

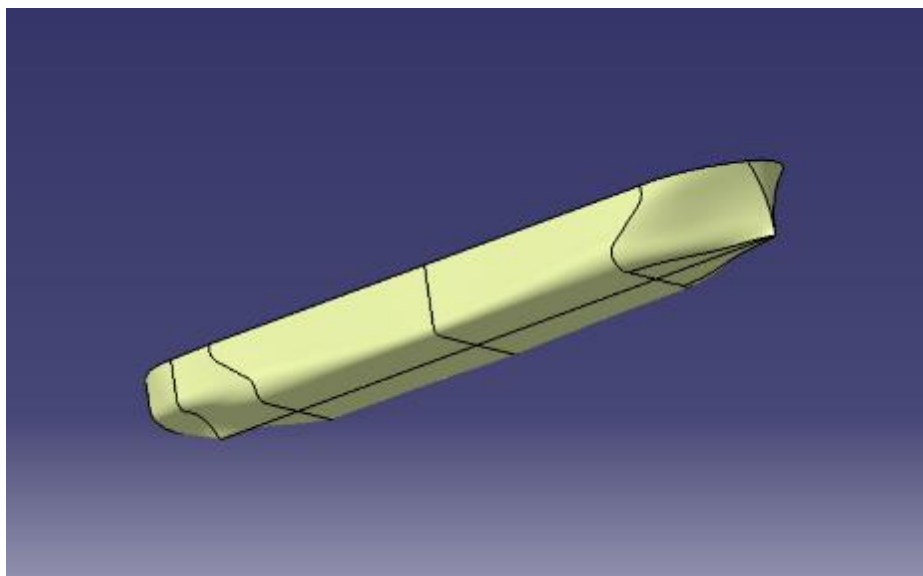


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Τμήμα Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών

ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παραμετρική Σχεδίαση Πλοίου με Χρήση NURBS στο Περιβάλλον του Catia



ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

A.M. 1067288

Επιβλέπων καθηγητής

Παντελής Νικολακόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Εργαστήριο Υπολογισμού και Σχεδιάσεως Στοιχείων Μηχανών



Ιούνιος 2023

Πανεπιστήμιο Πατρών
Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών
ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ
©2023-Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ NURBS ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ CATIA

Επιβλέπων καθηγητής: Παντελής Νικολακόπουλος

Ο σχεδιασμός της γάστρας του πλοίου που αποτελεί το βασικό τμήμα και τη δομική μονάδα του συστήματος αποτελεί έργο έρευνας και ανάπτυξης της ναυπηγικής επιστήμης. Με την πάροδο των ηλεκτρονικών υπολογιστών επιταχύνθηκε και έγινε πιο αποδοτική διαδικασία σχεδίαση της. Η ανακάλυψη των παραμετρικών καμπυλών Bezier, B-Splines και NURBS έδωσε ακόμα μεγαλύτερη ευχέρεια στους σχεδιαστές ναυπηγούς να μορφοποιούν τα σχέδιά τους και να καταφέρουν να δίνουν το επιθυμητό σχήμα σε σημεία της γάστρας με περίπλοκες γεωμετρίες και τοπολογίες. Σε αυτή την εργασία επικεντρωθήκαμε στον παραμετρικό σχεδιασμό της γάστρας τόσο σε επίπεδο καμπυλών και επιφανειών αλλά και σε επίπεδο διαστατικών μεγεθών. Χρησιμοποιώντας εμπειρικούς πίνακες, αναλυτικές εκφράσεις και συντελεστές σχήματος καθώς και κάνοντας παραδοχές για συγκεκριμένα μεγέθη καταφέραμε να δημιουργήσουμε ένα μαθηματικό πλαίσιο το οποίο να περιγράφει τη γεωμετρία της γάστρας. Ο σχεδιασμός έγινε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα CatiaV5R20. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιεί τις ανωτέρω παραμετρικές καμπύλες και επιφάνειες δίνοντας μας τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε πολύπλοκες και απαιτητικές επιφάνειες όπως αυτή της γάστρας ενός πλοίου. Τοποθετήσαμε τα γεωμετρικά μεγέθη στο λογισμικό φύλλο και τα συνδέσαμε με τις αντίστοιχες τους μεταβλητές στο πρόγραμμα σχεδιασμού. Η ενέργεια αυτή μας έδωσε τον πλήρη έλεγχο πάνω στο σχέδιο καθώς με απλή αλλαγή μιας τιμής στο λογισμικό φύλλο έχουμε τη δυνατότητα να τροποποιήσουμε το τρισδιάστατο μοντέλο μας. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι ένα πλήρως παραμετροποιημένο και τροποποιήσιμο μοντέλο το οποίο αποτελεί ένα πρότυπο για τη δημιουργία λοιπών τύπων πλοίων. Η χρήση του συγκεκριμένου σχεδιαστικού πακέτου μας επιτρέπει και την περαιτέρω ανάπτυξη του σχεδίου με όλα τα λειτουργικά τους συστήματα καθώς και τα δομικά και κατασκευαστικά του μέρη αλλά και τη δυναμική και στατική ανάλυση με συμβατά πακέτα πεπερασμένων στοιχείων.

Λέξεις κλειδιά: Παραμετρικός Σχεδιασμός, Γάστρα Πλοίου, Καμπύλες NURBS/Bezier/B-Splines, Επιφάνειες NURBS/Bezier/B-Splines, Διαστάσεις Πλοίου

ABSTRACT

PARAMETRIC DESIGN of SHIP HULL USING NURBS In The CATIA DESIGN SOFTWARE

Supervising professor: Pantelis Nikolakopoulos

The design of the hull, which is the main part and structural unit of the ship system, is a research and development project of shipbuilding science. With the advancement of computers, its design process has been more efficient and reliable. The discovery of Bezier parametric curves, B-Splines and NURBS curves gave even greater flexibility to designers to formulate their designs and to be able to give the desired shape to hull points with complex geometries and topologies. In this paper we focused on the parametric hull design at both curves and surfaces level, but also in a dimension oriented level. Using empirical tables, analytical expressions and shape factors as well as making verified assumptions about specific sizes we were able to create a mathematical framework that describes the geometry of the hull. The design was done in the design program CatiaV5R20. This program uses the above parametric curves and surfaces enabling us to create complex and demanding surfaces such as that of a ship's hull. We placed the geometric sizes in the software spreadsheet and attached them to their corresponding variables in the design program. This action gave us full control over the design as by simply changing a value in the spreadsheet we have the ability to modify our 3D model. The result of the process is a fully configurable and modifiable model which is a template for the creation of other types of ships. The use of this design package also allows us to further develop the design with all their functional systems as well as their structural and constructional parts, but also the dynamic and static analysis with compatible finite element packages.

Key words: Parametric Design, Hull of Ship, NURBS/Bezier/B-Splines curves, NURBS/Bezier/B-Splines surfaces, Ship dimensions

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

L	Ολικό μήκος
D	Ύψος
B	Πλάτος
T	Βύθισμα
C_B	Συντελεστής εκτοπίσματος
C_M	Συντελεστής μέσης τομής
C_P	Πρισματικός συντελεστής
C_W	Συντελεστής ισάλου
V	Όγκος εκτοπίσματος υφάλων
M	Πρισματική επιφάνεια μέσης τομής
A	Επιφάνεια ισάλου
V_k	Υπηρεσιακή ταχύτητα
L_{WL}	Μήκος στην ίσαλο
F_n	Αδιάστατος αριθμούς froude
Δ	Εκτόπισμα
r	Ειδική πυκνότητα νερού
F	Ύψος εξάλων
D_frames	Θεωρητική απόσταση νομέων κοντά στην πλώρη
D_VP	Απόσταση διαδοχικών εγκάρσιων επιπέδων
D_WP	Απόσταση διαδοχικών επιπέδων ισάλων γραμμών
D_PMB_frames	Απόσταση διαδοχικών νομέων στο παράλληλο μέσο τμήμα
N_frames	Συνολικός θεωρητικός αριθμός νομέων
N_VP	Συνολικός αριθμός εγκάρσιων επιπέδων
N_WP	Συνολικός αριθμός επιπέδων ισάλων γραμμών
L_Bot_MS	Πλάτος πυθμένα μέσα στο μυς
H_Sid_MS	Ύψος πλευρικού τμήματος μέσης τομής
RoB	Ακτίνα καμπυλότητας της γάστρας
H_DB	Ύψος διπύθμενων
H_Stern	Ύψος πρύμνης
D_Stern	Απόσταση πυθμένα πρύμνης από WLO
HB_Stern	Μισό πλάτος τομής πρύμνης
Tumblehome_Stern	Γωνία κλίσης πλευρικού τμήματος πρύμνης
PMB_L	Μισό μήκος παράλληλου μέσου τμήματος
SSS_plane_distance	Απόσταση επιπέδου ΕΑΣ από νομέα 0

LE	Μήκος παρειάς
LR	Μήκος γοφού
E_R ratio	Λόγος μήκους παρειάς/μήκους γούφου
Bow_Radius	Ακτίνα καμπυλότητας πλώρης

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1- ΛΟΓΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ.....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 – ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΩΤΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 3- ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ/ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ/ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ.....	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 4- ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΟΡΙΣΤΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 5- ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΣΗ ΤΟΜΗ	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 6- ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΜΗ ΤΗΣ ΠΡΥΜΝΗΣ.....	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 7- ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΥΜΝΑΙΟ ΚΑΙ ΠΡΩΡΑΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΑΣ.....	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 9- ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΗΣ ΠΑΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΓΟΦΟΥ	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1-ΑΡΙΘΜΟΣ LNG CARRIERS ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ	17
ΕΙΚΟΝΑ 2- ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΕΜΠΟΡΙΚΟΣ ΣΤΟΛΟΣ	17
ΕΙΚΟΝΑ 3- ΣΚΑΦΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΒΑΘΕΩΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ	18
ΕΙΚΟΝΑ 4- ΒΑΣΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	21
ΕΙΚΟΝΑ 5- ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΟΙΟΥ	24
ΕΙΚΟΝΑ 6- ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΛΟΙΟΥ	25
ΕΙΚΟΝΑ 7- ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ	27
ΕΙΚΟΝΑ 8- ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ	27
ΕΙΚΟΝΑ 9- ΜΕΤΑΚΕΝΤΡΟ ΠΛΟΙΟΥ	29
ΕΙΚΟΝΑ 10- ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ	30
ΕΙΚΟΝΑ 11- ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΒΕΖΙΕΡ-ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	33
ΕΙΚΟΝΑ 12- ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΒΕΖΙΕΡ-ΠΟΛΥΓΩΝΟ ΕΛΕΓΧΟΥ	33
ΕΙΚΟΝΑ 13- ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΒΕΖΙΕΡ	34
ΕΙΚΟΝΑ 14- ΚΑΜΠΥΛΕΣ B-SPLINES ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΒΑΘΜΩΝ	37
ΕΙΚΟΝΑ 15- ΚΑΜΠΥΛΗ B-SPLINE ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	37
ΕΙΚΟΝΑ 16- ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΕ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	37
ΕΙΚΟΝΑ 17- ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ B-SPLINES	38
ΕΙΚΟΝΑ 18- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ NURBS	40
ΕΙΚΟΝΑ 19- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ NURBS	41
ΕΙΚΟΝΑ 20- ΕΠΙΠΕΔΑ ΠΟΥ ΤΕΜΝΟΥΝ ΤΗΝ ΓΑΣΤΡΑ	42
ΕΙΚΟΝΑ 21- ΤΟΜΗ ΓΑΣΤΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	43
ΕΙΚΟΝΑ 22- ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	44
ΕΙΚΟΝΑ 23- ΤΟΜΗ ΓΑΣΤΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	45
ΕΙΚΟΝΑ 24- ΕΓΚΑΡΣΙΕΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	45
ΕΙΚΟΝΑ 25- ΤΟΜΗ ΓΑΣΤΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΜΗΚΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟ	46
ΕΙΚΟΝΑ 26- ΔΙΑΜΗΚΕΙΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	46
ΕΙΚΟΝΑ 27- ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ	48
ΕΙΚΟΝΑ 28- ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ-ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	49
ΕΙΚΟΝΑ 29- ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ	50
ΕΙΚΟΝΑ 30- ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΑΛΟΥ	51
ΕΙΚΟΝΑ 31- ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΜΕ ΤΟ ΒΥΘΙΣΜΑ	52
ΕΙΚΟΝΑ 32- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΛΟΙΟΥ	56
ΕΙΚΟΝΑ 33- TANKERS	57
ΕΙΚΟΝΑ 34- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ- ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	58
ΕΙΚΟΝΑ 35- ΛΟΓΟΣ L/B ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΛΟΙΩΝ	59
ΕΙΚΟΝΑ 36- ΛΟΓΟΣ T/D ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΛΟΙΩΝ	59
ΕΙΚΟΝΑ 37- ΛΟΓΟΣ B/Δ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΛΟΙΩΝ	60
ΕΙΚΟΝΑ 38- ΛΟΓΟΣ L/D ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΛΟΙΩΝ	60
ΕΙΚΟΝΑ 39- ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΛΟΓΟΥΣ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	61
ΕΙΚΟΝΑ 40- ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ FROUDE ΚΑΙ ΤΟΥ C_b	62
ΕΙΚΟΝΑ 41- ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	64
ΕΙΚΟΝΑ 42- ΤΙΜΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	65
ΕΙΚΟΝΑ 43- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ CATIA	68
ΕΙΚΟΝΑ 44-ΕΙΣΑΓΩΓΗ Excel	69

ΕΙΚΟΝΑ 45-ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	69
ΕΙΚΟΝΑ 46- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ΣΑΤΙΑ ΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ.....	70
ΕΙΚΟΝΑ 47- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΝΩ ΕΠΙΠΕΔΟΥ.....	71
ΕΙΚΟΝΑ 48- ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΑΝΩΤΕΡΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	71
ΕΙΚΟΝΑ 49- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	72
ΕΙΚΟΝΑ 50- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	72
ΕΙΚΟΝΑ 51- ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 52- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ	74
ΕΙΚΟΝΑ 53- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΡΥΜΝΗΣ.....	75
ΕΙΚΟΝΑ 54- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΛΩΡΗΣ.....	75
ΕΙΚΟΝΑ 55- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΡΥΜΝΑΙΟΥ ΚΑΙ ΠΡΩΡΑΙΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	76
ΕΙΚΟΝΑ 56- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΑΣ.....	77
ΕΙΚΟΝΑ 57- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΜΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΕΑΣ.....	78
ΕΙΚΟΝΑ 58- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΠΑΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΓΟΦΟΥ	79
ΕΙΚΟΝΑ 59- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΑΝΩΤΑΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	79
ΕΙΚΟΝΑ 60- ΚΑΜΠΥΛΕΣ-ΟΔΗΓΟΙ ΓΟΦΟΥ	80
ΕΙΚΟΝΑ 61- ΚΑΜΠΥΛΕΣ-ΟΔΗΓΟΙ ΠΑΡΕΙΑΣ	80
ΕΙΚΟΝΑ 62-ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΡΥΜΝΗΣ	81
ΕΙΚΟΝΑ 63- ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΑΣ ΜΕ ΠΡΥΜΝΗ	82
ΕΙΚΟΝΑ 64- ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΑΣ ΜΕ ΤΟΜΗ ΓΟΦΟΥ.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 65 – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΥ ΜΙΣΟΥ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	83
ΕΙΚΟΝΑ 66- ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	83
ΕΙΚΟΝΑ 67- ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΛΩΡΗΣ.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 68- ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΟΨΕΙΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 69- ΙΣΟΜΕΤΡΙΚΗ ΟΨΗ	85
ΕΙΚΟΝΑ 70- ΚΑΤΟΨΗ.....	85
ΕΙΚΟΝΑ 71- ΠΙΣΩ ΟΨΗ	86
ΕΙΚΟΝΑ 72- ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ	86
ΕΙΚΟΝΑ 73- ΑΝΟΨΗ	87

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα

Παραμετρική Σχεδίαση Πλοίου με Χρήση NURBS στο Catia	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	6
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1.1 Είδη πλοίων	15
1.1.1 Διάκριση ως προς το σκοπό	15
1.1.2 Διάκριση ως προς το είδος του φορτίου.....	16
1.1.3 Διάκριση ως προς την τεχνική στήριξης στο νερό.....	18
1.1.4 Διάκριση ως προς το μέγεθος	19
1.2 Ναυπηγική Ορολογία.....	19
1.2.1 Μέρη Πλοίου	19
1.2.2 Διαστάσεις Πλοίου	22
1.2.3 Κατασκευαστικά και δομικά στοιχεία.....	25
1.2.4 Επίπεδα και γραμμές αναφοράς.....	28
2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΟΙΩΝ.....	31
2.1 Μαθηματική ανάλυση γεωμετρίας.....	31
2.1.1 Εισαγωγή	31
2.1.2 Bezier Splines.....	32
2.1.2.1 Καμπύλες Bezier	32
2.1.2.2 Επιφάνειες Bezier	34
2.1.3 B-SPLINES.....	35
2.1.3.1 Καμπύλες B-Splines	35
2.1.3.2 Επιφάνειες B-Splines	38
2.1.4 NON-UNIFORM RATIONAL B-SPLINES	39
2.1.4.1 Καμπύλες NURBS.....	39
2.1.4.2 Επιφάνειες NURBS	40
2.1.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ	41
2.2 Γεωμετρικά στοιχεία πλοίων και βασικές διαστάσεις.....	42
2.2.1 Γεωμετρικός ορισμός σχήματος πλοίου	42
2.2.2 Συσχέτιση διαστάσεων.....	46

2.2.3 Συντελεστές Σχήματος Πλοίου	47
3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	53
3.1 Μοντελοποίηση.....	53
3.1.1 Ανασκόπηση παραμετρικού σχεδιασμού	53
3.2 Σχεδιασμός	55
3.2.1 Ναυπηγικός Σχεδιασμός	55
3.2.2 Υποθέσεις	56
3.2.3 Αλληλουχία υπολογισμών.....	58
3.2.4 Γενέτειρες Καμπύλες Γάστρας του Πλοίου	64
4 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΣΩ CATIA	65
4.1 Διαδικασία και βήματα παραμετρικού σχεδιασμού	65
4.2 Διαδικασία δημιουργίας και απεικόνισης της γεωμετρίας της γάστρας του πλοίου	70
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	88
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	89

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Είδη πλοίων

Υπάρχουν διάφορα είδη πλοίων τα οποία ταξινομούνται με βάση τον σκοπό, το μέγεθος, τον τύπο του μεταφερόμενου φορτίου και την τεχνική στήριξης τους στο υγρό στοιχείο. Πιο συγκεκριμένα από τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός πλοίου αναγνωρίζονται εξειδικευμένα χαρακτηριστικά όπως:

- a) Διαστάσεις
- b) Ευστάθεια
- c) Σύστημα πρόωσης
- d) Σχήμα της γάστρας
- e) Προκαταρκτική γενική διάταξη

1.1.1 Διάκριση ως προς το σκοπό

Τα πλοία διακρίνονται ως προς το σκοπό ως ακολούθως:

1) Πλοία εμπορικών μεταφορών:

➤ Δεξαμενόπλοια (Tankers)

- a) Αργού πετρελαίου (Crude Oil)
- b) Υγροποιημένων φυσικών ή πετρελαιοειδών αερίων (LNG/LPG Carriers)
- c) Προϊόντων (Product)
- d) Χημικών (Chemical)
- e) Μεταφοράς δεμάτων (Parcel Carrier)

➤ Μεταφοράς χύδην φορτίου (Bulkier)

- a) Ξηρού (Κάρβουνο)
- b) Συνδυασμένου (OBO, PROBO, CO)

- Μεταφοράς γενικού φορτίου (General Cargo)
- Εμπορευματοκιβωτίων (Container Ships)
- Μεταφοράς οχημάτων και βαρέων τροχήλατων φορτίων (Ro-Ro)
- Ψυγεία (Refrigeration ships/Reefers)
- Μεταφοράς φορτηγίδων (Barge Carriers)
- Μεταφοράς βαρέων φορτίων (Heavy Lift Ships/ Lo-Lo)
- Πολλαπλών χρήσεων (Multi-Purpose carriers)
- Μεταφοράς διαφορετικών φορτίων (Con/Bulkers, Ro-Lo)
- Επιβατηγά (Passenger Ferries)
- Επιβατηγά- Οχηματαγωγά (Car Ferries)

2) Ναυπηγήματα ναυτιλιακής υποστήριξης:

- Πλοία ανεφοδιασμού (Replenishment Ships)
- Πλοία συνεργεία (Workshop Boats)
- Συνοδευτικά πλοία (Escort Ships)
- Ρυμουλκά (Tug Boats)
- Ναυαγοσωστικά (Salvage Ships)
- Παγοθραυστικά (Ice Breakers)
- Διανομής φορτίου (Barges)
- Πλοία πιλότοι (Pilot Boats)
- Ναυπηγήματα υποδοχής ναυτιλιακών αποβλήτων (Shipping Discharge Reception Crafts or SLOPS))
- Βυθοκόροι (Dredges)
- Γερανοφόρα πλοία (Crane Ships)
- Πλωτές και μόνιμες ναυπηγό-επισκευαστικές δεξαμενές (Floating and Drydocks)
- Σκάφη τεχνικής επιθεώρησης υποβρύχιων κατασκευών και ναυπηγημάτων (Submarine technical surveying crafts)
- Ναυπηγήματα καταπολέμηση της πετρελαιοειδούς ρύπανσης (Oil pollution fighting crafts)
- Πλωτές φόρτο-εκφορτωτικές εγκαταστάσεις (Floating cargo handling installations)

3) Ναυπηγήματα ειδικών υπηρεσιών ή ειδικής αποστολής:

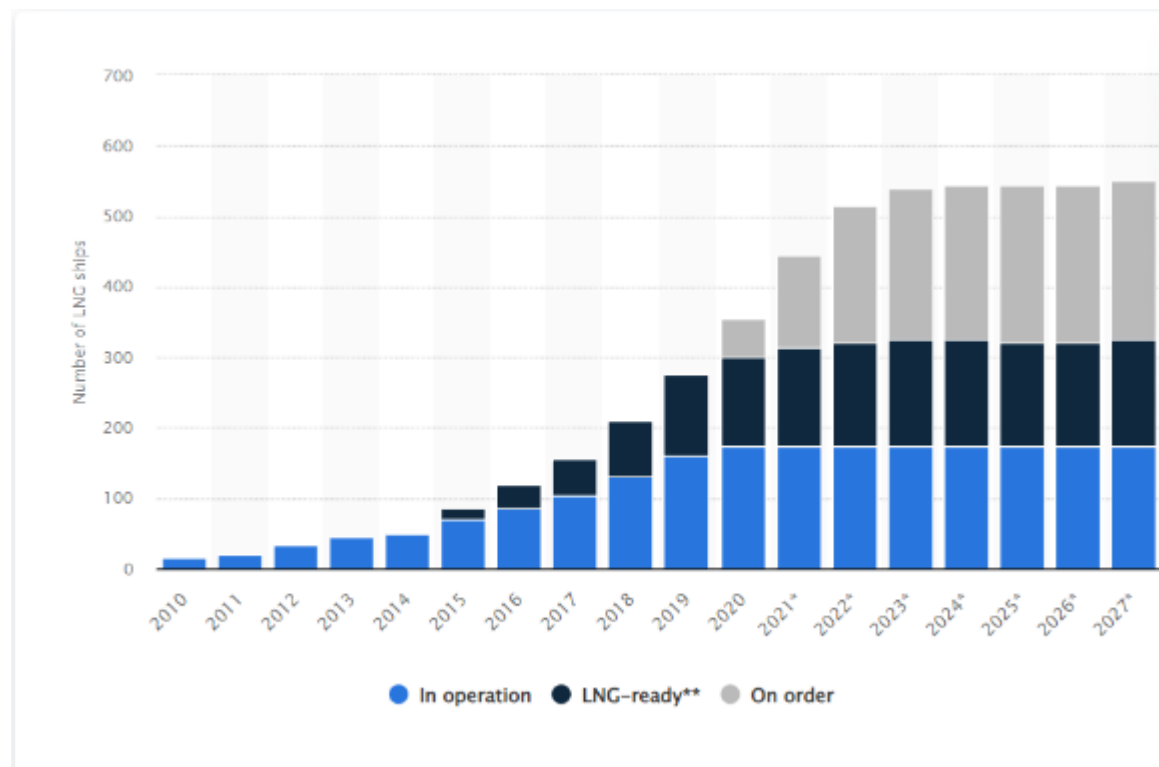
- Αλιευτικά πλοία (Fishing Boats or Fishing Ships)
- Πλοία πόντισης καλωδίων (Cable Layers)
- Εξέδρες γεωτρήσεων (Offshore) Drilling Rigs)
- Ωκεανογραφικής έρευνας, πλωτά ή υποβρύχια (Oceanographic Research, Floating or Submersibles)
- Μετεωρολογικά πλοία (Meteorological Vessels)
- Πλοία σεισμολογικής έρευνας (Earthquake Research Ships)
- Πλοία αναψυχής (Recreation Vessels)

1.1.2 Διάκριση ως προς το είδος του φορτίου

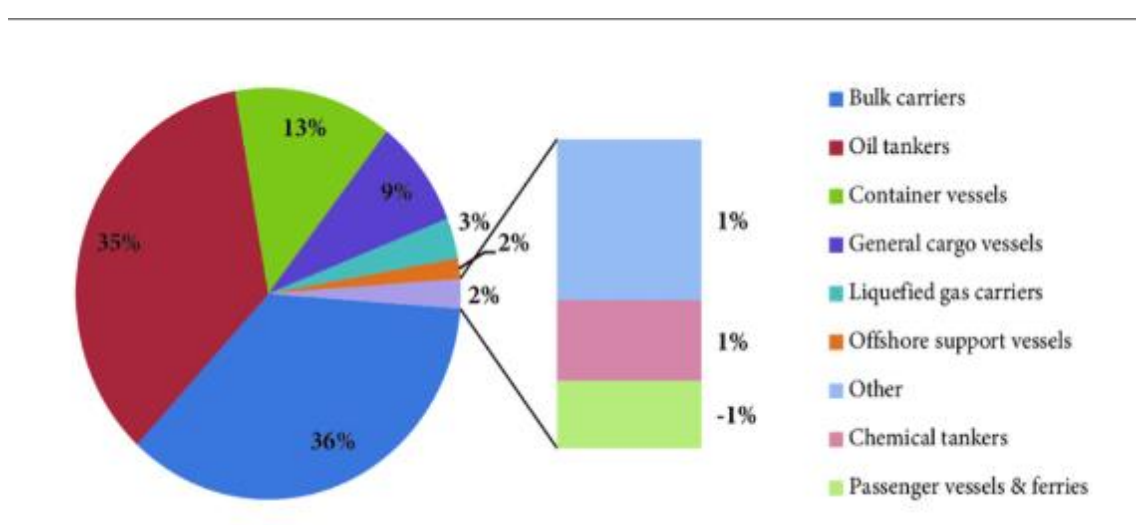
Σε γενικές γραμμές υπάρχουν διάφορα κριτήρια όπου διακρίνουν τα διακινούμενα φορτία στα πλοία. Βασικότερη όμως διάκριση μεταξύ αυτών των κριτηρίων είναι το είδος του φορτίου όπου μεταφέρουν τα πλοία και πιο συγκεκριμένα υπάρχουν 2 βασικά είδη φορτίων τα ξηρά και τα υγρά. Μάλιστα το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου εμπορικού στόλου είναι πλοία που μεταφέρουν ξηρά και υγρά φορτία.

Ενώ αντίθετα αριθμητική υπεροχή με μικρότερο όμως ποσοστό χωρητικότητας κατέχουν τα πλοία με γενικά φορτία, τα οποία χαρακτηρίζονται από τη μεταφορά γεωργικών ή βιομηχανικών προϊόντων. Έπειτα τα τελευταία χρόνια παρατηρείται

μια αισθητή αύξηση από τα κρουαζιερόπλοια, τα πλοία αναψυχής, τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων ή πετρελαιοειδών αερίων και τα επιβατικά-οχηματαγωγά.



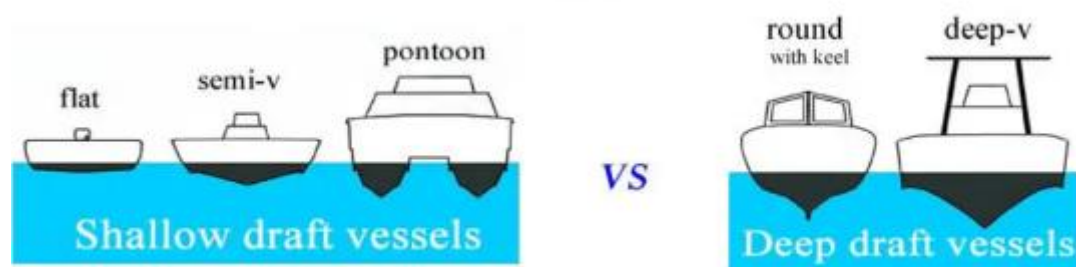
ΕΙΚΟΝΑ 1-ΑΡΙΘΜΟΣ LNG CARRIERS ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ [1]



ΕΙΚΟΝΑ 2- ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΕΜΠΟΡΙΚΟΣ ΣΤΟΛΟΣ [1]

1.1.3 Διάκριση ως προς την τεχνική στήριξης στο νερό

Τα περισσότερα πλοία της εμπορικής ναυτιλίας διαχωρίζονται σε πλοία βαθέως και συμβατικού εκτόπισματος. Το συμβατικό εκτόπισμα και το βαθύ εκτόπισμα αναφέρονται στο βάθος του χαμηλότερου μέρους ενός σκάφους. Ένα σκάφος με συμβατικό εκτόπισμα έχει πυθμένα που δεν βρίσκεται πολύ κάτω από την ίσαλο γραμμή και είναι συνήθως επίπεδο χωρίς καρίνα. Το βαθύ εκτόπισμα αναφέρεται σε ένα σκάφος με πυθμένα που βρίσκεται πολύ πιο κάτω από την ίσαλο γραμμή. Η πλειονότητα του παγκόσμιου εμπορικού στόλου είναι σχεδόν αποκλειστικά βαθέως εκτοπίσματος ενώ συμβατικού εκτοπίσματος πλοία είναι κυρίως τα επιβατικά και τα πλοία μεταφοράς γενικού φορτίου. Ο κύριος παράγοντας που συμβάλλει στον τύπο εκτοπίσματος ενός σκάφους ή πλοίου είναι ο σχεδιασμός της γάστρας του. Ένα σκάφος με μικρό βύθισμα δεν έχει σχεδόν ποτέ καρίνα. Η καρίνα έχει σχεδιαστεί για να προσδίδει σε ένα σκάφος μεγαλύτερη σταθερότητα σε ταραγμένα νερά και καθώς ένα σκάφος με μικρό βύθισμα έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιείται σε ήρεμα νερά. Ο υδροδυναμικός σχεδιασμός της γάστρας είναι διαφορετικός σε πλοία συμβατικού εκτοπίσματος από τι σε πλοία βαθέως εκτοπίσματος, καθώς σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζει η ευπάθεια του πλοίου αλλά και η ταχύτητα πλεύσης, η οποία κυμαίνεται από 13 κόμβους για πλοία βαθέως εκτοπίσματος και φτάνει μέχρι και 28 κόμβους για πλοία συμβατικού εκτοπίσματος. Έπειτα, υπάρχουν και άλλες τεχνικές στήριξης στα σκάφη που αποσκοπούν στην ανάπτυξη υψηλότερων ταχυτήτων μεταφοράς, το επιτυγχάνεται όταν η ανύψωση του σκάφους είναι μέγιστη με αποτέλεσμα να μειώνεται η επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το νερό και έτσι να ελαχιστοποιείται η αντίσταση τριβής. Ωστόσο οι τεχνικές αυτές εφαρμόζονται σχεδόν αποκλειστικά σε σκάφη που προορίζονται για τη μεταφορά φορτίων υψηλής <<αξίας χρόνου>>. Προφανώς, η επιλογή ελαφρών υλικών κατασκευής όπως το αλουμίνιο συνδράμει αποτελεσματικά στις τεχνικές αυτές αλλά και στην επίτευξη υψηλών ταχυτήτων.



ΕΙΚΟΝΑ 3- ΣΚΑΦΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΒΑΘΕΩΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ [16]

1.1.4 Διάκριση ως προς το μέγεθος

Τα φορτηγά πλοία (Tankers) διακρίνονται ανάλογα με το μέγεθος των διαστάσεων τους και με βάση την μεταφορική τους ικανότητα ως ακολούθως:

- Handysize: η μεταφορική τους ικανότητα κυμαίνεται από 15,000 και 35,000 τόνων και αποτελούν την πλειονότητα των πλοίων παγκοσμίως.
- Seawaymax: Τα πλοία αυτά έχουν μέγιστο μήκος 225,6 μ., πλάτος 35,5 μ. και βύθισμα 7,92 μ.
- Handymax/Supramax: Η μεταφορική ικανότητα τους είναι μεταξύ 50,000 και 60,000 τόνων.
- Aframax: η μεταφορική τους ικανότητα κυμαίνεται μεταξύ των 80,000 και 120,000 τόνων
- Suezmax: η μεταφορική τους ικανότητα κυμαίνεται από 120,000 μέχρι 200,000 τόνους.
- Q-Max: Είναι τα μεγαλύτερα πλοία μεταφοράς LNG. Οι διαστάσεις τους είναι 345 μ. μήκος, 34,7 μ. πλάτος και βύθισμα 12 μ. περίπου. Η μεταφορική ικανότητα τους είναι 266,000 κυβικά μέτρα φυσικού αερίου.

