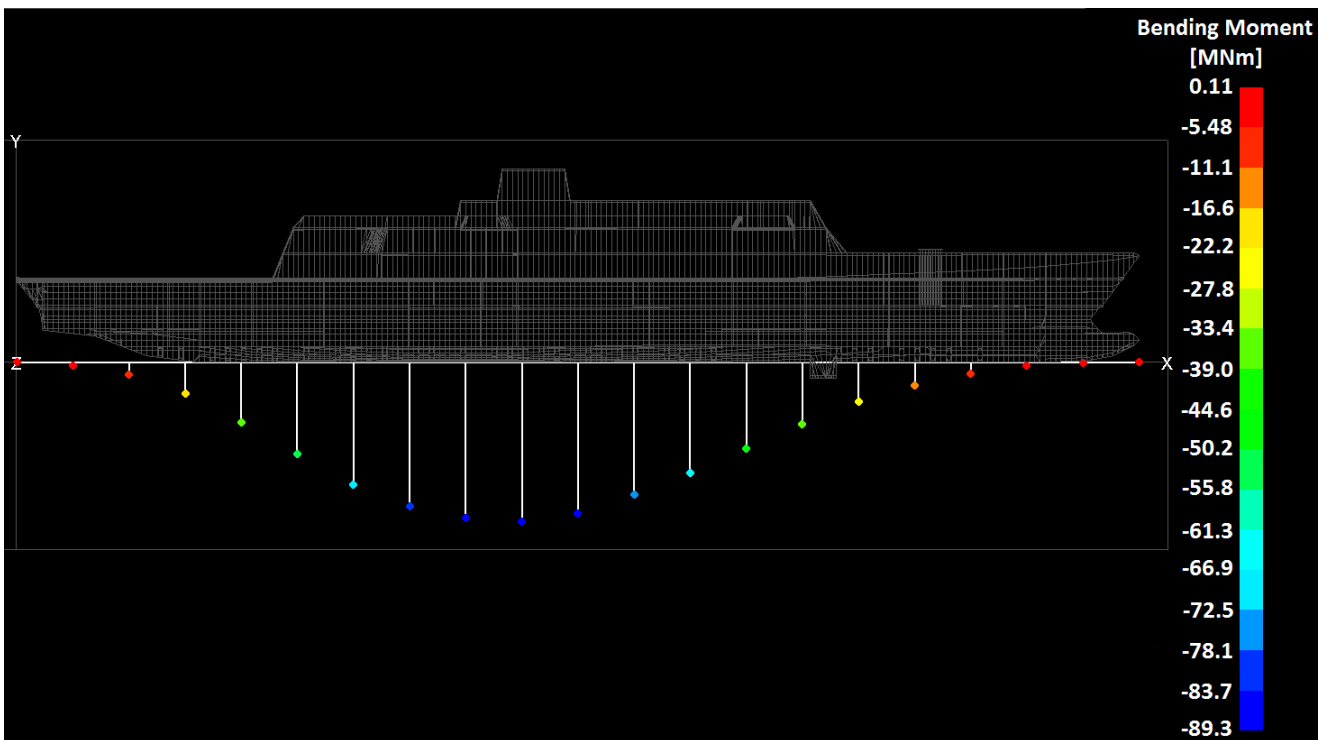


Εικόνα 133. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

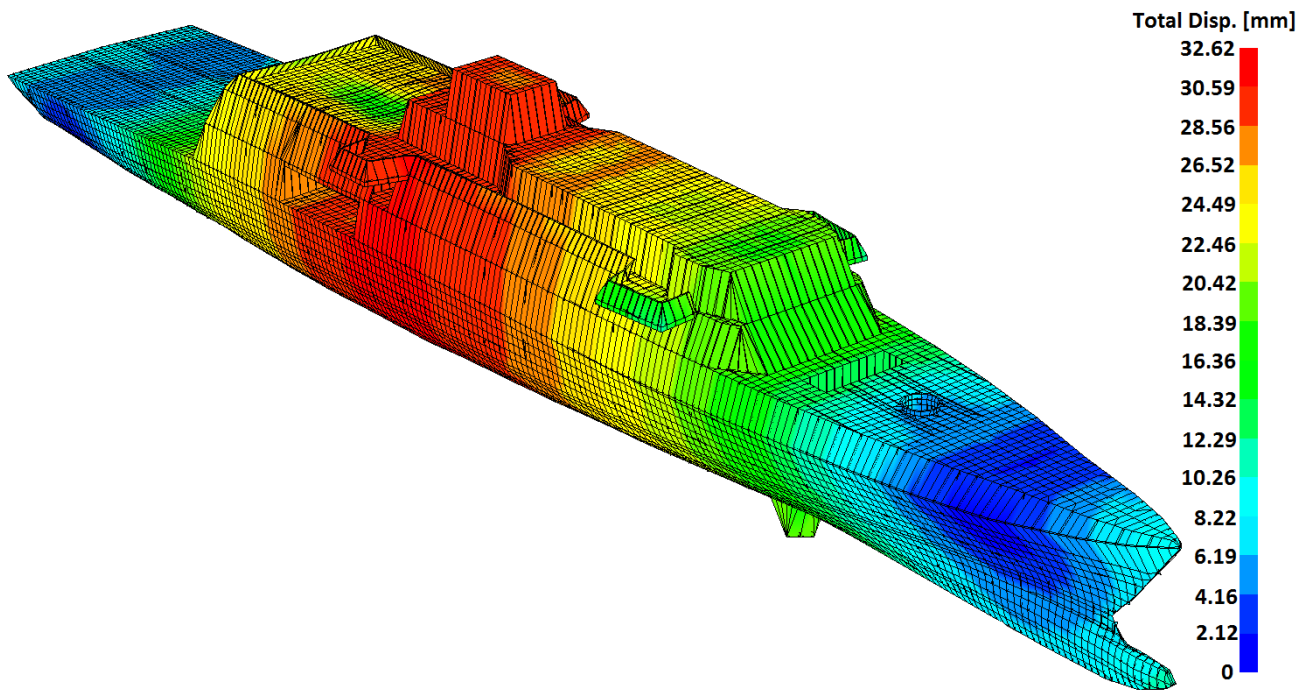
5.5.17 Aegean Sea (135°)



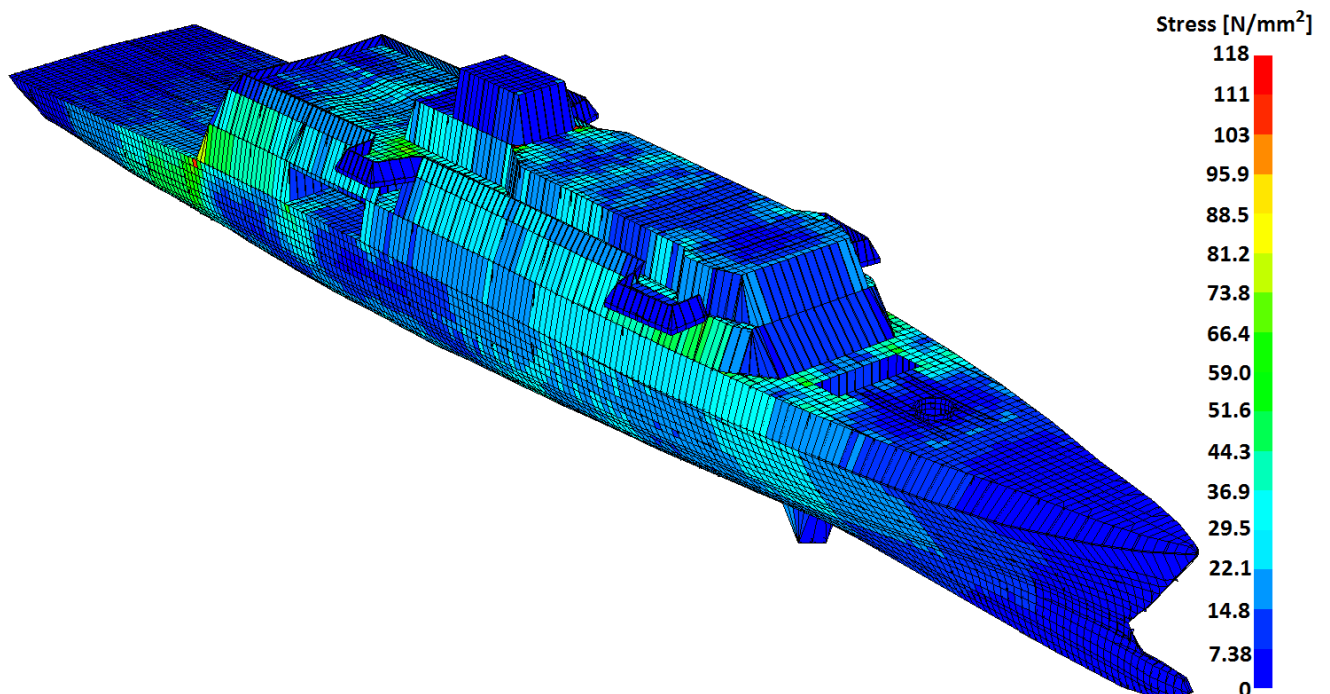
Εικόνα 134. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 135. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

