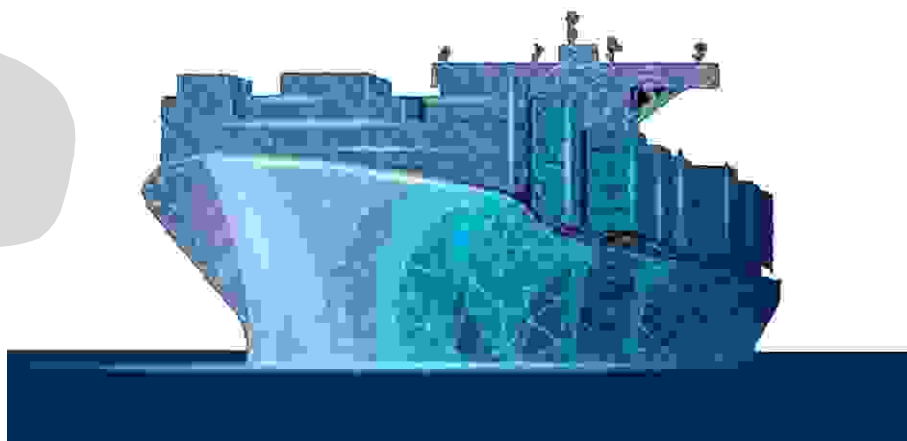




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΧΥΔΗΝ ΦΟΡΤΙΟΥ



**ΦΡΥΣΑΛΑΚΗΣ
ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

Αφιερώνεται με βαθιά ευγνωμοσύνη στους γονείς μου, για την αμέριστη στήριξη, την υπομονή και την αδιάλειπτη πίστη τους σε εμένα. Χωρίς τη δική τους δύναμη, αυτή η διαδρομή δεν θα είχε ποτέ ολοκληρωθεί.

Ευχαριστήρια

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αντωνιάδη Αριστομένη, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τη διαρκή υποστήριξη και τα εύστοχα σχόλια καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την συνεχή υποστήριξη και την πίστη τους σε εμένα, ακόμα και στις πιο απαιτητικές στιγμές. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω την ευγνωμοσύνη μου προς τους φίλους και συμφοιτητές μου, που αποτέλεσαν πηγή ενθάρρυνσης και εποικοδομητικών ανταλλαγών απόψεων. Η συμβολή όλων ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	8
2.1 Εισαγωγή στα πλοία bulk carrier	8
2.2 Βασικές αρχές ναυπηγικού σχεδίου	14
2.3 Ναυπηγικοί κανονισμοί και οδηγίες	25
2.3.1 Κύριοι διεθνείς οργανισμοί και κανονισμοί	26
3. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	31
3.1 Βασικές διαστάσεις bulk carrier	31
3.2 Επιλογή μορφολογίας γάστρας	33
3.2.1 Μορφολογία γάστρας σχεδίου	35
4. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ BULK CARRIER	37
4.1 Ναυπηγικές γραμμές (Lines plan) και διαμόρφωση γάστρας	37
4.2 Επιλογή λογισμικού σχεδίασης	43
4.2.1 Κύρια χαρακτηριστικά και λειτουργίες του προγράμματος	43
4.2.2 Εισαγωγή καμπυλών	49
4.2.3 Επεξεργασία καμπυλών 2-D	51
4.2.4 Εξομάλυνση καμπυλών 2-D	53
4.3 Διαδικασία δημιουργίας των σχεδίων	56
4.4 Παρουσίαση και ανάλυση τελικών σχεδίων	71
5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ	76
5.1 Υλικά κατασκευής γάστρας	76
5.1.1 Χάλυβας	76
5.1.2 Χαλκός	78
5.1.3 Αλουμίνιο	79
5.1.4 Ανοξείδωτος χάλυβας	80
5.2 Δομική διάβρωση και μέτρα πρόληψης στη γάστρα πλοίων ξηρού φορτίου	80
5.2.1 Είδη Διάβρωσης	81
5.2.2 Μέτρα πρόληψης διάβρωσης	82
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	84

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πλοίο είναι μια ειδική κατασκευή (ναυπήγημα) σχεδιασμένη για να κινείται με ασφάλεια στο νερό. Ως μέσο μεταφοράς, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εφευρέσεις στην ιστορία της ανθρωπότητας. Τα πλοία έχουν διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην εξερεύνηση, στο εμπόριο και στη γεφύρωση απομακρυσμένων χωρών και πολιτισμών του πλανήτη. Δεν θεωρείται απλά ένα μέσο πλεύσης, αλλά ένας μηχανισμός ο οποίος συνδέει θάλασσες και ηπείρους. Η ναυτιλία δεν είναι απλά ένας κλάδος. Είναι ένας βασικός παράγοντας της διεθνούς συνεργασίας, της οικονομικής ανάπτυξης και της γεωπολιτικής ισορροπίας.

Στη σημερινή εποχή, η ναυπηγική αποτελεί επίσης έναν από τους σημαντικότερους κλάδους της βιομηχανίας, καθώς συμβάλλει άμεσα στην παγκόσμια εμπορική, ενεργειακή και οικονομική δραστηριότητα καθώς μεταφέρει πάνω από το 80% του παγκόσμιου όγκου εμπορίου. Η διαδικασία σχεδίασης της γάστρας ενός πλοίου αποτελεί σημαντικό γεγονός με πολύπλευρη, απαιτητική και ταυτόχρονα δημιουργική όψη, εφόσον είναι ένα από τα σημαντικότερα μέρη σχεδίασης ολόκληρου του πλοίου.

Στο πλαίσιο του παγκόσμιου εμπορίου και της ραγδαίας αύξησης των θαλάσσιων μεταφορών, τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk carriers) προβάλλουν κεντρική θέση στη ναυτιλιακή ζώνη αφού εξυπηρετούν ζωτικές ανάγκες, μεταφέροντας πρώτες ύλες και προϊόντα που στηρίζουν βιομηχανικές και καταναλωτικές αλυσίδες όπως σιτηρά, άνθρακα, μεταλλεύματα και βωξίτη, διαμορφώνοντας ένα ιδιαίτερο τεχνικό προφίλ ως προς τον σχεδιασμό και τη λειτουργία τους.

Ειδικότερα, η σχεδίαση ενός πλοίου αποτελεί μια πολύπλοκη, επαναληπτική διαδικασία η οποία δέχεται επίδραση από πολλούς παράγοντες. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι οι απαιτήσεις του πλοιοκτήτη, το κόστος κτήσης, κ.α., και με βάση αυτές ο μελετητής θα πρέπει να είναι σε θέση να σχεδιάσει ένα σκάφος το οποίο θα ανταποκρίνεται στον ζητούμενο σκοπό.

Ο Evans έχει καταφέρει στο παρελθόν να απεικονίσει με μεγάλη επιτυχία τη διαδικασία σχεδίασης μέσω ενός σπειροειδούς διαγράμματος (Evans, 1959). Η συγκεκριμένη προσέγγιση εστιάζεται στο γεγονός ότι οι διάφορες πτυχές σχεδιασμού αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη διαδοχικά, με μεγάλη προσοχή στον κύκλο υπολογισμών, έως ότου επιτευχθεί η δημιουργία ενός σχεδίου που να ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς που υπάρχουν. Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία σχεδίασης κατά τον Evans χωρίζεται σε τέσσερα μέρη (φάσεις μελέτης πλοίου):

- Μελέτη εφικτότητας ή αρχικού σχεδιασμού
- Προμελέτη
- Μελέτη προδιαγραφών συμβολαίου
- Μελέτη λεπτομερούς σχεδιασμού

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά ένα από τα κυριότερα θέματα της ναυτιλίας, τη σχεδίαση της γάστρας πλοίου, ένα κρίσιμο πρώτο στάδιο στον ναυπηγικό σχεδιασμό το οποίο αφορά τόσο τη ναυτική συμπεριφορά όσο και τη συνολική απόδοση του πλοίου. Συγκεκριμένα, η εργασία πραγματεύεται αποκλειστικά τον σχεδιασμό της γάστρας ενός πλοίου μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk carrier) ακολουθώντας τις βασικές

αρχές ναυπηγικής σχεδίασης και τις προδιαγραφές που επιβάλλουν οι διεθνείς κανονισμοί.

Αρχικά, αναπτύσσεται η εξέλιξη των bulk carriers στο πέρασμα των χρόνων, η σημασία της κατασκευής τους και η διαμόρφωση που έγινε ώστε να αποτελούν βασικό πυλώνα στο παγκόσμιο εμπόριο. Στη συνέχεια αναφέρονται οι ναυπηγικοί όροι και τα κύρια χαρακτηριστικά τους τα οποία αποτελούν τη βασική πηγή γνώσης ώστε να γίνει η σχεδίαση της γάστρας του πλοίου. Επιπλέον, γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένους κανονισμούς που έχουν θεσπιστεί από οργανισμούς (SOLAS, MARPOL, IMO κ.α.) για την σωστή πλεύση του πλοίου, την αποδοτικότητά του και τη συμμόρφωσή του με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που βρίσκονται σε ισχύ. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται συστηματικά δεδομένα μορφοποίησης (formdata) τα οποία δίνουν επαρκή στοιχεία για την χάραξη των ναυπηγικών γραμμών πλοίου, έχοντας τα προφίλ της πλώρης, της πρύμνης και τις καμπύλες των εγκάρσιων τομών (νομείς), για την κατασκευή του εξωτερικού περιγράμματος της γάστρας, σε αδιάστατη μορφή.

Η γάστρα του πλοίου που σχεδιάστηκε χρησιμοποιεί τα δεδομένα που επιλέχθηκαν από τα προφίλ της formdata ώστε να γίνει η παρουσίαση και η ανάλυσή της, χωρίς όμως να αντιστοιχούν σε κάποιο πατρικό πλοίο. Τα χαρακτηριστικά και οι κύριες διαστάσεις επιλέχθηκαν με γνώμονα το πρακτικό κομμάτι της σχεδίασης και όχι για να αποτυπώσουν κάποια συγκεκριμένη κατηγορία πλοίου bulk carrier. Η υλοποίηση του σχεδιασμού της γάστρας πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του σχεδιαστικού λογισμικού Avena Lines το οποίο προσφέρει υψηλή ακρίβεια στον σχεδιασμό της και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα σχεδίασης AutoCAD για την ολική αναπαράστασή της.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα επικρατέστερα μέχρι σήμερα υλικά κατασκευής της γάστρας τα οποία προσφέρουν ξεχωριστά σημαντικές ιδιότητες στον ναυπηγικό σχεδιασμό και προτείνονται για τρόπους πρόληψης κατασκευαστικών αστοχιών. Τέλος, παρουσιάζονται τα διάφορα είδη διάβρωσης του πλοίου και οι τρόποι πρόληψής τους.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή στα πλοία bulk carrier

Καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας, οι άνθρωποι ανέπτυξαν συστήματα, διαδικασίες και προϊόντα που έχουν ωφελήσει την ανθρωπότητα με πολλούς τρόπους. Η προσέγγισή τους σε αυτές τις εξελίξεις βασίστηκε στον σχεδιασμό αυτών των προϊόντων και συστημάτων. Ως μορφή ανθρωπίνης δραστηριότητας, ο σχεδιασμός έχει εξελιχθεί με διάφορους τρόπους από τα αρχαιότερα χρόνια μέχρι σήμερα. Στην αρχαιότητα, ο σχεδιασμός γινόταν αντιληπτός κυρίως ως η αισθητική ομορφιά μιας κατασκευής. Ο σχεδιαστής ενσωμάτωνε τις λειτουργικές διαστάσεις των κατασκευών κυρίως βάσει προσωπικής διαίσθησης και εμπειρικής κατανόησης του φυσικού περιβάλλοντος. Η δημιουργικότητα ήταν καθοριστικός παράγοντας σε αυτού του είδους τα σχέδια. Οι μεγάλες πόλεις που κατασκευάστηκαν από αρχαίους πολιτισμούς σε όλο τον κόσμο, τα μνημειώδη έργα όπως οι πυραμίδες, τα παλάτια, τα φρούρια και οι τόποι λατρείας όπως ναοί, καθεδρικοί ναοί και τεμένη, αποτελούν αδιάψευστη μαρτυρία αυτής της προσέγγισης.

Μηχανικές επινοήσεις, όπως ο τροχός, βρήκαν εφαρμογή σε αντικείμενα των οποίων ο σχεδιασμός αποσκοπούσε κυρίως στην αισθητική τους αρτιότητα και όχι κατ' ανάγκη στην τεχνική τους αποδοτικότητα, όπως συνέβαινε για παράδειγμα με τα άρματα που χρησιμοποιούνταν είτε για αθλητικούς σκοπούς είτε στο πλαίσιο πολεμικών συγκρούσεων. Αντίστοιχα, στον τομέα της ναυσιπλοΐας, οι άνθρωποι κατόρθωναν να διασχίζουν ποτάμια και ωκεανούς, να αντιμετωπίζουν δύσκολες θαλάσσιες συνθήκες και να εξερευνούν άγνωστες ακτές χωρίς να διαθέτουν επιστημονική γνώση αναφορικά με τις αρχές της πλευστότητας και της υδροδυναμικής. Οι βάρκες στα αρχαία χρόνια σχεδιάζονταν κατά κύριο λόγο με έμφαση στην εξωτερική εμφάνιση και στην καλλιτεχνική έκφραση. Ακόμη και τα πολεμικά πλοία παρουσίαζαν εξαιρετικά περίτεχνο και καλαίσθητο σχεδιασμό, συχνά διακοσμημένο με φιγούρες όπως γοργόνες στην πλώρη. Συνεπώς, στην αρχαιότητα ο σχεδιασμός τεχνολογικών κατασκευών αποτελούσε περισσότερο μια μορφή τέχνης και λιγότερο το αποτέλεσμα μιας επιστημονικής προσέγγισης.

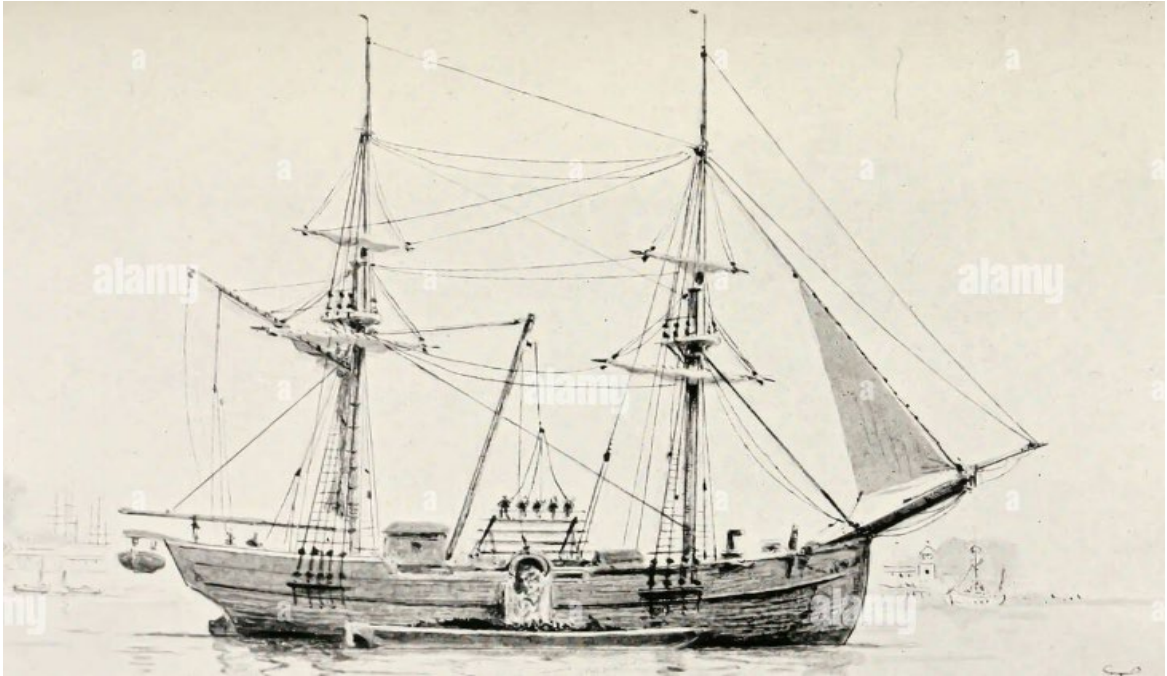
Η Βιομηχανική Επανάσταση έφερε μια ραγδαία αύξηση των τεχνολογικών εφευρέσεων. Αυτές οι νέες τεχνολογίες χρησιμοποιήθηκαν σε καινοτόμες κατασκευές, οδηγώντας σε αυξημένη αποδοτικότητα μέσω της αντικατάστασης της χειρωνακτικής εργασίας με μηχανές. Η μηχανική καθιερώθηκε ως ένας ανεξάρτητος και εξειδικευμένος επιστημονικός κλάδος, ενώ η επιστημονική κατανόηση του φυσικού κόσμου βελτιώθηκε σημαντικά, ιδίως στους τομείς της μηχανικής στερεών και ρευστών, της οπτικής, της θερμοδυναμικής, καθώς και των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων, ως αποτέλεσμα τόσο θεωρητικών όσο και πειραματικών προόδων.

Κατά συνέπεια, ο τομέας του μηχανολογικού σχεδιασμού σταδιακά απομακρύνθηκε από την καθαρά καλλιτεχνική του διάσταση και προσέγγισε τη συστηματική και επιστημονική μεθοδολογία. Στον 20^ο αιώνα, ο μηχανολογικός σχεδιασμός διαμορφώθηκε ως ένα «κλειστό σύστημα», όπου οι παράμετροι σχεδιασμού, όπως τα μηχανικά φορτία, ήταν πλήρως προσδιορισμένες και η εφαρμογή των επιστημονικών αρχών ήταν σαφώς καθορισμένη. Αυτή η προσέγγιση εφαρμόστηκε στον σχεδιασμό επιμέρους τεχνικών στοιχείων, όπως για παράδειγμα ενός γραναζιού που προορίζεται να μεταφέρει συγκεκριμένη ροπή στρέψης σε καθορισμένο αριθμό στροφών ανά λεπτό ή ενός

φέροντος στοιχείου ικανού να αντέχει σε συγκεκριμένο φορτίο ή μιας ηλεκτρικής μηχανής σχεδιασμένης να αποδίδει συγκεκριμένη ισχύ με γνωστές συνθήκες λειτουργίας. Αντίστοιχες αρχές χρησιμοποιήθηκαν και στον σχεδιασμό σύνθετων τεχνικών έργων, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον. Με την πάροδο του χρόνου, το περιβάλλον του σχεδιασμού άρχισε να εξελίσσεται, ανταποκρινόμενο στην ανάγκη για τη συνδυασμένη λειτουργία πολλαπλών, ταυτόχρονων και διαλειτουργικών συστημάτων, μέσα σε συνθήκες αβεβαιότητας ή ελλιπούς καθορισμού μεταβλητών. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα του σύγχρονου σχεδιασμού γίνεται ιδιαίτερα εμφανής μέσα από το πλήθος και τη διαφορετικότητα των θαλάσσιων μέσων, δομών και υποδομών που απαντώνται σήμερα.

Ειδικότερα, στον ναυπηγικό σχεδιασμό, οι πρώτες μορφές θαλάσσιων μέσων περιορίζονταν σε απλούς κορμούς δέντρων, οι οποίοι χρησιμοποιούνταν για τη μεταφορά ανθρώπων στο νερό. Με την πάροδο του χρόνου, το ξύλο υποβλήθηκε σε επεξεργασία, λαξευόταν, διαμορφωνόταν και συναρμολογούνταν, οδηγώντας στη δημιουργία πλοίων που διευκόλυναν τη θαλάσσια μετακίνηση, τη διέλευση ωκεανών και τη διεξαγωγή πολέμων. Σε εκείνη την πρώιμη φάση, η κίνηση των πλοίων βασιζόταν αποκλειστικά στη μυϊκή δύναμη των ανθρώπων, κυρίως μέσω της χρήσης κουπιών. Αργότερα εμφανίστηκαν τροχοί με κουπιά που λειτουργούσαν μηχανικά, βελτιώνοντας την απόδοση της πρόωσης. Σε επόμενο στάδιο, αξιοποιήθηκε ο άνεμος, η μοναδική τότε διαθέσιμη ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, μέσω της τοποθέτησης ιστίων που προσέφεραν την απαιτούμενη κινητήρια δύναμη.

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, κατά την διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης, η εμφάνιση των ατμομηχανών σηματοδότησε την αντικατάσταση των ιστίων, προσφέροντας μηχανική ενέργεια και καθιστώντας τον άνθρακα κυρίαρχο καύσιμο. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν στην Αγγλία οι πρώτες απόπειρες κατασκευής πλοίων ειδικά σχεδιασμένων για τη μεταφορά ξηρού-χύδην φορτίου. Κατά την περίοδο αυτή κατασκευάστηκαν εξειδικευμένα πλοία, όπως οι ανθρακοφόροι (colliers) που μετέφεραν άνθρακα και αποτέλεσαν τους προδρόμους των σημερινών bulk carriers. Τα σκάφη αυτά που ήταν αρχικά ξύλινα (εικόνα 2.1), σταδιακά αντικαταστάθηκαν από μεταλλικές κατασκευές (εικόνα 2.2), γεγονός που οδήγησε σε πιο απλές εσωτερικές διαμορφώσεις και σε βελτιωμένα συστήματα φόρτωσης και εκφόρτωσης.



Εικόνα 2.1: Ξύλινη κατασκευή ανθρακοφόρου (collier)

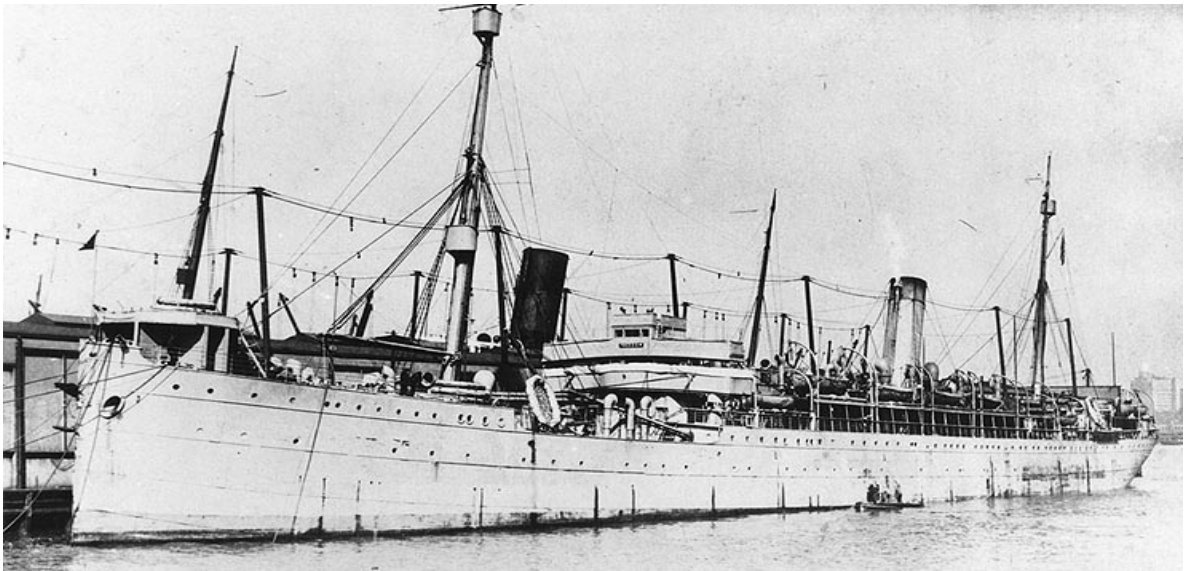


Εικόνα 2.2: Μεταλλική κατασκευή ανθρακοφόρου (collier)

Ταυτόχρονα, η χρήση ελίκων έγινε κοινή πρακτική για την πρόωση των πλοίων. Ακολούθησε η υιοθέτηση σιδερένιων σκαριών και, μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, το ατσάλι είχε επικρατήσει πλήρως έναντι του ξύλου ως το βασικό υλικό ναυπήγησης. Την ίδια περίοδο, το πετρέλαιο άρχισε να αντικαθιστά τον άνθρακα στις παλινδρομικές ατμομηχανές.

Με την είσοδο στον 20^ο αιώνα, περαιτέρω εξελίξεις όπως η χρήση χάλυβα και η χρήση της συγκόλλησης στη μεταλλική ναυπηγική έθεσαν νέα πρότυπα στη ναυπήγηση, προσφέροντας μια ριζική αλλαγή στον τρόπο κατασκευής των πλοίων. Τα πλοία ειδικά σχεδιασμένα για τη μαζική μεταφορά ξηρού φορτίου εμφανίστηκαν στις δεκαετίες του 1920 και 1930. Οι πρώτες εκδόσεις τους διέθεταν χωριστά αμπάρια και ενισχυμένες

δομές, προσφέροντας ασφαλέστερη και αποδοτικότερη μεταφορά πυκνών φορτίων, βελτιώνοντας έτσι τη λειτουργικότητα έναντι του μεγέθους. Παράλληλα, η ανάπτυξη πετρελαιοκινητήρων και ατμοστροβίλων αντικατέστησε σταδιακά τις παραδοσιακές ατμομηχανές ως μέσα πρόωσης. Μετά τη λήξη του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, η ανάγκη για παγκόσμια διακίνηση υλικών αυξήθηκε κατακόρυφα, προκειμένου να υποστηριχθεί η ανοικοδόμηση κατεστραμμένων υποδομών. Η εξέλιξη αυτή οδήγησε στην παραγωγή τυποποιημένων τύπων πλοίων cargo, όπως τα Freedom (εικόνα 2.3), SD-14 (εικόνα 2.4) και Fortune (εικόνα 2.5), τα οποία σχεδιάστηκαν για να ανταποκριθούν στις αυξημένες μεταφορικές απαιτήσεις της εποχής. Στη συνέχεια, εγκαθιδρύθηκε ένα σύστημα κατηγοριοποίησης των πλοίων βάσει της φύσης του μεταφερόμενου φορτίου, με βασικό τύπο τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου. Η δεκαετία του 1960 έχει καθιερωθεί ως η «χρυσή εποχή» της ναυτιλίας, καθώς σημειώθηκε αξιοσημείωτη αύξηση στο μέγεθος των πλοίων, λόγω των πλεονεκτημάτων της οικονομίας κλίμακας.



Εικόνα 2.3: Πλοίο τύπου Freedom



Εικόνα 2.4: Πλοίο τύπου SD-14



Εικόνα 2.5: Πλοίο τύπου Fortune

Η ανάπτυξη των bulk carriers επιταχύνθηκε μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, παράλληλα με την επέκταση του παγκόσμιου εμπορίου και των διεθνών συνδέσεων. Χώρες όπως η Ιαπωνία, η Γερμανία και οι Ηνωμένες Πολιτείες προώθησαν την εκβιομηχάνιση, αυξάνοντας τη ζήτηση για πρώτες ύλες. Κατά την ίδια περίοδο, περιοχές με πλούσιους φυσικούς πόρους, όπως η Αυστραλία και η Βραζιλία, στράφηκαν στην ενίσχυση της παραγωγικής τους ικανότητας, γεγονός που οδήγησε σε ραγδαία αύξηση της θαλάσσιας μεταφοράς.

Από τη δεκαετία του 1950 και στο εξής παρατηρείται παγκόσμια αύξηση στο μέγεθος και τη χωρητικότητα των πλοίων, με αποτέλεσμα την καθιέρωση ενός πιο ομοιογενούς σχεδιασμού bulk carriers σε διεθνές επίπεδο. Η έμφαση δίνεται πλέον στη χωρητικότητα σε deadweight tonnage (DWT), η οποία αποτελεί το βασικό κριτήριο αξιολόγησης των πλοίων. Τη δεκαετία του 1970 ξεκίνησε μια «κούρσα» για την κατασκευή περισσότερων και μεγαλύτερων bulk carriers, με τις μονάδες άνω των 100.000 DWT να γίνονται ο κανόνας. Στις επόμενες δεκαετίες αναπτύχθηκαν και άλλες κατηγορίες πλοίων όπως τα Capesize (εικόνα 2.6), Panamax (εικόνα 2.7) και Handysize (εικόνα 2.8), κάθε ένα με διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς τις διαδρομές και την προσβασιμότητα στα λιμάνια. Η ναυπήγηση bulk carriers παγκοσμίως έφτασε στο αποκορύφωμά της στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα.



Εικόνα 2.6: Capesize bulk carrier



Εικόνα 2.7: Panamax bulk carrier



Εικόνα 2.8: Handysize bulk carrier

Η Ανατολική Ασία, ιδιαίτερα η Ιαπωνία και αργότερα η Νότια Κορέα και η Κίνα, αναδείχθηκαν σε ηγέτες τόσο στην κατασκευή όσο και στη λειτουργία αυτών των πλοίων. Η Ιαπωνία, ήδη από τις δεκαετίες του '60 και '70, φάνηκε να επενδύει στρατηγικά σε μαζικές εισαγωγές σιδηρομεταλλεύματος από την Αυστραλία και τη Βραζιλία για να υποστηρίξει τη ραγδαία βιομηχανική της ανάπτυξη. Η Κίνα, από τη δεκαετία του 1990, αναδείχθηκε ως μία από τις μεγαλύτερες εισαγωγείς πρώτων υλών, δημιουργώντας τεράστια ζήτηση για bulk carriers και αναπτύσσοντας έναν στόλο που βρισκόταν σε διαρκή επέκταση και εκσυγχρονισμό.

Παράλληλα, η Ελλάδα αναδεικνύεται ως ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες παγκοσμίως στην ιδιοκτησία και λειτουργία bulk carriers. Με βαθιά ναυτιλιακή παράδοση και τεχνογνωσία, οι Έλληνες πλοιοκτήτες αξιοποιούν διεθνή δίκτυα ασφάλισης και ναυλομεσιτείας, διατηρώντας έναν από τους μεγαλύτερους στόλους bulk carriers παγκοσμίως και συμμετέχοντας ενεργά στη μεταφορά πρώτων υλών, επηρεάζοντας σημαντικά διάφορες παγκόσμιες εμπορικές διαδρομές.

Συνοψίζοντας, η εξέλιξη των bulk carriers είναι στενά συνδεδεμένη με την παγκόσμια οικονομία και την πρόοδο της ναυπηγικής τεχνολογίας. Από τα πρωτόγονα πλοία μεταφοράς φορτίου του 19^{ου} αιώνα μέχρι τα σύγχρονα εξελιγμένα πλοία που μπορούν να μεταφέρουν εκατοντάδες χιλιάδες τόνους φορτίου, τα bulk carriers έχουν μετατραπεί από απλά μέσα μεταφοράς σε καίρια εργαλεία του διεθνούς εμπορίου, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη ροή βιομηχανικών αγαθών σε παγκόσμιο επίπεδο.

2.2 Βασικές αρχές ναυπηγικού σχεδίου

Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται συχνότερα στην σχεδίαση και περιγραφή των πλοίων. Η αναφορά των όρων αυτών γίνεται για την εισαγωγή στις βασικές παραμέτρους που καθορίζουν τη γεωμετρία και τη λειτουργικότητα της γάστρας και αποτελούν το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίζεται η διαδικασία του ναυπηγικού σχεδιασμού.

Αρχικά, το άκρο του πλοίου προς την κανονική πορεία του ονομάζεται **πλώρη** και το αντίθετο άκρο του πλοίου ως προς την κανονική πορεία του ονομάζεται **πρύμνη** (σχήμα 2.9). Χαρακτηριστικό της πλώρης κατά τη σχεδίαση είναι η σφηνοειδής μορφή της για να «σχίζει» εύκολα το νερό ενώ η πρύμνη σχεδιάζεται δημιουργώντας ένα «κλείσιμο» για τη διευκόλυνση της ροής του νερού, ώστε να μειώνονται όσο δυνατόν περισσότερο οι αντιστάσεις κατά την κίνηση του πλοίου. **Αριστερή πλευρά** σε ένα πλοίο, ανεξάρτητα της θέσης και του προσανατολισμού μας πάνω σε αυτό, είναι αυτή που βρίσκεται αριστερά ενός παρατηρητή που βρίσκεται στην πρύμνη και κοιτάει προς την πλώρη του πλοίου. Ο όρος **port side** προέρχεται από τον Μεσαίωνα, όπου τα πλοία έδεναν πάντα με την αριστερά πλευρά τους στο λιμάνι, γιατί στη δεξιά πλευρά έφεραν το μοναδικό τους πηδάλιο. Ο όρος **starboard** είναι παραφθορά του όρου steer board (πλευρά πηδαλίου).



Σχήμα 2.9: Πλώρη – Πρύμνη πλοίου

- **Βασικό επίπεδο αναφοράς (Base plane)**

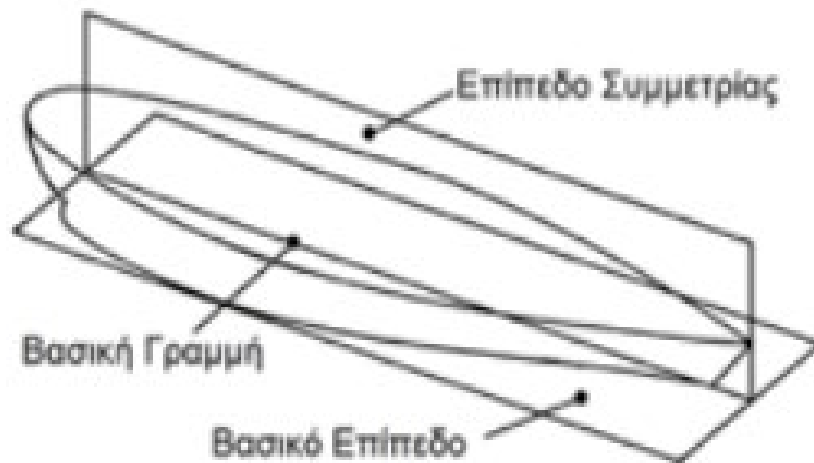
Είναι ένα οριζόντιο επίπεδο, που χρησιμοποιείται ως αρχή μέτρησης των κατακόρυφων αποστάσεων των σημείων στο πλοίο. Στα πλοία με οριζόντιο πυθμένα το βασικό επίπεδο αναφοράς εφάπτεται της άνω όψης του ελάσματος του πυθμένα του πλοίου.

- **Διάμηκες επίπεδο συμμετρίας (Center plane)**

Είναι το κάθετο επίπεδο στο βασικό επίπεδο αναφοράς, που χωρίζει το πλοίο σε δύο μέρη: αριστερό και δεξιό. Τα πλοία είναι συμμετρικά ως προς αυτό. Χρησιμοποιείται ως επίπεδο αναφοράς των εγκάρσιων αποστάσεων των στοιχείων του πλοίου.

- **Βασική γραμμή αναφοράς (Base line, BL)**

Είναι η τομή του βασικού επιπέδου αναφοράς με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας. Συνήθως ταυτίζεται με τον διαμήκη άξονα του πλοίου ή άξονα x στο σύστημα συντεταγμένων (σχήμα 2.10).



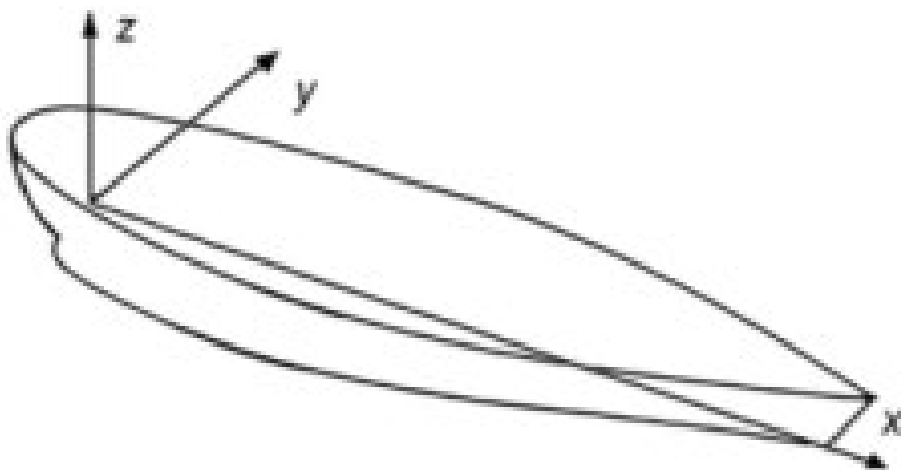
Σχήμα 2.10: Επίπεδα αναφοράς του πλοίου

- **Σύστημα συντεταγμένων**

Για τον ορισμό της θέσης κάθε σημείου πάνω στο πλοίο χρησιμοποιείται ένα προσαρτημένο (πάνω στο πλοίο) σύστημα συντεταγμένων που συνήθως έχει:

1. τον άξονα x (ή διαμήκη άξονα), ο οποίος ταυτίζεται με τη βασική γραμμή αναφοράς, με θετική φορά προς την πλώρη,
2. τον άξονα y (ή εγκάρσιο άξονα), με θετική φορά προς τα αριστερά,
3. τον άξονα z (ή κατακόρυφο άξονα) με θετική φορά προς τα πάνω (βλ. [σχήμα 2.11](#)).

Τέλος, η αρχή των αξόνων τοποθετείται συνήθως στην πρύμνη του πλοίου (ή στη μέση του μήκους του), στο ύψος του βασικού επιπέδου αναφοράς και επί του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας. Οι τρεις άξονες του συστήματος συντεταγμένων ονομάζονται και κύριοι άξονες.



Σχήμα 2.11: Σύστημα συντεταγμένων πλοίου

- **Γάστρα (Hull)**

Είναι η κυρτή περιβάλλουσα επιφάνεια (περίβλημα) που εξασφαλίζει την υδατοστεγανότητα στο πλοίο. Αποτελείται από τον πυθμένα (bottom) και τα πλευρικά τοιχώματα (side shell). Το άνω μέρος της γάστρας ονομάζεται κύριο κατάστρωμα (main deck).

