



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF NAVAL ARCHITECTURE & MARINE ENGINEERING
DIVISION OF NAVAL AND MARINE HYDRODYNAMICS**

Diploma Thesis

Design Of A Recreational 12-m Speedboat

Ourania Angeli (nm19051)

Thesis Committee:

Supervisor:	Grigorios Grigoropoulos, Professor NTUA
Members:	George Zaraphonitis, Professor NTUA
	Nikos Themelis, Assistant Professor NTUA

Athens, November 2024



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ**

Διπλωματική Εργασία

Σχεδίαση Ταχύπλοου Σκάφους Αναψυχής 12 μέτρων

Ουρανία Αγγέλη (nm19051)

Εξεταστική επιτροπή:

Επιβλέπων:	Γρηγόριος Γρηγορόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ
Μέλη:	Γεώργιος Ζαραφωνίτης, Καθηγητής ΕΜΠ
	Νικόλαος Θεμελής, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβρης 2024

Ευχαριστίες

Θα ήθελα πρώτα απ'όλα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθηγητή κύριο Γρηγόριο Γρηγορόπουλο, αρχικά για την ίδια τη δυνατότητα που μου προσέφερε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, κυρίως, όμως, για την υπομονή και τη διαρκή, ουσιαστική και άμεση βοήθειά του στην αντιμετώπιση των εκάστοτε δυσκολιών που ανέκυπταν κατά τη διάρκεια της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Οφείλω, επίσης, να ευχαριστήσω θερμά το μέλος Ε.Τ.Ε.Π. της σχολής κύριο Δημοσθένη Τριπερίνα, για την εστιασμένη και απλόχερη καθοδήγηση που μου παρείχε στο κομμάτι των χρησιμοποιηθέντων προγραμμάτων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στην οικογένειά μου, χωρίς την αδιάκοπη στήριξη της οποίας δεν θα αποφοιτούσα σήμερα ως Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός.

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	1
Πίνακας Περιεχομένων	2
Abstract	4
Σύνοψη	5
Ονοματολογία χρησιμοποιούμενων συμβόλων	6
Λίστα Εικόνων	11
Λίστα Πινάκων	13
1 Εισαγωγή.....	14
1.1 Σκάφη ημικτοπίσματος	15
1.2 Ολισθάκατοι.....	16
1.3 Συστηματική Σειρά Ταχυπλόων Σκαφών Ε.Μ.Π.....	19
1.3.1 Απαρχές της Συστηματικής Σειράς.....	19
1.3.2 Η Συστηματική Σειρά	21
1.3.3 Το υπό εξέταση πρότυπο της Συστηματικής Σειράς.....	22
2 Αντίσταση ταχυπλόου σκάφους.....	23
2.1 Μέθοδος Froude.....	23
2.2 Μέθοδος Savitsky	28
2.3 Τελική καμπύλη αντίστασης ταχυπλόου σκάφους	33
3 Υδροστατικά χαρακτηριστικά ταχυπλόου σκάφους	35
3.1 Γεωμετρική περιγραφή γάστρας	35
3.2 Υδροστατικοί υπολογισμοί	38
4 Σχέδιο Γενικής Διάταξης	42
4.1 Καθορισμός απαραίτητων στοιχείων	42
4.1.1 Επιλογή μέγιστης επιτεύξιμης ταχύτητας	42
4.1.2 Εκλογή κατάλληλων μηχανών	43
4.1.3 Εκτίμηση χωρητικότητας δεξαμενών καυσίμου	49
4.2 Εισαγωγή στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης.....	51
4.2.1 Διαμήκης τομή επί του κατακόρυφου επιπέδου συμμετρίας του σκάφους	52
4.2.2 Προφίλ του σκάφους.....	56

4.2.3	Κάτοψη κατώτερου καταστρώματος του σκάφους.....	56
4.2.4	Κάτοψη εξωτερικού καταστρώματος του σκάφους.....	60
4.2.5	Εγκάρσιες τομές του σκάφους	63
4.2.5.1	Πρωραία εγκάρσια τομή	63
4.2.5.2	Εγκάρσια τομή περί το μέσον του σκάφους	65
4.2.5.3	Πρυμναία εγκάρσια τομή	67
4.3	Τελικό Σχέδιο Γενικής Διάταξης	69
5	Χαρακτηριστικά διαμήκους ισορροπίας για $C_{dl}=7.00$	71
5.1	Κατανομή βαρών	71
5.1.1	Υπολογισμός βάρους γάστρας, καταστρωμάτων και υπερκατασκευής του σκάφους	73
5.1.1.1	Σύνθετα Υλικά -Εισαγωγή.....	75
5.1.1.2	Παρουσίαση πολύστρωτων των διαφόρων περιοχών του σκάφους	78
5.2	Έλεγχος εκτοπίσματος και υπολογισμός διαγωγής του σκάφους.....	84
6	Εκλογή έλικας για το ταχύπλοο σκάφος.....	89
6.1	Εισαγωγή στα συστήματα πρόωσης	89
6.2	Κατηγορίες ελίκων ταχυπλόων σκαφών.....	91
6.3	Εκλογή έλικας.....	93
6.3.1	Γεωμετρικοί περιορισμοί	93
6.3.2	Βασικές παράμετροι σχεδίασης έλικας.....	95
6.3.3	Διαδικασία εκλογής κατάλληλης έλικας.....	96
6.3.3.1	Έλεγχος σπηλαίωσης	102
6.3.3.2	Υπολογισμός τελικού βαθμού απόδοσης πρόωσης συστήματος έλικας- σκάφους	114
7	Συμπεράσματα	115
8	Βιβλιογραφία	117

Abstract

This diploma thesis presents the design of an 11.70-meter recreational speedboat. The hull features a length-to-beam ratio of 3.25, designed as an extension for smaller boats in the National Technical University of Athens (NTUA) Systematic Speedboat Series, which typically covers ratios from 4.00 to 7.00. The design process begins with the derivation of the hull's resistance curve for three different loading conditions, utilizing experimental results from a scale model for low speeds, and the Savitsky resistance estimation method for higher speeds. This is followed by essential hydrostatic calculations using relevant executable software, while the assumed loading condition to guide the design is also documented there. Alongside the determination of the speedboat's maximum velocity -based on data from similar vessels on the market- appropriate engines with efficient fuel consumption are selected, ensuring the achievement of the target speed. A General Arrangement Plan is then developed -including relevant views and cross sections- which, beyond its inherent importance, is also used to derive the weight distribution and static trim angle in the loading condition under study. The final step in the design of the recreational speedboat attempted in this thesis is the selection of suitable propellers, accompanied by a cavitation check, to ensure optimal propulsion efficiency for the entire system, while mitigating cavitation phenomena that lead to corrosion and other issues.

Σύνοψη

Στη διπλωματική αυτή εργασία επιχειρείται ο σχεδιασμός ταχυπλόου σκάφους αναψυχής ολικού μήκους 11.70 μέτρων. Η γάστρα έχει λόγο μήκους προς πλάτος ίσο με 3.25, αποτελώντας επέκταση για μικρότερα σκάφη της Συστηματικής Σειράς Ταχυπλόων Σκαφών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.), που καλύπτει λόγους από 4.00 έως 7.00. Για τον σκοπό αυτόν, αρχικά εξάγεται η καμπύλη αντίστασης του ταχυπλόου για τρεις διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης, βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων μοντέλου υπό κλίμακα για τις χαμηλές και της μεθόδου εκτίμησης αντίστασης κατά Savitsky για τις υψηλές ταχύτητες. Έπονται οι απαραίτητοι υδροστατικοί υπολογισμοί -με τη βοήθεια σχετικού εκτελέσιμου προγράμματος, ενώ τεκμηριώνεται και η κατάσταση φόρτωσης που υποτίθεται για την ακολουθούσα σχεδίαση. Με την ταυτόχρονη επιλογή μέγιστης ταχύτητας του ταχυπλόου -βάσει στοιχείων παρομοίων σκαφών της αγοράς- γίνεται και η εκλογή μηχανών με αποδοτική λειτουργία καυσίμου, για τις οποίες εξασφαλίζεται η επίτευξη της παραπάνω ταχύτητας. Ακολουθεί εκπόνηση Σχεδίου Γενικής Διάταξης -περιέχοντος τις κατάλληλες όψεις και τομές-, το οποίο -εκτός της ίδιας σημασίας- χρησιμοποιείται προς εξαγωγή της κατανομής βαρών και της στατικής διαγωγής στην κατάσταση φόρτωσης που μελετάται. Τελευταίο βήμα της σχεδίασης του ταχυπλόου σκάφους αναψυχής που επιχειρείται στην παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί η εκλογή κατάλληλης γι' αυτό έλικας, συνοδευόμενη από έλεγχο σπηλαίωσης, ώστε να επιτυγχάνεται καλός βαθμός απόδοσης πρόωσης του συνολικού συστήματος, με ταυτόχρονη αποφυγή των δυσμενών διαβρωτικών -και όχι μόνον- φαινομένων σπηλαίωσης.

Ονοματολογία χρησιμοποιούμενων συμβόλων

L : χαρακτηριστικό μήκος $[m]$

L_{WL} : μήκος ισάλου $[m]$

L_{OA} : ολικό μήκος $[m]$

B_{OA} : μέγιστο πλάτος $[m]$

B_{WL} : πλάτος στην ίσαλο $[m]$

T : βύθισμα $[m]$

$\frac{L}{B}$: λόγος ολικού μήκους προς μέγιστο πλάτος

λ : λόγος (γεωμετρικής) κλίμακας

Δ : εκτόπισμα $[kp]$ ή $[tonnes]$

∇ : όγκος εκτοπίσματος $[m^3]$

C_{DL} : συντελεστής φόρτωσης ή αδιάστατος λόγος εκτοπίσματος

M : συντελεστής λυγηρότητας

g : επιτάχυνση της βαρύτητας $[\frac{m}{s^2}]$

V : ταχύτητα $[kn]$ ή $[\frac{m}{s}]$

Fn : αριθμός Froude

F_B : αριθμός Froude με βάση το πλάτος

F_{∇} : ογκομετρικός αριθμός Froude

ν : κινηματική συνεκτικότητα $[\frac{m^2}{s}]$

Re : αριθμός Reynolds

C_T : συντελεστής ολικής αντίστασης

C_F : συντελεστής αντίστασης τριβής

C_R : συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης

R_T : ολική αντίσταση $[kp]$

R_F : αντίσταση τριβής $[kp]$

R_R : υπόλοιπη αντίσταση $[kp]$

ρ : πυκνότητα νερού $[kp * \frac{s^2}{m^4}]$ ή $[\frac{kg}{m^3}]$

$W.S.$: βρεχόμενη επιφάνεια $[m^2]$

β : γωνία ανύψωσης πυθμένα $[deg]$

$C_{L\beta}$: συντελεστής άνωσης πρισματικού σκάφους

C_{L_0} : συντελεστής άνωσης επίπεδης πλάκας

W : βάρος $[kg]$

L_p : κέντρο πιέσεων $[m]$

LCG ή x_G : διαμήκης θέση κέντρου βάρους $[m]$

LCB ή x_B : διαμήκης θέση κέντρου άντωσης $[m]$

λ : λόγος μέσου βρεχόμενου μήκους

τ : δυναμική διαγωγή $[deg]$

C_{L_d} : συντελεστής δυναμικής άνωσης

$\Delta\lambda$: διόρθωση βρεχόμενου μήκους λόγω αφρού $[m]$

λ_F : λόγος βρεχόμενου μήκους τριβής $[m]$

C_F : συντελεστής τριβής κατά ITTC

ΔC_F : συντελεστής συσχέτισεως κατά ATTC

D_F : αντίσταση τριβής $[kp]$

D : αντίσταση $[kp]$

$TP1$: τόνοι ανά μοναδιαία μεταβολή βυθίσματος $[\frac{t}{m}]$

LCF : διαμήκης θέση κέντρου πλευστότητας $[m]$

BM_L : διαμήκης μετακεντρική ακτίνα $[m]$

BM : εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα $[m]$

$MCT1$: ροπή διαγωγής ανά εκατοστιαία μονάδα μεταβολής βυθισμάτων $\left[\frac{t \cdot m}{cm}\right]$

c_B : συντελεστής γάστρας

c_P : πρισματικός συντελεστής

c_M : συντελεστής μέσης τομής

c_{WP} : κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής

EHP : ισχύς ρυμούλκησης $[hp]$ ή $[PS]$

T : απαιτούμενη από την έλικα ώση $[kp]$

THP : ισχύς ώσης $[hp]$ ή $[PS]$

Q : απαιτούμενη από την έλικα ροπή $[kp * m]$

n : στροφές της έλικας $[RPM]$ ή $[rps]$

DHP : αποδιδόμενη ισχύς στην έλικα $[hp]$ ή $[PS]$

η_D : βαθμός απόδοσης πρόωσης

η_S : βαθμός απόδοσης άξονα

SHP : ισχύς στον άξονα της μηχανής $[hp]$ ή $[PS]$

$P.C.$: βαθμός απόδοσης πρόωσης

A : επιφάνεια στοιχείου $[m^2]$

t : πάχος στοιχείου $[mm]$

M : επιφανειακό βάρος ενισχυτικών ινών στρώσης $\left[\frac{g}{m^2}\right]$

ρ_f : πυκνότητα ενισχυτικών ινών $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$

ρ_R : πυκνότητα στερεοποιημένης ρητίνης $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$

W_f : κατά βάρος περιεκτικότητα στρώσης σε ίνες $[\%]$

θ : γωνία διαμήκους κλίσης $[deg]$

$\tan\theta = \text{trim} = \tau$: διαγωγή

M_{yz}^G : ροπή βάρους ως προς το εγκάρσιο επίπεδο $[t * m]$

M_{yz}^B : ροπή άντωσης ως προς το εγκάρσιο επίπεδο $[t * m]$

γ : ειδικό βάρος νερού $\left[\frac{t}{m^3}\right]$

I_{yy}^F : εγκάρσια ροπή αδράνειας της ισάλου περί το κέντρο πλευστότητας $[m^4]$

D : διάμετρος έλικας $[m]$

P : βήμα έλικας $[m]$

$\frac{P}{D}$: λόγος βήματος προς διάμετρο

EAR : λόγος εκτεταμένης επιφανείας έλικας

z : αριθμός πτερυγίων έλικας

K_T : αδιάστατος συντελεστής ώσης έλικας

K_Q : αδιάστατος συντελεστής ροπής έλικας

η_0 : βαθμός απόδοσης έλικας σε ελεύθερη ροή

w : ποσοστό ομόρρου

J : συντελεστής προχώρησης έλικας

t : ποσοστό μείωσης ώσης

N_{PR} : πλήθος ελίκων

P_A : ατμοσφαιρική πίεση $\left[\frac{kp}{m^2}\right]$

P_H : υδροστατική πίεση $\left[\frac{kp}{m^2}\right]$

H : βύθιση του άξονα της έλικας $[m]$

P_v : πίεση ατμοποίησης του νερού $\left[\frac{kp}{m^2}\right]$

σ : αδιάστατος αριθμός σπηλαίωσης

η_H : βαθμός απόδοσης γάστρας

η_R : βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής

A_P : προβεβλημένη επιφάνεια έλικας [m^2]

$V_{0.7R}$: συνισταμένη ταχύτητα ροής στα 0.7 της ακτίνας της έλικας [kn] ή [$\frac{m}{s}$]

τ_C : αδιάστατος συντελεστής φόρτισης ώσης στα 0.7R

Q_C : αδιάστατος συντελεστής φόρτισης ροπής στα 0.7R

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Κυριότεροι τύποι ταχυπλόων σκαφών και σκαφών προηγμένης τεχνολογίας [1]	14
Εικόνα 2: Τυπικό σχέδιο γραμμών γάστρας ημι-εκτοπίσματος [1]	15
Εικόνα 3: Κατανομή υδροστατικής και υδροδυναμικής άνωσης [1]	17
Εικόνα 4: Τυπικό σχέδιο γραμμών γάστρας ολισθακάτου (Σειρά 62) [1]	17
Εικόνα 5 : Σχέδιο γραμμών του πατρικού προτύπου της Συστηματικής	19
Εικόνα 6: Καμπύλη αντίστασης ταχυπλόου σκάφους για την περιοχή χαμηλών ταχυτήτων	27
Εικόνα 7: Ενδεικτικό στιγμιότυπο οθόνης με αποτελέσματα του προγράμματος “SAV.exe”	31
Εικόνα 8: Καμπύλη αντίστασης ταχυπλόου σκάφους για την περιοχή υψηλών ταχυτήτων	32
Εικόνα 9: Καμπύλη αντίστασης ταχυπλόου σκάφους	33
Εικόνα 10: Γραμμές προτύπου 185/05 της Σειράς Ταχυπλόων Σκαφών Ε.Μ.Π.	35
Εικόνα 11: Τρισδιάστατη γάστρα του υπό σχεδίαση ταχυπλόου	36
Εικόνα 12: Σχέδιο νομέων του σκάφους- βάσει των επιλεγέντων σημείων	37
Εικόνα 13: Προφίλ του σκάφους- βάσει των επιλεγέντων σημείων	37
Εικόνα 14: Γενικά δεδομένα εισόδου του “hydro.exe”	39
Εικόνα 15: Περιγραφή Νομέων 1-4, όπως εμφανίζονται στο “hydro.exe”	39
Εικόνα 16: Υδροστατικά χαρακτηριστικά ταχυπλόου, όπως εμφανίζονται στο “hydro.exe”	40
Εικόνα 17: Καμπύλες Βοηjean ταχυπλόου για τους Νομείς 1-8, όπως εμφανίζονται στο “hydro.exe”	41
Εικόνα 18: Δεδομένα εξόδου του “SAV.exe” για $V_{max} = 35\text{kn}$	45
Εικόνα 19: Απόσπασμα εγχειριδίου της εξωλέμβιας μηχανής Mercury 300R [26]	46
Εικόνα 20: Βασικά τμήματα μιας εξωλέμβιας μηχανής [28]	47
Εικόνα 21: Διαμήκης όψη της τρισδιάστατης γάστρας του σκάφους	52
Εικόνα 22: Διαμήκης τομή της γάστρας στο “y=0”, σε αρχικό στάδιο	52
Εικόνα 23: Τελική διαμήκης τομή του σκάφους στο κατακόρυφο επίπεδο συμμετρίας του	53
Εικόνα 24: Τελικό προφίλ ταχυπλόου σκάφους	55
Εικόνα 25: Κάτοψη της τρισδιάστατης γάστρας του σκάφους	56
Εικόνα 26: Οι δύο -απαρτίζουσες το κατώτερο κατάστρωμα- ίσαλοι, σε αρχικό στάδιο	57
Εικόνα 27: Τελική κάτοψη του κατώτερου καταστρώματος του ταχυπλόου σκάφους	58
Εικόνα 28: Η -αντιστοιχούσα στο εξωτερικό κατάστρωμα- ίσαλος του ταχυπλόου σκάφους, σε αρχικό στάδιο	60
Εικόνα 29: Τελική κάτοψη του εξωτερικού καταστρώματος του ταχυπλόου σκάφους	61
Εικόνα 30: Εγκάρσια όψη της τρισδιάστατης γάστρας του ταχυπλόου σκάφους	63
Εικόνα 31: Νομέας 13 (σε διαμήκη θέση της τομής “A-A”)	63
Εικόνα 32: Πρωραία εγκάρσια τομή του ταχυπλόου σκάφους (Τομή “A-A”)	64
Εικόνα 33: Νομέας 8 (σε διαμήκη θέση της τομής “B-B”)	65
Εικόνα 34: Εγκάρσια τομή περί το μέσον του ταχυπλόου σκάφους (Τομή “B-B”)	66
Εικόνα 35: Νομέας 2 (σε διαμήκη θέση της τομής “C-C”)	67
Εικόνα 36: Πρυμναία εγκάρσια τομή του ταχυπλόου σκάφους (Τομή “C-C”)	68
Εικόνα 37: Σχέδιο Γενικής Διάταξης του ταχυπλόου σκάφους	70
Εικόνα 38: Επιμερισμός της γάστρας του σκάφους σε τμήματα, προς μέτρηση επιφανειών	74
Εικόνα 39: Ισχύς ρυμούλκησης ανά τόνο εκτοπίσματος συναρτήσει του λόγου ταχύτητας- μήκους, για διάφορους τύπους πλοίων [3]	76