1.2 Ναυπηγική Ορολογία

1.2.1 Μέρη Πλοίου

1) Γάστρα (Hull)

Το τμήμα ενός πλοίου που εκτείνεται κάτω από την ίσαλο γραμμή και χρησιμεύει για να καλύπτει και να προστατεύει το πλοίο από τη διείσδυση του νερού. Το περίβλημα των πλοίων σχηματίζεται από μια σειρά συγκολλημένων διασυνδεδεμένων ελάσματος που ονομάζονται πάσσαλοι, καθώς και από άλλα δομικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων των επιμεταλλεύσεων και των ενισχυτικών.

2) Έξαλλα (Overwater)

Τα μέρη της κατασκευής του πλοίου που βρίσκεται έξω από το νερό.

3) Ισχίο ή γοφός (Quarter)

Το τμήμα της πλευρικής επιφάνειας του πλοίου μεταξύ πρύμνης και στο μέσο του.

4) Κύριο κατάστρωμα (Main Deck)

Είναι η συνεχής επιφάνεια του καταστρώματος που αναπτύσσεται σε όλο το μήκος του πλοίου από την πλήρη στην πρύμνη. Ονομάζεται και Ανώτερο Κατάστρωμα (Upper Deck), διότι είναι το κατάστρωμα που καλύπτει το πλοίο υδατοστεγώς από τον καιρό.

5) Αμπάρια (Holds)

Είναι ο εσωτερικός χώρος του πλοίου όπου αποθηκεύεται το εμπόρευμα κατά την μεταφορά του και τα στόμια τους όπου γίνεται η φόρτωση ή η εκφόρτωση είναι υπερυψωμένα από το κύριο κατάστρωμα.

6) Δεξαμενές (Tanks)

Είναι οι χώροι του πλοίου όπου εξυπηρετούν την φόρτο-εκφόρτωση και αποθήκευση καυσίμου και νερού. Διακρίνονται σε:

- Δεξαμενές φορτίου: Δεξαμενές για τη μεταφορά και φόρτο-εκφόρτωση υγρού φορτίου σε δεξαμενόπλοια.
- Δεξαμενές ζυγοστάθμισης: Δεξαμενές θαλάσσιου νερού που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση του βυθίσματος και της διαγωγής του πλοίου στις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης και πλεύσης. Υπάρχει η Πρωραία Δεξαμενή και η Πρυμναία Δεξαμενή.

7) Μάσκα ή Παρειά (Bow)

Τμήμα της γάστρας στην αριστερή η δεξιά πλευρά της στείρας.

8) Στείρα (Stem Post)

Η ακροπρωραία κατασκευή του πλοίου.

9) Ποδόστημα (Stern Post)

Η ακροπρυμναία κατασκευή του πλοίου.

10) Υφαλα (Underwater)

Το μέρος του πλοίου που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού.

11) Μέση τομή (Midship Section)

Ορίζεται το μέσο της εγκάρσιας απόστασης ανάμεσα της πρωραίας κάθετου και της πρυμναίας κάθετου.

12) Παράλληλο μέσο τμήμα (Parallel Middle Body)

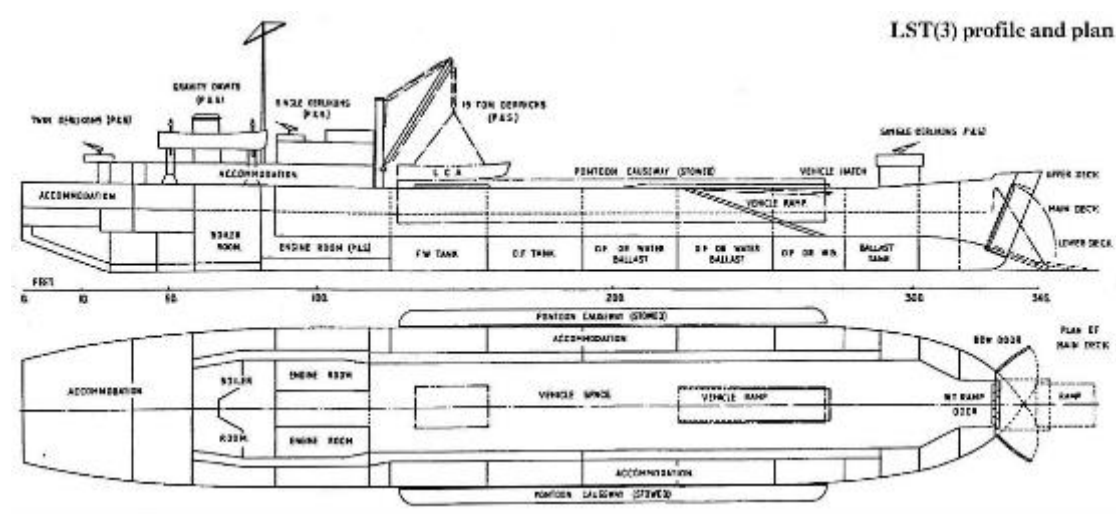
Το τμήμα του πλοίου κοντά στη μέση τομή που η μορφή των εγκάρσιων τομών του παραμένει σταθερή.

13) Υπερκατασκευή (Superstructure)

Κάθε κατασκευή του πλοίου πάνω από το κύριο κατάστρωμα του πλοίου που εκτείνεται μόνο στο πλάτος του πλοίου.

14) Υπερστέγασμα (Deck Erection)

Είναι η κατασκευή του πλοίου πάνω στο κύριο κατάστρωμα που εκτείνεται στο πλάτος και στο μήκος του.



ΕΙΚΟΝΑ 4- ΒΑΣΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ [13]

1.2.2 Διαστάσεις Πλοίου

1) Βύθισμα (Draft)

Είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της ίσαλο γραμμής και του πυθμένα της γάστρας, συμπεριλαμβανομένου του πάχους της γάστρας. Το βύθισμα καθορίζει το ελάχιστο βάθος νερού που μπορεί να διαπλεύσει με ασφάλεια ένα πλοίο και ονομάζεται Βύθισμα Σχεδίασης ή Αναφοράς. Το Μέσο βύθισμα (Mean Draft) του πλοίου είναι το ημιάθροισμα μεταξύ πρυμναίου και πρωραίου βυθίσματος.

2) Κοίλο η ύψος (Depth/ Height)

Ορίζεται η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του βασικού επιπέδου αναφοράς και σε ένα επίπεδο παράλληλο που διέρχεται από την πλευρά του ανωτέρου καταστρώματος στη μέση τομή.

3) Ύψος Εξάλλων (Freeboard)

Είναι η απόσταση ανάμεσα της γραμμής φόρτωσης και μιας γραμμής παράλληλης προς αυτή που φέρεται από την πλευρά του ανώτερου υδατοστεγούς καταστρώματος στη θέση της μέσης τομής. Το ελάχιστο ύψος εξάλλων ανταποκρίνονται στο μέγιστο επιτρεπτό βύθισμα του πλοίου.

4) Πλάτος σχεδίασης (Beam)

Ορίζεται η μέγιστη απόσταση μεταξύ των πλευρών του πλοίου και μετρείται κάθετα στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας χωρίς να συμπεριλαμβάνονται τα πάχη του πλευρικού ελάσματος.

5) Κυρτότητα Καταστρώματος (Camber)

Χρησιμοποιείται για να απεικονίσει την καμπυλότητα που παρουσιάζεται στο κατάστρωμα κατά του εγκάρσιου επιπέδου και εκφράζεται από την κάθετη απόσταση μεταξύ 2 παραλλήλων προς το βασικό επίπεδο που φέρονται από το μέσον και την πλευρά του καταστρώματος στη μέση τομή. Η καμπύλη συνήθως είναι παραβολική ή κυκλική και το ύψος της ισοδυναμεί με το 1/50 του πλάτους.

6) Μήκος μεταξύ καθέτων (Length Between Perpendiculars, LBP)

Είναι η διαμήκης απόσταση ανάμεσα στο ακρότατο σημείο της πλώρης και στο επίπεδο της ισάλου σχεδίασης. Από τα σημεία αυτά διέρχεται η Πρωραία Κάθετος (Forward Perpendicular, FP) και η Πρυμναία Κάθετος (After Perpendicular, AP του πλοίου αντίστοιχα.

7) Μήκος ισάλου (Length of Waterline, LWL)

Η διαμήκης απόσταση ανάμεσα στα ακραία σημεία του πλοίου στο επίπεδο της ισάλου.

8) Ολικό μήκος (Length Overall, LOA)

Η απόσταση μεταξύ της πλώρης και της πρύμνης.

9) Σιμότητα Καταστρώματος (Sheer)

Δείχνει την καμπυλότητα του καταστρώματος κατά τον διαμήκη άξονα. Υπάρχουν 2 είδη σιμότητας η πρωραία σιμότητα και η πρυμναία σιμότητα όπου αντιστοιχούν στην πλώρη και στην πρύμνη αντίστοιχα.

10) Διαγωγή (Trim)

Είναι η διαφορά μεταξύ πρωραίου και πρυμναίου βυθίσματος. Διακρίνονται 3 είδη βυθίσματος:

- Το ισοβύθιστο: όταν τα βυθίσματα είναι ίσα στο πλοίο.
- Διαγωγή προς την πρύμνη: όταν το πρυμναίο βύθισμα είναι μεγαλύτερο
- Διαγωγή προς την πλώρη: όταν το πρωραίο βύθισμα είναι μεγαλύτερο.

11) Κλίση του πυθμένα (Rise of floor)

Καθορίζεται από την κλίση της γραμμής του βασικού ελάσματος του πυθμένα ως προς τη διαμήκη γραμμή f και μετριέται στο επίπεδο του ονομαστικού πλάτους.

12) Εκτόπισμα (Displacement)

Κάθε πλοίο εκτοπίζει μια ποσότητα νερού και το βάρος της ποσότητας αυτής ισοδυναμεί με το βάρος του πλοίου. Υπάρχουν 2 είδη εκτοπίσματος:

- Το άφορτο εκτόπισμα που ισοδυναμεί με το βάρος του άφορτου πλοίου.
- Το έμφορτο εκτόπισμα που ισοδυναμεί με το βάρος του έμφορτου πλοίου.

13) Νεκρό Βάρος (Deadweight)

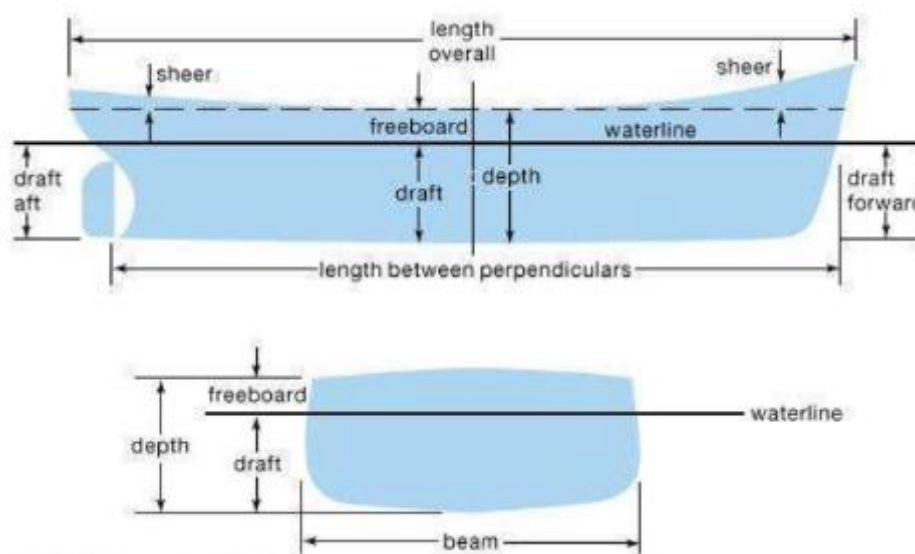
Υπολογίζεται από τη διαφορά του εμφόρτου και του άφορτου εκτοπίσματος και συμπεριλαμβάνει το βάρος των καυσίμων, των εφοδίων του πληρώματος και του μεταφερόμενου φορτίου

14) Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage, GRT)

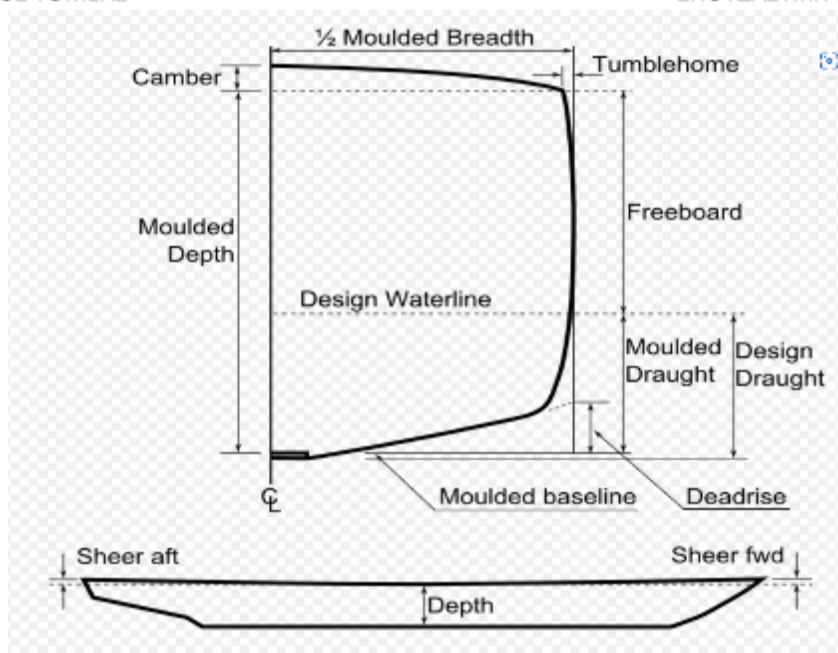
Η ολική χωρητικότητα είναι ένα είδος δείκτη που προκύπτει από τη χωρητικότητα για την κατάταξη ενός πλοίου για τον καθορισμό της επάνδρωσης, της ασφάλειας και άλλων νομοθετικών απαιτήσεων και εκφράζεται ως GRT, το οποίο είναι μια οντότητα χωρίς μονάδες, παρόλο που προκύπτει από την ογκομετρική χωρητικότητα σε κυβικά μέτρα.

15) Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage, NRT)

Βασίζεται στον υπολογισμό του όγκου όλων των κερδοφόρων χώρων φορτίου του πλοίου. Η χωρητικότητα του πλοίου εκφράζεται σε κυβικά μέτρα, πόδια ή οι κόρους χωρητικότητας, όπου 1 κόρος=100 κυβικά πόδια=2.83 κυβικά μέτρα



ΕΙΚΟΝΑ 5- ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΟΙΟΥ [13]



ΕΙΚΟΝΑ 6- ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΛΟΙΟΥ [13]

1.2.3 Κατασκευαστικά και δομικά στοιχεία

1) Διαδοκίδες (Beams)

Διαμήκεις ενισχυτικές δοκοί του καταστρώματος.

2) Λωροί (Stringers)

Διαμήκεις ενισχυτικές δοκοί των πλευρών της γάστρας.

3) Νομείς (Frames)

Είναι πλαίσια αποτελούμενα από δοκούς που είναι εγκάρσια βιδωμένες ή συγκολλημένες στην καρίνα. Τα πλαίσια στηρίζουν την γάστρα και ενισχύουν την αντοχή του πλοίου. Συνήθως είναι δοκοί διατομής Γ ή Τ και διακρίνονται εγκάρσιους νομείς και διαμήκεις νομείς. Το τμήμα του νομέα που προσαρμόζονται στον πυθμένα του πλοίου ονομάζεται Έδρα ενώ το τμήμα του νομέα που προσαρμόζεται στο κατάστρωμα ονομάζεται Ζυγό.

4) Ξειρά ελασμάτων (Strake)

Είναι το σύνολο της κατά μήκος διάταξης των ελασμάτων του περιβλήματος του πλοίου.

5) Σειρά ελασμάτων κυρτού γάστρας (Sheer Strake)

Είναι η σειρά των ελασμάτων ανάμεσα στον πυθμένα και των πλευρών.

6) Σταθμίδα (Keelson)

Είναι οι διαμήκεις ενισχυτικές δοκοί του πυθμένα και χωρίζονται ως εξής:

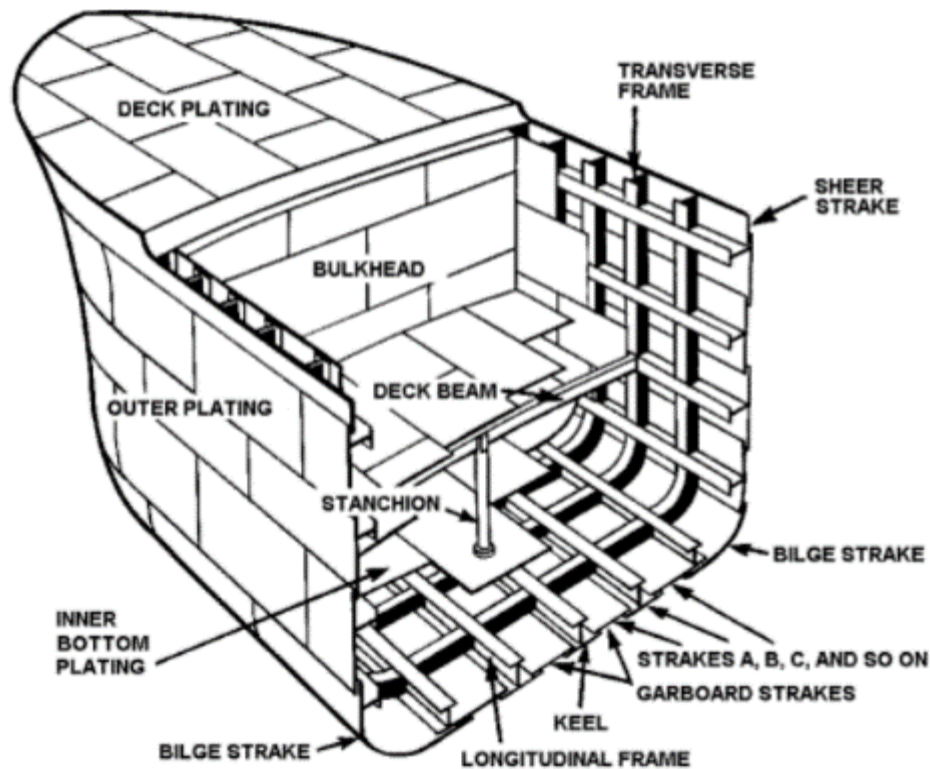
- Κεντρική Σταθμίδα: βρίσκεται στο μέσο του διαμήκη άξονα
- Κατακόρυφη τρόπιδα
- Πλευρικές σταθμίδες

7) Τροπίδα ή καρίνα (Καρίνα)

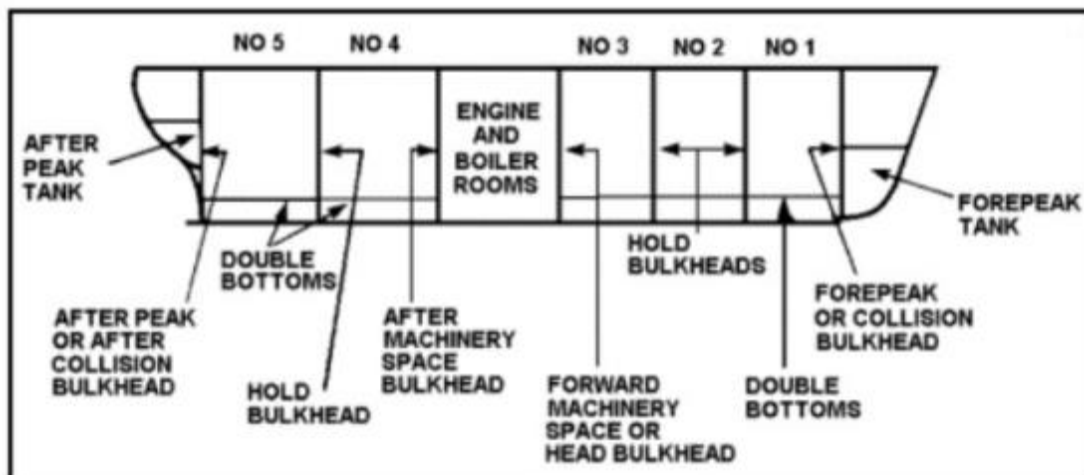
Είναι η σειρά ελασμάτων που βρίσκεται στον πυθμένα του πλοίου.

8) Φρακτές (Bulkheads)

Είναι κατακόρυφα διαφράγματα τοποθετημένα εγκάρσια και κατά μήκος και διαχωρίζουν τα μέρη του πλοίου ενισχύοντας την αντοχή του. Η πρώτη φρακτή από την πλώρη ονομάζεται Φρακτή Στεγανού Σύγκρουσης(Collision Bulkhead) και το τμήμα ανάμεσα της πλώρης και της φρακτής στεγανού σύγκρουσης ονομάζεται Πρωραίο Στεγανό (ForePeak). Ενώ η πρώτη φρακτή από την πρύμνη ονομάζεται Φρακτή Πρυμναίου Στεγανού (AftBulkhead) και το τμήμα ανάμεσα της πρύμνης και της φρακτής του πρυμναίου στεγανού ονομάζεται Πρυμναίο Στεγανό (AftPeak).



ΕΙΚΟΝΑ 7- ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ [17]



ΕΙΚΟΝΑ 8- ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ [17]

1.2.4 Επίπεδα και γραμμές αναφοράς

Ο σκοπός των γραμμών φόρτωσης και των επιπέδων αναφοράς είναι να διασφαλίσουν ότι ένα πλοίο διαθέτει επαρκές ελεύθερο ύψος (το ύψος από την ίσαλο γραμμή έως το κύριο κατάστρωμα) και, συνεπώς, επαρκή εφεδρική άνωση. Το ύψος του ελεύθερου σκάφους των εμπορικών πλοίων μετράται μεταξύ του χαμηλότερου σημείου του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος στην πλευρά και της ίσαλο γραμμής και δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το ύψος του ελεύθερου σκάφους που αναγράφεται στο πιστοποιητικό γραμμής φόρτωσης που έχει εκδοθεί για το κάθε πλοίο. Όλα τα εμπορικά πλοία, έχουν ένα σύμβολο γραμμής φόρτωσης στο μέσο του πλοίου σε κάθε πλευρά του πλοίου. Η ίσαλος γραμμή μπορεί επίσης να αναφέρεται σε οποιαδήποτε γραμμή στην γάστρα ενός πλοίου που είναι παράλληλη με την επιφάνεια του νερού όταν το πλοίο επιπλέει σε επίπεδη θέση. Ως εκ τούτου, οι γραμμές αναφοράς χρησιμοποιούνται για να υποδηλώσουν το σχήμα της γάστρας στα σχέδια ναυπηγικής. Αρχικά δίνεται ο ορισμός του άφορτου πλοίου και στην συνέχεια τα επίπεδα και οι γραμμές αναφοράς που αναλύονται παρακάτω:

1) Άφορτο πλοίο (Light Ship)

Είναι το βάρος του πλοίου που προορίζεται από το ναυπηγείο συμπεριλαμβάνοντας όλες τις μηχανές και τα μηχανήματα. Δεν συμπεριλαμβάνονται όμως τα καύσιμα, το πετρέλαιο, το φορτίο μεταφοράς κτλ.

2) Άφορτη ίσαλος γραμμή (Lightwaterline, LWL)

Ορίζεται η ίσαλος γραμμή που ανταποκρίνονται στην πλευρή όταν το πλοίο είναι άφορτο.

3) Ίσαλος γραμμή (Waterline)

Είναι η τομή που προκύπτει από την επιφάνεια της θάλασσας και ισοδυναμεί με την Έμφορτη Ίσαλο (Load Waterline), όταν το βύθισμα του πλοίου είναι μέγιστο.

4) Βασική γραμμή (Base line)

Ορίζεται η γραμμή στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου.

5) Βασικό Επίπεδο (Base Level)

Είναι το επίπεδο που συμπίπτει με την άνω επιφάνεια του ελάσματος της επίπεδης τροπίδας.

6) Διάμηκες επίπεδο συμμετρίας (Centerline Plane)

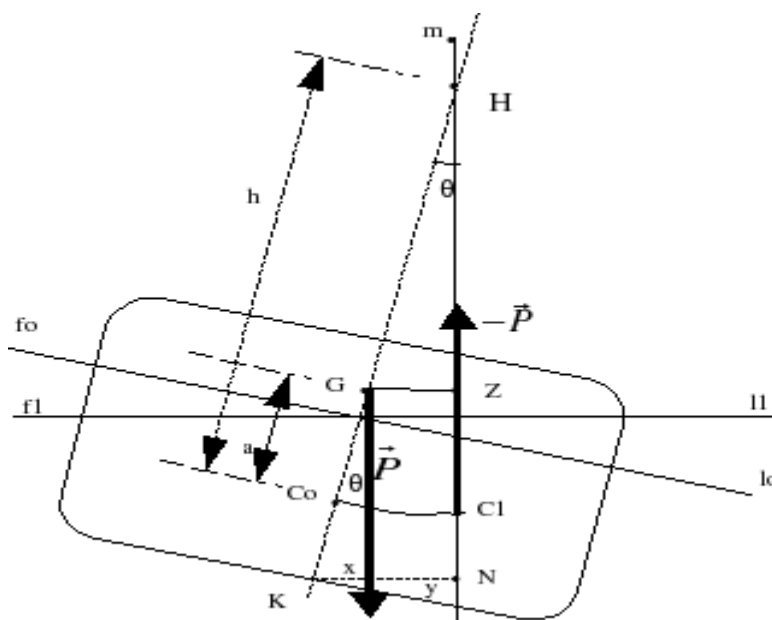
Είναι το επίπεδο που χωρίζει το πλοίο στο δεξιό τμήμα και στο αριστερό ενώ παράλληλα περιλαμβάνει την προ ωραία και πρυμναία κάθετο.

7) Μετάκεντρο (Metacenter)

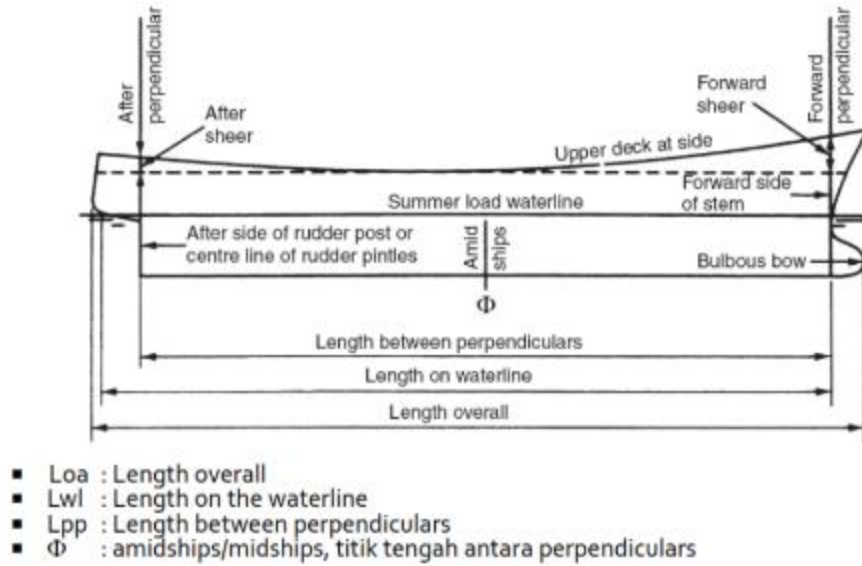
Είναι στο εγκάρσιο επίπεδο συμμετρίας το θεωρητικό σημείο στο οποίο μια νοητή κατακόρυφη γραμμή διέρχεται από το κέντρο άνωσης και καθορίζει την εγκάρσια ευστάθεια του πλοίου. Η ευσταθής ισορροπία του πλοίου εξασφαλίζεται όταν το μετάκεντρο είναι ψηλότερα από το κέντρο βάρους.

8) Παρίσαλος Επιφάνεια (Waterplane)

Είναι οποιαδήποτε επιφάνεια παράλληλη με το επίπεδο της ισάλου σχεδίασης που τέμνει το πλοίο στα ύφαλα.



ΕΙΚΟΝΑ 9- ΜΕΤΑΚΕΝΤΡΟ ΠΛΟΙΟΥ [12]



ΕΙΚΟΝΑ 10- ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ [13]

2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΟΙΩΝ

2.1 Μαθηματική ανάλυση γεωμετρίας

2.1.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός του σχήματος των επιφανειών της γάστρας του πλοίου εκτελείται και διατυπώνεται μέσω μαθηματικών εξισώσεων, καθώς στις ναυπηγικές κατασκευαστικές βιομηχανίες απαιτείται, για λόγους ακρίβειας της κατασκευής, η γνώση της μαθηματικής έκφρασης των σύνθετων καμπυλών οι οποίες πρέπει να διέρχονται από γνωστά, κατασκευαστικά ορισμένα, σημεία. Κατά την κατασκευή όμως απαιτείται για λόγους ακρίβειας πέρα από την γνώση των σημείων από τα οποία πρέπει να περάσει μια χωρική καμπύλη και η κλίση με την οποία θα περάσει αλλά και ενδιάμεσα σημεία με αντίστοιχες κλίσεις. Επομένως, ο σχεδιασμός της γάστρας του πλοίου σχεδιάζεται έτσι ώστε να ικανοποιούνται διάφοροι παράγοντες. Ένας από τους βασικότερους παράγοντες είναι η κίνηση του πλοίου που προκαλείται από τα κύματα και το κυματικό φορτίο που δέχεται τα οποία μπορούν να εκτιμηθούν με την εκτέλεση αριθμητικών υπολογισμών, με αποτέλεσμα να συνδράμουν στη δομική ανάλυση του πλοίου. Τα τελευταία χρόνια απαιτείται περαιτέρω βελτίωση της ακρίβειας και της υδροδυναμικής της γάστρας και έχουν γίνει σπουδαίες προσπάθειες να βελτιστοποιηθεί το σχήμα της γάστρας μειώνοντας αποτελεσματικά την τριβή αντίστασης του νερού αλλά και ως έναν βαθμό την αντίσταση του αέρα. Σημαντικό ρόλο για την απεικόνιση των γεωμετρικών σχημάτων για τις επιφάνειες του σχηματισμού της γάστρας του πλοίου παίζουν οι πολυωνυμικές συναρτήσεις, οι οποίες είναι ευέλικτες λόγω της απλότητάς τους. Παραδείγματα τέτοιων μεθόδων ήταν καμπύλες Bezier (Bezier, 1972) και οι B-Splines (Riesenfeld, 1972). Παρ' όλα αυτά, η εισαγωγή των παραμετρικών επιφανειών σχεδιασμού, όπως οι NURBS, αποτέλεσε το βασικότερο εργαλείο των σχεδιαστών, καθώς η χρήση τους είναι αρκετή για την αναπαράσταση της ολικής απεικόνισης της γάστρας. Πιο συγκεκριμένα, για να επιτευχθεί ο καλύτερος έλεγχος μιας καμπυλόγραμμης γεωμετρίας που αποτελείται από διαδοχικά σημεία και ευθύγραμμα τμήματα, αποτελώντας ένα πολύγωνο ελέγχου, χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες Bezier. Ωστόσο οι καμπύλες αυτές παρά την καλή προσέγγιση που δίνουν παρουσιάζονται προβλήματα σύνδεσης των διαφόρων τμημάτων μεταξύ τους δημιουργώντας έτσι πολυωνυμικές καμπύλες μεγάλου βαθμού και το τελικό μοντέλο αποτελείται από πολλά επιμέρους τμήματα. Το πρόβλημα αυτό της σύνδεσης λύθηκε με τη χρήση των Splines, όπου κάθε τμήμα της καμπύλης περιγράφεται με διαφορετικές συναρτήσεις ανάμεσα στα διαδοχικά σημεία. Παρ' όλα αυτά χρησιμοποιούνται οι παραμετρικές καμπύλες με την

εισαγωγή ρητών πολυωνύμων ως προς μια συντεταγμένη τουλάχιστον και ο στόχος αυτών των καμπυλών είναι η ακριβής περιγραφή των δύσκολων γεωμετρικών σχημάτων. Η καμπύλες αυτές με ανομοιόμορφη κατανομή του διαστήματος των κόμβων ονομάζονται καμπύλες NURBS (Non Uniform Rational B-Splines).