- **Ύφαλα - Έξαλα**

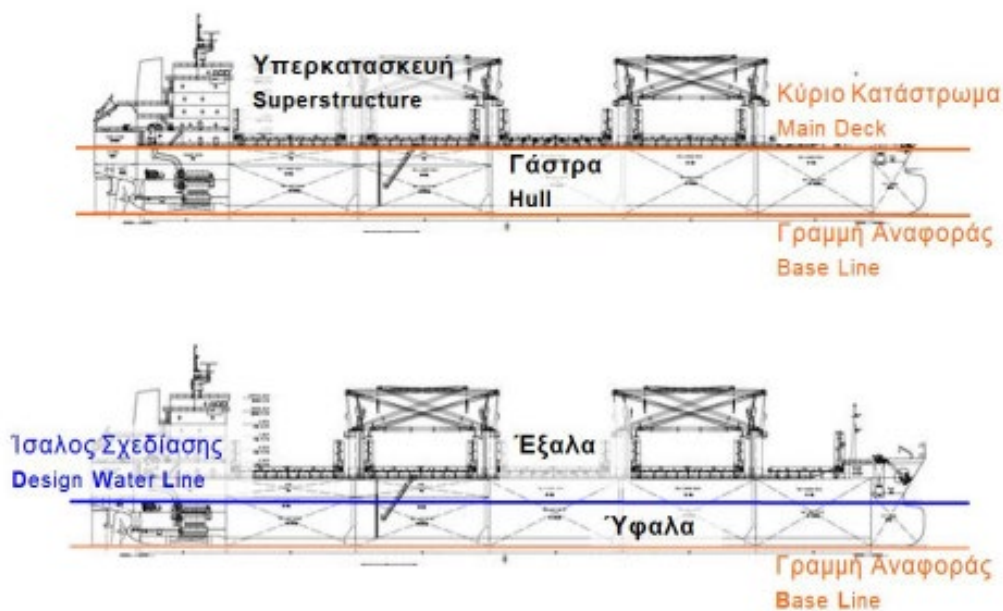
Τα ύφαλα, είναι το βρεχόμενο τμήμα της γάστρας, δηλαδή το τμήμα του πλοίου που βρίσκεται κάτω από την αδιατάραχτη επιφάνεια της θάλασσας για την εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης. Τα έξαλα είναι το τμήμα του πλοίου που βρίσκεται πάνω από την αδιατάραχτη επιφάνεια της θάλασσας για την εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης.

- **Υπερκατασκευή (Superstructure)**

Είναι το τμήμα του πλοίου που είναι από το κύριο κατάστρωμα και πάνω.

- **Ίσαλος γραμμή (Water Line, WL)**

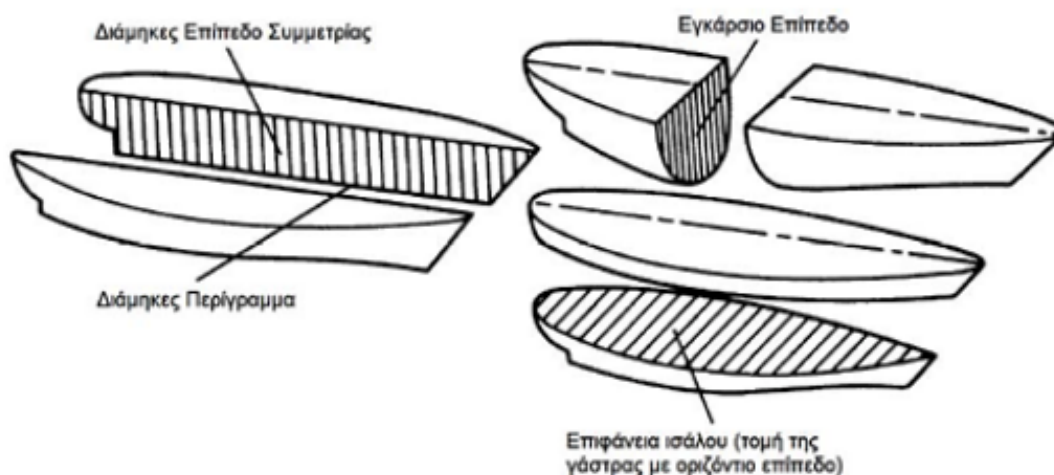
Είναι η νοητή γραμμή που σχηματίζεται από την τομή της γάστρας με την αδιατάραχτη επιφάνεια της θάλασσας για την εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης. Αποτελεί το όριο ανάμεσα στα ύφαλα και τα έξαλα του πλοίου. Ειδικότερα, η ίσαλος του πλοίου όταν αυτό μεταφέρει την προβλεπόμενη ποσότητα φορτίου – ποσότητα για την οποία σχεδιάστηκε – ονομάζεται ίσαλος σχεδίασης (σχήμα 2.12).



Σχήμα 2.12: Απεικόνιση της γάστρας, υφάλων, εξάλων και ισάλου σχεδίασης

- **Κύρια επίπεδα**

Είναι κάθε επίπεδο που είναι κάθετο σε έναν από τους κύριους άξονες. Τα κύρια επίπεδα διακρίνονται σε διαμήκη, εγκάρσια και οριζόντια επίπεδα (σχήμα 2.13).



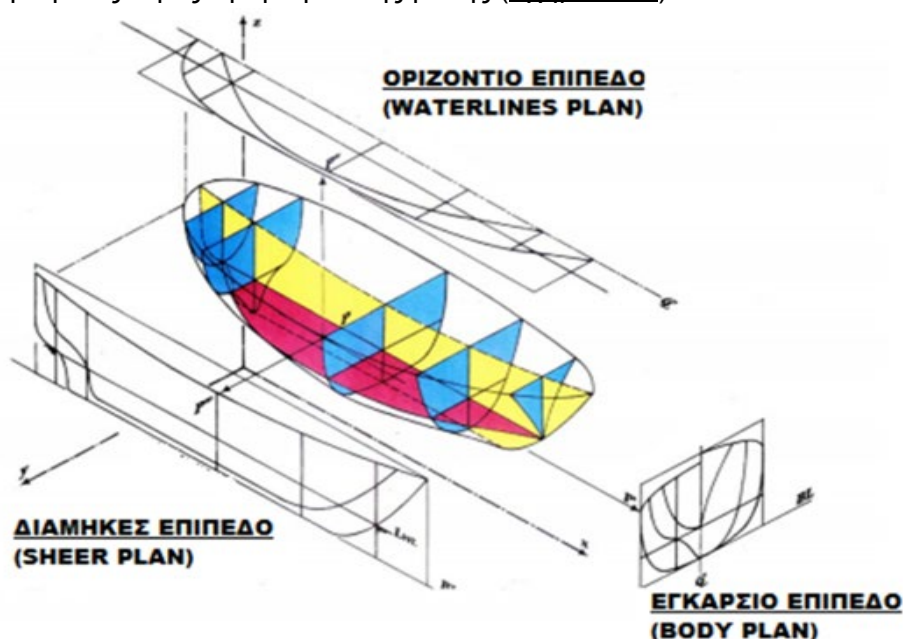
Σχήμα 2.13: Διαμήκη, εγκάρσια και οριζόντια επίπεδα

1. Διαμήκη επίπεδα

Είναι κάθε επίπεδο παράλληλο στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, δηλαδή κάθετο στον εγκάρσιο άξονα y . Στο διάμηκες επίπεδο προβάλλονται οι καμπύλες οι οποίες προκύπτουν από την τομή του σκάφους (της γάστρας) με μια σειρά επιπέδων παράλληλα προς αυτό, χωρίζοντας σε ίσες αποστάσεις το μέγιστο ημι-πλάτος. Οι τομές αυτές ονομάζονται διαμήκεις καμπύλες ή Buttocks.

2. Εγκάρσια επίπεδα

Κάθε τομή παριστάνει σε πρόοψη την πραγματική μορφή της γάστρας για κάποιες θέσεις κατά το διάμηκες επίπεδο με καμπύλες που προκύπτουν από την τομή της επιφάνειας της γάστρας με κατακόρυφα εγκάρσια επίπεδα. Οι καμπύλες που προκύπτουν από τις διάφορες εγκάρσιες τομές ονομάζονται νομείς (Frames) και σχεδιάζονται στο εγκάρσιο επίπεδο ή body plan. Επειδή υπάρχει συμμετρία ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, σχεδιάζονται δεξιά οι εγκάρσιες τομές πρώταθεν της μέσης και αριστερά οι εγκάρσιες τομές πρύμνηθεν της μέσης (σχήμα 2.14).



Σχήμα 2.14: Νομείς (Frames), ίσαλοι (Water Lines), διαμήκεις τομές (Buttocks)

3. Οριζόντια επίπεδα

Είναι κάθε επίπεδο κάθετο στον διαμήκη άξονα x . Οι καμπύλες που προκύπτουν από την τομή της γάστρας με οριζόντια επίπεδα, ονομάζονται ίσαλοι (water lines). Μια από αυτές τις ισάλους είναι η ίσαλος σχεδίασης. Η ίσαλος αυτή αποτελεί τη θεωρητική ίσαλο πλήρους φόρτωσης. Οι καμπύλες αυτές σχεδιάζονται στο οριζόντιο επίπεδο ή σχέδιο ισάλων (water lines plan).

- **Ολικό μήκος πλοίου (Length Overall, L_{OA})**

Είναι η οριζόντια (διαμήκης) απόσταση μεταξύ των δύο ακραίων σημείων του πλοίου στην πλώρη και στην πρύμνη.

- **Μήκος ισάλου (Water Line Length, L_{WL})**

Είναι η οριζόντια (διαμήκης) απόσταση μεταξύ του σημείου που τέμνει η ίσαλος γραμμή τη γάστρα στην πλώρη και του σημείου που τέμνει η ίσαλος γραμμή τη γάστρα στην πρύμνη. Πιο απλά, είναι η μέγιστη διαμήκης (οριζόντια) απόσταση της ισάλου γραμμής.

- **Πρωραία κάθετος (Forward Perpendicular ή Fore Peak, FP)**

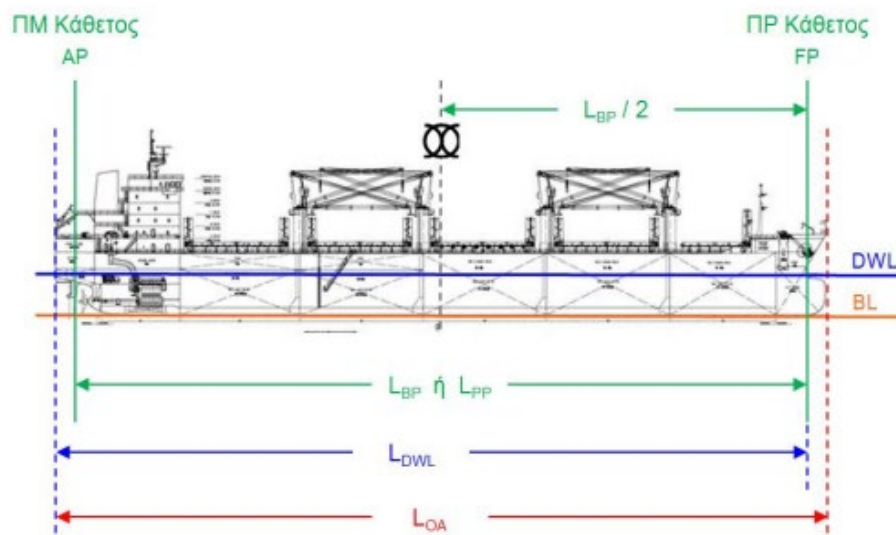
Η κάθετη (ως προς την ίσαλο σχεδίασης) ευθεία που περιέχεται στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας - το οποίο χωρίζει το σκάφος σε δύο ίσα συμμετρικά μέρη - και διέρχεται από την τομή της ισάλου σχεδίασης με το ακροπρωραίο περίγραμμα.

- **Πρυμναία κάθετος (Aft Perpendicular ή Aft Peak, AP)**

Η κάθετη ως προς την ίσαλο σχεδίασης ευθεία που περιέχεται στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας και διέρχεται από τον άξονα περιστροφής του πηδαλίου.

- **Μήκος μεταξύ καθέτων (Length Between Perpendiculars, L_{BP} ή L_{PP})**

Είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ πρυμναίας και πρωραίας καθέτου. Το εγκάρσιο επίπεδο που διέρχεται από το μισό του μήκους μεταξύ καθέτων ($L_{BP}/2$) ονομάζεται μέση τομή (σχήμα 2.15).



Σχήμα 2.15: Σχηματική απεικόνιση των L_{OA} , L_{DWL} (Design Water Line), FP, AP, L_{BP}

- **Πλάτος (Beam ή Breadth, B)**

Είναι η εγκάρσια απόσταση μεταξύ των δύο πλευρών της γάστρας. Συνήθως, με τον όρο πλάτος υπονοείται το μέγιστο πλάτος του πλοίου (Beam Overall, B_{OA}), το οποίο παρουσιάζεται στην περιοχή της μέσης τομής στο ύψος του κυρίου καταστρώματος. Σημαντικό στοιχείο εδώ είναι ότι οι μετρήσεις τόσο του πλάτους, όσο και των λοιπών μηκών στα πλοία γίνονται συνήθως εσωτερικά των ελασμάτων του περιβλήματος της

γάστρας. Για αυτό προηγείται αυτών το επίθετο molded (π.χ. molded breadth). Παρόλα αυτά, ο παραπάνω όρος συχνά δεν αναφέρεται, αλλά υπονοείται.

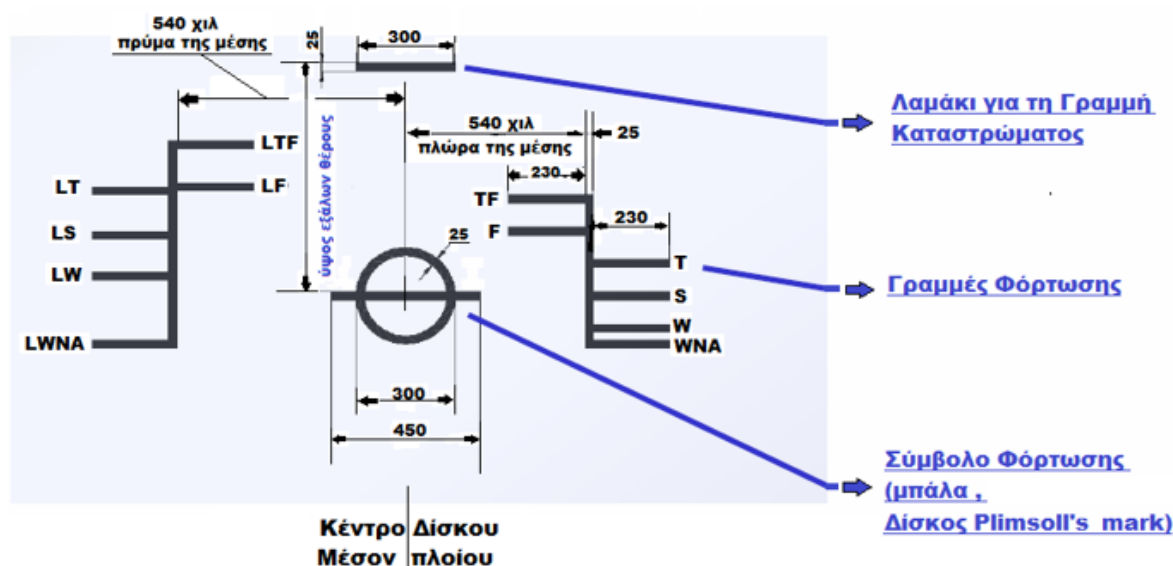
- **Κοίλο (Depth, D)**

Είναι η κατακόρυφη απόσταση της ακμής του καταστρώματος από το βασικό επίπεδο αναφοράς μετρούμενη στη μέση τομή. Σε πλοία με οριζόντιο πυθμένα, το βασικό επίπεδο εφάπτεται της άνω πλευράς του ελάσματος του πυθμένα, το δε κοίλο μετριέται μέχρι την κάτω πλευρά του ελάσματος του καταστρώματος (molded depth).

- **Βύθισμα (Draught ή Draft, T ή d)**

Είναι η κατακόρυφη απόσταση από το βασικό επίπεδο αναφοράς μέχρι την ίσαλο επιφάνεια. Το βύθισμα αλλάζει όταν μεταβάλλεται το βάρος του. Αύξηση του βάρους του πλοίου έχει ως αποτέλεσμα και αύξηση του μέσου βυθίσματός του (βύθιση). Το μέγιστο βύθισμα - στο οποίο μπορεί να πλεύσει ένα πλοίο ασφαλώς - εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (τύπο πλοίου, μεταφορική ικανότητα, γεωμετρία γάστρας, κ.ά.) και καθορίζεται από τη Διεθνή Σύμβαση περί Γραμμής Φόρτωσης (Load Line Convention). Η γραμμή φόρτωσης προσδιορίζει μια ανώτατη επιτρεπόμενη ίσαλο στην οποία είναι δυνατόν να πλέει το πλοίο (κατάσταση πλήρους φόρτου, έμφορτη ίσαλος) με ασφάλεια. Στην ίσαλο αυτή (ίσαλο υπολογισμού ή ίσαλο κατασκευής) αντιστοιχεί το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα θέρους και λαμβάνεται ως βάση για τη μελέτη του πλοίου και τον προσδιορισμό των γραμμών φόρτωσης. Επί του πλοίου στη δεξιά και αριστερή πλευρά του χαράσσεται με σμίλη ή τοποθετείται με οξυγονοκόλληση το σύμβολο της φόρτωσης, ο Δίσκος του Plimsol (σχήμα 2.16).

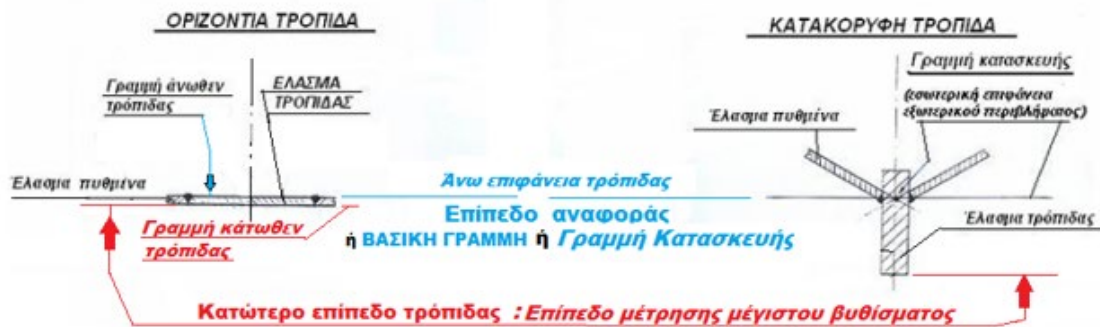
Οι κλίμακες φόρτωσης, είναι οι γραμμές που δείχνουν τα μέγιστα επιτρεπόμενα βυθίσματα του πλοίου, σε συνάρτηση των υδάτων (θάλασσα, γλυκό νερό, ποτάμια, τροπικές περιοχές), την εποχή (χειμώνας, θέρος), μεταφορά ξυλείας.



Σχήμα 2.16: Ο δίσκος του Plimsol

Το βασικό επίπεδο αναφοράς του βυθίσματος, είναι το επίπεδο που διέρχεται από την άνω επιφάνεια της τρόπιδας (τρόπιδα – keel - ή καρένα ή καρίνα ονομάζεται το κατώτερο τμήμα του πλοίου, που εκτείνεται σε όλο το μήκος του). Επίσης, το μέγιστο ολικό βύθισμα στην πραγματική και όχι στη σχεδιαστική κατάσταση του πλοίου, μετριέται από την

εξωτερική επιφάνεια του σκάφους (σχήμα 2.17), δηλαδή από το κατώτερο επίπεδο του σκάφους (γραμμή κάτωθεν της τροπίδας).



Σχήμα 2.17: Μέγιστο ολικό βύθισμα για οριζόντια και κατακόρυφη τροπίδα

Το βύθισμα είναι μία πολύ σημαντική ένδειξη του πλοίου και για αυτόν τον λόγο χαράσσεται από το ναυπηγείο κατασκευής σε κάθε πλοίο σε εμφανή σημεία. Επειδή το βύθισμα δεν είναι απαραίτητα σταθερό καθ' όλο το μήκος του πλοίου (π.χ. όταν ένα πλοίο έχει λάβει κλίσεις) τα βυθίσματα στα πλοία χαράσσονται τουλάχιστον σε τρία σημεία: στην πλώρη, στην πρύμνη και στη μέση τομή και από τις δύο πλευρές (δεξιά και αριστερά). Έτσι, ορίζονται αντίστοιχα:

- Πρωραίο βύθισμα, T_F

Είναι το βύθισμα μετρούμενο στην πρωραία κάθετο.

- Πρυμναίο βύθισμα, T_A

Είναι το βύθισμα μετρούμενο στην πρυμναία κάθετο.

- Βύθισμα μέσης τομής, T_M

Είναι το βύθισμα μετρούμενο στη μέση τομή. Το βύθισμα στη μέση τομή ισούται με το ημι-άθροισμα των προηγούμενων δύο βυθισμάτων, δηλαδή:

$$T_M = \frac{T_F + T_A}{2}$$

- Διαγωγή (Trim, t)

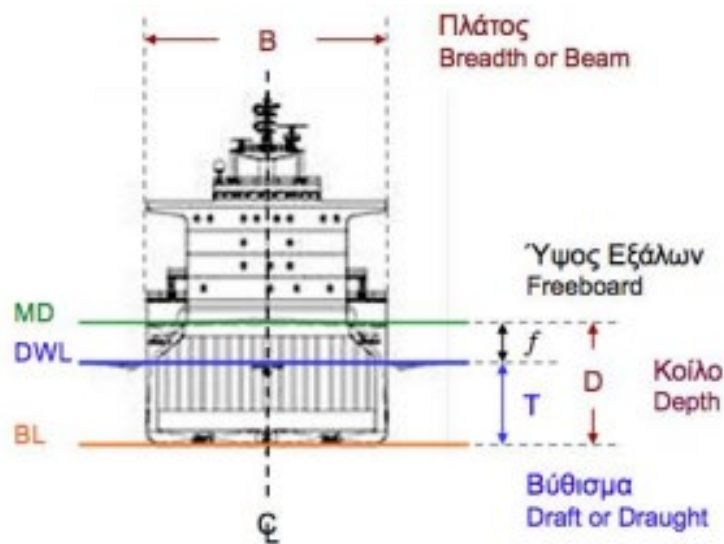
Είναι η διαφορά πρωραίου και πρυμναίου βυθίσματος: $t = T_F - T_A$

- Όταν $t > 0$ τότε το πλοίο πλέει έμπρωρα.
- Όταν $t < 0$ τότε το πλοίο πλέει έμπρυμνα.

Όταν $t = 0$ τότε το πλοίο πλέει σε ομοιόμορφο βύθισμα.

- Ύψος εξάλων (Freeboard, f)

Είναι η διαφορά μεταξύ κοίλου και βυθίσματος, η κατακόρυφη δηλαδή απόσταση του κύριου καταστρώματος από την επιφάνεια της θάλασσας (σχήμα 2.18).



Σχήμα 2.18: Ύψος εξάλων πλοίου, πλάτος, κοίλο, βύθισμα, ίσαλος γραμμή

- **Όγκος εκτοπίσματος (Displacement Volume ή Displacement Tonnage, V)**

Είναι ο όγκος των υφάλων του πλοίου, δηλαδή ο όγκος του πλοίου που είναι κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Σε αυτόν τον όγκο δεν περιλαμβάνεται ο όγκος των παρελκομένων της γάστρας (πηδάλια, έλικες, άξονες, κ.λπ.), ούτε ο όγκος των ελασμάτων της.

- **Εκτόπισμα (Displacement, Δ)**

Είναι το βάρος του πλοίου στην εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης. Ο όρος προέρχεται από την αρχή του Αρχιμήδη, σύμφωνα με την οποία το βάρος των πλοίων στη θάλασσα ισούται με το βάρος του νερού που εκτοπίζουν, δηλαδή το βάρος νερού όγκου ίσου με τον όγκο εκτοπίσματος του πλοίου. Η παραπάνω πρόταση εκφράζεται μαθηματικά από τη σχέση:

$$\Delta = \gamma_{\theta\alpha\lambda} * \nabla$$

όπου $\gamma_{\theta\alpha\lambda}$ είναι το ειδικό βάρος της θάλασσας, η μέση τιμή του οποίου λαμβάνεται $\gamma_{\theta\alpha\lambda} = 1,025 \text{ tn/m}^3$.

- **Βάρος άφορτου πλοίου ή Άφορτο εκτόπισμα (Lightship Displacement, LS)**

Είναι το βάρος του πλήρως εξοπλισμένου και έτοιμου να ταξιδέψει πλοίου, χωρίς καθόλου φορτίο, πλήρωμα και αναλώσιμα (καύσιμα, λιπαντικά, εφόδια, κ.λπ.).

- **Νεκρό βάρος (Dead Weight, DWT)**

Είναι η διαφορά του εκτοπίσματος στην εκάστοτε κατάσταση πλεύσης από το βάρος του άφορτου πλοίου. Περιλαμβάνει το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου (payload), το βάρος του πληρώματος, των αναλωσίμων και των εφοδίων.

- **Εκτόπισμα σχεδίασης**

Είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος του πλοίου.

- **Όγκος κυτών**

Είναι ο συνολικός όγκος κυτών που προορίζονται για μεταφορά φορτίου. Ο όρος κύτος (hold) χρησιμοποιείται για να περιγράψει τους χώρους μεταφοράς φορτίου των πλοίων (αμπάρια, δεξαμενές, κ.λπ.). Διακρίνεται σε μικτό όγκο κυτών (gross volume), όγκο κυτών χύδην (grain volume), καθαρό όγκο κυτών (net volume), κ.λπ.

- **Έρμα**

Είναι το πρόσθετο βάρος, το οποίο συχνά μεταφέρει ένα πλοίο - πέραν ή αντί του φορτίου του - για να βελτιώσει την ευστάθειά του (π.χ. να αυξήσει το βύθισμά του, για να ελέγξει τη διαμήκη ή την εγκάρσια κλίση του, να μειώσει το κέντρο βάρους του, κ.ά.). Διακρίνεται σε

μόνιμο έρμα που τοποθετείται στο πλοίο και παραμένει πάντα σε αυτό (συνήθως μεταλλικές πλάκες από χυτοσίδηρο ή μολύβι) και σε μη μόνιμο έρμα (θαλασσινό νερό), το οποίο φορτώνεται και ξεφορτώνεται ανάλογα με τις ανάγκες φόρτωσης σε συγκεκριμένες δεξαμενές του πλοίου.

Λόγοι κύριων διαστάσεων

Οι λόγοι κύριων διαστάσεων εκφράζουν τις κύριες αναλογίες του πλοίου. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εξής λόγοι κύριων διαστάσεων:

$$\frac{L_{BP}}{B} : (3,0 - 9,5)$$

Αναφέρεται στη λεπτότητα του σκάφους. Επιδρά στην ταχύτητα του πλοίου, στην ευστάθεια και στην ευελιξία του πλοίου.

$$\frac{B}{d} : (2,0 - 4,5)$$

Αναφέρεται στην εγκάρσια διαμόρφωση της γάστρας. Επιδρά στην ευστάθεια του πλοίου και στην την πρόωση του πλοίου.

$$\frac{L_{BP}}{D} : (7,0 - 17)$$

Δίδει κατά προσέγγιση το μέτρο ακαμψίας του σκάφους. Επιδρά στην ικανότητα του σκάφους να ανθίσταται στην κάμψη.

$$\frac{B}{D} : (1,4 - 2,5)$$

Αναφέρεται στην εγκάρσια διαμόρφωση της γάστρας. Επιδρά στην ευστάθεια του πλοίου και στη διαμήκη αντοχή του σκάφους.

$$\frac{D}{d} : (1,1 - 2,2)$$

Αναφέρεται στην κατακόρυφη έκταση του σκάφους κάτω και πάνω από την ίσαλο. Επιδρά στην εφεδρική άνωση και στην ευστάθεια του πλοίου.

Συντελεστές μορφής

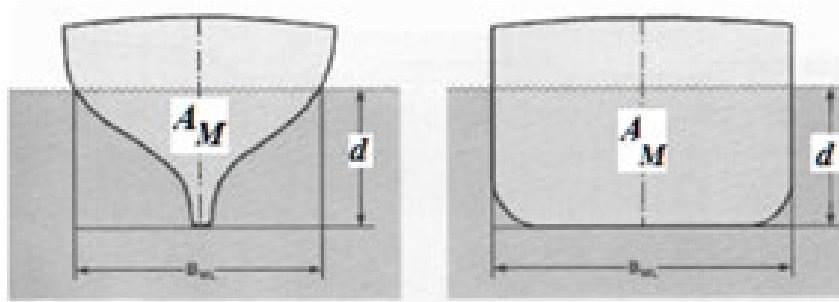
Είναι αδιάστατοι αριθμοί, οι οποίοι προκύπτουν από λόγους εμβαδών/όγκων της γάστρας σε σχέση με επιφάνειες / όγκους με γνωστά χαρακτηριστικά (παραλληλόγραμμα, παραλληλεπίπεδα, κ.λπ.) που ορίζονται με γνωστά στοιχεία της γάστρας (μήκος, πλάτος, βύθισμα) και περιγράφουν τα χαρακτηριστικά της γάστρας και το ογκώδες του πλοίου. Κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες, του συντελεστές επιφάνειας και τους συντελεστές όγκου.

Συντελεστές επιφάνειας

- Συντελεστής μέσης τομής (Midship section coefficient)

$$C_M = \frac{A_M}{B * d} = (0,65 - 0,99)$$

Είναι ο λόγος του εμβαδού του τμήματος μέσα στο νερό της μέσης τομής μέχρι μια δεδομένη ίσαλο προς το εμβαδόν του περιγεγραμμένου προς αυτήν ορθογωνίου παραλληλογράμμου πλάτους ίσου με το μέγιστο πλάτος της ισάλου και ύψους όσο με το βύθισμα που αντιστοιχεί στη δεδομένη ίσαλο (σχήμα 2.19). Επιδρά στην ευστάθεια, την ευκολία κατασκευής, την αντίσταση και την εκμετάλλευση χώρων.



Σχήμα 2.19: Συντελεστής μέσης τομής

- Συντελεστής ισάλου επιφάνειας (Waterplane coefficient)

$$C_{WL} = \frac{A_{WL}}{L * B}$$

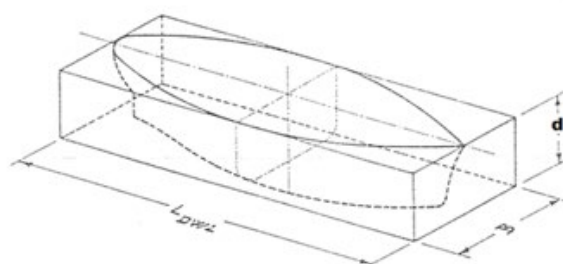
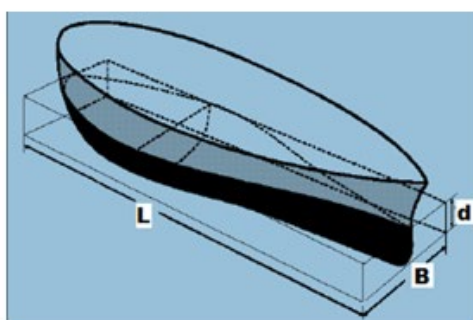
Είναι ο λόγος του εμβαδού της εμφόρτου ισάλου προς το εμβαδόν του περιγεγραμμένου ορθογωνίου παραλληλογράμμου, με μήκος ίσο προς το μήκος της ισάλου και με πλάτος ίσο προς το μέγιστο πλάτος της ισάλου. Ο συντελεστής αυτός επιδρά στην ευστάθεια, στην αντίσταση πρόωσης και στην συμπεριφορά σε κυματισμούς.

Συντελεστές όγκου

- Συντελεστής γάστρας - εκτοπίσματος- (Block coefficient)

$$C_B = \frac{V}{L_{WL} * B_{WL} * d}$$

Είναι ο λόγος του όγκου του εκτοπίσματος μέχρι μια δεδομένη ίσαλο προς τον όγκο ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου, το οποίο έχει διαστάσεις μήκος – πλάτος - ύψος αντίστοιχα ίσες προς το μήκος ισάλου - πλάτος ισάλου - μέσο βύθισμα ισάλου (mean draft = μέσος όρος βυθίσματος πλώρης και πρύμνης). Ο συντελεστής εκτοπίσματος είναι μικρότερος της μονάδας) και δείχνει την εκατοστιαία αναλογία του όγκου του παραλληλεπίπεδου που καταλαμβάνεται από τον όγκο της γάστρας (σχήμα 2.20). Για παράδειγμα, $C_B = 0,70$ σημαίνει ότι το 70% του παραλληλεπίπεδου που σχηματίζεται, είναι ο πραγματικός όγκος της γάστρας.



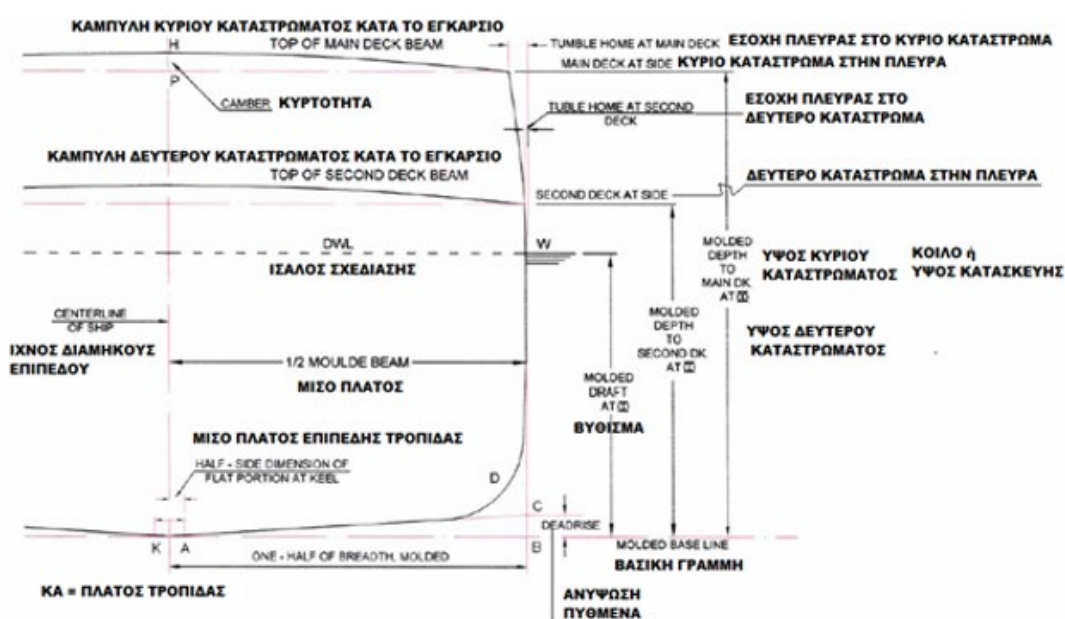
Σχήμα 2.20: Συντελεστής γάστρας (εκτοπίσματος)

- Πρισματικός συντελεστής (Prismatic coefficient)

$$C_P = \frac{V}{L_{WI} * A_M}$$

Είναι ο λόγος του όγκου του εκτοπίσματος ενός σκάφους μέχρι μια δεδομένη ίσαλο προς τον όγκο ενός πρίσματος που έχει μήκος ίσο με αυτό της ισάλου και βάση με εμβαδόν ίσο με αυτό της μέσης τομής του σκάφους μέχρι τη δεδομένη ίσαλο.

Με βάση τα παραπάνω είναι φανερό ότι η γάστρα αποτελεί το κύριο δομικό και λειτουργικό στοιχείο κάθε πλοίου, ασκώντας σημαντική επιρροή στην ευστάθειά του, στη διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης του φορτίου, καθώς και στη γενικότερη συμπεριφορά του πλοίου στη θάλασσα. Έρχεται πρώτη σε επαφή με το θαλάσσιο περιβάλλον και σχηματίζει το «περίβλημα» που ορίζει την ταυτότητα του πλοίου, ενώ το εσωτερικό κύτος επιτελεί τη λειτουργική εργασία. Το σχήμα, οι διαστάσεις και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γάστρας αποτελούν κρίσιμους παράγοντες όχι μόνο για τις ναυπηγικές επιδόσεις του πλοίου, αλλά και για τη λειτουργική του αποδοτικότητα, ιδίως στην περίπτωση των φορτηγών πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk carriers).



Σχήμα 2.21: Γενικό σχήμα ολοκληρωμένης ονοματολογίας εγκάρσιας τομής

2.3 Ναυπηγικοί κανονισμοί και οδηγίες

Η σχεδίαση και κατασκευή πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk carriers) διέπεται από ένα σύνολο διεθνώς αναγνωρισμένων κανονισμών και τεχνικών προδιαγραφών, οι οποίοι αποσκοπούν στη διατήρηση της ασφάλειας, της δομικής ακεραιότητας, της ασφάλειας του φορτίου και της προστασίας του ανθρώπινου δυναμικού και του περιβάλλοντος. Οι κανονισμοί αυτοί καθορίζουν τις απαιτήσεις για τη δομική ακεραιότητα, την ευστάθεια και την αντοχή της γάστρας, έχοντας λάβει υπόψη τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των bulk carriers, όπως τη μεταφορά βαρών φορτίων και την πλεύση σε εκάστοτε θαλάσσιες συνθήκες. Η συμμόρφωση με αυτούς τους κανονισμούς, είναι απαραίτητη για την απόκτηση πιστοποιητικών κλάσης και την ασφαλή λειτουργία του πλοίου.