Εικόνα 40: Διαδικασία προσδιορισμού του ημίσεος της επιφάνειας πυθμένα της γάστρας	81
Εικόνα 41: Τα μεγέθη LCB (x_B) και MCT1 ως δεδομένα εξόδου του προγράμματος "hydro"	85
Εικόνα 42: Τα νέα μεγέθη R_T ("Bare Hull Resistance") και EHP ("Modified Savitsky EHP") ως δεδομένα εξόδου του προγράμματος "SAV.exe"	87
Εικόνα 43: Οι προηγηθέντες υδροστατικοί υπολογισμοί αφορούν σε ισοβύθιστη κατάσταση.....	88
Εικόνα 44: Σχετική μέγιστη απόδοση συστημάτων πρόωσης [1]	90
Εικόνα 45: Εμφάνιση σπηλαίωσης στο διάγραμμα ώσεως- στροφών έλικας [1].....	91
Εικόνα 46: Ολικός βαθμός απόδοσης διαφόρων συστημάτων πρόωσης [1].....	92
Εικόνα 47: Χαρακτηριστικό σκίτσο της οριζόντιας πλάκας (anti- ventilation plate) [38]	94
Εικόνα 48: Συνολική διαμόρφωση πρύμνης ταχυπλόου με εξωλέμβια πρόωση	94
Εικόνα 49	101
Εικόνα 50: Διαγράμματα ελεύθερης ροής των δύο εξεταζομένων ελίκων [4]	101
Εικόνα 51: Διαγράμματα ελεύθερης ροής της επιλεγείσας έλικας [4]	111

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά χρησιμοποιούμενου προτύπου.....	22
Πίνακας 2: Μήκη ισάλων πλοίου για κάθε κατάσταση φόρτωσης.....	26
Πίνακας 3: Υπολογισμοί Μεθόδου Froude για $C_{DL}=7.00$	26
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά για $C_{DL}=7.00$ μεγέθη ταχυπλόου σκάφους	34
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά στοιχεία παρομοίων -με το υπό σχεδίαση- ταχυπλόων σκαφών της αγοράς [12]-[25].....	42
Πίνακας 6: Κατανομή Βαρών και Υπολογισμός Διαγωγής σκάφους στην κατάσταση $C_{dl}=7.00$	71
Πίνακας 7: Βάρη συνιστωσών της κατηγορίας «Hull & Decks»	82
Πίνακας 8: Βάρη συνιστωσών της κατηγορίας «Superstructure»	83
Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά εξεταζομένων ελίκων	100
Πίνακας 10: Εμπλουτισμένος πίνακας χαρακτηριστικών των εξεταζομένων ελίκων	103
Πίνακας 11: Εξέταση των εκάστοτε κριτηρίων σπηλαίωσης για τις δύο επιλογές ελίκων	107
Πίνακας 12: Απαραίτητα για την εξέταση των δύο ελίκων μεγέθη.....	108
Πίνακας 13: Πίνακας απαραίτητων υπολογισμών και για τη μέγιστη ταχύτητα ταχυπλόου	110
Πίνακας 14: Πίνακας χαρακτηριστικών υπό εξέταση έλικας σε ελεύθερη ροή, για V_{max}	112
Πίνακας 15: Εξέταση των κριτηρίων σπηλαίωσης και για τη μέγιστη ταχύτητα	113

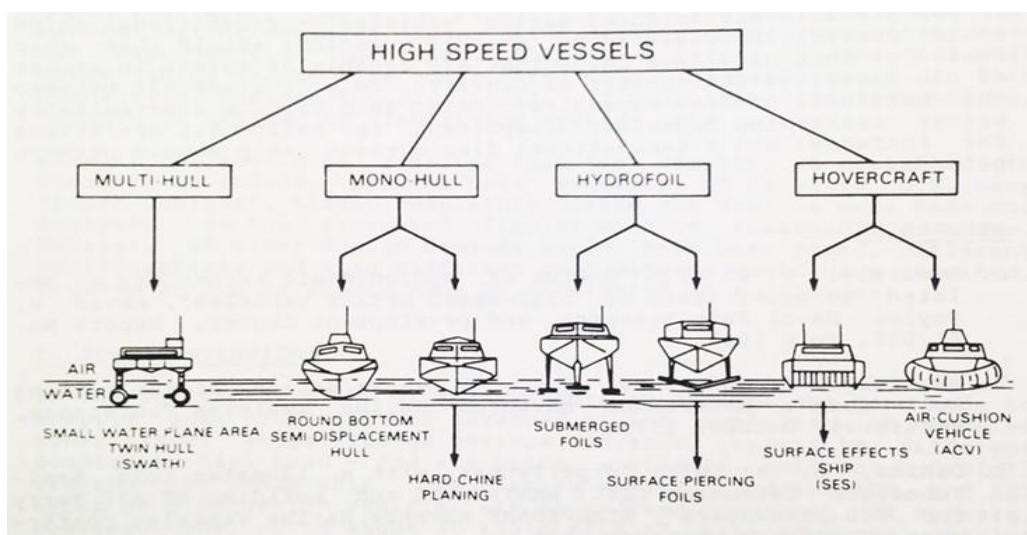
1 Εισαγωγή

Τα συμβατικά σκάφη εκτοπίσματος, εκείνα, δηλαδή, στα οποία η ισορροπία εξασφαλίζεται με ικανοποίηση της Αρχής του Αρχιμήδη (που απαιτεί άντωση ίση με το βάρος του εκτοπιζόμενου όγκου νερού), εμφανίζουν περιορισμό στην επιτεύξιμη ταχύτητα πλεύσης, άμεσα εξαρτώμενο από το μήκος της ισάλου τους. Έτσι, η μέγιστη ταχύτητα είναι η εκάστοτε αντιστοιχούσα σε αριθμό Froude ίσο με 0.5:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \leq 0.5$$

Επομένως, μικρά ταχύπλοα σκάφη αναψυχής, στα οποία είναι επιθυμητές υψηλές ταχύτητες, δεν μπορούν να «υποστηριχθούν» από τέτοιον τύπο γαστρών. Εδώ έρχεται να προστεθεί και ένα ακόμη χαρακτηριστικό των συμβατικών γαστρών που εμποδίζει τη χρήση τους σε σκάφη όπου επιθυμούνται υψηλές ταχύτητες λειτουργίας, και αφορά στη σχέση ταχύτητας- αντίστασης που τα διέπει. Πιο συγκεκριμένα, αυτή, ούσα ήδη τετραγωνική για χαμηλές, για τις υψηλότερες ταχύτητες γίνεται τουλάχιστον κυβική, με αποτέλεσμα η απαιτούμενη ισχύς εγκατάστασης να λαμβάνει γρήγορα απαγορευτικά μεγάλες τιμές. Μια τρίτη δυσκολία που παρουσιάζεται κατά την προσπάθεια αύξησης της ταχύτητας ενός συμβατικού σκάφους είναι η συνεπαγόμενη κακή συμπεριφορά σε κυματισμούς που εκδηλώνεται ως επί το πλείστον με την εμφάνιση υπερβολικών τιμών επιταχύνσεων κατά μήκος του πλοίου [1].

Η ανάγκη άρσης των παραπάνω εμποδίων οδήγησε σε ανάπτυξη εναλλακτικών προσεγγίσεων σχεδίασης, δηλαδή διαφορετικών τύπων γαστρών, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 1: Κυριότεροι τύποι ταχυπλόων σκαφών και σκαφών προηγμένης τεχνολογίας [1]

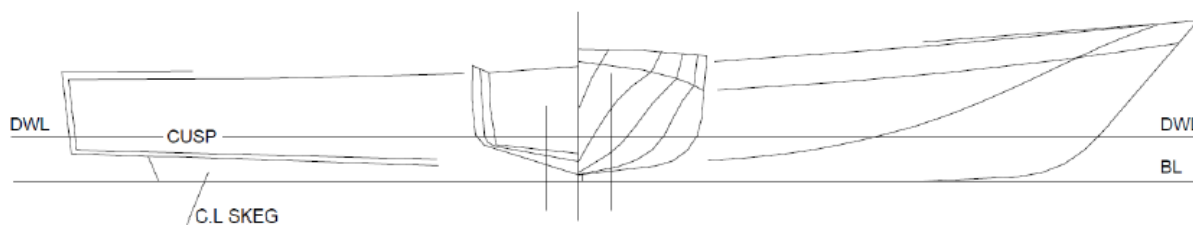
1.1 Σκάφη ημιεκτοπίσματος

Οι γάστρες των σκαφών ημι-εκτοπίσματος (semi-displacement hulls) αναπτύσσονται κατά την πλεύση σημαντική δυναμική άνωση, χωρίς, ακόμη, να ολισθαίνουν, με την περιοχή λειτουργίας τους να κυμαίνεται μεταξύ $Fn = 0.5$ και $Fn = 1.3$. Πιο συγκεκριμένα, η ισορροπία του σκάφους εξασφαλίζεται κυρίως με τη βοήθεια υδροστατικών δυνάμεων, οι οποίες για $Fn > 0.7$ φθίνουν, οπότε και αρχίζει να αναπτύσσεται δυναμική άνωση. Σημειώνεται δε ότι με περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας, η αύξηση της τελευταίας γίνεται κατά τον ίδιο τρόπο με τον οποίο μειώνεται η υδροστατική άνωση. Η θετική συνεισφορά της υδροδυναμικής άνωσης, -η οποία εκδηλώνεται με τη δυναμική ανύψωση του κέντρου βάρους του σκάφους και συνεπάγεται μεταβλητή βρεχόμενη επιφάνεια- είναι και η ειδοποιός διαφορά με τα σκάφη εκτοπίσματος -που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Η δυνατότητα ανάπτυξης της υδροδυναμικής, αυτής, άνωσης στα σκάφη ημιεκτοπίσματος οφείλεται, προφανώς, στην εναλλακτική τους σχεδίαση, κύρια χαρακτηριστικά της οποίας αποτελούν τα εξής:

- Κυρτή μορφή πρωραίων νομέων
- Μεγάλη γωνία ανύψωσης πυθμένα στο πρωραίο τμήμα
- Ευθείες πρωραίες ίσαλοι, με μικρές γωνίες εισόδου
- Ευθείες ή ελαφρά κυρτές διαμήκεις τομές στο πρυμναίο ήμισυ, ανυψούμενες οδεύοντας προς την πλώρη
- Κεντρική τρόπιδα (skeg) στο πρυμναίο μέρος
- Πρύμνη καθρέπτης [1]

Τα παραπάνω εικονίζονται χαρακτηριστικά στο ακόλουθο σχέδιο γραμμών:



Εικόνα 2: Τυπικό σχέδιο γραμμών γάστρας ημι-εκτοπίσματος [1]

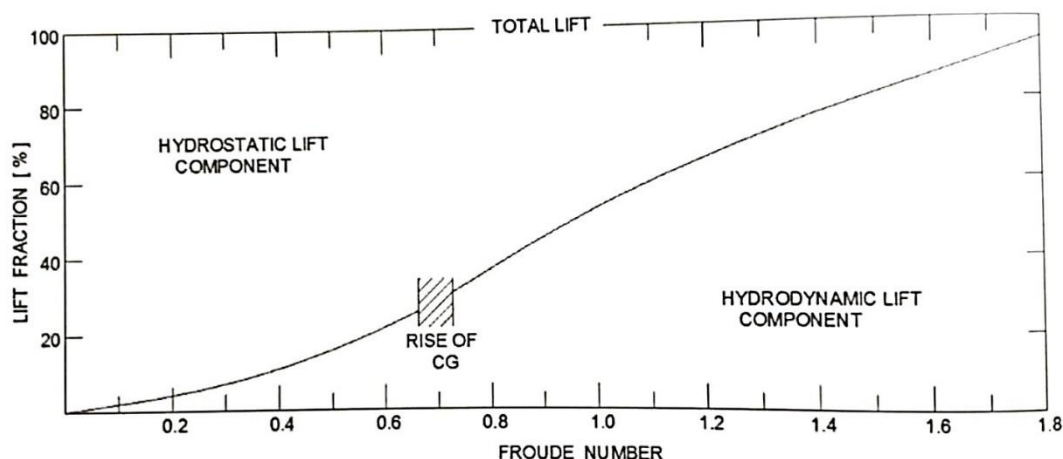
Σημειώνεται ότι η τοποθέτηση πρυμναίας σφήνας μειώνει τη δυναμική διαγωγή των σκαφών αυτών, ενώ περιορισμός του κύματος της πλώρας επιτυγχάνεται με τη χρήση αντιδιαβροχικών λωρίδων (spray rails), που τοποθετούνται ψηλά, πάνω από την ίσαλο γραμμή.

Γάστρες ημι-εκτοπίσματος χρησιμοποιούνται για όλους τους τύπους σκαφών αναψυχής (που είναι και η μελετώμενη -για την παρούσα διπλωματική εργασία- κατηγορία), με αποτέλεσμα οι κύριες διαστάσεις, οι παράμετροι μορφής και οι ταχύτητες λειτουργίας να καλύπτουν το εξής ευρύ φάσμα:

- $L_{WL} = 6 \div 100 \text{ m}$
- $L/B = 3.2 \div 7.5$
- $\Delta = 5 \div 200 \text{ mt}$
- $L / \left(\nabla^{\frac{1}{3}} \right) = 4.4 \div 8.3$
- $V = 15 \div 50 \text{ kn}$ [1]

1.2 Ολισθάκατοι

Οι ολισθάκατοι (planing hulls) είναι σκάφη που λειτουργούν σε ταχύτητες αντιστοιχούσες σε $Fn \geq 1$, οπότε και παύουν να συμπεριφέρονται ως γάστρες εκτοπίσματος, αναπτύσσοντας θετικές υδροδυναμικές πιέσεις στον πυθμένα. Όπως αναφέρθηκε και για τις γάστρες ημι-εκτοπίσματος, με την αύξηση της ταχύτητας, η αύξηση της υδροδυναμικής άνωσης είναι αντίστοιχη της μείωσης της υδροστατικής, κάτι που για μια τυπική ολισθάκατο φαίνεται χαρακτηριστικά στο σχήμα που ακολουθεί, στο οποίο επισημαίνεται, παράλληλα, και η ταχύτητα (δηλαδή ο αριθμός Froude) όπου παρατηρείται έναρξη ανύψωσης του κέντρου βάρους για το σκάφος.

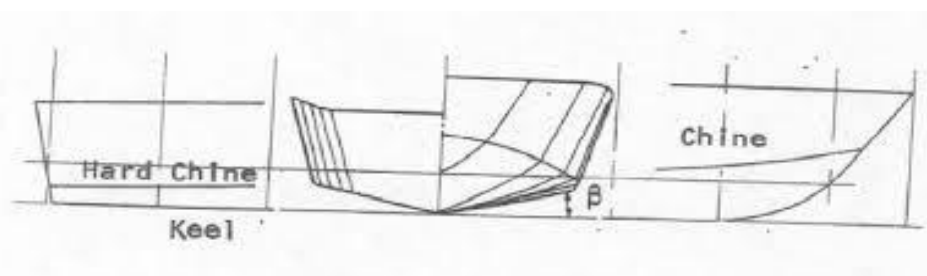


Εικόνα 3: Κατανομή υδροστατικής και υδροδυναμικής άνωσης [1]

Οι γάστρες ολισθακάτων είναι κατάλληλα σχεδιασμένες, ώστε τα σκάφη αυτά να ολισθαίνουν από μια ταχύτητα και μετά, κάτι που επιτυγχάνεται με συνδυασμό των ακόλουθων χαρακτηριστικών:

- Οξείες ακμές και πρύμνη καθρέπτης, προς αποχωρισμό της ροής στην πρύμνη, όσο και κατά μήκος των πλευρών
- Ευθείες διαμήκεις τομές και αποφυγή κυρτών νομέων ιδιαίτερα πρύμνηθεν της περιοχής της πλώρας, προς αποφυγήν ανάπτυξης αρνητικών δυναμικών πιέσεων στον πυθμένα
- Ανύψωση πυθμένα, γρήγορα αυξανόμενη στην πωραία περιοχή προς μείωση των κρουστικών φαινομένων σε κυματισμούς (slamming), αλλά και για πρόσδοση επαρκούς εγκάρσιας επιφάνειας -απαραίτητης για την εκτέλεση ελιγμών
- Λεπτές γραμμές στην είσοδο προς μείωση της αντίστασης στις χαμηλές ταχύτητες [1]

Μια τυπική γεωμετρία γάστρας ολισθακάτου φαίνεται στο σχέδιο γραμμών που ακολουθεί:



Εικόνα 4: Τυπικό σχέδιο γραμμών γάστρας ολισθακάτου (Σειρά 62) [1]

Πέραν των βασικών χαρακτηριστικών που παρατέθηκαν παραπάνω, οι γάστρες των ολισθακάτων επιδέχονται ποικίλες υδροδυναμικές βελτιώσεις και ειδικές σχεδιάσεις. Ενδεικτικά αναφέρεται η πλώρα μορφής «ανεστραμμένου κώδωνα», που -ούσα κυρτή κοντά στην τρόπιδα και κοίλη κοντά στην ακμή- οδηγεί σε περίπου σταθερές δυνάμεις στον πυθμένα, για καλύτερη απορρόφηση των σφυροκρούσεων.