Επομένως, με τη χρήση των τελευταίων καμπυλών μπορούν να προσδιοριστούν οι διάφοροι παράμετροι της γάστρας της απόκρισης του πλοίου έχοντας ως δεδομένα το μήκος L , το πλάτος B , το βύθισμα d , τον συντελεστή εκτοπίσματος C_B και τον συντελεστή ισάλου C_W .

2.1.2 Bezier Splines

2.1.2.1 Καμπύλες Bezier

Οι καμπύλες Bezier είναι η απλούστερη παραλλαγή των splines. Οι καμπύλες Bezier έχουν δύο ιδιότητες:

- έναν βαθμό
- ένα σύνολο σημείων ελέγχου.

Ο βαθμός και ο αριθμός των σημείων ελέγχου μιας καμπύλης Bezier σχετίζονται μεταξύ τους. Μια καμπύλη Bezier βαθμού p έχει ακριβώς $m = p+1$ σημεία ελέγχου και η σειρά των splines που είναι $p+1$. Επομένως, όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός (τάξη) μιας καμπύλης Bezier, τόσο περισσότερα σημεία ελέγχου έχει. Ο χαμηλότερος δυνατός βαθμός είναι 0. Στην περίπτωση αυτή, η αντίστοιχη καμπύλη έχει μόνο ένα σημείο ελέγχου και σχηματίζει ένα σημείο. Οι καμπύλες Bezier έχουν αποδειχθεί χρήσιμες επειδή το σχήμα μιας καμπύλης Bezier μπορεί να προσαρμοστεί αρκετά διαισθητικά τροποποιώντας τα σημεία ελέγχου της που αποτελούν ένα πολύγωνο ελέγχου. Ενώ οι καμπύλες Bezier αρχίζουν και τελειώνουν στο πρώτο και το τελευταίο σημείο ελέγχου τους αντίστοιχα, γενικά δεν διέρχονται από τα εσωτερικά σημεία ελέγχου τους (είναι δυνατόν να δημιουργηθούν καμπύλες που διέρχονται από μερικά ή και όλα τα σημεία ελέγχου τους). Αντίθετα, τα εσωτερικά σημεία ελέγχου χρησιμεύουν ως σημεία έλξης. Επίσης, τα σημεία στον χώρο προσδιορίζουν αποκλειστικά την μορφή της καμπύλης και όσο μεγαλώνει ο βαθμός της καμπύλης Bezier, γίνεται και ασθενέστερη και η σχέση μεταξύ του χαρακτηριστικού πολυγώνου και της καμπύλης.

Συγκριτικά με τις υπόλοιπες καμπύλες, οι καμπύλες Bezier έχουν μεγάλο βαθμό συνέχειας και βασίζονται στις ιδιότητες των πολυωνύμων Bernstein, με αποτέλεσμα να είναι ομαλότερες. Μια ακόμη ιδιότητα των καμπύλων Bezier είναι πως η καμπύλη εφάπτεται στα ακραία τμήματα των πολυγώνων ελέγχου. Κατόπιν, ένα

ακόμη πλεονέκτημα τους είναι ότι η αντιστροφή των σημείων ελέγχου δεν αλλάζει τη μορφή της καμπύλης και το πολύγωνο ελέγχου καθορίζει πόσο ανοιχτή ή κλειστή θα είναι η μορφή της καμπύλης.

Η μαθηματική έκφραση είναι ως εξής:

$$P(t) = \sum_{i=0}^n P_i * J_{n,i}(t) \quad , \quad 0 \leq t \leq 1 \quad [1]$$

Όπου τα πολυώνυμα: $J_{n,i}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}$

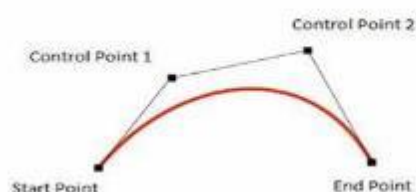


Figure - 1

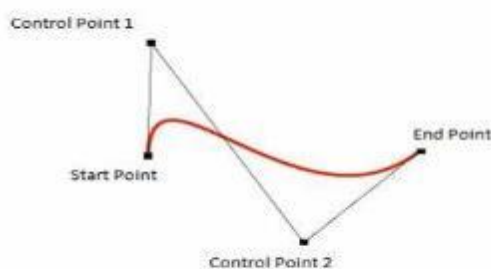
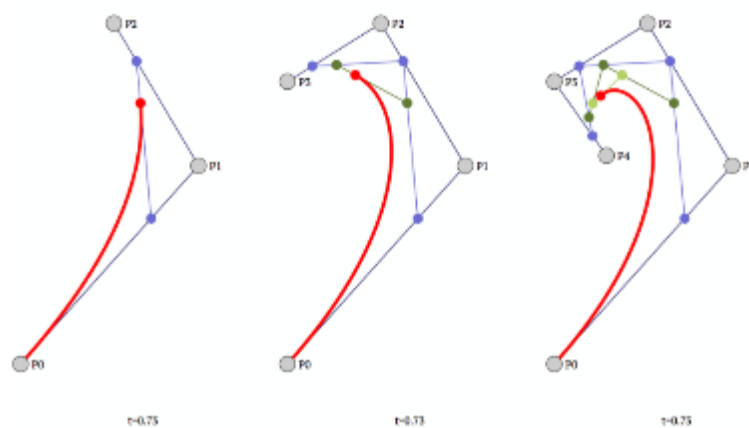


Figure - 2

ΕΙΚΟΝΑ 11- ΚΑΜΠΥΛΕΣ BEZIER-ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ [4]



ΕΙΚΟΝΑ 12- ΚΑΜΠΥΛΕΣ BEZIER-ΠΟΛΥΓΩΝΟ ΕΛΕΓΧΟΥ [4]

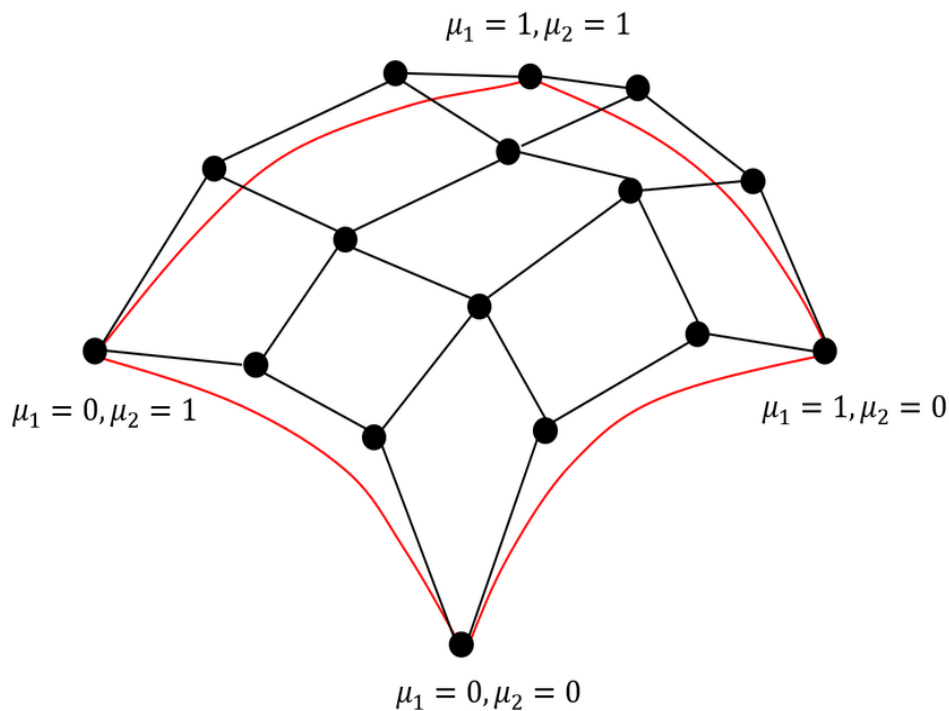
2.1.2.2 Επιφάνειες Bezier

Η επιφάνεια Bezier αποτελεί επέκταση της καμπύλης Bezier στις 2 παραμετρικές κατευθύνσεις u και v . Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε πολύεδρο ελέγχου έτσι ώστε να οριστεί κατάλληλα η επιφάνεια Bezier και τα σημεία ελέγχου αποτελούν τις κορυφές του πολυέδρου ελέγχου και αποτελούνται από ένα ορθογώνιο πίνακα $(n+1) \times (m+1)$. Οι επιφάνειες Bezier έχουν τις παρακάτω ιδιότητες:

- Μια επιφάνεια Bezier μετασχηματίζεται αν μεταβληθούν τα σημεία ελέγχου της κάτω από όλους τους γραμμικούς μετασχηματισμούς και τις μετατοπίσεις.
- Όλες οι γραμμές $u = \text{σταθερές}$ και $v = \text{σταθερές}$ στο χώρο (u, v) και ειδικότερα όλες οι τέσσερις ακμές του παραμορφωμένου μοναδιαίου τετραγώνου (u, v) είναι καμπύλες Bezier.
- Μια επιφάνεια Bezier θα βρίσκεται πλήρως εντός του κυρτού περιβλήματος των σημείων ελέγχου της, και επομένως επίσης πλήρως εντός του ορίου των σημείων ελέγχου της σε οποιοδήποτε δεδομένο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.

Η μαθηματική έκφραση είναι ως εξής:

$$P(u,v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} B_{i,n}(u) B_{j,m}(v) \quad [2], \quad 0 \leq u \leq 1 \text{ και } 0 \leq v \leq 1$$



ΕΙΚΟΝΑ 13- ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ BEZIER [6]

2.1.3 B-SPLINES

2.1.3.1 Καμπύλες B-Splines

Μια καμπύλη B-spline ορίζεται από μια σειρά σημείων ελέγχου που σχηματίζουν με ένα πολύγωνο ελέγχου. Ουσιαστικά, οι καμπύλες B-Splines είναι γενικευμένες καμπύλες Bezier. Εκτός από το βαθμό και τα σημεία ελέγχου, οι B-Splines έχουν μια επιπλέον ιδιότητα η οποία είναι το διάνυσμα κόμβων το οποίο είναι μια ακολουθία μη φθινόντων αριθμών κόμβων. Η πολλαπλότητα κάθε κόμβου, δηλαδή πόσο συχνά εμφανίζεται στην ακολουθία, πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με την τάξη της καμπύλης. Έπειτα, η καμπύλη αποτελείται από παραπάνω από ένα τμήμα και ο αριθμός των τμημάτων m εξαρτάται από τον αριθμό των σημείων ελέγχου $n+1$ και τον βαθμό της καμπύλης p . Με βάση ένα δεδομένο σύνολο σημείων ελέγχου, το διάνυσμα των κόμβων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αλλάξει ελαφρώς το σχήμα της καμπύλης, ωστόσο η σχέση μεταξύ των τροποποιήσεων του διανύσματος των κόμβων και της προκύπτουσας αλλαγής του σχήματος είναι λιγότερο διαισθητική από ό,τι με τα σημεία ελέγχου. Όσον αφορά το πεδίο τιμών της παραμέτρου u μεταβάλλεται στο διάστημα $[0, m]$.

Οι ιδιότητες των καμπυλών B-Splines k -βαθμού είναι οι εξής:

1. Αποτελούνται από τμήματα βαθμού k που ενώνονται μεταξύ τους με συνέχειες C^{k-1}
2. Κάθε τμήμα της καμπύλης ορίζεται από $k+1$ σημεία ελέγχου
3. Τμήμα $Q_i(u)$: F ορίζεται στο παραμετρικό διάστημα $u_i \leq u \leq u_{i+1}$ από τα σημεία $P_{i-k}, P_{i-k+1}, \dots, P_i$
4. Το σημείο P_i επηρεάζει $k+1$ τμήματα, δηλαδή τα $Q_i, Q_{i+1}, \dots, Q_{i+k+1}$
5. Ένα σημείο ανήκει:

$$Q(u) = \sum_0^n P_i * N_i^k(u) \quad [3] \quad , \quad u_i \leq u \leq u_{i+1}$$

6. Ισχύει ότι:

$$N_i^k(u) = \frac{u-u_i}{u_{i+k}-u_i} N_i^{k-1}(u) + \frac{u_{i+k+1}-u}{u_{i+k+1}-u_{i+1}} N_{i+1}^{k-1}(u) \quad [4]$$

$$\text{και } N_i^0(u) = \begin{cases} 1, & u_i \leq u \leq u_{i+1} \\ 0, & \text{εκτός} \end{cases}$$

7. Ισχύει πάντα ότι: $N_i^k(u) \geq 0$
8. Για κάθε κλάδο-διάστημα $u_i \leq u \leq u_{i+1}$, ισχύει ότι: $\sum_{j=i-k}^i N_j^k(u) = 1$
9. Οι συναρτήσεις $N_i^k(u)$ ορίζονται στο κομβικό διάνυσμα:

$$U=[t_0, \dots, t_k, t_{k+1}, \dots, t_n, t_{n+1}, \dots, t_{n+k+1}]=[a, \dots, a, t_{k+1}, \dots, t_n, b, \dots, b]$$

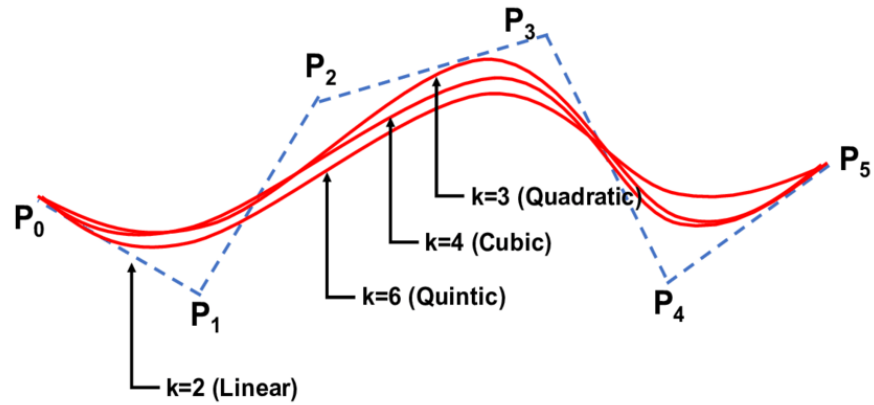
10. Οι επαναλαμβανόμενοι ίσοι κόμβοι στην αρχή και στο τέλος του κομβικού διαστήματος είναι $k+1$. Επομένως, βάσει του κομβικού διαστήματος μπορεί να εξαχθεί ο βαθμός της καμπύλης k .
11. Αν ένας μη πραγματικός κόμβος επαναλαμβάνεται r -φορές στο κομβικό διάστημα τότε η συνέχεια της συνολικής καμπύλης είναι C^{k-r} .
12. Το κομβικό διάστημα έχει $m+1$ 7 κόμβους.
13. Μια καμπύλη B-Spline έχει $n+1$ f σημεία ελέγχου και είναι βαθμού k .
14. Ισχύει ότι: $m=n+k+1$.
15. Για τον βαθμό της καμπύλης πρέπει να ισχύει η σχέση $n-k+2>0$
16. Η μετακίνηση ενός σημείου ελέγχου επηρεάζει συγκεκριμένα μόνο τμήματα της καμπύλης.
17. Η μορφή της καμπύλης εξαρτάται από το βαθμό της με αποτέλεσμα όσο μεγαλώνει ο βαθμός της καμπύλης τόσο απομακρύνεται η καμπύλη από το πολύγωνο ελέγχου.
18. Η ανοιχτή καμπύλη δευτέρου βαθμού εφάπτεται στο μέσο κάθε τμήματος του πολυγώνου εκτός του πρώτου και του τελευταίου και τα μέσα των τμημάτων ελέγχου του πολυγώνου ελέγχου είναι οι τιμές των κόμβων της καμπύλης.
19. Το κάθε ξεχωριστό τμήμα της καμπύλης B-Spline περικλείεται μέσα στο κυρτό πολύγωνο που σχηματίζουν τα σημεία ελέγχου που επηρεάζουν το εκάστοτε τμήμα της καμπύλης.

Για τον υπολογισμό μιας καμπύλης B-Splines ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

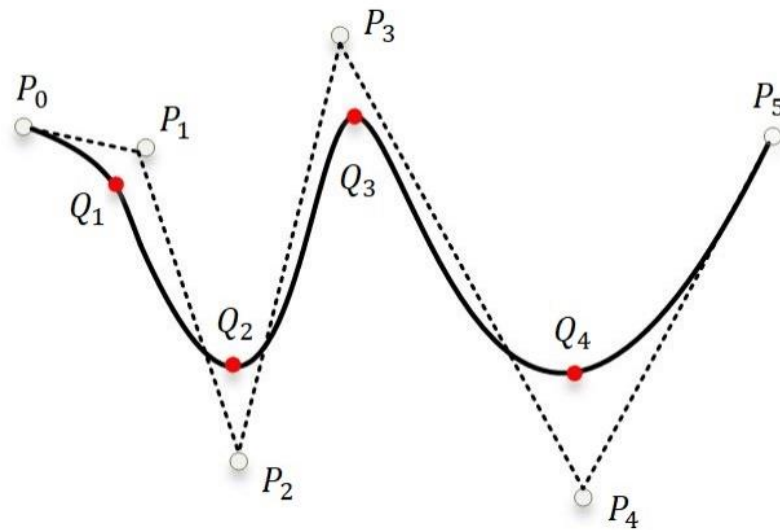
- 1) Ορίζεται ο βαθμός της καμπύλης p . Συνηθίζεται να είναι $k=3$.
- 2) Προσδιορίζεται το σύνολο των κόμβων m και στη συνέχεια το διάστημα τους.
- 3) Υπολογίζονται οι $(n+1)$ βασικές συναρτήσεις B-Splines $N_{i,k}$.
- 4) Κάνουμε αντικατάσταση τις βασικές συναρτήσεις $N_{i,k}$ με τα αντίστοιχα τους σημεία ελέγχου $P_{i,1}$

Συγκριτικά με τις καμπύλες Bezier, οι καμπύλες B-Splines υπερτερούν, καθώς:

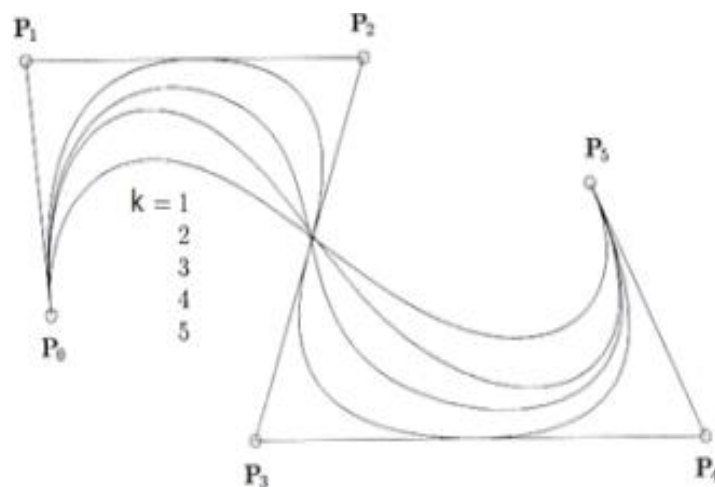
- 1) Στις καμπύλες B-Splines η μετακίνηση ενός σημείου ελέγχου επηρεάζει μόνο ορισμένα τμήματα της καμπύλης.
- 2) Ο βαθμός της καμπύλης είναι ανεξάρτητος από τα σημεία ελέγχου και επιλέγεται από τον χρήστη.
- 3) Η προθήκη/διαγραφή σημείων ελέγχου γίνεται χωρίς να υπάρχει αντίστοιχη αλλαγή του βαθμού της καμπύλης.



ΕΙΚΟΝΑ 14- ΚΑΜΠΥΛΕΣ B-SPLINES ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΒΑΘΜΩΝ [7]



ΕΙΚΟΝΑ 15- ΚΑΜΠΥΛΗ B-SPLINE ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ [7]



ΕΙΚΟΝΑ 16- ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΕ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ [7]

2.1.3.2 Επιφάνειες B-Splines

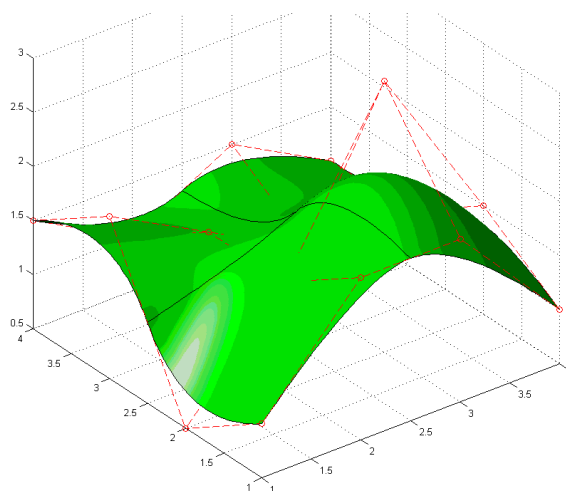
Οι επιφάνειες B-Splines αποτελούν επέκταση των καμπυλών B-Splines στις 2 παραμετρικές κατευθύνσεις u και v και ορίζονται από ένα σύνολο σημείων, διατεταγμένων σε πίνακα, το οποίο καθορίζει το πολύεδρο ελέγχου. Όπως και στις καμπύλες έτσι και στις επιφάνειες προσεγγίζονται τα σημεία ελέγχου και σε περίπτωση που μεταβληθεί η θέση τους μεταβάλλεται και η μορφή της επιφάνειας. Βαθμός της επιφάνειας επιλέγεται από τον χρήστη για κάθε μία από τις παραμέτρους και είναι ανεξάρτητος από τον αριθμό των σημείων ελέγχου. Επίσης η μετατόπιση ενός σημείου ελέγχου επηρεάζει μόνο ένα τμήμα πάνω στην επιφάνεια και αυτό συνεπάγεται με δυνατότητα της τοπικής μεταβολής σημείων. Όσον αφορά την συνέχεια των κόμβων, για κόμβο που εμφανίζεται r -φορές ισχύει ότι η συνέχεια είναι C^{p-r} .

Η μαθηματική έκφραση της επιφάνειας που ορίζεται από $(n+1) \times (m+1)$ σημεία ελέγχου είναι:

$$P(u,v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v) \quad [5] \quad , \quad 0 \leq u \leq u_{\max} \text{ και } 0 \leq v \leq v_{\max}$$

Οι ιδιότητες των επιφανειών B-Splines κ -βαθμού είναι οι εξής:

- 1) Ο τοπικός έλεγχος της επιφάνειας γίνεται με μετακίνηση ενός σημείου ελέγχου. Το διάστημα που επηρεάζει μετακίνηση κάθε σημείου εξαρτάται από το βαθμό της επιφάνειας για κάθε μία κατεύθυνση.
- 2) Ισχύει η ιδιότητα του κυρτού πολυέδρου καθώς η επιφάνεια περικλείεται στο κλειστό πολύεδρο που σχηματίζουν τα σημεία ελέγχου. Κάθε τμήμα της επιφάνειας περικλείεται και αυτό σε τοπικό κλειστό πολύεδρο.
- 3) Οι μετασχηματισμοί στην επιφάνεια εφαρμόζονται στα σημεία ελέγχου.
- 4) Η ανοιχτή επιφάνεια περνάει από τα ακραία σημεία ελέγχου και ξεκινάει και καταλήγει εφαπτόμενη προς τα αντίστοιχα τμήματα του αντίστοιχου πολύγωνου ελέγχου.



ΕΙΚΟΝΑ 17- ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ B-SPLINES [8]

2.1.4 NON-UNIFORM RATIONAL B-SPLINES

2.1.4.1 Καμπύλες NURBS

Μια καμπύλη NURBS ορίζεται από την τάξη της, ένα σύνολο σημείων ελέγχου και ένα διάνυσμα κόμβου. Οι καμπύλες NURBS είναι γενικεύσεις των καμπυλών B-splines με κύρια διαφορά τη στάθμιση των σημείων ελέγχου, η οποία καθιστά τις καμπύλες NURBS ρητά πολυώνυμα.

Η μαθηματική έκφραση μιας καμπύλης NURBS βαθμού k είναι ως εξής:

$$C(u) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) w_i P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) w_i} \quad [6]$$

Με P_i : σημεία ελέγχου, w_i = βάρη των σημείων ελέγχου και $N_{i,k}(u)$ τις βασικές συναρτήσεις που ορίζονται στο ανομοιόμορφο και μη περιοδικό διάστημα κόμβων:

$$U=[0, \dots, 0, u_{p+1}, \dots, u_{m-p+1}, b, \dots, b].$$

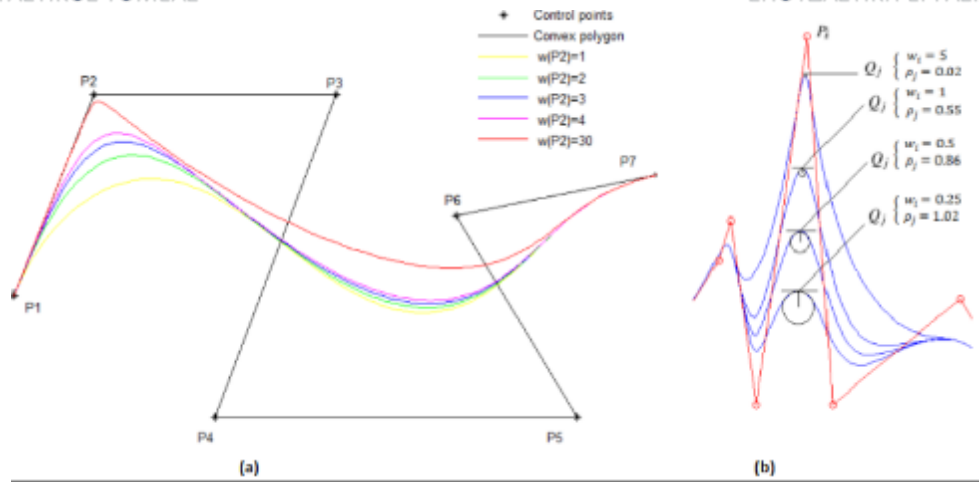
$$\text{Θέτοντας την ποσότητα } R_{i,p} = \frac{N_{i,k}(u) w_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) w_i} \quad [7], \alpha \leq u \leq \beta$$

Η γενική εξίσωση γράφεται ισοδύναμα:

$$C(u) = \sum_{i=0}^n R_{i,k}(u) P_i \quad [8]$$

Οι ιδιότητες των καμπυλών NURBS k -βαθμού είναι οι εξής:

- 1) Ισχύει η ιδιότητα του κυρτού πολυγώνου, όπως και στις καμπύλες B-splines καθώς η επιφάνεια περικλείεται στο κλειστό πολύγωνο που σχηματίζουν τα σημεία ελέγχου. Κάθε τμήμα της επιφάνειας περικλείεται και αυτό σε τοπικό κλειστό πολύγωνο.
- 2) Οι μετασχηματισμοί πραγματοποιούνται με εφαρμογή στα σημεία ελέγχου.
- 3) Η καμπύλη περνάει από τα ακραία σημεία.
- 4) Στα εσωτερικά σημεία της καμπύλης υπάρχει η παραγωγός οποιουδήποτε βαθμού.
- 5) Εάν μετατοπιστεί ένα σημείο ελέγχου P_i ή αλλάξει το βάρος του σημείου ελέγχου τότε επηρεάζεται μόνο το τμήμα της καμπύλης $[u_i, u_{i+p+1}]$
- 6) Η $C(u)$ είναι C^{r-k} συνεχής σε έναν κόμβο πολλαπλότητας r
- 7) Η ρητή καμπύλη Bezier προκύπτει εάν μια ρητή καμπύλη δεν έχει εσωτερικούς κόμβους.



ΕΙΚΟΝΑ 18- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ NURBS [11]

2.1.4.2 Επιφάνειες NURBS

Οι επιφάνειες NURBS αποτελούν επέκταση των καμπυλών NURBS στις 2 παραμετρικές κατευθύνσεις u και v και εξίσωση τους για βαθμό p στην κατεύθυνση u και βαθμό q στην κατεύθυνση v . Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις επιφανειών χρησιμοποιείται πίνακας για τα σημεία ελέγχου P_{ij} αλλά με βάρη w_{ij} ($0 \leq i \leq n$, $0 \leq j \leq m$).

Η μαθηματική έκφραση των επιφανειών NURBS:

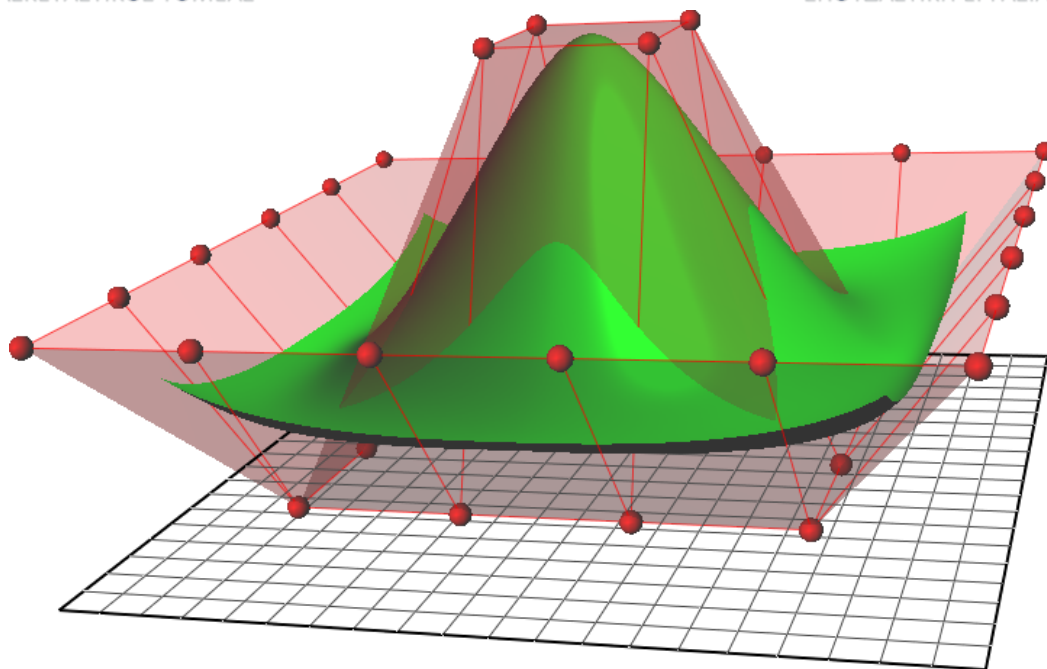
$$P(u,v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m R_{i,j}(u,v) P_{ij} \quad [9]$$

με την βασική ρητή συνάρτηση να ορίζεται από την εξίσωση:

$$R_{i,j}(u,v) = \frac{N_{i,p}(u)N_{j,q}w_{i,j}}{\sum_{k=0}^n \sum_{l=0}^m N_{k,p}(u)N_{l,q}(v)w_{k,l}} \quad [10]$$

Οι ιδιότητες των επιφανειών NURBS είναι οι εξής:

1. Η επιφάνεια διέρχεται από τα ακραία σημεία: $P(0,0)=P_{00}$, $P(1,0)=P_{n0}$, $P(0,1)=P_{0m}$, $P(1,1)=P_{nm}$
2. Όλοι οι μετασχηματισμοί εφαρμόζονται στα σημεία ελέγχου.
3. Ισχύει η ιδιότητα του κυρτού περιβλήματος και σε τοπική εφαρμογή.
4. Η μετακίνηση του σημείου P_{ij} ή αλλαγή του βάρους w_{ij} , επηρεάζει το τμήμα της επιφάνειας που ορίζεται από τις τιμές των παραμέτρων ορισμού. $[u_i, u_{i+p+1}] \times [v_j, v_{j+q+1}]$
5. Η παραγωγή της $P(u,v)$ ορίζονται $p-r(q-r)$ φορές ως προς $u(v)$ στις τιμές του κόμβου πολλαπλότητας r .



ΕΙΚΟΝΑ 19- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ NURBS [14]

2.1.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

Συμπερασματικά, οι καμπύλες NURBS αποτελούν ένα ισχυρό και βασικό εργαλείο για την αναπαράσταση οποιασδήποτε γεωμετρίας παρά την περιπλοκότητα που μπορεί να έχει. Οι καμπύλες και οι επιφάνειες NURBS είναι χρήσιμες για διάφορους λόγους:

- Το σύνολο των NURBS για μια δεδομένη τάξη είναι αναλλοίωτο κάτω από γεωμετρικούς μετασχηματισμούς. Όπως για μετατοπίσεις που μπορούν να εφαρμοστούν σε καμπύλες και επιφάνειες NURBS εφαρμόζοντάς τις στα σημεία ελέγχου τους.
- Προσφέρουν μια κοινή μαθηματική μορφή τόσο για τα τυπικά αναλυτικά σχήματα (π.χ. κωνικά) όσο και για τα σχήματα ελεύθερης μορφής.
- Παρέχουν την ευελιξία για το σχεδιασμό μιας μεγάλης ποικιλίας σχημάτων.
- Μπορούν να αξιολογηθούν αρκετά γρήγορα αριθμητικά από ακριβείς αλγορίθμους.