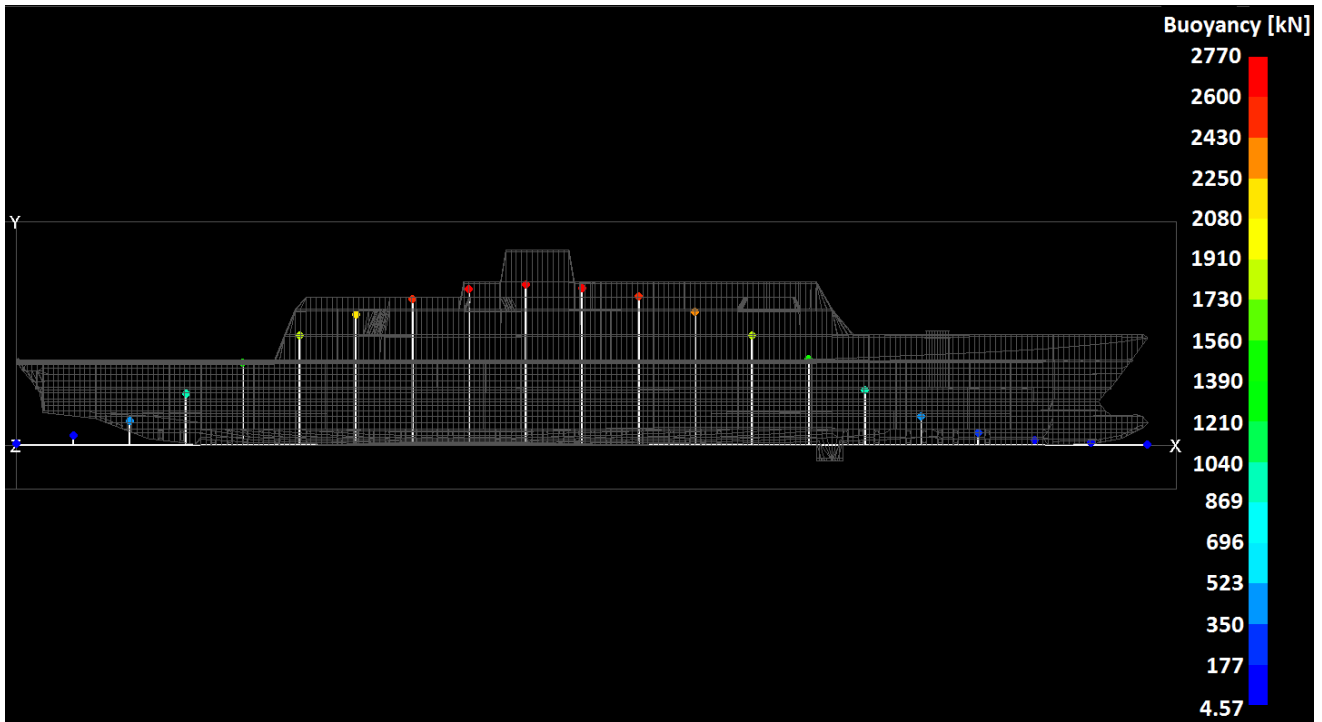


Εικόνα 136. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

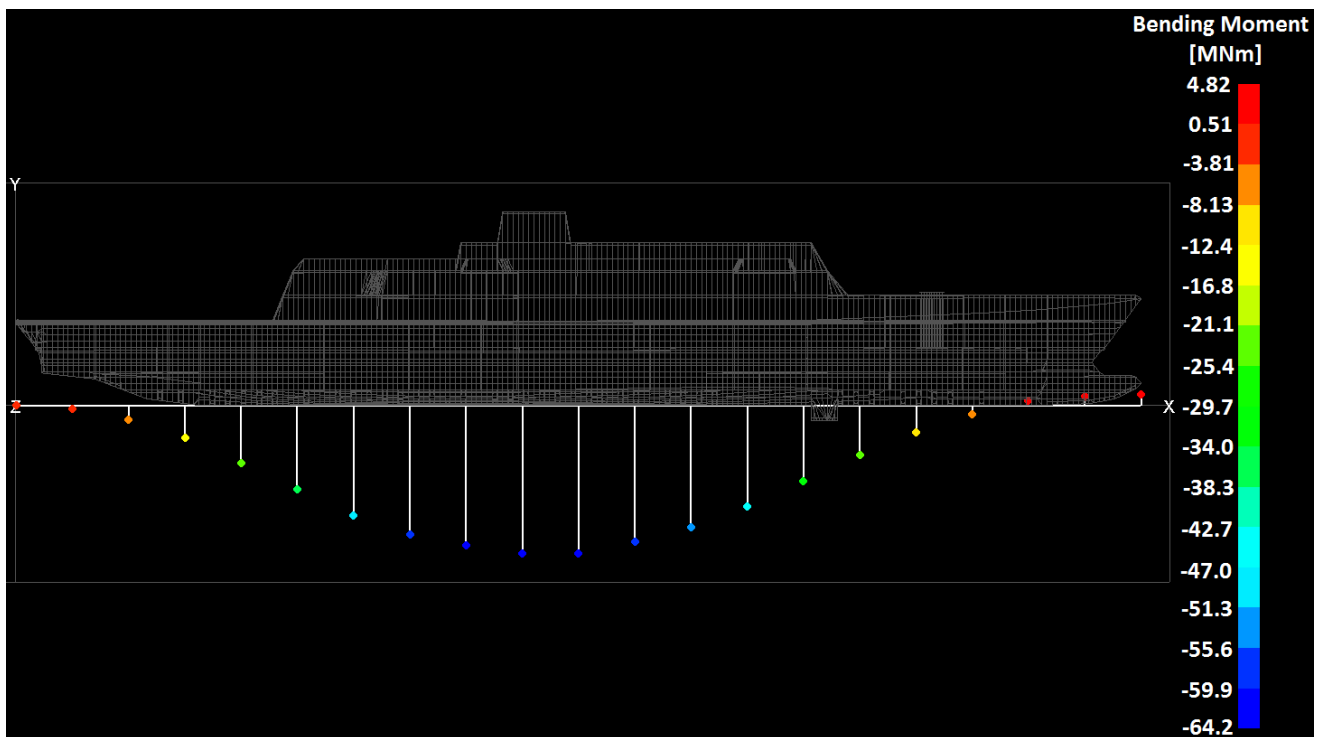


Εικόνα 137. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

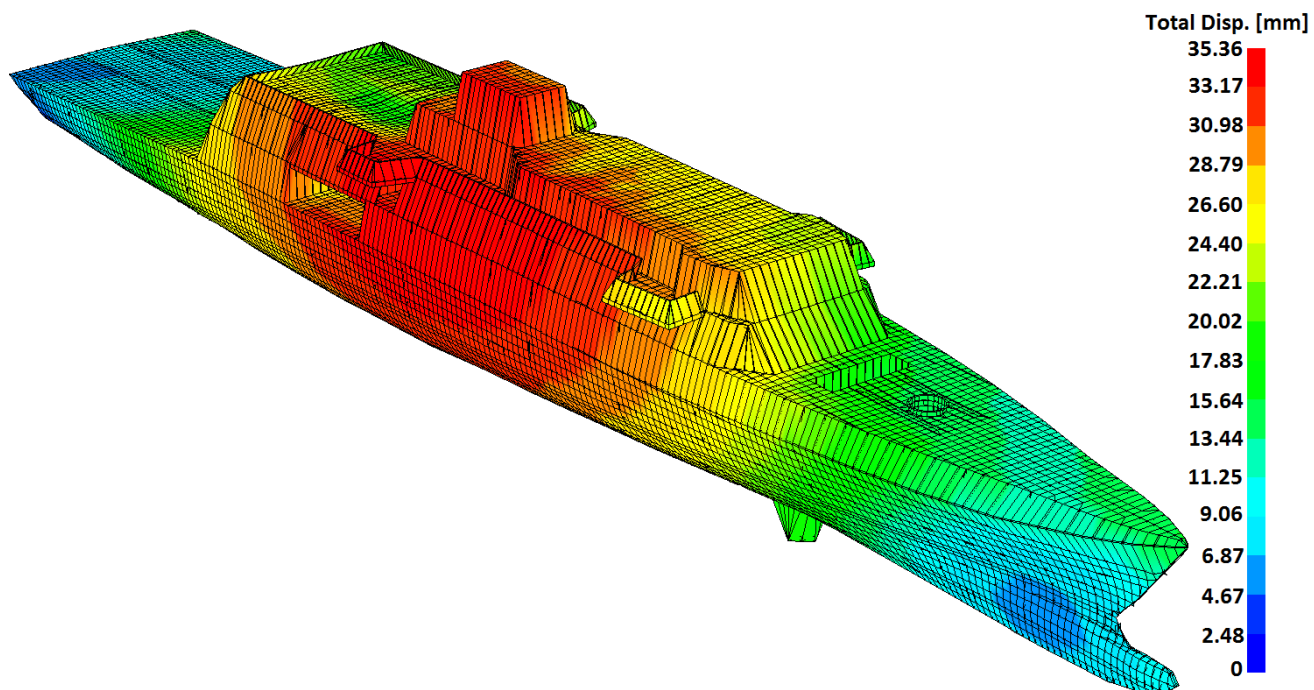
5.5.18 Aegean Sea (180°)



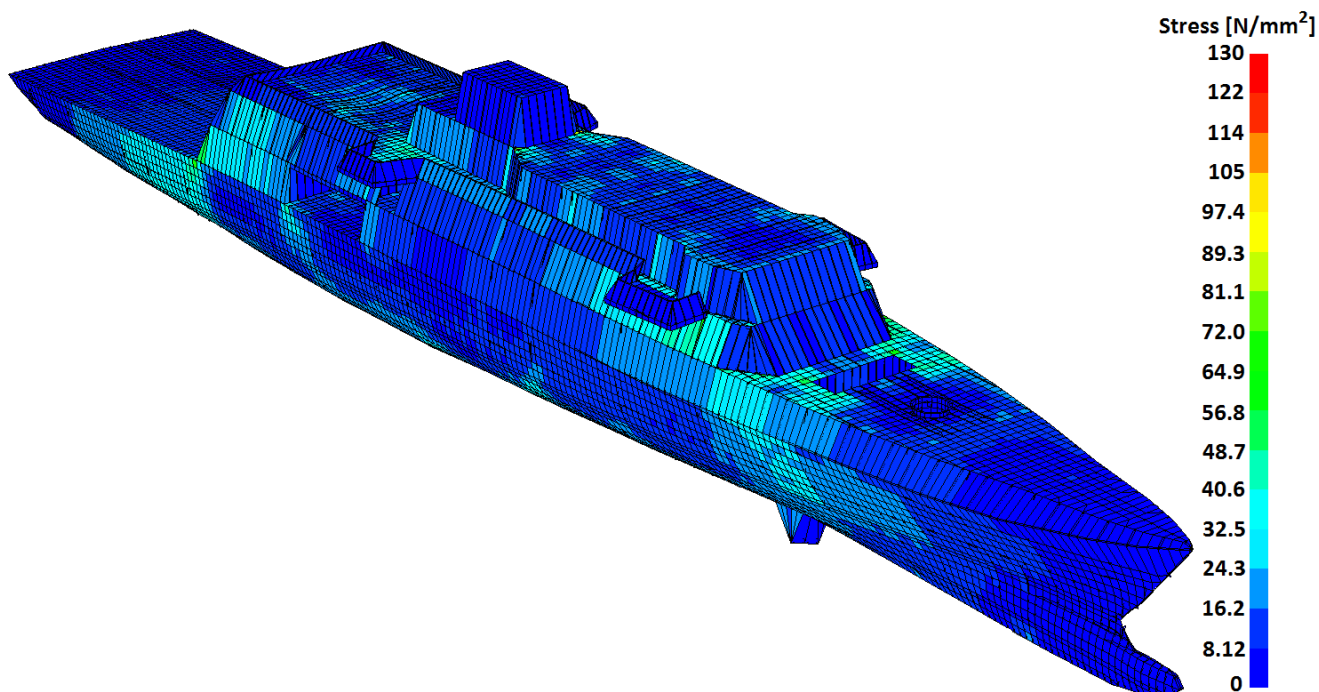
Εικόνα 138. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 139. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