Εφόσον στην παράγραφο των σκαφών ημι-εκτοπίσματος αναφέρθηκαν οι αντιδιαβροχικές λωρίδες, χάριν πληρότητας σημειώνεται, εδώ, ότι τέτοιες χρησιμοποιούνται και στις ολισθακάτους, αλλά με διαφορετικό, πλέον, σκοπό. Τώρα τοποθετούνται στον πυθμένα, ενισχύοντας τον ρόλο των ακμών, δηλαδή την επαρκή (εφαπτομενική) αποκόλληση της ροής και οδήγησή της πίσω από τη γάστρα, προς μείωση της βρεχόμενης επιφάνειας, και άρα της αντίστασης του σκάφους [1].

Σε κάθε περίπτωση, τονίζεται ότι ολίσθηση μπορεί να υπάρξει μόνον με τη δημιουργία αφρού [2], δηλαδή με νερό που «ρίχνεται» μπροστά από την πλώρη. Αυτή είναι και η ειδοποιός διαφορά των ολισθακάτων από τις δύο κατηγορίες σκαφών που προηγήθηκαν (συμβατικά και ημι-εκτοπίσματος).

Ολισθάκατοι χρησιμοποιούνται εκτεταμένα σε σκάφη αναψυχής (σχεδίαση τέτοιου επιχειρείται στην παρούσα διπλωματική εργασία), με τις κύριες γεωμετρικές και λειτουργικές παραμέτρους τους να κυμαίνονται ως εξής:

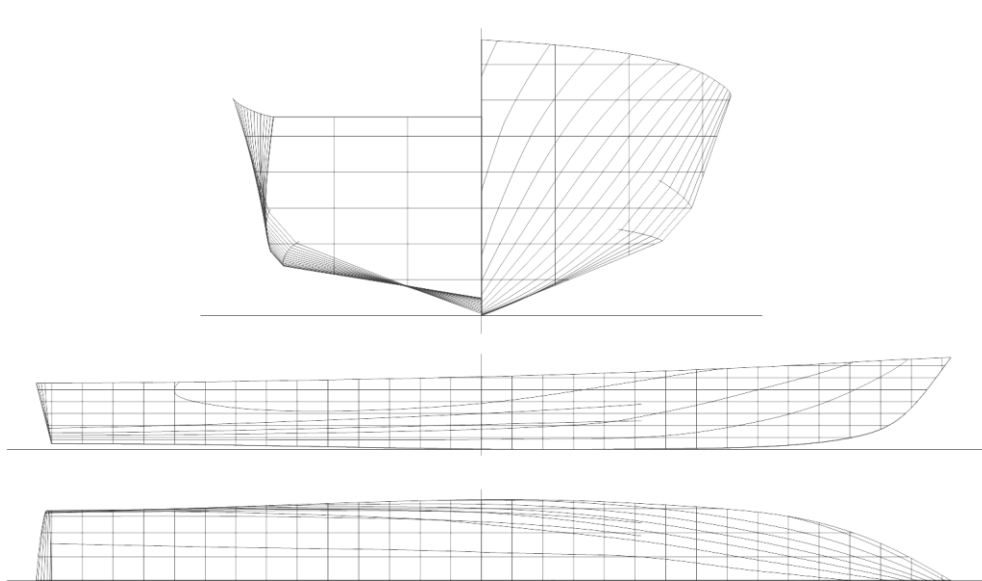
$$\begin{aligned} \blacksquare \quad L_{OA} &= 4 \div 60 \text{ m} \\ \blacksquare \quad L/B &= 3 \div 7 \\ \blacksquare \quad \Delta &= 5 \div 600 \text{ mt} \\ \blacksquare \quad V &= 20 \div 60 \text{ kn} \end{aligned} \quad [1]$$

Ακολουθεί αναλυτική αναφορά στη Συστηματική Σειρά¹ Σχεδίασης Ταχυπλόων Σκαφών του Ε.Μ.Π, από την οποία «πάρθηκε» η γάστρα του υπό σχεδίαση σκάφους της διπλωματικής, αυτής, εργασίας. Το γεγονός πως γάστρες που εμφανίζουν κάποια από τα χαρακτηριστικά της σειράς και έχουν κατασκευαστεί και χρησιμοποιηθεί επιτυχημένα σε σκάφη ημι-εκτοπίσματος, όσο και καλά πειραματικά αποτελέσματα αντιστοίχων γαστρών στην περιοχή ολισθήσεως [1], αιτιολογούν το περιεχόμενο της εισαγωγής που προηγήθηκε.

¹ Συστηματική Σειρά: Σύνολο δεδομένων διαφόρων μοντέλων με ίδια βασική (πατρική) μορφή γάστρας, στην οποία επιχειρείται συστηματική μεταβολή των γεωμετρικών παραμέτρων, με σκοπό την απομόνωση και ανάλυση της επίδρασης κάθε μιας από αυτές στην απόδοση του πλοίου [3].

1.3 Συστηματική Σειρά Ταχυπλόων Σκαφών Ε.Μ.Π.

1.3.1 Απαρχές της Συστηματικής Σειράς



2

Εικόνα 5 : Σχέδιο γραμμών του πατρικού προτύπου της Συστηματικής Σειράς Ε.Μ.Π. [4]

Πρώτο ερέθισμα για την ανάπτυξη της συστηματικής αυτής σειράς, αποτέλεσε η παρουσίαση μιας νέας -τότε- μορφής γάστρας, το 1972, από τους Savitsky, Roper και Benen. Επρόκειτο για ολισθάκατο που παρουσίαζε πολύ καλή δυναμική συμπεριφορά σε κυματισμούς και συνδύαζε διπλή ακμή, πλατύ καθρέπτη, στρεβλή επιφάνεια ολίσθησης και ιδιαίτερα λεπτόγραμμη πλώρη.

² Το σχέδιο εγκαρσίων τομών εικονίζεται μεγεθυμένο κατά τον παράγοντα τρία.

Εκτενής χρήση της μορφής αυτής έγινε αρκετά χρόνια αργότερα, και πιο συγκεκριμένα, τη δεκαετία του '90, για σχεδιάσεις ταχυπλόων μονόγαστρων σκαφών, που λειτουργούσαν σε κατάσταση προ-ολίσθησης (κυρίως επιβατηγά, και επιβατηγά-οχηματαγωγά πλοία). Αυτό εξέφραζε έμπρακτα την ήδη τότε αναδυόμενη πεποίθηση πως -για διάφορους τεχνο-οικονομικούς λόγους- οι μονόγαστρες ολισθάκατοι είναι οι υπερισχύουσες στο πεδίο των ταχέων εμπορικών και πολεμικών σκαφών ολοένα και αυξανόμενου μεγέθους [4].

Οι καθηγητές του Ε.Μ.Π. Θεόδωρος Λουκάκης και Γρηγόριος Γρηγορόπουλος, λοιπόν, αναγνωρίζοντας την αξία της συγκεκριμένης μορφής γάστρας, προχώρησαν στο εγχείρημα της δημιουργίας μιας συστηματικής σειράς, το εύρος της οποίας καθορίστηκε από το όριο μέγιστης ταχύτητας του φορείου της Πειραματικής Δεξαμενής του Ε.Μ.Π. ($V_{max} = 5 \text{ m/s}$) και την -τότε- κατασκευή στην Ευρώπη μεγάλων ταχέων επιβατηγών πλοίων. Σκοπός ήταν ο σχεδιαστής ναυπηγός να έχει μια εύχρηστη και αξιόπιστη βάση για τη σχεδίαση μεσαίου και μεγάλου μήκους μονόγαστρων πλοίων και σκαφών αναψυχής.

Το πρώτο μοντέλο -που αποτέλεσε και το «πατρικό σκάφος» της μετέπειτα σειράς- κατασκευάστηκε το 1994, με λόγο $L/B=5.50$ και προέκυψε από σύγκριση συνολικά πέντε «ισοδυνάμων» ισομήκων γαστρών με μονή και διπλή ακμή και στρογγυλεμένους χαμηλά εγκάρσιους νομείς, σε συνδυασμό με σταθερή και μεταβαλλόμενη γωνία ανύψωσης πυθμένα. Επρόκειτο για τις εξής πέντε μορφές:

- Σειρά 62, απλής ακμής, των Clement & Blount (1963)
- Βαθύ “V”, απλής ακμής, των Keuning & Gerritsma (1982)
- Διπλής ακμής, βασισμένη στη Σειρά 62, των Grigoropoulos & Loukakis (1995)
- Διπλής ακμής και με πλατύ καθρέπτη, των Savitsky, Roper και Benen (1972)
- Παραλλαγή της προηγούμενης, με στρογγυλό πυθμένα και πλατύ καθρέπτη, των Grigoropoulos & Loukakis (1995) [4]

Τα αποτελέσματα των εκτενών πειραμάτων που έλαβαν χώρα στη δεξαμενή του Ε.Ν.Θ.Υ. (Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής) και στις πέντε ισοδύναμες γάστρες (που δοκιμάστηκαν με και χωρίς αντιδιαβροχικές λωρίδες) έδειξαν ότι το πρότυπο της διπλής ακμής με πλατύ καθρέπτη των Γρηγορόπουλου και Λουκάκη παρουσίαζε μειωμένη αντίσταση σε σχέση με τα υπόλοιπα στην προ-ολισθητική περιοχή αλλά και καλύτερη συμπεριφορά σε κυματισμούς [5]. Μάλιστα, οι αντιδιαβροχικές λωρίδες φάνηκε ότι αυξάνουν την αντίσταση της συγκεκριμένης μορφής γάστρας (έχοντας γενικά μηδαμινή ή αρνητική επίδραση στις γάστρες με πλατύ καθρέπτη) [6].

1.3.2 Η Συστηματική Σειρά

Βασική παράμετρο σχεδίασης -όπως, άλλωστε, για τις περισσότερες σειρές σκαφών-, αποτέλεσε ο λόγος μήκους προς πλάτος L/B , ο οποίος αρχικά κυμαινόταν μεταξύ 4.00 και 7.00, με την τιμή 5.50 να αποτελεί την αναφορά (οι υπόλοιπες μορφές προέκυψαν από τη μέση τομή αυτού, με συστηματική μεταβολή της ισαπόστασης των νομέων). Πειράματα, ωστόσο, τα οποία έγιναν σε ταχύτητες ολίσθησης, επιβεβαιώνοντας την καλή συμπεριφορά της πατρικής γάστρας και σε αυτή την περιοχή, είχαν ως αποτέλεσμα να επεκταθεί η Σειρά, αποκτώντας και ένα έκτο πρότυπο, αυτό με λόγο $L/B = 3.25$, χρήση των πειραματικών αποτελεσμάτων του οποίου έγινε στην παρούσα διπλωματική εργασία, που αφορά σε μικρό ταχύπλοο σκάφος αναψυχής³.

Ο αδιάστατος λόγος εκτοπίσματος $C_{DL} = \frac{\nabla}{(0.1 \cdot L_{WL})^3}$, όπου ∇ ο εκτοπιζόμενος όγκος και L_{WL} το μήκος της ισάλου (αμφότερα σε ηρεμία), αποτελεί τη δεύτερη παράμετρο σχεδίασης της Σειράς, και εκφράζει την κατάσταση φόρτωσης του σκάφους. Στην πραγματικότητα πρόκειται για μια παραλλαγή του γνωστού συντελεστή $M = \frac{L}{\nabla^{1/3}}$, που χρησιμοποιείται σε αντίστοιχες σειρές. Πειράματα διενεργήθηκαν για διάφορες τιμές του λόγου C_{DL} , κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε διαφορετική ισοβύθιστη κατάσταση φόρτωσης, με τις χαμηλότερες τιμές του να αντιπροσωπεύουν καταστάσεις λειτουργίας μεγάλων πλοίων και τις υψηλότερες να αφορούν σε μικρότερα επιβατηγά σκάφη και σκάφη αναψυχής⁴.

Τα μήκη των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν καθορίστηκαν από την 21^η πρόταση της I.T.T.C.⁵: “High Speed Marine Vehicles Committee suggestion (1996)”, βάσει της οποίας τα πρότυπα για τέτοια σκάφη πρέπει να είναι τουλάχιστον δύο μέτρων. Ωστόσο, για τις χαμηλές τιμές του C_{DL} που αντιστοιχούν σε ελαφριά εκτοπίσματα, τέτοια μήκη προτύπων οδηγούν σε εκτόπισμα μοντέλου μικρότερο από το άθροισμα του βάρους γυμνής γάστρας και δυναμομέτρου της πειραματικής διάταξης. Έτσι, για κάθε πρότυπο (των δύο, περίπου, μέτρων) κατασκευάστηκε και ένα δεύτερο, μεγαλύτερο, σε κλίμακα 5/3:1 ως προς το αρχικό [7].

³ Μικρά σκάφη έχουν μικρότερο λόγο L/B , αφού με την αύξηση του μήκους της γάστρας, το ελάχιστο πλάτος που θα ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ευστάθειας δεν αυξάνεται με αντίστοιχο «ρυθμό». Επομένως, με αύξηση του L , έχουμε αύξηση του λόγου L/B .

⁴ Τα μεγάλα πλοία έχουν μεγάλο μήκος ισάλου, κάτι που επιδρά ευνοϊκά στην αντίστασή τους. Η αύξηση του μήκους ισάλου με την αύξηση του μεγέθους του πλοίου δεν συνοδεύεται από ανάλογη αύξηση του εκτοπίσμάτος του.

⁵ I.T.T.C. (International Towing Tank Conference): Εθελοντικού χαρακτήρα ένωση οργανισμών παγκοσμίου εύρους, επιφορτισμένη με την ευθύνη πρόβλεψης της υδροδυναμικής συμπεριφοράς πλοίων και θαλασίων κατασκευών, με βάση αποτελέσματα φυσικών και αριθμητικών πειραμάτων.

1.3.3 Το υπό εξέταση πρότυπο της Συστηματικής Σειράς

Με δεδομένο ότι το σκάφος που σχεδιάζεται είναι μικρό, ταχύπλοο αναψυχής, και με βάση τα όσα αναλύθηκαν παραπάνω αναφορικά με τη σχέση του μεγέθους του πλοίου με τους λόγους L/B και C_{DL} , το χρησιμοποιούμενο, για τα πειράματα, πρότυπο υπήρξε αυτό με λόγο μήκους προς πλάτος $L/B = 3.25$, για καταστάσεις φόρτωσης $C_{DL} = 3.00, 5.00$ και 7.00 .

Πρόκειται για το υπ' αριθμόν 185/05 πρότυπο της σειράς NTUA, κατασκευασμένο στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής από το προσωπικό του εργαστηρίου. Σε κάθε κατάσταση φόρτωσης, και για δεκαεπτά διαφορετικές ταχύτητες (από $V_m = 1\text{ m/s}$ έως $V_m = 5\text{ m/s}$ - με βήμα 0.25 m/s), διενεργήθηκαν πειράματα μέτρησης αντίστασης, δυναμικής διαγωγής και δυναμικής ανύψωσης του κέντρου βάρους.

Η εκτεταμένη ανάλυση της πειραματικής αυτής διαδικασίας σκοπίμως παραλείπεται εδώ, αφού δεν αποτέλεσε αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, παρά μόνον έγινε χρήση των σχετικών αποτελεσμάτων προς εξαγωγή της καμπύλης αντίστασης του υπό σχεδίαση σκάφους- μέσω της εφαρμογής της θεωρίας ομοιότητας Froude. Διεξοδική παρουσίαση της διάταξης και εκτέλεσης των πειραμάτων για το πρότυπο μήκους $L/B=3.25$ έχει γίνει στη διπλωματική εργασία με τίτλο: «Πειραματική Διερεύνηση της Συμπεριφοράς Ταχυπλόου Σκάφους σε Ήρεμο Νερό και σε Κυματισμούς», της τότε φοιτήτριας Γερογιαννάκη Αγαπούλας (Αθήνα, Ιούνιος 2009) [8]· από την εργασία αυτή πάρθηκαν και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται για το μοντέλο 185/05 στην πορεία της παρούσας διπλωματικής.

Τα χαρακτηριστικά του προτύπου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά χρησιμοποιούμενου προτύπου

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 185/05	
L_{OA} [m]	2.292
L_{WL} [m]	2.138
B_{OA} [m]	0.705
B_{WL} [m]	0.569

Ακολουθεί παρουσίαση της μεθόδου Froude, χρήση της οποίας έγινε για τον υπολογισμό της αντίστασης στις χαμηλότερες ταχύτητες λειτουργίας του ταχυπλόου σκάφους υπό σχεδίαση.

2 Αντίσταση ταχυπλόου σκάφους

2.1 Μέθοδος Froude

Παρά την ύπαρξη, σήμερα, υπολογιστικών μεθόδων για την εκτίμηση της αντίστασης των πλοίων (κυρίως μέθοδοι CFD: Computational Fluid Dynamics), αυτές αδυνατούν, ακόμη, να λύσουν το πλήρες πρόβλημα της πρόωσης για επαγγελματικούς σκοπούς. Έτσι, πειραματικές και υπολογιστικές μέθοδοι συνυπάρχουν, με τις πρώτες να είναι εκ των ων ουκ άνευ για επαγγελματικές εφαρμογές, και τις δεύτερες να συμπληρώνουν την ποιότητα των αποτελεσμάτων [9].