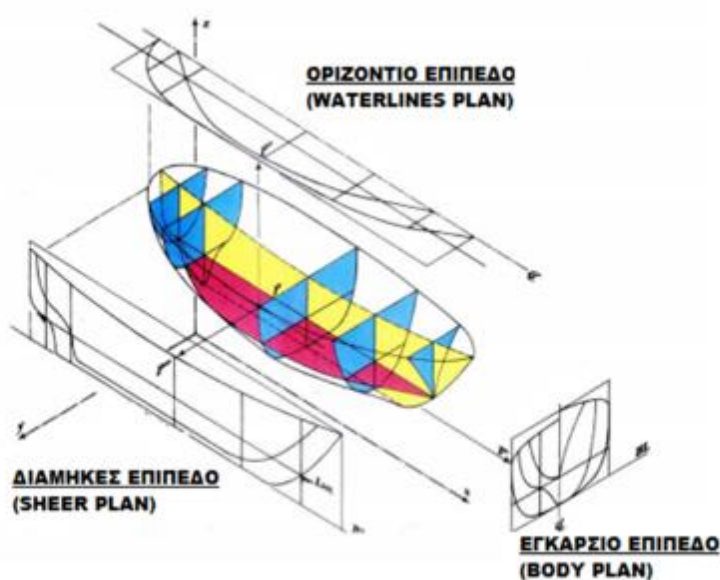
2.2 Γεωμετρικά στοιχεία πλοίων και βασικές διαστάσεις

2.2.1 Γεωμετρικός ορισμός σχήματος πλοίου

Η γάστρα του πλοίου ως μια πολύπλοκη τρισδιάστατη μορφή σχεδιάζεται με καθορισμό συστημάτων επιπέδων στον χώρο όπου σχεδιάζονται οι κατάλληλες καμπύλες μέσω μαθηματικής έκφρασης και από τομές των επιμέρους μερών του πλοίου. Ωστόσο, η γάστρα δεν είναι δυνατόν να περιγραφεί πλήρως με μαθηματικές εξισώσεις πάρα μόνο κάποια μέρη της και για αυτόν τον λόγο θα οριστούν οι ναυπηγικές γραμμές που απεικονίζουν την παραστατική γεωμετρία της. Το σχέδιο ονομάζεται Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών και τα σχέδια γραμμών δείχνουν μια σειρά γραμμών τομής μεταξύ μιας επιφάνειας και ενός επιπέδου.

Τα τρία επίπεδα που θα χρησιμοποιηθούν είναι τα εξής:

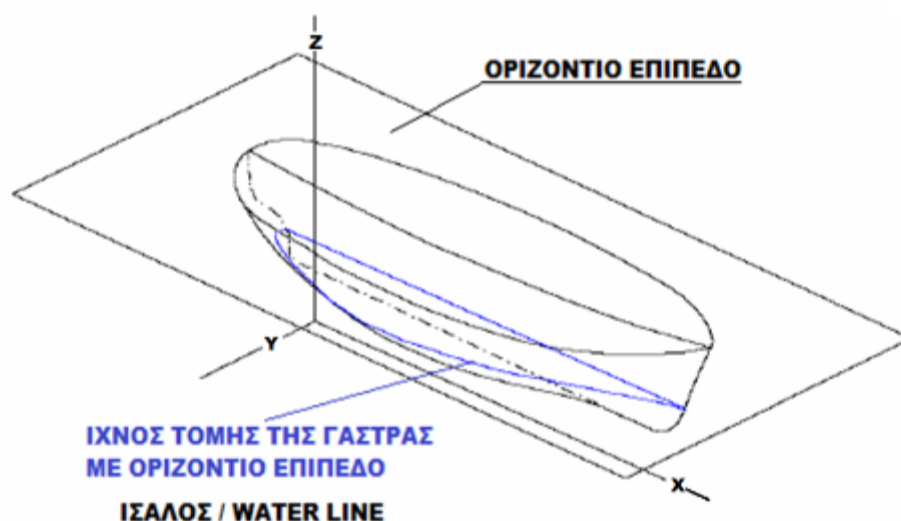
- 1) **Οριζόντια επίπεδα** στα οποία σχηματίζονται οι ίσαλοι του πλοίου.
- 2) **Επίπεδα παράλληλα στο μέσο επίπεδο** στα οποία σχηματίζονται οι διαμήκεις ναυπηγικές γραμμές.
- 3) **Εγκάρσια επίπεδα** στα οποία σχηματίζονται οι εγκάρσιες τομές ή νομείς.



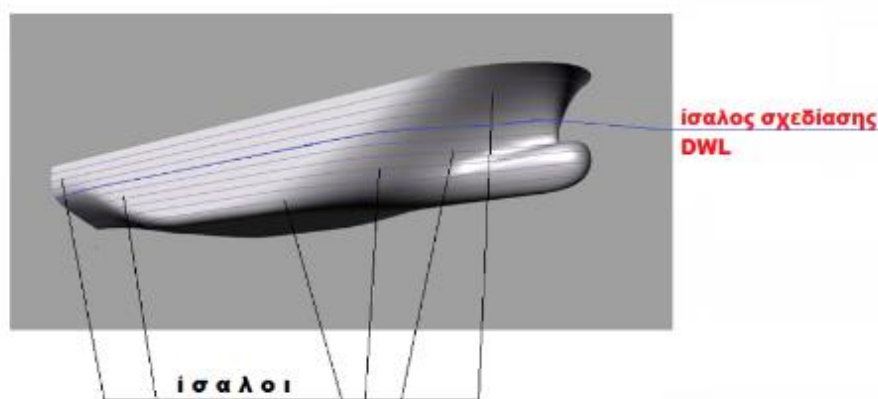
ΕΙΚΟΝΑ 20- ΕΠΙΠΕΔΑ ΠΟΥ ΤΕΜΝΟΥΝ ΤΗΝ ΓΑΣΤΡΑ [15]

Οριζόντιες Ναυπηγικές Γραμμές:

Οι οριζόντιες ναυπηγικές γραμμές ή παρίσαλοι απεικονίζονται στην πλευρά του πλοίου ως προς το οριζόντιο επίπεδο, το οποίο κατά κύριο λόγο είναι το δεξιό μέρος του σχεδίου των ναυπηγικών γραμμών. Έτσι, στο οριζόντιο επίπεδο δημιουργούνται οι καμπύλες που προκύπτουν από την τομή της γάστρας του πλοίου με μια σειρά παραλλήλων επιπέδων και συνήθως η μεταξύ τους απόσταση είναι 1 m. Τα επίπεδα αυτά δεν υπερβαίνουν το μέγιστο επιτρεπτό βύθισμα του σκάφους. Επίσης, οι οριζόντιες γραμμές στην εγκάρσια όψη και στην πρόσοψη εμφανίζονται ως ευθείες. Στα σχέδια συμβολίζονται ως WL(Water Lines) και η αρίθμηση γίνεται από την βασική γραμμή που θεωρείται η έναρξη της αρίθμησης και αυξάνονται σε WL1, WL2 κτλ. Κατά τον σχεδιασμό προκύπτει και η παρίσαλος σχεδίασης, ουσιαστικά είναι η ίσαλος σχεδίασης εφόσον αναλογούν σε ίδιο επίπεδο, όπου αποτελεί την ίσαλο πλήρους φόρτωσης.



ΕΙΚΟΝΑ 21- ΤΟΜΗ ΓΑΣΤΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ [15]



ΕΙΚΟΝΑ 22- ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ [15]

Εγκάρσιες Ναυπηγικές Γραμμές:

Οι εγκάρσιες ναυπηγικές γραμμές προκύπτουν από την τομή των εγκάρσιων επιπέδων με την εσωτερική όψη του περιβλήματος του πλοίου. Η κάθε τομή που προκύπτει παριστάνει στην πρόσοψη την μορφή της γάστρας και το πως μεταβάλλεται κατά την διαμήκη γραμμή, δηλαδή οι καμπύλες που δημιουργούνται είναι κατακόρυφα εγκάρσια επίπεδα. Οι θέσεις αυτών των τομών καλούνται θεωρητικοί νομείς. Στο σχέδιο οι νομείς που ανήκουν στο πρωραίο τμήμα του σκάφους χαράζονται δεξιά της κεντρικής γραμμής κατά το ήμισυ τους, εφόσον το άλλο τμήμα είναι συμμετρικό. Ενώ εκείνοι που ανήκουν στο πρυμναίο τμήμα χαράζονται αριστερά από την κεντρική γραμμή κατά το ήμισυ τους. Όσον αφορά την αρίθμηση τους, στα ναυπηγικά σχέδια ο πρώτος νομέας ξεκινάει από την πρυμναία κάθετο, όπου είναι ο νομέας 0, και συνεχίζουν προς την πρωραία κάθετο με αύξοντα αριθμό.

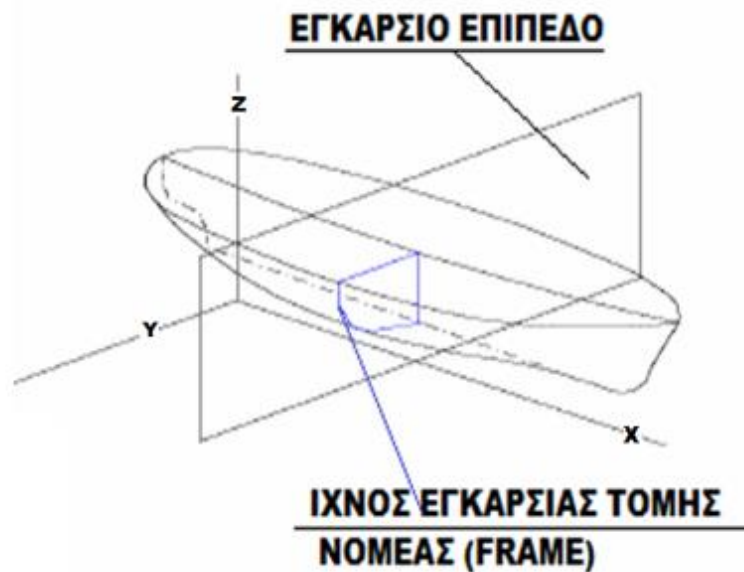
Οι νομείς διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

➤ **Θεωρητικοί Νομείς**

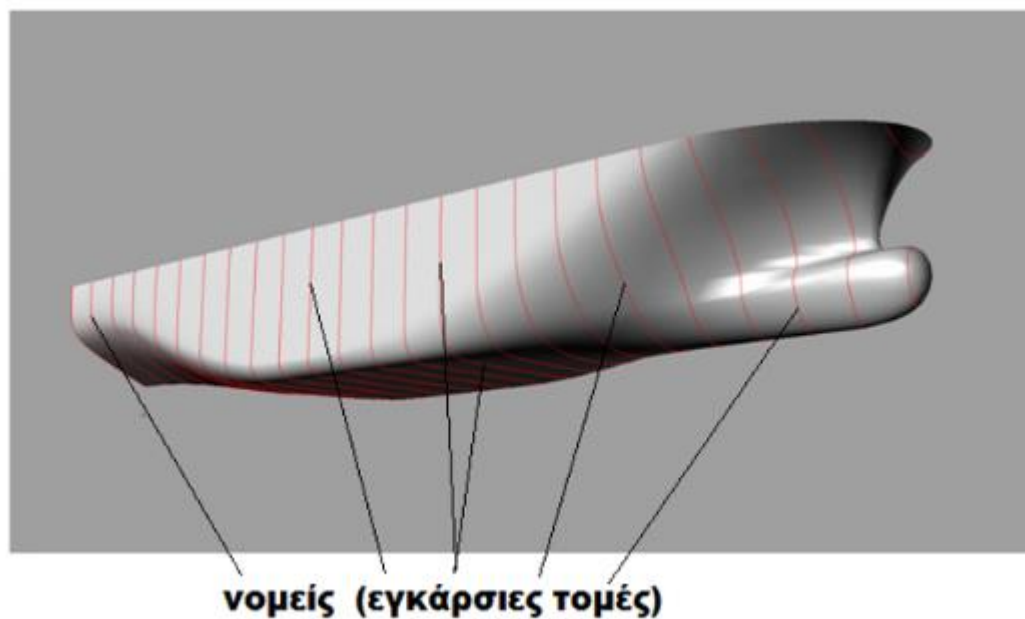
Είναι οι γραμμές που χρησιμοποιούνται στο ναυπηγικό σχέδιο του πλοίου που επέχουν θέση νομέων με ίσες αποστάσεις μεταξύ τους και ο αριθμός τους είναι άρτιος. Ο θεωρητικός νομέας που σχεδιάζεται ακριβώς στο μέσο του πλοίου καλείται μέσος νομέας και συμβολίζεται με κύκλο στο κέντρο του οποίου εφάπτονται οριζόντια 2 ημικυκλίδια.

➤ **Κατασκευαστικοί νομείς**

Είναι οι γραμμές στη θέση των οποίων τοποθετούνται οι εγκάρσιες ενισχύσεις του πλοίου. Η απόσταση μεταξύ τους δεν είναι σταθερή και μάλιστα στην πλήρη υπάρχει περιορισμός καθώς η ισοαπόσταση δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 610 mm.



ΕΙΚΟΝΑ 23- ΤΟΜΗ ΓΑΣΤΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ [15]

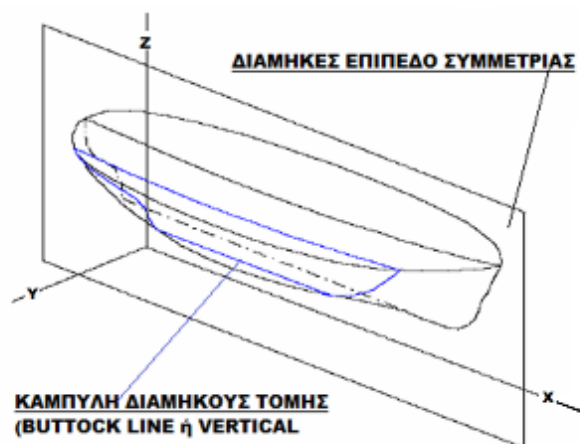


ΕΙΚΟΝΑ 24- ΕΓΚΑΡΣΙΕΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ [15]

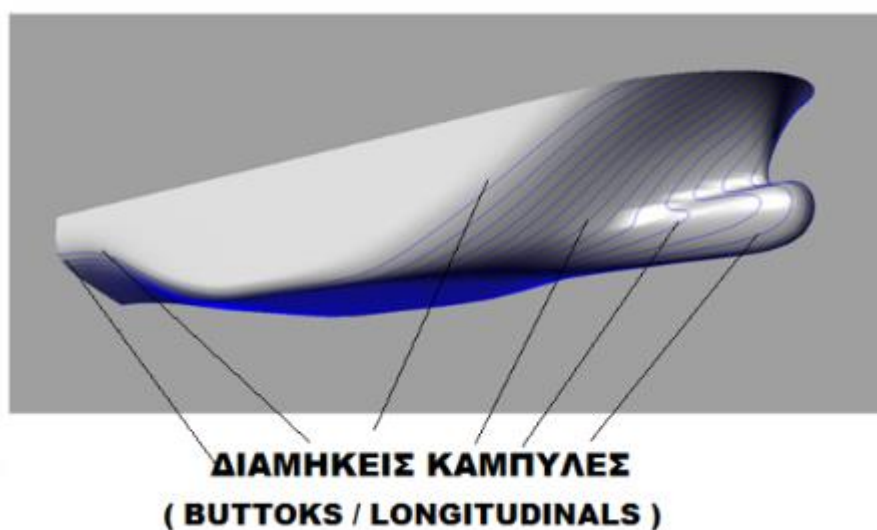
Διαμήκεις Ναυπηγικές Γραμμές:

Οι διαμήκεις ναυπηγικές γραμμές απεικονίζονται ως προβολές των τόμων ως προς το κεντρικό επίπεδο και συνήθως τίθενται στο πάνω δεξιό μέρος του σχεδίου. Επειδή το κεντρικό επίπεδο είναι συμμετρικό οι κάθετες του δεξιού τμήματος είναι ίδιες με του αριστερού τμήματος. Η απόσταση ανάμεσα των καθέτων συνηθίζεται να είναι

στο 1 m. Συμβολίζονται με VL(Vertical Lines) και αριθμούνται από την κεντρική γραμμή που αντιστοιχεί στο VLO κατ' αύξοντα αριθμό. Το τμήμα του σχεδίου που φέρει τις διαμήκεις γραμμές ονομάζεται πρόσοψη του σκάφους.



ΕΙΚΟΝΑ 25- ΤΟΜΗ ΓΑΣΤΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΜΗΚΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟ [15]



ΕΙΚΟΝΑ 26- ΔΙΑΜΗΚΕΙΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ [15]

2.2.2 Συσχέτιση διαστάσεων

Οι διαστάσεις ενός πλοίου καθορίζονται από διάφορα κριτήρια όπου τα βασικότερα από αυτά είναι η χωρητικότητα και ικανότητα για τη μεταφορά του φορτίου. Παρόλα αυτά οι βασικές διαστάσεις του πλοίου όπως είναι το ολικό μήκος, το πλάτος σχεδιάσεις, το ύψος των εξ άλλων και το βύθισμα κτλ. αλληλεξαρτώνται μεταξύ τους και αυτή η αλληλεξάρτηση απεικονίζεται μαθηματικά μέσω των συντελεστών σχήματος πλοίου. Προφανώς για κάθε είδος πλοίου οι συντελεστές

ποικίλουν, αφού κάθε πλοίο εξυπηρετεί διαφορετικούς σκοπούς και έχει διαφορετικές διαστάσεις. Επίσης οι διαστάσεις επηρεάζουν και την αντοχή του πλοίου αφού μια αύξηση του μήκους δημιουργεί μεγαλύτερες διαμήκεις καμπτικές τάσεις και για να αντιμετωπιστούν απαιτούνται επιπρόσθετες δομικές ενισχύσεις και μεγαλύτερο εκτόπισμα για το ίδιο βάρος φορτίου. Επίσης το μήκος του πλοίου πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το ελάχιστο δυνατό σύμφωνα με την απαιτούμενη ταχύτητα και το σχήμα της γάστρας. Κατόπιν οι διαστάσεις πρέπει να επιλέγονται κατάλληλα ώστε να επιτυγχάνεται και η επιθυμητή εγκάρσια σταθερότητα. Όσον αφορά το συνολικό ύψος(ελάχιστο) είναι το άθροισμα του βυθίσματος και το ύψος εξάλων που καθορίζεται από το νόμο για κάθε πλοίο, επομένως μια αύξηση στο συνολικό ύψος θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των δυναμικών καμπτικών τάσεων, ενώ μια αύξηση στο ελάχιστο συνολικό ύψος συνεπάγεται με αύξηση του μήκους. Άλλες διαστάσεις που παίζουν σημαντικό ρόλο είναι η σιμότητα και η κατανομή του βάρους, όπου το κέντρο βάρους θα πρέπει να είναι όσο πιο κοντά στον άξονα συμμετρίας του εγκάρσιου επιπέδου. Επομένως, το σχήμα της γάστρας σχεδιάζεται σύμφωνα με τους συντελεστές σχήματος πλοίου.

2.2.3 Συντελεστές Σχήματος Πλοίου

Στην ναυπηγική οι συντελεστές μορφής έχουν πολύ μεγάλη σημασία, καθώς περιγράφουν ποσοτικά μια γάστρα με ένα φυσικό ή συνολικό γεωμετρικό σημείο αναφοράς από σχεδιαστική και μαθηματική άποψη. Αυτοί οι συντελεστές μορφής εφαρμόζονται σε όλους τους τομείς, όπως δομή, ευστάθεια, υδροστατική, αντίσταση, πρόωση και στην ναυσιπλοΐα.

Συντελεστής Εκτοπίσματος (Block Coefficient)

Ένα πλοίο που επιπλέει στο νερό εκτοπίζει έναν ορισμένο όγκο νερού, ο οποίος προκαλεί μια αντίθετη αντίδραση γνωστή ως άνωση, η οποία συγκρατεί το σώμα στην επιφάνεια και ισούται με το βάρος του του όγκου που είναι κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας που εκτοπίζεται από την γάστρα. Μάλιστα, αυτό το βάρος του εκτοπισμένου νερού είναι επίσης μαθηματικά ισοδύναμο με τη δομή του σκάφους και ορίζεται ως εκτόπισμα του σκάφους. Το εκτόπισμα είναι χαρακτηριστικό της μορφής της γάστρας και εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά της γάστρας, καθώς αυτό μεταφράζεται μόνο στον όγκο του νερού που εκτοπίζεται σε δεδομένες συνθήκες.

Η τιμή του συντελεστή μπλοκ ή CB κυμαίνεται πάντοτε στο εύρος από 0 έως 1, διότι εκφράζει το ποσοστό του νοητού ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου $L_{WL}XB_{XD}$ το οποίο γεμίζει από τον όγκο V της γάστρας. Η τιμή αυτή καθορίζει ουσιαστικά την πληρότητα ή τη λεπτότητα της μορφής της γάστρας. Κατά συνέπεια, από άποψη αντίστασης, η αντίσταση της γάστρας είναι ευθέως ανάλογη της πληρότητας και αντίστροφα. Αυτό, με τη σειρά του, σχετίζεται με την ταχύτητα του σκάφους. Ως εκ τούτου, για να επιτευχθεί υψηλότερη τιμή ταχύτητας, ο συντελεστής μπλοκ πρέπει

συχνά να μεταβάλλεται από τους σχεδιαστές. Για υψηλότερες τιμές του C_B , η μορφή της γάστρας του πλοίου λέγεται ότι είναι πληρέστερη, ενώ για χαμηλότερες τιμές λέγεται ότι είναι λεπτότερη. Για παράδειγμα, τα στρατιωτικά μαχητικά σκάφη, όπως οι κορβέτες υψηλής ταχύτητας ή οι φρεγάτες, έχουν συντελεστή εκτοπίσματος 0,5-0,6. Από την άλλη πλευρά, τα φορτηγά πλοία πληρέστερης μορφής, όπως τα bulkers και τα δεξαμενόπλοια, έχουν συντελεστές μπλοκαρίσματος της τάξης του 0,8 έως 0,9. Τα πλοία μεγάλης ταχύτητας έχουν μικρό συντελεστή εκτοπίσματος.

Ο συντελεστής εκτοπίσματος εκφράζεται μαθηματικά ως εξής:

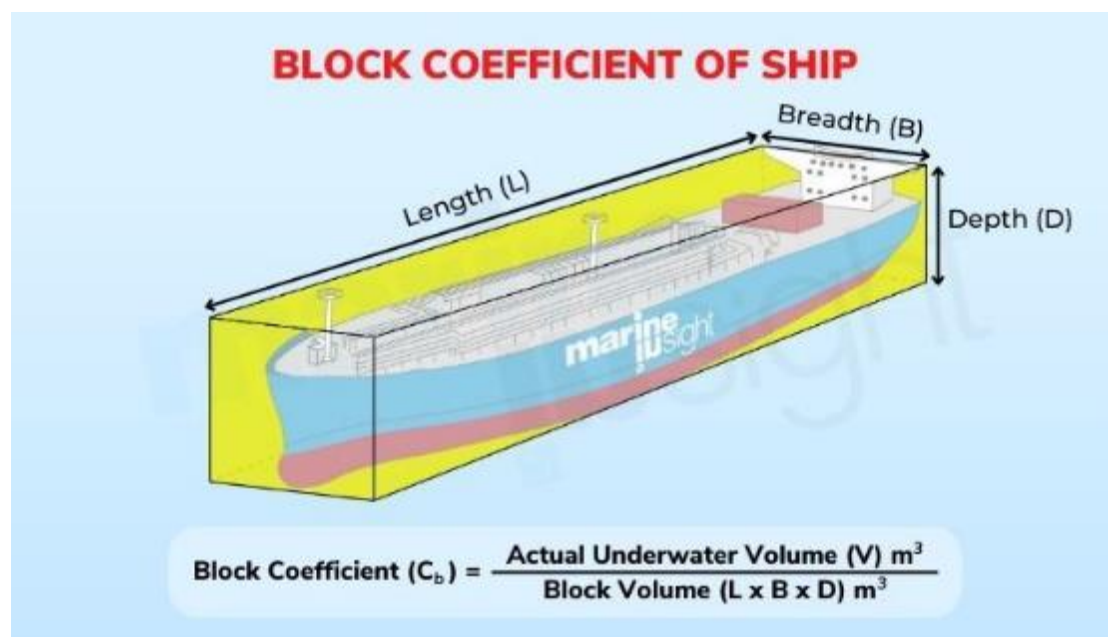
$$C_B = \frac{V}{L_{WL} * B * D} \quad [11]$$

Όπου V: όγκος εκτοπίσματος υφάλων

L_{WL} : μήκος ισάλου (LWL)

B: πλάτος κατασκευής (Beam)

D: βύθισμα (Draft)



ΕΙΚΟΝΑ 27- ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ [11]

Πρισματικός Συντελεστής (Prismatic Coefficient)

Ο πρισματικός συντελεστής ενός πλοίου σε οποιοδήποτε βύθισμα είναι ο λόγος του όγκου του εκτοπίσματος σε αυτό το βύθισμα προς τον όγκο ενός πρίσματος που έχει το ίδιο μήκος με το πλοίο και την ίδια επιφάνεια διατομής με την επιφάνεια στο μέσο του πλοίου. Ο πρισματικός συντελεστής χρησιμοποιείται κυρίως από

ερευνητές μοντέλων πλοίων. Γενικά, οι τιμές του πρισματικού συντελεστή είναι λίγο μεγαλύτερες από αυτές του συντελεστή εκτοπίσματος και μεγάλες τιμές του υποδεικνύουν ότι το πλοίο έχει σχήμα μέσης τομής μορφής U, ενώ οι μικρές τιμές υποδεικνύουν μορφή V.

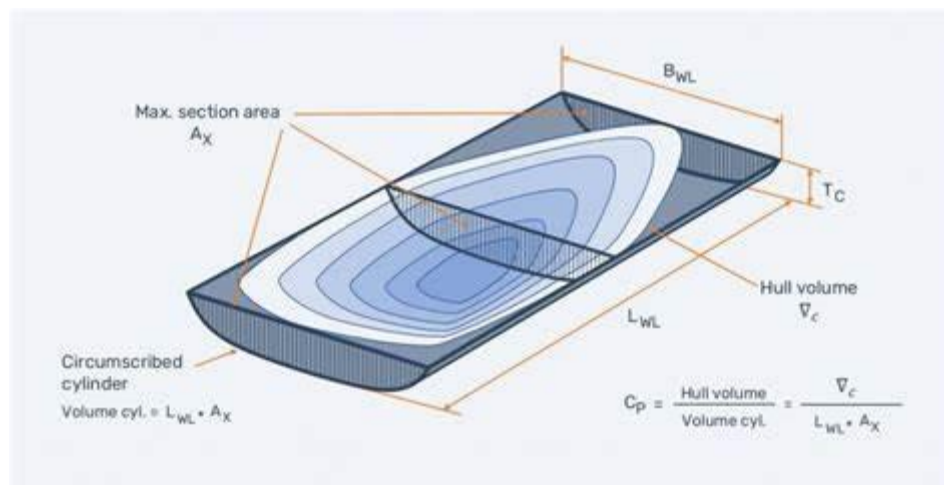
Ο πρισματικός συντελεστής εκφράζεται μαθηματικά ως εξής:

$$C_p = \frac{V}{L_{WL} * M} \quad [12]$$

Όπου V: όγκος εκτοπίσματος υφάλων

L_{WL} : μήκος ισάλου (LWL)

M: πρισματική επιφάνεια μέσης τομής.



ΕΙΚΟΝΑ 28- ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ-ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ [11]

Συντελεστής Μέσης Τομής (Midship Coefficient)

Ο συντελεστής μέσης τομής μπορεί να θεωρηθεί ως μια δισδιάστατη εκδοχή του συντελεστή εκτοπίσματος. Εκφράζεται ως το εμβαδόν της βυθισμένης μεσόβαθρης διατομής (A_m) διαιρούμενο με το γινόμενο του βυθίσματος (D) και του πλάτους (B) στην περιοχή της μεσόβαθρης διατομής. Όσο πληρέστερο είναι ένα πλοίο στο μέσο του πλοίου, τόσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής διατομής του. Η τιμή του συντελεστή μέσης τομής κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Ο συντελεστής μέσης διατομής επηρεάζει επίσης μια σειρά σημαντικών παραγόντων που σχετίζονται με το πλοίο, όπως για παράδειγμα μια αύξηση του χωρίς αύξηση του συντελεστή εκτοπίσματος, η αντίσταση τριβής αυξάνεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνεται η επιφάνεια διαβροχής καθώς και ότι η ανομοιομορφία στην κατανομή της ταχύτητας γίνεται μεγαλύτερη. Όμως η αύξηση της αντίστασης είναι σχετικά μικρή, συνήθως μόνο μερικές ποσοστιαίες μονάδες. Ένας υψηλότερος συντελεστής μέσης τομής μειώνει επίσης την ανάγκη για καμπυλότητα της πλάκας από την καρίνα έως το κύριο κατάστρωμα του πλοίου καθώς και κατά μήκος του παράλληλου μεσόβαθρου

σώματος. Αυτό μειώνει την ανάγκη για κάμψη του πλαισίου, αλλά μόνο για μια μικρή περιοχή.

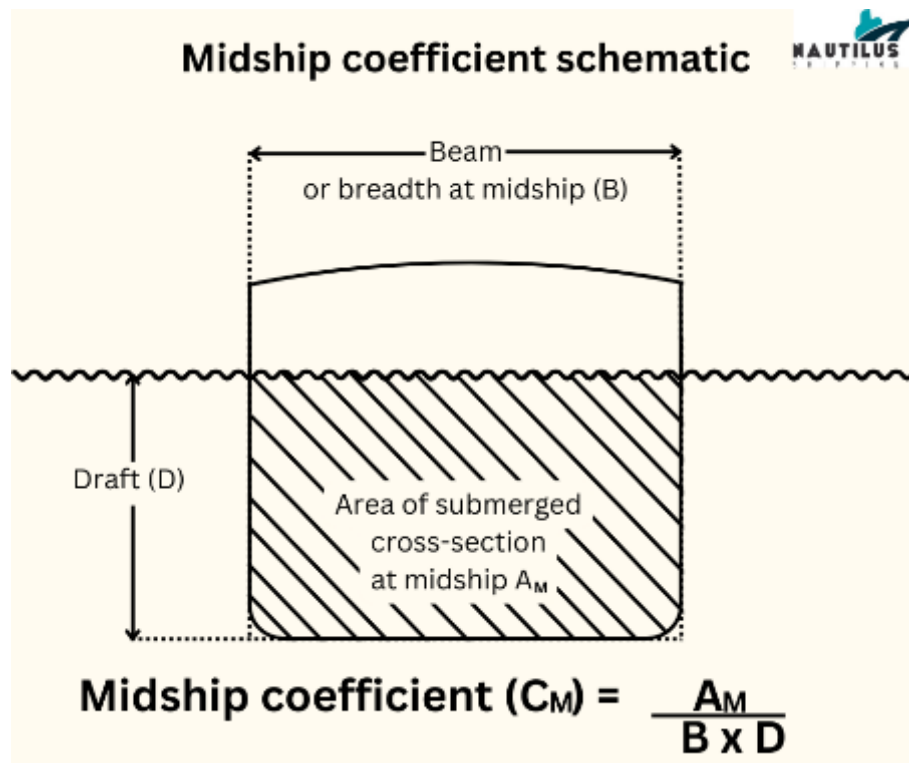
Ο συντελεστής μέσης τομής εκφράζεται μαθηματικά ως εξής:

$$C_M = \frac{M}{B \cdot D} \quad [13]$$

Όπου B: πλάτος κατασκευής (Beam)

D: βύθισμα (Draft)

M: πρισματική επιφάνεια μέσης τομής



ΕΙΚΟΝΑ 29- ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ [11]

Συντελεστής Ισάλου (Waterplane Coefficient)

Η επιφάνεια του πλοίου που βρέχεται αλλάζει με το βύθισμα καθώς μετακινούμαστε από την καρίνα προς την κουπαστή. Ο συντελεστής ισάλου δείχνει πόσο παρόμοιο είναι η επιφάνεια που βρέχεται του πλοίου με ένα ορθογώνιο μπλοκ ίδιου μήκους και πλάτους σε ένα συγκεκριμένο βύθισμα. Όσο περισσότερο μοιάζει η βρεγμένη περιοχή με ένα ορθογώνιο, τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ισάλου. Ένας υψηλότερος συντελεστής ισάλου προσδίδει μεγαλύτερη ευστάθεια σε ένα πλοίο. Αυτό μπορεί, ωστόσο, να προκαλέσει αυξημένη παραμόρφωση στις γραμμές. Ως αποτέλεσμα, κατά το σχεδιασμό ενός σκάφους, είναι συνήθης πρακτική να επιλέγεται ένας χαμηλότερος συντελεστής ισάλου που ταιριάζει με άλλες προδιαγραφές. Στη συνέχεια, μπορούμε να σχεδιάσουμε τις

γραμμές ανεξάρτητα. Ένας χαμηλότερος συντελεστής ισάλου παρέχει λεπτότερα άκρα και μειώνει την αντίσταση. οι τυπικές τιμές του συντελεστή ισάλου είναι 0,85 για πλοία λεπτής μορφής και 0,9 για πλοία <<γεμάτα>>.