2.3.1 Κύριοι διεθνείς οργανισμοί και κανονισμοί

- **International Maritime Organization (I.M.O.)**

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) είναι ο εξειδικευμένος οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών που καθορίζει τα παγκόσμια πρότυπα για την ασφάλεια, την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας και την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης. Σχετικά με τα bulk carriers, ο IMO έχει θεσπίσει συγκεκριμένους κανονισμούς, όπως το κεφάλαιο XII της Σύμβασης SOLAS (Safety of Life at Sea), που αφορά πρόσθετα μέτρα ασφαλείας για bulk carriers μήκους άνω των 150 μέτρων και τα Πρότυπα Κατασκευής Πλοίων Βασισμένα σε Στόχους (Goal-Based Ship Construction Standards - GBS), που εφαρμόζονται σε bulk carriers αλλά και σε δεξαμενόπλοια. Τα GBS απαιτούν από τα πλοία να πληρούν λειτουργικές απαιτήσεις που διασφαλίζουν τη δομική ακεραιότητα και την ασφάλεια καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. [1]

- **Κεφάλαιο XII του SOLAS**

Έπειτα από μια σειρά απωλειών πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου στις αρχές της δεκαετίας του 1990, ο IMO υιοθέτησε τον Νοέμβριο του 1997 νέους κανονισμούς στο SOLAS, εισάγοντας ειδικές απαιτήσεις ασφαλείας για τα συγκεκριμένα πλοία, υπό τη μορφή του Κεφαλαίου XII - Πρόσθετα Μέτρα Ασφαλείας για Πλοία Μεταφοράς Χύδην Φορτίου. Τον ίδιο μήνα, η 20^η Συνέλευση του IMO ενέκρινε τον "Κώδικα BLU" – Κώδικα Πρακτικής για την Ασφαλή Φόρτωση και Εκφόρτωση Πλοίων Χύδην Φορτίου (Απόφαση A.862(20)). Μετά τη δημοσίευση της έκθεσης το 1998 για το ναυάγιο του πλοίου Derbyshire, η Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (MSC) ξεκίνησε επανεξέταση της ασφαλείας των bulk carriers, κάνοντας χρήση της Μεθοδολογίας Επίσημης Αξιολόγησης Κινδύνου (Formal Safety Assessment - FSA) για την εξέταση ενδεχόμενων τροποποιήσεων της κανονιστικής βάσης. Το Δεκέμβριο του 2002, στην 76^η σύνοδό της, η MSC υιοθέτησε τροποποιήσεις στο Κεφάλαιο XII του SOLAS και στο Πρωτόκολλο Γραμμών Φόρτωσης του 1988, καθώς και μια σειρά συστάσεων για την περαιτέρω ενίσχυση της ασφαλείας των bulk carriers.

Το Δεκέμβριο του 2004, η MSC ενέκρινε νέο κείμενο για το Κεφάλαιο XII του SOLAS, ενσωματώνοντας αναθεωρήσεις σε υφιστάμενους κανονισμούς και νέες απαιτήσεις σχετικά με τη δίκλιτη πλευρική κατασκευή (double-side skin) στα πλοία χύδην φορτίου. Οι τροποποιήσεις τέθηκαν σε ισχύ την 1^η Ιουλίου του 2006. Πιο συγκεκριμένα, το Κεφάλαιο XII του SOLAS θεσπίστηκε από Διάσκεψη τον Νοέμβριο του 1997 και τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιουλίου 1999. Οι κανονισμοί προβλέπουν πλέον ότι όλα τα νέα πλοία χύδην φορτίου μήκους άνω των 150 μέτρων (κατασκευής μετά την 1^η Ιουλίου 1999) που μεταφέρουν φορτία πυκνότητας $1.000 \frac{kg}{m^3}$ και άνω, πρέπει να διαθέτουν επαρκή αντοχή ώστε να αντέχουν σε πλημμύρα οποιουδήποτε χώρου φορτίου, λαμβάνοντας υπόψη τις δυναμικές επιδράσεις από την παρουσία ύδατος στο αμπάρι, σύμφωνα με τις σχετικές συστάσεις του IMO. Για τα υφιστάμενα πλοία (κατασκευής πριν την 1^η Ιουλίου 1999) που μεταφέρουν φορτία πυκνότητας $1.780 \frac{kg}{m^3}$ και άνω, απαιτείται ενισχυμένη δομική αντοχή στο εγκάρσιο στεγανό διάφραγμα μεταξύ των δύο πρώτων αμπαριών και στο διπύθμενο του πρώτου αμπαριού, με αποτέλεσμα να αντέχουν σε πλημμύρα και στις αντίστοιχες δυναμικές επιδράσεις. Τα "βαρέα φορτία" ($>1.780 \frac{kg}{m^3}$) περιλαμβάνουν το σιδηρομετάλλευμα, χυτοσίδηρο, χάλυβα, βωξίτη και τσιμέντο, ενώ "ελαφρύτερα φορτία", αλλά με πυκνότητα $>1.000 \frac{kg}{m^3}$, περιλαμβάνουν δημητριακά όπως σιτάρι, ρύζι και ξυλεία.

Η ανάλυση της IACS έδειξε ότι η ευπαθέστερη περιοχή είναι το διάφραγμα μεταξύ των αμπαριών 1 και 2 και το διπύθμενο του πλοίου στην περιοχή αυτή. Σε ειδικές επιθεωρήσεις πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε αυτά τα σημεία και να πραγματοποιούνται οι απαραίτητες ενισχύσεις. Τα κριτήρια και οι μαθηματικοί τύποι για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης ενός πλοίου με τις νέες απαιτήσεις έχουν θεσπιστεί από τον IMO. Σε περιπτώσεις όπου επιβάλλονται περιορισμοί στα μεταφερόμενα φορτία, το πλοίο πρέπει να φέρει μόνιμη σήμανση με συμπαγές τρίγωνο στην εξωτερική πλευρά του κύτους. Στα επόμενα χρόνια και συγκεκριμένα το 2002 και μετέπειτα το 2004 τέθηκαν σε ισχύ νέοι κανονισμοί οι οποίοι περιγράφονται συνοπτικά στο παρακάτω χρονικό διάγραμμα (βλ. πίνακα 2.1).

Έτος	Κανονισμός/μέτρο	Περιγραφή	Ισχύς
1997	Υιοθέτηση Κεφαλαίου XII	Αντοχή σε πλημμύρα ενός αμπαριού	1 ^η Ιουλίου 1999
1997	BLU Code A.862(20)	Ασφαλή φορτοεκφόρτωση bulk carriers	Νοέμβριος 1997
2002	Κανονισμός XII/1 2	Συναγερμοί υψηλής στάθμης και παρακολούθησης νερού στα αμπάρια	1 ^η Ιουλίου 2004
2002	Κανονισμός XII/1 3	Μέσα άντλησης νερού εμπρός από το διάφραγμα πρόσκρουσης	1 ^η Ιουλίου 2004
2002	Πρόσβαση σε χώρους φορτίου (II – 1/3 – 6)	Εύκολη επιθεώρηση αμπαριών και εσωτερικών χώρων	1 ^η Ιουλίου 2004
2004	Νέα έκδοση κεφαλαίου XII	Περιορισμός απόπλου με κενά αμπάρια	1 ^η Ιουλίου 2006
2004	Διπλά πλευρικά τοιχώματα (Double-side skin)	Επιλογή για νέα πλοία >150m ως ασφαλέστερη εναλλακτική	1 ^η Ιουλίου 2006
2004	Επιθεώρηση καλυμμάτων & πλευρικών δομών	Υποχρεωτικά πρότυπα συντήρησης και αντοχής	1 ^η Ιουλίου 2006

Πίνακας 2.1: Χρονικό διάγραμμα Κεφαλαίου XII του SOLAS

- **Πρότυπα Βασισμένα σε Στόχους (Goal-Based Standards - GBS)**

Τα Πρότυπα Βασισμένα σε Στόχους (GBS) είναι πρότυπα υψηλού επιπέδου και διαδικασίες που πρέπει να πληρούνται μέσω κανονισμών, κανόνων και προτύπων για τα πλοία. Αποτελούνται από τουλάχιστον έναν στόχο, λειτουργικές απαιτήσεις που συνδέονται με αυτόν τον στόχο και διαδικασίες επαλήθευσης ότι οι σχετικοί κανόνες ή κανονισμοί συμμορφώνονται με τις αυτές τις απαιτήσεις και τους στόχους.

Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι και οι λειτουργικές απαιτήσεις, οι νηογνώμονες που λειτουργούν ως αναγνωρισμένοι οργανισμοί (ROs) και οι εθνικές διοικήσεις αναπτύσσουν τους αντίστοιχους κανόνες και κανονισμούς. Οι λεπτομερείς αυτοί κανόνες εντάσσονται

στο πλαίσιο των GBS, όταν επαληθευτούν από ανεξάρτητους ελεγκτές ή ακόμα και από κατάλληλα όργανα του IMO ότι συμμορφώνονται με τα πρότυπα GBS.

Από τη δεκαετία του 1990, η Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (Maritime Safety Committee - MSC) του IMO αναγνώρισε ότι οι περιγραφικοί κανονισμοί (prescriptive regulations) δεν μπορούσαν να ανταποκριθούν στις νέες προκλήσεις σχεδίασης πλοίων. Έτσι, ξεκίνησε η μετάβαση προς μια φιλοσοφία βασισμένη σε στόχους, ενσωματώνοντας αυτό το πλαίσιο στον Κανονισμό για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS). Με την πρόοδο της τεχνολογίας και της υπολογιστικής ισχύος, έγινε εφικτή μια πιο αποδοτική προσέγγιση για την ασφάλεια πλοίων, λαμβάνοντας υπόψη τη σύνθετη φύση της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Τα GBS πρέπει να είναι:

1. Ευρείς και γενικοί κανόνες που να εξασφαλίζουν την ασφάλεια, προστασία του περιβάλλοντος και ασφάλεια καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου.
2. Σαφείς ως προς το επίπεδο που πρέπει να επιτυγχάνεται από τους κανόνες των νηογνώμωνων και άλλων οργανισμών.
3. Επαληθεύσιμοι, εφαρμόσιμοι, διαχρονικοί, επιτεύξιμοι και ανεξάρτητοι από το σχέδιο ή την τεχνολογία του πλοίου.
4. Αρκετά συγκεκριμένοι ώστε να αποφεύγονται παρερμηνείες.

Αυτές οι αρχές εφαρμόζονται σε όλα τα πρότυπα GBS του IMO, και όχι μόνο στην κατασκευή πλοίων. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται και σε τομείς όπως ο εξοπλισμός, η πυροπροστασία και η περιβαλλοντική ασφάλεια (π.χ. Polar Code, IGF Code, κ.ά.).

Πιο συγκεκριμένα, τον Μάιο του 2010, κατά την 87^η σύνοδό της, η MSC υιοθέτησε τον νέο Κανονισμό SOLAS II-1/3-10 που αφορά τα GBS για bulk carriers (απόφαση MSC.290(87)). Ο κανονισμός τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιανουαρίου 2012 και ορίζει ότι όλα τα πλοία αυτού του τύπου, μήκους 150 μέτρων και άνω, με σύμβαση ναυπήγησης μετά την 1^η Ιουλίου 2016, πρέπει να πληρούν τις κατασκευαστικές απαιτήσεις που συνάδουν με τα GBS Standards (απόφαση MSC.287(87)).

Σύμφωνα με τα GBS, οι κανόνες κατασκευής που εφαρμόζουν οι νηογνώμονες ή εθνικές διοικήσεις επαληθεύονται από Διεθνείς Ομάδες Ελέγχου GBS που ορίζονται από τον Γενικό Γραμματέα του IMO. [2]

- **IMSBC Code – International Maritime Solid Bulk Cargoes Code**

Ο IMSBC Code αποτελεί επίσημο κανονισμό του IMO για τη μεταφορά στερεών χύδην φορτίων, όπως σιδηρομετάλλευμα, άνθρακας, βωξίτης και σιτηρά. Αν και δεν αφορά άμεσα τη σχεδίαση της γάστρας, καθορίζει τις τεχνικές και τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη φόρτωση και μεταφορά φορτίων, προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα όπως η υγροποίηση ή η αυτανάφλεξη. Για τα bulk carriers υψηλού μήκους, ο κανονισμός αυτός επιδρά καθοριστικά για τη χωροθέτηση των φορτίων, τον εξαερισμό και την εγκατάσταση συστημάτων παρακολούθησης. Η συμμόρφωση με τον IMSBC διασφαλίζει όχι μόνο την ασφαλή λειτουργία του πλοίου, αλλά και την αποφυγή εμπορικών και νομικών προβλημάτων στους διεθνείς λιμένες, καθώς είναι υποχρεωτικός για όλα τα bulk carriers, ανεξαρτήτως χωρητικότητας ή σημαίας. [3]

- **Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL)**

Η Διεθνής Σύμβαση MARPOL είναι η κύρια διεθνής σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από πλοία, είτε από λειτουργικές δραστηριότητες είτε από ατυχήματα.

Υιοθετήθηκε στις 2 Νοεμβρίου 1973 από τον IMO. Το Πρωτόκολλο του 1978 υιοθετήθηκε μετά από μια σειρά ατυχημάτων δεξαμενόπλοιων (1976-77). Καθώς η αρχική σύμβαση MARPOL του 1973 δεν είχε ακόμη τεθεί σε ισχύ, το Πρωτόκολλο του 1978 ενσωμάτωσε τη Σύμβαση. Ο συνδυασμός των δύο τέθηκε σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983.

Το 1997, υιοθετήθηκε νέο Πρωτόκολλο που προσέθεσε το Παράρτημα VI, το οποίο τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005. Η Σύμβαση έχει τροποποιηθεί επανειλημμένα με την πάροδο των ετών.

Η MARPOL περιλαμβάνει κανονισμούς για την πρόληψη και ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από πλοία - τόσο ακούσιας όσο και λειτουργικής. Περιλαμβάνει πέντε τεχνικά παραρτήματα, με ειδικές περιοχές όπου ισχύουν αυστηρότερα όρια εκπομπών.

- **Παράρτημα 1^ο : Πρόληψη Ρύπανσης από Πετρέλαιο**

Η έναρξή του θεσπίστηκε στις 2 Οκτωβρίου 1983 και αφορά μέτρα πρόληψης ρύπανσης από πετρέλαιο τόσο από καθημερινές λειτουργίες όσο και από ατυχήματα.

- **Παράρτημα 2^ο : Ρύπανση από Επιβλαβείς Ουσίες σε Συσκευασμένη Μορφή**

Η έναρξή του θεσπίστηκε την 1^η Ιουλίου 1992. Ορίζει γενικές απαιτήσεις για τη συσκευασία, σήμανση, τεκμηρίωση και αποθήκευση επιβλαβών ουσιών. Ως “επιβλαβείς ουσίες” ορίζονται όσες αναγνωρίζονται ως θαλάσσιοι ρύποι στον κώδικα IMDG (International Maritime Dangerous Goods Code).

- **Παράρτημα 3^ο : Ρύπανση από Λύματα Πλοίων**

Η έναρξή του θεσπίστηκε στις 27 Σεπτεμβρίου 2003. Απαγορεύει την απόρριψη λυμάτων στη θάλασσα εκτός αν το πλοίο διαθέτει εγκεκριμένο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων, αλλιώς αν η απόρριψη γίνεται πέραν των 3 ναυτικών μιλίων, εφόσον τα λύματα είναι θρυμματισμένα και απολυμασμένα, ή πέραν των 12 ναυτικών μιλίων αν δεν είναι επεξεργασμένα.

- **Παράρτημα 4^ο : Ρύπανση από Απορρίμματα Πλοίων**

Η έναρξή του θεσπίστηκε στις 31 Δεκεμβρίου 1988. Ρυθμίζει τύπους απορριμμάτων, αποστάσεις από την ακτή και τρόπους απόρριψης. Η πιο σημαντική ρύθμιση είναι η πλήρης απαγόρευση απόρριψης πλαστικών στη θάλασσα.

- **Παράρτημα 5^ο : Ατμοσφαιρική Ρύπανση από Πλοία**

Η έναρξή του θεσπίστηκε στις 19 Μαΐου 2005. Θέτει όρια στις εκπομπές οξειδίων του θείου (*SOx*) και οξειδίων του αζώτου (*NOx*) από καυσάεργα πλοίων καθώς επίσης απαγορεύει εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον. Σε καθορισμένες περιοχές (Ζώνες Ελέγχου Εκπομπών - ECAs), ισχύουν αυστηρότερα όρια για *SOx*, *NOx* και σωματίδια. Το 2011 προστέθηκε κεφάλαιο με τεχνικά και λειτουργικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης, με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. [4]

International Association of Classification Societies (IACS)

Η Διεθνής Ένωση Νηογνώμωνων (IACS) είναι ένας οργανισμός που αποτελείται από τους κορυφαίους νηογνώμονες παγκοσμίως και καθορίζει ενοποιημένες απαιτήσεις (Unified Requirements - URs) για τη σχεδίαση και κατασκευή πλοίων. Οι Κοινές Δομικές Απαιτήσεις (Common Structural Rules – CSR) που υιοθετήθηκαν από την IACS έχουν αποτελέσει καθοριστικής σημασίας εξέλιξη για τη ναυπηγική των bulk carriers, καθώς

εισήγαγαν ένα ενιαίο πλαίσιο τεχνικών προδιαγραφών με στόχο την ενίσχυση της δομικής ακεραιότητας και της επιχειρησιακής ασφάλειας των πλοίων. Αρχικά αναπτύχθηκαν ξεχωριστά για τα bulk carriers και τα δεξαμενόπλοια, ωστόσο η ανάγκη για εναρμόνιση οδήγησε στη δημιουργία ενός ενιαίου συνόλου κανόνων (CSR BC & OT), προκειμένου να διασφαλιστεί η συνοχή και η αποτελεσματικότητα των προτύπων. Οι κανόνες αυτοί ακολουθούν τα Πρότυπα Βασισμένα σε Στόχους (GBS) του IMO και έχουν αποδείξει τη θετική τους συμβολή στη μείωση ναυτικών ατυχημάτων. Ειδικά για τα bulk carriers, οι CSR θέτουν αυστηρές απαιτήσεις για τη δομή της γάστρας, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες της μεταφοράς βαριών και ογκωδών φορτίων, καθώς και την επιχειρησιακή τους δραστηριότητα σε ποικίλες θαλάσσιες συνθήκες. Η διαρκής επικαιροποίηση των κανόνων εξασφαλίζει την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και μεθοδολογιών, ενισχύοντας την ασφάλεια και την αποδοτικότητα στη ναυπήγηση και λειτουργία των bulk carriers. [5]

3. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

3.1 Βασικές διαστάσεις bulk carrier

Τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk carriers) κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τη μεταφορική τους ικανότητα (DWT) και τις κύριες διαστάσεις τους καθώς αυτά τα δεδομένα αποτελούν τον κύριο γνώμονα για τη διαδικασία της ναυπηγικής σχεδίασης. Οι βασικές γεωμετρικές παράμετροι, όπως είναι το συνολικό μήκος του πλοίου (LOA), το μήκος μεταξύ καθέτων (LBP), το πλάτος (Beam) και το βύθισμα (Draft), επηρεάζουν την ικανότητα φόρτωσης, την κατανομή των φορτίων, αλλά και τη δυνατότητα το πλοίο να πλέει για συγκεκριμένα δρομολόγια, λιμάνια και διώρυγες. Ειδικότερα, τα bulk carriers σχεδιάζονται με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές που εξισορροπούν τη μέγιστη εκμετάλλευση χώρου με την ασφαλή πλεύση, την ευστάθεια και τη συμμόρφωση με διεθνείς ναυτιλιακούς κανονισμούς. Παρακάτω, στον πίνακα 3.1, παρουσιάζεται ο πίνακας με τα κύρια χαρακτηριστικά των βασικών τύπων bulk carriers, τα οποία χρησιμοποιούνται ως πρότυπα αναφοράς για την επιλογή ή σχεδίαση ενός νέου πλοίου.

Τύπος Πλοίου	DWT (tones)	L_{OA} (m)	L_{BP} (m)	Beam (m)	Draft (m)
Handysize	10,000-39,000	150-180	140-170	23-28	9.0-10.0
Handymax	40,000-59,000	180-200	170-190	28-30	10.0-11.0
Supramax	50,000-65,000	190-200	180-190	30-32	11.0-12.0
Panamax	60,000-80,000	200-230	215	30-35	12.5-15.0
Kamsarmax	80,000-100,000	229	220	32-36	14.5
Post-Panamax	90,000-110,000	240-255	230-245	35-38	14.0-15.0
Capesize	100,000-200,000	240-290	230-280	40-50	17.0-20.0
Very Large Ore Carrier (VLOC)	200,000-320,000	280-350	270-340	50-60	21.0-23.0

Πίνακας 3.1: Κατηγορίες Bulk Carrier

- **Handysize**

Χρήση: Ιδανικά για μικρά λιμάνια, μεταφορές σε ποτάμια ή δρομολόγια κοντινών αποστάσεων. Μεταφέρουν ξηρά φορτία όπως τσιμέντο, ξυλεία, λιπάσματα, μικρές ποσότητες σιτηρών.

Δρομολόγια: Εσωτερικές θαλάσσιες διαδρομές (Ασία - Ειρηνικός, Καραϊβική, Μεσόγειος). Χρήσιμα για χώρες με περιορισμένες λιμενικές δυνατότητες.

Δραστηριότητα σήμερα: Περιορισμένη σε σχέση με μεγαλύτερους τύπους, αλλά παραμένουν σημαντικά σε τοπικές αγορές και νησιωτικές οικονομίες.

- **Handymax/Supramax**

Χρήση: Πολύ ευέλικτα πλοία που μπορούν να μεταφέρουν ποικιλία φορτίων (σιτηρά, κάρβουνο, τσιμέντο, scrap, ξυλεία). Συχνά, είναι εφοδιασμένα με δικούς τους γερανούς (self-geared), οπότε εξυπηρετούν και λιμάνια χωρίς ανυψωτικό εξοπλισμό.

Δρομολόγια: Παγκόσμια, αλλά με έμφαση σε αναδυόμενες αγορές και μικρότερα λιμάνια Ασίας, Αφρικής, Ν. Αμερικής.

Δραστηριότητα σήμερα: Πολύ ενεργά - αποτελούν περίπου το 35-40% του παγκόσμιου στόλου bulk carriers. Δημοφιλή λόγω ευελιξίας και κόστους.

- **Panamax**

Χρήση: Είναι σχεδιασμένα ώστε να περνούν από την Παλαιά Διώρυγα του Παναμά (προ του 2016). Μεταφέρουν κάρβουνο, σιτηρά, βωξίτη.

Δρομολόγια: Οι διαδρομές που ακολουθούν είναι συχνά Αμερική - Ασία (ειδικότερα σόγια και καλαμπόκι προς Κίνα), Βόρεια Ευρώπη - Καραϊβική.

Δραστηριότητα σήμερα: Η χρήση τους στη σημερινή εποχή είναι αρκετά σημαντική, αν και υποκαθίστανται σταδιακά από τα μεγαλύτερα Kamsarmax.

- **Kamsarmax**

Χρήση: Το όνομά τους προήλθε από το λιμάνι Kamsar στη Γουινέα. Είναι κατασκευασμένα με συγκεκριμένες διαστάσεις ώστε να μην ξεπερνούν τα μέγιστα όρια που μπορεί να εξυπηρετήσει το συγκεκριμένο λιμάνι. Αυτό συμβαίνει, διότι το λιμάνι Kamsar είναι ένα από τα βασικά εξαγωγικά λιμάνια βωξίτη στον κόσμο, αλλά έχει περιορισμούς για το μήκος των πλοίων, περίπου στα 229m. Για αυτόν τον λόγο, τα πλοία τύπου Kamsarmax χρησιμοποιούνται ευρέως για μεταφορές βωξίτη και σιτηρών.

Δρομολόγια: Διεθνή routes Αμερική - Κίνα, Αυστραλία - Ιαπωνία, Γουινέα - Ευρώπη.

Δραστηριότητα σήμερα: Τα πλοία αυτά, βρίσκονται σε διαρκή άνοδο, πολύ δημοφιλή στη σύγχρονη ναυλαγορά, καθώς αποτελούν βασική επιλογή σε εμπορικά δρομολόγια μεγάλου όγκου.

- **Post-Panamax Bulk Carriers**

Χρήση: Τα Post-Panamax πλοία είναι bulk carriers που ξεπερνούν τις διαστάσεις της παλαιάς Διώρυγας του Παναμά (πριν από την αναβάθμισή της το 2016), αλλά μπορούν να διέλθουν από τη νέα Διώρυγα (Neo-Panamax). Έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα φορτίου και συνήθως μεταφέρουν σιτηρά, κάρβουνο, βωξίτη και λίπασμα.

Δρομολόγια: Πραγματοποιούν διηπειρωτικές μεταφορές με έμφαση σε διαδρομές ΗΠΑ - Ασία, Βραζιλία - Ευρώπη, Βραζιλία - Κίνα, και Αυστραλία - Ανατολική Ασία. Είναι κατάλληλα για μεγάλα εμπορικά λιμάνια με αναβαθμισμένες λιμενικές υποδομές.

Δραστηριότητα σήμερα: Διαρκής αύξηση συνεχώς λόγω του αυξανόμενου όγκου φορτίων και της αναβάθμισης των υποδομών, ενώ χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε σιτηρά και βιομηχανικά υλικά.

- **Capesize Bulk Carriers**

Χρήση: Πολύ μεγάλα bulk carriers τα οποία όμως δεν μπορούν να περάσουν από τη Διώρυγα του Παναμά ή Σουέζ. Πρέπει να πλέουν γύρω από το Ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας (Cape of Good Hope), για αυτό και ονομάζονται Capesize.

Δρομολόγια: Οι μεταφορές που εκτελούν είναι κυρίως από Αυστραλία – Κίνα και από Βραζιλία προς Κίνα, μεταφέροντας τεράστιες ποσότητες σιδηρομεταλλεύματος (iron ore) και άνθρακα (από τα λιμάνια Ponta da Madeira & Tubarão προς τα λιμάνια Qingdao, Tianjin).

Δραστηριότητα σήμερα: Τα Capesize παραμένουν βασικός πυλώνας στη βιομηχανία μεταφοράς πρώτων υλών, ειδικά από τις αναδυόμενες οικονομίες προς τις ασιατικές αγορές, καθώς αποτελούν το «βαρύ πυροβολικό» της dry bulk αγοράς. Αποτελούν περίπου το 20% του παγκόσμιου στόλου bulk carriers σε DWT.

- **Very Large Ore Carriers (VLOCs)**

Χρήση: Τα VLOCs είναι υπερμεγέθη bulk carriers, σχεδιασμένα αποκλειστικά για τη μεταφορά σιδηρομεταλλεύματος (iron ore) σε τεράστιες ποσότητες. Χρησιμοποιούνται κυρίως από ισχυρές χώρες στον κλάδο όπως η Vale (Βραζιλία).

Δρομολόγια: Πλοία αυτού του τύπου εκτελούν μακροχρόνια συμβόλαια σε συγκεκριμένα δρομολόγια, κυρίως:

- ✓ Βραζιλία (λιμάνι Ponta da Madeira) → Κίνα (π.χ. Qingdao, Tianjin)
- ✓ Αυστραλία (Port Hedland) → Κίνα/Ιαπωνία

Τα VLOCs δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από όλα τα λιμάνια, λόγω των υπερβολικών διαστάσεών τους και προσεγγίζουν μόνο μεγάλα εξειδικευμένα terminals.

Δραστηριότητα σήμερα: Παρότι ο στόλος τους είναι μικρότερος αριθμητικά, καλύπτουν τεράστιες ποσότητες φορτίου σε συγκεκριμένα δρομολόγια υψηλής αξίας. Αποτελούν στρατηγικά πλοία για την αλυσίδα εφοδιασμού της βιομηχανίας χάλυβα.

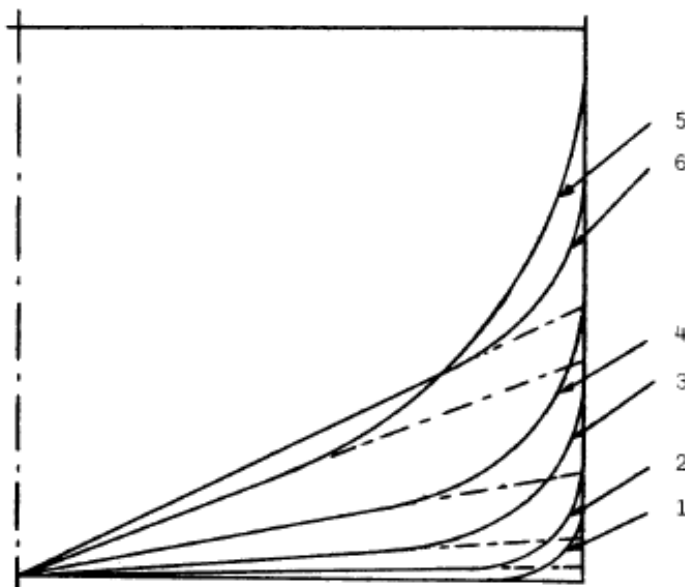
3.2 Επιλογή μορφολογίας γάστρας

Η γάστρα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την απόδοση και την αποδοτικότητα ενός πλοίου. Η μορφή της γάστρας, δηλαδή το σχήμα και η διάταξη των εξωτερικών επιφανειών του κύτους - που αποτελεί το σώμα του πλοίου - συνδέεται άμεσα με τις βασικές παραμέτρους της ναυπηγικής, όπως την υδροδυναμική αντίσταση, την ευστάθεια, την πλεύση, την ικανότητα διατήρησης πορείας και την κατανάλωση καυσίμου κατά τη συνήθη ναυσιπλοΐα. Πιο συγκεκριμένα, στα bulk carriers, τα οποία είναι σχεδιασμένα για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων χύδην φορτίου με βαρύ εκτόπισμα και περιορισμένες απαιτήσεις ταχύτητας, η μορφή της γάστρας έχει σημαντικό ρόλο για την επίτευξη της μέγιστης μεταφορικής ικανότητας και ταυτόχρονα της ελαχιστοποίησης των ενεργειακών απαιτήσεων. Επιπλέον, η επιλογή του συντελεστή πλήρωσης – γάστρας (block coefficient), η διαμόρφωση του πρυμναίου και πρωραίου τμήματος, καθώς και η σχέση μεταξύ μήκους, πλάτους και βυθίσματος επηρεάζουν σημαντικά τη θαλάσσια συμπεριφορά του πλοίου. Ακόμα, ισχύει ότι με τα χρόνια οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις γίνονται ολοένα και πιο αυστηρές, με αποτέλεσμα η βελτιστοποίηση της μορφής της γάστρας να αποκτά στρατηγική σημασία για τον σχεδιασμό σύγχρονων, ενεργειακά αποδοτικών bulk carriers που ανταποκρίνονται στις ανάγκες της διεθνούς ναυλαγοράς.

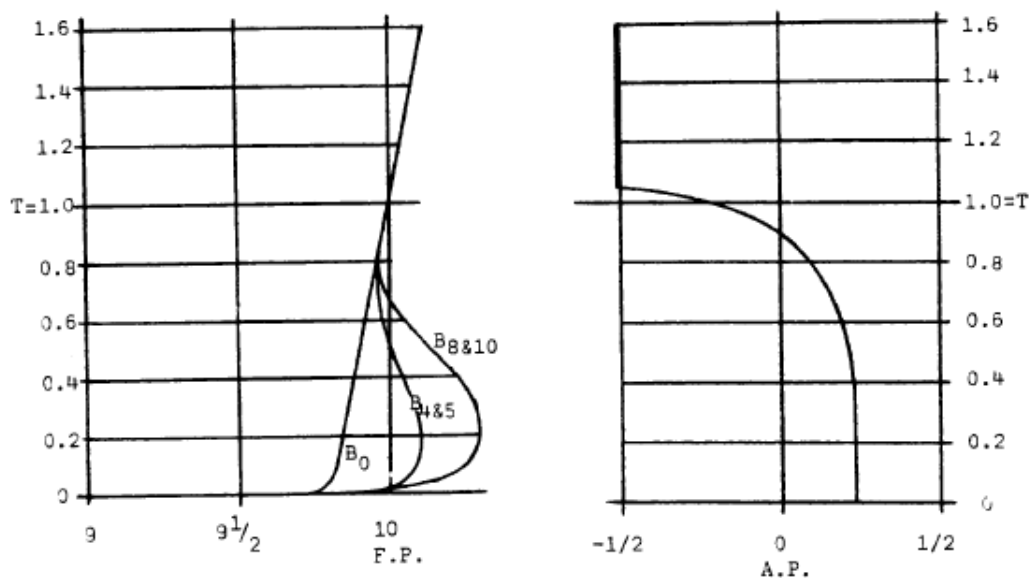
Σε αυτό το υποκεφάλαιο, η διαμόρφωση της γάστρας του πλοίου γίνεται μέσα από συστηματικά δεδομένα μορφοποίησης (formdata), τα οποία περιέχουν τα διαγράμματα των ναυπηγικών γραμμών της πλώρης, της πρύμνης και των νομέων που θα

χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίασή της. Ειδικότερα, η συστηματική σειρά formdata που χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση της γάστρας, αναπτύχθηκε από το Πολυτεχνείο της Κοπεγχάγης στη Δανία και παρέχει συγκεκριμένα στοιχεία για τη χάραξη των ναυπηγικών γραμμών πλοίου. Η formdata είναι ευρέως γνωστή και διαδεδομένη και χρησιμοποιείται σε αρκετά πανεπιστήμια, συμπεριλαμβανομένων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου της Αθήνας στη σχολή των Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών και στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής στην αντίστοιχη σχολή των Ναυπηγών Μηχανικών. Η συγκεκριμένη σειρά χρησιμοποιεί τα στοιχεία υπαρχόντων πλοίων με χρήση στατιστικής ανάλυσης και μέσω αυτών εξυπηρετεί τη σχεδίαση νέων σύγχρονων πλοίων. Η συστηματική σειρά formdata, καλύπτει συνηθισμένες μορφές πλοίων με μέση τομή, η οποία έχει κατακόρυφες πλευρές. Η σειρά περιλαμβάνει τρεις βασικές μορφές γραμμών πλοίου U, N, V που σχηματίζονται με τον συνδυασμό δύο σειρών A και F πρυμναίου και πρωραίου τμήματος αντίστοιχα. Η μορφή U συμβολίζει πλοίο με “πλήρεις” γραμμές (full), η μορφή N συμβολίζει πλοίο με “κανονικές” γραμμές (normal) και η μορφή V συμβολίζει πλοίο με “λεπτές” γραμμές (fine). Οι μορφές των γραμμών μεταβάλλονται συστηματικά με τον συντελεστή μέσης τομής C_M (σχήμα 3.1) και με τον συντελεστή γάστρας του πρυμναίου και πρωραίου τμήματος του πλοίου C_{BA} και C_{BF} αντίστοιχα. Οι γραμμές της formdata πλησιάζουν αυτές των υπαρχόντων πλοίων, αλλά δεν είναι «πραγματικές».

Τα διαγράμματα της συστηματικής σειράς παρουσιάζουν την παραμετρική οικογένεια νομέων για το πρωραίο και πρυμναίο ήμισυ του πλοίου χωριστά. Σε κάθε πλοίο αντιστοιχούν 11 θεωρητικοί νομείς. Ο νομέας 0 αντιστοιχεί στην πρυμναία κάθετο και ο νομέας 10 στην πρωραία κάθετο. Η κάθε οικογένεια νομέων χαρακτηρίζεται από ένα αλφαριθμητικό σύμβολο (π.χ. B_51F, C_A1A κ.λπ.), όπου ο πρώτος χαρακτήρας είναι ένα γράμμα το οποίο συμβολίζει τη μορφή των γραμμών του υπό μελέτη τμήματος, ο δεύτερος χαρακτήρας είναι ένας ακέραιος ο οποίος συμβολίζει τον συντελεστή μέσης τομής και ο τρίτος χαρακτήρας είναι το γράμμα ‘A’ ή ‘F’, που συμβολίζει το πρυμναίο ή πρωραίο τμήμα του πλοίου αντίστοιχα. Επομένως, ένα πλοίο προς σχεδίαση με μορφή ‘B’ συμβολίζει πλοίο με βολβοειδής πλώρη (bulbous bow) και με μορφή ‘C’ συμβολίζει πλοίο με πρύμνη άβακος (transom stern) (σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.1: Αντιστοιχία κωδικού αριθμού προς συντελεστή μέσης τομής C_M . 1: $C_M = 0.995$, 2: $C_M = 0.98$, 3: $C_M = 0.94$, 4: $C_M = 0.88$, 5: $C_M = 0.74$

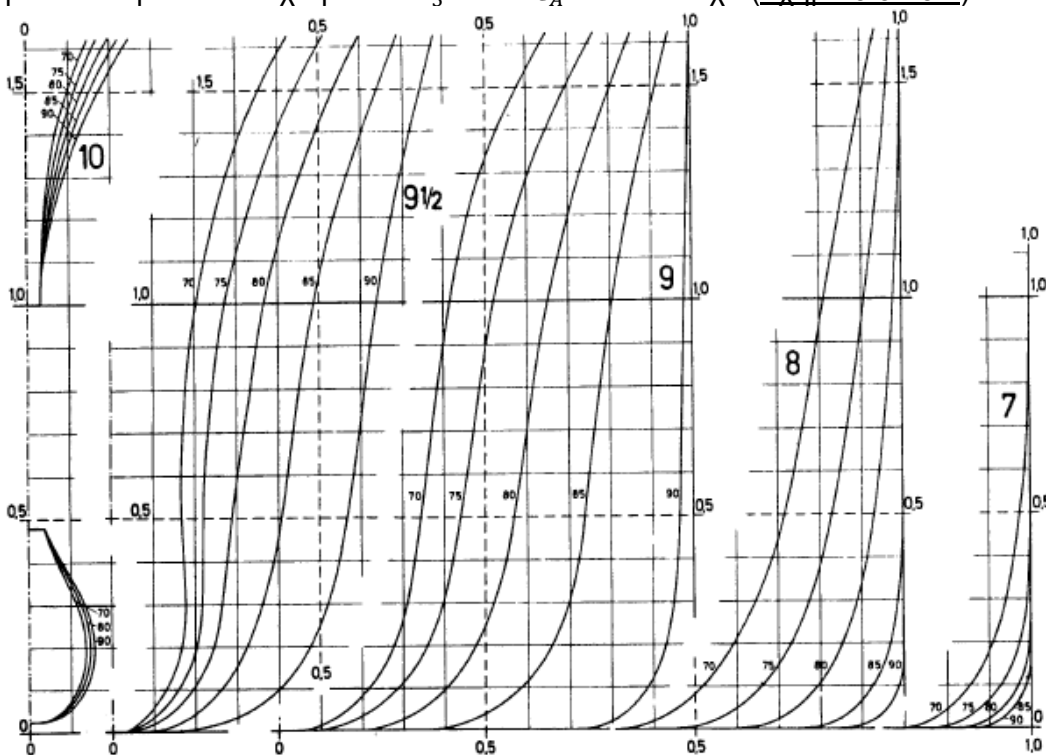


Σχήμα 3.2: Περίγραμμα πλώρας μορφών B (βολβοειδής πλώρα) – αριστερά - και πρύμνης μορφών C (πρύμνη άβακος) – δεξιά -

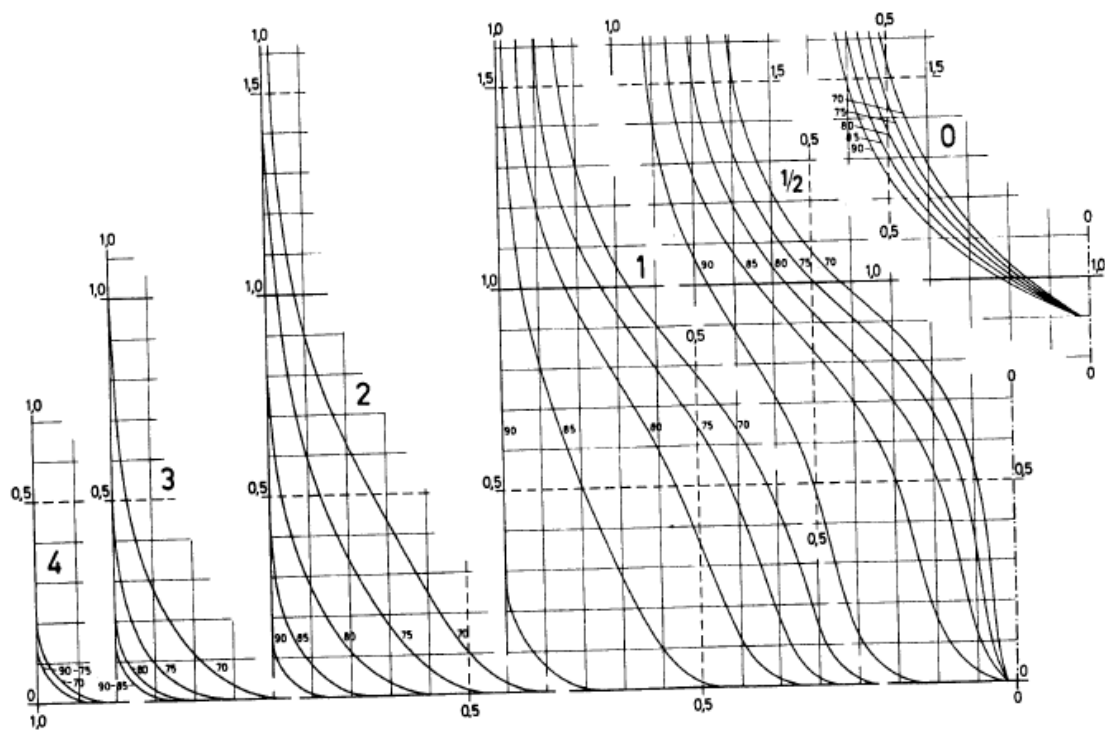
Στις μορφές πλώρας, ο δείκτης 0, 4, 5, 8 και 10 δίνει τον λόγο επί τις εκατό της επιφάνειας του βολβού στην πρωραία κάθετο προς την επιφάνεια της μέσης τομής του πλοίου.