Επειδή, προφανώς, η ρυμούλκηση του πλοίου σε φυσικό μέγεθος δεν έχει νόημα, μετράται η αντίσταση ρυμούλκησης για μοντέλο υπό γραμμική κλίμακα $\lambda = \frac{L_s}{L_m}$, με σκοπό, τελικά, την προεκβολή των αποτελεσμάτων στο φυσικό μέγεθος, σε συνθήκες ομοιότητας ροής. Μια πλήρης ομοιότητα ροής, όμως, συνεπάγεται την ταυτόχρονη ικανοποίηση της ισότητας του αριθμού Froude (λόγος δυνάμεων αδρανείας προς δυνάμεις βαρύτητας) και του αριθμού Reynolds (λόγος δυνάμεων αδρανείας προς δυνάμεις τριβής) μοντέλου – πλοίου, όπου:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$
$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

Αποδεικνύεται, ωστόσο, ότι δεν υπάρχει δυνατότητα ταυτόχρονης διατήρησης σταθερών τιμών και των δύο ανωτέρω αριθμών. Το εμπόδιο αυτό παρέκαμψε ο Βρετανός ναυπηγός William Froude, το 1868, με την ομώνυμη υπόθεσή του περί προσεγγιστικής ισχύος της σχέσης:

$$C_T(Re, Fn) = C_F(Re) + C_R(Fn), \text{ όπου}$$

C_T : ο συντελεστής ολικής αντίστασης του πλοίου

C_F : ο συντελεστής αντίστασης τριβής, λαμβανόμενος ίσος με εκείνον επίπεδης πλάκας ίδιου μήκους και ίδιας βρεχόμενης επιφανείας με του πλοίου, εξαρτώμενος αποκλειστικά από τον αριθμό Re .

C_R : ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης (ως επί το πλείστον αντίστασης κυματισμού), εξαρτώμενος κυρίως από τον αριθμό Fn .

Η υπόθεση Froude ερμηνεύεται φυσικά ως εξής: η κύρια συνιστώσα της υπόλοιπης αντίστασης είναι αυτή των κυματισμών, R_w -τουλάχιστον για το εύρος ταχυτήτων στο οποίο υπάρχει ανεπτυγμένη δημιουργία τέτοιων, η οποία, όμως, εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τον αριθμό Fn (κάτι που φανερώνεται εξ αρχής από τον ορισμό του τελευταίου). Έτσι, η απαίτηση για ικανοποίηση ισότητας των αριθμών Fn πλοίου και μοντέλου⁶ συνεπάγεται, ταυτόχρονα, ισότητα και των αδιάστατων συντελεστών C_R [9].

Συγκεντρωμένα, τα βήματα που περιλαμβάνει η μέθοδος Froude⁷- χρήση της οποίας έγινε και στην παρούσα διπλωματική εργασία με σκοπό την εκτίμηση της αντίστασης του ταχυπλόου σκάφους υπό σχεδιασμό- , είναι τα εξής:

- Μέτρηση της αντίστασης του προτύπου για περιοχή ταχυτήτων που ικανοποιούν τη σχέση:

$$Fn_m = Fn_s \Rightarrow V_s = V_m \sqrt{\frac{L_{WLs}}{L_{WLm}}} \Rightarrow V_s = V_m \sqrt{\lambda}$$

⁶ Επελέγη ισότητα αριθμών Fn , γιατί αυτή συνεπάγεται ταχύτητες μοντέλου μικρότερες από τις ταχύτητες πλοίου, ενώ ισότητα των αριθμών Re θα οδηγούσε σε εξαιρετικά μεγάλες ταχύτητες για το μοντέλο σε σχέση με αυτές του πλοίου [3].

⁷ Τα αποτελέσματα της μεθόδου Froude αφορούν σε γεωμετρικά όμοια πλοία, δηλαδή έχει προηγηθεί η απλούστευση που αφορά σε μη εξέταση της επίδρασης του γεωμετρικού σχήματος της γάστρας στην αντίσταση ενός σκάφους [9].

- Υπολογισμός της αντίστασης τριβής του προτύπου, σύμφωνα με τη γραμμή τριβής της I.T.T.C:

$$C_{Fm}(Re_m) = \frac{0,075}{(\log_{10} Re_m - 2)^2}, \text{ με } Re_m = \frac{v_m L_m}{\nu_m}$$

- Υπολογισμός της υπόλοιπης αντίστασης του προτύπου, από τη σχέση:

$$R_{Rm} = R_{Tm} - R_{Fm}$$

- Υπολογισμός του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης (προτύπου και πλοίου):

$$C_{Rm} = \frac{R_{Rm}}{\frac{1}{2} \rho_m V_m^2 S_m} = C_{Rs} ,$$

όπου:

ρ_m : η πυκνότητα του νερού της δεξαμενής στη θερμοκρασία διεξαγωγής των πειραμάτων

V_m : η ταχύτητα του προτύπου

S_m : η βρεχόμενη επιφάνεια του προτύπου σε κάθε ταχύτητα

- Υπολογισμός της ολικής αντίστασης του πλοίου, από τη σχέση:

$$R_{Ts} = R_{Fs} \left(\frac{V_s L_s}{\nu_s} \right) + R_{Rm} \lambda^3 \left(\frac{\rho_s}{\rho_m} \right) \quad [9]$$

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία, υπολογίστηκε η αντίσταση του ταχυπλόου σκάφους για τρεις διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης, που αντιστοιχούν σε $C_{DL} = 3.00$, 5.00 και 7.00 , με γραμμικό συντελεστή ομοιότητας πλοίου-προτύπου: $\lambda = 5.1$.

Οι περιέχοντες τα απαραίτητα δεδομένα και τους υπολογισμούς πίνακες παρουσιάζονται ακολούθως:

Πίνακας 2: Μήκη ισάλων πλοίου για κάθε κατάσταση φόρτωσης

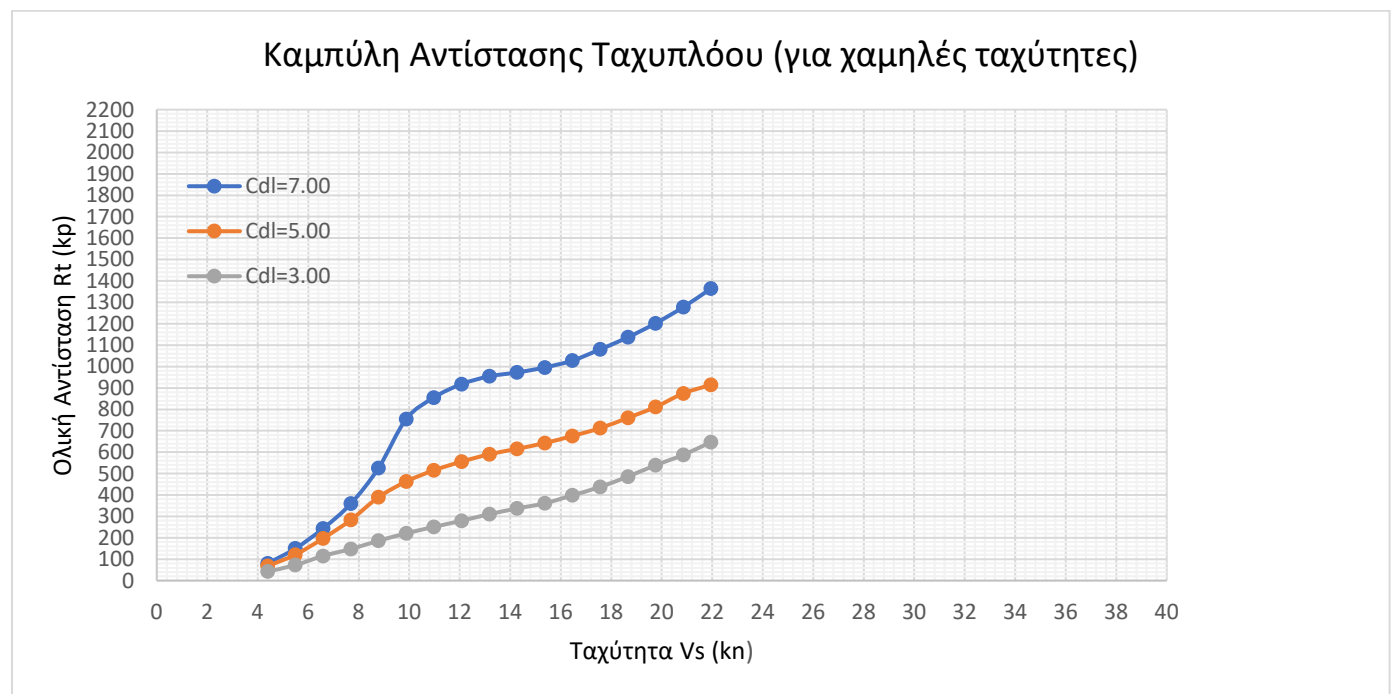
C _{dl} =7		C _{dl} =3		C _{dl} =5	
L _{WLs} [m] (1)	10.904	L _{WLs} [m] (2)	10.608	L _{WLs} [m] (2)	10.781

Πίνακας 3: Υπολογισμοί Μεθόδου Froude για C_{DL}=7.00

A/A	Ταχύτητα Προτύπου V _m [m/s]	Re _m [*10 ⁻⁶]	C _{Fm} [*10 ³]	C _{Tm} [*10 ³]	C _{Rm} =C _{Rs} [*10 ³]
1	1.000	2.271	3.952	11.427	7.475
2	1.250	2.839	3.782	13.275	9.493
3	1.500	3.407	3.651	14.755	11.104
4	1.750	3.975	3.545	15.855	12.310
5	2.000	4.543	3.458	17.586	14.128
6	2.250	5.110	3.383	19.772	16.389
7	2.500	5.678	3.318	18.217	14.899
8	2.750	6.246	3.261	16.248	12.987
9	3.000	6.814	3.210	14.298	11.088
10	3.250	7.382	3.165	12.522	9.357
11	3.500	7.950	3.123	11.151	8.028
12	3.750	8.517	3.085	10.106	7.021
13	4.000	9.085	3.051	9.391	6.340
14	4.250	9.653	3.018	8.801	5.783
15	4.500	10.221	2.989	8.340	5.351
16	4.750	10.789	2.961	7.986	5.025
17	5.000	11.357	2.935	7.717	4.782
F _{nm} =F _{ns}	Res [*10 ⁻⁸]	C _{Fs} [*10 ³]	C _{Ts} [*10 ³]	R _{Ts} [kp]	Ταχύτητα Πλοίου V _s [m/s]
0.218	0.207	2.654	10.132	80.616	2.258
0.273	0.259	2.559	12.056	149.883	2.823
0.328	0.311	2.486	13.594	243.362	3.387
0.382	0.363	2.427	14.740	359.168	3.952
0.437	0.414	2.377	16.509	525.416	4.517
0.491	0.466	2.334	18.727	754.317	5.081
0.546	0.518	2.297	17.199	855.300	5.646
0.600	0.570	2.264	15.254	917.887	6.210
0.655	0.622	2.234	13.326	954.253	6.775
0.710	0.673	2.208	11.569	972.271	7.340
0.764	0.725	2.184	10.215	995.657	7.904
0.819	0.777	2.162	9.186	1027.798	8.469
0.873	0.829	2.141	8.485	1080.211	9.033
0.928	0.881	2.122	7.908	1136.566	9.598
0.983	0.932	2.105	7.460	1201.907	10.162
1.037	0.984	2.088	7.117	1277.652	10.727
1.092	1.036	2.073	6.859	1364.283	11.292

Υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν και για τις δύο ελαφρύτερες καταστάσεις φόρτωσης· παραλείπονται, ωστόσο, εδώ, μιας και είναι πανομοιότυποι με τους ήδη παρουσιασθέντες.

Τα αποτελέσματα αντίστασης αφορούν σε δεκαεπτά ταχύτητες πλοίου, το φάσμα των οποίων - όπως αναφέρθηκε προηγουμένως- καθορίστηκε από τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα επίτευξης του φορείου της δεξαμενής του Ε.Ν.Θ.Υ. ($V_{m,max} = 5\text{ m/s}$, αντιστοιχούσα σε αριθμό F_n περίπου ίσο με τη μονάδα για το χρησιμοποιούμενο πρότυπο). Προκύπτει, λοιπόν, η ακόλουθη καμπύλη αντίστασης στις χαμηλές ταχύτητες για το υπό σχεδίαση σκάφος:



Εικόνα 6: Καμπύλη αντίστασης ταχυπλόου σκάφους για την περιοχή χαμηλών ταχυτήτων

2.2 Μέθοδος Savitsky

Για τις υψηλότερες ταχύτητες του σκάφους γίνεται χρήση μιας άλλης μεθόδου πρόβλεψης της αντίστασης. Πρόκειται για την ημι-εμπειρική μέθοδο που αναπτύχθηκε από τον Daniel Savitsky (Savitsky, 1964) και βασίζεται σε υπολογισμούς των εξισώσεων ολίσθησης που προέκυψαν από πειράματα σε πρισματικά πρότυπα, λαμβάνοντας υπ' όψιν όλους τους παράγοντες που επιδρούν καίρια στη συμπεριφορά των ταχυπλόων σκαφών σε κατάσταση ολίσθησης.

Μια απλοποίηση της μεθόδου αυτής βασίζεται στην υπόθεση ότι όλες οι δυνάμεις του σκάφους διέρχονται από το κέντρο βάρους του, με αποτέλεσμα η εξίσωση ισορροπίας των ροπών να ικανοποιείται αυτόματα. Έτσι, παρακάμπτεται η -απαραίτητη στη γενική μέθοδο- επαναληπτική διαδικασία εκτίμησης της δυναμικής γωνίας διαγωγής του σκάφους [1].

Η «σύντομη» ή «απλουστευμένη» μέθοδος Savitsky συνίσταται στον διαδοχικό υπολογισμό των εξής -χαρακτηριστικών για τη συμπεριφορά μιας ολισθακάτου- μεγεθών:

1) Αριθμός Froude με βάση το πλάτος, F_B

$$F_B = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot B}}$$

2) Συντελεστής άνωσης πρισματικού σκάφους, $C_{L\beta}$

$$C_{L\beta} = \frac{W_s}{1/2 \cdot \rho_{s.w.} \cdot V_s^2 \cdot B_s^2}$$

3) Συντελεστής άνωσης επίπεδης πλάκας, C_{L_0}

$$C_{L_0}^{(n+1)} = C_{L\beta} + 0,0065 \cdot \beta \cdot [C_{L_0}^{(n)}]^{0,6}, \quad C_{L_0}^{(1)} = C_{L\beta}$$

4) Κέντρο Πιέσεων, L_p/B

$$L_p = LCG_{AP} (c = 0)$$

5) Λόγος μέσου βρεχόμενου μήκους, λ

$$\lambda^{(n+1)} = \frac{\frac{L_P}{B}}{0,75 - \frac{1}{5,21 \cdot \left(\frac{F_B}{\lambda^{(n)}}\right)^2 + 2,39}}, \text{ με αρχική τιμή } \lambda^{(1)} = \frac{L_P}{0,75}$$

6) Μειωμένος συντελεστής επίπεδης πλάκας, $\frac{C_{Lo}}{\tau^{1,1}}$

$$\frac{C_{Lo}}{\tau^{1,1}} = 0,0120 \cdot \lambda^{\frac{1}{2}} + \frac{0,0055 \cdot \lambda^{5/2}}{F_B^2}$$

7) Δυναμική διαγωγή, τ

$$\tau = \left(\frac{C_{L_0}}{\frac{C_{L_0}}{\tau^{1,1}}} \right)^{\frac{1}{1,1}} = \left(\frac{C_{L_0}}{0,0120 \cdot \lambda^{\frac{1}{2}} + \frac{0,0055 \cdot \lambda^{5/2}}{F_B^2}} \right)^{\frac{1}{1,1}}$$

8) Συντελεστής δυναμικής άνωσης, C_{L_d}

$$C_{L_d} = 0,0120 \cdot \lambda^{\frac{1}{2}} \cdot \tau^{1,1} - 0,0065 \cdot \beta \cdot \left(0,0120 \cdot \lambda^{\frac{1}{2}} \cdot \tau^{1,1} \right)^{0,6}$$

9) Μέση ταχύτητα πυθμένα, V_m

$$V_m = V_s \cdot \left(1 - \frac{C_{L_d}}{\lambda \cdot \cos \tau} \right)^{\frac{1}{2}}$$

10) Διόρθωση βρεχόμενου μήκους λόγω αφρού, $\Delta\lambda$

$$\Delta\lambda = 0 \text{ για } \tau < 4^0$$

11) Λόγος βρεχόμενου μήκους τριβής, λ_F

$$\lambda_F = \lambda + \Delta\lambda$$

12) Αριθμός Reynolds, Re

$$Re = \frac{V_m \cdot (B \cdot \lambda_F)}{\nu}$$

13) Συντελεστής τριβής, C_F , κατά I.T.T.C.

$$C_F = \frac{0,075}{(\log Re - 2)^2}$$

14) Συντελεστής συσχέτισεως ATTC, ΔC_F

$$\Delta C_F = 0,0004$$

15) Βρεχόμενη επιφάνεια τριβής, S_F

$$S_F = \frac{\lambda_F \cdot B^2}{\cos \beta}$$

16) Αντίσταση τριβής, D_F

$$D_F = \frac{1}{2} \rho \cdot V_m^2 \cdot S_F \cdot C_F$$

17) Αντίσταση, D

$$D = W \cdot \tan \tau + \frac{D_F}{\cos \tau}$$

Η διαδικασία που μόλις περιγράφηκε έγινε με τη χρήση διαθέσιμου εκτελέσιμου προγράμματος (“SAV.exe”) χάριν ταχύτητας και ευκολίας. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκε η αντίσταση για

εικοσιέξι σημεία, ξεκινώντας από τους 15, και φτάνοντας μέχρι τους 40 κόμβους. Η παραδοχή που έγινε σχετικά με τη γωνία ανύψωσης πυθμένα είναι ότι αυτή ισούται με $\beta = 20^\circ$, ενώ η

διαμήκης θέση του κέντρου βάρους υποτίθεται σε απόσταση από τον καθρέπτη ίση με τριάντα πέντε τοις εκατό του μήκους της ισάλου, δηλαδή:

$$LCG = 35\%L_{WL}$$

(Πρόκειται για μια λογική αρχική εκτίμηση, καθώς συνεπάγεται- με βάση την εμπειρία- συνήθεις τιμές δυναμικής διαγωγής για τέτοιου είδους σκάφη σε κατάσταση ολίσθησης).

Ακολουθεί χαρακτηριστικό στιγμιότυπο οθόνης που περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της μεθόδου Savitsky για το σκάφος στην περιοχή ταχυτήτων μεταξύ 31 και 35 κόμβων, και αφορά στην βαρύτερη κατάσταση φόρτωσης ($C_{DL} = 7.00$).