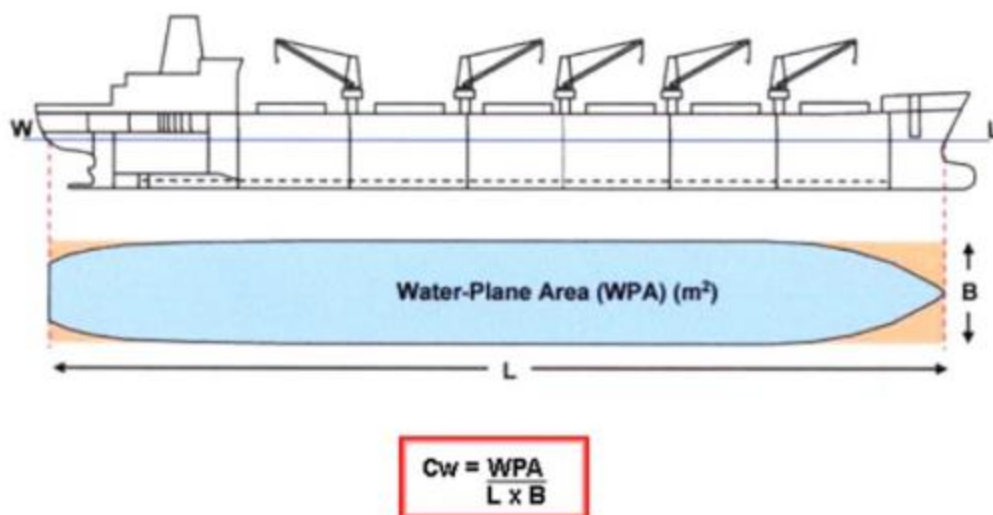
Ο συντελεστής ισάλου εκφράζεται μαθηματικά ως εξής:

$$C_W = \frac{A}{B * L_{WL}} \quad [14]$$

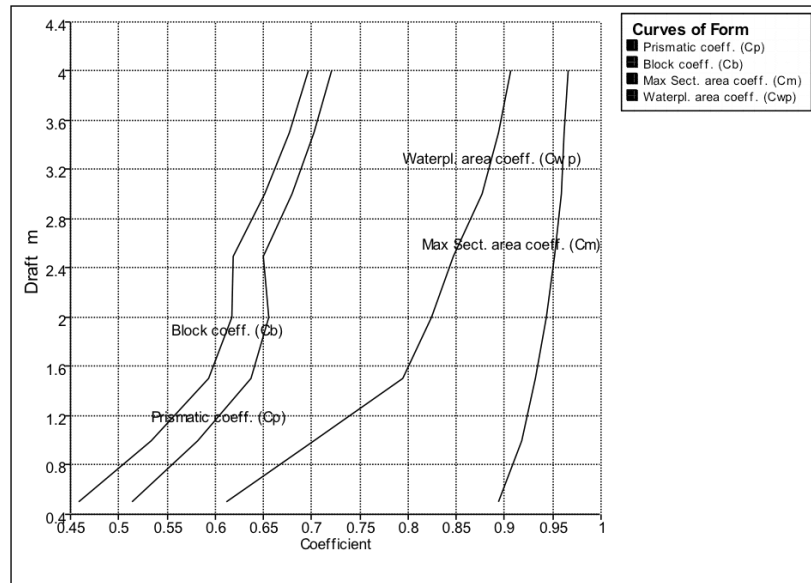
Όπου B: πλάτος κατασκευής (Beam)

A: επιφάνεια ισάλου

L_{WL} : μήκος ισάλου (LWL)



ΕΙΚΟΝΑ 30- ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΑΛΟΥ [11]



ΕΙΚΟΝΑ 31- ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΜΕ ΤΟ ΒΥΘΙΣΜΑ [11]

3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

3.1 Μοντελοποίηση

3.1.1 Ανασκόπηση παραμετρικού σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός πλοίου βασίζεται κυρίως στην εκτεταμένη χρήση βάσεων δεδομένων για την γάστρα και στην εμπειρία του σχεδιαστή. Στο παρελθόν θεωρούνταν ένα είδος τέχνης, όπου ο έμπειρος σχεδιαστής μπορούσε να φανταστεί τις γραμμές ροής γύρω από την γάστρα του πλοίου και ο σχεδιασμός ήταν συνδυασμός της εμπειρίας και ορισμένων κανόνων που είχαν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε προηγούμενες μελέτες. Ωστόσο, οι ανάγκες για την βελτιστοποίηση της γάστρας, όπως η ελαχιστοποίηση της δύναμης της τριβής του νερού, ανάγκασε τους σχεδιαστές να προβούν σε καινοτόμες μεθόδους έτσι ώστε να πετύχουν καλύτερα αποτελέσματα κυρίως ως προς την υδροδυναμική της. Σημαντικό ρόλο σε αυτήν την εξέλιξη έπαιξαν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και τα προγράμματα σχεδιασμού που έχουν ανοίξει τον τομέα του σχεδιασμού γραμμών και καμπυλών σε ένα ευρύ φάσμα. Ορισμένα σύγχρονα προγράμματα ναυπηγικού σχεδιασμού σχηματίζουν την γεωμετρία της γάστρας από επίπεδα που ορίζονται κατάλληλα σημεία σε ολοκληρωμένες επιφάνειες μέσω καμπυλών, με αποτέλεσμα να εμπεριέχονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες. Όπως κάθε είδος σχεδιασμού, έτσι και στην παραμετρική σχεδίαση της γάστρας του πλοίου ακολουθούνται βήματα, τα οποία είναι ως εξής:

- 1) Δημιουργούνται τα κατάλληλα επίπεδα και οι βασικές γραμμές-καμπύλες(επίπεδο καταστρώματος, ίσαλος σχεδίασης, επίπεδη επιφάνεια πλευρών ,επίπεδη επιφάνεια πυθμένα) σε συμφωνία με μερικές διακεκριμένες εγκάρσιες καμπύλες, όπως η τομή του μεσαίου επιπέδου.
- 2) Παραμετρική μοντελοποίηση των τομών σχεδιασμού που προέρχονται από τις βασικές καμπύλες.
- 3) Τελικός σχηματισμός ενός συνόλου επιφανειών που προσεγγίζουν τις δομές σχεδιασμού.

Αξίζει να σημειωθεί πως όλες οι καμπύλες και επιφάνειες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο ανήκουν στην οικογένεια των NURBS για τους λόγους που έχουν προαναφερθεί και υπολογίζονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλότητα και να συμφωνούν οι παράμετροι για το σχήμα της γάστρας.

Ένα βασικό πλεονέκτημα της παραμετρικής μοντελοποίησης της γάστρας του πλοίου είναι ότι μερικές επιφάνειες ή τοπικές περιοχές μπορούν να παραμετροποιηθούν ανεξάρτητα, αφήνοντας το υπόλοιπο μέρος της γάστρας ανεπηρέαστο και να πραγματοποιηθούν αλλαγές στη γεωμετρία με τη χρήση λιγότερων υπολογισμών και γεωμετρικών μετασχηματισμών.

Τα διάφορα λογισμικά που χρησιμοποιούνται πέρα από τον σχεδιασμό της γάστρας του πλοίου προσφέρουν και άλλες δυνατότητες, όπως το λογισμικό CAD παρέχει αρχικά σχέδια της εξωτερικής μορφής της γάστρας των πλοίων αλλά και των υπεράκτιων κατασκευών. Αυτά τα σχέδια εισάγονται στη συνέχεια σε εργαλεία σε ορισμένα προγράμματα με σκοπό τον έλεγχο της στατικής ευστάθειας που εξασφαλίζεται η σταθερότητα του σχεδίου. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και η υδροδυναμική μελέτη της γάστρας και έτσι τα λογισμικά που παρέχουν υδροδυναμικά εργαλεία διασφαλίζουν ότι η κατασκευή θα μελετηθεί αν είναι σταθερή σε συνθήκες κύματος και ανέμου. Ορισμένες εφαρμογές μπορούν επίσης να εκτιμήσουν ναυπηγικούς υπολογισμούς όπως την αντίσταση, να προτείνουν τροποποιήσεις, να σχεδιάσουν προσαρτήματα και να εκτιμήσουν την ταχύτητα πλεύσης για το σχέδιο.

Τα δημοφιλέστερα λογισμικά είναι τα παρακάτω:

- [1. SolidWorks – CAD Modelling](#)
- [2. AutoCAD – CAD Modelling](#)
- [3. Ansys Structural – Structural Response and Strength](#)
- [4. Ansys Fluent – Computational Fluid Dynamics](#)
- [5. Ansys Aqwa – Seakeeping & Manoeuvring](#)
- [6. OrcaFlex – Hydrodynamic Response & Analysis](#)
- [7. WAMIT – Numerical Computation & Processing](#)
- [8. STAAD Pro – Structural Analysis](#)
- [9. OpenFOAM – Computational Fluid Dynamics](#)
- [10. Simcentre Star CCM+ – Computational Fluid Dynamics](#)
- [11. MaxSurf – Hydrodynamics, Stability & Resistance](#)
- [12. MOSES – Offshore Hydrodynamic Analysis](#)
- [13. Rhinoceros 3D – CAD Modelling](#)
- [14. FORAN System – CAD & CAE Modelling, Maritime Project Management](#)
- [15. MATLAB – Numerical Computation & Processing](#)
- [16. Aveva Marine – Integrated Maritime Solutions](#)
- [17. NUPAS Cadmatic – Integrated Maritime Solutions](#)
- [18. NAPA – Integrated Maritime Solutions](#)
- [19. FreeShip – Open-Source Hull Modelling](#)

3.2 Σχεδιασμός

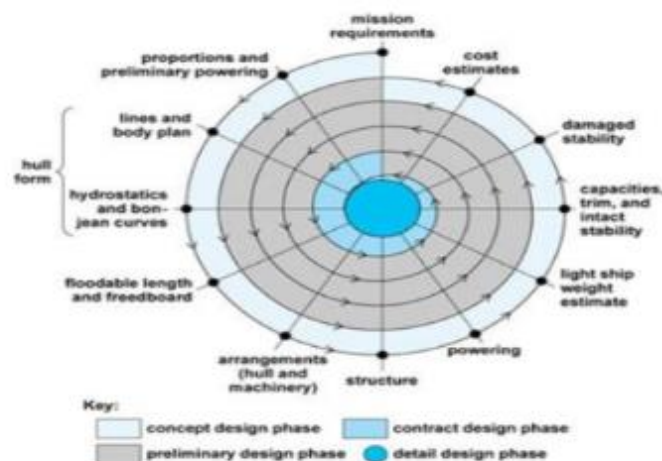
3.2.1 Ναυπηγικός Σχεδιασμός

Η διαδικασία του ναυπηγικού σχεδιασμού χωρίζεται σε 3 φάσεις που εξαρτώνται μεταξύ τους:

- 1) Feasibility Studies
- 2) Contract Design
- 3) Full Design

Πρώτη φάση ναυπηγικού σχεδιασμού

Το πρώτο βήμα της διαδικασίας είναι η επιλογή του τύπου του πλοίου που θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να γίνει μια πρώτη εκτίμηση των αρχικών βασικών διαστάσεων του πλοίου και κατ' επέκταση της γάστρας. Οι βασικές διαστάσεις επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, αλλά ταυτοχρόνως κάποιες αλληλεξαρτώνται μεταξύ τους όπως έχει προαναφερθεί, αλλά ένας από τους βασικούς είναι το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου και η υδροδυναμική απόδοση που θέλουμε να πετύχουμε, καθώς συνδέεται άρρηκτα με το οικονομικό κόστος των καυσίμων. Στην συνέχεια αφού έχει προσδιοριστεί ο τύπος του πλοίου οι λόγοι των διαστάσεων καθορίζονται από πίνακες και διαγράμματα με αποτέλεσμα να καθορίζονται και οι επιθυμητοί συντελεστές σχήματος της γάστρας (συντελεστής εκτοπίσματος, πρισματικός συντελεστής, συντελεστής μέσης τομής, συντελεστής ισάλου). Το επόμενο και σημαντικό βήμα είναι ο υπολογισμός της εγκάρσιας και διαμήκους ευστάθειας του πλοίου. Η πρώτη φάση ολοκληρώνεται με τον υπολογισμό της απαραίτητης ισχύς και τον όγκο του μηχανολογικού εξοπλισμού. Συνεπώς γίνεται αντιληπτό πώς αυτό το στάδιο του ναυπηγικού σχεδιασμού είναι καθοριστικό για την υλοποίηση ενός πλοίου, αφού επηρεάζονται και άλλοι σχεδιαστικοί παράμετροι.

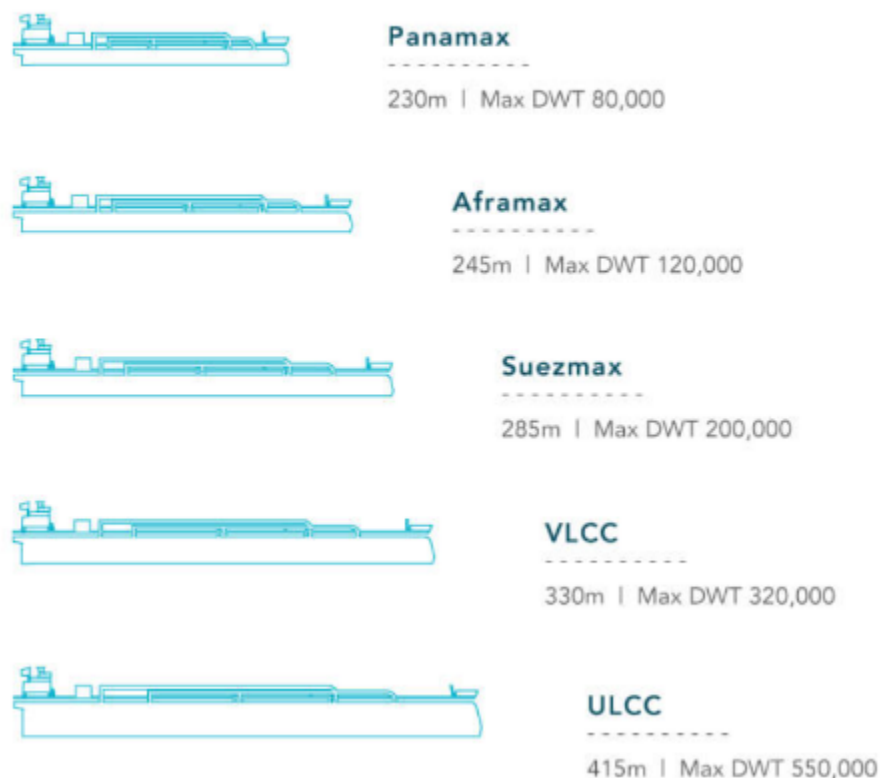


ΕΙΚΟΝΑ 32- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΛΟΙΟΥ [12]

3.2.2 Υποθέσεις

Σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία μιας αναλυτικής μεθοδολογίας και συγκεκριμένης αλληλουχίας βημάτων ώστε να διευκολύνεται και να επιταχύνει τους σχεδιασμούς της γάστρας του πλοίου και παράλληλα του συνόλου των μεγεθών και των συστημάτων ενός πλοίου. Ο τύπος του πλοίου που θα σχεδιαστεί είναι δεξαμενόπλοιο. Όσον αφορά τη γεωμετρία της γάστρας θα χρειαστεί να υποθέσουμε ορισμένα γεωμετρικά στοιχεία ή κάποια δομικά μεγέθη του συστήματος του πλοίου. Ωστόσο αυτές οι υποθέσεις δεν θα είναι καθόλου αυθαίρετες αλλά θα βασίζονται σε μια αρκετά καλή προσέγγιση που αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα. Η πρώτη μας η υπόθεση για τη δημιουργία της γεωμετρίας της γάστρας είναι το ολικό μήκος του πλοίου και έχει οριστεί στα 245 μέτρα ($L=245\text{ m}$). Μάλιστα αυτό το μήκος αντιστοιχεί σε ένα είδος tanker που ονομάζεται Aframax.

Tanker Sizes and Capacities



ΕΙΚΟΝΑ 33- TANKERS [11]

Η δεύτερη υπόθεση που έγινε αφορά την υπηρεσιακή ταχύτητα η οποία έχει οριστεί στους 17 κόμβους ($V_k=17$ knots), καθώς θεωρείται η συνηθέστερη ταχύτητα που εντοπίζεται στην πλειοψηφία των Aframax Tankers. Ωστόσο σε θέματα απόδοσης, κόστους-κατανάλωσης αλλά και εκπομπή ρύπων συγκριτικά με τις απαιτήσεις για ένα δεξαμενόπλοιο Aframax μπορεί να κινείται με ταχύτητα λιγότερη των 17 κόμβων. Η βέλτιστη ταχύτητα ενός πλοίου επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$V_{\text{optimal}} = [24 * R * \text{DWT} / \beta * \rho * a * d] c^{1/\beta-1}$$

Όπου R = η τιμή του ναύλου [USD/ Τόνο φορτίου]

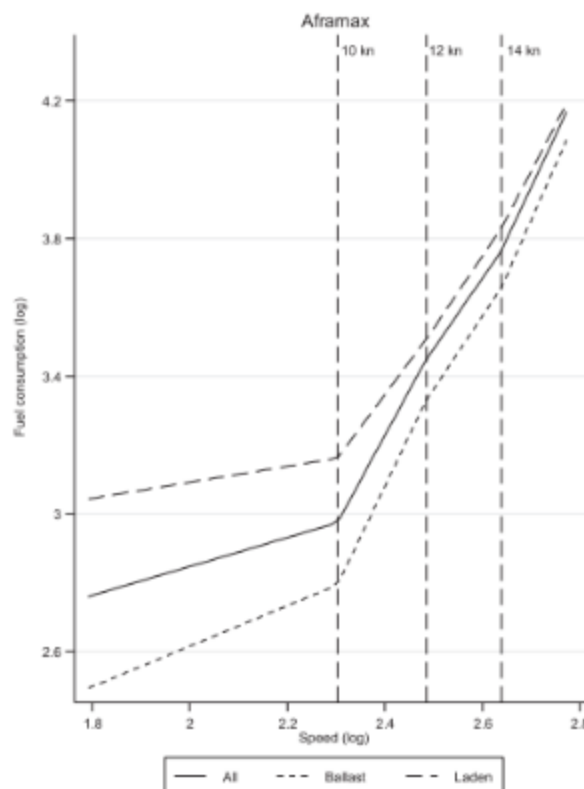
DWT = το νεκρό βάρος διαθέσιμο για το φορτίο [τόνους]

d = η διανυόμενη απόσταση [σε ναυτικά μίλια],

ρ = η τιμή των καυσίμων [σε USD ανά τόνο]

β = ελαστικότητα ταχύτητας

a = σταθερά



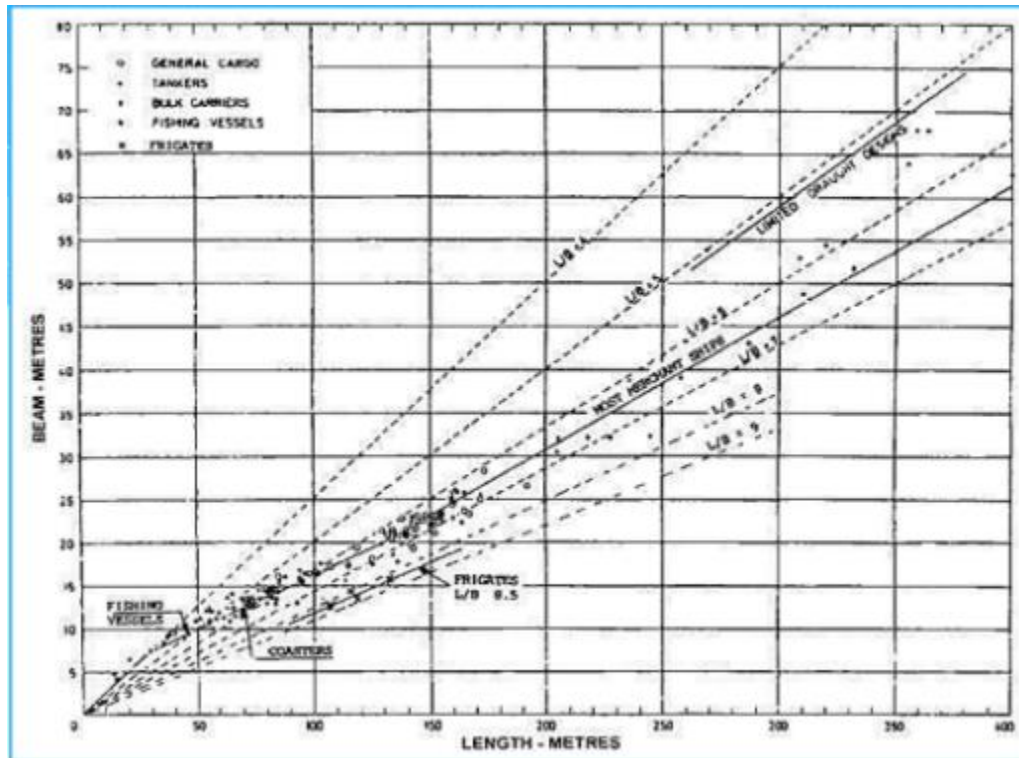
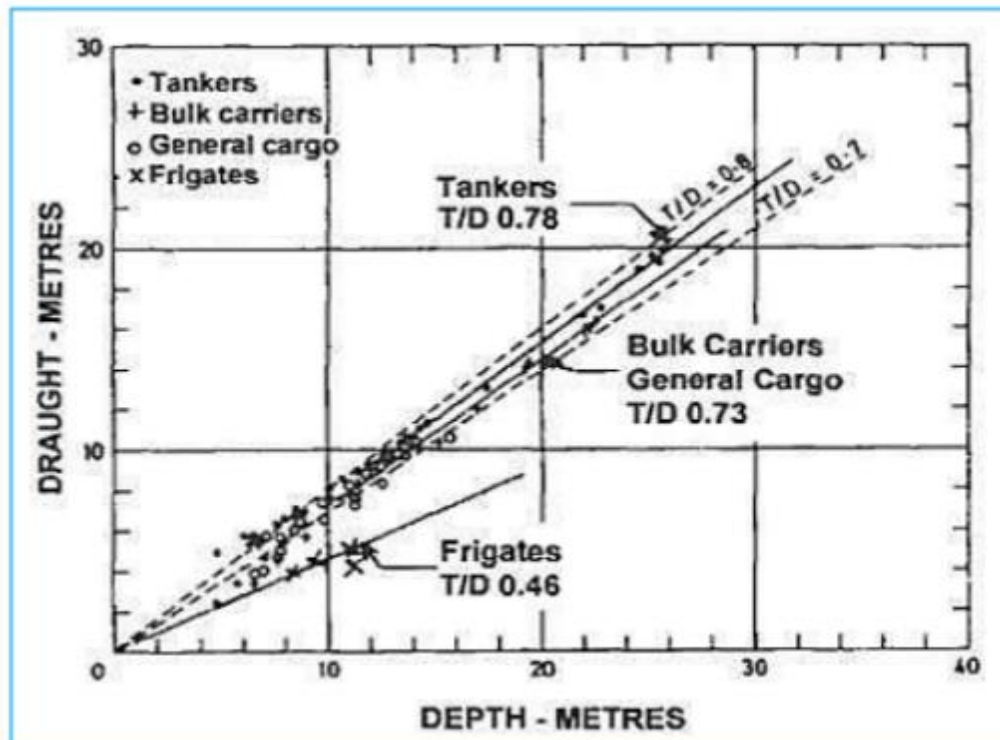
ΕΙΚΟΝΑ 34- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ- ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ [20]

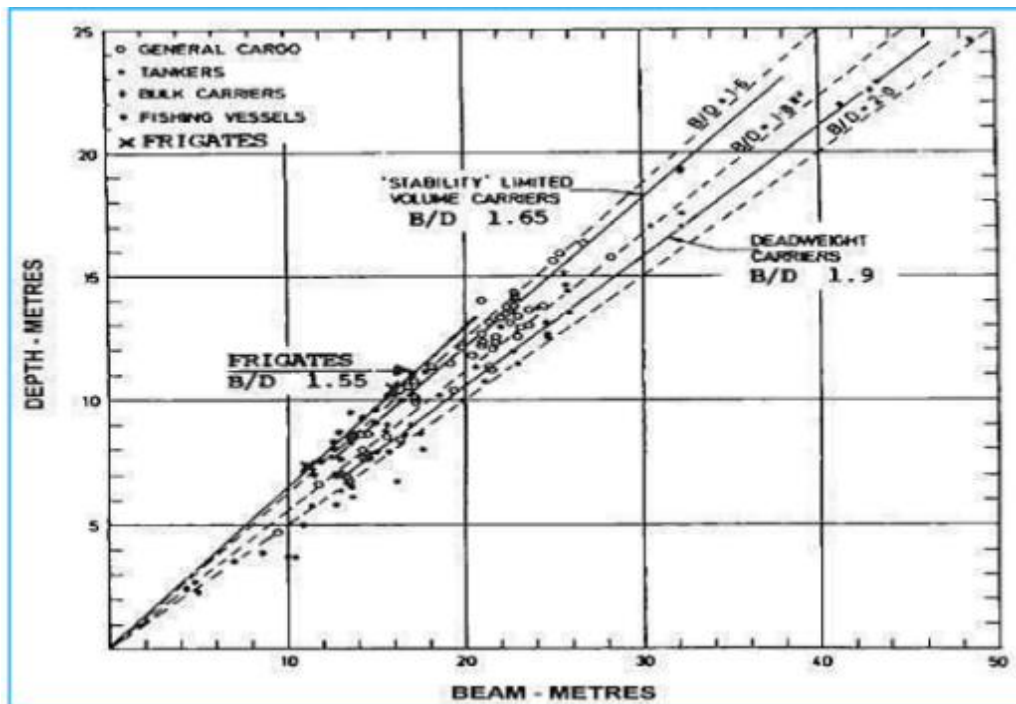
Στην περίπτωση μας, οι υπολογισμοί θα γίνουν με την ταχύτητα σχεδιασμού (Design Speed). Στην πραγματικότητα η ταχύτητα (service speed) με την οποία κινούνται είναι μικρότερη από την ταχύτητα σχεδιασμού.

3.2.3 Αλληλουχία υπολογισμών

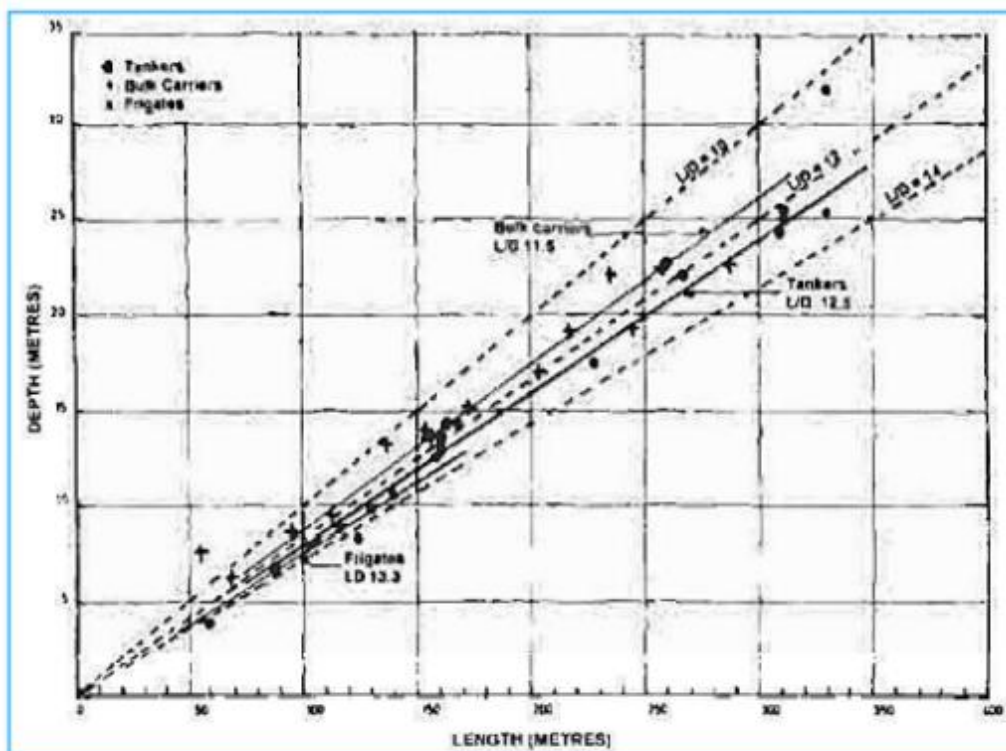
Αφού έγιναν οι κατάλληλες υποθέσεις, το επόμενο βήμα είναι να καθορίσουμε τις μεταβλητές από διαγράμματα και πίνακες και από συναρτησιακές σχέσεις που συνδέουν διάφορα γεωμετρικά μεγέθη.