3.2.1 Μορφολογία γάστρας σχεδίου

Για τη σχεδίαση της γάστρας, ως περίγραμμα πλήρης επιλέχθηκε η βολβοειδής πλώρα B_5 , που σημαίνει ότι η επιφάνεια του βολβού στο F.P. (πρωραία κάθετος) είναι 5% A_M (εμβαδόν του τμήματος μέσα στο νερό της μέσης τομής μέχρι μια δεδομένη ίσαλο) και ως περίγραμμα πρύμνης επιλέχθηκε η πρύμνη άβακος. Για την οικογένεια των πρωραίων και πρυμναίων νομέων επιλέχθηκαν οι $B_5 1F$ και $C_4 1A$ αντίστοιχα (σχήμα 3.3 - 3.4).



Σχήμα 3.3: Νομείς πλώρας μορφής B (βολβοειδής πλώρα)



Σχήμα 3.4: Νομείς πρύμνης μορφής C (πρύμνη άβακος)

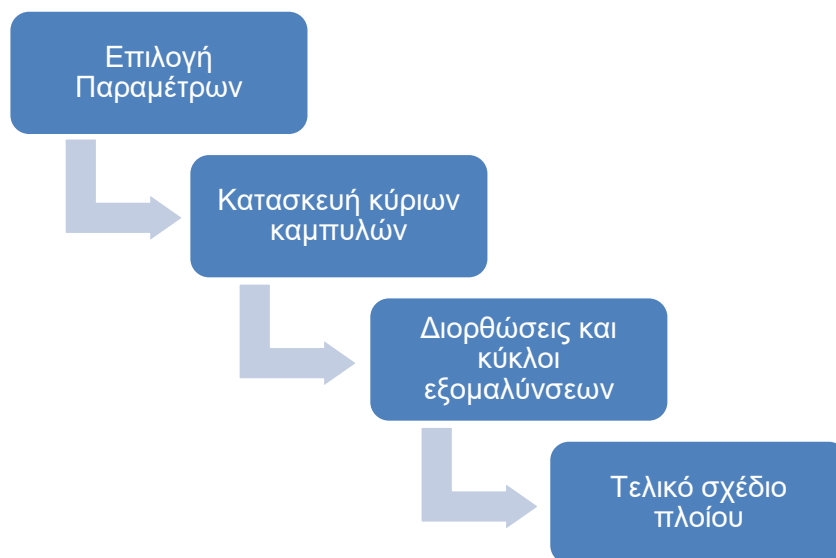
Όπως φαίνεται στα δύο παραπάνω σχήματα στους πρωραίους και πρυμναίους νομείς, για κάθε νομέα ξεχωριστά, υπάρχουν πέντε διαφορετικές μορφές, ανάλογα με το C_{BA} και το C_{BF} αντίστοιχα, με $C_{BA} = 0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90$ και $C_{BF} = 0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90$. Στο παρών σχέδιο, επιλέχθηκε $C_{BA} = C_{BF} = 0.70$ και $C_M = 0.995$.

4. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ BULK CARRIER

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσεται η διαδικασία της δημιουργίας του μοντέλου της γάστρας του πλοίου μεταφοράς χύδην φορτίου, από την επιλογή μορφολογίας της γάστρας μέχρι το τελικό σχέδιο στο πρόγραμμα σχεδίασης. Πρώτα, θα καθοριστούν τα κύρια χαρακτηριστικά της μορφής του πλοίου και έπειτα θα γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις της μορφολογίας της γάστρας σε ένα αρχείο Excel, το οποίο εξυπηρετεί ώστε να περαστούν τα δεδομένα άμεσα στο πρόγραμμα σχεδίασης. Τα χαρακτηριστικά μορφής του πλοίου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Κύριες διαστάσεις (μήκος μεταξύ καθέτων, πλάτος, βύθισμα, κοίλο, κ.λπ.).
- Τα τρία κύρια μέρη: την πρύμνη, την πλώρη και το ενδιάμεσο κομμάτι.
- Συγκεκριμένες χαρακτηριστικές καμπύλες όπως τα προφίλ της πλώρης και της πρύμνης και την καμπύλη του flat of side και flat of bottom.
- Τοπικές γεωμετρικές ιδιαιτερότητες.

Η προσέγγιση της επιφάνειας της γάστρας έγινε κατά κύριο λόγο μέσα από δύο πλέγματα καμπυλών, ένα για την επιφάνεια από τον μέσο νομέα έως την πρύμνη και ένα από τον μέσο νομέα έως την πλώρη αντίστοιχα. Η διαδικασία που ακολουθείται ξεκινά με τη δημιουργία των προφίλ της πλώρης και της πρύμνης, τις καμπύλες των flat of side και flat of bottom και έπειτα των εγκάρσιων παραμετρικών καμπυλών. Στη συνέχεια κατασκευάζονται οι οριζόντιες παραμετρικές καμπύλες σε κατάλληλα επίπεδα. Το σύνολο των εγκάρσιων και οριζόντιων καμπυλών στην κάθε περίπτωση θα αποτελέσουν το πλέγμα καμπυλών από το οποίο στη συνέχεια θα περιγράφεται και θα δημιουργείται η επιφάνεια της γάστρας. Η ιεραρχία σχεδίασης του μοντέλου της γάστρας ακολουθεί το εξής μοτίβο.



Σχήμα 4.1: Βήματα σχεδίασης του μοντέλου της γάστρας

4.1 Ναυπηγικές γραμμές (Lines plan) και διαμόρφωση γάστρας

Για τη σχεδίαση του πλοίου ορίζονται αρχικά τα κύρια χαρακτηριστικά του που επιλέχθηκαν:

- $L_{BP} = 300$ m
- $B = 46$ m
- $T = 18$ m

- $D = 28.8 \text{ m}$
- $C_M = 0.995$

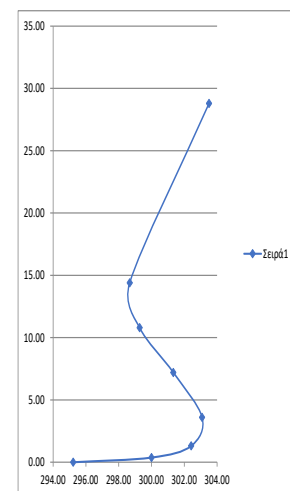
Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ώστε να αποτυπωθούν στο πρόγραμμα σχεδίασης το προφίλ της πλώρης, της πρύμνης και των νομέων είναι η χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Excel, με απαραίτητες μετρήσεις στα διαγράμματα που περιλαμβάνει η formdata. Στα διαγράμματα, χρησιμοποιείται κλίμακα μετρήσεων με τη βοήθεια δύο βασικών αξόνων, του άξονα x (οριζόντιος) και του άξονα z (κατακόρυφος). Αρχικά, γίνεται μέτρηση των αποστάσεων της πρύμνης στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο (μετριέται το μήκος των κουτιών στον οριζόντιο άξονα $x = 4.96 \text{ m}$ και στον κατακόρυφο άξονα $z = 7.66 \text{ m}$), με μετρήσεις $L_{BP}/10$ (οι εγκάρσιες τομές σχεδιάζονται συνήθως σε καθορισμένες θέσεις κατά μήκος του πλοίου, υποδιαιρώντας το μήκος μεταξύ καθέτων σε δέκα ή είκοσι υποδιαστήματα) και $1.6 * T$ για κάθε επίπεδο αντίστοιχα. Ομοίως, η ίδια διαδικασία των μετρήσεων γίνεται και για τις αποστάσεις της πλώρας. Ξεχωριστά για την πλώρη και την πρύμνη λαμβάνονται οι μετρήσεις όλων των σημείων τους και κατατάσσονται σε ένα φύλλο Excel για κάθε άξονα ξεχωριστά. Παρακάτω φαίνεται η ολοκληρωμένη διαδικασία υπολογισμού καθώς και ένα σχεδιάγραμμα με τη μορφή της πλώρης και της πρύμνης.

ΒΥΘΙΣΜΑ	18.00
ΜΗΚΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΒΕΤΩΝ	300.00

ΚΛΙΜΑΚΑ Χ	
Χ ΜΕΤΡΗΣΗ	Χ (m)
4.96	30.00

ΚΛΙΜΑΚΑ Ζ	
Ζ ΜΕΤΡΗΣΗ	Ζ (m)
7.66	28.80

A/A ΣΗΜΕΙΟΥ	X ΚΟΥΤΙΑ	X ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Z ΚΟΥΤΙΑ	Z ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	X (m) ΠΛΟΙΟΥ	Z (m) ΠΛΟΙΟΥ
1	19.00	1.69	0.00	0.00	295.22	0.00
2	20.00	0.00	0.00	0.10	300.00	0.38
3	20.00	0.40	0.00	0.35	302.42	1.32
4	20.00	0.51	1.00	0.00	303.09	3.60
5	20.00	0.22	2.00	0.00	301.33	7.20
6	19.00	2.36	3.00	0.00	299.27	10.80
7	19.00	2.26	4.00	0.00	298.67	14.40
8	20.00	0.58	8.00	0.00	303.51	28.80



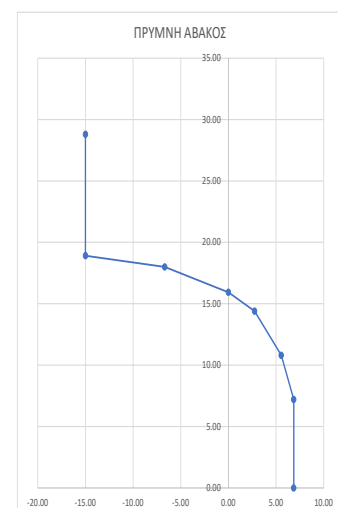
Σχήμα 4.2: Προφίλ πλώρης

ΒΥΘΙΣΜΑ	18.00
ΜΗΚΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΒΕΤΩΝ	300.00

ΚΛΙΜΑΚΑ Χ	
Χ ΜΕΤΡΗΣΗ	Χ (m)
5.25	30.00

ΚΛΙΜΑΚΑ Ζ	
Ζ ΜΕΤΡΗΣΗ	Ζ (m)
7.88	28.80

A/A ΣΗΜΕΙΟΥ	X ΚΟΥΤΙΑ	X ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Z ΚΟΥΤΙΑ	Z ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	X (m) ΠΛΟΙΟΥ	Z (m) ΠΛΟΙΟΥ
1	0.00	1.20	0.00	0.00	6.86	0.00
2	0.00	1.20	2.00	0.00	6.86	7.20
3	0.00	0.97	3.00	0.00	5.54	10.80
4	0.00	0.48	4.00	0.00	2.74	14.40
5	0.00	0.00	4.00	0.42	0.00	15.94
6	0.00	-1.17	5.00	0.00	-6.69	18.00
7	-1.00	0.00	5.00	0.25	-15.00	18.91
8	-1.00	0.00	8.00	0.00	-15.00	28.80



Σχήμα 4.3: Προφίλ πρύμνης

Οι δύο τελευταίες στήλες, είναι οι τελικές πράξεις που γίνονται για να υπολογιστούν οι συντεταγμένες στο δισδιάστατο σύστημα αναφοράς του πλοίου, ώστε να αποδοθεί το εξωτερικό περίγραμμα του πλοίου στο επίπεδο (x,z).

Ακολουθώς, για την οικογένεια των πρωραίων και πρυμναίων νομέων πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία, με τους δύο κύριους άξονες πλέον να είναι ο y και ο z. Επειδή οι νομείς βρίσκονται στο σύστημα αναφοράς (y,z) στο Excel το βύθισμα αντικαθίσταται με το πλάτος.

Οι μετρήσεις στους άξονες y, z για τους πρυμναίους και πρωραίους νομείς είναι:

- **Πρυμναίοι νομείς**

Y = 5.13 m (τα σημεία του κάθε νομέα μετριοούνται σε 7 κουτιά μήκους 16.01 m δηλαδή, 0.7 επί το ημι-πλάτος)

Z = 12.02 m (τα σημεία του κάθε νομέα μετριοούνται σε 16 κουτιά μήκους 28.8 m δηλαδή, 1.6 επί το βύθισμα)

- **Πρωραίοι νομείς**

Y = 4.45 m (τα σημεία του κάθε νομέα μετριοούνται σε 6 κουτιά μήκους 13.08 m δηλαδή, 0.6 επί το ημι πλάτος)

Z = 12.09 m (τα σημεία του κάθε νομέα μετριοούνται σε 16 κουτιά μήκους 28.8 m δηλαδή, 1.6 επί το βύθισμα)

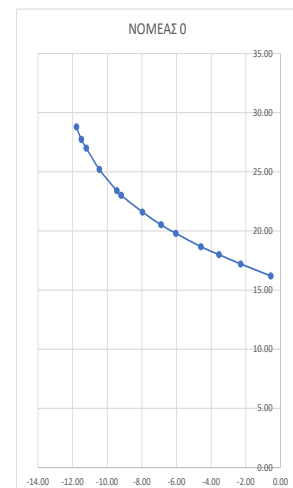
Η τελική μορφή των νομέων έχει την εξής μορφή:

ΒΥΘΙΣΜΑ	18.00
ΠΛΑΤΟΣ	46.00

ΚΛΙΜΑΚΑ Y	
Y ΜΕΤΡΗΣΗ	Y (m)
5.13	16.10

ΚΛΙΜΑΚΑ Z	
Z ΜΕΤΡΗΣΗ	Z (m)
12.02	28.80

A/A ΣΗΜΕΙΟΥ	Y ΚΟΥΤΙΑ	Y ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Z ΚΟΥΤΙΑ	Z ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Y (m) ΠΛΟΙΟΥ	Z (m) ΠΛΟΙΟΥ
1	0.00	-0.18	9.00	0.00	-0.57	16.20
2	-1.00	0.00	9.00	0.42	-2.30	17.21
3	-1.00	-0.40	10.00	0.00	-3.56	18.00
4	-2.00	0.00	10.00	0.28	-4.60	18.67
5	-2.00	-0.46	11.00	0.00	-6.04	19.80
6	-3.00	0.00	11.00	0.30	-6.90	20.52
7	-3.00	-0.34	12.00	0.00	-7.97	21.60
8	-4.00	0.00	12.00	0.59	-9.20	23.01
9	-4.00	-0.08	13.00	0.00	-9.45	23.40
10	-4.00	-0.40	14.00	0.00	-10.46	25.20
11	-4.00	-0.64	15.00	0.00	-11.21	27.00
12	-5.00	0.00	15.00	0.31	-11.50	27.74
13	-5.00	-0.09	16.00	0.00	-11.78	28.80



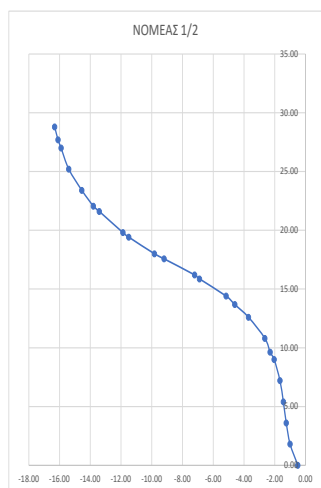
Σχήμα 4.4: Νομέας "0"

ΒΥΘΙΣΜΑ	18.00
ΠΛΑΤΟΣ	46.00

ΚΑΙΜΑΚΑ Υ	
Υ ΜΕΤΡΗΣΗ	Υ (m)
5.13	16.10

ΚΑΙΜΑΚΑ Ζ	
Ζ ΜΕΤΡΗΣΗ	Ζ (m)
12.02	28.80

Α/Α ΣΗΜΕΙΟΥ	Υ ΚΟΥΤΙΑ	Υ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Ζ ΚΟΥΤΙΑ	Ζ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Υ (m) ΠΛΟΙΟΥ	Ζ (m) ΠΛΟΙΟΥ
1	0.00	-0.16	0.00	0.00	-0.50	0.00
2	0.00	-0.32	1.00	0.00	-1.00	1.80
3	0.00	-0.40	2.00	0.00	-1.26	3.60
4	0.00	-0.46	3.00	0.00	-1.44	5.40
5	0.00	-0.53	4.00	0.00	-1.66	7.20
6	0.00	-0.65	5.00	0.00	-2.04	9.00
7	-1.00	0.00	5.00	0.26	-2.30	9.62
8	-1.00	-0.11	6.00	0.00	-2.65	10.80
9	-1.00	-0.45	7.00	0.00	-3.71	12.60
10	-2.00	0.00	7.00	0.45	-4.60	13.68
11	-2.00	-0.18	8.00	0.00	-5.17	14.40
12	-3.00	0.00	8.00	0.61	-6.90	15.86
13	-3.00	-0.10	9.00	0.00	-7.21	16.20
14	-4.00	0.00	9.00	0.57	-9.20	17.57
15	-4.00	-0.20	10.00	0.00	-9.83	18.00
16	-5.00	0.00	10.00	0.59	-11.50	19.41
17	-5.00	-0.12	11.00	0.00	-11.88	19.80
18	-5.00	-0.61	12.00	0.00	-13.41	21.60
19	-6.00	0.00	12.00	0.19	-13.80	22.06
20	-6.00	-0.24	13.00	0.00	-14.55	23.40
21	-6.00	-0.51	14.00	0.00	-15.40	25.20
22	-6.00	-0.67	15.00	0.00	-15.90	27.00
23	-7.00	0.00	15.00	0.29	-16.10	27.70
24	-7.00	-0.07	16.00	0.00	-16.32	28.80



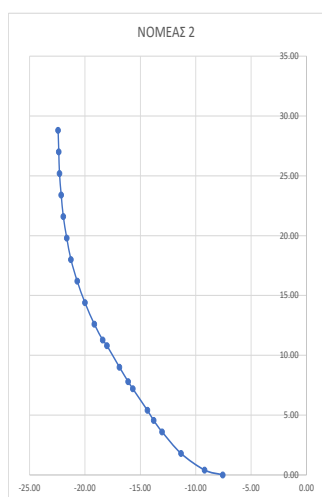
Σχήμα 4.5: Νομέας “1/2”

ΒΥΘΙΣΜΑ	18.00
ΠΛΑΤΟΣ	46.00

ΚΑΙΜΑΚΑ Υ	
Υ ΜΕΤΡΗΣΗ	Υ (m)
5.13	16.10

ΚΑΙΜΑΚΑ Ζ	
Ζ ΜΕΤΡΗΣΗ	Ζ (m)
12.02	28.80

Α/Α ΣΗΜΕΙΟΥ	Υ ΚΟΥΤΙΑ	Υ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Ζ ΚΟΥΤΙΑ	Ζ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Υ (m) ΠΛΟΙΟΥ	Ζ (m) ΠΛΟΙΟΥ
1	-3.00	-0.21	0.00	0.00	-7.56	0.00
2	-4.00	0.00	0.00	0.17	-9.20	0.41
3	-4.00	-0.68	1.00	0.00	-11.33	1.80
4	-5.00	-0.49	2.00	0.00	-13.04	3.60
5	-6.00	0.00	2.00	0.40	-13.80	4.56
6	-6.00	-0.18	3.00	0.00	-14.37	5.40
7	-6.00	-0.60	4.00	0.00	-15.68	7.20
8	-7.00	0.00	4.00	0.25	-16.10	7.80
9	-7.00	-0.25	5.00	0.00	-16.89	9.00
10	-7.00	-0.61	6.00	0.00	-18.01	10.80
11	-8.00	0.00	6.00	0.20	-18.40	11.28
12	-8.00	-0.24	7.00	0.00	-19.15	12.60
13	-8.00	-0.51	8.00	0.00	-20.00	14.40
14	-9.00	0.00	9.00	0.00	-20.70	16.20
15	-9.00	-0.18	10.00	0.00	-21.27	18.00
16	-9.00	-0.30	11.00	0.00	-21.64	19.80
17	-9.00	-0.40	12.00	0.00	-21.96	21.60
18	-9.00	-0.46	13.00	0.00	-22.14	23.40
19	-9.00	-0.51	14.00	0.00	-22.30	25.20
20	-9.00	-0.53	15.00	0.00	-22.36	27.00
21	-9.00	-0.55	16.00	0.00	-22.43	28.80



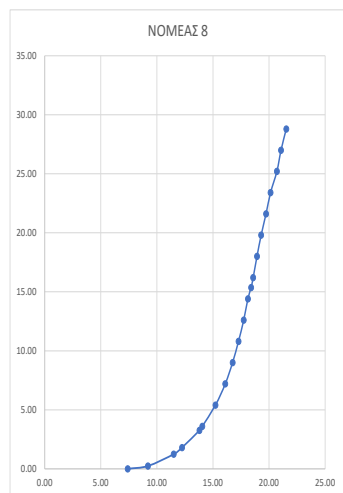
Σχήμα 4.6: Νομέας “2”

ΒΥΘΙΣΜΑ	18.00
ΠΛΑΤΟΣ	46.00

ΚΑΙΜΑΚΑ Υ	
Υ ΜΕΤΡΗΣΗ	Υ (m)
4.45	13.80

ΚΑΙΜΑΚΑ Ζ	
Ζ ΜΕΤΡΗΣΗ	Ζ (m)
12.09	28.80

Α/Α ΣΗΜΕΙΟΥ	Υ ΚΟΥΤΙΑ	Υ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Ζ ΚΟΥΤΙΑ	Ζ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Υ (m) ΠΛΟΙΟΥ	Ζ (m) ΠΛΟΙΟΥ
1	3.00	0.16	0.00	0.00	7.40	0.00
2	4.00	0.00	0.00	0.10	9.20	0.24
3	5.00	0.00	0.00	0.52	11.50	1.24
4	5.00	0.24	1.00	0.00	12.24	1.80
5	6.00	0.00	1.00	0.61	13.80	3.25
6	6.00	0.08	2.00	0.00	14.05	3.60
7	6.00	0.46	3.00	0.00	15.23	5.40
8	7.00	0.00	4.00	0.00	16.10	7.20
9	7.00	0.21	5.00	0.00	16.75	9.00
10	7.00	0.38	6.00	0.00	17.28	10.80
11	7.00	0.53	7.00	0.00	17.74	12.60
12	7.00	0.65	8.00	0.00	18.12	14.40
13	8.00	0.00	8.00	0.40	18.40	15.35
14	8.00	0.06	9.00	0.00	18.59	16.20
15	8.00	0.17	10.00	0.00	18.93	18.00
16	8.00	0.29	11.00	0.00	19.30	19.80
17	8.00	0.43	12.00	0.00	19.73	21.60
18	8.00	0.56	13.00	0.00	20.14	23.40
19	9.00	0.00	14.00	0.00	20.70	25.20
20	9.00	0.12	15.00	0.00	21.07	27.00
21	9.00	0.27	16.00	0.00	21.54	28.80



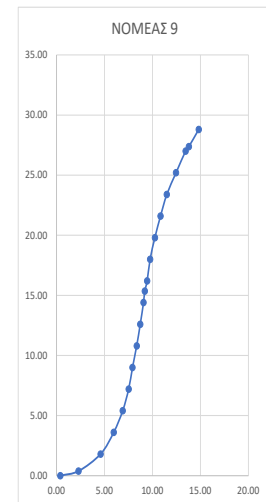
Σχήμα 4.7: Νομέας “8”

ΒΥΘΙΣΜΑ	18.00
ΠΛΑΤΟΣ	46.00

ΚΛΙΜΑΚΑ Υ	
Υ ΜΕΤΡΗΣΗ	Υ (m)
4.45	13.80

ΚΛΙΜΑΚΑ Ζ	
Ζ ΜΕΤΡΗΣΗ	Ζ (m)
12.09	28.80

A/A ΣΗΜΕΙΟΥ	Υ ΚΟΥΤΙΑ	Υ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Ζ ΚΟΥΤΙΑ	Ζ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Υ (m) ΠΛΟΙΟΥ	Ζ (m) ΠΛΟΙΟΥ
1	0.00	0.13	0.00	0.00	0.40	0.00
2	1.00	0.00	0.00	0.16	2.30	0.38
3	2.00	0.00	1.00	0.00	4.60	1.80
4	2.00	0.44	2.00	0.00	5.96	3.60
5	3.00	0.00	3.00	0.00	6.90	5.40
6	3.00	0.20	4.00	0.00	7.52	7.20
7	3.00	0.33	5.00	0.00	7.92	9.00
8	3.00	0.47	6.00	0.00	8.36	10.80
9	3.00	0.59	7.00	0.00	8.73	12.60
10	3.00	0.70	8.00	0.00	9.07	14.40
11	4.00	0.00	8.00	0.40	9.20	15.35
12	4.00	0.08	9.00	0.00	9.45	16.20
13	4.00	0.18	10.00	0.00	9.76	18.00
14	4.00	0.34	11.00	0.00	10.25	19.80
15	4.00	0.53	12.00	0.00	10.84	21.60
16	5.00	0.00	13.00	0.00	11.50	23.40
17	5.00	0.31	14.00	0.00	12.46	25.20
18	5.00	0.63	15.00	0.00	13.45	27.00
19	6.00	0.00	15.00	0.16	13.80	27.38
20	6.00	0.33	16.00	0.00	14.82	28.80



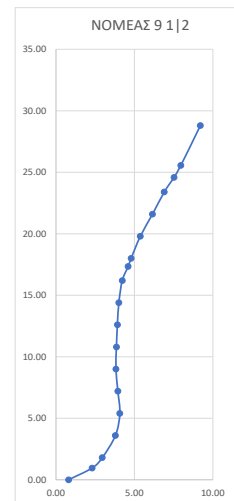
Σχήμα 4.8: Νομέας “9”

ΒΥΘΙΣΜΑ	18.00
ΠΛΑΤΟΣ	46.00

ΚΛΙΜΑΚΑ Υ	
Υ ΜΕΤΡΗΣΗ	Υ (m)
4.45	13.80

ΚΛΙΜΑΚΑ Ζ	
Ζ ΜΕΤΡΗΣΗ	Ζ (m)
12.09	28.80

A/A ΣΗΜΕΙΟΥ	Υ ΚΟΥΤΙΑ	Υ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Ζ ΚΟΥΤΙΑ	Ζ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Υ (m) ΠΛΟΙΟΥ	Ζ (m) ΠΛΟΙΟΥ
1	0.00	0.26	0.00	0.00	0.81	0.00
2	1.00	0.00	0.00	0.40	2.30	0.95
3	1.00	0.21	1.00	0.00	2.95	1.80
4	1.00	0.48	2.00	0.00	3.79	3.60
5	1.00	0.57	3.00	0.00	4.07	5.40
6	1.00	0.53	4.00	0.00	3.94	7.20
7	1.00	0.49	5.00	0.00	3.82	9.00
8	1.00	0.50	6.00	0.00	3.85	10.80
9	1.00	0.52	7.00	0.00	3.91	12.60
10	1.00	0.55	8.00	0.00	4.01	14.40
11	1.00	0.62	9.00	0.00	4.22	16.20
12	2.00	0.00	9.00	0.48	4.60	17.34
13	2.00	0.06	10.00	0.00	4.79	18.00
14	2.00	0.25	11.00	0.00	5.38	19.80
15	2.00	0.50	12.00	0.00	6.15	21.60
16	3.00	0.00	13.00	0.00	6.90	23.40
17	3.00	0.20	13.00	0.50	7.52	24.59
18	3.00	0.34	14.00	0.15	7.95	25.56
19	4.00	0.00	16.00	0.00	9.20	28.80



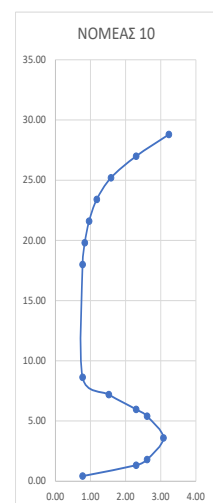
Σχήμα 4.9: Νομέας “9 1/2”

ΒΥΘΙΣΜΑ	18.00
ΠΛΑΤΟΣ	46.00

ΚΛΙΜΑΚΑ Υ	
Υ ΜΕΤΡΗΣΗ	Υ (m)
4.45	13.80

ΚΛΙΜΑΚΑ Ζ	
Ζ ΜΕΤΡΗΣΗ	Ζ (m)
12.09	28.80

A/A ΣΗΜΕΙΟΥ	Υ ΚΟΥΤΙΑ	Υ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Ζ ΚΟΥΤΙΑ	Ζ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Υ (m) ΠΛΟΙΟΥ	Ζ (m) ΠΛΟΙΟΥ
1	0.00	0.25	0.00	0.18	0.78	0.43
2	1.00	0.00	0.00	0.56	2.30	1.33
3	1.00	0.10	1.00	0.00	2.61	1.80
4	1.00	0.25	2.00	0.00	3.08	3.60
5	1.00	0.10	3.00	0.00	2.61	5.40
6	1.00	0.00	3.00	0.24	2.30	5.97
7	0.00	0.49	4.00	0.00	1.52	7.20
8	0.00	0.25	4.00	0.60	0.78	8.63
9	0.00	0.25	10.00	0.00	0.78	18.00
10	0.00	0.27	11.00	0.00	0.84	19.80
11	0.00	0.31	12.00	0.00	0.96	21.60
12	0.00	0.38	13.00	0.00	1.18	23.40
13	0.00	0.51	14.00	0.00	1.58	25.20
14	1.00	0.00	15.00	0.00	2.30	27.00
15	1.00	0.30	16.00	0.00	3.23	28.80



Σχήμα 4.10: Νομέας “10”

Οι υπόλοιποι νομείς καταγράφονται με τον ίδιο τρόπο. Στη συνέχεια, σε ένα νέο φύλλο Excel καταγράφονται μαζί όλοι οι σταθμοί, δηλαδή οι δύο τελευταίες στήλες που υπολογίστηκαν για κάθε νομέα ξεχωριστά, στις οποίες τώρα αναγράφεται αριστερά το όνομα του νομέα και δεξιά η θέση του κατά τον άξονα x. Ο υπολογισμός της θέσης των νομέων υπολογίζεται ως εξής:

$$x_{\text{νομέα}} = (\text{νομέας}) * \frac{L_{BP}}{10}$$

Από τους σταθμούς, διακρίνονται οι δύο επιπλέον καμπύλες για τη σχεδίαση της γάστρας, το flat of bottom (FOB) και το flat of side (FOS). Το flat of bottom προκύπτει από τα σημεία τα οποία έχουν Z=0 και το flat of side από τα σημεία που έχουν Y=23 (B/2 συντεταγμένη για 1^η φορά).

0	0	0.5	15	1	30	2	60	3	90	4	120
-0.57	16.20	-0.50	0.00	-1.51	0.00	-7.56	0.00	-13.80	0.00	-19.06	0.00
-2.30	17.21	-1.00	1.80	-2.30	0.24	-9.20	0.41	-16.10	0.65	-20.70	0.38
-3.56	18.00	-1.26	3.60	-4.15	1.80	-11.33	1.80	-18.01	1.80	-22.49	1.80
-4.60	18.67	-1.44	5.40	-4.60	2.59	-13.04	3.60	-18.40	2.09	-23.00	3.36
-6.04	19.80	-1.66	7.20	-4.98	3.60	-13.80	4.56	-19.84	3.60	-23.00	3.60
-6.90	20.52	-2.04	9.00	-5.64	5.40	-14.37	5.40	-20.70	4.97		
-7.97	21.60	-2.30	9.62	-6.51	7.20	-15.68	7.20	-20.95	5.40		
-9.20	23.01	-2.65	10.80	-6.90	7.94	-16.10	7.80	-21.61	7.20		
-9.45	23.40	-3.71	12.60	-7.47	9.00	-16.89	9.00	-22.11	9.00		
-10.46	25.20	-4.60	13.68	-8.63	10.80	-18.01	10.80	-22.43	10.80		
-11.21	27.00	-5.17	14.40	-9.20	11.42	-18.40	11.28	-22.61	12.60		
-11.50	27.74	-6.90	15.86	-10.20	12.60	-19.15	12.60	-22.74	14.40		
-11.78	28.80	-7.21	16.20	-11.50	13.92	-20.00	14.40	-22.90	16.20		
		-9.20	17.57	-11.94	14.40	-20.70	16.20	-23.00	17.61		
		-9.83	18.00	-13.80	16.20	-21.27	18.00				
		-11.50	19.41	-15.34	18.00	-21.64	19.80				
		-11.88	19.80	-16.10	18.89	-21.96	21.60				
		-13.41	21.60	-16.67	19.80	-22.14	23.40				
		-13.80	22.06	-17.67	21.60	-22.30	25.20				
		-14.55	23.40	-18.40	23.40	-22.36	27.00				
		-15.40	25.20	-18.97	25.20	-22.43	28.80				
		-15.90	27.00	-19.31	27.00						
		-16.10	27.70	-19.56	28.80						
		-16.32	28.80								
7	210	8	240	9	270	9.5	285	10	300		
16.29	0.00	7.40	0.00	0.40	0.00	0.81	0.00	0.78	0.43		
18.40	0.74	9.20	0.24	2.30	0.38	2.30	0.95	2.30	1.33		
19.80	1.80	11.50	1.24	4.60	1.80	2.95	1.80	2.61	1.80		
20.70	2.87	12.24	1.80	5.96	3.60	3.79	3.60	3.08	3.60		
21.07	3.60	13.80	3.25	6.90	5.40	4.07	5.40	2.61	5.40		
21.72	5.40	14.05	3.60	7.52	7.20	3.94	7.20	2.30	5.97		
22.16	7.20	15.23	5.40	7.92	9.00	3.82	9.00	1.52	7.20		
22.44	9.00	16.10	7.20	8.36	10.80	3.85	10.80	0.78	8.63		
22.62	10.80	16.75	9.00	8.73	12.60	3.91	12.60	0.78	18.00		
22.87	12.60	17.28	10.80	9.07	14.40	4.01	14.40	0.84	19.80		
23.00	14.05	17.74	12.60	9.20	15.35	4.22	16.20	0.96	21.60		
23.00	15.88	18.12	14.40	9.45	16.20	4.60	17.34	1.18	23.40		
		18.40	15.35	9.76	18.00	4.79	18.00	1.58	25.20		
		18.59	16.20	10.25	19.80	5.38	19.80	2.30	27.00		
		18.93	18.00	10.84	21.60	6.15	21.60	3.23	28.80		
		19.30	19.80	11.50	23.40	6.90	23.40				
		19.73	21.60	12.46	25.20	7.52	24.59				
		20.14	23.40	13.45	27.00	7.95	25.56				
		20.70	25.20	13.80	27.38	9.20	28.80				
		21.07	27.00	14.82	28.80						
		21.54	28.80								

Σχήμα 4.11: Ομαδοποίηση των νομέων – “Stations”

FOB		
X	Y	Z
15	-0.502	0
30	-1.506	0
60	-7.559	0
90	-13.8	0
120	-19.059	0
210	16.286	0
240	7.396	0
270	0.403	0
285	0.81	0

FOS		
X	Y	Z
90	-23	17.614
120	-23	3.6
210	23	15.877

FOB : είναι τα σημεία που έχουν $Z = 0$
FOS : είναι τα σημεία που έχουν $Y = 23$
(B/2 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ ΓΙΑ 1η ΦΟΡΑ

Σχήμα 4.12: Καμπύλες FOB - FOS

4.2 Επιλογή λογισμικού σχεδίασης

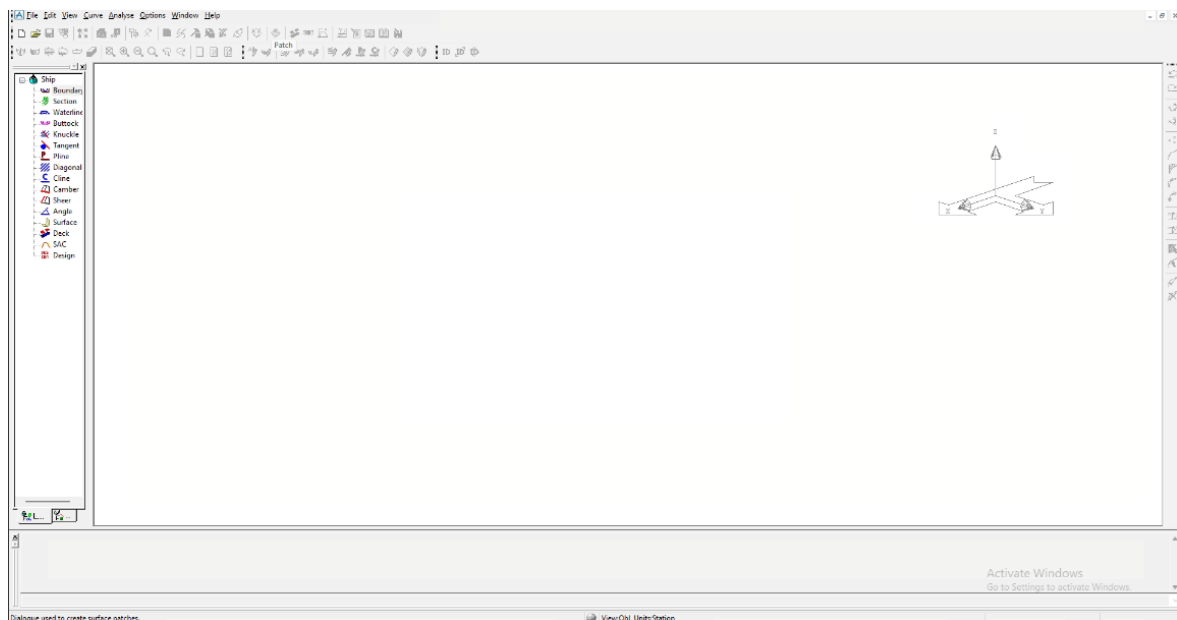
Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζεται το λογισμικό σχεδίασης που χρησιμοποιήθηκε για τη σχεδίαση του μοντέλου της γάστρας του πλοίου bulk carrier.