CDL7_fin.SAV

×

+

Αρχείο

Επεξεργασία

Προβολή

Point No 17 V [kn] = 31.00

Cv = 2.913111 Clb = 0.074722

Lamda = 1.816260 Clo = 0.109134 trim = 4.887393

Vm = 15.684739 Re = 0.7336E+08 Cf = 0.002165

Fv = 3.527784 M = 0.991795

Frictional Resistance = 506.04 Kp Bare Hull Resistance = 1302.93 Kp

Savitsky EHP = 277.23 HP Modified Savitsky EHP = 274.95 HP

Point No 18 V [kn] = 32.00

Cv = 3.007082 Clb = 0.070124

Lamda = 1.805951 Clo = 0.103450 trim = 4.714269

Vm = 16.203436 Re = 0.7535E+08 Cf = 0.002157

Fv = 3.641583 M = 0.989498

Frictional Resistance = 534.81 Kp Bare Hull Resistance = 1303.34 Kp

Savitsky EHP = 286.26 HP Modified Savitsky EHP = 283.25 HP

Point No 19 V [kn] = 33.00

Cv = 3.101053 Clb = 0.065939

Lamda = 1.796667 Clo = 0.098249 trim = 4.549540

Vm = 16.722267 Re = 0.7737E+08 Cf = 0.002149

Fv = 3.755383 M = 0.987638

Frictional Resistance = 564.41 Kp Bare Hull Resistance = 1305.98 Kp

Savitsky EHP = 295.80 HP Modified Savitsky EHP = 292.15 HP

Point No 20 V [kn] = 34.00

Cv = 3.195025 Clb = 0.062117

Lamda = 1.788274 Clo = 0.093476 trim = 4.392984

Vm = 17.241182 Re = 0.7939E+08 Cf = 0.002141

Fv = 3.869183 M = 0.986136

Frictional Resistance = 594.86 Kp Bare Hull Resistance = 1310.80 Kp

Savitsky EHP = 305.89 HP Modified Savitsky EHP = 301.65 HP

Point No 21 V [kn] = 35.00

Cv = 3.288996 Clb = 0.058618

Lamda = 1.780661 Clo = 0.089085 trim = 4.244316

Vm = 17.760139 Re = 0.8144E+08 Cf = 0.002133

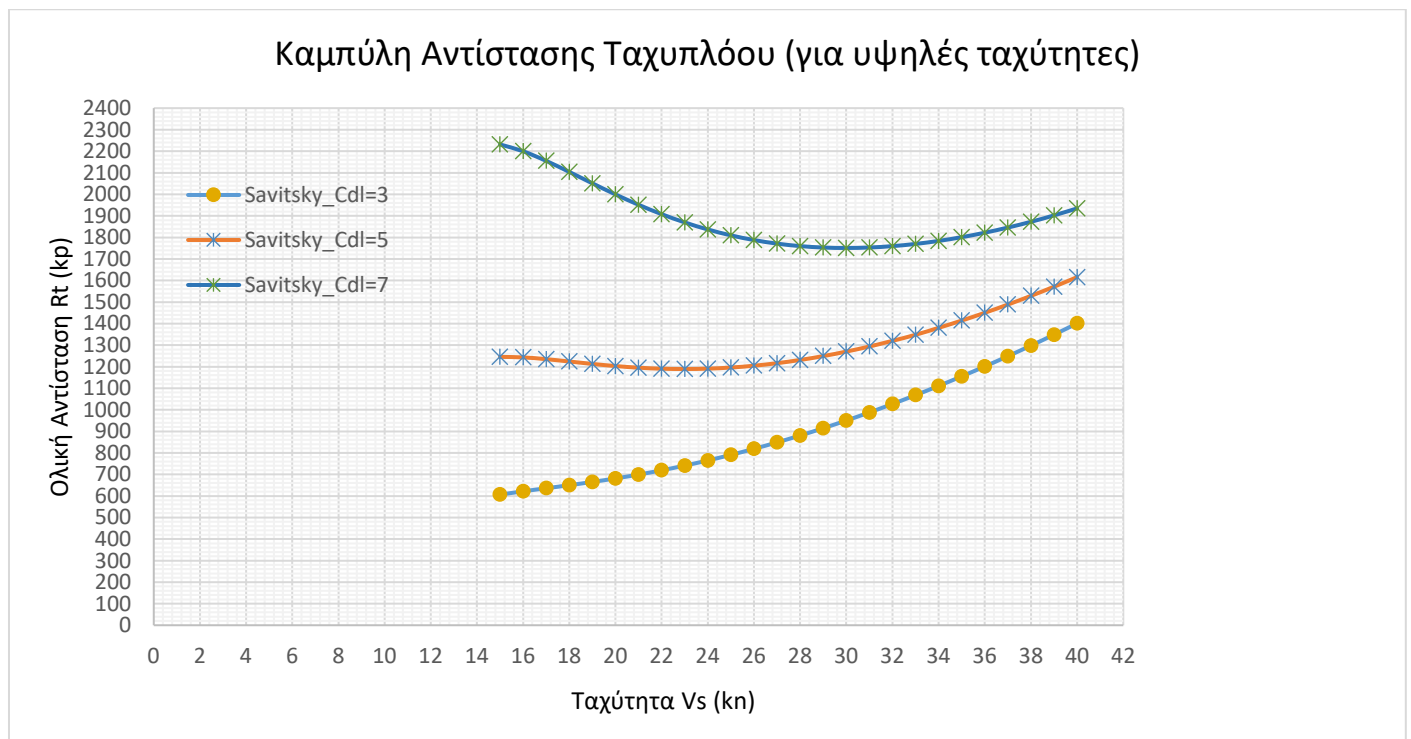
Fv = 3.982982 M = 0.984924

Frictional Resistance = 626.13 Kp Bare Hull Resistance = 1317.75 Kp

Savitsky EHP = 316.56 HP Modified Savitsky EHP = 311.79 HP

Εικόνα 7: Ενδεικτικό στιγμιότυπο οθόνης με αποτελέσματα του προγράμματος “SAV.exe”

Προκύπτει, έτσι, η καμπύλη αντίστασης που αφορά στις υψηλές ταχύτητες λειτουργίας του ταχυπλόου σκάφους υπό σχεδίαση:



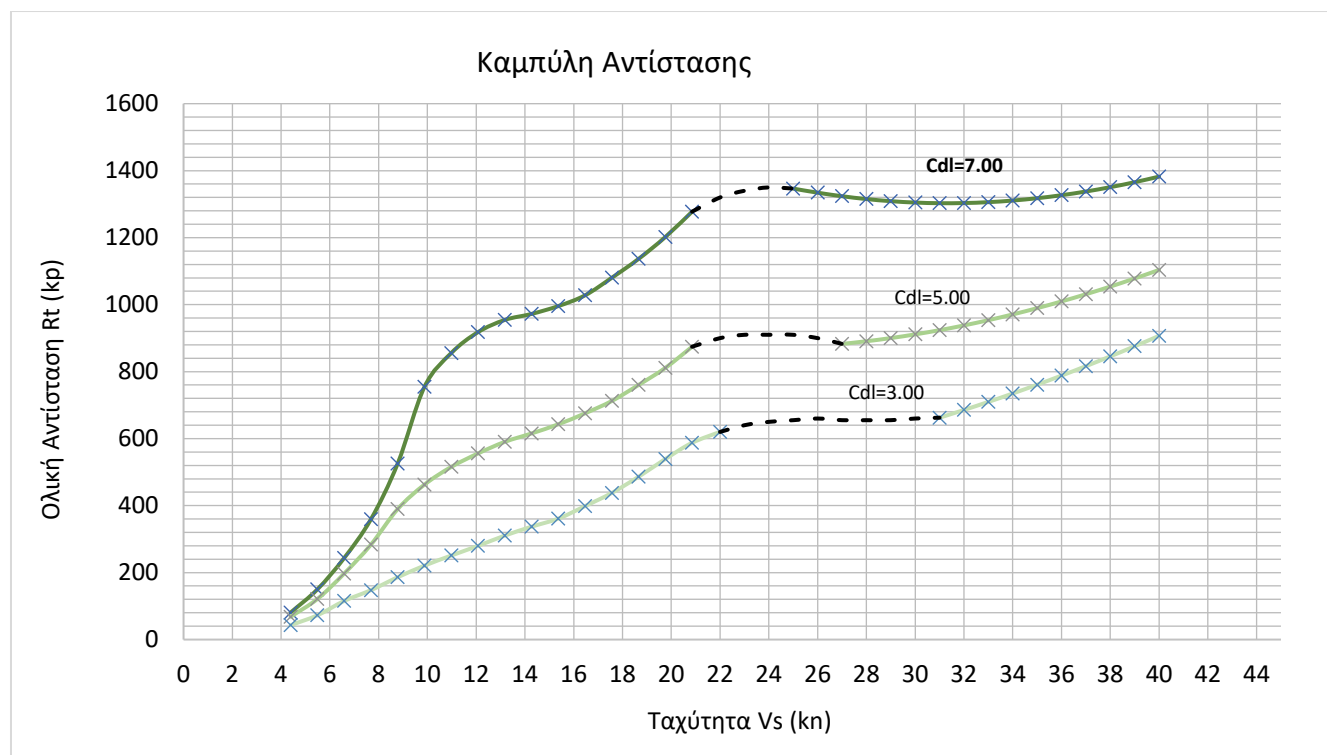
Εικόνα 8: Καμπύλη αντίστασης ταχυπλόου σκάφους για την περιοχή υψηλών ταχυτήτων

2.3 Τελική καμπύλη αντίστασης ταχυπλόου σκάφους

Η τελική καμπύλη αντίστασης του ταχυπλόου σκάφους της διπλωματικής εργασίας είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των δύο επιμέρους καμπυλών, προκύπτουσες η μεν πρώτη-αφορούσα τις χαμηλές ταχύτητες- από την εφαρμογή της μεθόδου ομοιότητας Froude στα διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών δεξαμενής του Ε.Ν.Θ.Υ, η δε δεύτερη-αφορούσα τις υψηλές ταχύτητες- από την εφαρμογή της ημι-εμπειρικής μεθόδου υδροδυναμικής σχεδίασης ολισθαινουσών γαστρών κατά Savitsky.

Προφανώς, υπάρχει επικάλυψη αποτελεσμάτων αντίστασης για μια μικρή περιοχή ταχυτήτων- που εκτείνεται μεταξύ 15 και περίπου 22 κόμβων, δηλαδή μεταξύ πρώτου σημείου εκτίμησης της αντίστασης μέσω μεθοδολογίας Savitsky και τελευταίου σημείου εκτίμησης της αντίστασης μέσω ομοιότητας Froude. Για τις αντιστάσεις της περιοχής αυτής θεωρούμε τιμές τέτοιες που επιτρέπουν την ομαλή μετάβαση από την μια καμπύλη στην άλλη (πρόκειται για κατάλληλα επιλεγείσες τιμές μεταξύ των εκάστοτε αποτελεσμάτων), προς διαμόρφωση ενιαίας καμπύλης αντίστασης για το υπό σχεδίαση σκάφος.

Με δεδομένα τα παραπάνω, παρουσιάζεται ακολούθως η εξής τελική καμπύλη αντίστασης:



Εικόνα 9: Καμπύλη αντίστασης ταχυπλόου σκάφους

Κάθε μία από τις τρεις παραπάνω καμπύλες αντιστοιχεί και σε μια άλλη κατάσταση φόρτωσης (συντελεστές $C_{DL} = 3.00, 5.00$ και 7.00). Για τη μελέτη που ακολουθεί επιλέγεται η βαρύτερη εκ των τριών, και βαρύτερη εξεταζόμενη στα υπάρχοντα πειράματα: $C_{DL} = 7.00$.

Τα μη προσδιορισμένα, ακόμη, αλλά βασικά χαρακτηριστικά του σκάφους στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης προκύπτουν από εφαρμογή τόσο του ορισμού αδιάστατου λόγου εκτοπίσματος: $C_{DL} = \frac{V}{(0.1 \cdot L_{WL})^3}$, όσο και των σχέσεων ομοιότητας: $T_s = \lambda \cdot T_m$, $V_s = \lambda^3 \cdot V_m$.

Οι δύο τελευταίες υπαγορεύονται από τη γεωμετρική ομοιότητα πλοίου-μοντέλου, που μεταφράζεται σε σχέση αναλογίας μεταξύ των αντίστοιχων γραμμικών τους διαστάσεων.

Παρουσιάζονται, λοιπόν, ακολούθως, τα υπολογισμένα- μέχρι στιγμής- στοιχεία για το ταχύπλοο, που θα αποτελέσουν και τα μεγέθη σχεδίασης:

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά για $C_{DL}=7.00$ μεγέθη ταχυπλόου σκάφους

L_{OA} (m) =	11.7
B_{OA} (m)=	3.6
$T_{cdl=7}$ (m) =	0.639
$\Delta_{cdl=7}$ (kp) =	9319.4

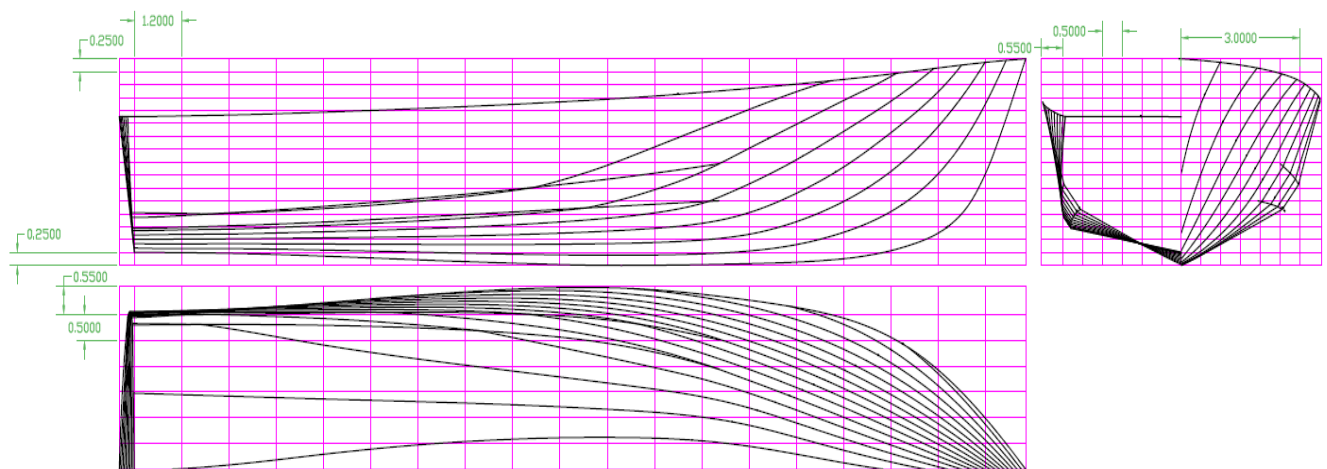
Με την εξαγωγή της καμπύλης αντίστασης του σκάφους και τον προσδιορισμό των παραπάνω χαρακτηριστικών του μεγεθών, η σχεδίαση περνά, πλέον, στην επόμενη φάση, που αφορά στον προκαταρκτικό υπολογισμό των υδροστατικών χαρακτηριστικών του ταχυπλόου της διπλωματικής εργασίας. Για τη διαδικασία αυτή, απαραίτητη είναι η «περιγραφή» της γάστρας (με τη μορφή νομέων και περιγράμματος προφίλ).

3 Υδροστατικά χαρακτηριστικά ταχυπλόου σκάφους

3.1 Γεωμετρική περιγραφή γάστρας

Η αποτύπωση της τρισδιάστατης, μη επίπεδης επιφάνειας του περιβλήματος του σκάφους είναι δυνατή με διάφορους τρόπους. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται η γραφική αναπράσταση βάσει των διδιάστατων τομών της γάστρας με σειρές παραλλήλων επιπέδων ως προς την εγκάρσια (σχέδιο μέσης τομής), οριζόντια (σχέδιο ισάλων) και διαμήκη κατεύθυνση (σχέδιο διαμήκων τομέων), με πλεονέκτημα τη μεγάλη παραστατικότητα και εύκολη προσαρμογή των γραμμών σε εκάστοτε μεταβολές [10].

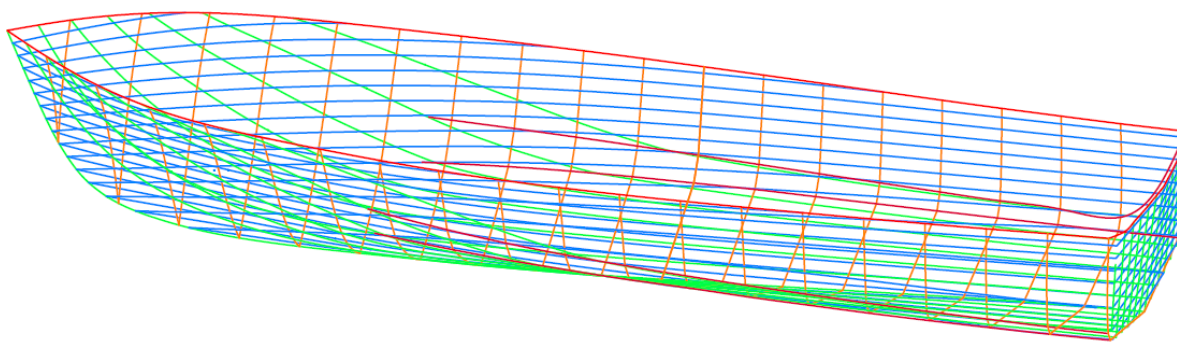
Έχοντας, μάλιστα, ήδη διαθέσιμες τις γραμμές της Συστηματικής Σειράς Ταχυπλόων του Ε.Μ.Π., υπό τη μορφή αρχείου “.dwg” για το υπό εξέταση πρότυπο (υπ’ αριθμόν 185/05- με λόγο $L/B=3.25$) -διαθέτοντας, επομένως τις διαμήκεις, εγκάρσιες και οριζόντιες τομές (δηλαδή buttocks, sections και waterlines, αντίστοιχα), εύκολα παράγεται εξ αυτών η τρισδιάστατη γάστρα· απαιτείται απλώς η τοποθέτηση κοινής αρχής αξόνων, και η κατάλληλη προσαρμογή των τριών πλεγμάτων, μετά από τις απαιτούμενες -για κάθε δέσμη καμπυλών- στρέψεις.



Εικόνα 10: Γραμμές προτύπου 185/05 της Σειράς Ταχυπλόων Σκαφών Ε.Μ.Π.