Θα καθοριστούν οι λόγοι L/B , T/D και B/D από τα παρακάτω διαγράμματα:

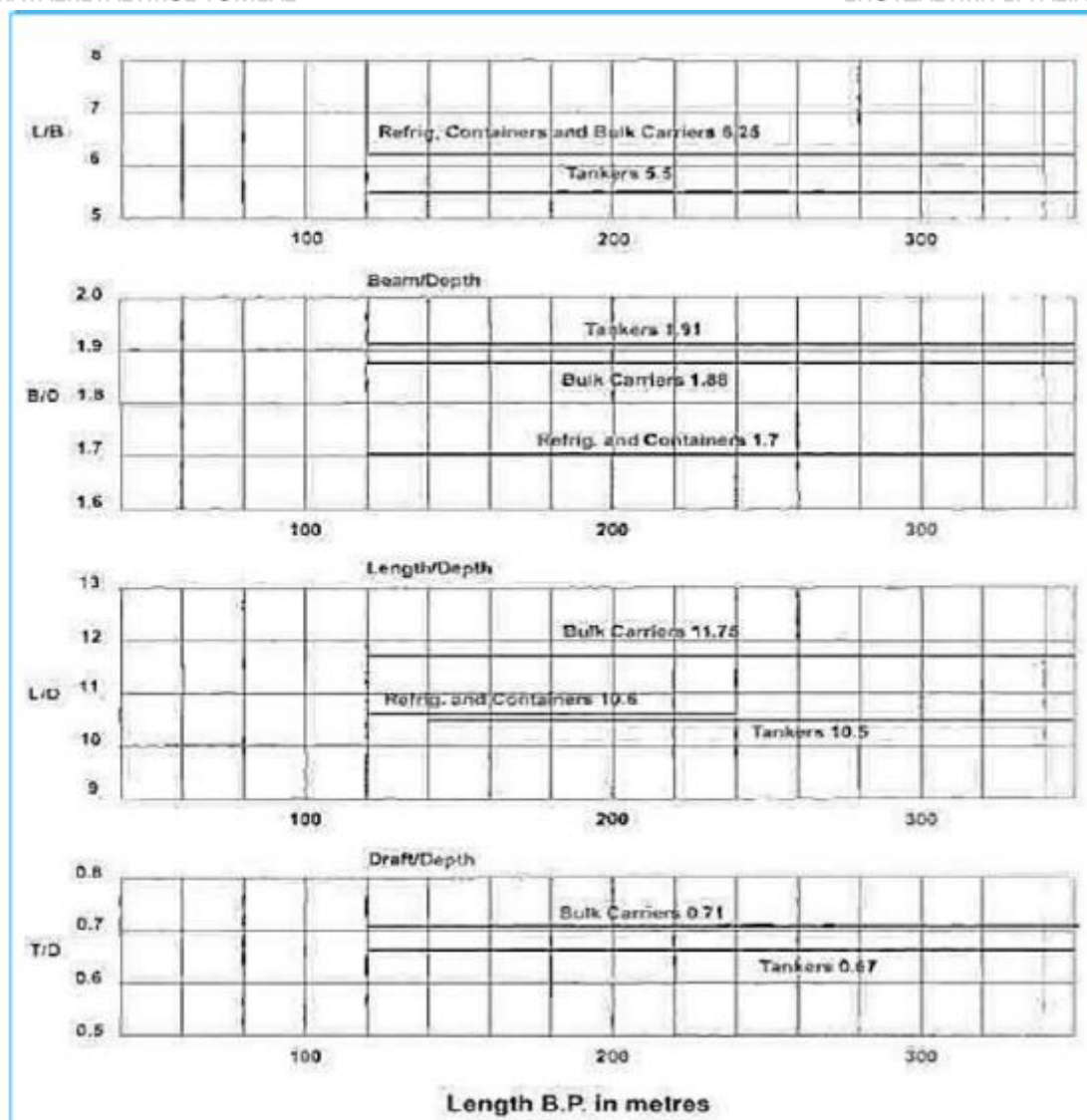
ΕΙΚΟΝΑ 35- ΛΟΓΟΣ L/B ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΙΑΦΕΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΛΟΙΩΝ [11]ΕΙΚΟΝΑ 36- ΛΟΓΟΣ T/D ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΙΑΦΕΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΛΟΙΩΝ [11]



ΕΙΚΟΝΑ 37- ΛΟΓΟΣ Β/Δ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΛΟΙΩΝ [11]



ΕΙΚΟΝΑ 38- ΛΟΓΟΣ Λ/Δ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΛΟΙΩΝ [11]



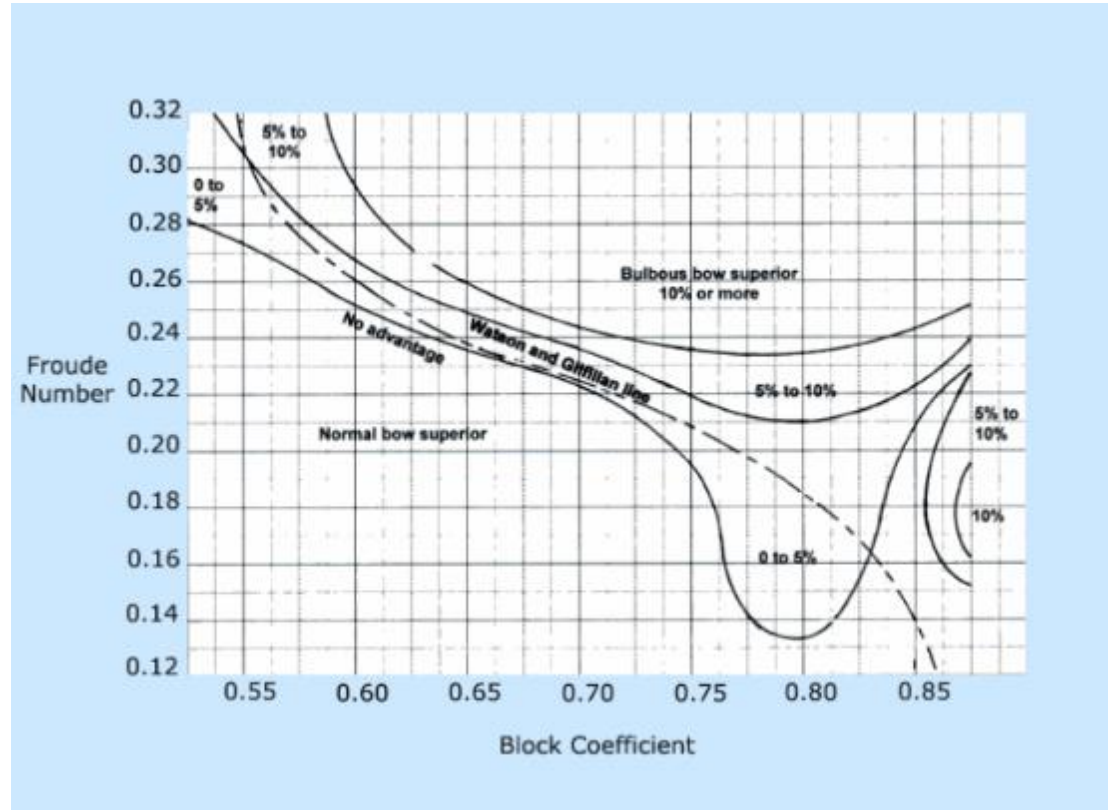
ΕΙΚΟΝΑ 39- ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΛΟΓΟΥΣ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ [11]

Συνεπώς, οι τιμές των λόγων που θα χρησιμοποιηθούν στον σχηματισμό της γάστρας είναι:

L/B	5.5
B/D	1.91
T/D	0.67

ΠΙΝΑΚΑΣ 1- ΛΟΓΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε το εκτόπισμα Δ , μέσω του συντελεστή εκτοπίσματος C_b . Για τον υπολογισμό του συντελεστή εκτοπίσματος θα χρησιμοποιηθεί υπηρεσιακή ταχύτητα που έχει ορισθεί στους 17 κόμβους και ο αδιάστατος αριθμός Froude.

ΕΙΚΟΝΑ 40- ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ FROUDE ΚΑΙ ΤΟΥ C_b [11]

Η αναλυτική σχέση που συνδέει την ταχύτητα [σε κόμβους] με τον αδιάστατο αριθμό Froude είναι η εξής:

$$F_n = 0.164 \cdot (V_k / \sqrt{L})$$

Η αναλυτική σχέση που συνδέει την ταχύτητα [σε m/s] με τον αδιάστατο αριθμό Froude είναι η εξής:

$$F_n = V_k / \sqrt{gL}$$

Και η αναλυτική σχέση που συνδέει τον αδιάστατο αριθμό Froude με τον συντελεστή εκτοπίσματος C_b είναι η εξής:

$$C_b = 0.7 + 0.128 \cdot \arctan\left(\frac{23 - 100 \cdot F_n}{4}\right)$$

Για τον υπολογισμό του εκτοπίσματος χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$\Delta = C_b \cdot L \cdot B \cdot T$$

Κάνοντας αντικατάσταση στις τελευταίες σχέσεις έχει ολοκληρωθεί ο υπολογισμός των βασικών διαστάσεων και των μεγεθών/συντελεστών του πλοίου. Παρακάτω απεικονίζεται ο πίνακας που περιέχει ολοκληρωτικά τα τεχνικά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν, ολοκληρώνοντας την πρώτη φάση του σχεδιασμού.

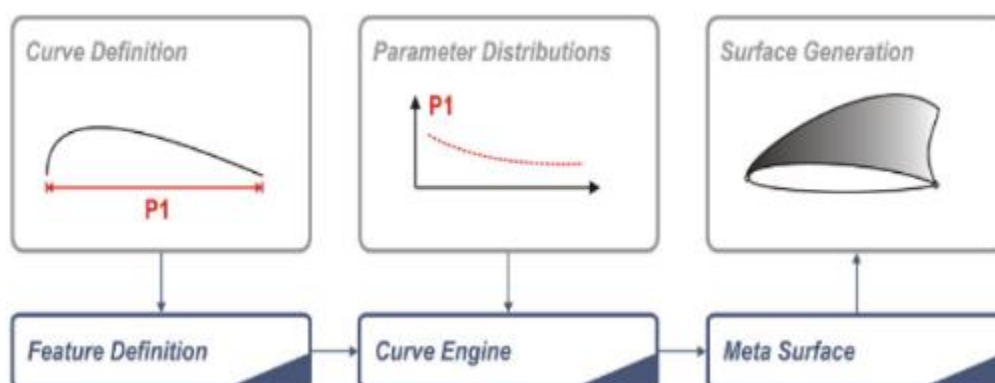
DATA- FIRST DESIGN		CONSUMPTIONS, DWT, APPENDAGE DISPLACEMENT			
Date		Range		Shell	
Design No		Miles per day		Stern	
Service Speed- V_k (m/s)	8,75	Days at sea		Propellers	
Service Speed- V_k (knots)	17	Days in port		Rudders	
Deadweight		Fuel/day at sea		Bossing/Brackets	
Dwt/ disp ratio-Kd		Fuel/day in port		Stabilisers	
Displacement- Δ	139251,9865419	Diesel/day at sea		Thrusters	
Cap.Above uoover deck- V_u		Fresh water/day			
Cap.Ratio		Oil fuel			
Moulded Volume- V_h		Diesel oil			
L/B	5,5	Fresh water			
B/D	1,91	Engineers tanks			
T/D	0,67	Stores			
L/D	10,5	Crew and effect			
1+S	775,1030357	Passengers			
L(based Δ)		Swimming pools			
F_n	0,1784804	cargo			
C_b	0,8165581	Water ballast			
D					
C_{bd}					
L	245				
B	44,5454545				
T	15,6258924				
D	23,3222275				

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 – ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΩΤΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

3.2.4 Γενέτειρες Καμπύλες Γάστρας του Πλοίου

Εφόσον έχουν καθοριστεί οι βασικές διαστάσεις του πλοίου και έχουν γίνει οι απαραίτητοι υπολογισμοί, το επόμενο βήμα για τον σχεδιασμό της γάστρας του πλοίου είναι να γίνει η διαδικασία των σχηματισμών των καμπυλών. Όπως έχει προαναφερθεί, θα γίνει παραμετρικός σχεδιασμός των καμπυλών συνάρτησε των παραπάνω υπολογισμών. Μετά το πέρας του σχεδιασμού οι καμπύλες αυτές θα δημιουργήσουν ένα πλαίσιο κατάλληλο έτσι ώστε να σχηματιστούν οι επιφάνειες της γάστρας. Οι καμπύλες αυτές ονομάζονται γενέτειρες καμπύλες. Η διαδικασία έχει ως εξής:

- 1) Δημιουργία της αρχικής καμπύλης μέσης τομής
- 2) Εφαρμογή γεωμετρικών περιορισμών στην ανωτέρω καμπύλη ώστε να μετασχηματιστεί στο επιθυμητό σχήμα
- 3) Προσθήκη καμπυλών του παράλληλου μέσου τμήματος
- 4) Προσθήκη καμπυλών πρύμνης και πλώρης
- 5) Ορισμός της επιφάνειας της γάστρας
- 6) Προσθήκη βολβού πλώρης αν απαιτείται



ΕΙΚΟΝΑ 41- ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ [14]

4 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΣΩ CATIA

4.1 Διαδικασία και βήματα παραμετρικού σχεδιασμού

Αρχικά, δημιουργείται ένα αρχείο excel όπου θα περιέχει όλες τις μεταβλητές που θα χρησιμοποιήσουμε για την διαστασιολόγηση των επιμέρους γεωμετριών της γάστρας του πλοίου. Οι μεταβλητές αυτές θα περιέχουν τις βασικές διαστάσεις του πλοίου αλλά και διαστάσεις όπου θα χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό συγκεκριμένων τομών όπως είναι της πρύμνης και της πλώρης. Αξίζει να σημειωθεί πως ο συμβολισμός των παραμέτρων θα είναι ίδιος στο Excel αλλά και στο Catia έτσι ώστε να μην υπάρχει σύγχυση. Παρόλα αυτά εάν ορίζετε μια νέα παράμετρος στο Excel θα εισάγετε στο Catia με το ίδιο όνομα.

Παρακάτω απεικονίζεται το Excel αναλυτικά με τις τιμές των μεταβλητών:

	A	B
1	L	245
2	B	45
3	D	24
4	T	16
5	F	8
6	D_frames	0,61
7	D_VP	1
8	D_WP	1
9	D_PMB_frames	18,75
10	N_frames	403
11	N_VP	46
12	N_WP	17
13	L_Bot_MS	19,5
14	H_Sid_MS	21
15	RoB	3
16	Deadrise	0
17	Tumblehome	0
18	H_DB	3
19	H_Stern	8
20	D_Stern	10
21	HB_Stern	12
22	Tumblehome_Stern	0
23	PMB_L	72.5
24	SSS_plane_distance	18
25	LE	50
26	LR	50
27	E_R ratio	0,5
28	Bow_Radius	55

ΕΙΚΟΝΑ 42- ΤΙΜΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Οι πρώτες 5 τιμές αντιπροσωπεύουν τις βασικές διαστάσεις στο πλοίο, δηλαδή το μήκος, το πλάτος, το ύψος, το βύθισμα, ύψος των εξάλων και έχουν στρογγυλοποιηθεί προς τον επόμενο αριθμό, διότι πρέπει να πληρούνται οι προϋποθέσεις των λόγων και των σχεδιαγραμμάτων.

Οι επόμενες 4 μεταβλητές αντιπροσωπεύουν την απόσταση που πρέπει να έχουν δύο νομείς μεταξύ τους ως προς την κάθε διάσταση. Η απόσταση των επιπέδων αναφοράς ακολουθούν τους κανονισμούς που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο. Οι 3 επόμενες μεταβλητές αφορούν τον αριθμό των νομέων, των εγκάρσιων επιπέδων και των ισάλων επιπέδων αντίστοιχα. Ο αριθμός τους προκύπτει από τον λόγο της αντίστοιχης διάστασης ως προς την αντίστοιχη απόσταση 2 διαδοχικών επιπέδων.

- $N_frames=L/D_frames$
- $N_VP=B/D_VP$
- $N_WP=T/D_WP$

Οι 5 επόμενες μεταβλητές σχετίζονται με τη γεωμετρία της μέσης τομής, καθώς οι 2 πρώτοι αντιπροσωπεύουν το πλάτος και το ύψος και η μεταβλητή στην θέση 15 αντιπροσωπεύει την ακτίνα καμπυλότητας της γάστρας και άλλες 2 είναι η κλίση του πυθμένα ως προς τον οριζόντιο εγκάρσιο άξονα (Deadrise) και η κλίση των πλευρικών επιφανειών ως προς τον κατακόρυφο άξονα (Tumblehome). Οι μεταβλητές της θέσης 19, 20, 21, 22 αφορούν τη γεωμετρία της τομής της πρύμνης. Στην θέση 23 η μεταβλητή PMB_L υποδεικνύει το μισό μήκος του παραλλήλου μέσου τμήματος. χρησιμοποιείται το μισό μήκος καθώς το προωραίο και πρυμναίο τμήμα δημιουργείται σε διαφορετικά βήματα αλλά με την ίδια μεταβλητή. Η μεταβλητή στη θέση 24 αφορά την απόσταση από την πρύμνη του επιπέδου που χρησιμοποιείται για την τομή που αποτελεί την έδραση του αξονικού συστήματος. Τέλος οι μεταβλητές στη θέση 25 και 26 καθορίζουν το μήκος της παρειάς και του γοφού.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ
L	N_FRAMES	$\frac{L}{D_FRAMES} + 1$
	LE	$(1-\alpha)*(L-2PMB_L)$
	LR	$\alpha*(L-2PMB_L)$
	SSS_plane_distance	$0.36*LR$

B	N_VP	$\frac{B}{D_VP} + 1$
	H_DB	$\frac{B}{15}$
	RoB	H_DB
	L_Bot_MS	$\frac{B}{2} - RoB$
	N_WP	$\frac{T}{D_WP} + 1$

T	H_Sid_MS	T-RoB
---	----------	-------

ΠΙΝΑΚΑΣ 3- ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ/ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ/ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ

Ορισμένοι παράμετροι επιλέγονται από τον χρήστη ανάλογα με το στόχο και το σχήμα που πρέπει να πάρει η γάστρα. Αυτοί οι παράμετροι είναι σταθεροί.

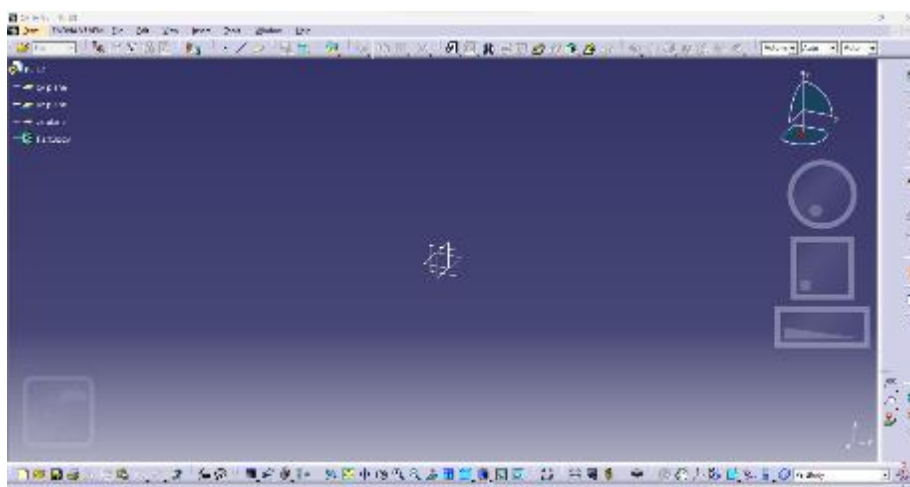
Ο πίνακας παρακάτω απεικονίζει τις ορισμένες παραμέτρους:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΟΡΙΣΜΕΝΟΙ ΑΠΟ ΤΟ ΧΡΗΣΤΗ
Deadrise
Tumblehome
Tumblehome_Stern
PMB_L
E_R Ratio(α)
H_Stern
D_Stern
HB_Stern
Tumblehome_Stern
Bow_Radius

ΠΙΝΑΚΑΣ 4- ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΟΡΙΣΤΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ

Στη συνέχεια θα ορίσουμε τις μεταβλητές/παραμέτρους στο σχεδιαστικό πρόγραμμα του Catia. Η διαδικασία θα γίνει βήμα βήμα.

Εφόσον ανοίξουμε το περιβάλλον του Catia:



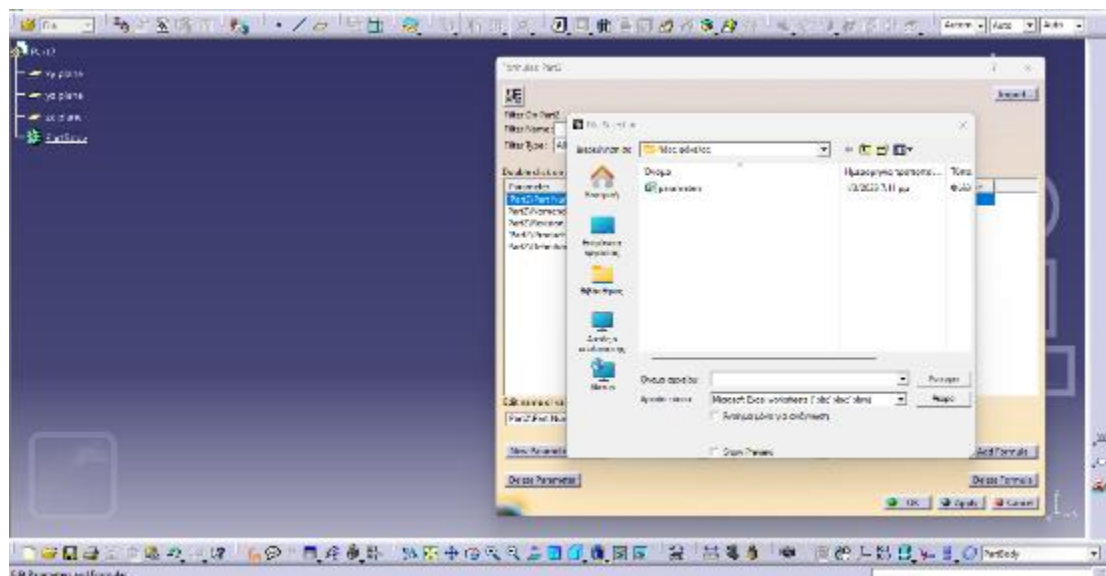
ΕΙΚΟΝΑ 43- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ CATIA

Βασική προϋπόθεση για να γίνει το συγκεκριμένο βήμα είναι να υπάρχει αρχείο excel με τις παραμέτρους στον ίδιο φάκελο με το αρχείο του Catia που θα γίνει ο σχεδιασμός της γάστρας.

Επιλέγουμε το σύμβολο: Formula

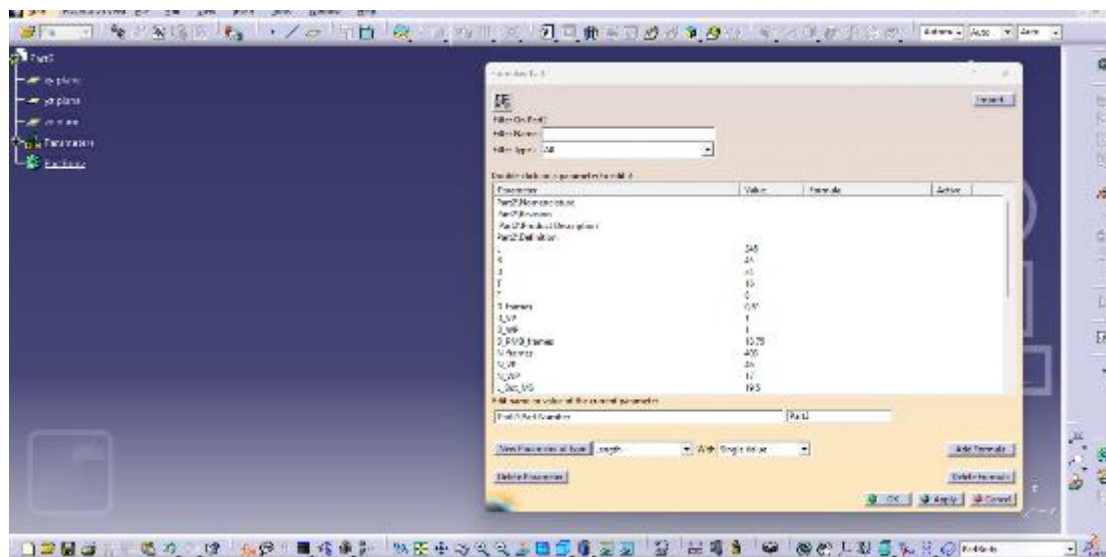


Και πατάμε την θύρα Import για να εισάγουμε το αρχείο Excel. Η εικόνα θα πρέπει να είναι ως εξής:



ΕΙΚΟΝΑ 44-ΕΙΣΑΓΩΓΗ Excel

Και εισάγονται οι παράμετροι:



ΕΙΚΟΝΑ 45-ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Υπάρχει και δεύτερος τρόπος για την εισαγωγή των παραμέτρων, ο οποίος ενδεχομένως να είναι πιο αργός αλλά χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις που θέλουμε να εισάγουμε νέα παράμετρο κατά την διαδικασία του σχεδιασμού μιας τομής.

4.2 Διαδικασία δημιουργίας και απεικόνισης της γεωμετρίας της γάστρας του πλοίου

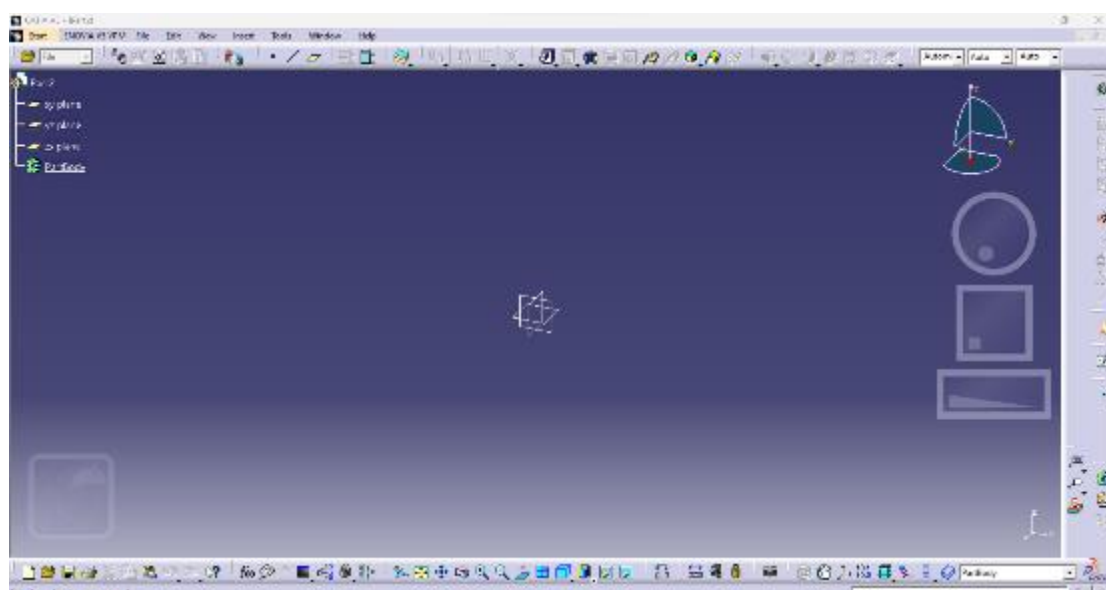
Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο θα ξεκινήσουμε τη σχεδίαση της γεωμετρίας της γάστρας του πλοίου βήμα-βήμα.

Η διαδικασία θα γίνει σε 2 φάσεις. Στην πρώτη φάση θα δημιουργηθούν τα βασικά επίπεδα, οι τομές και οι καμπύλες οδηγοί και στη δεύτερη φάση θα δημιουργηθούν οι επιφάνειες.

Αρχικά θα δημιουργηθούν τα βασικά επίπεδα σχεδίασης όπου αποτελούν τους κύριους νομείς, δηλαδή τον πρυμναίο, τον μέσο και τον προωραίο, τα κύρια επίπεδα ισάλλων γραμμών και τα βασικά εγκάρσια επίπεδα. Κατόπιν, θα σχεδιαστούν οι τομές της πρύμνης, της μέσης τομής, της πλώρης και η τομή για τη στήριξη του αξονικού συστήματος. Έπειτα, θα δημιουργηθούν οι καμπύλες που συνδέουν τις διάφορες διατομές μεταξύ τους και κάποιες γραμμές που χρησιμεύουν ως οδηγοί. Τέλος, θα δημιουργηθούν οι επιφάνειες του γοφού, του παραλλήλου μέσου τμήματος, της παρειάς, της πρύμνης και της πλώρης.

1. Δημιουργία βασικών επιπέδων, τομών και καμπύλων οδηγών

Ανοίγοντας το περιβάλλον του Catia, δημιουργείται στο κέντρο σχεδίασης ένα ορθογώνιο σύστημα, το οποίο έχει 3 τρισορθογώνια επίπεδα.

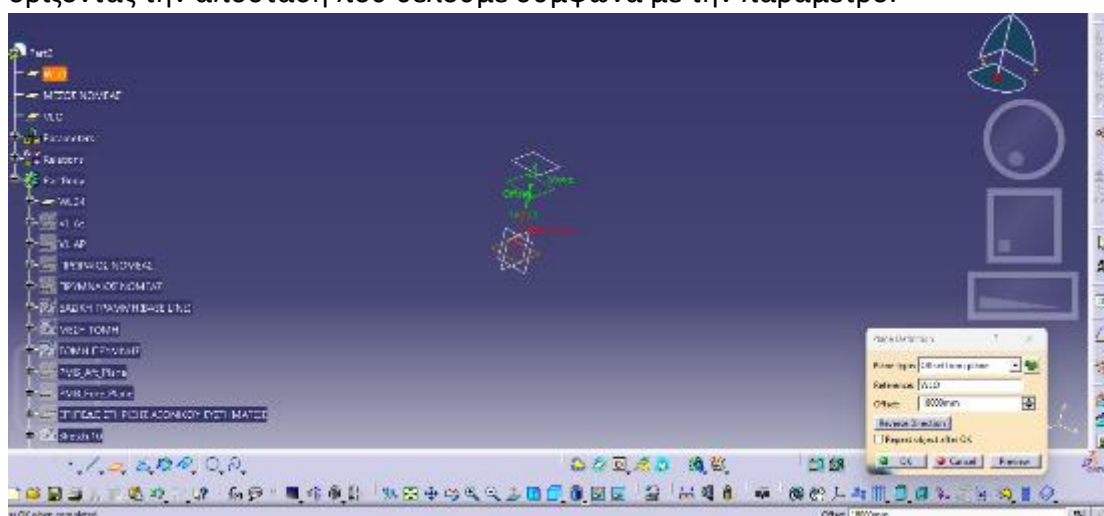


ΕΙΚΟΝΑ 46- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ CATIA ΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

Το κέντρο τους αποτελεί το σημείο με συντεταγμένες (0,0,0). Ο άξονας X θα αποτελέσει τον διαμήκη άξονα του πλοίου, ο άξονας Y είναι ο κύριος άξονας ενώ άξονα Z είναι ο κατακόρυφος άξονας.

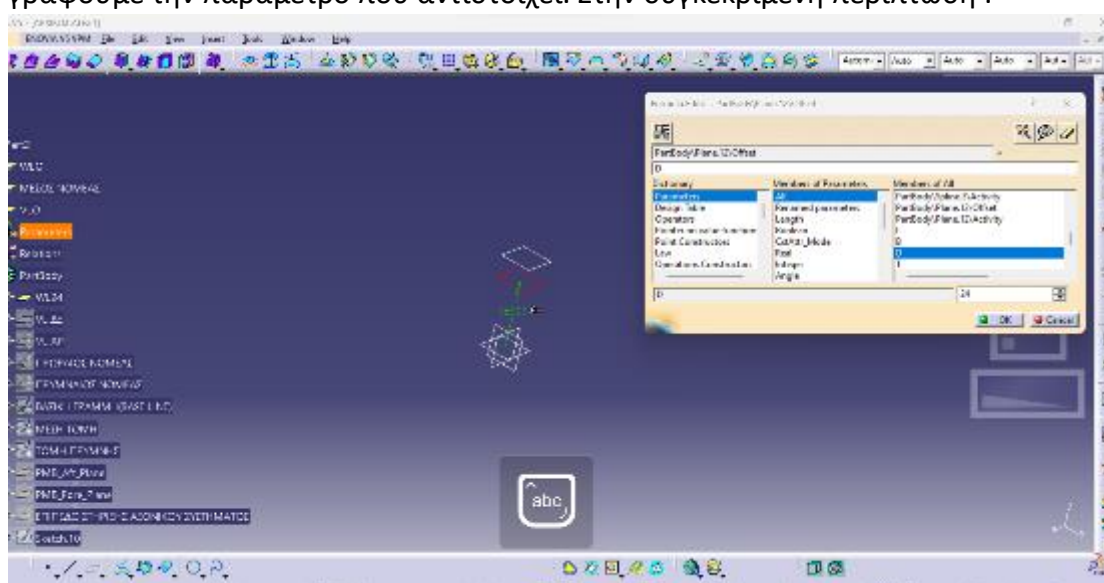
- Βήμα 1α : Ανώτερο και κατώτερο επίπεδο ισάλλων γραμμών.

Όλη η γεωμετρία της γάστρας αναπτύχθει πάνω από το κατώτερο επίπεδο ισάλου γραμμής(WL0), ενώ το ανώτερο επίπεδο ισάλου γραμμής θα απέχει απόσταση από το κατώτερο επίπεδο ισάλου γραμμής ίση με την παράμετρο D=24m (WL24). Τα επίπεδα δημιουργούνται με την εντολή plane ορίζοντας την απόσταση που θέλουμε σύμφωνα με την παράμετρο.



ΕΙΚΟΝΑ 47- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΝΩ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Πατώντας δεξί κλικ στην θύρα του offset, επιλέγουμε το edit formula και γράφουμε την παράμετρο που αντιστοιχεί. Στην συγκεκριμένη περίπτωση :

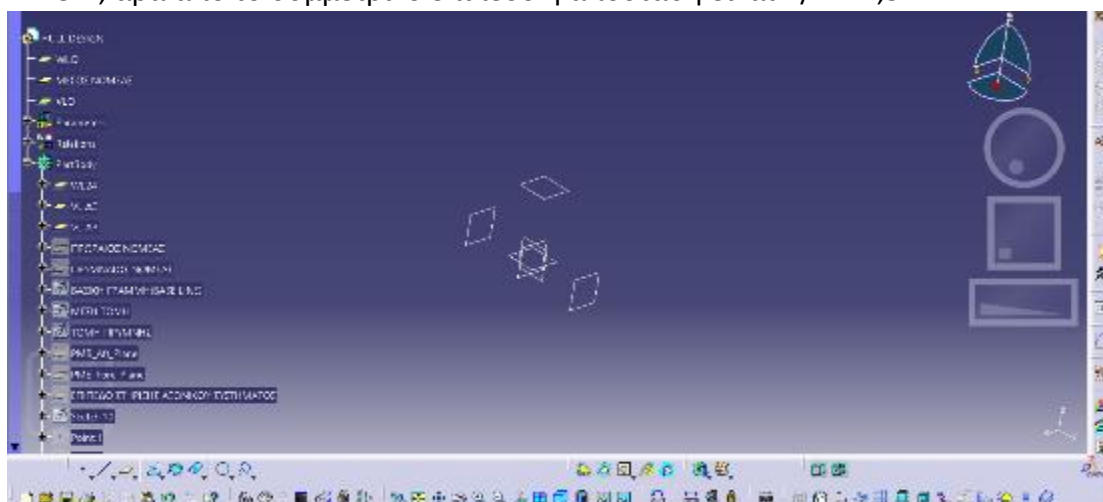


ΕΙΚΟΝΑ 48- ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΑΝΩΤΕΡΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Ομοίως δημιουργείται και το κατώτερο επίπεδο.

- Βήμα 1β : Επίπεδο συμμετρίας και ακραία εγκάρσια επίπεδα.