Το πρόγραμμα, είναι το AVEVA Marine 12.1, το οποίο είναι μια πλατφόρμα σχεδίασης πλοίων και πλωτών κατασκευών, αναγνωρισμένη στη ναυπηγική βιομηχανία χάρη στην ακρίβεια και στην ευκολία στα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Lines, το οποίο ανήκει στο πακέτο Initial Design και είναι εξειδικευμένο στη δημιουργία και επεξεργασία των βασικών γραμμών της γάστρας (lines plan). Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα αναπαρίσταται μόνο το μισό μέρος της γάστρας κατά τους άξονες x, y, z, δηλαδή σε τρισδιάστατη γεωμετρική μορφή και έπειτα γίνεται ανάλυση και επεξεργασία της μορφολογίας της και των κύριων χαρακτηριστικών του πλοίου.

Η επιλογή του AVEVA Lines έγινε επειδή το πρόγραμμα αυτό πραγματοποιεί ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα το οποίο πλησιάζει σε μεγάλο βαθμό ένα πραγματικό σχέδιο πλοίου, καθώς επιπλέον εξασφαλίζει και την παραγωγή αποτελεσμάτων υψηλής ακρίβειας με τη βοήθεια των λειτουργιών που προσφέρει.

4.2.1 Κύρια χαρακτηριστικά και λειτουργίες του προγράμματος

Αρχικά, εκκινώντας το πρόγραμμα εμφανίζεται το περιβάλλον σχεδίασης του Avena στην εξής αρχική μορφή (βλ. [σχήμα 4.13](#)):



Σχήμα 4.13: Βασικό παράθυρο γραφικών του προγράμματος Aeneas

Μπροστά στην οθόνη εμφανίζεται το βασικό παράθυρο γραφικών στο οποίο εμφανίζεται το σχέδιο της γάστρας. Το παράθυρο στα αριστερά (με τις ονομασίες Boundary, Section, Waterline, Buttock κ.λπ.) είναι η λίστα με τις εκάστοτε καμπύλες του σχεδίου π.χ. νομείς, ίσαλοι, προφίλ πλώρης και πρύμνης κ.α. Τα δύο κάτω πλαίσια είναι η γραμμή εντολών και το παράθυρο που εξάγει τα δεδομένα. Στην πρώτη μπάρα στο πάνω μέρος διακρίνεται το μενού εντολών (File, Edit, View, Curve κ.λπ.). Η επόμενη μπάρα (βλ. [σχήμα 4.14](#)) αποτελεί την πρώτη γραμμή εργαλείων (Main Toolbar) και χρησιμοποιείται για την εύκολη και γρήγορη πρόσβαση σε συνήθεις εντολές του menu.



Σχήμα 4.14: Μενού εντολών

Η χρήση της κάθε εντολής που χρησιμοποιήθηκε με την σειρά είναι:

- Δημιουργία καινούργιου σχεδίου.
- Άνοιγμα υπάρχοντος σχεδίου από χώρο αποθήκευσης.
- Αποθήκευση σχεδίου.
- Αποθήκευση κατάστασης.
- Επεξεργαστής μακροεντολών.
- Νέο παράθυρο γραφικών.
- Άνοιγμα ρυθμίσεων προβολής.
- Επιλογή καμπύλης.
- Άνοιγμα επιλογής παραμέτρων.
- Εισαγωγή δεδομένων καμπύλης.
- Επιλογή κατάστασης Fairing.
- Άνοιγμα παραθύρου δισδιάστατης κατασκευής.
- Άνοιγμα παραθύρου τρισδιάστατης κατασκευής.
- Μετάβαση στο περιβάλλον του Patch and Curve Editor.
- Επεξεργασία καμπύλης.

Στο [σχήμα 4.15](#) υπάρχει η δεύτερη γραμμή εργαλείων (View Toolbar) η οποία χρησιμεύει για:

- Την επιλογή κατάλληλων όψεων στην σχεδίαση των καμπυλών.
- Τη μεγέθυνση ή σμίκρυνση του σχεδίου, της επανασχεδίασης και του καθαρισμού των επιδιορθωμένων γραμμών.
- Την επιλογή των καμπυλών ή επιφανειών που θέλουμε να εμφανίζονται στο παράθυρο γραφικών, είτε όλες μαζί είτε κάθε οικογένεια καμπυλών ξεχωριστά.
- Την αναγνώριση των καμπυλών ή επιφανειών που εμφανίζονται στο βασικό παράθυρο σχεδίασης.



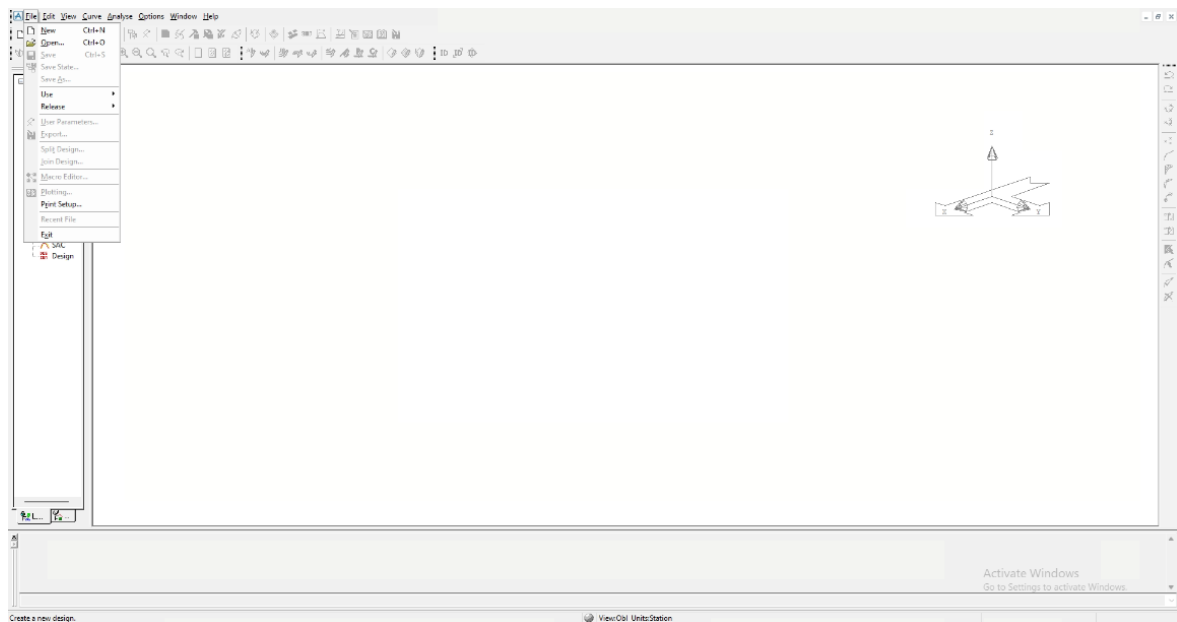
Σχήμα 4.15: “View Toolbar”

Δεξιά από το βασικό παράθυρο σχεδίασης αναγνωρίζεται η γραμμή εργαλείων επεξεργασίας (Edit Toolbar), που ελέγχει τη διαδικασία επεξεργασίας των καμπυλών του πλοίου (βλ. [σχήμα 4.16](#)). Η γραμμή αυτή προσφέρει στον χρήστη τη δυνατότητα επιλογής μιας καμπύλης εμφανίζοντας παράλληλα την καμπυλότητά της και τα σημεία που έχει.



Σχήμα 4.16: “Edit Toolbar”

Η δημιουργία ενός νέου σχεδίου, πραγματοποιείται επιλέγοντας την επιλογή «New» από το «File» ή αν υπάρχει αποθηκευμένο σχέδιο χρησιμοποιείται η επιλογή «Open».



Σχήμα 4.17: Δημιουργία νέου αρχείου με την εντολή “New → File”

Στην συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο εισαγωγής των κύριων χαρακτηριστικών του προς σχεδίαση πλοίου.

Units		Curve		Patch
Data set	Axes	Particulars	Sort	
General Particulars				
LBP	0	Beam Overhang		0
Beam	0	Stem Overhang		0
Depth	0	Stern Overhang		0
Draft	0	Minimum Z		0
Roll	0	Maximum Z		0
Project				
Ship Name				
Customer Name				
Project Title				
User Name				
<input checked="" type="checkbox"/> Visible Header				

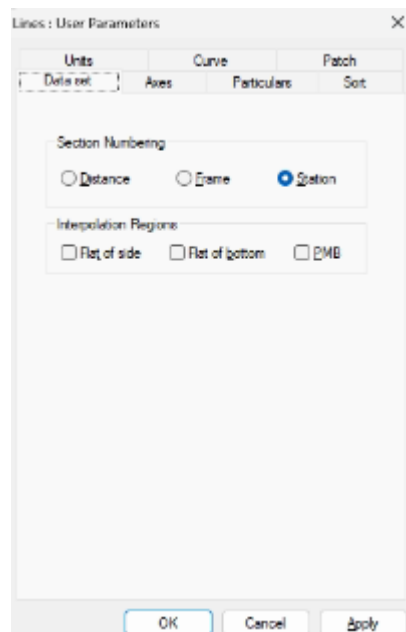
OK Cancel Apply

Σχήμα 4.18: Παράθυρο εισαγωγής κύριων χαρακτηριστικών του πλοίου

Στο συγκεκριμένο παράθυρο τα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται είναι τα εξής:

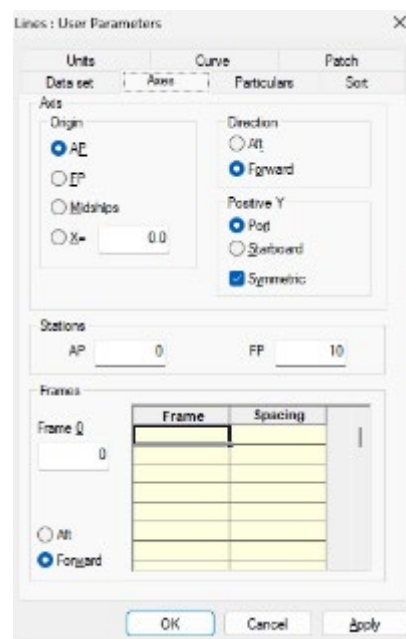
- LBP: μήκος μεταξύ καθέτων
- Beam: πλάτος πλοίου στην ίσαλο
- Depth: κοίλο
- Draft: βύθισμα
- Beam Overhang: διαφορά μέγιστου πλάτους με πλάτος στη ίσαλο
- Stem Overhang: πόσο εξέχει από την πλώρα η πρωραία κάθετος
- Stern Overhang: πόσο εξέχει από την πρύμνη η πρυμναία κάθετος
- Minimum Z: ελάχιστο ύψος που εκτείνεται το πλοίο
- Maximum Z: μέγιστο ύψος

Το εικονίδιο «User Parameters» πέρα από την εισαγωγή των κύριων χαρακτηριστικών χρησιμοποιείται επίσης στην καρτέλα «Data Set» για να οριστεί η διαμήκης θέση των νομέων με μία από τις τρεις δυνατότητες που έχει. Επιλέγοντας «Distance» η διαμήκης θέση ορίζεται ως απόσταση από την αρχή των αξόνων, επιλέγοντας «Frame» ως κατασκευαστικός νομέας και «Station» ως θεωρητικός νομέας.



Σχήμα 4.19: Καρτέλα “Data Set”

Η καρτέλα «Axes» εξυπηρετεί για να οριστεί η διαμήκης θέση της αρχής των αξόνων (Axis Origin) στην πρυμναία - πρωραία κάθετα στο μέσο του πλοίου ή σε ένα οποιοδήποτε “x” που θα οριστεί. Επίσης χρησιμεύει για τον ορισμό της διεύθυνσης του διαμήκους άξονα (Direction) και για την πλευρά που θα φαίνεται το σχέδιο του πλοίου είτε δεξιά (Starboard) είτε αριστερά (Port).



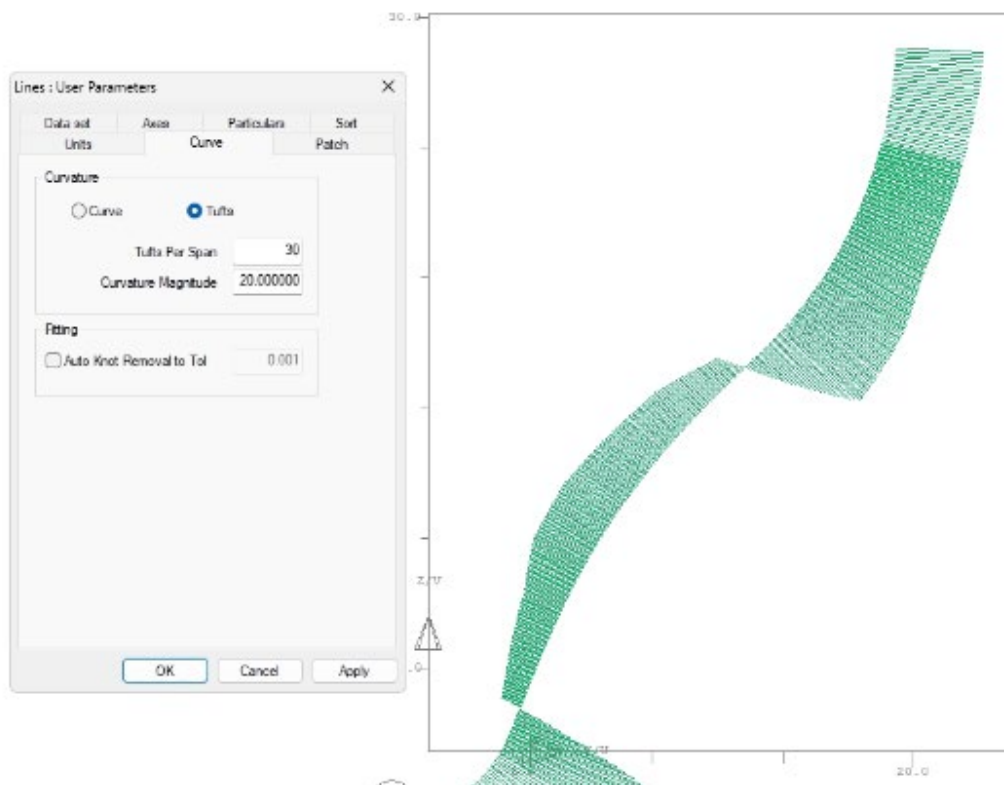
Σχήμα 4.20: Καρτέλα “Axes”

Στην καρτέλα «Units» ορίζονται οι μονάδες μέτρησης (Units) και η ακρίβεια των μετρήσεων (Decimal Places).



Σχήμα 4.21: Καρτέλα “Units”

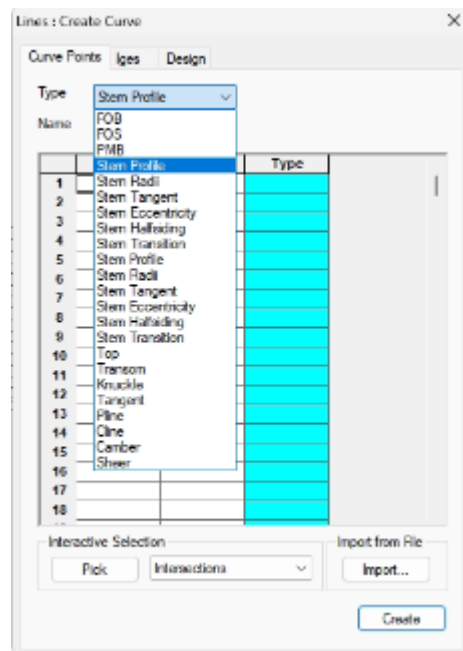
Στην καρτέλα «Curve» ελέγχεται η απεικόνιση της καμπυλότητας μιας καμπύλης. Η επιλογή «Tufts Per Span» καθορίζει τον αριθμό των κάθετων διανυσμάτων που θα εμφανίζονται μεταξύ δύο σημείων κάνοντας πιο πυκνή την επιφάνεια, ενώ η επιλογή «Curvature Magnitude» ρυθμίζει το μέγεθός τους.



Σχήμα 4.22: Η καρτέλα Curve για την ρύθμιση των κάθετων διανυσμάτων

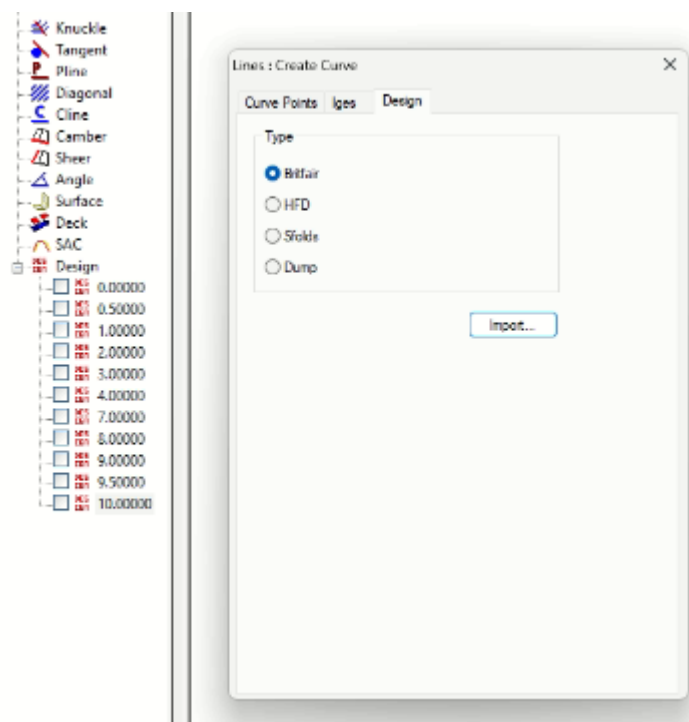
4.2.2 Εισαγωγή καμπυλών

Η εισαγωγή καμπυλών, πραγματοποιείται μέσω του εικονιδίου «Create» από το «Main Toolbar» και εμφανίζεται στην οθόνη το παράθυρο «Lines: Create Curve». Επιλέγεται το είδος της καμπύλης από τη λίστα που υπάρχει στο «Type» και στη συνέχεια τα σημεία της καμπύλης μπορούν να δοθούν στον πίνακα ή να εισαχθούν από κάποιο αρχείο με τη χρήση του «Import». Στη συνέχεια, για να εμφανιστεί η καμπύλη στο βασικό παράθυρο γραφικών θα πρέπει να επιλεγεί η εντολή «Prefit Curve» από τη γραμμή επεξεργασίας καμπυλών και όταν ολοκληρωθεί η επεξεργασία τη καμπύλης γίνεται η αποθήκευση με το «Accept».



Σχήμα 4.23: Είδη καμπυλών για εισαγωγή μέσω της καρτέλας “Create”

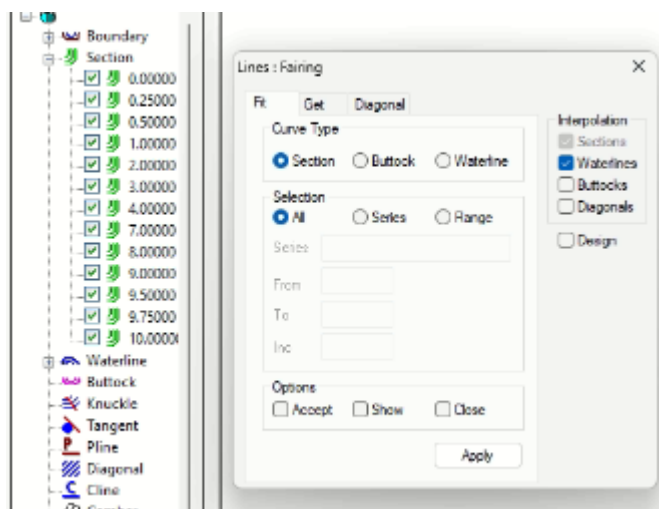
Ομοίως, η διαδικασία εισαγωγής των νομέων γίνεται μέσω του «Create» με τη χρήση αρχείου Britfair, το οποίο διαφέρει στην αποθήκευσή του καθώς θα πρέπει να έχει κατάληξη “.bri”. Για να μπορέσει να γίνει η εισαγωγή ενός τέτοιου αρχείου θα πρέπει στην καρτέλα «Design» να επιλεγθεί ο τύπος Britfair και στη συνέχεια να γίνει «Import».



Σχήμα 4.24: Αρχείο “Britfair” για την εισαγωγή νομέων

Οι καμπύλες αυτές εισάγονται στο Design και για εμφανιστούν οι νομείς χρησιμοποιείται η εντολή «Fairing» από το «Main Toolbar». Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγοντας το «Design» εμφανίζονται οι νομείς και στη συνέχεια η πρώτη επιλογή που μπορεί να γίνει είναι η αποδοχή όλων των νομέων με το «All», αλλιώς μπορεί να γίνει επιλογή

συγκεκριμένων νομέων επιλέγοντας τα «Series» ή «Range». Τέλος, εμφανίζονται όλοι οι νομείς που επιλέχθηκαν στην κατηγορία «Sections» στο παράθυρο αριστερά του κύριου παραθύρου σχεδίασης.

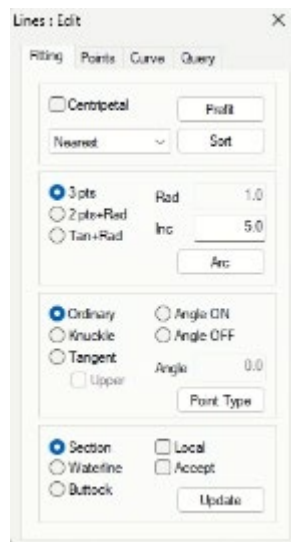


Σχήμα 4.25: Χρήση του “Fairing” για την εμφάνιση των νομέων

4.2.3 Επεξεργασία καμπυλών 2-D

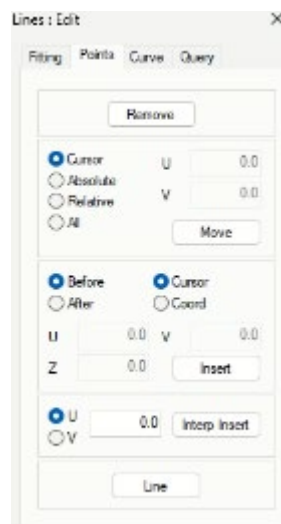
Για την επεξεργασία καμπυλών 2-D, χρησιμοποιείται η εντολή «modify», από το «Edit Toolbar». Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει επιλογή της καμπύλης προς επεξεργασία. Μόλις γίνει αυτό στην κύρια οθόνη σχεδίασης ενεργοποιούνται όλες οι εντολές στο «Edit Toolbar» και ανοίγει αυτόματα το παράθυρο της εντολής «Edit». Οι εντολές του «Edit Toolbar» παραμένουν ενεργοποιημένες μέχρι την αποδοχή ή όχι των τροποποιήσεων στην καμπύλη με τις εντολές «Accept» και «Quit».

Η διαδικασία της επεξεργασίας μιας καμπύλης επιτρέπει στον χρήστη την προσθήκη / αφαίρεση σημείων, τη μετακίνηση σημείων, την αλλαγή του είδους των σημείων, τον ορισμό γωνιών της καμπύλης σε συγκεκριμένα σημεία, την εξομάλυνση της καμπύλης, την αλλαγή της σειράς των σημείων (shorting), τη δημιουργία γραμμής μεταξύ των σημείων, κ.α. Για τη σχεδίαση, χρησιμοποιήθηκαν οι καρτέλες Fitting, Points, Query. Συγκεκριμένα, η καρτέλα Fitting, εξυπηρετεί την αλλαγή της σειράς των σημείων (Sort) με πολλούς τρόπους αλλιώς χρειάζεται να οριστεί ξανά η σειρά των σημείων από την αρχή. Επίσης παρέχει τη δυνατότητα να ορίζεται το είδος των σημείων και η γωνία της καμπύλης στα σημεία που χρειάζεται.



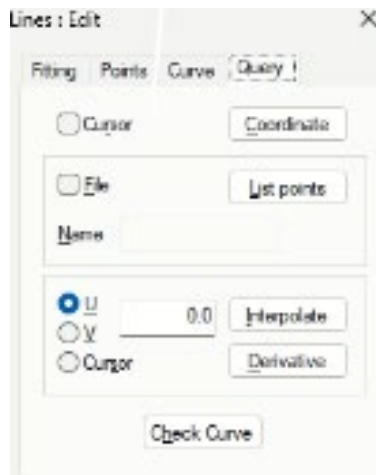
Σχήμα 4.26: Επεξεργασία καμπυλών με τη χρήση του “Fitting”

Η καρτέλα Points εξυπηρετεί να αφαιρούνται τα σημεία της καμπύλης, να μετακινούνται σημεία με το ποντίκι ή σε σχέση με τις αρχικές συντεταγμένες ή με απόλυτα καινούργιες συντεταγμένες και να προστίθενται σημεία με συντεταγμένες ή με το ποντίκι. Οι συντεταγμένες U, V αφορούν το οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο στην καμπύλη αντίστοιχα.



Σχήμα 4.27: Επεξεργασία καμπυλών με τη χρήση του “Points”

Τέλος, η καρτέλα Query εξυπηρετεί τη δυνατότητα «Coordinate» να εντοπιστεί δηλαδή η θέση του επιλεγμένου σημείου πάνω στην καμπύλη, ενώ με τη δυνατότητα «List Points» εμφανίζονται σε λίστα όλα τα σημεία της καμπύλης και τα δεδομένα αυτά εμφανίζονται στο παράθυρο κάτω από την κύρια οθόνη σχεδίασης.

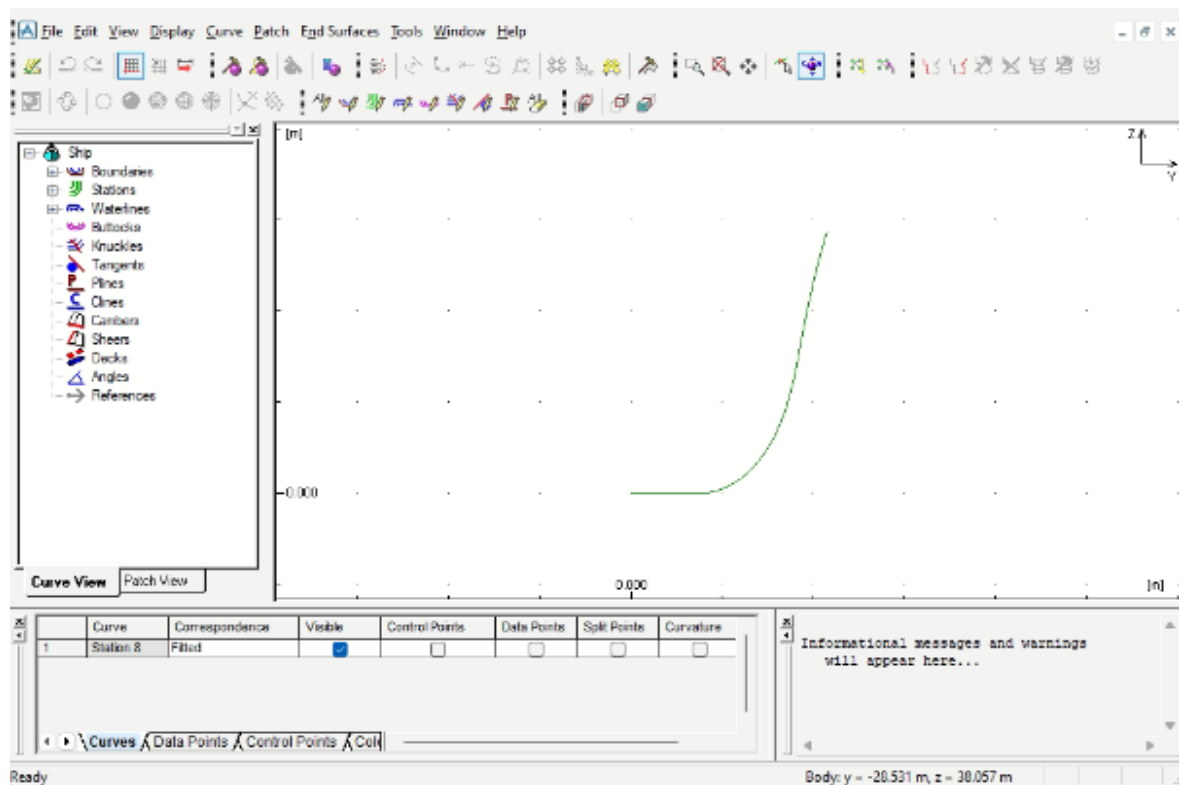


Σχήμα 4.28: Η καρτέλα “Query” για τον εντοπισμό της θέσης των σημείων της καμπύλης

4.2.4 Εξομάλυνση καμπυλών 2-D

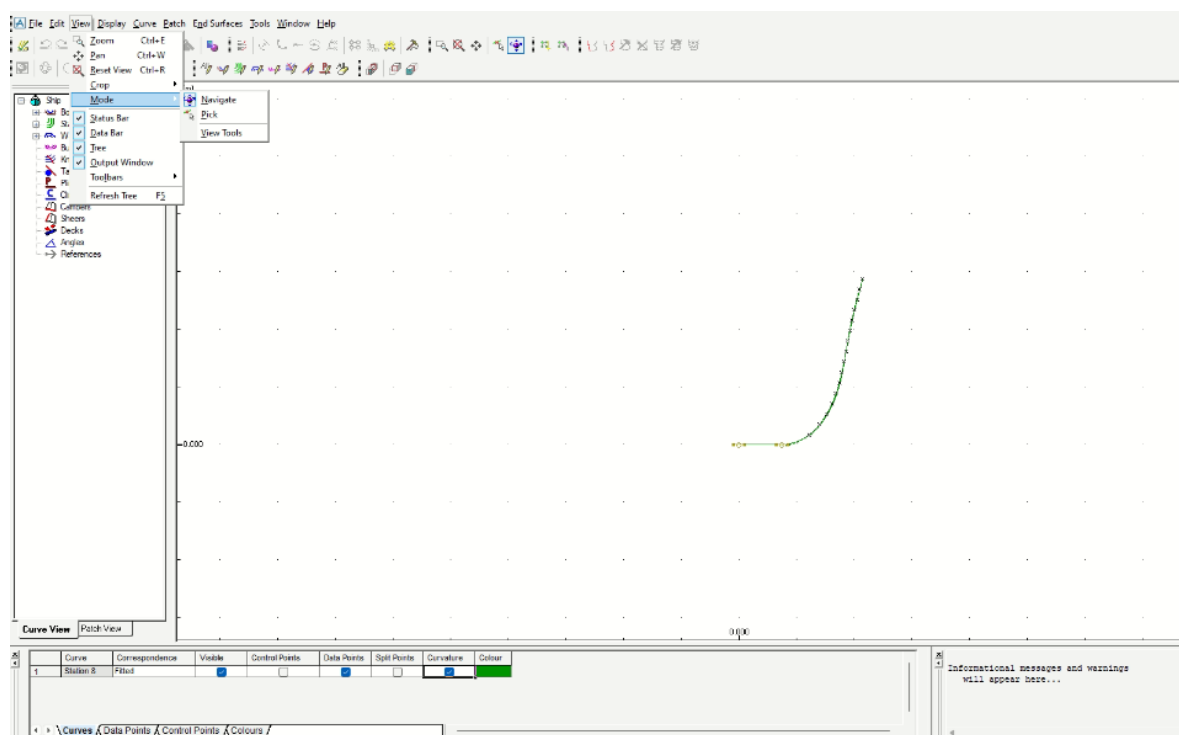
Η εξομάλυνση καμπυλών είναι η διαδικασία που γίνεται σε μία καμπύλη ώστε να υπάρχει ομαλή μεταβολή της καμπυλότητάς της χωρίς να παρουσιάζει ανεπιθύμητα σημεία καμπής. Στο πρόγραμμα η ομαλότητα μιας καμπύλης εμφανίζεται με κάθετα – πράσινα - διανύσματα των οποίων το μέγεθος είναι ανάλογο με την καμπυλότητά τους. Όσο πιο απότομη δηλαδή είναι η καμπύλη τόσο πιο μεγάλα θα είναι και τα διανύσματα αυτά. Για να εμφανιστεί η ομαλότητα της καμπύλης, γίνεται επιλογή της εντολής «Show curvature» από το «Edit Toolbar» και ύστερα από το παράθυρο «Edit Lines» με κατάλληλες μετακινήσεις των σημείων επιτυγχάνεται η εξομάλυνση της καμπύλης. Κάθε φορά, μετά τη μετακίνηση των σημείων για να εμφανιστεί η νέα καμπύλη και η ομαλότητά της, χρησιμοποιείται η εντολή «Prefit» και ακολούθως η εντολή «Redraw». Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ένας δεύτερος τρόπος να ρυθμιστεί η ομαλότητα μιας καμπύλης είναι η χρήση του εικονιδίου «Patch and Curve Editor», το οποίο ανοίγει ένα νέο παράθυρο για την επεξεργασία της καμπύλης στο οποία υπάρχει μεμονωμένη η καμπύλη που επιλέγεται.

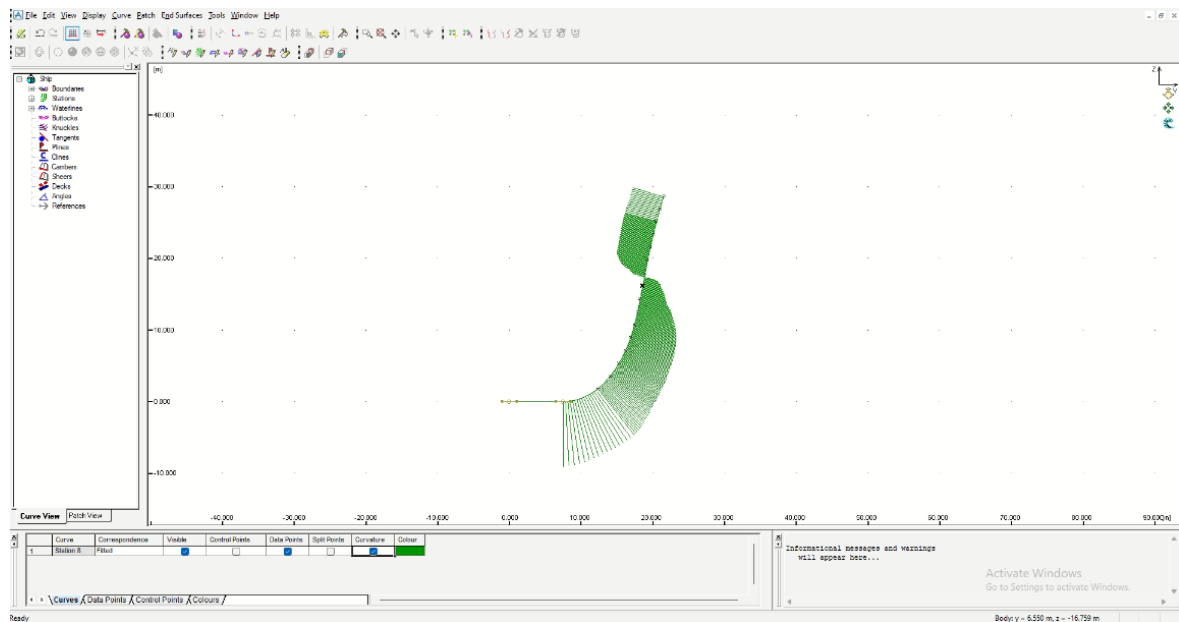


Σχήμα 4.29: Το περιβάλλον του “Patch and Curve Editor”

Για να φανούν τα σημεία και η ομαλότητα της καμπύλης, επιλέγονται τα «Data Points» και το «Curvature». Στην συνέχεια, επιλέγεται από το View η επιλογή View Tools και με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται η μεγέθυνση, η σμίκρυνση της καμπύλης, η μετακίνησή της προς κάθε κατεύθυνση και η αυξομείωση των κάθετων διανυσμάτων της.