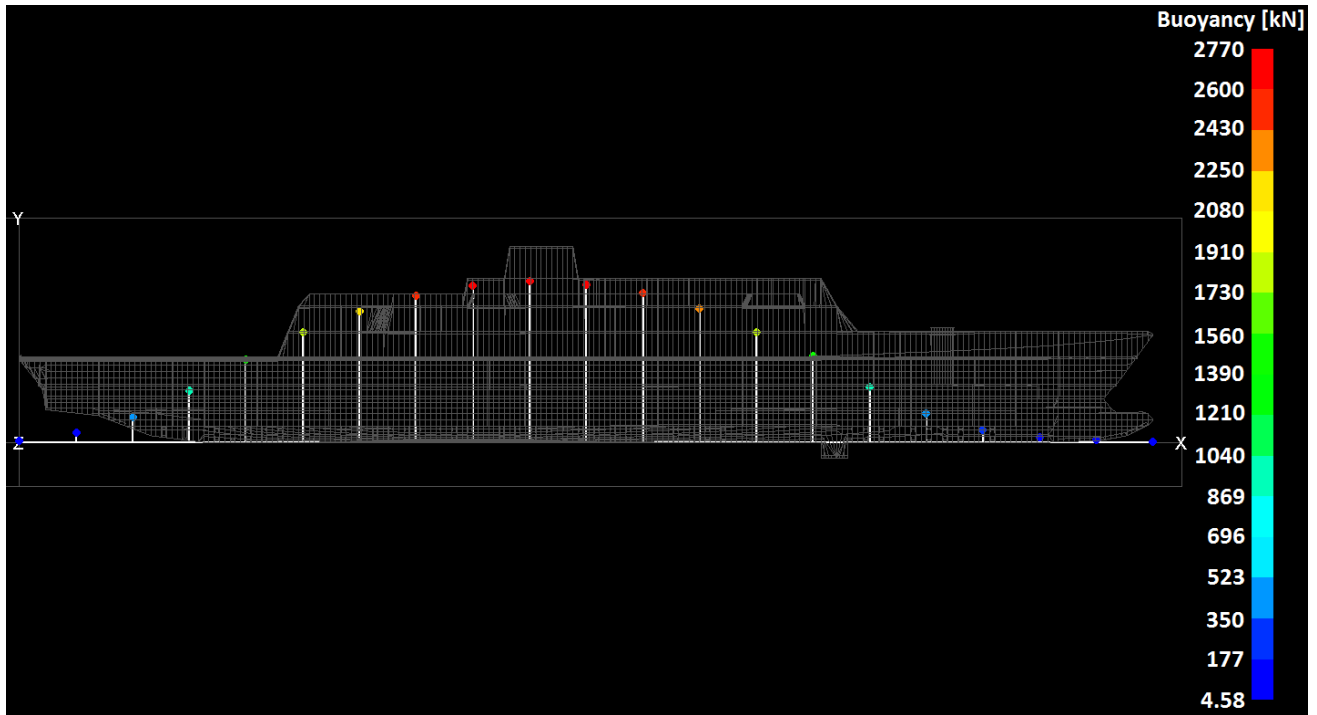


Εικόνα 140. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

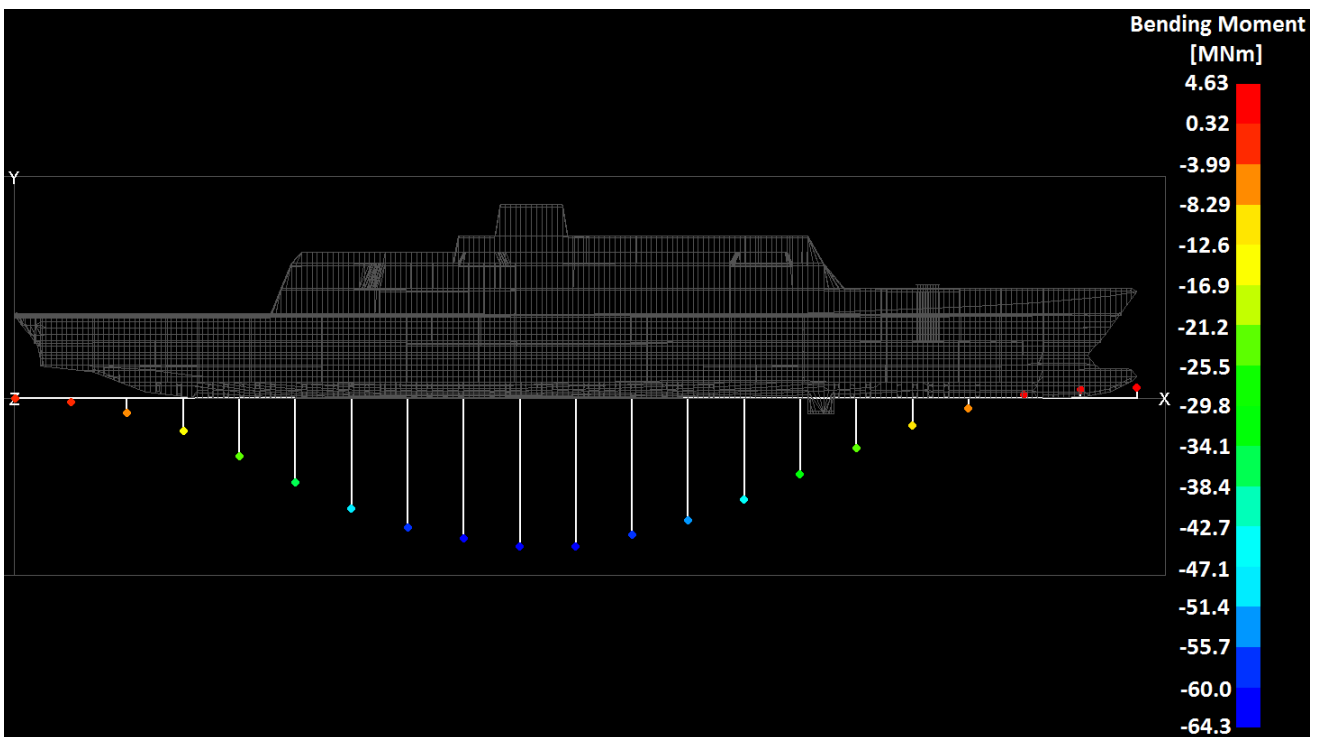


Εικόνα 141. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

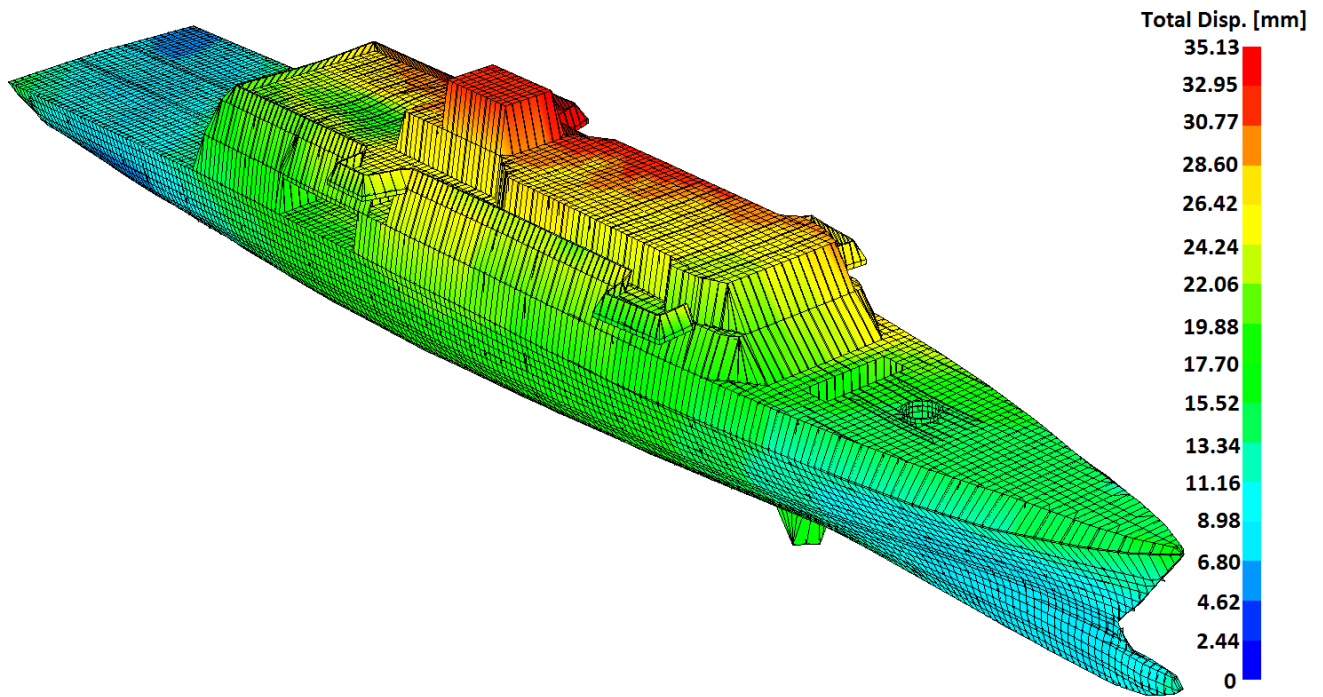
5.5.19 Aegean Sea (225°)



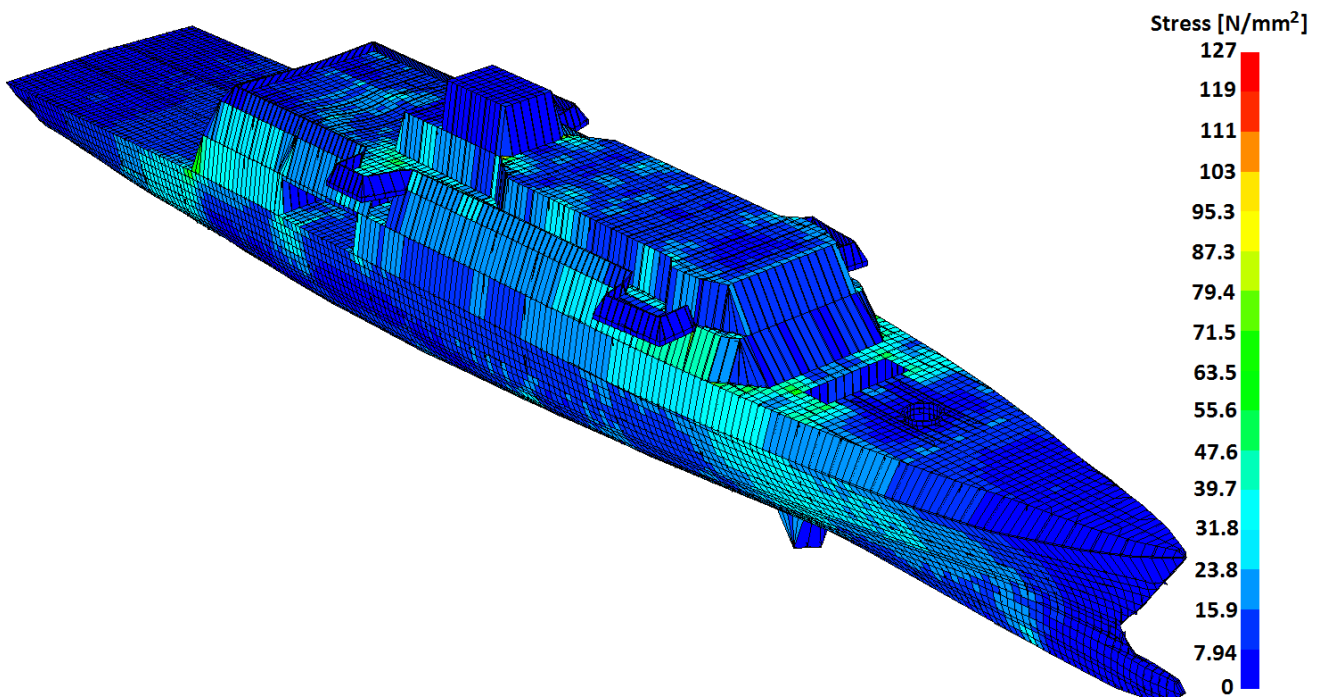
Εικόνα 142. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 143. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