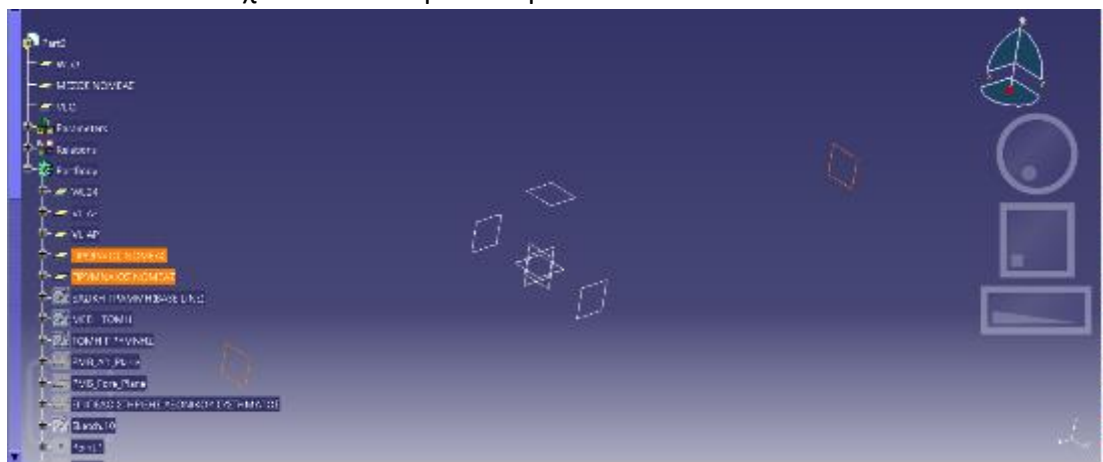
Και σε αυτό το βήμα, η διαδικασία σχεδίασης των εγκάρσιων επιπέδων είναι ίδια με την παραπάνω. Το επίπεδο ΧΖ το θεωρούμε επίπεδο συμμετρίας VL0 και δημιουργούμε τα 2 ακραία εγκάρσια επίπεδα, το επίπεδο VL AP και το επίπεδο VL ΔΞ. Η απόσταση των 2 ακραίων επιπέδων μεταξύ τους είναι $B=45\text{m}$, άρα από το συμμετρικό επίπεδο η απόσταση είναι $B/2=22,5\text{m}$.



ΕΙΚΟΝΑ 49- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

- Βήμα 1β : Επίπεδο συμμετρίας και ακραία εγκάρσια επίπεδα.

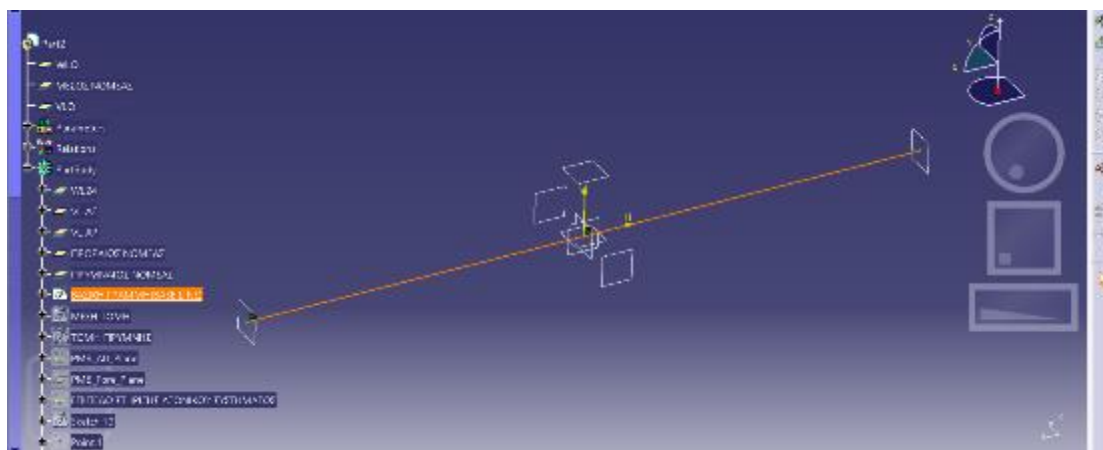
Σε αυτό το βήμα θα σχεδιαστούν οι νομείς. Το επίπεδο YZ θεωρείται ο μέσος νομέας και αντίστοιχα δημιουργούμε τον πρυμναίο νομέα(Νομέας0) και τον πωρναίο νομέα. Η απόσταση μεταξύ τους ισούται με το μήκος του πλοίου $L=245\text{m}$ και ισαπέχουν από τον μέσο νομέα.



ΕΙΚΟΝΑ 50- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

➤ Βήμα 2 : Βασική Γραμμή(Base Line)

Η βασική γραμμή θα δημιουργεί στον διαμήκη άξονα του πλοίου δηλαδή πάνω στον άξονα Χ. Θα έχει ως σημείο έναρξης το επίπεδο του πρωραίου νομέα και θα καταλήγει στο επίπεδο του πρυμναίου νομέα. Δημιουργείται με την εντολή Line και εφαρμόζεται στο επίπεδο VLO επιλέγοντας την εντολή Sketch.



ΕΙΚΟΝΑ 51- ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

➤ Βήμα 3 : Μέση Τομή

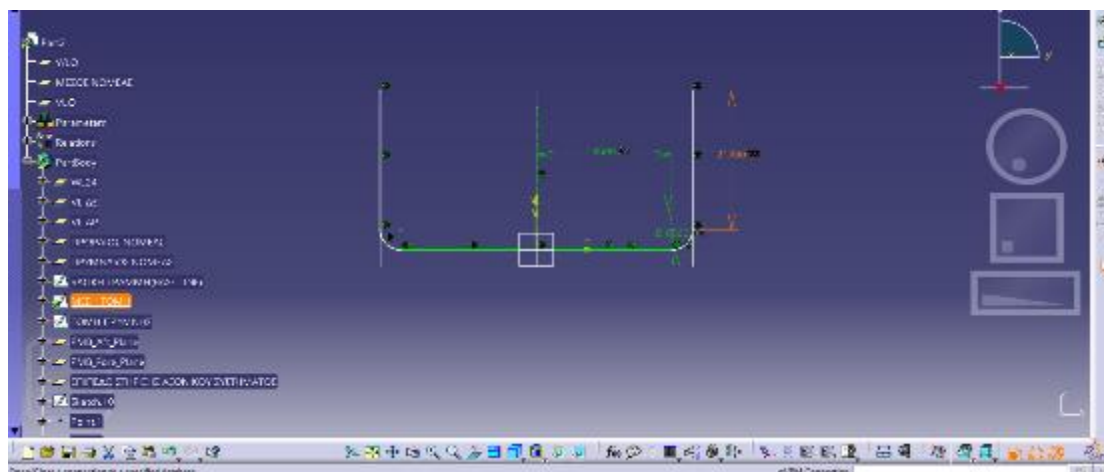
Η μέση τομή θα σχεδιαστεί στο επίπεδο του μέσου νομέα, διότι ο μέσος νομέας είναι κάθετος στον άξονα Χ. Για τη δημιουργία του σχεδίου θα πρέπει να οριστούν οι συναρτήσεις και οι τιμές των διαστάσεων της μέσης τομής.

ΔΙΑΣΤΑΣΗ(m)	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ/ΤΙΜΗ
L_Bot_MS	$\frac{B}{2} - RoB$
H_Bot_MS	T-RoB
RoB	$\frac{B}{15}$
Deadrise	0
Tumblehome	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 5- ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΣΗ ΤΟΜΗ

Η ακτίνα καμπυλότητας της γάστρας είναι ίση με το ύψος του διπύθμενου και ισούται με το πηλίκο του πλάτους του πλοίου προς 15 για το συγκεκριμένο τύπο πλοίου. Το συνολικό πλάτος της μέσης τομής ισούται με το πλάτος του πυθμένα και την ακτίνα καμπυλότητας, ενώ το συνολικό ύψος της μέσης τομής ισούται με την ακτίνα καμπυλότητας και το ύψος της πλευρικής επιφάνειας. Για την επίτευξη της μέγιστης χωρητικότητας των εμπορικών πλοίων οι 2 τελευταίες τιμές ισούται με το μηδέν.

Για τον σχεδιασμό της μέσης τομής χρειάστηκε να ορίσουμε τις συναρτήσεις που διέπουν τις διαστάσεις, με αποτέλεσμα να προκύπτει ως εξής:



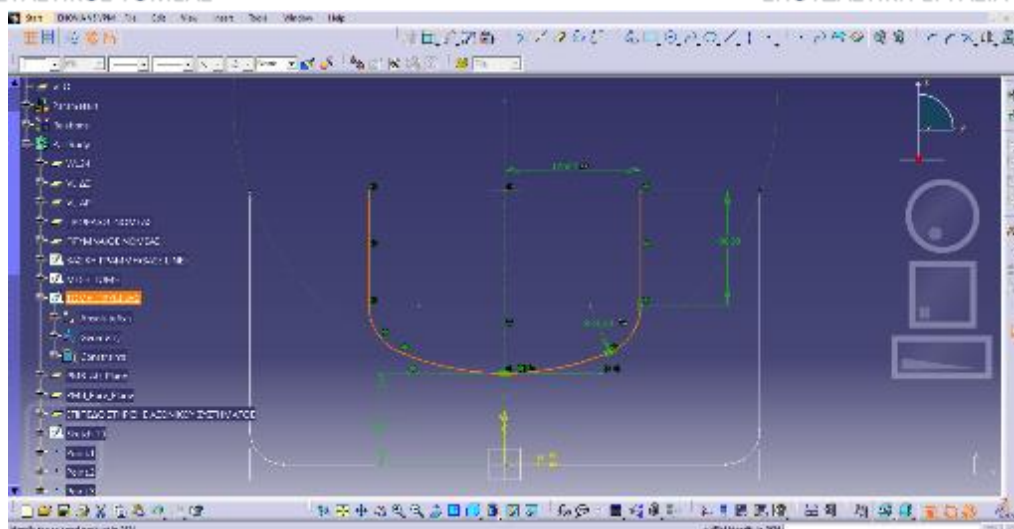
ΕΙΚΟΝΑ 52- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ

➤ Βήμα 4 : Τομή Πρύμνης

Η διαδικασία που έγινε είναι η ίδια με τη διαδικασία της μέσης τομής. Οι διαστάσεις που θα σχεδιαστούν για τη γεωμετρία της πρύμνης δεν εξαρτώνται από κάποια βασική διάσταση και τις ορίζει ο χρήστης μονοσήμαντα και απεικονίζονται στον πίνακα παρακάτω:

ΔΙΑΣΤΑΣΗ(m)	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ/ΤΙΜΗ
HB_Stern	12
H_Stern	8
D_Stern	10
RoB_Stern	0
Tumblehome_Stern	$1.5 * RoB$

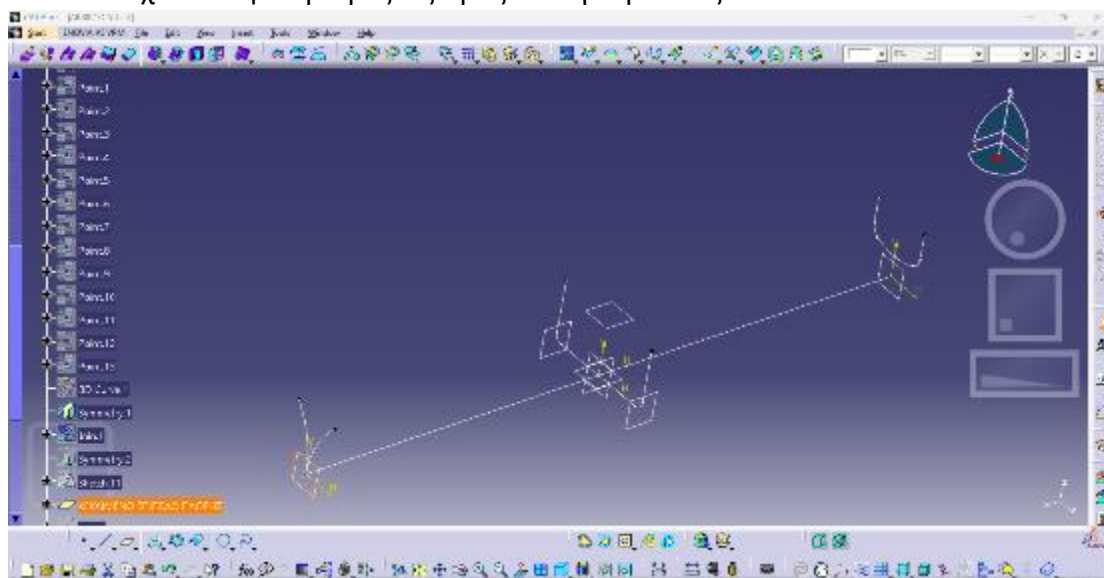
ΠΙΝΑΚΑΣ 6- ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΜΗ ΤΗΣ ΠΡΥΜΝΗΣ



ΕΙΚΟΝΑ 53- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΡΥΜΝΗΣ

➤ Βήμα 5 : Τομή Πλώρης

Η γεωμετρία της τομής της πλώρης θα σχεδιαστεί σε ένα κεκλιμένο επίπεδο όπου θα έχει κλίση 12 μοίρες ως προς τον εγκάρσιο άξονα.



ΕΙΚΟΝΑ 54- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΛΩΡΗΣ

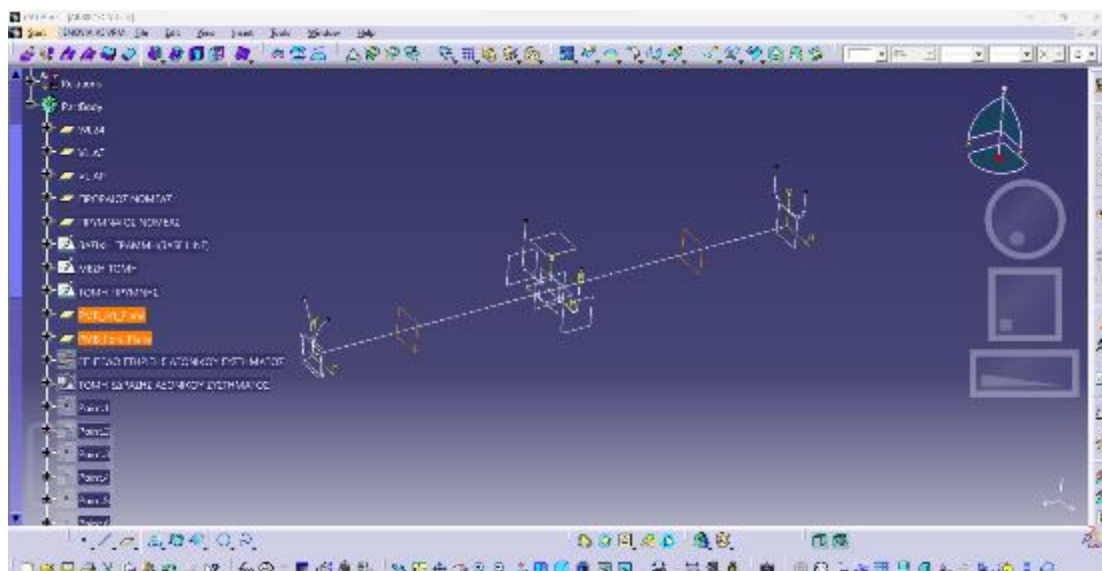
Οι γενέτειρες καμπύλες της πλώρης δημιουργούνται από 2 κυκλικά τόξα όπου η τομή τους αποτελεί το γεωμετρικό κέντρο του προ ωραίου νομέα. το γεωμετρικό κέντρο βρίσκεται πάνω στη βασική γραμμή. Στον καμπυλών αυτών αποτελεί και το κάτω όριο της επιφάνειας της πλώρης που θα αναπτυχθεί σε επόμενη παράγραφο. το ανώτερο σημείο των καμπυλών πρέπει να είναι στο ύψος του ανώτατου επιπέδου ισάλου γραμμής. Η ακτίνα καμπυλότητας δεν εξαρτάται από κάποια βασική διάσταση και ορίζεται από τον χρήστη.

➤ Βήμα 6 : Πρυμναίο και Πρωραίο επίπεδο παράλληλου μέσου τμήματος

Τα επίπεδα αυτά που ορίζουν τα όρια του παράλληλου μέσου τμήματος και ισαπέχουν από τον μέσο νομέα, ενώ το άθροισμα των αποστάσεων του κάθε επιπέδου από τον μέσο νομέα αποτελεί το συνολικό μήκος του παραλλήλου μέσου τμήματος του πλοίου. Το ένα επίπεδο καθορίζει το πρυμναίο όριο (PMB_Aft_Plane) και το άλλο το πρωραίο όριο(PMB_Fore_Plane).

ΔΙΑΣΤΑΣΗ(m)	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ/ΤΙΜΗ
PMB_Aft_Plane	PMB_L
PMB_Fore_Plane	PMB_L
Total_PMB_L	2* PMB_L

ΠΙΝΑΚΑΣ 7- ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΥΜΝΑΙΟ ΚΑΙ ΠΡΩΡΑΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

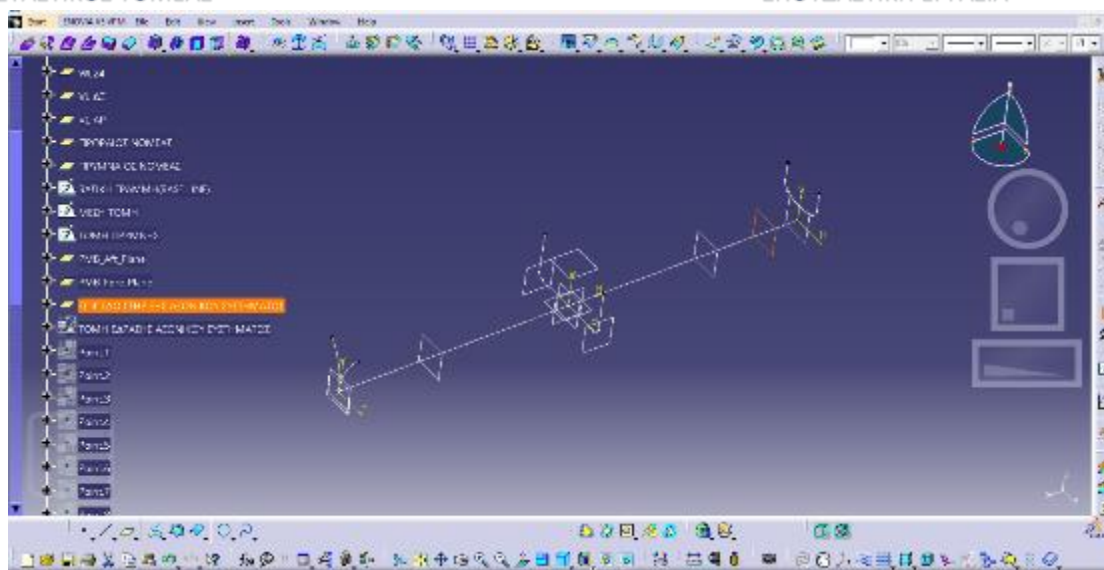


ΕΙΚΟΝΑ 55- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΡΥΜΝΑΙΟΥ ΚΑΙ ΠΡΩΡΑΙΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

➤ Βήμα 7 : Ενδιάμεσο Επίπεδο Έδρασης Αξονικού Συστήματος(Shat System Support Plane)

Το συγκεκριμένο επίπεδο σχεδιάζεται σε ενδιάμεσο σημείο του γοφού. η χρήση του έχει ως στόχο την ομαλοποίηση της γεωμετρίας του γοφού και τη στήριξη του άξονα της προπέλας δείχνοντας το σημείο εξόδου του από τη γάστρα του πλοίου. Η απόσταση του μετριέται από το νομέα 0 και ισούται:

$$SSS_plane_distance= 0.36*LR$$



ΕΙΚΟΝΑ 56- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΑΣ

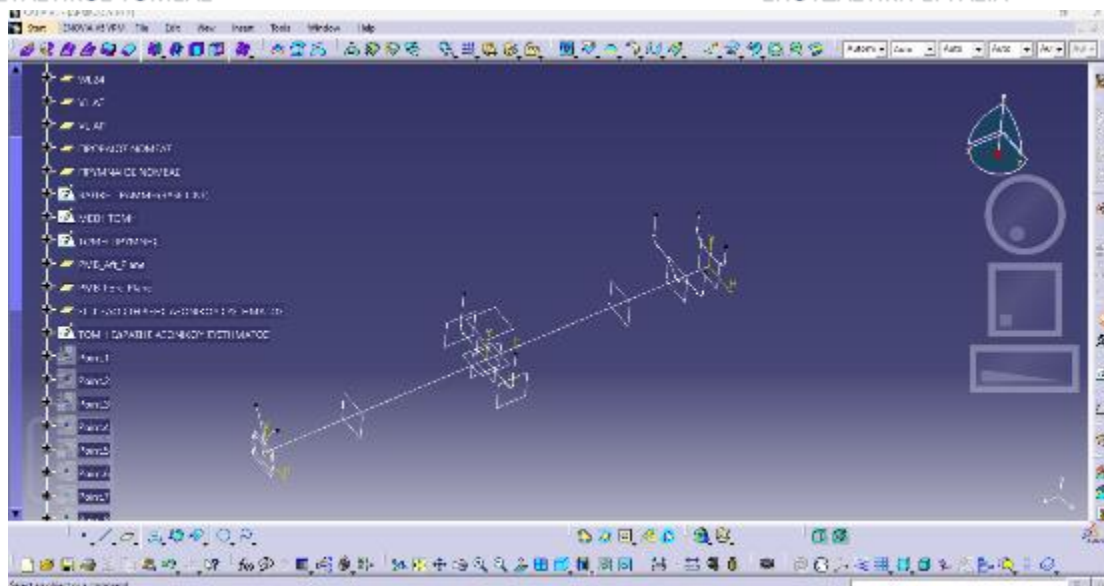
➤ Βήμα 8 : Τομή Καμπύλης ΕΑΣ

Η τομή της καμπύλης της έδρασης αξονικούς συστήματος θα σχεδιαστεί στο επίπεδο που σχεδιάστηκε προηγουμένως. Η συγκεκριμένη γεωμετρία αποτελείται από την ένωση 6 κυκλικών τόξων και 2 ευθύγραμμου τμημάτων. Τα κυκλικά τόξα είναι η καμπυλότητα της γάστρας και η καμπυλότητα του πυθμένα. Οι συναρτήσεις που περιγράφουν τις διαστάσεις είναι εκτίμηση του σχεδιαστή έτσι ώστε να υπάρξει βέλτιστη προσαρμογή των γεωμετριών στις αλλαγές κατεύθυνσης των καμπυλοτήτων για τις συγκεκριμένες διαστάσεις και έχουν ως εξής:

ΔΙΑΣΤΑΣΗ(m)	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ/ΤΙΜΗ
Πλάτος	$0.95 \cdot B$
Καμπυλότητα κυρτού	$1.25 \cdot RoB$
Καμπυλότητα πυθμένα	$0.6 \cdot RoB$
Καμπυλότητα κοίλου	$5.5 \cdot RoB$
Ύψος πλευρικού τμήματος	D

ΠΙΝΑΚΑΣ 8-ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΑΣ

Με το πέρας αυτού του βήματος το σχέδιο έχει ως εξής:



ΕΙΚΟΝΑ 57- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΜΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΕΑΣ

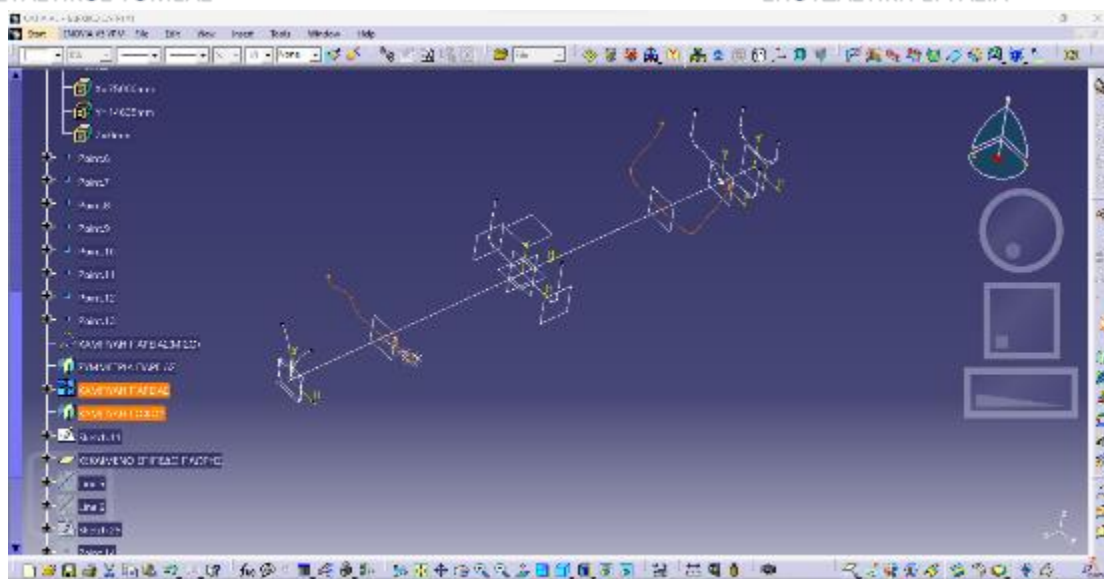
➤ Βήμα 9 : Καμπύλη Παρειάς και Καμπύλη Γοφού

Οι καμπύλες θα σχεδιαστούν αφού πρώτα δημιουργηθούν τα κατάλληλα

σημεία με την εντολή POINT . Τα σημεία θα δημιουργηθούν αφού εντάξουμε τις συντεταγμένες των σημείων στον χώρο.

Στον πίνακα παρατίθενται μόνο τα σημεία της καμπύλης της παρείας καθώς η καμπύλη του γοφού είναι συμμετρική ως προς τον μέσο νομέα. Επίσης τα σημεία της καμπύλης της παρείας από τη δεξιά πλευρά είναι συμμετρικά ως προς τη βασική γραμμή. Για να δημιουργηθεί καμπύλη πηγαίνουμε στο

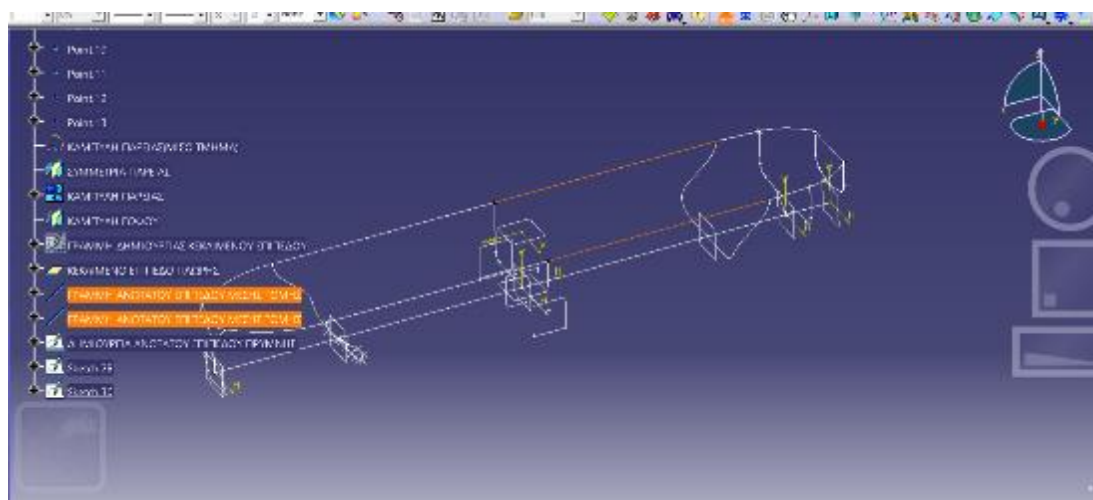
περιβάλλον για τις επιφάνειες και επιλέγουμε την εντολή 3D CURVE .
Εφόσον δημιουργήσουμε την καμπύλη επιλέγοντας τα σημεία χρησιμοποιούμε την εντολή SYMMETRY και δημιουργούμε την ολόκληρη καμπύλη της παρείας και την αντίστοιχη του γοφού όπου θα είναι συμμετρικά ως προς τον μέσο νομέα. Η συγκεκριμένη εντολή δημιουργεί μια καμπύλη NURBS όπου έχουμε την δυνατότητα να ορίσουμε ή και ακόμα να μεταβάλλουμε τα σημεία ελέγχου έτσι ώστε να δημιουργηθεί η κατάλληλη καμπύλη που απαιτείται για τον σχεδιασμό.



ΕΙΚΟΝΑ 58- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΠΑΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΓΟΦΟΥ

➤ Βήμα 10 : Καμπύλη Ανώτατου Στεγανού Καταστρώματος

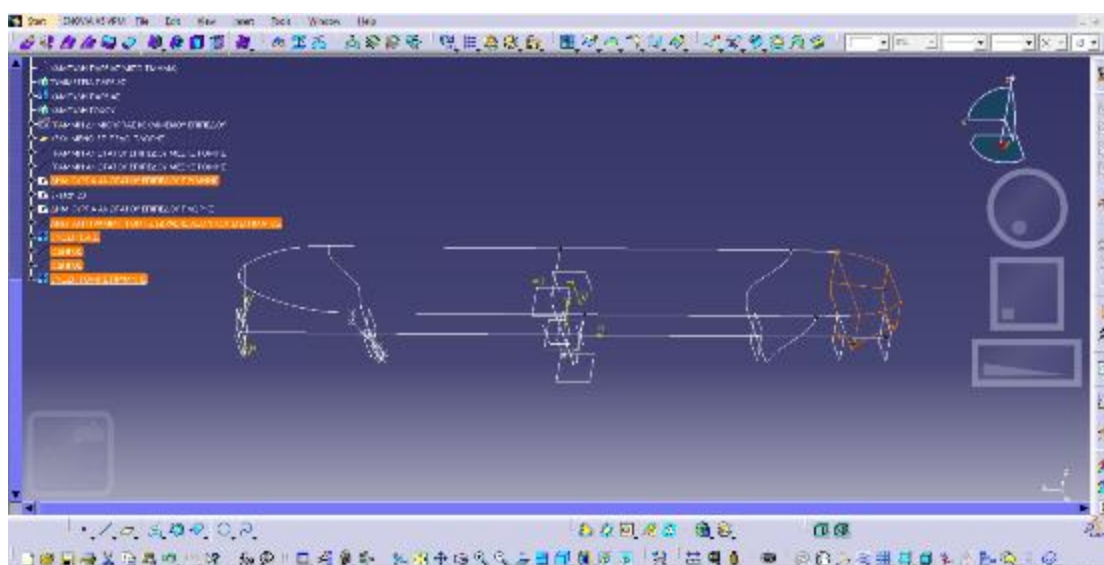
Θα δημιουργηθεί με ευθύγραμμα τμήματα και καμπύλες μια ενιαία καμπύλη στο ανώτατο επίπεδο ισάλου γραμμής(WL24). Αποτελεί το ανώτατο όριο της γάστρας. Έπειτα θα χρησιμοποιηθεί η εντολή JOIN έτσι ώστε κάθε καμπύλη που δημιουργήθηκε ξεχωριστά να ενοποιηθεί ως μια γεωμετρική οντότητα. Έτσι θα διευκολυνθεί η διαδικασία της δημιουργίας των επιφανειών.



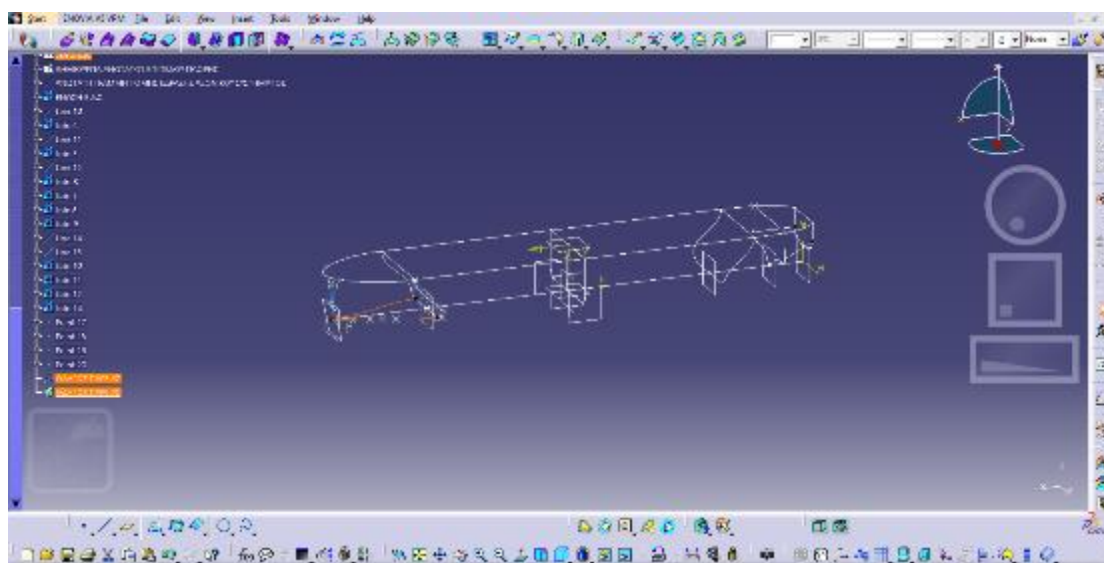
ΕΙΚΟΝΑ 59- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΑΝΩΤΑΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

➤ Βήμα 11 : Καμπύλες-Οδηγοί Γοφού και Παρειάς

Σε αυτό το βήμα θα δημιουργηθούν οι βοηθητικοί οδηγοί που χρησιμεύουν στην δημιουργία των επιφανειών. Μια επιφάνεια που δημιουργείται ανάμεσα σε δύο τομές, όπου οι τομές με την σειρά τους αποτελούνται από καμπύλες, αναπτύσσεται στα πλαίσια των οδηγών-καμπυλών που ορίζει ο χρήστης. Το βασικό πλεονέκτημα τους είναι όταν η γεωμετρία των οριακών γραμμών- καμπυλών παρουσιάζουν έντονες μεταβολές, οι οδηγοί καθορίζουν το σχήμα με το οποίο θα έχει η επιφάνεια από την μια τομή σχεδίασης μέχρι την τομή όπου καταλήγει. Το σχήμα προφανώς ποικίλλει ανάλογα με τους κανονισμούς και τους σκοπούς του χρήστη.