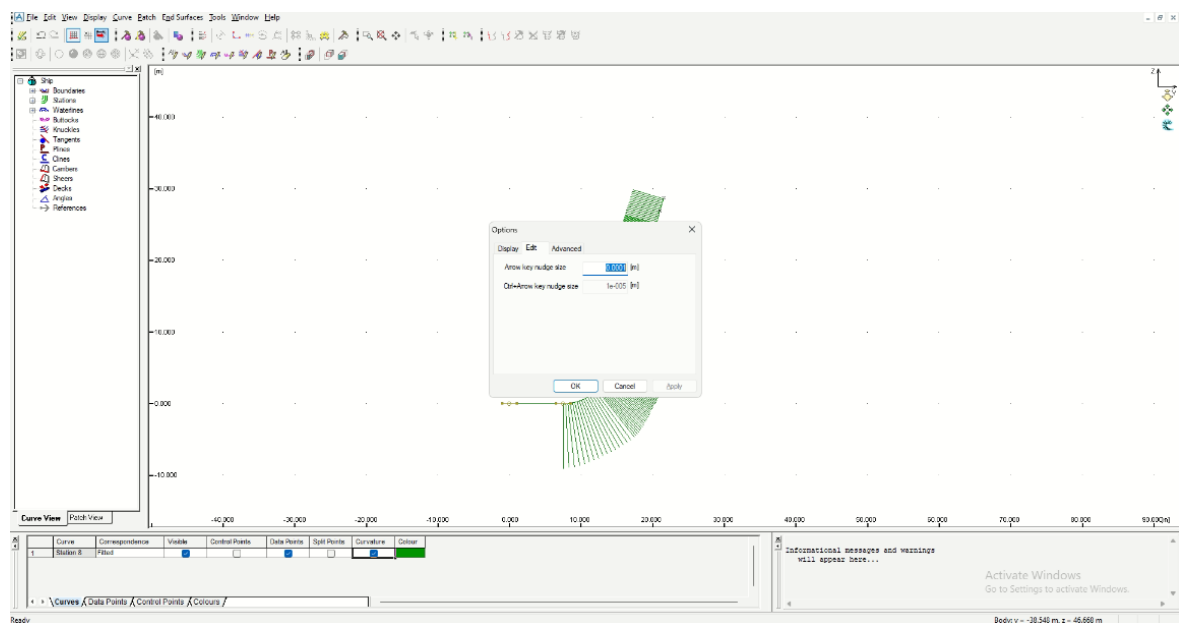


Σχήμα 4.30: Επεξεργασία της καμπύλης με την εντολή “View Tools”



Σχήμα 4.31: Εμφάνιση των εργαλείων στην κύρια οθόνη για την επεξεργασία της καμπύλης

Τα εργαλεία αυτά, εμφανίζονται στο πάνω δεξιά άκρο της οθόνης κάτω από το σύστημα αξόνων z-y. Τα σημεία της καμπύλης επιλέγονται με τον κέρσορα και μετακινούνται με τα βελάκια από το πληκτρολόγιο προς κάθε κατεύθυνση. Τέλος, τα σημεία μετακινούνται κατά συγκεκριμένη απόσταση κάθε φορά η οποία ορίζεται από την επιλογή «Options».



Σχήμα 4.32: Η επιλογή Option για τη μετακίνηση των σημείων

Στη διαδικασία της εξομάλυνσης, τα μόνο σημεία που μετακινούνται είναι τα σημεία «Ordinary». Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τρεις κατηγορίες σημείων, τα σημεία «Ordinary», «Tangent» και «Knuckle».

- **Ordinary**

Είναι τα σημεία στα οποία ορίζεται μόνο η θέση τους και τίποτα άλλο. Διακρίνονται με ένα μαύρο σύμβολο 'x'.

- **Tangent**

Είναι τα σημεία στα οποία εκτός από την θέση τους, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει και την κλίση της καμπύλης. Διακρίνονται ως ένα κίτρινο τετράγωνο.

- **Knuckle**

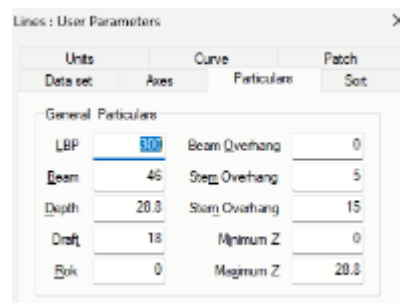
Είναι τα σημεία στα οποία ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την κλίση της καμπύλης στις περιοχές πριν και μετά από αυτά. Στα σημεία τύπου «knuckle» η κλίση της καμπύλης παρουσιάζει γεωμετρική ασυνέχεια. Διακρίνονται με ένα κόκκινο σύμβολο στο σχήμα αστεριού.

4.3 Διαδικασία δημιουργίας των σχεδίων

Στο παρόν σχέδιο της γάστρας, όπως προαναφέρθηκε τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου που επιλέχθηκαν είναι:

- $L_{BP} = 300$ m
- $B = 46$ m
- $T = 18$ m
- $D = 28.8$ m
- $C_M = 0.995$

Αρχικά, στο πρόγραμμα σχεδίασης δημιουργήθηκε ένα νέο αρχείο στο οποίο αποτυπώθηκαν τα παραπάνω χαρακτηριστικά του πλοίου.

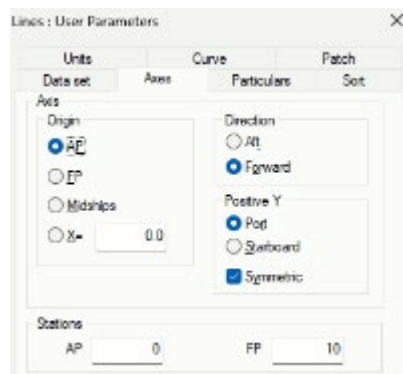


Σχήμα 4.33: Εισαγωγή των κύριων χαρακτηριστικών

Το «Maximum Z» δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το κοίλο κατασκευής, οπότε συμπληρώνεται με την τιμή “28.8”. Στο πεδίο των “Stem Overhang” και “Stern Overhang” συμπληρώθηκαν δύο τιμές τυχαίες καθώς αυτά τα πεδία είναι υπεύθυνα μόνο για το πλαίσιο σχεδίασης του πλοίου, δηλαδή για το πόσο θα προεξέχει από την πρυμναία και πρωραία κάθετο αντίστοιχα.



Σχήμα 4.34: Αποστάσεις που καθορίζονται στο Stem και Stern Overhang

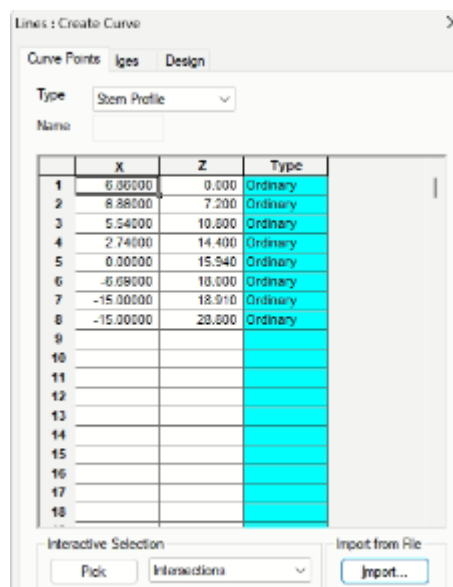


Σχήμα 4.35: Καθορισμός της διαμήκης θέσης της αρχής των αξόνων

Στην καρτέλα «Axes» επιλέγεται η αρχή των αξόνων να είναι την πρυμναία κάθετο, η κατεύθυνση να είναι από την πρυμναία κάθετο έως μπροστά (Forward) και το σχέδιο να παρουσιάζεται από την αριστερή πλευρά (Port). Τέλος ορίζεται η θέση των σταθμών με τον σταθμό μηδέν να βρίσκεται στην πρυμναία κάθετο και τον σταθμό 10 στην πρυμναία κάθετο.

Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή των προφίλ της πρύμνης και της πλώρης. Για να γίνει η εισαγωγή τους στο πρόγραμμα, δημιουργήθηκαν δύο αρχεία «Text Document» στην επιφάνεια εργασίας τα οποία περιέχουν τα νούμερα που υπολογίστηκαν στις δύο τελευταίες στήλες της πλώρης και της πρύμνης αντίστοιχα (X,Z (m) ΠΛΟΙΟΥ).

Στη συνέχεια, από το «Create» επιλέγεται πρώτα το προφίλ της πρύμνης (Stern Profile), γίνεται εισαγωγή του αρχείου «Text Document» από το «Import» και τέλος δημιουργείται από το «Create» η πρύμνη.



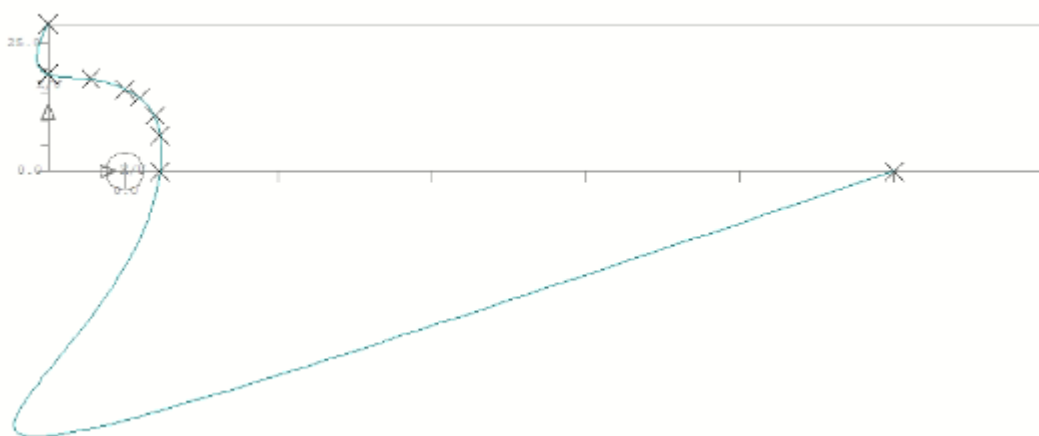
Σχήμα 4.36: Εισαγωγή προφίλ πρύμνης

Το προφίλ της πρύμνης και της πλώρης εμφανίζεται μετά το «Create» με την εντολή «Prefit».



Σχήμα 4.37: Αρχική μορφή πρύμνης

Αρχικά προστίθεται ένα σημείο μετά το πρώτο σημείο της καμπύλης σε μία οποιαδήποτε απόσταση (π.χ. 140 m μετά). Ως πρώτο σημείο της είναι το κατώτερο και ως τελευταίο το ανώτερο. Από το «Edit» στην καρτέλα «Points» επιλέγεται το νέο σημείο με καθορισμένη απόσταση σε συντεταγμένες κατά 'X - Y' και προκύπτει μία νέα καμπύλη.



Σχήμα 4.38: Προσθήκη νέου σημείου στην καμπύλη της πρύμνης

Στη συνέχεια, θα πρέπει να γίνει η αλλαγή του τύπου των σημείων της καμπύλης. Τα σημεία που τροποποιήθηκαν είναι τα δύο πρώτα και το έβδομο, με το πρώτο και το έβδομο να είναι τύπου «knuckle» και το δεύτερο να είναι τύπου «tangent». Τα σημεία που έγιναν «knuckle» δημιούργησαν δύο ευθείες στην καμπύλη. Αυτό προκύπτει, διότι μεταξύ δύο σημείων το μόνο που μπορεί να δημιουργήσει το πρόγραμμα είναι μία ευθεία. Μετά (ή πριν) το σημείο αυτό, το πρόγραμμα θεωρεί ότι είναι μία νέα καμπύλη την οποία κατασκευάζει και ευθεία.



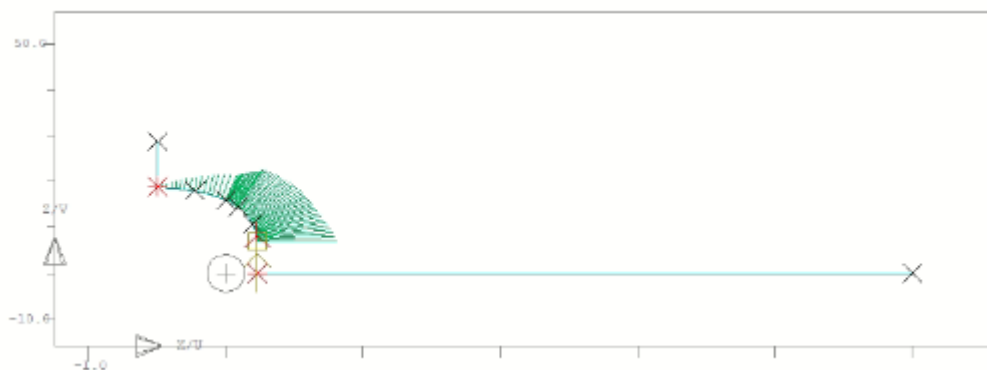
Σχήμα 4.39: Μετατροπή σημείων Ordinary σε Tangent

Το σημείο τύπου «tangent» σχεδιάστηκε ώστε να δημιουργήσει μία ευθεία μεταξύ των δύο πρώτων σημείων, καθώς η πρύμνη στο σημείο αυτό θεωρείται ότι έχει ευθύγραμμο τμήμα.



Σχήμα 4.40: Ολοκληρωμένα σημεία πρύμνης Knuckle - Tangent

Στη συνέχεια, γίνεται εξομάλυνση της πρύμνης με την εντολή «Show Curvature» από το «Edit Toolbar». Για την εξομάλυνση, από την καρτέλα «Edit» στο «Points» επιλέγεται η εντολή «Relative» και τα σημεία μετακινούνται κατάλληλα τους άξονες U, V ώστε να υπάρχει ομαλότητα της καμπύλης.



Σχήμα 4.41: Εξομάλυνση Πρύμνης

Ομοίως, η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για την εισαγωγή της πλώρης με την επιλογή του προφίλ της (Stem Profile) και του «Text Document» με τα νούμερα που υπολογίστηκαν για αυτήν.

Lines : Create Curve

Curve Points | Iges | Design

Type: Stem Profile

Name:

	X	Z	Type
1	295.22000	0.000	Ordinary
2	300.00000	0.380	Ordinary
3	302.42000	1.320	Ordinary
4	303.08000	3.600	Ordinary
5	301.33000	7.200	Ordinary
6	298.27000	10.800	Ordinary
7	298.67000	14.400	Ordinary
8	303.51000	28.800	Ordinary
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

Interactive Selection: Pick Intersections

Input from File: Import...

Create

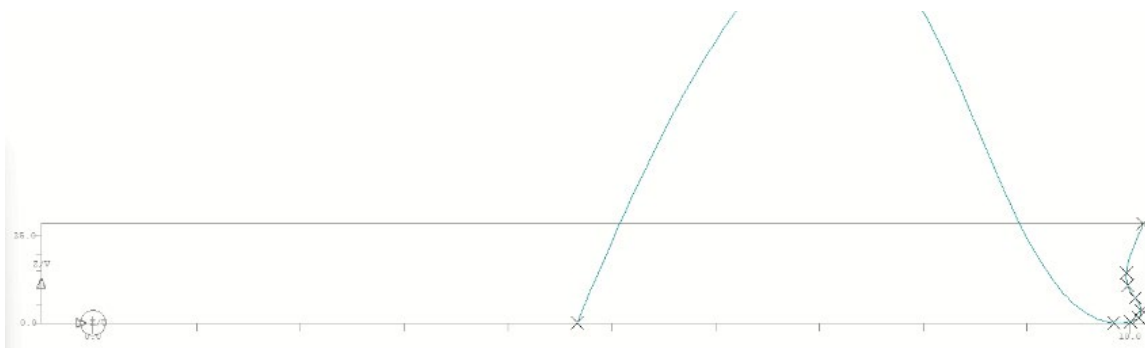
Σχήμα 4.42: Εισαγωγή προφίλ πλώρης

Με το «Create» και την εντολή «Prefit» εμφανίζεται η αρχική μορφή της πλώρης.



Σχήμα 4.43: Αρχική μορφή πλώρης

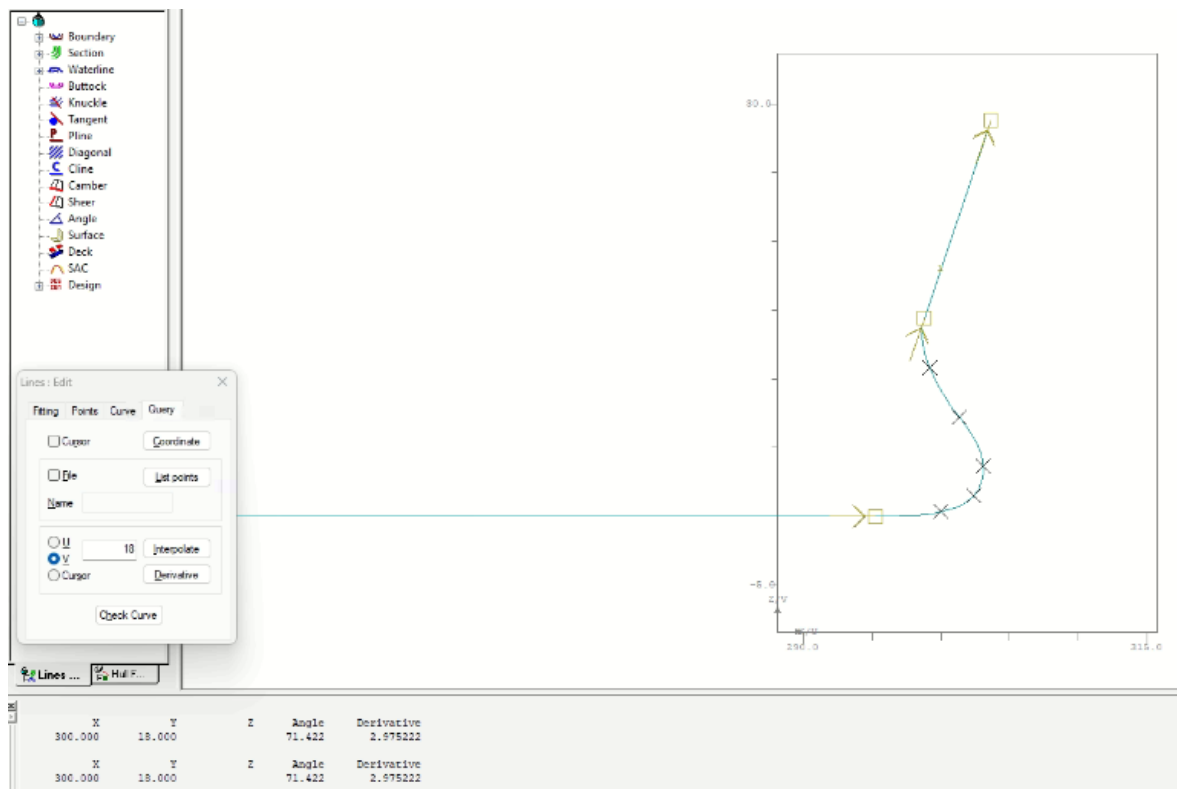
Προστίθεται ένα σημείο πριν το πρώτο σημείο της καμπύλης σε μία μέση απόσταση (π.χ. 150 m πριν). Από το «Edit» στην καρτέλα «Points» επιλέγεται το νέο σημείο με καθορισμένη απόσταση σε συντεταγμένες κατά 'U' και προκύπτει μία νέα καμπύλη.



Σχήμα 4.44: Νέα καμπύλη πλώρης μετά την προσθήκη του νέου σημείου

Για τα δύο πρώτα και τα δύο τελευταία σημεία της καμπύλης θα γίνει χρήση την εντολής «Line» ώστε να δημιουργηθεί ευθύγραμμο τμήμα σε αυτά τα δύο μέρη της καμπύλης. Η ευθεία που δημιουργείται στα δύο τελευταία σημεία πρέπει να περνάει από το βύθισμα όπως είναι στην «Formdata», οπότε για να γίνει έλεγχος χρησιμοποιείται από την καρτέλα «Query» η εντολή «Interpolate» κατά V όσο είναι το βύθισμα, δηλαδή 'T = 18'. Το σημείο αυτό θα πρέπει να είναι στον άξονα X στην θέση '300 m', οπότε για να έρθει σε αυτήν τη

θέση πραγματοποιείται μετακίνηση της ευθείας ολόκληρης (δηλαδή μετακίνηση των δύο τελευταίων σημείων) από το «Points» κατά τον άξονα 'U'. Το παράθυρο δεδομένων κάτω από την κύρια οθόνη ενημερώνει ότι το σημείο είναι στη ζητούμενη θέση.



Σχήμα 4.45: Μετακίνηση του σημείου της ευθείας στην θέση $X = 300m$

Τέλος, ελέγχεται η ομαλότητα της καμπύλης και εξομαλύνεται μέχρι το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επίσης στο ολοκληρωμένο σχέδιο οι γραμμές της πλώρης και της πρύμνης υπερκαλύπτουν η μία την άλλη ώστε να δημιουργηθεί το 1^ο τμήμα σχεδίασης της γάστρας.



Σχήμα 4.46: Εξομάλυνση πλώρης



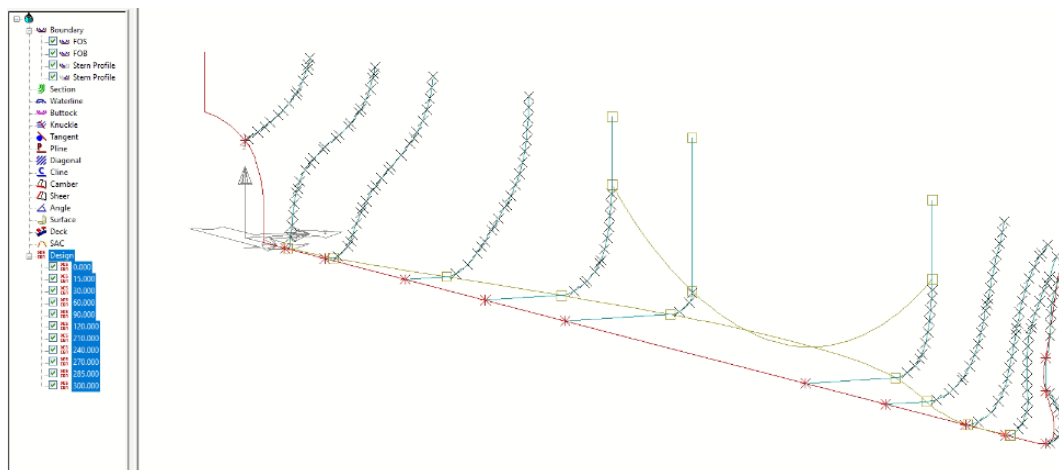
Σχήμα 4.47: Ολοκληρωμένο σχέδιο από τις μορφές της πλώρης και της πρύμνης

Στη συνέχεια, γίνεται η ίδια διαδικασία για την εισαγωγή των καμπυλών FOB και FOS στο πρόγραμμα.



Σχήμα 4.48: FOB – FOS

Για την εισαγωγή των νομέων, δημιουργήθηκε ένα αρχείο «Text Document» όπως έγινε και για τα προηγούμενα με τη διαφορά ότι μετονομάζεται η κατάληξη του αρχείου από '.txt' σε κατάληξη '.bri'. Αυτό γίνεται διότι το πρόγραμμα διαβάζει τους νομείς μέσα από αρχείο «Britfair». Από το 'Excel' στην καρτέλα 'Stations' μεταφέρονται στο αρχείο τα σημεία όλων των νομέων εκτός από τα σημεία τους τα οποία αποτελούν το FOS και το FOB. Τα σημεία αυτά δεν χρειάζονται καθώς υπάρχουν ήδη στις καμπύλες των FOB και FOS που έχουν δημιουργηθεί στο πρόγραμμα. Στη συνέχεια, μέσω του «Create» επιλέγεται στην καρτέλα «Design» ο τύπος «Britfair», ύστερα γίνεται «Import» το αρχείο και τελικά οι νομείς εμφανίζονται στο παράθυρο αριστερά στο «Design». Τέλος, για να είναι εφικτή η επεξεργασία των νομέων πρέπει να γίνει η αποδοχή τους από το «Fairing» μέσω του «Design» και επιλέγεται ως τύπος καμπύλης 'νομέας'.



Σχήμα 4.49: Εισαγωγή νομέων στο Design

Ακολουθώντας, κατασκευάζεται το παράλληλο τμήμα του πλοίου με τη χρήση της εντολής PMB (Parallel Midbody) από το μενού εντολών. Μεταξύ του νομέα '4' και του νομέα '7' δεν υπάρχουν άλλοι νομείς οπότε το παράλληλο τμήμα αρχικά θεωρείται ότι είναι από τη θέση '5' μέχρι την '6' όμως ο νομέας '4' είναι αρκετά κοντά σε αυτό το παράλληλο τμήμα και η θέση '6' έχει τη δυνατότητα να μεταφερθεί πιο μπροστά (π.χ. '6.2') οπότε τα νέα όρια του παράλληλου τμήματος θα είναι '4 – 6.2'.

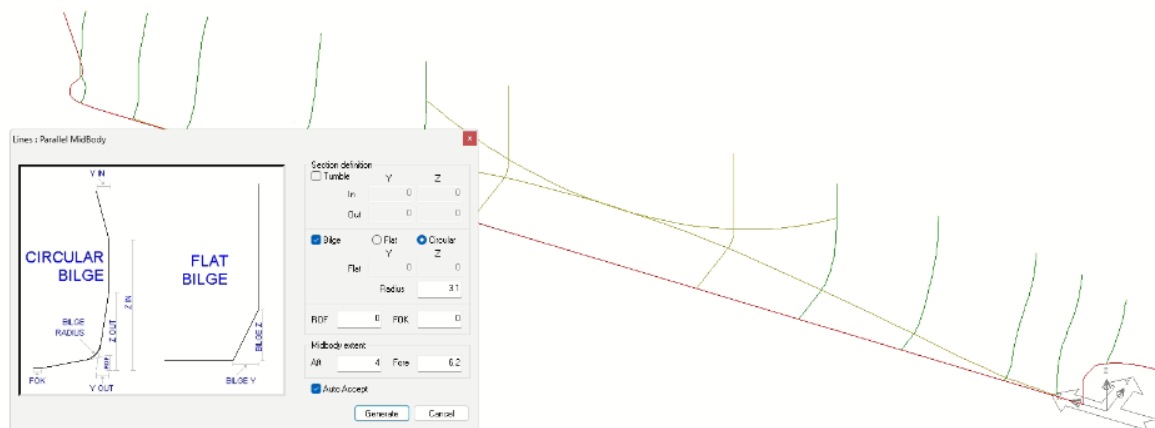
Επίσης, υπολογίζεται η ακτίνα καμπυλότητας 'r' του παράλληλου τμήματος η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$C_M = \frac{A_M}{B * T} \Rightarrow A_M = C_M * B * T \Rightarrow B * T - 2 * r^2 + 2 * \frac{\pi * r^2}{4} = C_M * B * T \Rightarrow$$

$$r = \sqrt{\frac{B * T * (C_M - 1)}{(\frac{\pi}{2} - 2)}}$$

Αντικαθιστώντας με τα δεδομένα του σχεδίου προκύπτει ότι:

$$r = 3.1$$



Σχήμα 4.50: Κατασκευή παράλληλου τμήματος

Στο παράλληλο τμήμα που κατασκευάστηκε, πρέπει όλα τα ενδιάμεσα να είναι σταθερά, να έχει δηλαδή σταθερή και ίδια διατομή παντού, οπότε θα πρέπει το FOS και FOB να είναι σταθερά μεταξύ του παράλληλου τμήματος.

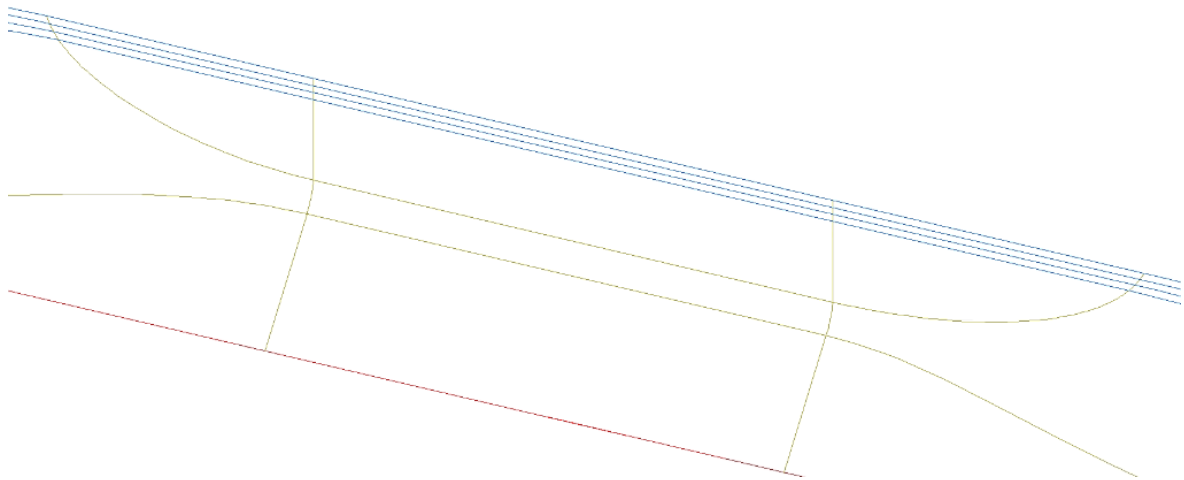


Σχήμα 4.51: FOS παράλληλου τμήματος

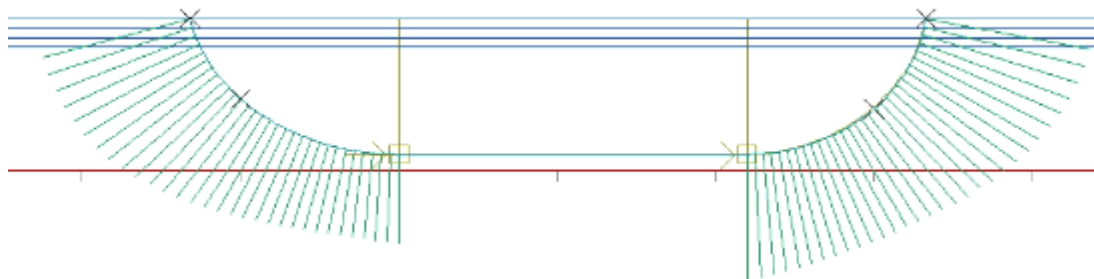


Σχήμα 4.52: FOB παράλληλου τμήματος

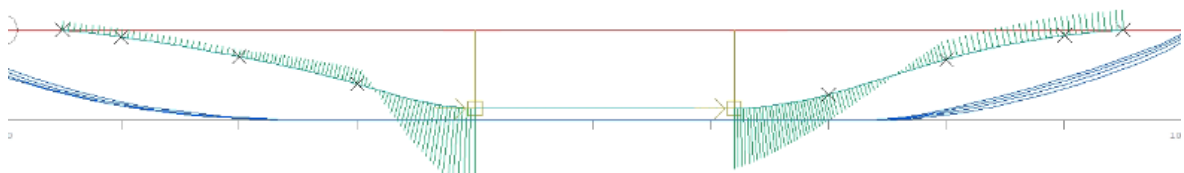
Για την ολοκλήρωση της κατασκευής του FOS θα πρέπει να δημιουργηθούν μερικοί βοηθητικοί ισάλοι στο πάνω μέρος της γάστρας ώστε να κλείνει ομαλά κατά μήκος της χωρίς να δημιουργείται απότομη κλίση. Για το FOB θα πρέπει επίσης τα σημεία του να εφάπτονται στο κάτω μέρος της γάστρας για να κλείνει ομαλά η καμπύλη. Για καθεμία ελέγχεται η ομαλότητά της με εξομάλυνση.



Σχήμα 4.53: Ολοκληρωμένο FOS με ομαλή κλίση στις ισάλους

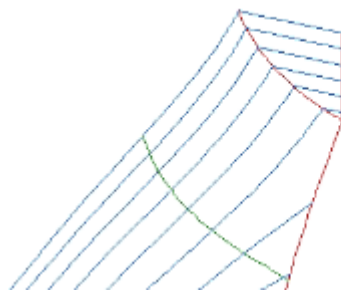


Σχήμα 4.54: Εξομάλυνση του FOS



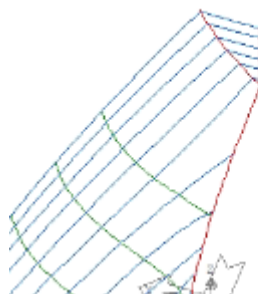
Σχήμα 4.55: Ολοκληρωμένο FOB

Στη σχεδίαση της πρύμνης, εφόσον είναι μορφής 'άβακος' (transom stern), θα πρέπει να σχεδιαστεί το «transom» το οποίο προσθέτει τόσο αντοχή όσο και πλάτος στην πρύμνη. Στην εγκάρσια διατομή τοποθετούνται τρία νέα σημεία με τον κέρσορα πίσω από τον νομέα '0' στην ίδια ευθεία με την πρύμνη. Το τελευταίο σημείο μπορεί και να ξεπερνάει έστω και λίγο την τελευταία ισάλο (στο 28.8 – ύψος κοίλου) χωρίς να δημιουργεί κάποιο θέμα στη σχεδίαση. Φέρνοντας ισάλους πάνω στο «transom» παρατηρείται πώς θα κλείνει το πλοίο σε αυτήν τη θέση.



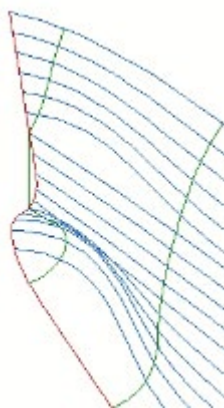
Σχήμα 4.56: Αρχική σχεδίαση transom με λανθασμένη αλλαγή κλίσης

Το παραπάνω αρχικό αποτέλεσμα δεν είναι το επιθυμητό, καθώς όπως παρατηρείται οι ίσαλοι κλείνουν στην πρύμνη προς άλλη κατεύθυνση με άλλη κλίση. Το επιθυμητό είναι να κλείνουν ομαλά χωρίς να αλλάζει η κλίση τους οπότε μεταφέρουμε τα σημεία πιο μέσα κάθε φορά εξετάζοντάς την κλίση τους με την εντολή «Fairing» των 'Waterlines' πάνω στους νομείς. Η εξομάλυνση είναι σταθερή και σωστή καθώς υπάρχουν τρία μόνο σημεία οπότε πάντα η καμπύλη θα έχει σωστή ομαλότητα.



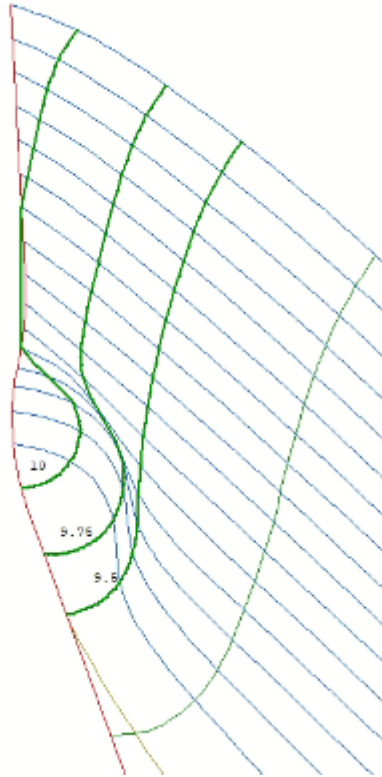
Σχήμα 4.57: Τελική μορφή transom με σωστή κλίση

Το επόμενο στάδιο σχεδίασης είναι η διόρθωση και η εξομάλυνση των νομέων. Για αρχή, μέσω της εντολής «Fairing» δημιουργούνται ίσαλοι σε ένα τυχαίο νούμερο έτσι ώστε να μπορεί να γίνει επεξεργασία στους νομείς καθώς οι ίσαλοι θα γίνονται 'fit' πάνω σε αυτούς μετά από κάθε επεξεργασία. Η πρώτη επεξεργασία στο μέρος της διόρθωσης των νομέων είναι η επιδιόρθωση του νομέα '10'. Η αρχική του μορφή αναγκάζει τις ισάλους να κλείνουν απότομα πάνω σε αυτόν τον νομέα με αποτέλεσμα να έχει μη-ομαλή κλίση.



Σχήμα 4.58: Μη ομαλή κλίση των ισάλων στον νομέα '10'

Οπότε, πρέπει να δημιουργηθεί πρώτα ένας νέος νομέας μεταξύ του νομέα '9.5' και του '10', ο οποίος θα είναι ο '9.75' από την εντολή «Fairing» ώστε να κλείνει σωστά η καμπύλη της ισάλου σε αυτό το σημείο. Ύστερα, ο νέος αυτός νομέας εξομαλύνεται και παράλληλα κατασκευάζεται ο νομέας '10' με το άνω τμήμα του (το κάτω τμήμα του νομέα '10' θεωρείται ότι είναι ο βολβός της πλώρης) να διορθώνεται με τη μετακίνηση των σημείων πιο μέσα όπως παρουσιάζεται στην «Formdata» και τελικά να εξομαλύνεται σε όλο του το μήκος.