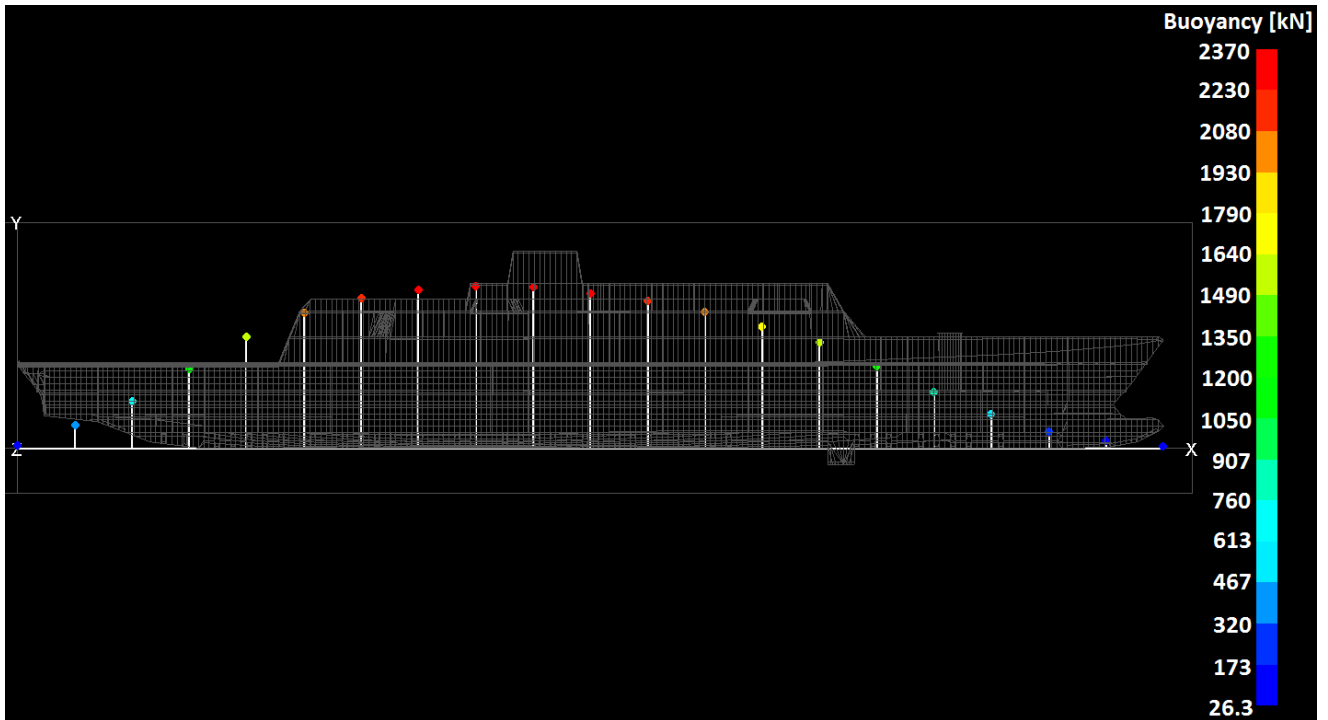


Εικόνα 144. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

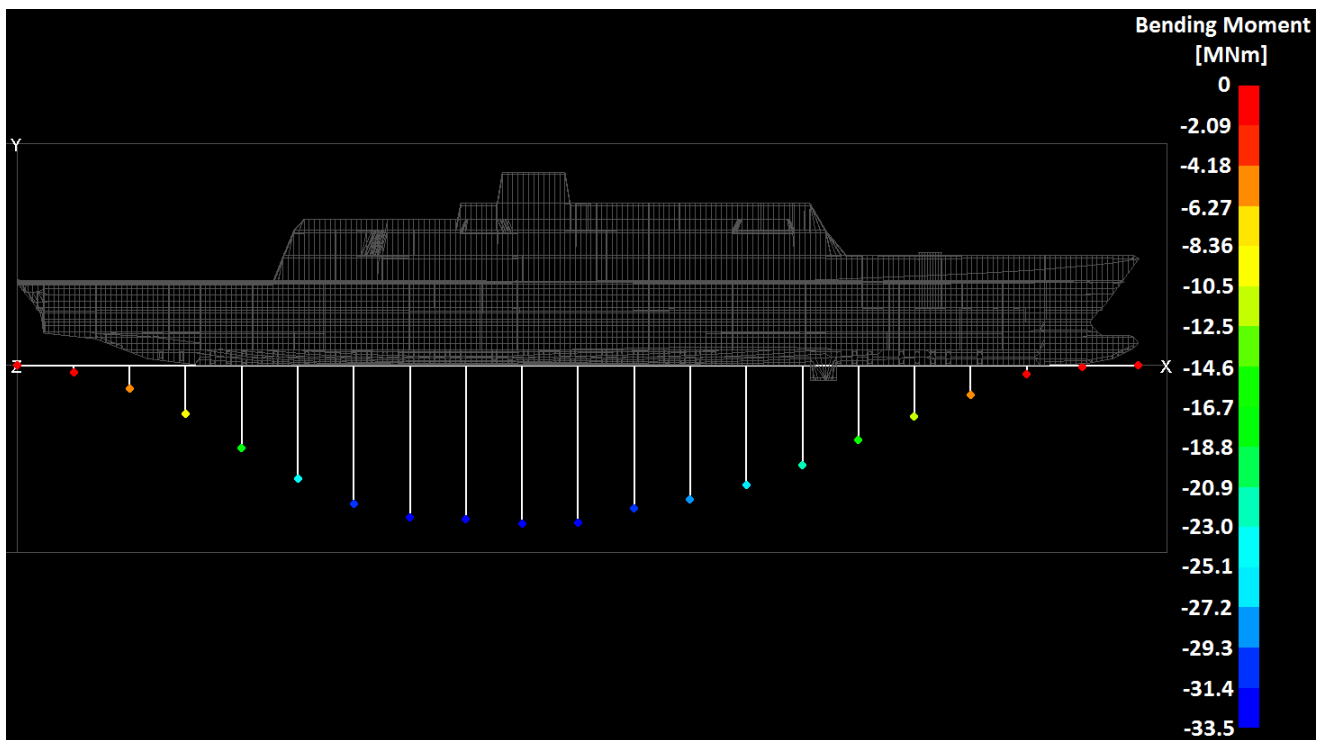


Εικόνα 145. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

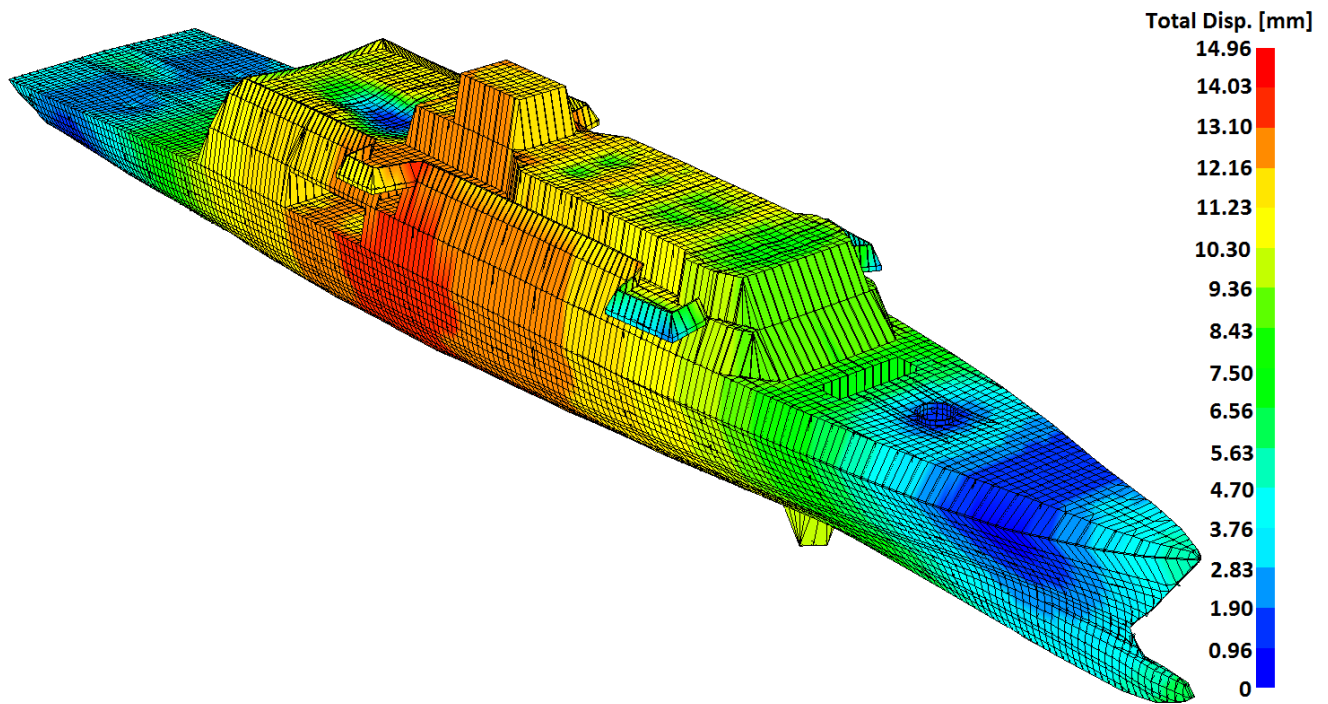
5.5.20 Aegean Sea (270°)



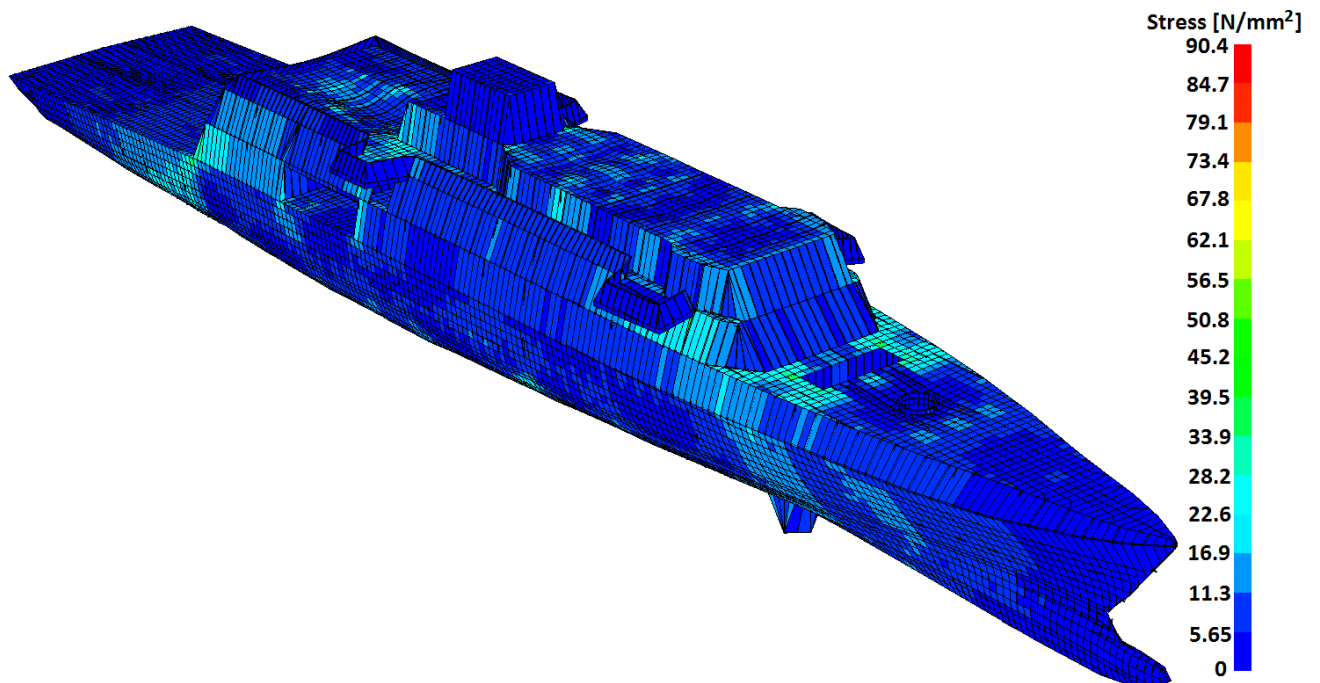
Εικόνα 146. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 147. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).

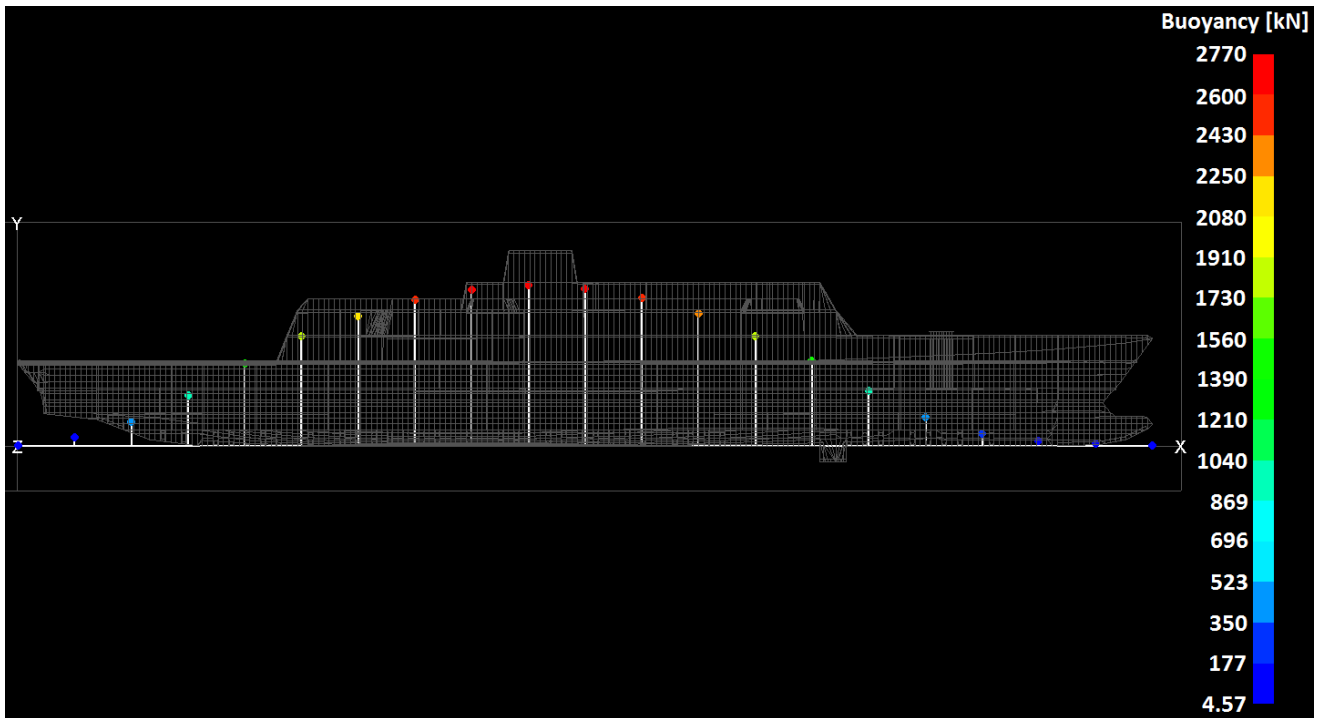


Εικόνα 148. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).