Με την τρισδιάστατη γάστρα του προτύπου προσδιορισμένη, η αντίστοιχη του ταχυπλόου παράγεται από εφαρμογή κατάλληλης κλίμακας σε αυτήν, έτσι ώστε το τελικό σχέδιο να αποκτήσει τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στον Πίνακα 4.

Η προκύπτουσα γάστρα φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



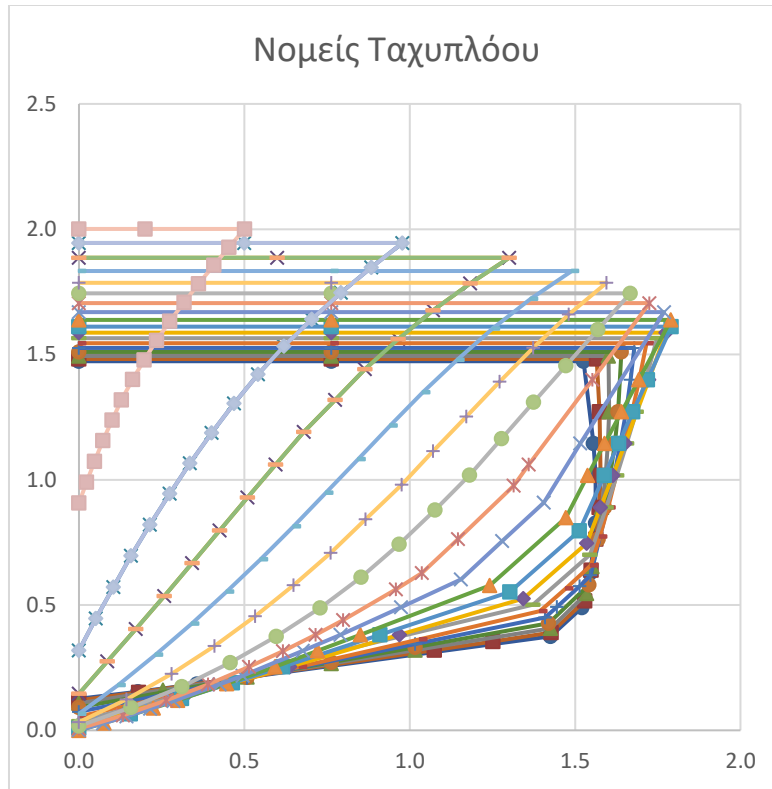
Εικόνα 11: Τρισδιάστατη γάστρα του υπό σχεδίαση ταχυπλόου

Όπως ήδη επισημάνθηκε, προκειμένου να γίνουν υπολογισμοί για τα υδροστατικά χαρακτηριστικά του πλοίου, απαιτείται η -κατά το δυνατόν ακριβέστερη- περιγραφή της βυθισμένης γάστρας, μιας και τόσο το υδροστατικό διάγραμμα (σημεία του οποίου θα υπολογιστούν), όσο και οι καμπύλες Bonjean είναι συναρτήσεις της εξωτερικής γεωμετρίας του πλοίου. (Οι δύο έννοιες θα αναλυθούν παρακάτω).

Η περιγραφή της γάστρας γίνεται με «ανάγνωση» χαρακτηριστικών σημείων -κάτι που εύκολα πραγματοποιείται σε περιβάλλον Autocad Mechanical 2022- κάθε νομέα, όσο και σημείων του προφίλ του ταχυπλόου- κυρίως στην περιοχή της πλώρης, όπου παρατηρούνται και οι πιο απότομες γεωμετρικές μεταβολές και απαιτείται, άρα, «πυκνή» καταγραφή για τη ρεαλιστικότερη γεωμετρική αποτύπωση της γάστρας.

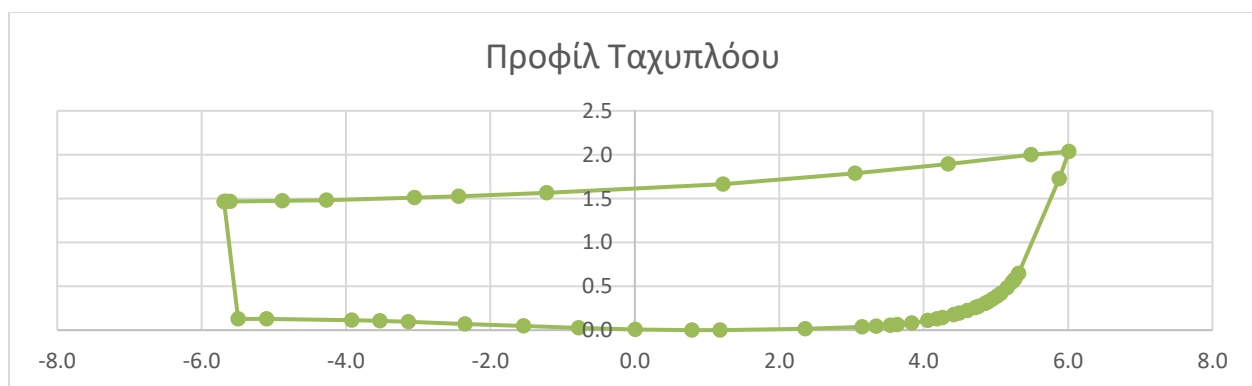
Για την εξαγωγή των υδροστατικών αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε διαθέσιμο από το Ε.Μ.Π. εκτελέσιμο πρόγραμμα, χάριν ταχύτητας και ευκολίας. Τα σημεία που επελέγησαν ως αντιπροσωπευτικότερα τελούν υπό περιορισμό μεγίστου πλήθους (το πρόγραμμα δέχεται έως δεκαεπτά σημεία για την περιγραφή του ημίσεος ενός νομέα). Στη συνέχεια, τα επιλεγέντα σημεία «περάστηκαν» σε λογιστικό φύλλο Excel, έχοντας διάταξη συμβατή με την απαιτούμενη-προκειμένου να «τρέξει» το γραμμένο σε γλώσσα Fortran πρόγραμμα. Χαρακτηριστικά, ως μία εκ των ιδιαιτεροτήτων του προγράμματος αναφέρεται η δυνατότητα διαδοχικής διάταξης μέχρι έξι σημείων νομέα- δηλαδή ζευγών (y,z) σε μια σειρά του αρχείου.

Ακολουθεί διάγραμμα σε περιβάλλον Excel, που, υποβαλλόμενο σε οπτική σύγκριση με την Εικόνα 10 (γραμμές προτύπου), επιβεβαιώνει την καταλληλότητα των σημείων που επελέγησαν προς περιγραφή των νομέων.



Εικόνα 12: Σχέδιο νομέων του σκάφους- βάσει των επιλεγέντων σημείων

Η ίδια παρατήρηση μπορεί να γίνει και για τα σχετικά σημεία περιγραφής του προφίλ:



Εικόνα 13: Προφίλ του σκάφους- βάσει των επιλεγέντων σημείων

Σημειώνεται ότι -αν και το ενδιαφέρον για τους ακολουθούντες υδροστατικούς υπολογισμούς προφανώς εστιάζεται στο βυθισμένο τμήμα της γάστρας- με δεδομένη τη μη ύπαρξη περιορισμού μεγίστου πλήθους σημείων περιγραφής του προφίλ από το πρόγραμμα, χρησιμοποιήθηκαν- για την πληρέστερη οπτική επικοινωνία του περιγράμματος του ταχυπλόου- αρκετά επιπλέον σημεία, αντιστοιχούντα στα έξαλα του σκάφους.

Επίσης, σημειώνεται ότι ως αρχή των αξόνων για τα παραπάνω σημεία θεωρήθηκε η τομή του μέσου νομέα με το βασικό επίπεδο αναφοράς.

3.2 Υδροστατικοί υπολογισμοί

Το πρόγραμμα εξαγωγής υδροστατικών χαρακτηριστικών -του οποίου έγινε χρήση στην παρούσα διπλωματική εργασία- παρέχει τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό της ισορροπίας του ταχυπλόου στις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης, με το βασικό δεδομένο που εισάγεται κάθε φορά να είναι το βύθισμα· συναρτήσει αυτού εξάγονται όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην πλευση. Οι υδροστατικοί υπολογισμοί γίνονται ήδη σε αυτό το σημείο, αφού δεν επηρεάζονται από την κατανομή βαρών του σκάφους, η οποία και έπεται στη διπλωματική εργασία.

Προς εξαγωγή των αποτελεσμάτων θεωρήθηκε ισοβύθιστη κατάσταση πλευσης για κάθε ένα από τα βυθίσματα που εξετάστηκαν (και- όπως προαναφέρθηκε, αντιστοιχούν σε συντελεστές φόρτωσης $C_{DL} = 3.00, 5.00$ και 7.00).

Ακολουθούν χαρακτηριστικά στιγμιότυπα οθόνης, με τα δεδομένα εισόδου και τα αποτελέσματα του προγράμματος να εμφανίζονται μόνον για την βαρύτερη κατάσταση φόρτωσης, που -όπως έχει ήδη αναφερθεί- είναι εκείνη που επελέγη για τη σχεδίαση, και αντιστοιχεί σε βύθισμα $T_{C_{dl}=7.00} = 0.639m$.

***** GENERAL DATA *****

CENTER OF GRAVITY IS ASSUMED TO BE AT : XCG = 0.000 YCG = 0.000 ZCG = 0.000
 SPECIFIC GRAVITY OF WATER = 1.025 METRICTONNES/METER 3
 SHELL PLATE THICKNESS = 0.000 METER
 CALCULATIONS ARE PERFORMED FOR 1 ANGLES AND 1 DRAFTS
 TRIMMING ANGLE IS 0.0000 (DEG.)

LIST OF UNITS USED FOR THE RESULTS
 DISTANCES ,AREAS ETC. : METER
 DISPLACEMENT : METRICTONNES
 MOMENTS : METRICTONNES*METER

Εικόνα 14: Γενικά δεδομένα εισόδου του "hydro.exe"

***** OFFSET DATA *****

STATION NUMBER 1 (X = -5.494)

Y	0.000	0.712	1.424	1.515	1.528	1.538	1.546	1.551	1.554	1.551	1.543	1.506	1.497	0.752	0.000
Z	0.129	0.248	0.367	0.473	0.526	0.581	0.646	0.710	0.775	0.904	1.033	1.397	1.467	1.468	1.463

BREAK POINTS AND TYPE OF INTEGRATION
 FROM POINT (0.000 , 0.129) TO POINT (0.000 , 1.463) TRAPEZOIDAL RULE

STATION NUMBER 2 (X = -4.884)

Y	0.000	0.179	0.357	1.426	1.521	1.545	1.559	1.562	1.562	1.556	1.526	0.763	0.000
Z	0.126	0.154	0.185	0.375	0.490	0.626	0.763	0.827	1.018	1.145	1.473	1.473	1.473

BREAK POINTS AND TYPE OF INTEGRATION
 FROM POINT (0.000 , 0.126) TO POINT (0.000 , 1.473) TRAPEZOIDAL RULE

STATION NUMBER 3 (X = -4.273)

Y	0.000	0.181	1.075	1.252	1.428	1.529	1.549	1.563	1.573	1.577	1.574	1.565	0.763	0.000
Z	0.120	0.152	0.320	0.354	0.390	0.517	0.640	0.763	0.890	1.017	1.272	1.482	1.482	1.482

BREAK POINTS AND TYPE OF INTEGRATION
 FROM POINT (0.000 , 0.120) TO POINT (0.000 , 1.482) TRAPEZOIDAL RULE

STATION NUMBER 4 (X = -3.663)

Y	0.000	0.254	0.509	0.763	1.017	1.426	1.535	1.552	1.581	1.592	1.599	1.603	1.601	0.763	0.000
Z	0.108	0.160	0.213	0.266	0.320	0.407	0.546	0.654	0.890	1.017	1.145	1.272	1.494	1.494	1.494

BREAK POINTS AND TYPE OF INTEGRATION
 FROM POINT (0.000 , 0.108) TO POINT (0.000 , 1.494) TRAPEZOIDAL RULE

Εικόνα 15: Περιγραφή Νομέων 1-4, όπως εμφανίζονται στο "hydro.exe"

```

***** HYDROSTATICS *****

DRAFT   AREA   LCF   IMM.VOL.  DISPL.  I TRANS.  I LONG.   LCB   BM   KB   W.S.   BML
0.639   24.9   -1.258   8.773   8.992   15.9     172.3   -1.372  1.815  0.432  28.9   19.6

DRAFT   TP1   MCT1  CH.DISPL.  CB      CWP      CM      CP      CB*     CWP*     CM*     CP*
0.639   0.256  0.163  -2.977   0.46126  0.83811  0.54517  0.84609  0.34974  0.63548  0.41715  0.83840

CB*,CWP*,CM*,CP* (IN CALCULATIONS LENGTH=L.P.P. AND BREADTH=BREADTH AT LOAD W.L.)

CB,CWP,CM,CP (IN CALCULATIONSLENGTH AND BREADTH = LENGTH AND BREADTH OF W.L.)

***** END OF RESULTS *****

```

Εικόνα 16: Υδροστατικά χαρακτηριστικά ταχυπλόου, όπως εμφανίζονται στο “hydro.exe”

Πλέον, η «ταυτότητα» του ταχυπλόου σκάφους για το υπό εξέταση βύθισμα είναι προσδιορισμένη, μέσω της γνώσης των εξής κύριων υδροστατικών μεγεθών:

- Επιφάνεια ισάλου ("AREA")
- Όγκος εκτοπίσματος ("IMM.VOL.") και εκτόπισμα πλοίου, ("DISPL.") σε θαλασσινό νερό
- Διαμήκης ("LCB") και κατακόρυφη ("KB") θέση του κέντρου άντωσης
- Μεταβολή εκτοπίσματος ανά μονάδα μεταβολής βυθίσματος ("TP1")
- Διαμήκης θέση κέντρου πλευστότητας της ισάλου ("LCF")
- Εγκάρσια και διαμήκης μετακεντρική ακτίνα ("BM" και "BM_L", αντίστοιχα), δεύτερες ροπές αδράνειας της ισάλου περί το κέντρο πλευστότητας ("I_{TRANS.}" και "I_{LONG.}")
- Ροπή διαγωγής ανά μονάδα μεταβολής βυθισμάτων ("MCT1")
- Αδιάστατος συντελεστής γάστρας ("C_B"), πρισματικός συντελεστής ("C_P"), συντελεστής μέσης τομής ("C_M"), κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής ("C_{WP}")
- Εμβαδόν βρεχόμενης επιφάνειας ("W.S.")

[11]

Παράλληλα, παρέχονται από το πρόγραμμα και οι καμπύλες Bonjean -επίσης συναρτήσεις της εξωτερικής γεωμετρίας του πλοίου- που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στους υπολογισμούς της διαμήκους ισορροπίας, ειδικά όταν ζητείται η εύρεση των στοιχείων άντωσης κάτω από μια οποιαδήποτε κεκλιμένη ίσαλο. Οι καμπύλες αυτές αναπαριστούν τη συνάρτηση εμβαδού νομέα και βυθίσματος μέχρι το ανώτατο στεγανό κατάστρωμα, όπως και τη ροπή της επιφανείας που αντιστοιχεί στο εκάστοτε βύθισμα ως προς το βασικό επίπεδο [11].

Ακολουθεί χαρακτηριστικό στιγμιότυπο οθόνης των αντίστοιχων υπολογισμών (εμβαδών και ροπών εγκαρσίων τομών) του προγράμματος:

***** BONJEANS *****							
STATION NUMBER 1				STATION NUMBER 2			
DRAFT	CROSS SECT. AREA	VERT. MOM.	GIRTH	DRAFT	CROSS SECT. AREA	VERT. MOM.	GIRTH
0.639	1.159	0.512	3.505	0.639	1.156	0.510	3.496
1.467	3.698	3.178	6.370	1.473	3.745	3.240	5.168
STATION NUMBER 3				STATION NUMBER 4			
DRAFT	CROSS SECT. AREA	VERT. MOM.	GIRTH	DRAFT	CROSS SECT. AREA	VERT. MOM.	GIRTH
0.639	1.143	0.505	3.478	0.639	1.128	0.498	3.456
1.482	3.790	3.314	5.167	1.494	3.843	3.400	5.171
STATION NUMBER 5				STATION NUMBER 6			
DRAFT	CROSS SECT. AREA	VERT. MOM.	GIRTH	DRAFT	CROSS SECT. AREA	VERT. MOM.	GIRTH
0.639	1.113	0.490	3.428	0.639	1.093	0.479	3.393
1.510	3.910	3.508	5.181	1.526	3.972	3.614	5.186
STATION NUMBER 7				STATION NUMBER 8			
DRAFT	CROSS SECT. AREA	VERT. MOM.	GIRTH	DRAFT	CROSS SECT. AREA	VERT. MOM.	GIRTH
0.639	1.068	0.465	3.339	0.639	1.017	0.441	3.264
1.545	4.033	3.726	5.195	1.565	4.058	3.825	5.203

Εικόνα 17: Καμπύλες Bonjean ταχυπλόου για τους Νομείς 1-8, όπως εμφανίζονται στο “hydro.exe”

4 Σχέδιο Γενικής Διάταξης

4.1 Καθορισμός απαραίτητων στοιχείων

Με την καμπύλη αντίστασης της γάστρας και τα υδροστατικά στοιχεία του ταχυπλόου να είναι, πλέον, προσδιορισμένα, επόμενο βήμα στη σχεδίαση του σκάφους αποτελεί η δημιουργία Σχεδίου Γενικής Διάταξης, η οποία, εκτός από την ίδια σημασία που έχει, θα επιτρέψει την ανάλυση της κατανομής βαρών για την επιλεγείσα κατάσταση φόρτωσης ($C_{dl} = 7.00$), από την οποία θα προκύψει και η στατική διαγωγή του σκάφους.

4.1.1 Επιλογή μέγιστης επιτεύξιμης ταχύτητας

Στο σημείο αυτό, γίνεται καθορισμός της μέγιστης επιτεύξιμης ταχύτητας του ταχυπλόου σκάφους, με σκοπό, παράλληλα, την επιλογή κατάλληλης μηχανής πρόωσης, όσο και τον υπολογισμό των χωρητικότητων των απαραίτητων δεξαμενών (οι οποίες με τη σειρά τους αποτελούν λεπτομέρειες των σχεδίων που θα ακολουθήσουν).

Για τον σκοπό αυτό, προηγήθηκε έρευνα σχετικά με υπάρχοντα στην αγορά ταχύπλοα, που κατά το δυνατόν παρουσιάζουν παρόμοια με το υπό σχεδίαση βασικά χαρακτηριστικά.