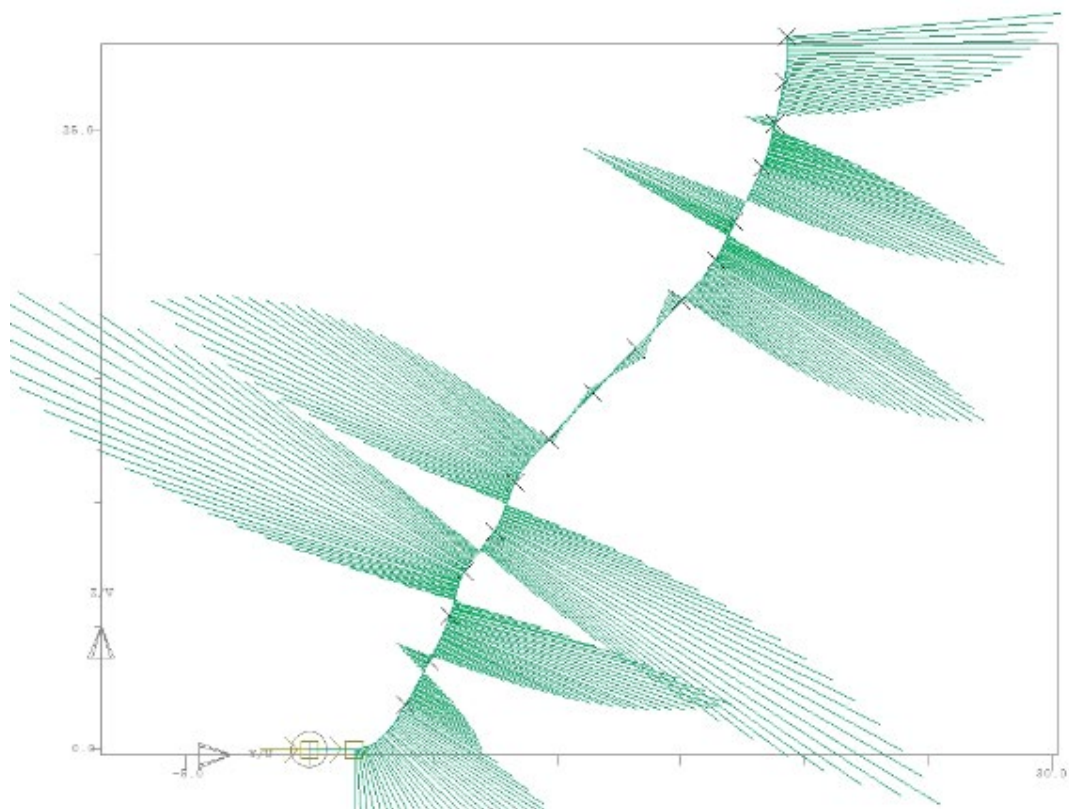


Σχήμα 4.59: Διορθωμένη κλίση ισάλων πάνω στον νομέα '10' και παρουσία του βοηθητικού νομέα '9.75'

Το τελικό στάδιο στη σχεδίαση της γάστρας είναι πρώτον η εξομάλυνση νομέων και δεύτερον η εξομάλυνση των ισάλων. Για να γίνει η διαδικασία της εξομάλυνσης σωστά, θα πρέπει να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ νομέων και ισάλων. Για αρχή, θα γίνει μία πρώτη εξομάλυνση όλων των νομέων ξεχωριστά και ύστερα θα γίνουν 'Fit' οι ίσαλοι πάνω στους νομείς. Έπειτα ελέγχονται τα σημεία των νομέων που περνάνε από εκεί τα waterlines και γίνεται μία δεύτερη επεξεργασία ώστε να είναι και τα waterlines εξομαλυσμένα με σωστό τρόπο (ομαλά). Ουσιαστικά θα εκτελείται ένας κύκλος εξομαλύνσεων μεταξύ αυτών των καμπυλών έτσι ώστε όταν γίνονται τελικά 'Fit' το ένα πάνω στο άλλο να είναι ομαλά εξομαλυσμένα όλες οι καμπύλες.

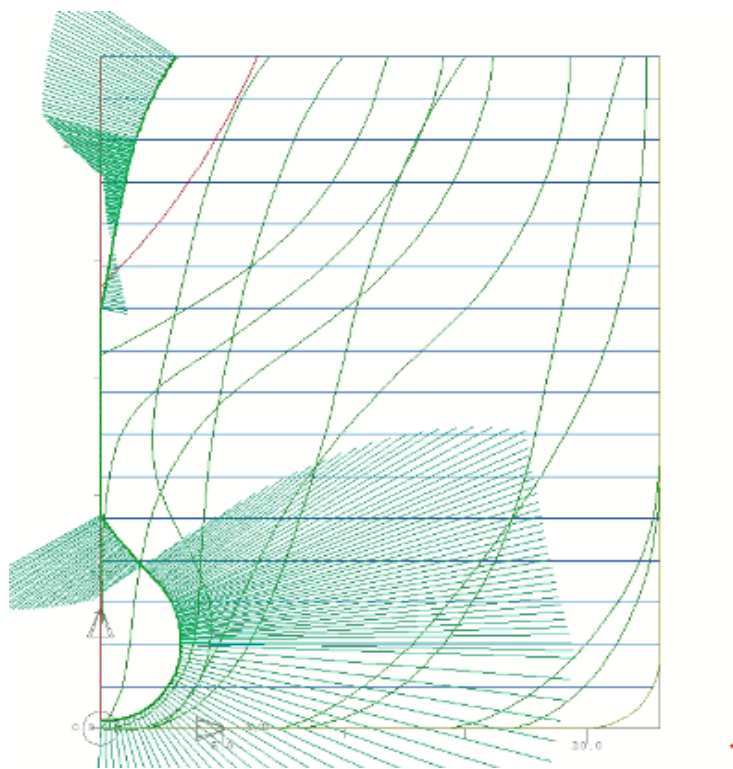
Στους νομείς, η εξομάλυνση γίνεται και με τους δύο τρόπους που αναφέρθηκαν, με μετακίνηση σημείων από την εντολή «Edit» και την χρήση του «Patch and Curve Editor».

Η αρχική τους μορφή σε πολλά σημεία αρχικά εμφανίζεται ως εξής:

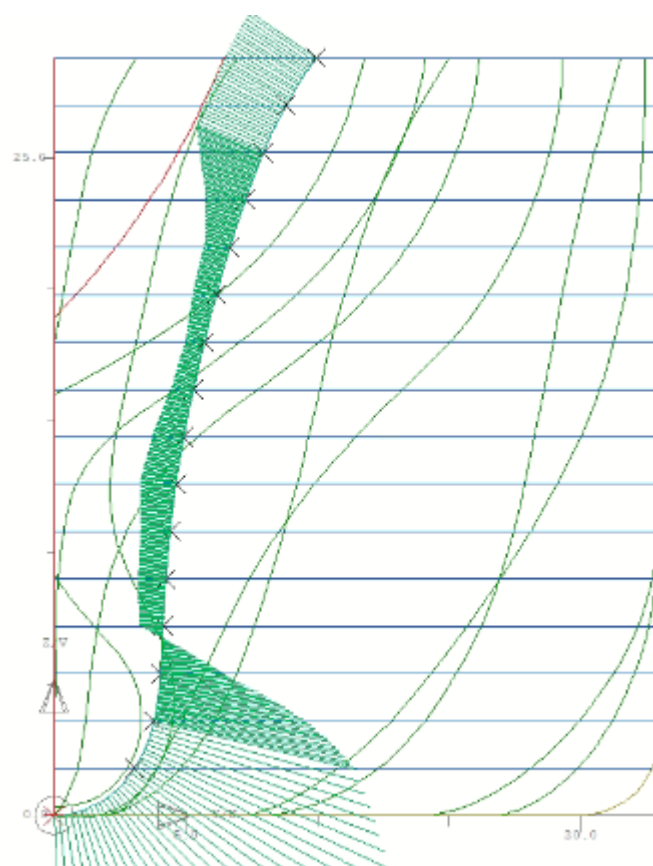


Σχήμα 4.60: Παράδειγμα αρχικής μορφής μη εξομαλυμένου νομέα

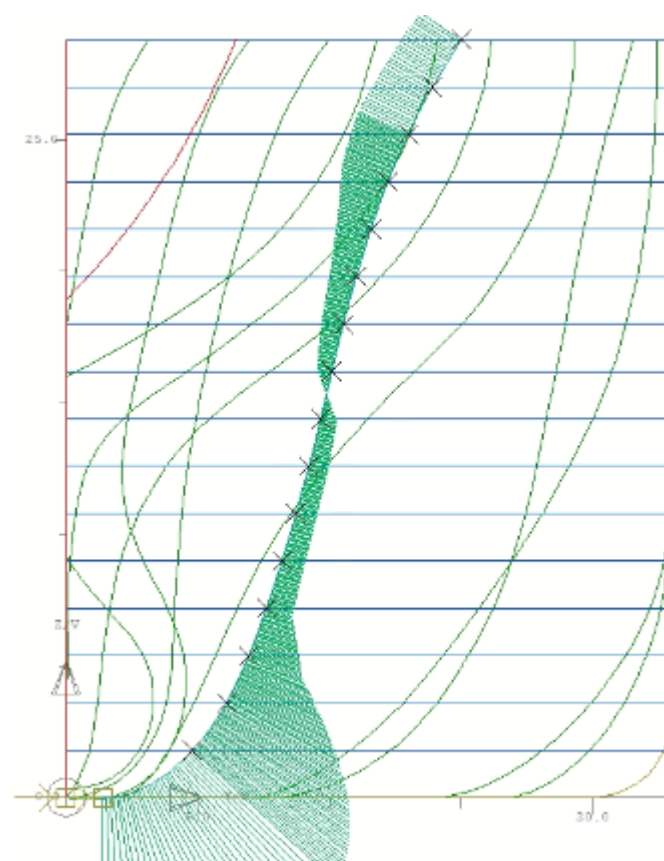
Τελικά, οι νομείς μετά τις εξομαλύνσεις θα έχουν την ακόλουθη μορφή.



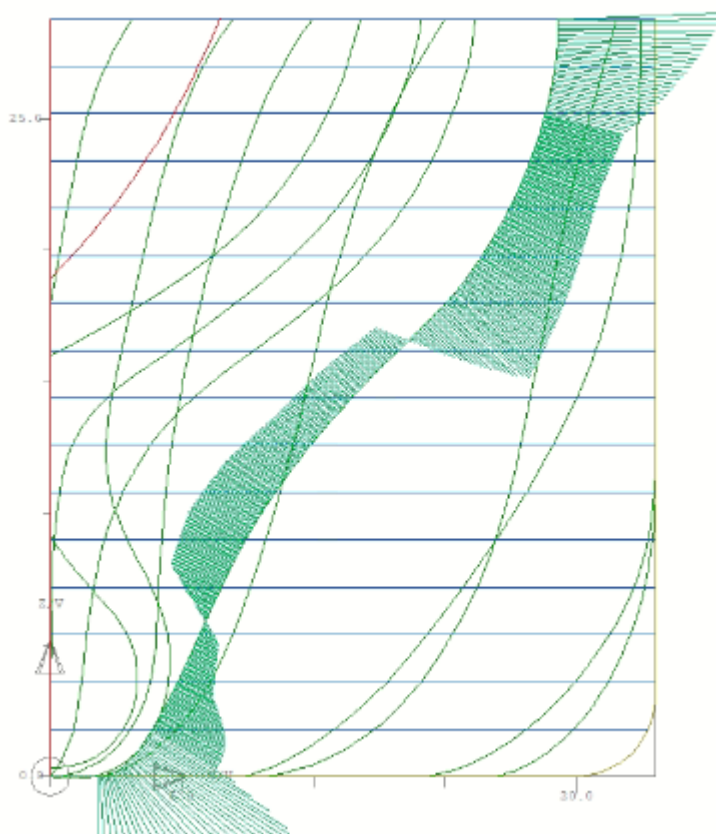
Σχήμα 4.61: Εξομαλυμένος νομέας '10'



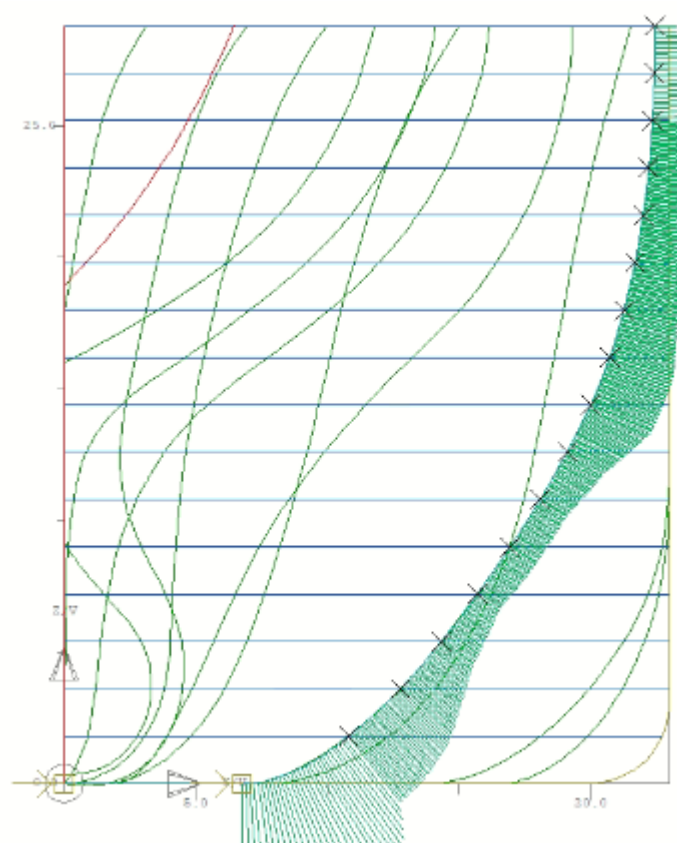
Σχήμα 4.62: Εξομαλυμένος νομέας '9.5'



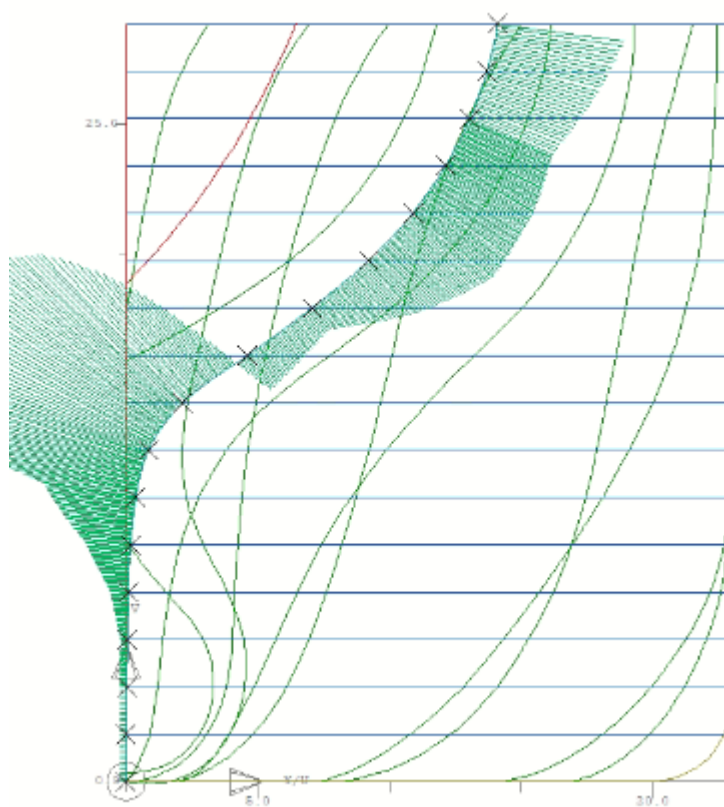
Σχήμα 4.63: Εξομαλυμένος νομέας '9'



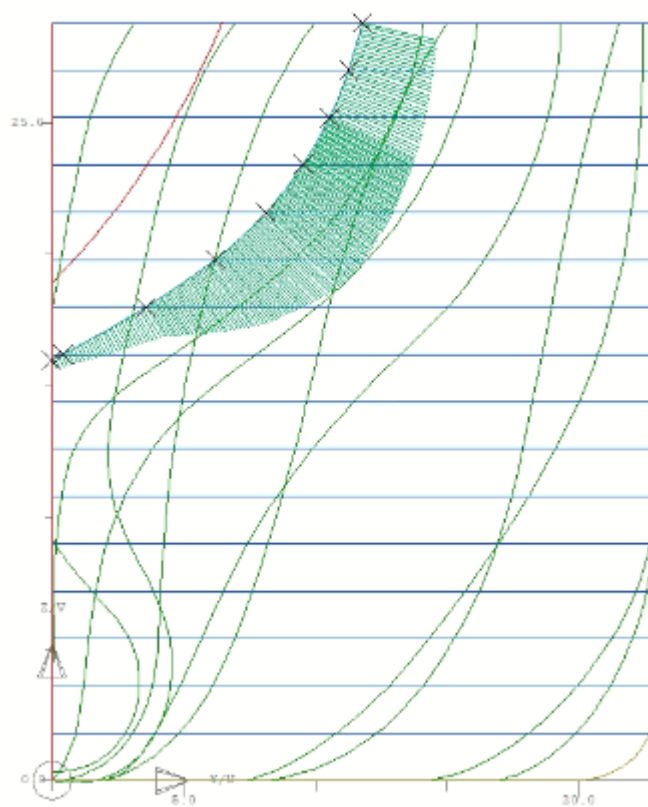
Σχήμα 4.64: Εξομαλυμένος νομέας '1'



Σχήμα 4.65: Εξομαλυμένος νομέας '2'



Σχήμα 4.66: Εξομαλυμένος βοηθητικός νομέας '0.25'



Σχήμα 4.67: Εξομαλυμένος νομέας '0'

Ακολουθώντας, παρουσιάζονται και οι τελικές μορφές των ισάλων ύστερα από τους κύκλους των εξομαλύνσεων. Στην πλώρη και στην πρύμνη, όπως φαίνεται παρακάτω οι ίσαλοι τελειώνουν με μεγάλη κλίση για αυτό και στην εξομάλυνση είναι φυσιολογικό να είναι τα κάθετα διανύσματα τόσο μεγάλα.



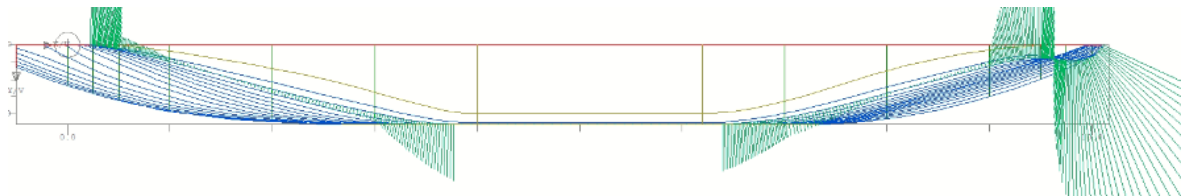
Σχήμα 4.68: 1^ο παράδειγμα εξομάλυνσης ισάλου



Σχήμα 4.69: 2^ο παράδειγμα εξομάλυνσης ισάλου



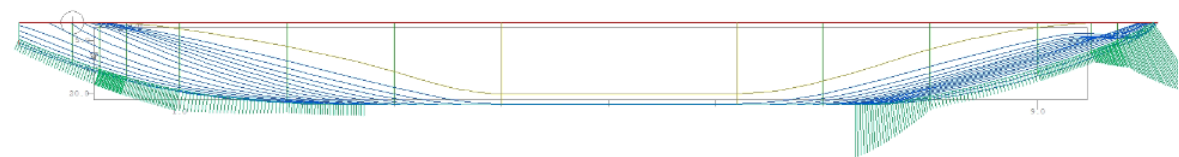
Σχήμα 4.70: 3^ο παράδειγμα εξομάλυνσης ισάλου



Σχήμα 4.71: 4^ο παράδειγμα εξομάλυνσης ισάλου



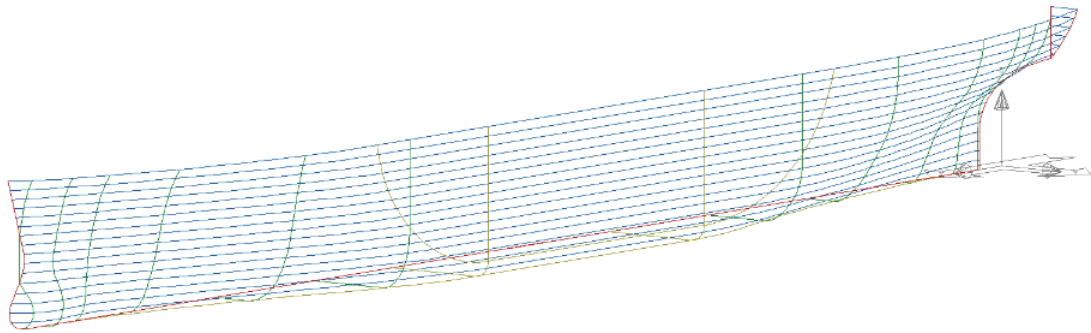
Σχήμα 4.72: 5^ο παράδειγμα εξομάλυνσης ισάλου



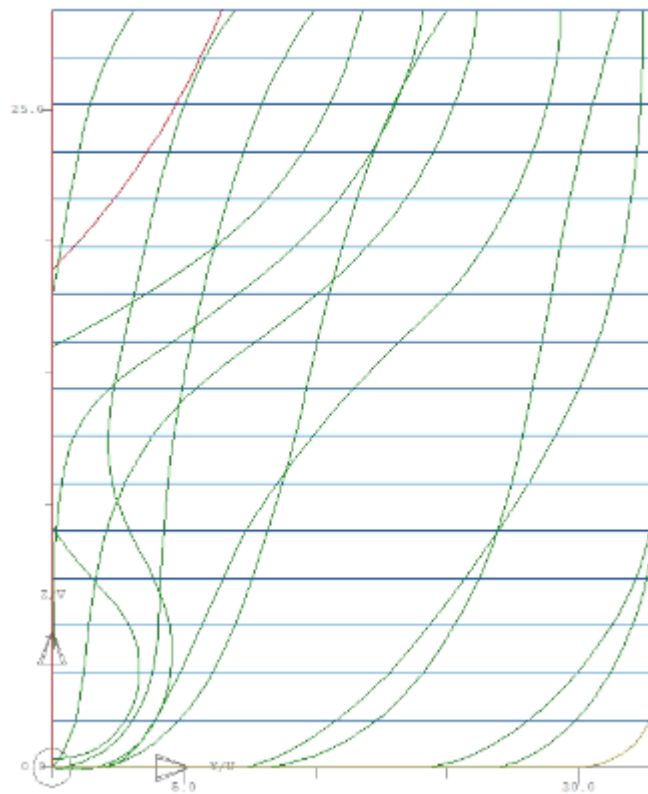
Σχήμα 4.73: 6^ο παράδειγμα εξομάλυνσης ισάλου

4.4 Παρουσίαση και ανάλυση τελικών σχεδίων

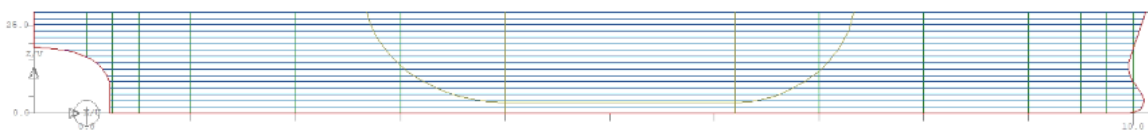
Στο υποκεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα τελικά σχέδια της γάστρας του πλοίου τα οποία προέκυψαν από τη διαδικασία που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα στάδια σχεδίασης.



Σχήμα 4.74: Προβολή ολοκληρωμένου σχεδίου γάστρας σε 3-D όψη



Σχήμα 4.75: Προβολή ολοκληρωμένου σχεδίου γάστρας σε εγκάρσια τομή (Sections)



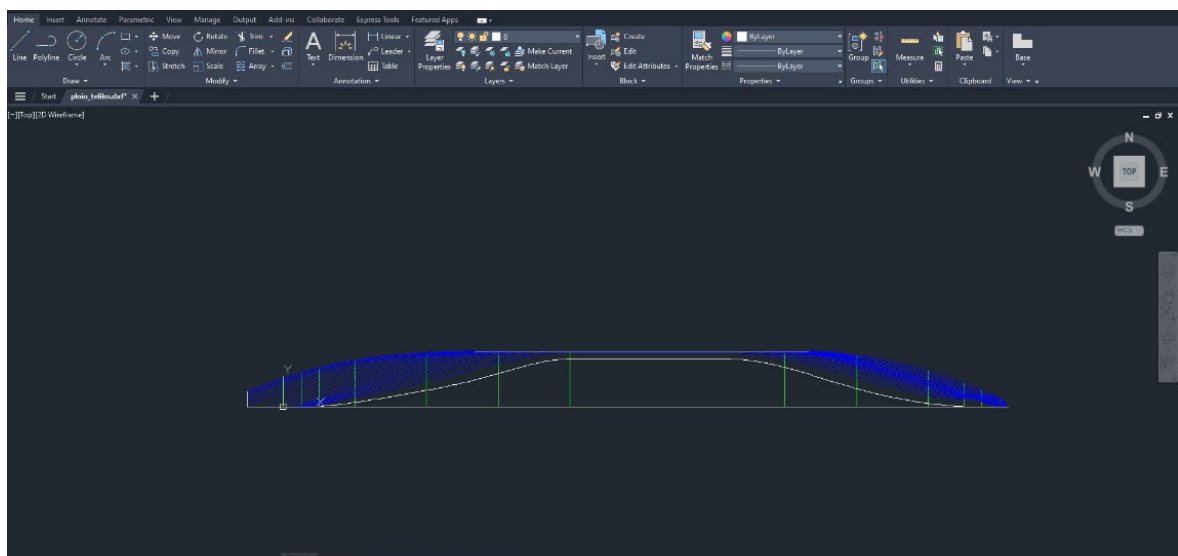
Σχήμα 4.76: Προβολή ολοκληρωμένου σχεδίου γάστρας σε πλαϊνή όψη (Starboard View)



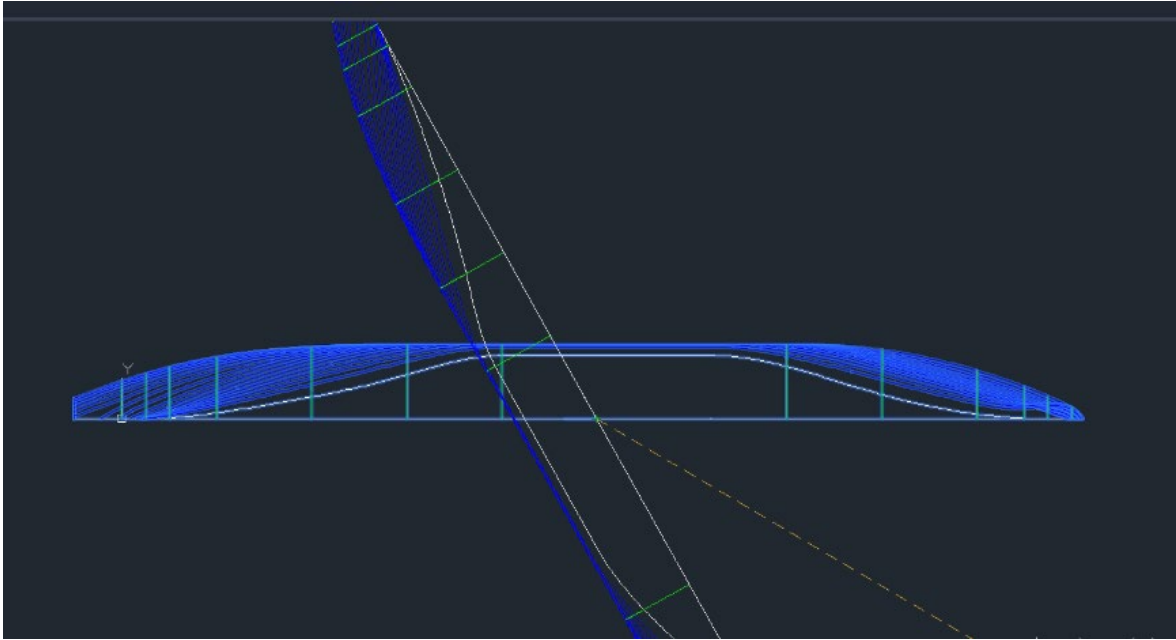
Σχήμα 4.77: Προβολή ολοκληρωμένου σχεδίου γάστρας σε κάτοψη (Keel View)

Για την περάτωση του σχεδίου, θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό AutoCAD το οποίο θα δημιουργήσει τη συνολική απεικόνιση της γάστρας του πλοίου.

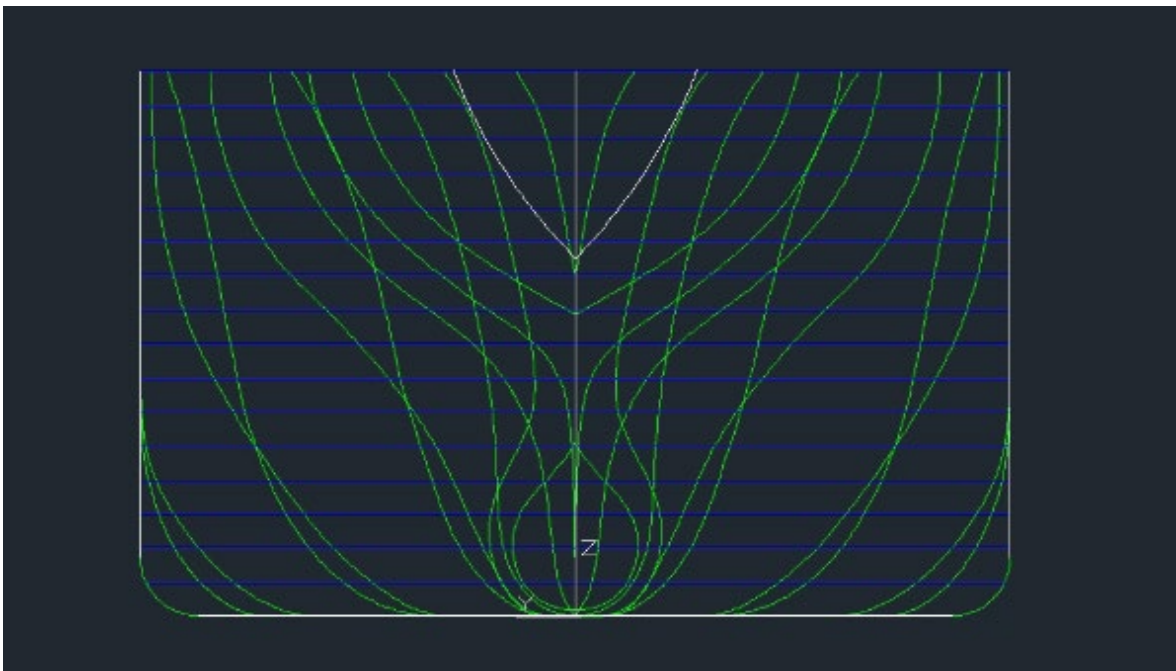
Πρώτα, θα πρέπει να μετονομαστεί το αρχείο με κατάληξη '.dxf' για να μπορέσει να το διαβάσει το AutoCAD. Στην συνέχεια, επιλέγεται ολόκληρο το σχέδιο της γάστρας και χρησιμοποιείται η εντολή «Mirror». Στο σχέδιο πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας κύριος άξονας ώστε να σχηματιστεί το ίδιο και από την άλλη πλευρά. Τέλος θα πρέπει να γυρίσει το σχέδιο 180° με τον κέρσorra και ύστερα γίνεται 'Accept'.



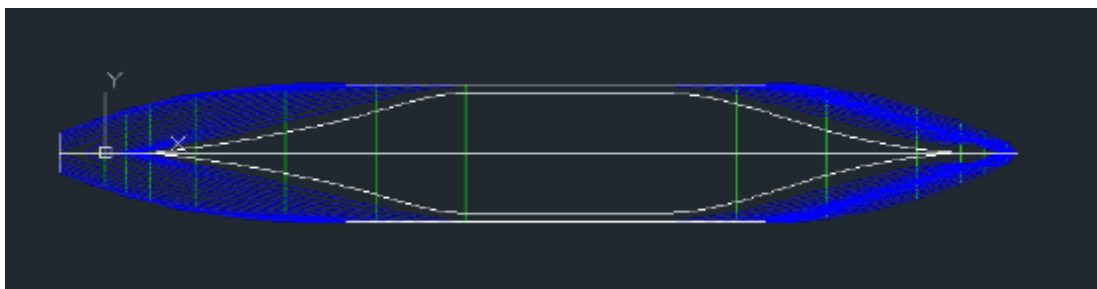
Σχήμα 4.78: Περιβάλλον του AutoCAD



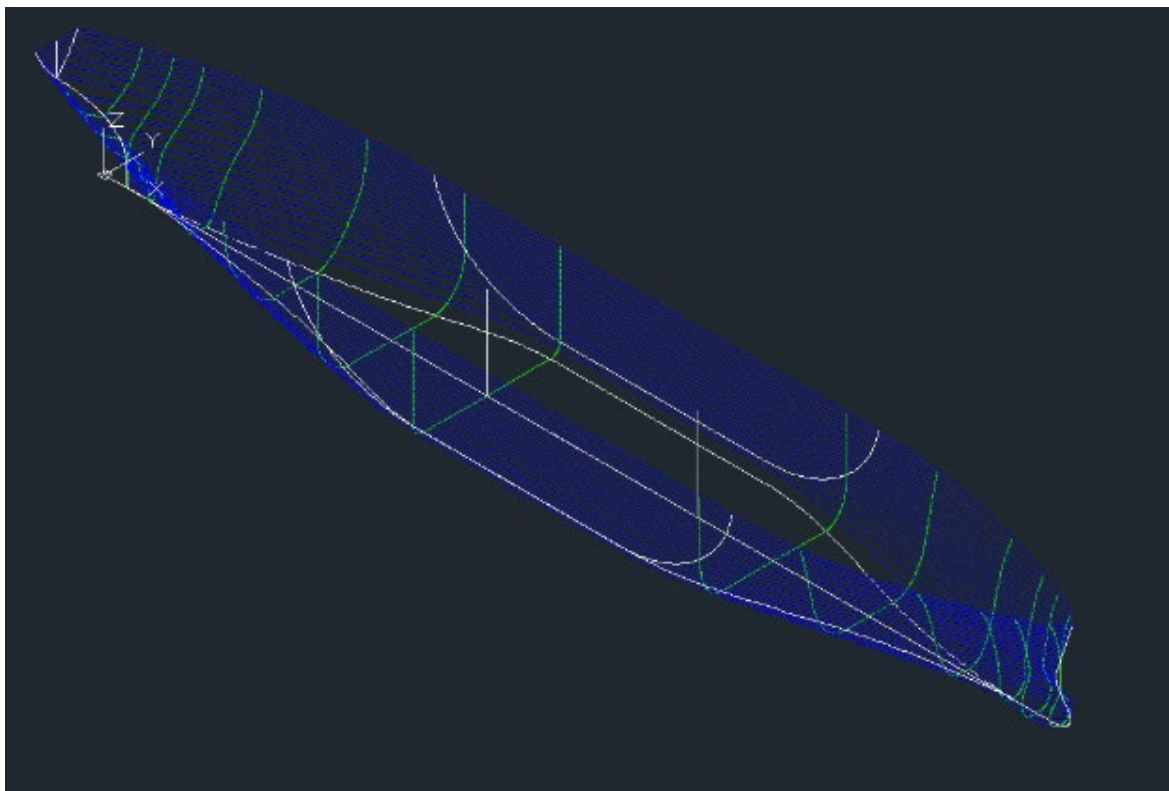
Σχήμα 4.79: Επιλογή του άξονα και περιστροφή της γάστρας κατά 180°



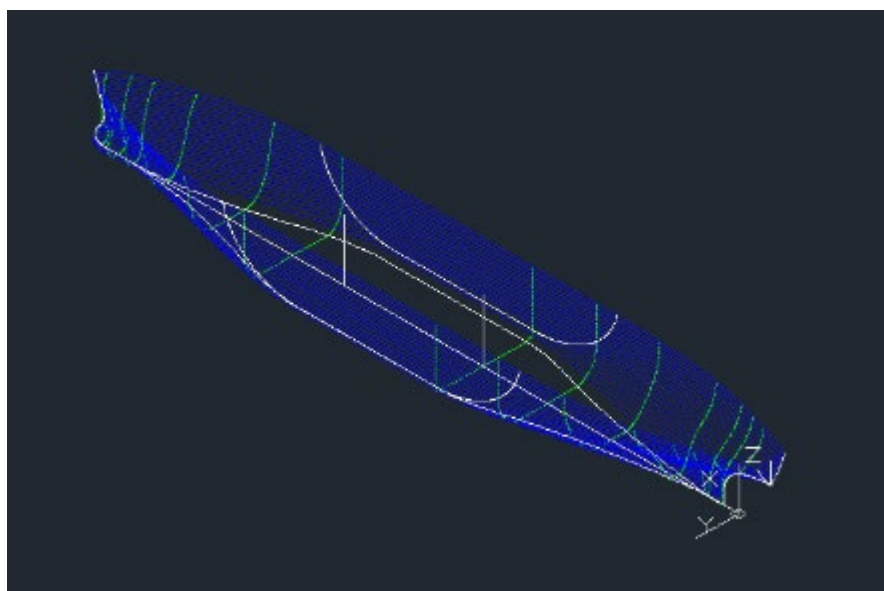
Σχήμα 4.80: Πρόοψη ολοκληρωμένου σχεδίου της γάστρας



Σχήμα 4.81: Κάτοψη ολοκληρωμένου σχεδίου της γάστρας



Σχήμα 4.82: 3-D όψη ολοκληρωμένου σχεδίου



Σχήμα 4.83: Απεικόνιση 3-D του κάτω μέρους της γάστρας

5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ

Παλιότερα, στη ναυπηγική βιομηχανία τα πλοία κατασκευάζονταν από ξύλο. Το ξύλο όμως ήταν λιγότερο κατάλληλο για ναυπήγηση πλοίων επειδή δεν είναι ανθεκτικό ή ισχυρό. Μόλις κυκλοφόρησαν στην αγορά μέταλλα όπως ο χάλυβας και το αλουμίνιο, οι ναυπηγοί διαπίστωσαν ότι αυτά ήταν εξαιρετικά υλικά για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων ενός πλοίου. Σήμερα, τα πιο συνηθισμένα μέταλλα που χρησιμοποιούνται είναι ο χάλυβας, ο χαλκός και τα κράματά του, καθώς και τα κράματα αλουμινίου. Επιπλέον, συχνά εφαρμόζονται ανοξείδωτοι χάλυβες, το τιτάνιο, το μαγνήσιο και τα κράματά του, καθώς και το ουράνιο. Καθένα από αυτά τα υλικά αντιδρά διαφορετικά όταν εκτίθεται σε περιβάλλον υψηλής διάβρωσης, όπως το θαλασσινό νερό. Ακολουθεί ανάλυση της συμπεριφοράς των μετάλλων που βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στον τομέα της ναυπηγικής.