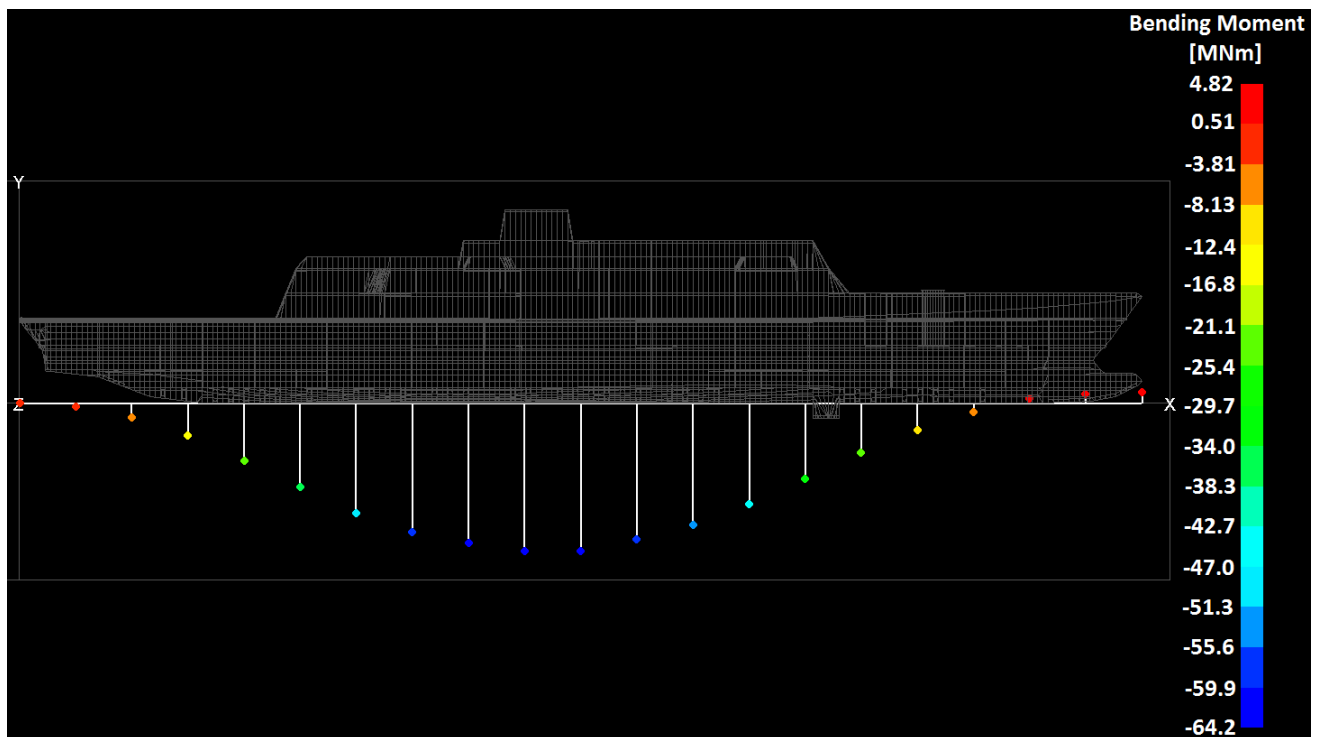


Εικόνα 149. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

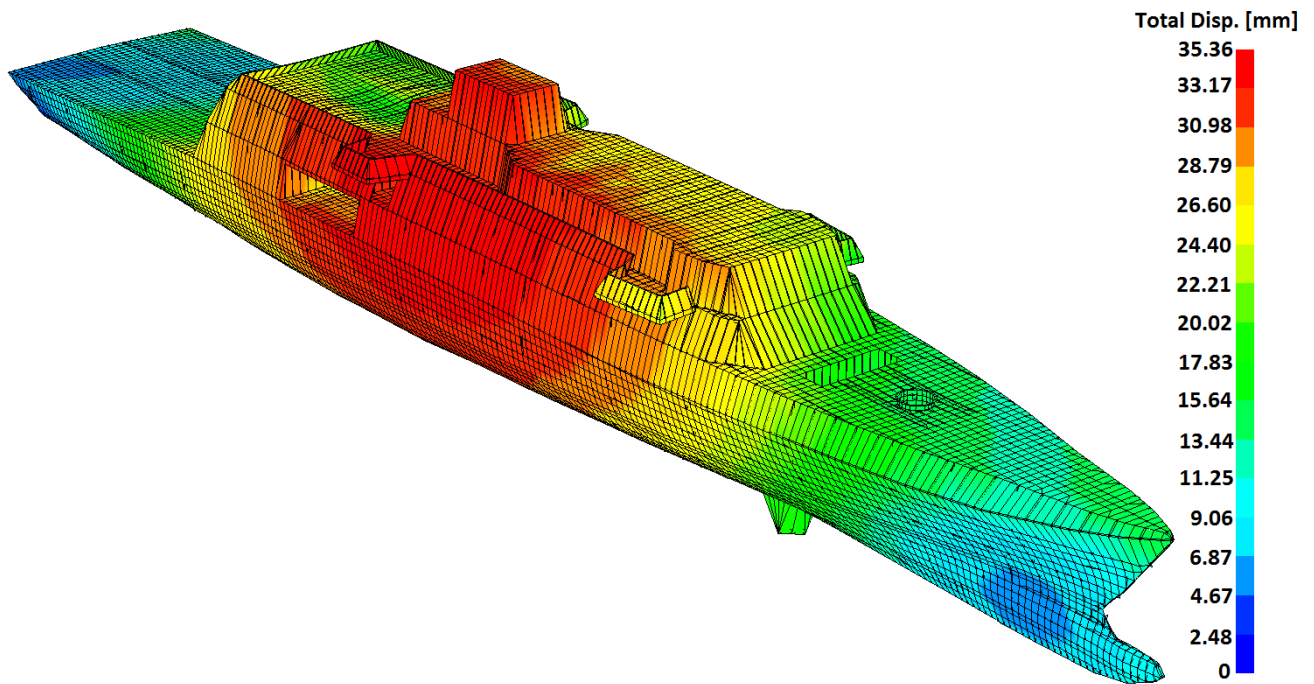
5.5.21 Aegean Sea (315°)



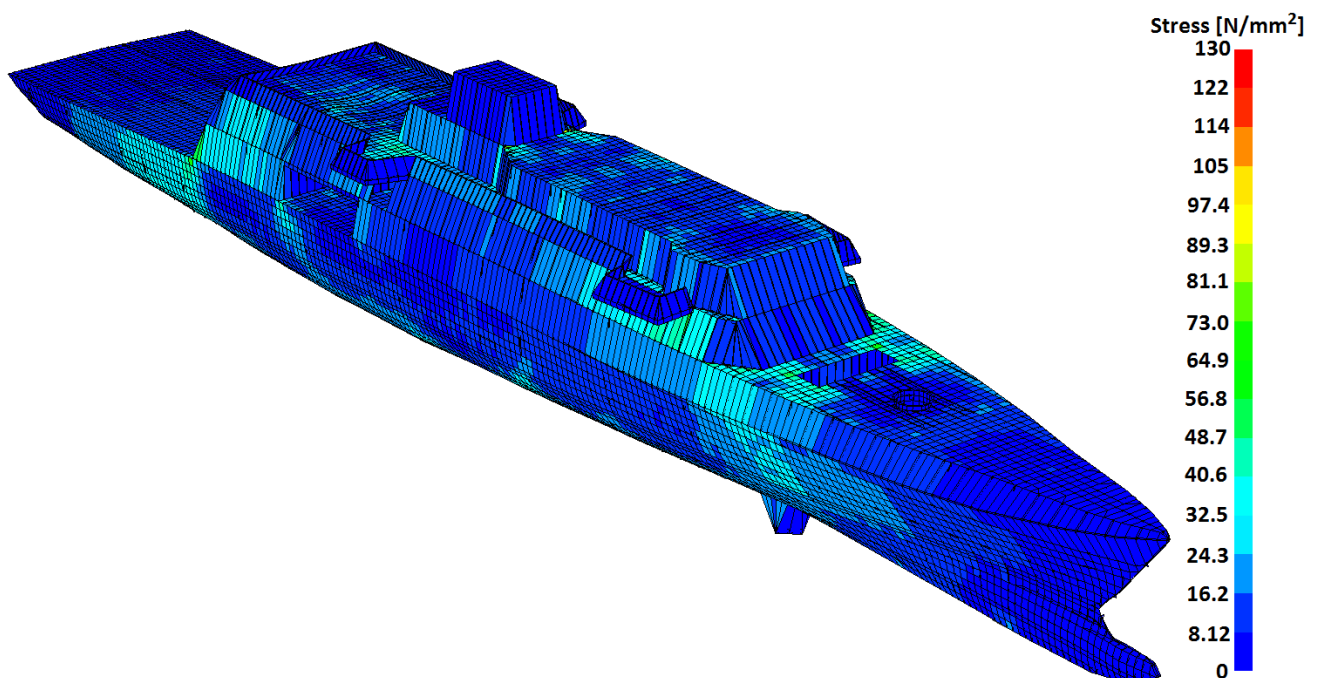
Εικόνα 150. Δύναμη άντωσης (MAESTRO).



Εικόνα 151. Καμπτική (διάμηκες επίπεδο) ροπή (MAESTRO).



Εικόνα 152. Παραμόρφωση του σκάφους (MAESTRO).



Εικόνα 153. Μέση τάση σύμφωνα με το κριτήριο Von Mises (MAESTRO).

Κατάσταση Φόρτισης	Κατεύθυνση	F_x [kN]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_x [MNm]	M_y [MNm]	M_z [MNm]
Permissible BV [44]	-	555.0	555.0	555.0	788.1	7880.6	7880.6
Still Water	-	49.9	0.3	27.1	0	0	0
Hogging	0°	582.7	5.5	1.2	0	0	0
Sagging	0°	1934.8	321.4	2.4	0	0	0
Vertical wave shear force	0°	190.0	1.7	27.9	0	0	0
	180°	190.0	1.7	27.9	0	0	0
	0°	62.4	0.2	12.4	0	0	0
	180°	62.4	0.2	12.4	0	0	0
Horizontal wave Bending moment	300°	267.1	9.2	79.6	0	0	0
	315°	38.2	9.5	285.5	0	0	0
Vertical acceleration in inclined ship condition	270°	58.7	0.2	27.3	0	0	0
	285°	576.4	944.1	3017.6	0	0	0
Vertical acceleration in upright ship condition	0°	454.6	37.7	61.0	0	0	0
Transverse acceleration	270°	51.1	0.3	27.7	0	0	0
Vertical relative motion at sides in upright ship condition	0°	43.3	14.5	37.1	0	0	0
	180°	43.3	14.5	37.1	0	0	0
Vertical relative motion at sides in inclined ship condition	270°	55.6	0.3	28.0	0	0	0
Aegean Sea	0°	136.1	1.8	11.6	0	0	0
	45°	861.9	65.2	885.0	0	0	0
	90°	49.1	0.3	26.5	0	0	0
	135°	136.1	1.8	11.6	0	0	0
	180°	866.4	67.3	929.8	0	0	0
	225°	861.9	65.2	885.0	0	0	0
	270°	49.1	0.3	26.5	0	0	0
315°	866.4	67.3	929.8	0	0	0	

Πίνακας 16. Αντιδράσεις στα σημεία στηρίξεως.

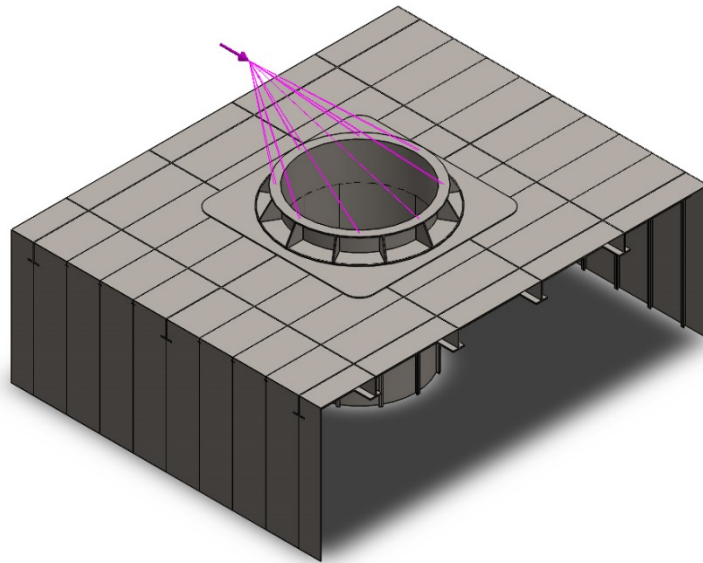
Σύμφωνα με τους κανονισμούς του Γαλλικού Νηογνώμονα (BV) [44], για να θεωρηθεί ότι το μοντέλο είναι σωστά στηριγμένο και να εγκριθεί η μελέτη αντοχής, θα πρέπει οι τιμές των δυνάμεων και ροπών στα σημεία στήριξης να μην υπερβαίνουν κάποιες ανώτατες τιμές.

Βέβαια, στους κανονισμούς δεν ξεκαθαρίζεται αν αυτή η απαίτηση πρέπει να ικανοποιείται γενικά από οποιοδήποτε λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων και αν χρησιμοποιηθεί ή αν είναι απαίτηση για το λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων που εκδίδεται από τον ίδιο το νηογνώμονα. Αντίθετα, η απαίτηση αυτή δεν υφίσταται στους κανονισμούς του Ιταλικού Νηογνώμονα (RINA) [47].

Οι συνολικές μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για τις δυνάμεις αντίδρασης στα σημεία στήριξης κατά τους άξονες X, Y και Z ορίζονται ως το 2% του εκτόπισματος του πλοίου ($0.2 \cdot \Delta$), για κάθε μία. Αντίστοιχα, για τις συνολικές μέγιστες ροπές στα σημεία στήριξης του πλοίου οι κανονισμοί ορίζουν την τιμή του 2% του γινομένου του μέγιστου πλάτους μελέτης επί το εκτόπισμα για κάθε μία από τις ροπές στους άξονες Y και Z ($0.2 \cdot B_{max} \cdot \Delta$). Για τη ροπή κατά τον άξονα X η συνολική μέγιστη ροπή δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.2% του γινομένου του πλάτους μελέτης επί το εκτόπισμα ($0.02 \cdot B_{max} \cdot \Delta$).

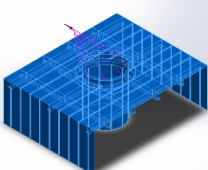
Οι παραπάνω επιτρεπόμενες τιμές αντιδράσεων καθώς και οι αντίστοιχες τιμές των δυνάμεων και ροπών όπως προέκυψαν από την ανάλυση στο MAESTRO φαίνονται στον **Πίνακα 16**. Παρατηρούμε ότι σε κάποιες καταστάσεις φόρτισης το μοντέλο δεν έχει ορθή στήριξη σύμφωνα με τους κανονισμούς του Γαλλικού Νηογνώμονα. Εντούτοις, από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, στα σημεία των στηρίξεων δεν παρατηρήθηκαν υπερβολικά υψηλές τάσεις. Αντίθετα, οι τάσεις σε αυτά είναι σε πλήρη συμφωνία με το φάσμα τάσεων του υπόλοιπου πλοίου, οπότε θα ήταν ασφαλές να θεωρηθεί ότι το πλοίο έχει τη σωστή στήριξη.