Έτσι, και βάσει του ενδεικτικά παρατιθέμενου παρακάτω πίνακα, ως μέγιστη ταχύτητα του σκάφους της διπλωματικής εργασίας επιλέγεται η: $V_{max} = 35 \text{ kn}$.

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά στοιχεία παρομοίων -με το υπό σχεδίαση- ταχυπλόων σκαφών της αγοράς [12]-[25]

Model	L _{OA} (m)	B _{OA} (m)	T (m)	V _{max} (kn)	ENGINE	Range (nm)	Material
Fibrafort Focker 388 Grand Turismo	11.57	3.52	0.61	38	2*350 hp	200	Fiberglass/GRP
Bavaria SR 33	11.40	3.46	0.70	35	2*300 hp	200	Fiberglass/GRP
Coastal Craft 33 ProFish	11.89	3.33	0.66	41	2*350 PS	200	Aluminium
Cockwell's Duchy Sport	11.20	3.20	0.57	39	2*370 PS	200	Fiberglass/GRP
De Antonio D36	11.50	3.40	0.60	45	2*300/2*450 hp	200	Fiberglass/GRP
Cobalt 360	11.58	3.50	0.64	35	2*320 hp	200	Kevlar
Gagliotta Lobster 35	11.30	3.50	0.67	31	1*270 hp (shaft drive)	200	Fiberglass/GRP
Grandezza 37 CA	11.55	3.50	0.70	36	2*260-300 PS	200	Fiberglass/GRP
Hinckley Picnic Boat 37 S	11.79	3.43	0.63	37	waterjet 2*370 hp+HJ274	200	Fiberglass/GRP
MJM 35	11.63	3.35	0.53	43	2*300 hp/2*400 HP	200	Fiberglass/GRP
Marlow Prowler 375 Open	11.46	3.46	0.70	38	3*250 E-TEC	200	Fiberglass/GRP
Bavaria Sport 35	10.80	3.59	0.70	35	1*370 PS	200	Fiberglass/GRP
Nassima 40	11.75	3.65	0.60	40	2*350 PS Suzuki	200	Fiberglass/GRP
Astondoa 377 Coupe Outboard	11.61	3.56	0.66	36	2*350 hp	200	Fiberglass/GRP

Σημειώνεται ότι το τελευταίο σκάφος του Πίνακα 5 (Astondoa 377 Coupe), έχοντας όλα τα παρατιθέμενα χαρακτηριστικά μεγέθη παραπλήσια με το υπό σχεδίαση, θα αποτελέσει καθοδηγητικό παράγοντα στην πορεία προς διαμόρφωση του ταχυπλόου σκάφους αναψυχής που επιχειρείται στην παρούσα διπλωματική εργασία -εξ ου και εμφανίζεται χρωματισμένο στον παραπάνω πίνακα.

Μετά την επιλογή μέγιστης ταχύτητας για το σκάφος, ακολουθεί αυτή των μηχανών, που θα του επιτρέψουν να «πιάσει» τη συγκεκριμένη τιμή.

4.1.2 Εκλογή κατάλληλων μηχανών

Για τον προσδιορισμό της απαραίτητης ισχύος στον άξονα της μηχανής (*SHP*) -που είναι και η παρεχόμενη ως δεδομένο από τον κατασκευαστή- αρκεί να υποτεθεί ένας αντιπροσωπευτικός, με βάση την εμπειρία για παρόμοιες εγκαταστάσεις, βαθμός απόδοσης πρόωσης *P.C.* (Propulsion Coefficient), μιας και η αντίσταση του πλοίου, και, άρα, η ισχύς ρυμούλκησης του είναι, από προηγηθέντες υπολογισμούς, γνωστή [9]. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στο ακόλουθο θεωρητικό υπόβαθρο:

Για τη ρυμούλκηση ενός πλοίου απαιτείται ισχύς *EHP* (Effective Horse Power), για την οποία ισχύει ότι:

$$EHP[PS] = \frac{R_T[kp] * V_S \left[\frac{m}{s} \right]}{75},$$

όπου R_T η ολική αντίσταση του πλοίου, χωρίς την έλικα τοποθετημένη⁸, και V_S η ταχύτητά του.

Ωστόσο, για την πρόωση του πλοίου χρειάζεται μεγαλύτερη ισχύς, η λεγόμενη «ισχύς ώσης», *THP* (Thrust Horse Power), για την οποία ισχύει ότι:

$$THP[PS] = \frac{T[kp] * V_A \left[\frac{m}{s} \right]}{75},$$

όπου T η ώση που αποδίδει η έλικα, και V_A η ταχύτητα προχώρησης (μέση αξονική ταχύτητα με την οποία η έλικα «βλέπει» το νερό).

⁸ Έχει γίνει η παραδοχή- με βάση τα παρόμοια σκάφη του Πίνακα 5, ότι το υπό σχεδίαση ταχύπλοο χρησιμοποιεί έλικες για την πρόωσή του.

Η διαφοροποίηση των μεγεθών αντίστασης και ταχύτητας -που συνθέτουν τις δύο ισχύες- υπάρχει, διότι η ταχύτητα κίνησης του πλοίου, V_S , είναι διάφορη της ταχύτητας με την οποία το νερό «φτάνει» στην έλικα, V_A . Αυτό οφείλεται στη συνδυασμένη επίδραση της ύπαρξης τριβής κατά μήκος της γάστρας, της μεταβολής του σχήματος αυτής στην περιοχή της πρύμνης, όσο και του συστήματος κυματισμών που επάγει το πλοίο κατά την κίνησή του. Ορίζεται, έτσι, η μέση αξονική ταχύτητα με την οποία το νερό φτάνει στην έλικα και ονομάζεται «ταχύτητα προχώρησης» (ισχύει ότι η V_A είναι σχεδόν πάντοτε μικρότερη της V_S). Επιπλέον, η ώση που παράγεται από την έλικα προς υπερνίκηση της αντίστασης του πλοίου και, άρα, κίνησή του προς τα εμπρός, δεν ισούται με την R_T , αλλά είναι μεγαλύτερή της, αφού, παραγόμενη, οδηγεί σε ελάττωση των πιέσεων και αύξηση των ταχυτήτων στην περιοχή της πρύμνης [9].

Για να αποδώσει, λοιπόν, την παραπάνω ώση, T , η έλικα απαιτεί ροπή Q , με στροφές n . Εδώ εισάγεται η έννοια της αποδιδόμενης ισχύος -«αποδιδόμενη ισχύς», DHP (Delivered Horse Power), που είναι η ισχύς που παρέχεται από τον άξονα στην έλικα, και για την οποία, προφανώς, ισχύει:

$$DHP[PS] = \frac{Q[kp * m] * 2\pi n[rps]}{75}$$

Θεωρώντας, τώρα, ως ωφέλιμη ισχύ κίνησης του πλοίου την EHP (λογική υπόθεση, με δεδομένη τη φυσική σημασία των εμπλεκόμενων -στον ορισμό της- μεγεθών), ορίζεται ένα χρήσιμο μέτρο του βαθμού απόδοσης της πρόωσης, ως εξής:

$$\eta_D = \frac{EHP}{DHP}$$

που ονομάζεται «συντελεστής απόδοσης έλικας-πλοίου».

Εισάγεται, στο σημείο αυτό, και ένας επιπλέον συντελεστής, που εκφράζει τον βαθμό απόδοσης μειωτήρα και ελικοφόρου άξονα (όταν αυτός υπάρχει σε ένα ταχύπλοο), και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\eta_S = \frac{DHP}{SHP}$$

Με δεδομένα τα παραπάνω, η έννοια του συντελεστή πρόωσης της ολικής εγκατάστασης-που αποτελεί ένα συνοπτικό μέτρο της απόδοσης της έλικας, των αλληλεπιδράσεων αυτής με το πλοίο και των απωλειών στον άξονα- ορίζεται, τελικά, ως εξής:

$$P.C. = \frac{EHP}{SHP} = \frac{EHP}{DHP} * \frac{DHP}{SHP} = \eta_D * \eta_S \quad [9]$$

Η παραπάνω ανάλυση, αποτελώντας -όπως προαναφέρθηκε- τη θεωρητική βάση για την επιλογή μηχανής ενός πλοίου, χρησιμοποιείται και στο ταχύπλοο σκάφος αναψυχής, η σχεδίαση του οποίου επιχειρείται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Βασική απαίτηση για την επιλογή αυτή, είναι η δυνατότητα επίτευξης -τουλάχιστον- της ισχύος που αντιστοιχεί στην προκύπτουσα για τη μέγιστη επιλεγμένη ταχύτητα V_{max} , SHP .

Η αντίσταση R_T που αντιστοιχεί στη μέγιστη ταχύτητα των 35 κόμβων, εξάγεται από το-προαναφερθέν στην εργασία- εκτελέσιμο αρχείο “SAV.exe”, μιας και η ταχύτητα αυτή ανήκει στο εύρος υψηλών ταχυτήτων λειτουργίας, και άρα, ο υπολογισμός της αντιστοιχούσας αντίστασης πραγματοποιείται με τη μέθοδο του Savitsky. Ως δεδομένο εξόδου του προγράμματος δίνεται και η ισχύς ρυμούλκησης EHP για τη συγκεκριμένη ταχύτητα.

Ακολουθεί στιγμιότυπο οθόνης που περιλαμβάνει τα σχετικά αποτελέσματα:

Point No 21	V [kn] = 35.00		
Cv =	3.288996	Clb =	0.058618
Lamda =	1.780661	Clo =	0.089085
Vm =	17.760139	Re =	0.8144E+08
Fv =	3.982982	M =	0.984924
trim =	4.244316	Cf =	0.002133
Frictional Resistance =	626.13 Kp	Bare Hull Resistance =	1317.75 Kp
Savitsky EHP =	316.56 HP	Modified Savitsky EHP =	311.79 HP

Εικόνα 18: Δεδομένα εξόδου του “SAV.exe” για $V_{max} = 35kn$

Για την εξαγωγή της ισχύος SHP , υποτίθεται, σε αυτό το σημείο, ολικός συντελεστής πρόωσης για το σύστημα έλικας-πλοίου ίσος με $P.C. = 0.60$. Πρόκειται για συνήθη εκτίμηση του συγκεκριμένου μεγέθους για ένα καλά αποδίδον σύστημα ταχυπλόου σκάφους, με βάση την εμπειρία. Έτσι, προκύπτει:

$$SHP = \frac{EHP}{P.C.} = \frac{316.56}{0.60} = 527.6 \text{ hp}$$

Επιλέγοντας τοποθέτηση δύο εξωλέμβιων μηχανών τύπου “Mercury 300R”, έχοντας, δηλαδή, δυνατότητα παροχής μέγιστης ολικής ισχύος: $2 * 300hp = 600hp$, εξασφαλίζεται, επιπλέον, και ένα επαρκές περιθώριο ισχύος για τον κινητήρα, υπολογιζόμενο ως εξής:

$$Engine\ Power\ Margin\ (\%) = \frac{SHP_{avail.} - SHP_{V_{max}}}{SHP_{avail.}} * 100,$$

που ισούται, περίπου, με 12 %.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της επιλεγείσας μηχανής φαίνονται παρακάτω:

4.6L V8 300R	
HORSEPOWER [HP/KW]	300 / 224
MAX WOT RPM	5800 - 6400
ENGINE TYPE	V8 [64 Degree] with 32-Valve Dual Overhead Cam [DOHC]
DISPLACEMENT [LITER/CID]	4.6 / 279
INDUCTION SYSTEM	Naturally Aspirated
FUEL REQUIREMENTS	Unleaded 87 Octane Minimum [R+M/2] or 90 RON
CHARGING [AMP/WATT]	115 / 1449 - AMS 85 / 1071 - CMS
THROTTLE & SHIFT	Digital Throttle & Shift or Mechanical
MIDSECTION	Racing Advanced MidSection, Tri-Ram or HD CMS
GEARCASE	Torque Master, Sport Master or 5.44" HD
GEAR RATIO ¹	CMS: 1.75:1 or 1.60:1 AMS: 1.85:1 or 1.60:1
DRY WEIGHT ² [LB/KG]	512 / 232
WARRANTY ³	3-Year Limited

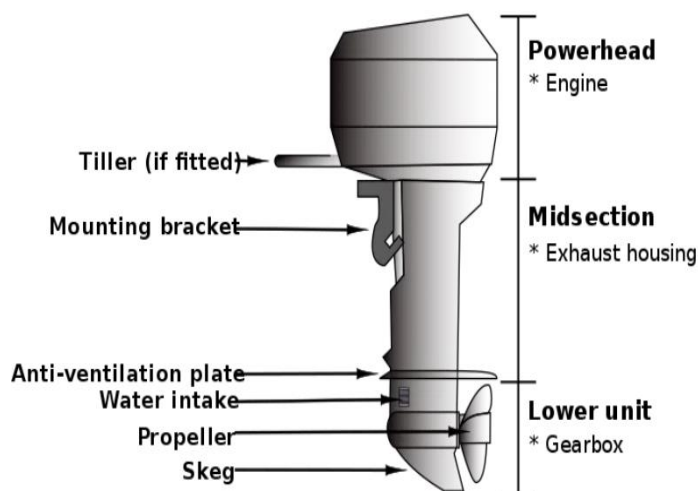
¹1.60:1 Gear Ratio Available on Select Sport Master Models
²Lightest Model Available
³Up to 5 Years Mercury Product Protection Available

Εικόνα 19: Απόσπασμα εγχειριδίου της εξωλέμβιας μηχανής Mercury 300R [26]

Η επιλογή τοποθέτησης εξωλέμβιων μηχανών στα ταχύπλοα αποτελεί συνήθη πρακτική, εξαιτίας των ποικίλων πλεονεκτημάτων που τις συνοδεύουν για τέτοιου είδους σκάφη, με κυριότερο, ίσως, τον υψηλό λόγο ισχύος προς βάρος, απαραίτητο για την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων και την καλύτερη απόδοση πλεύσης. Επιπλέον, εξοικονομείται πολύτιμος -ειδικά για μικρότερα σκάφη, όπως το υπό σχεδίαση- εσωτερικός χώρος, ενώ δεν απαιτείται -ή περιορίζεται- η χρήση έρματος προς επίτευξη έμπρυμνης διαγωγής, κατάσταση στην οποία, άλλωστε, πάντα λειτουργεί ένα ταχύπλοο σκάφος.

Επιπλέον, διαθέτοντας μηχανισμούς ρύθμισης κλίσης, οι εξωλέμβιες μηχανές προσφέρουν τη δυνατότητα λειτουργίας του σκάφους και σε ρηχά νερά, ενώ, προσαρτούμενες στον καθρέπτη του ταχυπλόου, μπορούν να περιστραφούν σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο, παρέχοντας ευελιξία στον χειρισμό τόσο σε χαμηλές, όσο και σε υψηλές ταχύτητες λειτουργίας (όπου υπάρχει απαίτηση για ακριβείς και άμεσες ανταποκρίσεις, αντίστοιχα).

Συγκριτικό πλεονέκτημα τέτοιου είδους μηχανών αποτελεί, επίσης, και το χαμηλότερο -σε σχέση με τις εσωλέμβιες μηχανές- κόστος επισκευής και συντήρησής τους, αφού μια επέμβαση στις πρώτες δεν απαιτεί έξοδο του σκάφους από το νερό, ενώ και οι τεχνολογικές αναβαθμίσεις των μηχανών χρήζουν συνήθως περιορισμένων, μόνο, αλλαγών στο εσωτερικό του σκάφους [27].



Εικόνα 20: Βασικά τμήματα μιας εξωλέμβιας μηχανής [28]

Στην παραπάνω εικόνα διακρίνονται τα βασικά μέρη που απαρτίζουν μια εξωλέμβια μηχανή: το ανώτερο τμήμα, αλλιώς κεφαλή του κινητήρα, “powerhead” (περιέχει τη μηχανή εσωτερικής καύσης), το μεσαίο τμήμα, “midsection” (περιλαμβάνει το μπρακέτο προσάρτησης του συστήματος στον καθρέπτη του σκάφους και «φιλοξενεί» τον άξονα μετάδοσης της κίνησης), και το κατώτερο τμήμα, “lower unit” (περιέχει -μεταξύ άλλων- το κιβώτιο ταχυτήτων, κωνικά γρανάζια μετάδοσης της κίνησης, ενώ είναι, παράλληλα, επιφορτισμένο με τον ρόλο «υποδοχής» της έλικας) [29].

Με τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της εξω- έναντι της εσωλέμβιας πρόωσης να έχουν ήδη παρατεθεί, εκκρεμεί η αιτιολόγηση τοποθέτησης διδύμων, τέτοιων, μηχανών επί του υπό σχεδίαση σκάφους, αντί μονής, κάτι που, επίσης, αποτελεί συνήθη πρακτική στην κατηγορία των ταχυπλόων σκαφών.

Δύο, αντί μίας μηχανής, επιτρέπουν, πρώτα απ' όλα, ακριβέστερο χειρισμό του σκάφους σε χαμηλές ταχύτητες, ειδικά αν υπάρχουν ξεχωριστά «πεντάλ» γκαζιού για κάθε μία -κάτι που δίνει τη δυνατότητα για σχεδόν επί τόπου στροφή, όταν η μία λειτουργεί πρόσω και η άλλη όπισθεν. Ξεκάθαρο πλεονέκτημα υπάρχει και στην κατανομή βάρους (δύο μηχανές οδηγούν σε πολύ πιο ομοιόμορφη τέτοια), με αποτέλεσμα καλύτερη διαμήκη και εγκάρσια ευστάθεια, αλλά και «ομαλότερη» ολίσθηση. Επιπλέον, αποφεύγεται η τοπική συγκέντρωση φορτίου σε μικρή περιοχή του καθρέπτη, πρόβλημα που στη μονή διαμόρφωση ανακύπτει, και μάλιστα οδηγεί σε σημαντική καταπόνηση της αφορώμενης περιοχής.

Ένα από τα ισχυρότερα, όμως, πλεονεκτήματα της τοποθέτησης διδύμων μηχανών είναι η ασφάλεια που αυτές παρέχουν και αφορά στην ύπαρξη εφεδρείας: σε περίπτωση που μία εκ των δύο αστοχήσει, η δεύτερη εξακολουθεί να λειτουργεί, με αποτέλεσμα το σκάφος να αποφεύγει το επικίνδυνο ενδεχόμενο της καθήλωσής του σε «ανοιχτά» νερά [30].