ΕΙΚΟΝΑ 60- ΚΑΜΠΥΛΕΣ-ΟΔΗΓΟΙ ΓΟΦΟΥ



ΕΙΚΟΝΑ 61- ΚΑΜΠΥΛΕΣ-ΟΔΗΓΟΙ ΠΑΡΕΙΑΣ

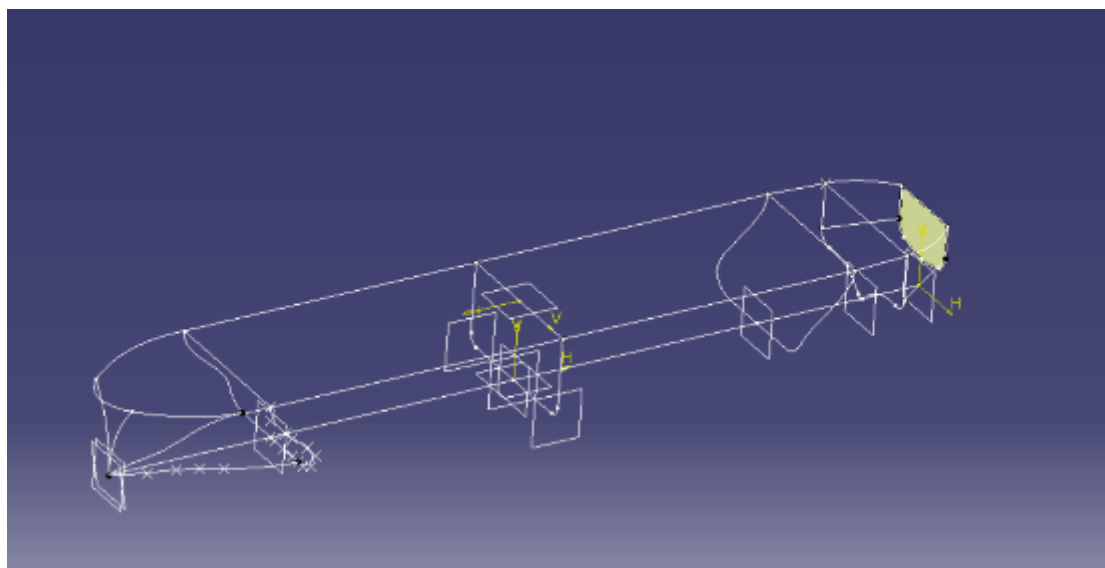
II. Δημιουργία επιφανειών

Εφόσον έχουν δημιουργηθεί όλες τις κατάλληλες καμπύλες, το επόμενο βήμα για την σχεδίαση της γάστρας είναι η δημιουργία των επιφανειών.

➤ Βήμα 12 : Επιφάνεια Πρύμνης

Για να δημιουργηθεί η επιφάνεια της πρύμνης θα χρησιμοποιήσουμε την

εντολή  FILL, η οποία θα σχηματίσει την επιφάνεια της οριοθετημένης κλειστής τομής της πρύμνης επιλέγοντας τα κατάλληλα όρια.

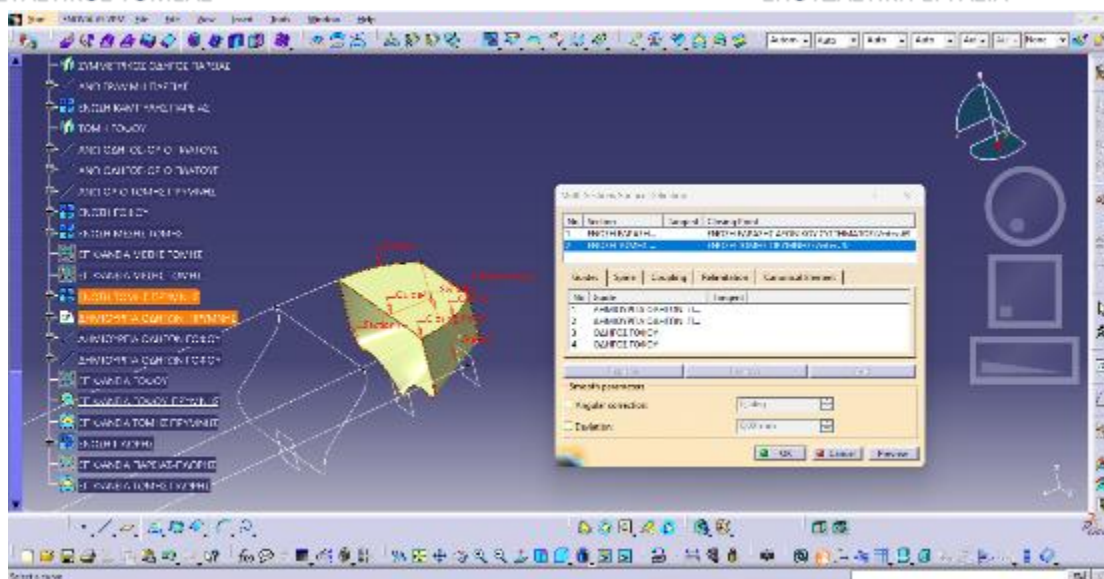


ΕΙΚΟΝΑ 62-ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΡΥΜΝΗΣ

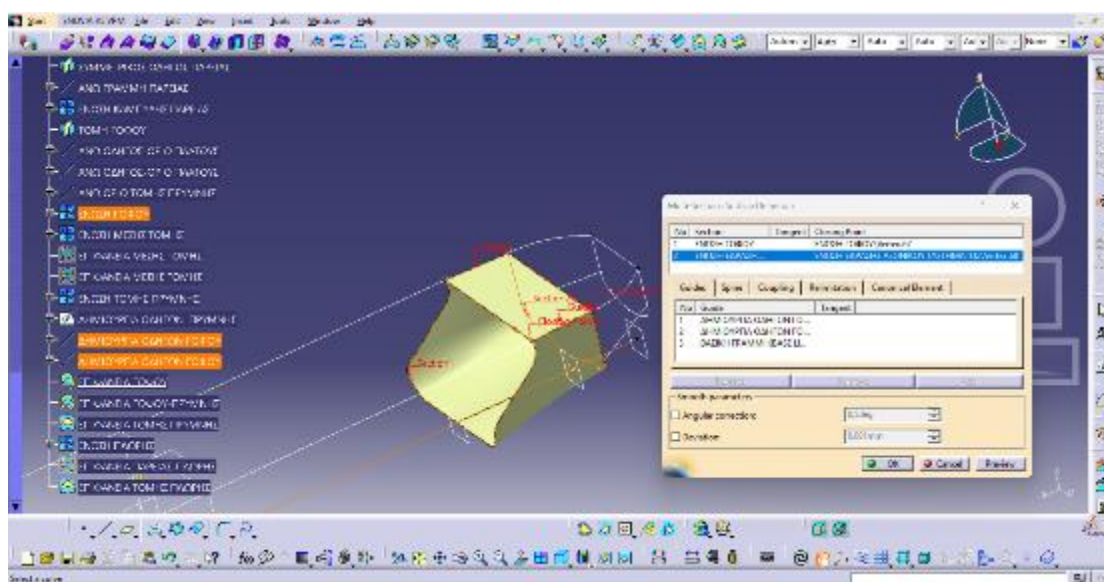
➤ Βήμα 13 : Επιφάνεια Γοφού

Στο συγκεκριμένο βήμα θα χρησιμοποιηθεί η εντολή  MULTISECTION.

Επιλέγοντας τις επιφάνειες που θέλουμε να δημιουργήσουμε θα επιλέξουμε και τους οδηγούς-καμπύλες έτσι ώστε η επιφάνεια να πάρει το κατάλληλο σχήμα που επιθυμεί ο χρήστης. Γενικά όσο περισσότερες είναι οι καμπύλες-οδηγοί τόσο ικανοποιητικό γίνεται το τελικό σχήμα.



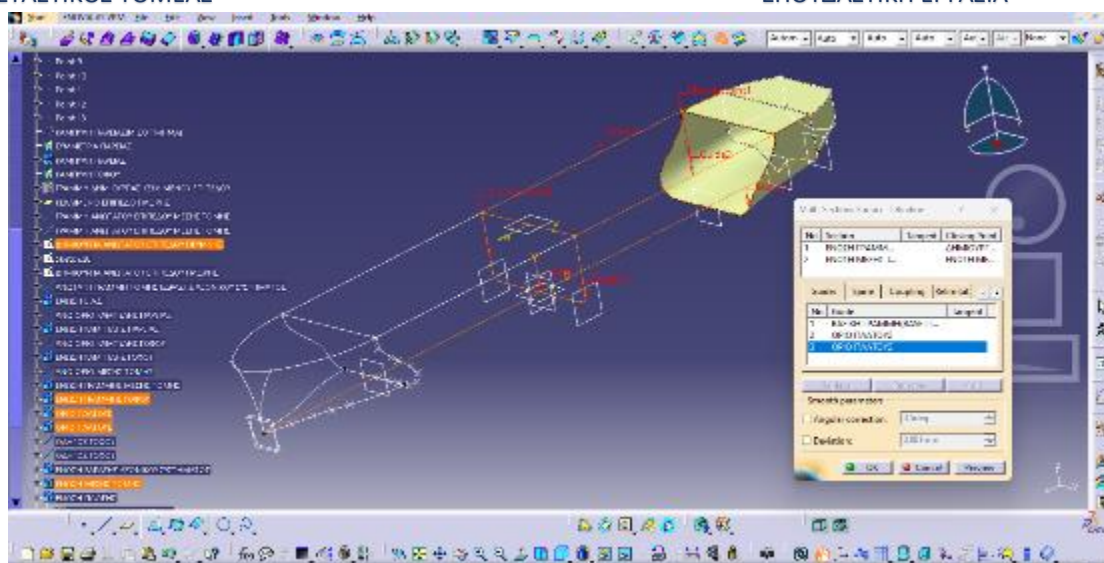
ΕΙΚΟΝΑ 63- ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΑΣ ΜΕ ΠΡΥΜΝΗ



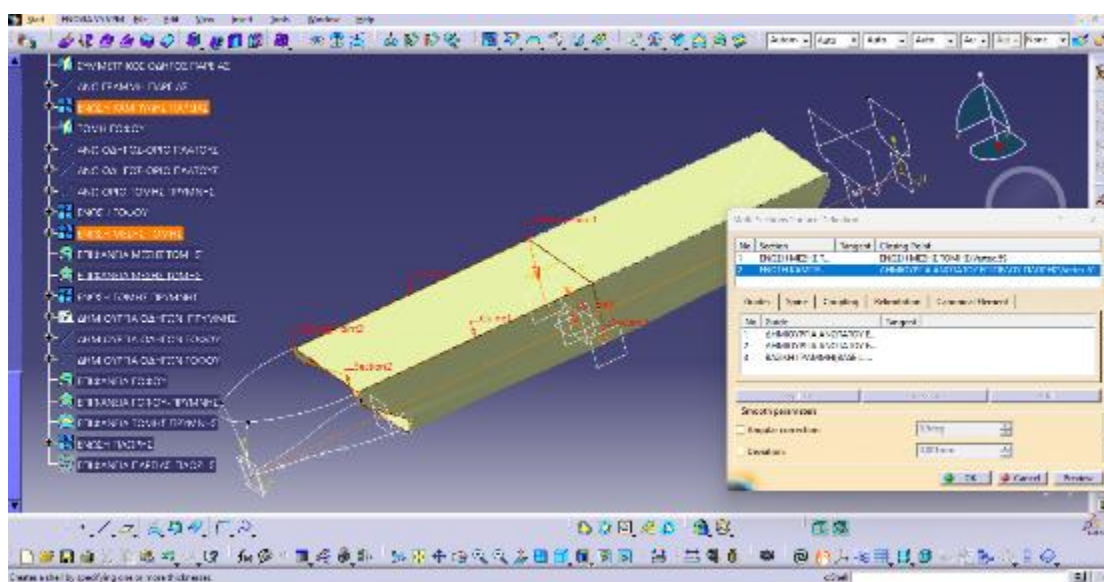
ΕΙΚΟΝΑ 64- ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΑΣ ΜΕ ΤΟΜΗ ΓΟΦΟΥ

➤ Βήμα 14: Επιφάνεια Παράλληλου Μέσου Τμήματος

Και σε αυτό το βήμα για να δημιουργηθεί επιφάνεια παράλληλου μέσου τμήματος θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή MULTISECTION. Το πρώτο μισό τμήμα θα δημιουργηθεί ενώνοντας την τομή του γοφού με την τομή της μέσης τομής και το δεύτερο την μέση τομή με την τομή της παρειάς.



ΕΙΚΟΝΑ 65 – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΥ ΜΙΣΟΥ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ



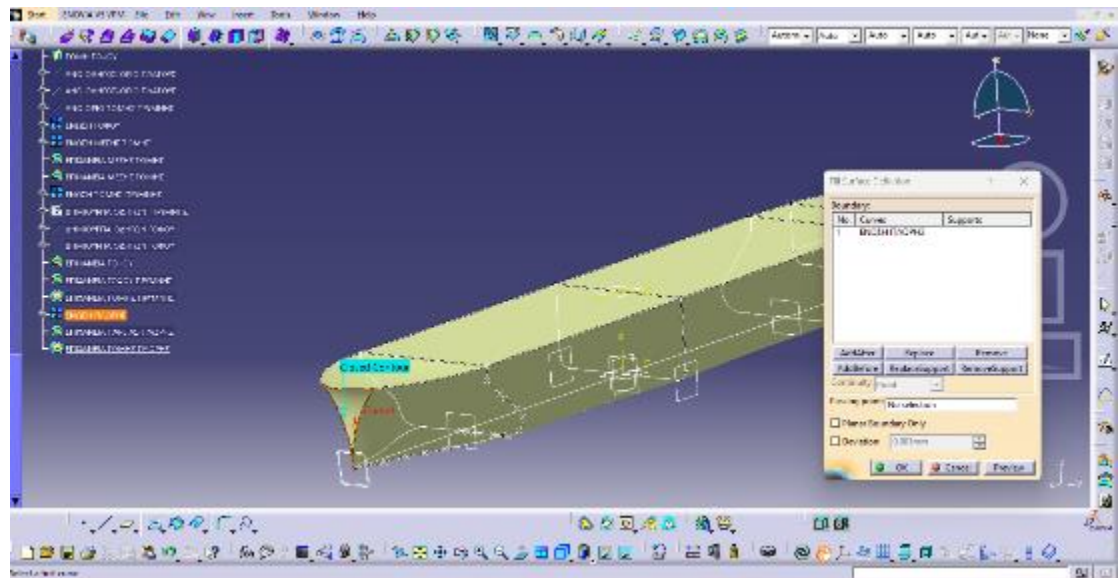
ΕΙΚΟΝΑ 66- ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

➤ Βήμα 15: Επιφάνεια Παρειάς

Η επιφάνεια της παρειάς θα δημιουργηθεί με τον ίδιο τρόπο όπως η επιφάνεια του γοφού μέσω της εντολής MULTISECTION, ενώνοντας την τομή της καμπύλης της παρειάς και της πλώρης, με τους κατάλληλους οδηγούς για να προκύψει το επιθυμητό σχήμα.

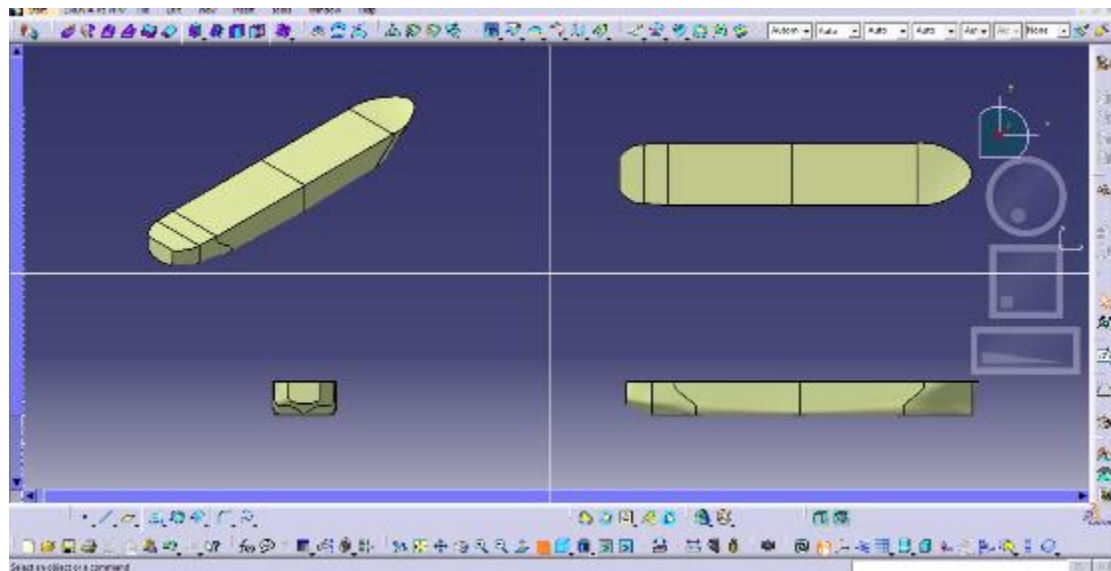
➤ Βήμα 16: Επιφάνεια ΠΛΩΡΗΣ

Η επιφάνεια της πλώρης θα δημιουργηθεί με την εντολή Fill, εφόσον έχουν καθοριστεί τα κλειστά όρια κλειστών διατομών.

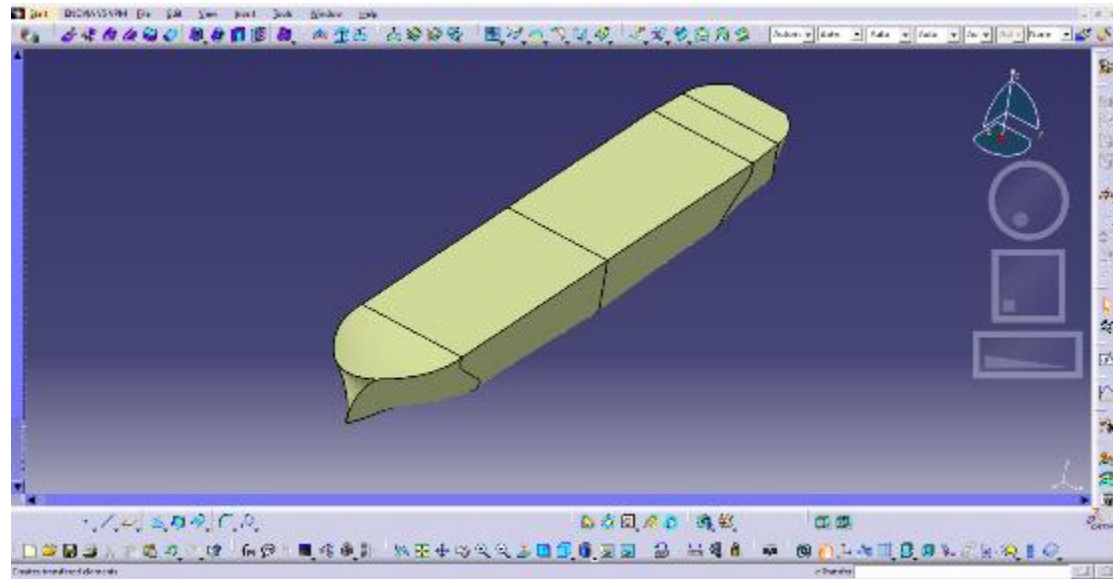


ΕΙΚΟΝΑ 67- ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΛΩΡΗΣ

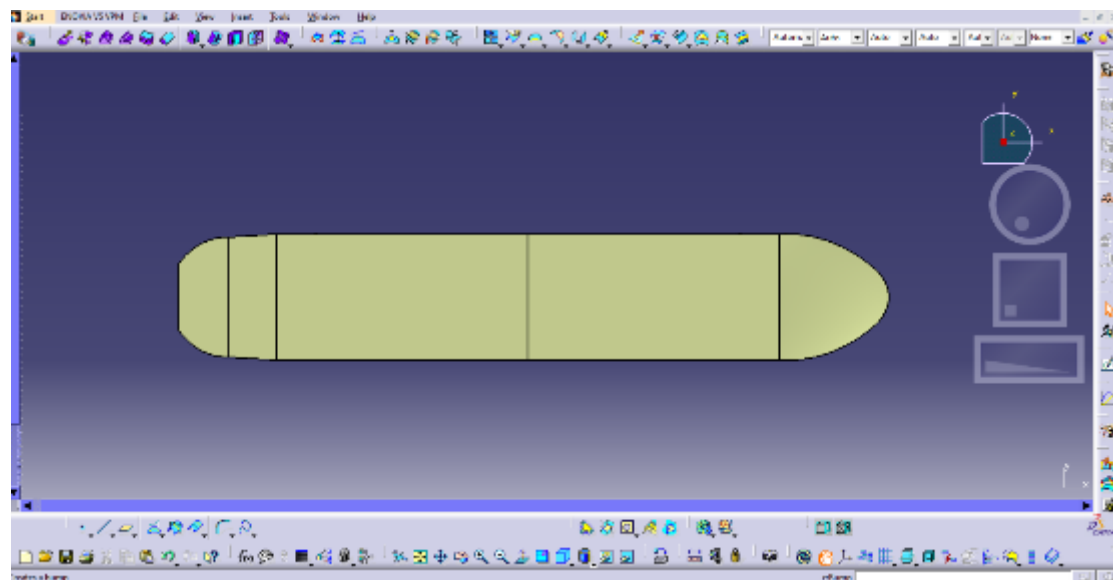
Εφαρμόζοντας το παραπάνω βήματα, η συνολική άποψη του πλοίου που προκύπτει είναι:



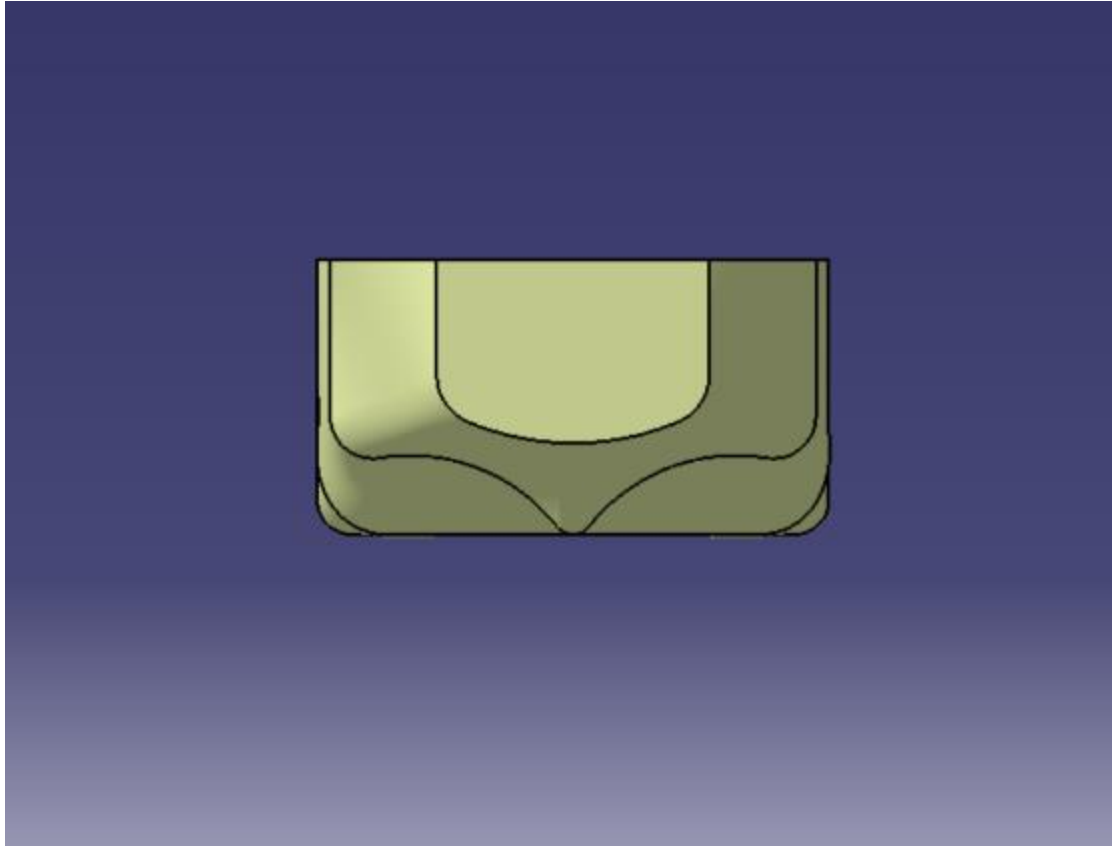
ΕΙΚΟΝΑ 68- ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΟΨΕΙΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ



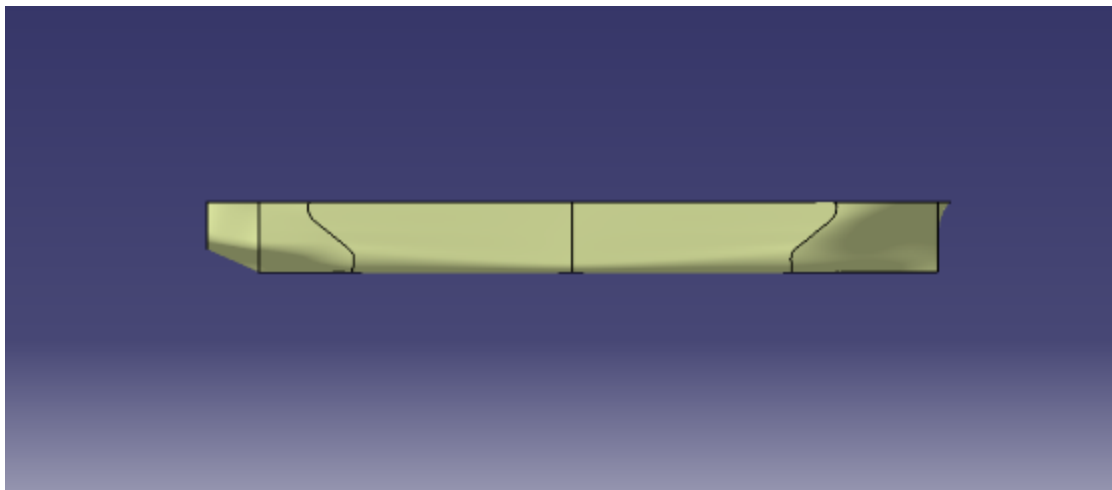
ΕΙΚΟΝΑ 69- ΙΣΟΜΕΤΡΙΚΗ ΟΨΗ



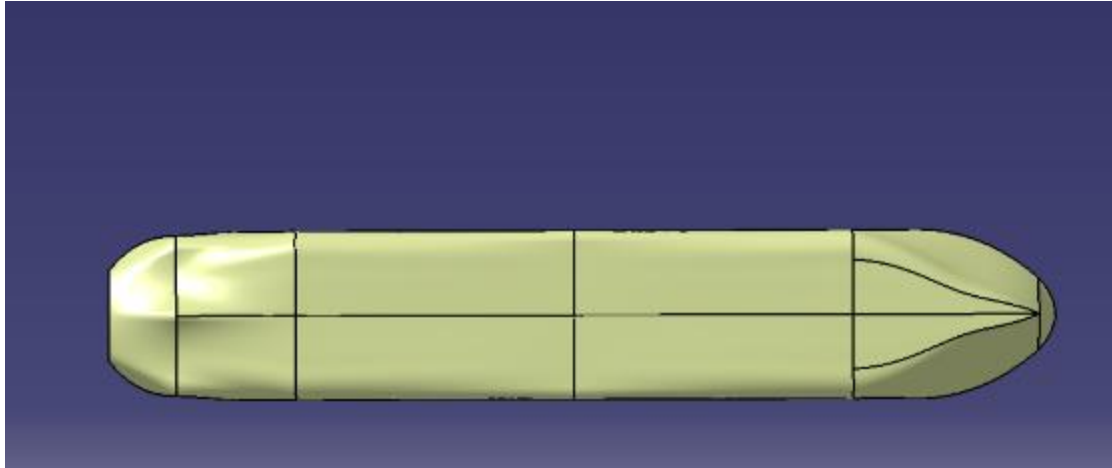
ΕΙΚΟΝΑ 70- ΚΑΤΟΨΗ



ΕΙΚΟΝΑ 71- ΠΙΣΩ ΟΨΗ



ΕΙΚΟΝΑ 72- ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ



ΕΙΚΟΝΑ 73- ΑΝΟΨΗ

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γάστρα είναι η πιο αξιοσημείωτη δομική οντότητα του πλοίου και αποτελεί σημαντικό θέμα έρευνας για τους ναυπηγούς σχεδιαστές, καθώς με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της τεχνολογίας βελτιστοποιείται σχεδιαστικά ολοένα και περισσότερο. Η χρήση CAD λογισμικών έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην σχεδίαση της γάστρας του πλοίου, με αποτέλεσμα η διαδικασία της σχεδίασης να γίνεται αποδοτικότερη. Με το πέρας της συγκεκριμένης εργασίας, σχεδιάστηκε βήμα-βήμα η γάστρα ενός δεξαμενόπλοιου Aframax, χρησιμοποιώντας παραμετρικές καμπύλες και επιφάνειες. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν συνδέονται μεταξύ τους και το πιο αξιοσημείωτο είναι πως δημιουργήθηκε ένα παραμετρικό μοντέλο πλοίου το οποίο έχει την δυνατότητα να τροποποιηθεί σε οποιοδήποτε είδος πλοίου μεταβάλλοντας μόνο τις διαστάσεις και τους βασικούς συντελεστές σχήματος. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το Catia όπου μας προσφέρει ιδιαίτερη ευελιξία στον παραμετρικό σχεδιασμό της γάστρας του πλοίου. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι περισσότερα καθώς προσφέρει στους σχεδιαστές την ευκαιρία να εμπλουτίσει το μοντέλο με κατασκευαστικά και δομικά στοιχεία, με αποτέλεσμα την πλήρη απεικόνιση του πλοίου αλλά και την δυναμική/στατική ανάλυση μέσω πεπερασμένων στοιχείων.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] G.KARAFIATH, “Stern End Bulb For Energy Enhancement Ans Speed Improvement”, 2011
- [2] JOO HOCK ANG, “Hull Form Design Optimization for Improved Efficiency and Hydrodynamic Performance of ‘Ship-Shaped’ Offshore Vessels”, 2015
- [3] PIERRE CARIOU, “Optimal ship speed and the cubic law revisited: Empirical evidence from an oil tanker fleet”, 2020
- [4] SITI SARAH, “The Construction of Cubic Bezier Curve”, 2022
- [5] RONALD GOLDMAN, “The fractal nature of Bezier curves”, 2004
- [6] MOAVIA AMEER, “Curve and Surface Geometric Modeling via Generalized Bézier-like Model”, 2022
- [7] MARC DANIEL, “A Declarative Modeler for B-Spline Curves”, 2012
- [8] MANUEL HIDALGO, “An evolution model of B-splines parametric surface”, 2007
- [9] MARIA JOSÉ LEGAZ, “Design optimization of merchant ships at an early stage using genetic algorithms”, 2022
- [10] N.BILLALIS, “Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη Μοντελοποίηση”, 2014
- [11] ΜΠΟΥΡΔΑΚΟΣ ΠΑΝΑΓΙΟΤΙΣ “Parametric Design of Ship Using Nurbs”
- [11] Χ.Α. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, << ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ CAD-CAM, 5^η ΕΚΔΟΣΗ
- [12] D.J. EYRES, G.J. BRUCE, “SHIP CONSTRUCTION”, 7^η ΕΚΔΟΣΗ
OCIMF, “DISABLED TANKERS”
- [13] ΕΜ.Ν. ΖΩΓΡΑΦΑΚΗΣ. «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΑΥΠΗΓΙΑΣ>>
- [14] <http://www.wikipedia.org>
- [15] <http://www.opencoursesteiath.gr>
- [16] <http://www.naval.ntua.gr>

- [17] <http://www.ship-technology.com>
- [18] <http://www.naval.ntua.gr>
- [19] [CATIA™ V5 Portfolio - Dassault Systèmes® 3D Software](#)
- [20] <https://www.researchgate.com>