5.6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ – Ανάλυση πρωραίου πυροβόλου στο εμπορικό λογισμικό SOLIDWORKS



Model name: oto-melara
Current Configuration: Default

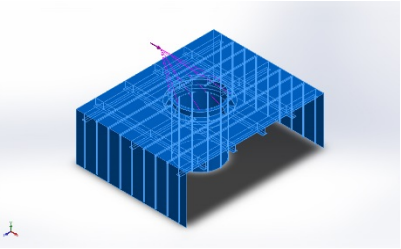
Solid Bodies

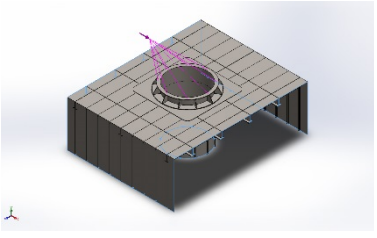
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
CirPattern2 	Solid Body	Mass:7827.42 kg Volume:0.99459 m ³ Density:7870 kg/m ³ Weight:76708.7 N	C:\Otto Melara\oto-melara.SLDPRT

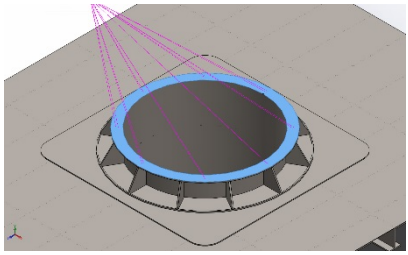
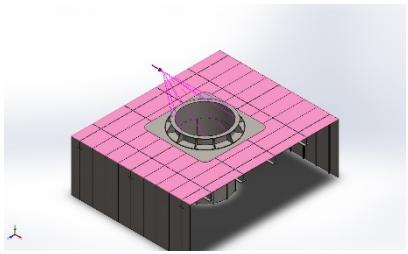
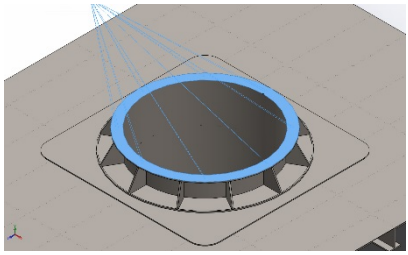
Study name	270 degrees
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SolidWorks Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off

Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SolidWorks document (C:\Otto Melara)

Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m ²

Model Reference	Properties	Components
	<p>Name: AISI 1020 Steel, Cold Rolled</p> <p>Model type: Linear Elastic Isotropic</p> <p>Default failure criterion: Max von Mises Stress</p> <p>Yield strength: 3.5e+008 N/m²</p> <p>Tensile strength: 4.2e+008 N/m²</p> <p>Elastic modulus: 2.05e+011 N/m²</p> <p>Poisson's ratio: 0.29</p> <p>Mass density: 7870 kg/m³</p> <p>Shear modulus: 8e+010 N/m²</p> <p>Thermal expansion coefficient: 1.17e-005 /Kelvin</p>	SolidBody 1(CirPattern2)(otomelara)
Curve Data:N/A		

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-2		<p>Entities: 5 face(s)</p> <p>Type: Fixed Geometry</p>		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-1.26554e+006	177502	1.4751	1.27793e+006
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 100750 N
Gravity-1		Reference: Face< 1 > Values: 0 0 -9.81 Units: SI
Remote Load (Direct transfer)-1		Entities: 1 face(s) Type: Load (Direct transfer) Coordinate System: Global cartesian coordinates Force Values: 1.26555e+006, ---, --- N Moment Values: ---, ---, --- N.m Reference coordinates: -1993 1300 0 mm Components transferred: Force

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	80 mm
Minimum element size	4 mm
Mesh Quality	High

Total Nodes	281509
Total Elements	145072
Maximum Aspect Ratio	218
% of elements with Aspect Ratio < 3	1.55
% of elements with Aspect Ratio > 10	69.8
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:11:21

Reaction Forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	-1.26554e+006	177502	1.4751	1.27793e+006

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0

Name	Type	Min	Max
Stress	VON: von Mises Stress	0.00266523 N/mm ² (MPa) Node: 38273	219.391 N/mm ² (MPa) Node: 2126
Displacement	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 217	1.97064 mm Node: 2130
Strain	ESTRN: Equivalent Strain	6.0075e-009 Element: 40	0.000593435 Element: 133448

Για τον υπολογισμό της δύναμης αντίδρασης θεωρήθηκε ότι το βάρος του πυροβόλου είναι 7900.0kg και το βάρος του βλήματος 6.35kg. Η ταχύτητα εξόδου των καυσαερίων είναι 905m/s [45]. Εφαρμόζοντας την αρχή διατήρησης της ορμής για τη χρονική στιγμή που το βλήμα αρχίζει να κινείται στο εσωτερικό της κάνης του πυροβόλου και για τη χρονική στιγμή που το βλήμα εγκαταλείπει την κάνη του πυροβόλου έχουμε:

$$\Delta P = 0 \Rightarrow (M + m) \cdot V - m \cdot v = 0 \Rightarrow V = \frac{m}{M + m} \cdot v \quad (5)$$

Όπου ΔP = η μεταβολή της ορμής για το σύστημα πυροβόλο – βλήμα, M = το βάρος του πυροβόλου, m = το βάρος του βλήματος, V = η ταχύτητα του συστήματος πυροβόλο – βλήματος κατά την έναρξη της βολής και v = η ταχύτητα του βλήματος μετά τη βολή (που ισούται με την ταχύτητα εξόδου των καυσαερίων).

Αντικαθιστώντας με τις τιμές από τα δεδομένα προκύπτει ότι η ταχύτητα του συστήματος πυροβόλο – βλήμα τη στιγμή που εξέρχεται το βλήμα της κάνης είναι **0.727m/s**.

Το βλήμα θεωρείται ότι εντός της κάνης εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση, οπότε με δεδομένο το μήκος της κάνης (5.340m) [48] υπολογίζεται ο χρόνος παραμονής του βλήματος εντός του πυροβόλου και είναι:

$$l = v \cdot t \Rightarrow t = \frac{l}{v} \quad (6)$$

Όπου l = το μήκος της κάνης.

Αντικαθιστώντας με τις τιμές από τα δεδομένα προκύπτει ότι ο χρόνος παραμονής του βλήματος στο πυροβόλο είναι **5.9ms**.

Γνωρίζοντας το χρόνο και τη μεταβολή της ορμής στο ίδιο χρονικό διάστημα υπολογίζεται η δύναμη που ασκείται στο πυροβόλο ως εξής:

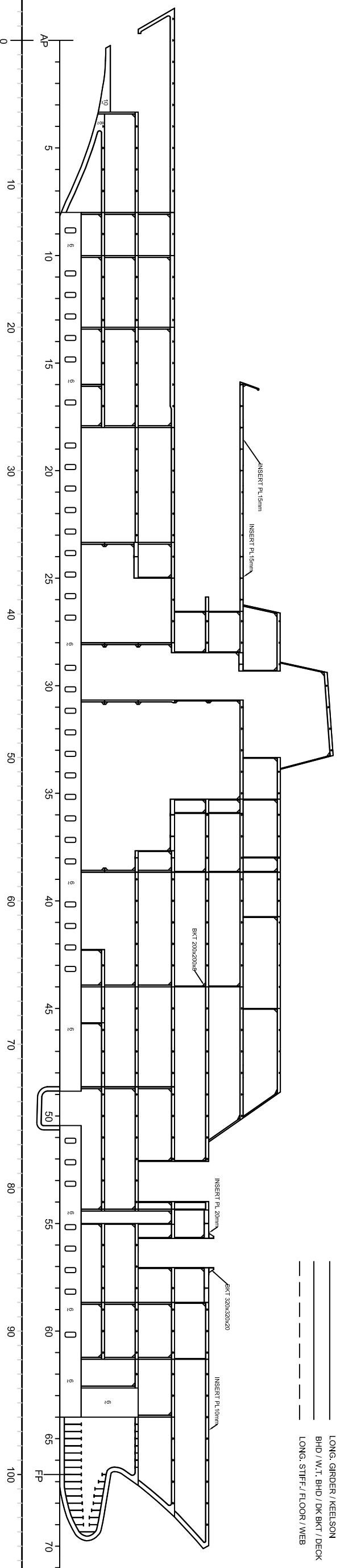
$$F = \frac{\Delta P}{\Delta t} \Rightarrow F = \frac{M \cdot V - 0}{t - 0} \quad (7)$$

Όπου ΔP = η μεταβολή της ορμής του πυροβόλου και F = η δύναμη που δέχεται το πυροβόλο από την εκτόξευση του βλήματος.

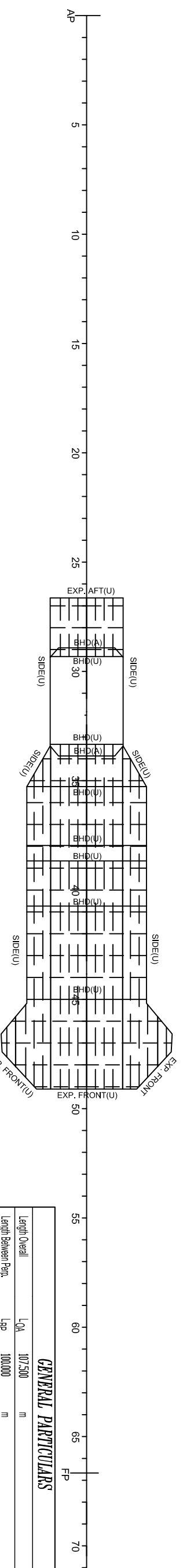
Κάνοντας αντικατάσταση των δεδομένων τιμών καθώς και των αντίστοιχων τιμών που υπολογίστηκαν από τις **(5)**, **(6)**, **(7)** , υπολογίζεται η δύναμη αντίδρασης του πυροβόλου η οποία είναι **973.243kN**.

5.7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ – Κατασκευαστικά σχέδια (profile and decks, typical frame, typical web frame, typical watertight bulkhead, typical bulkhead)

LONGITUDINAL SECTION AT C.L.

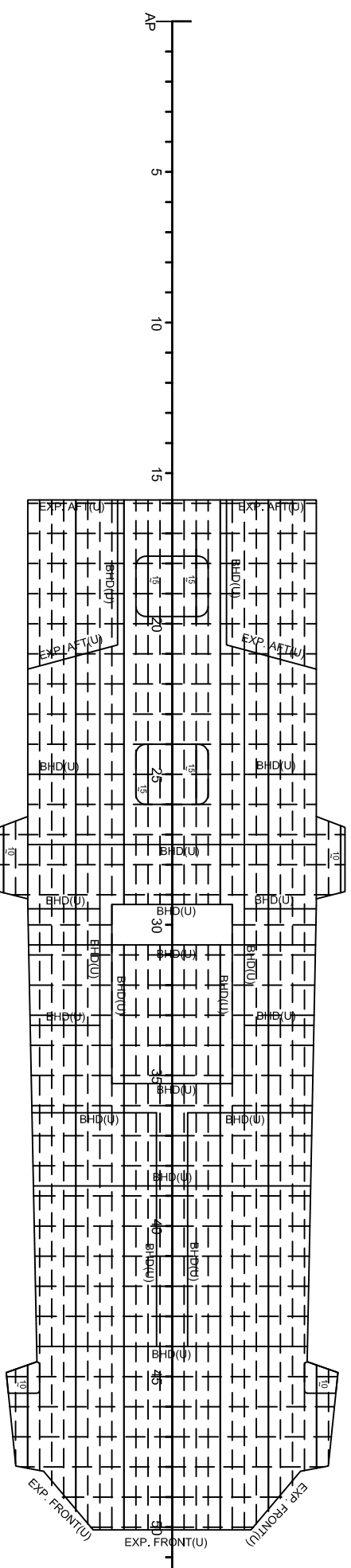


THIRD FLOOR



DECK & BHD PL 5mm / DECK LONGITUDINALS T60X6+60X6 / DECK GIRDERS T200X10+180X20 / EXP. AFT PL 5mm / EXP. AFT STIFF. T180X6+50X8 - T60X5+50X5 /
 DECK WEBS T100X10+80X10 - T60X6+60X6 / BHD STIF. T50X5+50X5 / EXP. FRONT PL 5mm / EXP. FRONT STIFF. T180X8+60X8 - T60X5+50X5

SECOND FLOOR



DECK & BHD PL 5mm / DECK LONGITUDINALS T60X6+60X6 - T80X6+60X8 / DECK GIRDERS T200X10+180X20 / EXP. AFT PL 5mm / EXP. AFT STIFF. T1100X6+80X8 - T60X8+60X6 /
 DECK WEBS T60X8+60X10 - T60X6+60X6 - 200X10+180X20 - 100X8+100X10 / BHD STIF. T50X5+50X5 / EXP. FRONT PL 5mm / EXP. FRONT STIFF. T1100X6+80X8 - T80X6+60X8

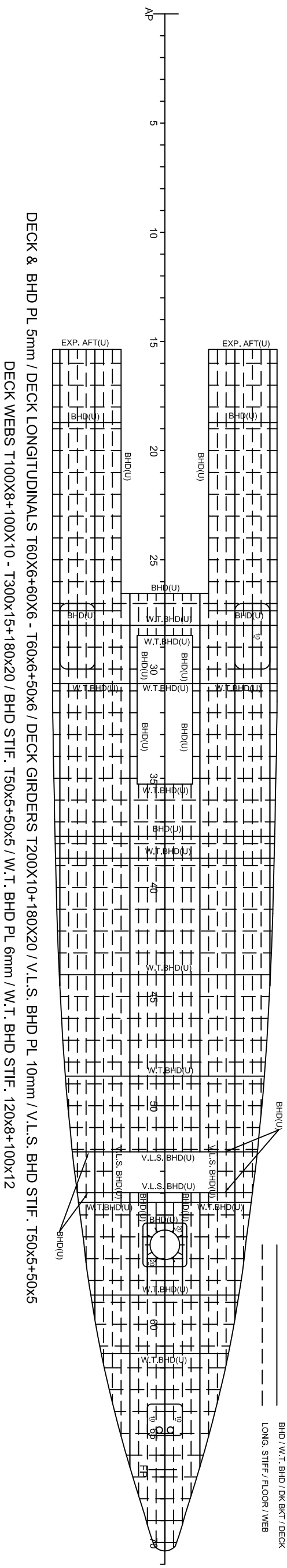
GENERAL PARTICULARS

Length Overall	L _{OA}	107.500	m
Length Between Perp.	L _{BP}	100.000	m
Breadth Mid.	B	14.200	m
Depth Mid.	D	7.900	m
Designed Draft	T	4.100	m
Frames Spacing	S	1500	mm
Deadweight	D.W.T.		Ton
Block Coefficient	C _B	0.472	
Maximum Speed	V _{max}	30.9	Knots
Cruise Speed	V	16.0	Knots
Gross Tonnage	G.R.T.		Net Tonnage N.T.
Crew		93	Class
			"HYDRA CLASS CORVETTE"