5.1 Υλικά κατασκευής γάστρας

5.1.1 Χάλυβας

Οι χάλυβες είναι κράματα σιδήρου (Fe) και άνθρακα (C), με περιεκτικότητα σε άνθρακα μικρότερη από 1,8%. Στη σύνθεσή τους προστίθενται διάφορα άλλα στοιχεία σε ποσοστά που συνήθως δεν υπερβαίνουν το 5%. Βασικά συστατικά του χάλυβα είναι ο άνθρακας, σε περιεκτικότητα 0,2% έως 0,7%, καθώς και το πυρίτιο (Si), το οποίο βρίσκεται σε αναλογίες 0,1% έως 0,7%, φτάνοντας ακόμα και το 4% σε εξειδικευμένους χάλυβες. Η ποσότητα του άνθρακα είναι καθοριστικός παράγοντας για τις ιδιότητες του χάλυβα. Με την αύξηση του ποσοστού άνθρακα, ενισχύεται η σκληρότητα και η αντοχή του υλικού στην εφελκυστική τάση, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η πλαστικότητα και η συνεκτικότητά του. Αντίθετα, η μείωση της περιεκτικότητας σε άνθρακα βελτιώνει την ικανότητα του χάλυβα για συγκόλληση. Το μαγγάνιο (Mn) προστίθεται σε ποσοστά από 0,3% έως 0,8%, ενώ σε χάλυβες εξαιρετικά υψηλής σκληρότητας και αντοχής μπορεί να φτάσει το 12% ή και το 15%. Το μαγγάνιο συμβάλλει στη βελτίωση της συγκολλησιμότητας, ιδίως σε κράματα με περιεκτικότητα άνθρακα κάτω από 0,15%. Επιπλέον, πολλοί ειδικοί χάλυβες περιέχουν χρώμιο (Cr), νικέλιο (Ni), μολυβδαίνιο (Mo) και άλλα στοιχεία, προκειμένου να αποκτήσουν συγκεκριμένες ιδιότητες που ανταποκρίνονται σε εξειδικευμένες ανάγκες. Για την τροποποίηση των μηχανικών και φυσικοχημικών ιδιοτήτων των χαλύβων προστίθενται μικρές ποσότητες από συγκεκριμένα στοιχεία κραμάτωσης. Βάσει των μηχανικών χαρακτηριστικών και της χημικής τους σύστασης, οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, όπως οι τύποι A, B, D και E. Αυτά τα γράμματα υποδηλώνουν την ποιότητα του υλικού και την αύξηση της σκληρότητας, δηλαδή την ικανότητα αντίστασης στη διάδοση ρωγμών. Επιπλέον, οι χάλυβες ταξινομούνται ανάλογα με την ελάχιστη τάση διαρροής τους, με τυπικές τιμές να είναι 235 MPa, 315 MPa και 355 MPa. Αυτές οι τιμές πρέπει να καταγράφονται στα κατασκευαστικά σχέδια και όταν συνδυάζονται με τις κατηγορίες χαλύβων, αποτυπώνονται ως A, AH32 και AH36 για τον τύπο A, αντίστοιχα. Οι χάλυβες που φέρουν μόνο γράμμα ανήκουν στην κατηγορία των κοινών χαλύβων, ενώ όσοι έχουν συνδυασμό γραμμάτων και αριθμών αναφέρονται ως χάλυβες υψηλής αντοχής. Σπανιότερα, οι χάλυβες υψηλής αντοχής αναγνωρίζονται με τους κωδικούς HT32 και HT36.

Οι ποιότητες των ναυπηγικών χαλύβων συνήθους και υψηλής αντοχής, περιλαμβάνοντας τα επίπεδα δυσθραυστότητας και τις επιτρεπόμενες εφαρμογές τους στις ναυπηγικές κατασκευές παρουσιάζονται παρακάτω.

1. Χάλυβες Ανθρακούχοι (Carbon Steels): Οι ανθρακούχοι χάλυβες είναι κράματα σιδήρου και άνθρακα με μικρό ποσοστό άλλων στοιχείων και χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες:
 - Χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (0,05-0,3% C): Είναι εύκαμπτοι και έχουν εξαιρετική δυνατότητα συγκόλλησης, αλλά είναι λιγότερο ανθεκτικοί στην εφελκυστική δύναμη.
 - Χάλυβες μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα (0,3-0,6% C): Διαθέτουν καλή ισορροπία μεταξύ σκληρότητας και αντοχής.
 - Χάλυβες υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (0,6-1% C): Είναι σκληροί και ανθεκτικοί στη φθορά, αλλά λιγότερο ευέλικτοι και πιο εύθραυστοι.
2. Οι κοινοί χάλυβες (mild steels) είναι χάλυβες στους οποίους προστίθενται μόνο ελάχιστες ποσότητες στοιχείων για να βελτιωθούν οι ιδιότητες του κράματος. Η αντοχή τους και η εφαρμογή τους καθορίζεται κυρίως από την περιεκτικότητα σε άνθρακα. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες κοινών χαλύβων, καθεμία από τις οποίες προορίζεται για συγκεκριμένες εφαρμογές.
 - Κατηγορία A: Οι χάλυβες αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται ευρέως για γενικές χρήσεις, κυρίως για ελάσματα πάχους έως 20 mm. Μπορούν επίσης να εφαρμοστούν σε πάχη μεταξύ 20 mm και 50 mm, αλλά όχι σε περιοχές που δέχονται μεγάλες καταπονήσεις, όπως ο πυθμένας, το κύριο κατάστρωμα και ο ζωστήρας του πλοίου.
 - Κατηγορία B: Αυτή η κατηγορία χαλύβων είναι κατάλληλη για ελάσματα με πάχος μεγαλύτερο από 25 mm και για ειδικές περιοχές, όπως το κυρτό τμήμα της γάστρας και ο ζωστήρας, με πάχος έως 19 mm.
 - Κατηγορία D: Οι χάλυβες κατηγορίας D χρησιμοποιούνται για πάχη μέχρι 35 mm, ενώ σε ειδικές εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιηθούν για πάχη έως 23 mm.
 - Κατηγορίες CS και E: Οι χάλυβες αυτής της κατηγορίας προορίζονται για γενική χρήση σε ελάσματα πάχους έως 50 mm.

Αυτές οι κατηγορίες κοινών χαλύβων καλύπτουν διαφορετικές ανάγκες και εφαρμόζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου και τις καταπονήσεις που θα υποστεί το υλικό.

3. Χάλυβες υψηλής αντοχής (High Strength Steels): Οι χάλυβες υψηλής αντοχής είναι μια εξειδικευμένη κατηγορία χαλύβων που χαρακτηρίζονται από την υψηλή αντοχή τους σε μηχανικές καταπονήσεις, καθώς και τη δυνατότητά τους να διατηρούν καλή πλαστικότητα και ευκολία κατεργασίας. Αυτού του είδους οι χάλυβες περιέχουν βασικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα το μαγγάνιο, το πυρίτιο, το νικέλιο, το χρώμιο και το μολυβδαίνιο. Αυτά τα κράματα αυξάνουν ολοένα και περισσότερο την αντοχή του χάλυβα και του δίνουν τη δυνατότητα να ενισχύσουν ταυτόχρονα και την ανθεκτικότητά του, περιορίζοντας την ίδια στιγμή και την πλαστικότητά του.

Η πιο θεμελιώδης υποκατηγορία των χαλύβων υψηλής αντοχής θεωρείται εκείνη των μικροκραματοποιημένων χαλύβων υψηλής αντοχής, ή αλλιώς και High Tensile Low Alloy Steels (HSLA). Περιέχουν μικρές ποσότητες στοιχείων όπως το βανάδιο, το νικέλιο και το μολυβδαίνιο, που αυξάνουν την αντοχή χωρίς να αυξάνουν σημαντικά το βάρος ή να μειώνουν την πλαστικότητα. Χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στη ναυπηγική βιομηχανία.

Όσον αφορά τον τρόπο, σύμφωνα με τον οποίο ο χάλυβας συμπεριφέρεται στο θαλάσσιο περιβάλλον, αυτός υπόκειται σε έντονη διάβρωση όταν βρίσκεται στην επιφάνεια όπου συνυπάρχουν αέρας, μέταλλο και νερό. Σε αυτήν την περιοχή, η αυξημένη συγκέντρωση οξυγόνου ενισχύει τη διαδικασία της οξειδωσης. Αντιθέτως, όταν το υλικό είναι πλήρως βυθισμένο, η μειωμένη πρόσβαση σε οξυγόνο περιορίζει τη διάβρωση. Η κίνηση του νερού αυξάνει τη διάβρωση, καθώς η ταχύτητα του υγρού αφαιρεί τα προϊόντα οξειδωσης (σκουριά), επιταχύνοντας τη δημιουργία νέας. Ο χάλυβας, λόγω της χαμηλής του θέσης στη γαλβανική σειρά μετάλλων, παρουσιάζει αυξημένο ρυθμό διάβρωσης όταν έρχεται σε επαφή με μέταλλα όπως ο ορείχαλκος, εξαιτίας της ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Η παρουσία μικροοργανισμών μπορεί επίσης να επιδεινώσει τη διάβρωση του χάλυβα.

Παράγοντες όπως η διάρκεια παραμονής του πλοίου σε κατάσταση ερματισμού, η υγρασία στα κενά αμπάρια, η ποιότητα και ο τύπος προστατευτικού επιστρώματος, η προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας, η συντήρηση των συστημάτων προστασίας και η συχνότητα καθαρισμού των χώρων αυτών, επηρεάζουν τον ρυθμό διάβρωσης. Σε ξηρό περιβάλλον, η διάβρωση είναι ελάχιστη. Ωστόσο, η παρουσία υγρασίας και αλάτων σε θαλάσσιες συνθήκες επιταχύνει τη διάβρωση σε επίπεδα αντίστοιχα με αυτά του πλήρως βυθισμένου χάλυβα.

5.1.2 Χαλκός

Ο χαλκός είναι ένα από τα παλαιότερα και πιο χρήσιμα μέταλλα, γνωστό για τις εξαιρετικές του ιδιότητες και την ευρεία χρήση του σε διάφορους τομείς, όπως η ναυπηγική. Σχετικά με τα χαρακτηριστικά του, ισχύει ότι ο χαλκός είναι ένα υλικό ιδιαίτερα ανθεκτικό στη διάβρωση, ειδικά όταν έρχεται σε επαφή με το θαλασσινό νερό. Αυτό οφείλεται στην ιδιότητά του να μπορεί να σχηματίζει ένα επιπλέον στρώμα προστασίας, το οποίο εμποδίζει σε μεγάλο βαθμό την επιπλέον φθορά. Επιπρόσθετα, η ευκολία με την οποία μπορεί να διαμορφωθεί ο χαλκός είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα, καθώς μπορεί να λάβει περίπλοκες μορφές χωρίς να σπάσει ή να χαλάσει η δομή του. Επίσης, ο χαλκός χαρακτηρίζεται από ανθεκτικότητα στις διάφορες μεταβολές της θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, ο χαλκός διατηρεί τη δομική του σταθερότητα σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, γεγονός που τον καθιστά κατάλληλο για χρήση σε περιβάλλοντα με ακραίες θερμοκρασίες. Όσον αφορά τη χρήση του χαλκού στη ναυπηγική, ισχύει ότι στην παραδοσιακή ναυπηγική ο χαλκός έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την επένδυση του κάτω μέρους του πλοίου, δηλαδή της γάστρας (hull). Η επένδυση χαλκού βοήθησε στην προστασία της γάστρας από τη διάβρωση, τους θαλάσσιους μικροοργανισμούς και την προσκόλληση φυκιών και άλλων θαλάσσιων οργανισμών. Αυτό μείωνε την τριβή με το νερό, αυξάνοντας την απόδοση του πλοίου.

Ο χαλκός χρησιμοποιείται συχνά σε κράματα για διάφορα εξαρτήματα πλοίων. Ειδικότερα, κράματα όπως ο ορείχαλκος (κράμα χαλκού και ψευδαργύρου) και ο μπρούντζος (κράμα χαλκού και κασσίτερου) είναι δημοφιλή στη ναυπηγική, καθώς προσφέρουν εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση και μηχανικές ιδιότητες. Αυτά τα κράματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή βαλβίδων, αντλιών, προπέλας και άλλων εξαρτημάτων πλοίων που έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό. Λόγω της υψηλής αγωγιμότητάς του, ο χαλκός χρησιμοποιείται ευρέως στα ηλεκτρικά συστήματα των πλοίων. Τα καλώδια από χαλκό διασφαλίζουν αξιόπιστη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας και μειώνουν τον κίνδυνο βραχυκυκλωμάτων ή βλαβών. Τέλος, ο χαλκός και τα κράματά του χρησιμοποιούνται επίσης σε συστήματα σωληνώσεων, ιδιαίτερα σε συστήματα ψύξης και υδραυλικά συστήματα πλοίων. Οι χάλκινοι σωλήνες προσφέρουν εξαιρετική ανθεκτικότητα στην

πίεση και στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό, γεγονός που τους καθιστά ιδανικούς για τέτοιες εφαρμογές. Τα κύρια πλεονεκτήματα του χαλκού στην ναυπηγική είναι τα ακόλουθα:

- Μείωση της διάβρωσης: Ο χαλκός και τα κράματά του εμφανίζουν πολύ υψηλή αντίσταση στη θαλάσσια διάβρωση, ειδικά σε συνθήκες επαφής με θαλασσινό νερό, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής τους.
- Αντοχή στο θαλασσινό νερό: Ο χαλκός είναι από τα πλέον ανθεκτικά μέταλλα στο αλμυρό νερό, διατηρώντας την ανθεκτικότητά του σε δύσκολες συνθήκες.
- Βελτίωση απόδοσης: Η μείωση της τριβής και της αντίστασης του νερού, μέσω της επένδυσης χαλκού ή των αντιρρυπαντικών χρωμάτων, συμβάλλει στην καλύτερη κατανάλωση καυσίμων και αποδοτικότητα του πλοίου.

5.1.3 Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο είναι ένα από τα δημοφιλέστερα και χρήσιμα μέταλλα στη ναυπηγική βιομηχανία, κυρίως λόγω των εξαιρετικών του ιδιοτήτων, όπως την ελαφρότητα, την ανθεκτικότητα στη διάβρωση και την ευκολία κατασκευής. Οι βασικές ιδιότητες που το χαρακτηρίζουν είναι οι εξής:

- Χαμηλό βάρος: Το αλουμίνιο είναι αρκετά ελαφρύ μέταλλο και περίπου τρεις φορές ελαφρύτερο από τον χάλυβα, κάτι που προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στη ναυπηγική. Μειώνει το βάρος του πλοίου, βελτιώνει την απόδοση, μειώνει την κατανάλωση καυσίμου και αυξάνει τη χωρητικότητα φορτίου.
- Αντοχή στη διάβρωση: Το αλουμίνιο αντιστέκεται πολύ καλά στη διάβρωση, ειδικά σε θαλάσσιο περιβάλλον. Δημιουργεί ένα φυσικό οξειδίο στην επιφάνειά του που το προστατεύει από την περαιτέρω φθορά. Αυτό το καθιστά ως ιδανικό υλικό για χρήση σε θαλάσσιες εφαρμογές, ιδιαίτερα σε περιοχές του πλοίου που έρχονται σε επαφή με νερό.
- Υψηλή αναλογία αντοχής προς βάρος: Αν και το αλουμίνιο είναι πολύ ελαφρύ, έχει καλή αντοχή για το βάρος του. Η αναλογία αντοχής προς το βάρος του αλουμινίου το καθιστά εξαιρετικά αποδοτικό υλικό για δομικές εφαρμογές.
- Θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα: Το αλουμίνιο έχει καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για χρήση σε εξαρτήματα που εκτίθενται σε θερμότητα ή απαιτούν ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- Ανακυκλωσιμότητα: Το αλουμίνιο είναι εύκολα ανακυκλώσιμο και η επαναχρησιμοποίησή του δεν υποβαθμίζει τις φυσικές του ιδιότητες, γεγονός που το καθιστά φιλικό προς το περιβάλλον και βιώσιμο υλικό στη ναυπηγική.
- Ευκολία επεξεργασίας: Το αλουμίνιο είναι εύκολο στην επεξεργασία και τη διαμόρφωση. Μπορεί να κοπεί και να μορφοποιηθεί σε διάφορα σχήματα χωρίς να χάσει την ανθεκτικότητά του.

Το αλουμίνιο, δεν βρίσκει εκτενή εφαρμογή στην κύρια δομή της γάστρας των bulk carriers λόγω της σχετικά χαμηλότερης μηχανικής αντοχής και του υψηλότερου κόστους σε σύγκριση με τον ναυπηγικό χάλυβα, παρόλα αυτά εμφανίζει σημαντικές εφαρμογές σε επιλεγμένα τμήματα του πλοίου. Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται για την κατασκευή ναυτιλιακών συστημάτων και πλατφορμών, καθώς και εξαρτημάτων που έρχονται σε επαφή με θαλασσινό νερό, όπως εξαρτήματα των κινητήρων και συστημάτων ψύξης.

Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ευρέως στις υπερκατασκευές (superstructures), σε θυρίδες αμπαριών, καταπακτές, καθώς και σε ελαφριά βοηθητικά εξαρτήματα, όπου η μείωση βάρους αποτελεί κύρια προτεραιότητα. Επίσης, η χρήση του συμβάλλει στη

μείωση του εκτοπίσματος, στοιχείο σημαντικό για την εξοικονόμηση καυσίμου και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

5.1.4 Ανοξειδωτος χάλυβας

Ο ανοξειδωτος χάλυβας είναι ένα κράμα που αποτελείται από σίδηρο, άνθρακα και χρώμιο, με την περιεκτικότητα του χρωμίου να ανέρχεται τουλάχιστον στο 10,5%. Το χρώμιο σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα τριοξειδίου του χρωμίου (Cr_2O_3), το οποίο προσφέρει προστασία στο μέταλλο από οξείδωση και διάβρωση. Εκτός από το χρώμιο, οι ανοξειδωτοι χάλυβες μπορεί να περιλαμβάνουν πρόσθετα στοιχεία όπως νικέλιο, μολυβδαίνιο και μαγγάνιο. Η παραγωγή ανοξειδωτου χάλυβα πραγματοποιείται σε ηλεκτρικούς φούρνους μέσω τήξης μεταλλικών απορριμμάτων (σκραπ), σιδηροκραμάτων (π.χ. σιδηροχρώμιο, σιδηρονικέλιο) και άλλων μεταλλικών προσμίξεων. Ο ανοξειδωτος χάλυβας χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αντοχή στη διάβρωση, είτε για λόγους οικονομικής αποδοτικότητας (π.χ. στη χημική βιομηχανία), είτε για λόγους αισθητικής (π.χ. στην αρχιτεκτονική). Σε σύγκριση με τους συμβατικούς χάλυβες, ο ανοξειδωτος χάλυβας προσφέρει σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση και υψηλότερη μηχανική αντοχή. Ωστόσο, λόγω της σκληρότητάς του, είναι πιο δύσκολο να υποστεί επεξεργασία. Επιπλέον, η θερμική του αγωγιμότητα είναι χαμηλότερη από εκείνη των κοινών χαλύβων.

Βέβαια, αυτού του είδους οι χάλυβες παρουσιάζουν αλλοίωση στο επίπεδο συγκολλήσεων. Πιο αναλυτικά, το πρόβλημα αυτό αφορά τη μείωση της αντίστασης έναντι στη διάβρωση που παρουσιάζει το μέρος που γίνεται η συγκόλληση. Αυτού του είδους η φθορά οφείλεται στο γεγονός ότι τα ελάσματα μετάλλου σε πολύ μικρό ποσοστό, χάνουν την περιεκτικότητά τους σε χρώμιο, με αποτέλεσμα το μέταλλο να είναι πιο εύκολο να διαβρωθεί. Έτσι λοιπόν, ο ανοξειδωτος χάλυβας προτιμάται κυρίως για την κατασκευή εξοπλισμού και ελασμάτων σε περιοχές του πλοίου όπως είναι για παράδειγμα το κατάστρωμα.

5.2 Δομική διάβρωση και μέτρα πρόληψης στη γάστρα πλοίων ξηρού φορτίου

Διάβρωση (corrosion) καλείται η διαδικασία αλληλεπίδρασης ενός μετάλλου με το περιβάλλον του, που οδηγεί σε μεταβολές των ιδιοτήτων του και συνήθως στην υποβάθμιση της λειτουργίας του ίδιου του μετάλλου, του περιβάλλοντος ή του συστήματος στο οποίο αυτό ανήκει.

Η διάβρωση αποτελεί την κύρια αιτία φθοράς στα πλοία, μειώνοντας το πάχος των ελασμάτων και άλλων στοιχείων, γεγονός που προκαλεί αύξηση των τάσεων και μείωση της αντοχής της κατασκευής. Ταυτόχρονα, αυξάνεται η τραχύτητα στα ύφαλα της γάστρας, με συνέπεια την αύξηση της αντίστασης τριβής και την κατανάλωση περισσότερης ενέργειας για την πρόωση του πλοίου. Ανάλογα με τον τρόπο που συντελείται, η διάβρωση μπορεί να είναι είτε ηλεκτροχημική (electrochemical corrosion) είτε χημική (chemical corrosion). Στη χημική διάβρωση, το μέταλλο αντιδρά με ουσίες του περιβάλλοντος, χωρίς την παρουσία υγρού ηλεκτρολύτη. Αντίθετα, η ηλεκτροχημική διάβρωση συμβαίνει όταν το μέταλλο υποβάλλεται σε χημικές αντιδράσεις συνοδευόμενες από ηλεκτρικό ρεύμα και είναι πιο έντονη σε σύγκριση με τη χημική, καθώς έχει υψηλότερη ενεργειακή και χημική απόδοση. Η ηλεκτροχημική διάβρωση μπορεί να προκληθεί όταν δύο διαφορετικά μέταλλα, όπως ο σίδηρος και ο χαλκός, βρεθούν σε ένα διάλυμα χλωριούχου νατρίου, που δρα ως ηλεκτρολύτης.

Το ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται μεταξύ του ενός μετάλλου που ονομάζεται κάθοδος και του άλλου, που ονομάζεται άνοδος, όπου παρατηρείται φθορά του μετάλλου. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ηλεκτρόλυση. Η διάβρωση μπορεί να συμβεί και μεταξύ δύο ελασμάτων του ίδιου μετάλλου, όταν υπάρχει διαφορά στην ποιότητα ή στην κατεργασία τους. Στη ναυπηγική, η ηλεκτροχημική διάβρωση είναι η πιο συνηθισμένη μορφή φθοράς, ιδίως στα χαλύβδινα μέρη της γάστρας, λόγω του ηλεκτροχημικού δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ διαφορετικών τμημάτων της κατασκευής. Διάβρωση συμβαίνει επίσης όταν ένα μέταλλο έρθει σε επαφή με έναν ηλεκτρολύτη, όπως το θαλασσινό νερό. Στον χάλυβα, το φαινόμενο της διάβρωσης προκαλείται από τον ιονισμό του σιδήρου, όταν το μέταλλο βυθίζεται σε ηλεκτρολύτη. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί ηλεκτρόνια, που μετακινούνται προς την κάθοδο, και προκαλούν αντιδράσεις, όπως τη δημιουργία σκουριάς. Αν το περιβάλλον περιέχει λίγο οξυγόνο, σχηματίζεται το μαύρο χρώμα που προκύπτει από τον σίδηρο, ενώ σε περιβάλλον πλούσιο σε οξυγόνο σχηματίζεται το ένυδρο οξείδιο του σιδήρου με τη μορφή καστανής σκουριάς.

5.2.1 Είδη Διάβρωσης

- **Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση**

Στην επιφάνεια ενός μετάλλου ή κράματος, παρατηρείται ένα ομοιόμορφο στρώμα σταθερού πάχους, το οποίο αποτελεί προϊόν της διάβρωσης οδηγώντας σε σταδιακή αλλοίωση της επιφάνειας. Ο χαρακτήρας του διαβρωτικού στρώματος καθορίζει τον ρυθμό διάβρωσης. Εάν το στρώμα είναι συνεχές, αδιαπέραστο και έχει τη δυνατότητα να επανέρχεται όταν υφίσταται φθορά, τότε προσφέρει προστασία κατά της διάβρωσης. Η διάρκεια ζωής αυτού του προστατευτικού στρώματος εξαρτάται από την παρουσία οξυγόνου στο νερό. Η έλλειψη οξυγόνου μπορεί να προκαλέσει διάβρωση με τη μορφή βελονισμών. Η ικανότητα του θαλασσινού νερού να διαβρώνει τον χάλυβα αυξάνεται με την άνοδο της θερμοκρασίας, την περιεκτικότητα σε οξυγόνο, την ταχύτητα ροής του νερού και την περιεκτικότητα που περιέχει σε διαβρωτικά στοιχεία. Η απώλεια βάρους είναι μια κοινή μέθοδος για τον προσδιορισμό του ρυθμού διάβρωσης σε μέταλλα που έχουν υποστεί ομοιόμορφη διάβρωση. Σε αυτήν τη διαδικασία, ένα δείγμα καθαρίζεται, ζυγίζεται, μετρίεται η επιφάνειά του και στη συνέχεια, εκτίθεται σε συγκεκριμένες συνθήκες για καθορισμένο χρονικό διάστημα και επαναλαμβάνεται η αρχική διαδικασία για το ζύγισμα. Η απώλεια βάρους χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απώλειας πάχους του μετάλλου, με την υπόθεση ότι η διάβρωση ήταν απόλυτα ομοιόμορφη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, γίνεται επαλήθευση με επιπλέον μετρήσεις πάχους. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι υπολογισμοί βασίζονται συνήθως στην απώλεια βάρους και όχι στο πάχος, και ισχύουν μόνο όταν η διάβρωση είναι ομοιόμορφη.

- **Διάβρωση με Βελονισμούς (Pitting Corrosion)**

Η φθορά που προκαλείται από αυτόν τον τύπο διάβρωσης είναι τοπική και οφείλεται είτε στη διαδικασία της διάλυσης υλικού είτε στην εκλεκτική φθορά της επιφάνειας. Όταν το προστατευτικό στρώμα οξειδίου διαταραχθεί, για παράδειγμα λόγω έλλειψης οξυγόνου, οι μικρές περιοχές με ανωμαλίες γίνονται θετικοί πόλοι ενός ηλεκτρολυτικού κυκλώματος, ενώ οι υπόλοιπες επιφάνειες λειτουργούν ως αρνητικοί πόλοι. Το αποτέλεσμα είναι η επιταχυνόμενη γαλβανική διάβρωση. Αρκετοί παράγοντες μπορούν να οδηγήσουν σε τέτοιου είδους διάβρωση, όπως η διαφορά στη συγκέντρωση του οξυγόνου, η θερμοκρασία, η ταχύτητα ροής, ή άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτή η μορφή διάβρωσης, ειδικά σε ανοξείδωτους χάλυβες και κράματα αλουμινίου, επιταχύνεται σε περιβάλλον με στάσιμο νερό που έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Αυτό το είδος

διάβρωσης είναι εξαιρετικά καταστροφικό, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε διάτρηση των υλικών, ακόμα και με μικρή απώλεια βάρους. Συχνά, η ανίχνευση των σημείων διάβρωσης είναι δύσκολη λόγω του μικρού τους μεγέθους ή επειδή καλύπτονται από προϊόντα διάβρωσης. Περιβάλλοντα με χλωριούχα διαλύματα ευνοούν ιδιαίτερα αυτή τη μορφή φθοράς. Τα μέταλλα που είναι περισσότερο ευπαθή σε αυτό το είδος διάβρωσης είναι εκείνα που προστατεύονται από λεπτά στρώματα οξειδίου όπως ο χαλκός, ο ανοξείδωτος χάλυβας, το αλουμίνιο, το τιτάνιο και το μαγνήσιο. Ωστόσο, μπορεί να επηρεάσει επίσης τον κοινό χάλυβα, το σίδηρο, το μολυβδο και άλλα μέταλλα.

- **Διάβρωση λόγω της ψαθυρής θραύσης που προκύπτει λόγω των διαφόρων μηχανικών τάσεων (stress corrosion cracking)**

Αυτός ο τύπος διάβρωσης θεωρείται ως ο πιο καταστροφικός από όλους, καθώς συντείνει ταυτόχρονα σε πολλές οικονομικές συνέπειες. Αναλυτικότερα, αυτός ο τύπος παρατηρείται σε επιφάνειες που διαθέτουν εσοχές οι οποίες δημιουργήθηκαν είτε λόγω βελονισμού είτε λόγω άλλων παραγόντων, όπου δημιουργείται ψαθυρή θραύση εξαιτίας των μεγάλων φορτίσεων που ασκούνται στη μεταλλική κατασκευή. Οι εσωτερικές τάσεις συγκεντρώνονται μαζί δημιουργώντας ένα τεράστιο φορτίο στην αρχή που σχηματίζεται η ρωγμή και έτσι το φαινόμενο της διάβρωσης μπορεί να γίνει ακόμα πιο σοβαρό, κάνοντας τις ήδη υπάρχουσες ρωγμές που έχουν δημιουργηθεί να γίνονται ολοένα και μεγαλύτερες. Αυτό με τη σειρά του μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μέχρι και κατάρρευση της μεταλλικής κατασκευής. Αυτή η μορφή διάβρωσης επηρεάζεται από παράγοντες όπως είναι η σύσταση του κράματος, το επιβαλλόμενο φορτίο, το είδος του διαβρωτικού περιβάλλοντος, η θερμοκρασία και ο χρόνος.

5.2.2 Μέτρα πρόληψης διάβρωσης

Τα κύρια μέσα τα οποία είναι υπεύθυνα για την προστασία της μεταλλικής κατασκευής είναι η μέθοδος της καθοδικής προστασίας με την τοποθέτηση ανόδων και η βαφή αντιδιαβρωτικών επιστρώσεων (coatings). Αρχικά, η τοποθέτηση ανόδων είναι αρκετά σημαντική, καθώς με αυτόν τον τρόπο θα προστατεύεται στο μέγιστο βαθμό η μεταλλική κατασκευή. Προκειμένου η μέθοδος αυτή να είναι πλήρως αποτελεσματική, οι επιφάνειες οι οποίες χρειάζονται προστασία οφείλουν να είναι πλήρως βυθισμένες. Για αυτόν τον λόγο οι ρυθμοί κατανάλωσης και αντικατάστασης των ανόδων δεν αποτελούν πάντοτε αξιόπιστη ένδειξη για την αποδοτικότητα της μεθόδου, αλλά μόνο η συστηματική οπτική επιθεώρηση της κατασκευής μπορεί να παρέχει μια ακριβή αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας. Οι άνοδοι λειτουργούν ως δευτερεύον μέτρο προστασίας για τα σκληρά επιστρώματα, ενώ παράλληλα μπορούν να επιβραδύνουν την αύξηση του ρυθμού διάβρωσης όταν το προστατευτικό στρώμα φθαρεί, εφόσον βρίσκονται βυθισμένες σε θαλασσινό νερό. Αυτό καθυστερεί την ανάγκη εφαρμογής νέου προστατευτικού επιστρώματος στην επιφάνεια του μετάλλου.

Γενικά, η περιοχή της γάστρας μπορεί να συντηρηθεί και να επισκευαστεί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του πλοίου, ωστόσο, σε πλοία τα οποία έχουν κατασκευαστεί από χάλυβες υψηλής αντοχής τα ενισχυτικά του καταστρώματος είναι εκτεθειμένα, γεγονός που καθιστά την προστασία από τη διάβρωση ιδιαίτερα δύσκολη. Σε καταστρώματα με εξωτερικά ενισχυτικά απαιτείται επιπλέον προστασία στα σημεία συγκόλλησης και στις αιχμηρές γωνίες για να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο προστασίας. Κατά την τελική φάση κατασκευής ενός πλοίου, η επίστρωση του κύριου καταστρώματος είναι η πιο απαιτητική εργασία από την άποψη της εξασφάλισης υψηλής ποιότητας, ανεξαρτήτως του είδους του προστατευτικού συστήματος. Εξαιτίας αυτού, αποκτά μεγάλη σημασία ο καλός

σχεδιασμός και ο αυστηρός έλεγχος ποιότητας των προστατευτικών υλικών από τους κατασκευαστές.

Παράλληλα, ο δεύτερος σημαντικός παράγοντας για την πρόληψη της διάβρωσης, είναι η εφαρμογή αντιδιαβρωτικών επιστρώσεων. Η μέθοδος αυτή, αποτελεί την πλέον διαδεδομένη και θεμελιώδη πρακτική για την προστασία των μεταλλικών επιφανειών της γάστρας σε πλοία bulk carriers. Τα χρώματα και οι προστατευτικές στρώσεις - κυρίως εποξειδικές ή πολυουρεθανικές - δημιουργούν έναν φραγμό μεταξύ του μετάλλου και του διαβρωτικού θαλάσσιου περιβάλλοντος, περιορίζοντας την οξείδωση και τη μηχανική φθορά. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα αμπάρια φορτίου, στα διπλά κύτη και στις δεξαμενές έρματος, όπου η παρουσία υγρασίας και αλάτων επιταχύνει τους ρυθμούς διάβρωσης. Επιπλέον, η σωστή προετοιμασία της επιφάνειας, με αφαίρεση τυχόν λυμάτων τα οποία έχουν προσκολληθεί στην επιφάνεια, όπως είναι για παράδειγμα το γράσο, η ποιοτική εφαρμογή της επικάλυψης και η τακτική της συντήρησης, εξασφαλίζουν ένα μακροχρόνιο αποτέλεσμα και συμβάλλουν στη δομική ακεραιότητα και ασφάλεια του πλοίου.

Τέλος, αφού διαπεραιωθεί η διαδικασία της βαφής, η επιφάνεια θα πρέπει να επιθεωρηθεί από τους αρμόδιους παράγοντες προκειμένου να εντοπιστούν διαφορές που μπορεί να προκύψουν τόσο στο πάχος όσο και στο πόσο ομαλά έχει γίνει η τοποθέτηση της επίστρωσης. Σημαντικό είναι να αναφερθεί, πως το ιδανικό πάχος που οφείλει να έχει το τελικό επίστρωμα για να αντιμετωπιστεί η διάβρωση οφείλει να είναι στα 250 μm . Οποιασδήποτε μορφής ατέλεια ή ανομοιομορφία οφείλει να εντοπιστεί και να επισκευαστεί μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση της γάστρας ενός πλοίου μεταφοράς χύδην φορτίου.

Αρχικά, έγινε αναφορά για την σημασία του σχεδιασμού πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου από τα παλαιότερα χρόνια μέχρι και σήμερα αναδεικνύοντας ότι η χρήση τους έφερε μεγάλη αλλαγή στο παγκόσμιο εμπόριο και στην γεφύρωση μεταξύ πολιτισμών.

Στην συνέχεια, αναδείχθηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά και οι όροι του πλοίου που χρησιμοποιήθηκαν για την σχεδίαση της γάστρας καθώς επίσης και οι κανονισμοί που ισχύουν για την διατήρηση της ασφάλειας, του φορτίου, της προστασίας του ανθρώπινου δυναμικού και του περιβάλλοντος. Στο πλαίσιο του σχεδιασμού, αναπτύχθηκαν οι μορφές των κύριων καμπυλών (πλώρης, πρύμνης, νομέων, FOB, FOS, κ.α.) με συστηματικά δεδομένα μορφοποίησης (formdata) τα οποία επεξεργάστηκαν με την βοήθεια του Excel. Το σχέδιο της γάστρας πραγματοποιήθηκε μέσα στο λογισμικό σχεδίασης Avenia Lines το οποίο ανήκει στην πλατφόρμα Avenia Marine 12.1, η οποία χρησιμοποιείται για την σχεδίαση πλοίων λόγω της υψηλής ακρίβειας που προσφέρει. Στο πρόγραμμα, έγινε πρώτα εισαγωγή των κύριων καμπυλών και με κύκλους επεξεργασίας και εξομαλύνσεων σε κάθε καμπύλη το σχέδιο πήρε την τελική του μορφή. Η περάτωση του σχεδίου για την συνολική παρουσίαση του πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό σχεδίασης AutoCAD.

Τέλος, παρουσιάστηκαν τα υλικά κατασκευής της γάστρας με τα επικρατέστερα στην σημερινή ημέρα να είναι ο χάλυβας (ναυπηγικός), ο χαλκός και το αλουμίνιο και ακολούθως αναφέρθηκε η διάβρωση αποτελώντας την κύρια αιτία φθοράς στα πλοία, τα είδη της που συχνά συναντώνται και οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να αποτραπεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] I. M. Organization, «imo.org,» IMO, n.d.. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/BulkCarriers.aspx>. [Πρόσβαση 10 May 2025].
- [2] I. M. Organization, «imo.org,» I.M.O., n.d.. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/Goal-BasedStandards.aspx>. [Πρόσβαση 10 May 2025].
- [3] I. M. Organization, «imo.org,» I.M.O., n.d.. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/CargoesInBulk-default.aspx>. [Πρόσβαση 10 May 2025].
- [4] I. M. Organization, «imo.org,» I.M.O., n.d.. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx). [Πρόσβαση 10 May 2025].
- [5] I. A. o. C. Societies, «iacs.org.uk,» IACS, n.d.. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://iacs.org.uk/resolutions/common-structural-rules>. [Πρόσβαση 10 May 2025].
- [6] S. C. Misra, Design Principles of Ships and Marine Structures, Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2016.
- [7] Γ. Κ. ΧΑΤΖΗΚΩΝΣΤΑΝΤΗΣ, ΝΑΥΠΗΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ CASD, ΑΘΗΝΑ: ΤΣΟΤΡΑΣ, 2020.
- [8] Α. Παπανικολαου, Μελέτη Πλοίου - Μεθοδολογίες Προμελέτης, Αττική: Springer, 2014.
- [9] Σ. ΒΛΑΧΟΣ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΧΑΛΥΒΑ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ, ΑΘΗΝΑ: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 1991.