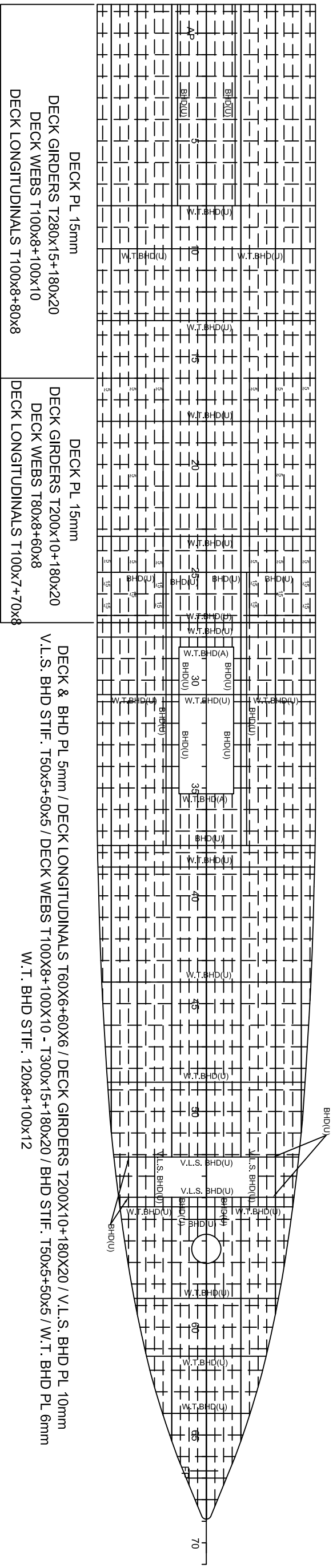
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
 SCHOOL OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERING
 SHIP DESIGN LABORATORY
 ZOOGRADOS CAMPUS, ATHENS, GREECE

Type of Ship	CORVETTE	Order:	
Ship's name:	HYDRA CLASS CORVETTE		
Title:	PROFILE & DECKS CONSTRUCTION PLAN		
Scale:	1:300		
Designed:	KYRIAKOS MARGARITIS	The Naval Architect	Drawing No:
Drawn:	KYRIAKOS MARGARITIS		HYDRA-S7R-001
Checked:			Date: 06/2015

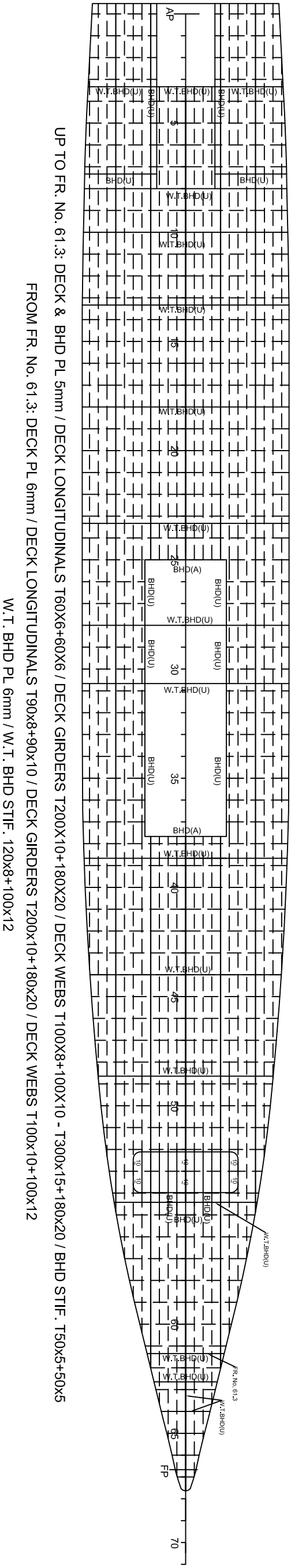
FIRST FLOOR



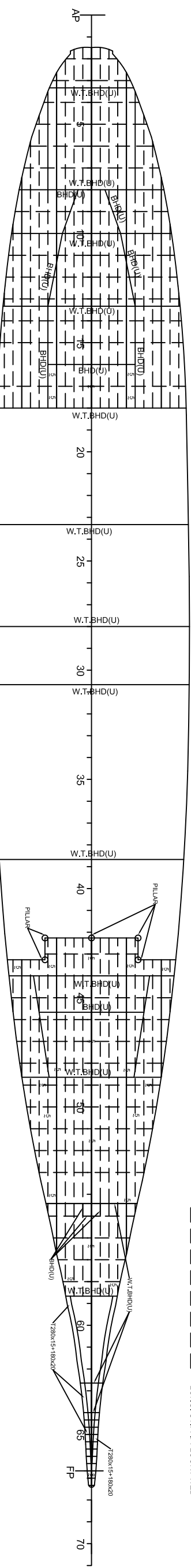
MAIN DECK



SECOND DECK



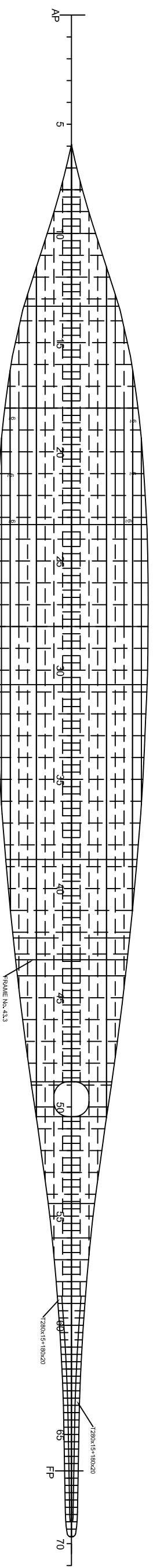
THIRD DECK



DECK & BHD PL 6mm / DECK & BHD LONGITUDINALS T90X8+90X10 / DECK GIRDERS T200X10+180X20 / DECK & BHD WEBS T100X10+100X12 / W.T. BHD PL 6mm / W.T. BHD STIF. 120X8+100X12

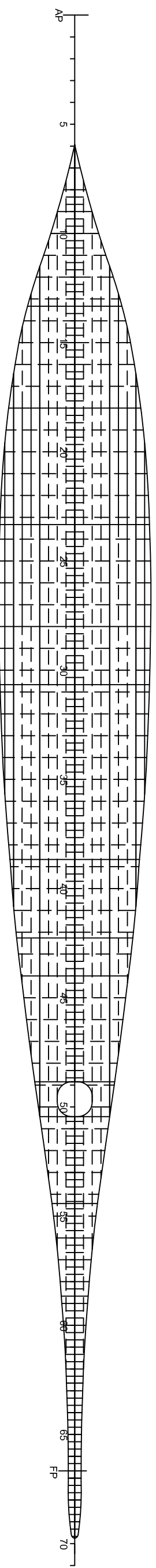
DECK PL 5mm / DECK LONGITUDINALS T60X6+60X6 / DECK GIRDERS T200X10+180X20 / DECK WEBS T100X8+100X10 / FLOOR PL 6mm
PILLARS Φ40 SCH80

INNER BOTTOM



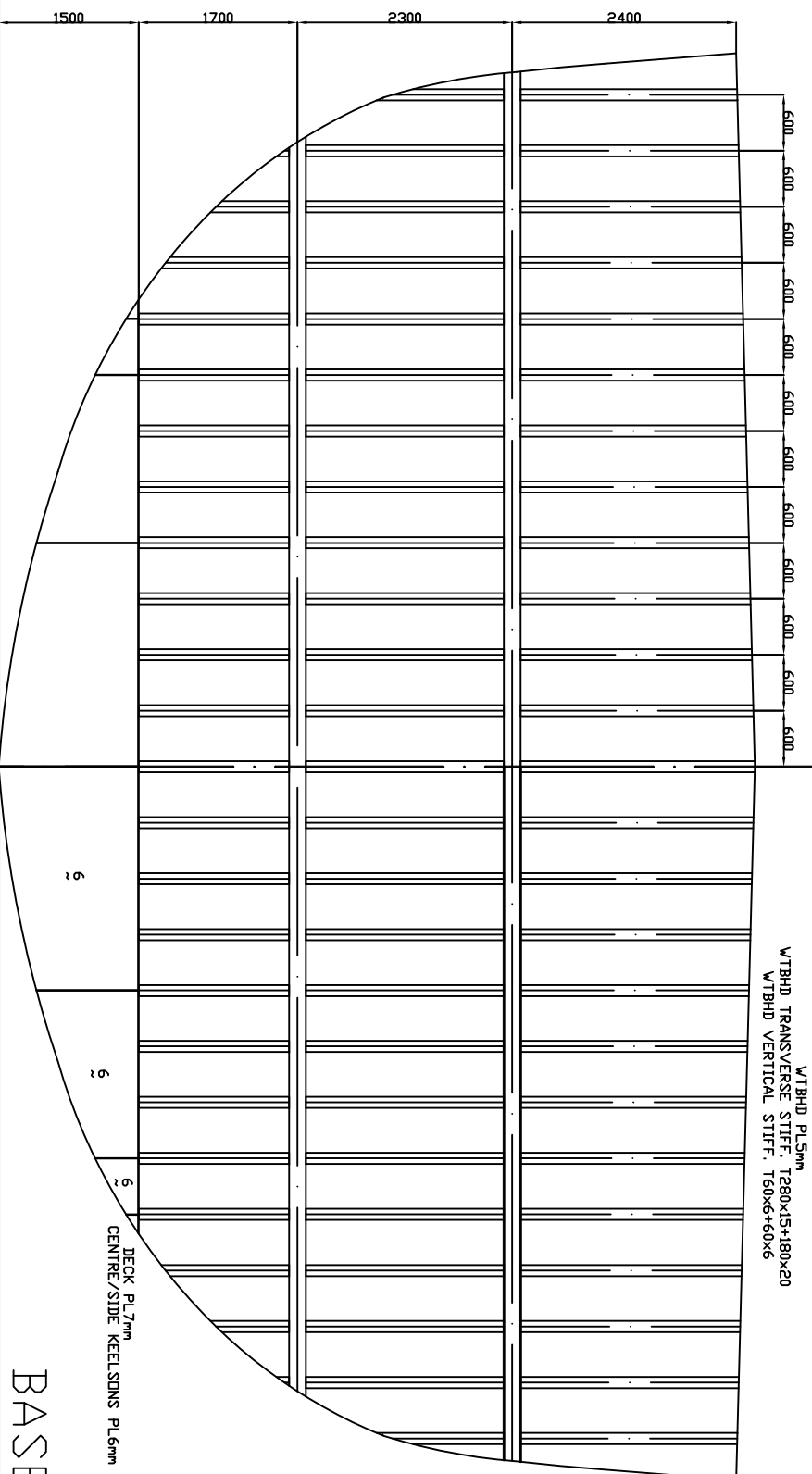
DECK PL 7mm (FR. No. 18 - FR. No. 43.3) / DECK PL 6mm / DECK LONGITUDINALS T50X7+50X7 / CENTRE & SIDE KEELSON PL 6mm / FLOOR PL 6mm / DK BKT PL 6mm

BOTTOM



KEEL PL 12mm (600mm from C.L.) / BOTTOM PL 10mm / BOTTOM LONGITUDINALS T150X12+120X12 / CENTRE (UP TO FR. No. 64) & SIDE KEELSON PL 6mm / DK BKT PL 6mm / FLOOR PL 6mm

CENTRE KEELSON (FROM FR. No. 64) T300X15+180X20



BASELINE

CL

GENERAL PARTICULARS

Length Overall	L _{OA}	107.500	m
Length Between Perp.	L _{BP}	100.000	m
Breadth Mid.	B	14.200	m
Depth Mid.	D	7.900	m
Designed Draft	T	4.100	m
Frames' Spacing	S	1.500	mm
Deadweight	DWT		Ton
Block Coefficient	C _B	0.472	
Maximum Speed	V _{max}	30.9	Knots
Cruise Speed	V _S	16.0	Knots
Gross Tonnage	GRT		Net Tonnage
Crew		93	Class
			'HYDRA CLASS CORVETTE'

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERING

SHIP DESIGN LABORATORY

ZOGRAPHOS CAMPUS, ATHENS, GREECE

Type of Ship: **CORVETTE**

Ship's name: **HYDRA CLASS CORVETTE**

Title: **TYPICAL WATERTIGHT BULKHEAD**

Scale: **1:75**

Designed: **KYRIAKOS MARGARITIS**

Drawn: **KYRIAKOS MARGARITIS**

Checked: **KYRIAKOS MARGARITIS**

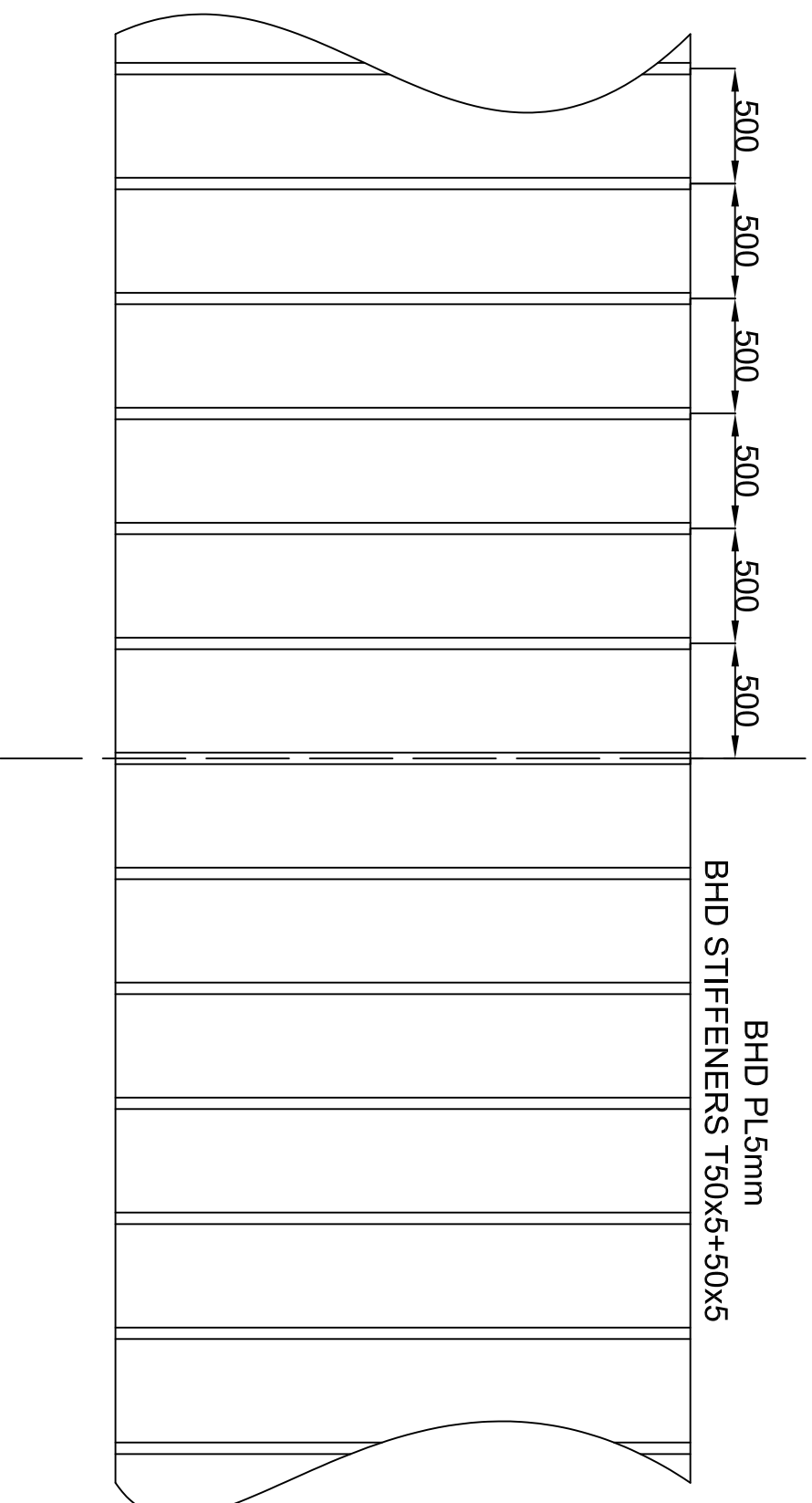
Order:

The Naval Architect

KYRIAKOS MARGARITIS

Drawing No: **HTDRA-S7R-003**

Date: 06/2015



GENERAL PARTICULARS

Length Overall	L _{OA}	107.500	m
Length Between Perms.	L _{BP}	100.000	m
Breadth Mid.	B	14.200	m
Depth Mid.	D	7.900	m
Designed Draft	T	4.100	m
Frames Spacing	S	1500	mm
Deeplheight	D.W.H.		mm
Block Coefficient	C _B	0.472	
Maximum Speed	V _{max}	30.9	knots
Cruise Speed	V _S	16.0	knots
Gross Tonnage	G.R.T.		Net Tonnage N.T.
Crew		93	Class
			"HYDRA CLASS CORVETTE"

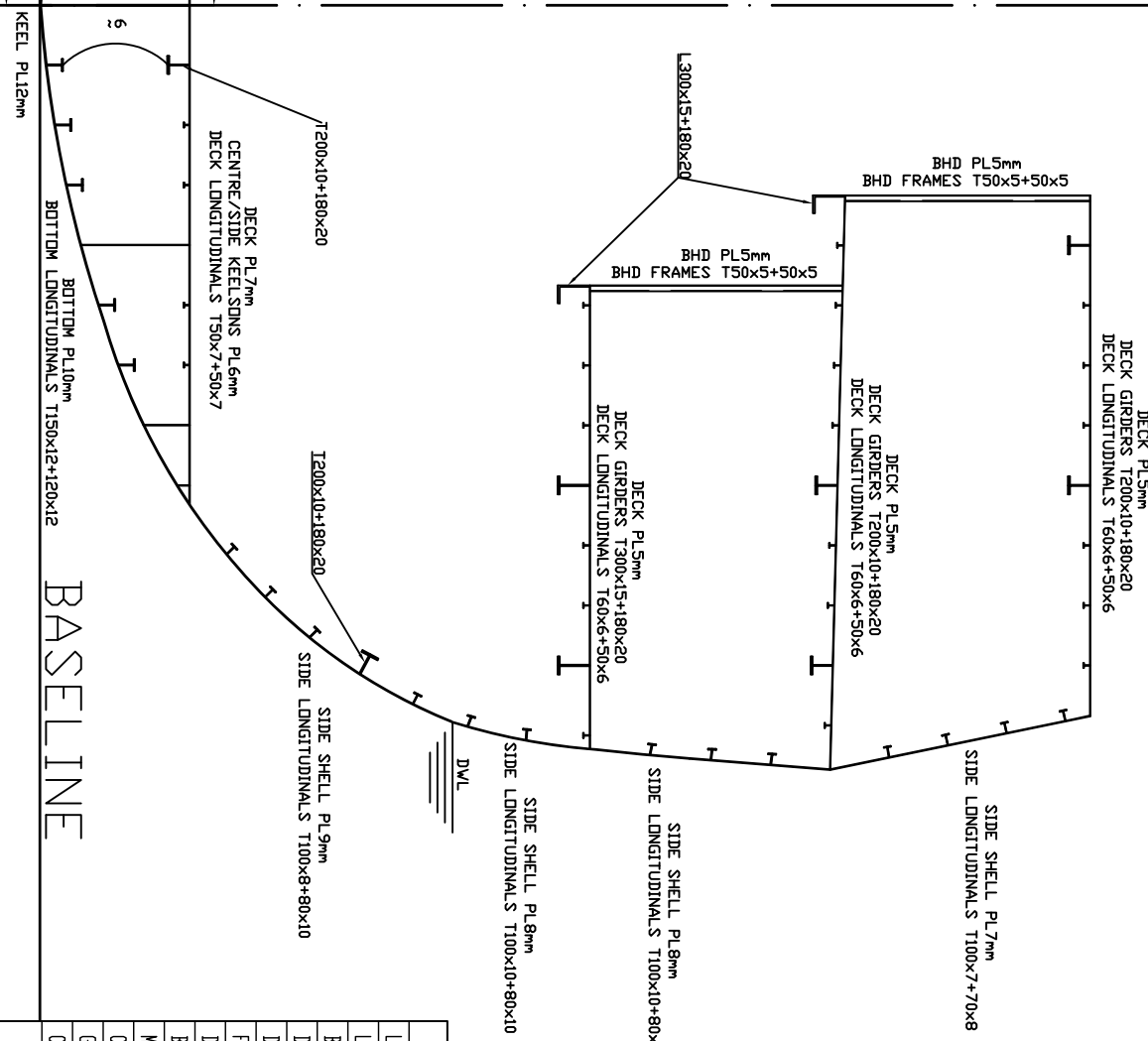
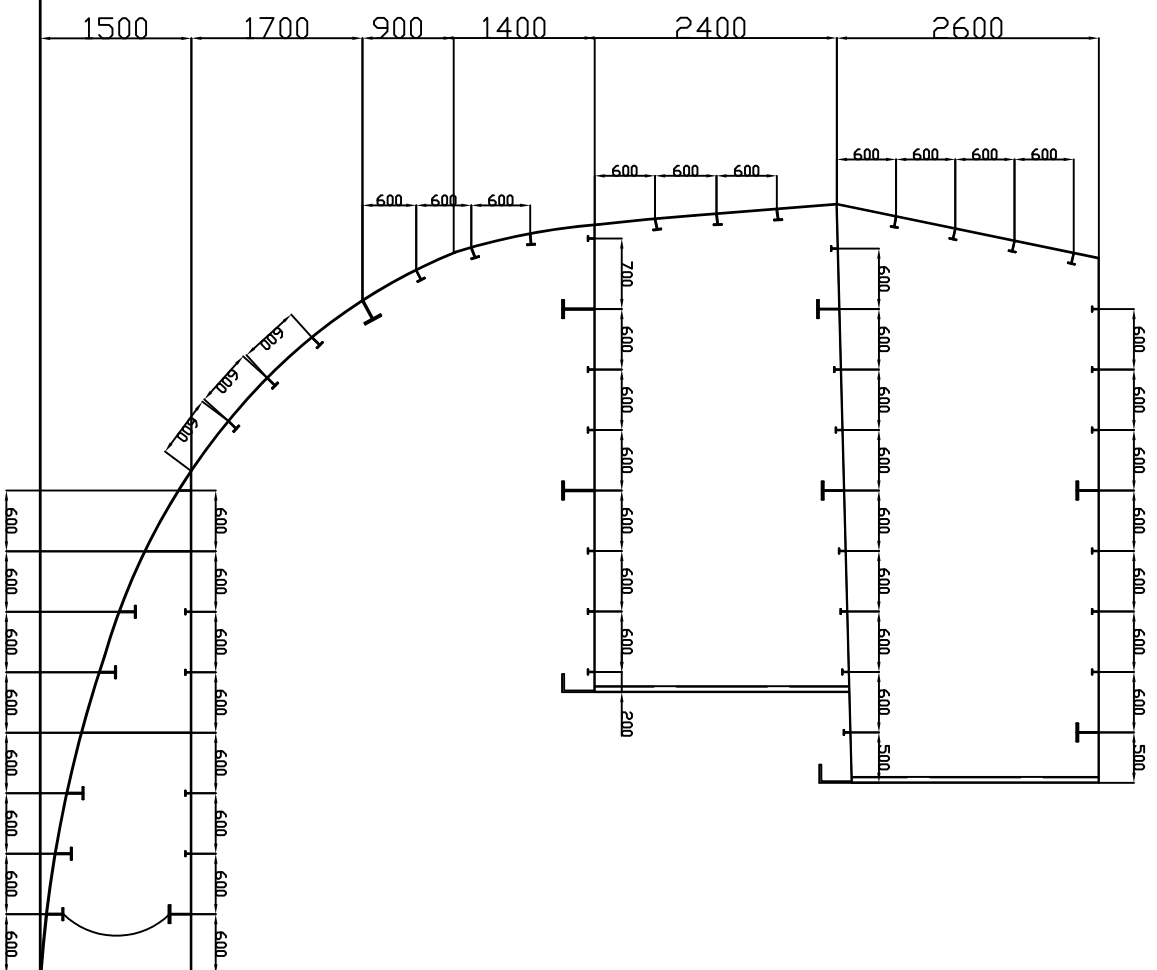
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERING

SHIP DESIGN LABORATORY

ZOGRAPHOS CAMPUS, ATHENS, GREECE

Type of Ship:	CORVETTE	Order:	
Ship's name:	HYDRA CLASS CORVETTE		
Title:	TYPICAL BULKHEAD		
Scale:	1:30	The Naval Architect	
Designer:	KYRIAKOS MARGARITIS	KYRIAKOS MARGARITIS	Drawing No:
Drawn:	KYRIAKOS MARGARITIS		HTDR-57R-004
Checked:			Date: 06/2015



GENERAL PARTICULARS	
Length Overall	L _{OA} 107.500 n
Length Between Perp.	L _{BP} 100.000 n
Breadth Mid	B 14.200 n
Depth Mid	D 7.900 n
Designed Draft	T 4.100 n
Frames' Spacing	S 1500 mm
Depthheight	D.W.L. Ton
Block Coefficient	C _B 0.472
Maximum Speed	V _{max} 30.9 knots
Cruise Speed	V _S 16.0 knots
Gross Tonnage	GRT 160
Net Tonnage	NT 93
Crew	93 Class 'HYDRA CLASS CORVETTE'

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERING
SHIP DESIGN LABORATORY
 ZOOGRAPHS CAMPUS, ATHENS, GREECE

Type of Ship: **CORVETTE**
 Ship's name: **HYDRA CLASS CORVETTE**
 Title: **MIDSHIP SECTION FOR S.M. CALCULATIONS**
 Scale: **1:75**
 Designer: **KYRIAKOS MARGARITIS**
 Drawn: **KYRIAKOS MARGARITIS**
 Checked:

Order: **The Naval Architect**
 Drawing No: **HYDRA-57R-005**
 Date: **06/2015**