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5 που προηγήθηκε και περιλαμβάνει βασικά στοιχεία παρομοίων με το υπό σχεδίαση ταχυπλόων, η συνήθης ακτίνα ενέργειας⁹ τέτοιων σκαφών είναι περί τα διακόσια (200) ναυτικά μίλια¹⁰ και μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$Range = \frac{Fuel\ Capacity * Cruising\ Speed}{Fuel\ Consumption\ Rate}$$

Πρόκειται, δηλαδή, για ένα μέγεθος που συνδυάζει χωρητικότητα δεξαμενών, αποδοτικότητα καυσίμου και ταχύτητα πλεύσης.

⁹ Ακτίνα ενεργείας: Ως ακτίνα ενεργείας (range) ενός πλοίου ορίζεται η μέγιστη απόσταση που αυτό μπορεί να διανύσει από την ακτή, έχοντας γεμάτες τις δεξαμενές καυσίμου και χωρίς ενδιάμεσο ανεφοδιασμό. Μετράται σε ναυτικά μίλια (nm).

¹⁰ Ναυτικό Μίλι: Μονάδα μέτρησης απόστασης στα ύδατα. Ισχύει: 1 nm (nautical mile) = 1.852km

4.1.3 Εκτίμηση χωρητικότητας δεξαμενών καυσίμου

Γίνεται, αρχικά, η υπόθεση για χωρητικότητα δεξαμενών καυσίμου ίση με 800 λίτρα- συνήθης τιμή για ταχύπλοα με παρόμοιες μηχανές (τόση είναι, μάλιστα, και η αντίστοιχη χωρητικότητα για το σκάφος Astondoa 377 Coupe, το οποίο, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί βάση για τη σχεδίαση του σκάφους της παρούσας διπλωματικής εργασίας).

Επιπλέον, θεωρείται κατανάλωση καυσίμου ίση με 90 λίτρα την ώρα (επιλογή που εξηγείται αναλυτικά παρακάτω) και ταχύτητα πλεύσης ίση με 28 κόμβους (ογδόντα τοις εκατό της μέγιστης επιτεύξιμης ταχύτητας του ταχυπλόου σκάφους). Έτσι, προκύπτει:

$$Range = \frac{800 \text{ l} * 28 \text{ kn}}{90 \text{ l/h}} \approx 249 \text{ nm}$$

Με την απαίτηση, επομένως, για επίτευξη τουλάχιστον διακοσίων ναυτικών μιλίων να ικανοποιείται, και την ταυτόχρονη «συνύπαρξη» -και μάλιστα στο ανώτατο επίπεδο- των πλεονεκτημάτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως, η επιλογή τοποθέτησης διδύμων εξωλέμβιων μηχανών τύπου Mercury 300R κρίνεται -στην παρούσα, αρχική φάση σχεδίασης- ιδιαίτερα κατάλληλη και ευνοϊκή για το σκάφος της διπλωματικής εργασίας.

Ακολουθεί αναλυτικότερη αιτιολόγηση της επιλεγείσας τιμής για την ειδική κατανάλωση καυσίμου των μηχανών:

Υποτίθεται για την ειδική κατανάλωση καυσίμου, B.S.F.C. (Break Specific Fuel Consumption):

$$B.S.F.C. = 160 \text{ gr}/(\text{hp} * \text{h}) = 215 \text{ gr}/(\text{kw} * \text{h}),$$

ως εξαιρετικά συνήθης τιμή για κινητήρες υψηλής απόδοσης.

Ισχύει για την κατανάλωση καυσίμου (Fuel Consumption), ότι:

$$F.C. = Power Output * B.S.F.C. ,$$

όπου "Power Output" η ισχύς εξόδου για την επιλεγμένη ταχύτητα πλεύσης, η οποία είναι γνωστή και ίση -από Savitsky- με:

$$SHP_{28kn} = \frac{EHP_{28kn}}{P.C.} = \frac{253.7 \text{ hp}}{0.60} \approx 425 \text{ hp}$$

Επομένως,

$$F.C. = 425 \text{ hp} * 160 \frac{\text{gr}}{\text{hp} * \text{h}} \Rightarrow F.C. = 68 \text{ kg/h}$$

Από το εγχειρίδιο της μηχανής είναι γνωστό ότι όσον αφορά στον χρησιμοποιούμενο τύπο καυσίμου, πρόκειται για απλή αμόλυβδη βενζίνη 87 οκτανίων, η πυκνότητα της οποίας μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά ίση με:

$$\text{Fuel Density} \approx 0.75 \text{ kg/L}$$

Εξάγεται, έτσι, τελικά, η τιμή των 0.90 λίτρων ανά ώρα κατανάλωσης καυσίμου των μηχανών Mercury 300R:

$$F.C. = \frac{68 * (\frac{1}{0.75} \text{ L})}{\text{h}} \approx 90 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Με τη μηχανή, πλέον, του σκάφους προσδιορισμένη, επόμενο βήμα στη σχεδίαση αποτελεί η διαμόρφωση Σχεδίου Γενικής Διάταξης για το ταχύπλοο σκάφος αναψυχής της διπλωματικής εργασίας. Εξ αυτού θα προκύψει και η κατανομή βάρους για τη μελετούμενη κατάσταση φόρτωσης ($C_{dl} = 7.00$), ενώ θα ακολουθήσει υπολογισμός της αντίστοιχης γωνίας διαγωγής του σκάφους.

4.2 Εισαγωγή στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης

Για τη δημιουργία Σχεδίου Γενικής Διάταξης (G.A.: General Arrangement Plan), θα γίνει εκ νέου χρήση του προγράμματος Autocad Mechanical 2022, αφού αυτό προσφέρεται για τη διδιάστατη απεικόνιση και διαστασιολόγηση σχεδίων.

Ένα τέτοιο σχέδιο αποτελείται από συνδυασμό διαμήκων, οριζοντίων και καθέτων τομών, προς αντιπροσωπευτική αναπαράσταση των χώρων του πλοίου και της γενικότερης διαρρύθμισής του. Το G.A. που περιγράφεται στην πορεία αποτελείται από:

- μια διαμήκη τομή στο μέσον του σκάφους, διατρέχουσα όλο το μήκος του,
- δύο κατόψεις -στα επίπεδα του κυρίου και του ανωτέρου καταστρώματος,
- τρεις εγκάρσιες τομές σε χαρακτηριστικούς -από άποψη διάταξης, αλλά και μεταβολής των γραμμών του πλοίου- νομείς (έναν πρυμναίο, έναν πρωραίο και έναν νομέα περί το μέσον), καθώς και
- το προφίλ του ταχυπλόου.

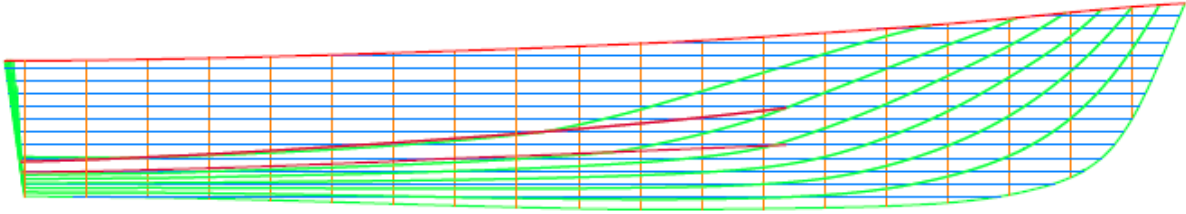
Πριν αναλυθούν τα βασικά στοιχεία για τα ακολουθούντα σχέδια, σημειώνεται ότι ως κοινή αρχή των αξόνων θεωρήθηκε το ακραίο πρυμναίο σημείο τομής του βασικού επιπέδου αναφοράς¹¹ με το κατακόρυφο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου.

Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε το μετρικό σύστημα μονάδων, με όλες τις εμφανιζόμενες διαστάσεις να είναι σε μέτρα- και με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων.

Τα σχέδια που εμφανίζονται ακολούθως είναι αποτέλεσμα εξαγωγής σε μορφή αρχείου “.pdf ” της εντολής απεικόνισης “plot” του ίδιου του προγράμματος Autocad.

¹¹ Βασικό επίπεδο αναφοράς: οριζόντιο επίπεδο του πλοίου που διατρέχει την καρίνα του, και από το οποίο εΐθισται να λαμβάνονται οι κατακόρυφες μετρήσεις.

4.2.1 Διαμήκης τομή επί του κατακόρυφου επιπέδου συμμετρίας του σκάφους



Εικόνα 21: Διαμήκης όψη της τρισδιάστατης γάστρας του σκάφους

Διαθέτοντας τις γραμμές του πλοίου (ως προκύπτουσες από αυτές του μοντέλου του εργαστηρίου υπό κλίμακα), εύκολα εξάγεται η επιθυμητή τομή (επίπεδο $y=0$):

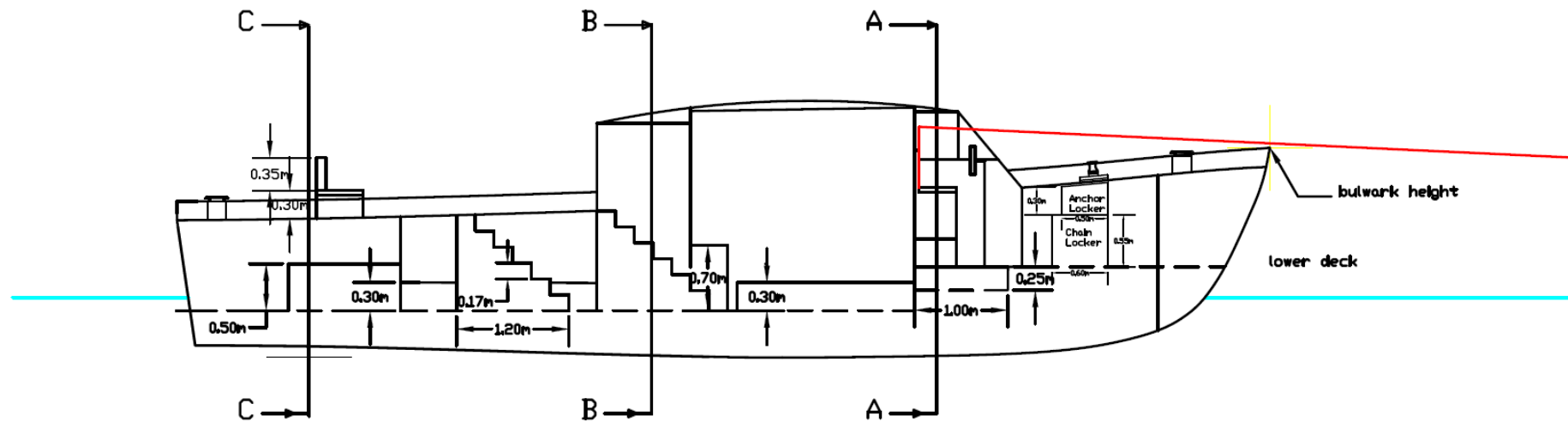


Εικόνα 22: Διαμήκης τομή της γάστρας στο " $y=0$ ", σε αρχικό στάδιο

Η λογική της διάταξης για το ταχύπλοο σκάφος της διπλωματικής εργασίας είναι αυτή υπαρχόντων, παρομοίων σκαφών της αγοράς (και ειδικά του Astondoa 377 Coupe που προαναφέρθηκε), όπως αυτή αποτυπώνεται στα διαθέσιμα σχέδιά τους.

Το ταχύπλοο σχεδιάζεται έτσι ώστε να μπορεί να δεχτεί μέχρι έξι άτομα, παρέχοντας υποδομές ύπνου για τέσσερα άτομα.

longitudinal cut at $y=0$



Εικόνα 23: Τελική διαμήκης τομή του σκάφους στο κατακόρυφο επίπεδο συμμετρίας του

Στο προωαίο τμήμα του σκάφους υπάρχουν οι αντίστοιχα σημασμένοι (anchor locker, chain locker) και διαστασιολογημένοι χώροι προς στέγαση της άγκυρας και της αλυσίδας της, ενώ επί του εξωτερικού καταστρώματος εικονίζεται κατάλληλη δέστρα, προσφέροντας ένα σταθερό σημείο για γρήγορη και ασφαλή πρόσδεση, όσο και αποδέσμευση του σκάφους.

Ακολουθεί, λίγο πιο πίσω, η διαμόρφωση του εσωτερικού, κυρίως πιλοτηρίου (helm station). Πρόκειται για τον χώρο του καπετάνιου, που -εκτός από το κατάλληλα διαμορφωμένο και υπερυψωμένο κάθισμα- περιλαμβάνει την κονσόλα χειρισμού (τιμόνι) και τα απαραίτητα όργανα πλοήγησης και επικοινωνίας του σκάφους.

Σημειώνεται, εδώ, το εξής: Το κάθισμα του καπετάνιου οφείλει να είναι αρκούντως ψηλό, ώστε να ικανοποιεί τη βασική απαίτηση ορατότητας του «κανόνα των τριών μηκών πλοίου», σύμφωνα με τον οποίο ο χειριστής ενός σκάφους πρέπει να έχει καθαρό πεδίο ορατότητας προς τα εμπρός, έκτασης τουλάχιστον τριών μηκών πλοίου. Για το ταχύπλοο της διπλωματικής εργασίας, λοιπόν,:

$$\text{Required Visibility Distance} = 3 * L_{OA} = 3 * 11.70m = 35.10 m$$

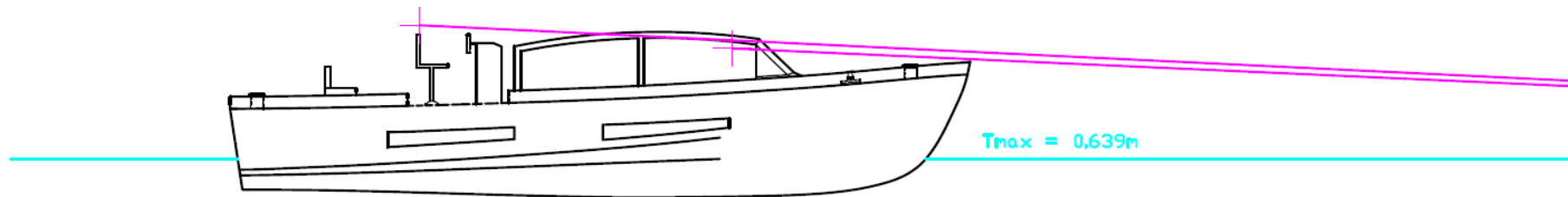
Η αντίστοιχη γραμμή -ενώνει τα μάτια του καπετάνιου με το σημείο της θάλασσας που προκύπτει από την παραπάνω απόσταση- εικονίζεται στο προηγούμενο σχέδιο με κόκκινο χρώμα και φανερώνει την ικανοποίηση του κανόνα ορατότητας (αφού η γραμμή είναι διερχόμενη από θέση ψηλότερη του ανώτερου σημείου της πλώρης).

Πίσω από την προωαία περιοχή, που μόλις αναλύθηκε, ακολουθεί η περιοχή περί το μέσον του πλοίου, που είναι αφιερωμένη στην ικανοποίηση αναγκών των επιβατών (διαθέτουσα καμπίνα, μπάνιο κλπ.) και για την περιγραφή της οποίας ενδείκνυται επόμενο σχέδιο.

Όσον αφορά, δε, στο πρυμναίο τμήμα του ταχυπλόου σκάφους, το εσωτερικό αυτού υποδέχεται τις δεξαμενές καυσίμου και γλυκού νερού, στις οποίες επίσης θα γίνει αναλυτικότερη αναφορά στην πορεία των σχεδίων. Επί του εξωτερικού καταστρώματος της περιοχής διακρίνονται οι πρυμναίες δέστρες (ευρισκόμενες σε κοινή διαμήκη θέση), αλλά και κατάλληλο κάθισμα, προς χαλαρωτική χρήση όλων των επιβαινόντων.

Σημειώνεται ότι στη γάστρα της Εικόνας 22 έχει προστεθεί κατάλληλη υπερκατασκευή, με ύψος τέτοιο που να επιτρέπει την ασφαλή και άνετη διαμονή των επιβατών στους υποκείμενους σε αυτήν χώρους, ενώ η σχεδιάσή της ακολούθησε τη μορφή αντίστοιχων διαμορφώσεων για παρόμοια σκάφη της αγοράς. Επιπλέον, έχει προστεθεί και παραπέτο (bulwark) κατάλληλου ύψους, συμβάλλοντας στην ασφάλεια όσων βρίσκονται στο εξωτερικό κατάστρωμα, αλλά και στην προστασία τους από πιθανή διαβροχή αυτού, ιδίως για ταχύτητες σκάφους που αντιστοιχούν σε ολίσθηση.

Profile



-  | line of sight
-  | captain's eye level
-  | maximum draught waterline

Εικόνα 24: Τελικό προφίλ ταχυπλόου σκάφους

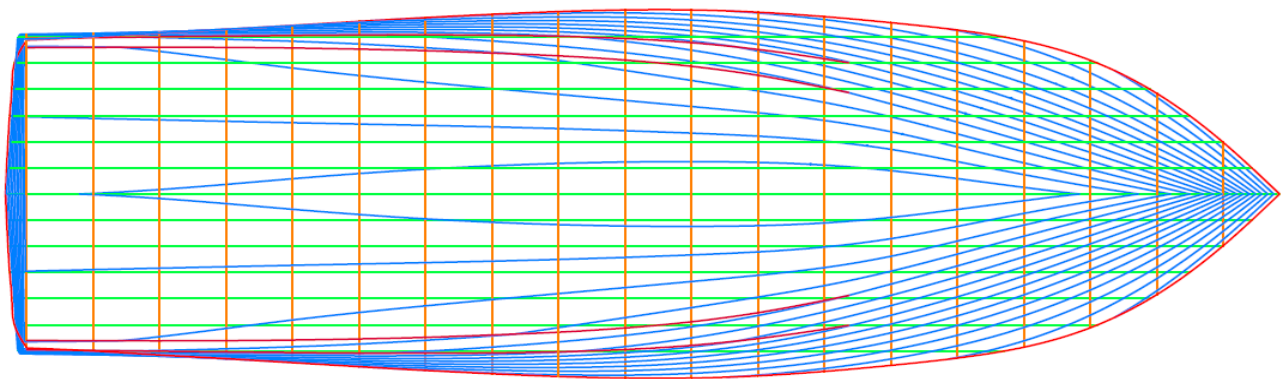
4.2.2 Προφίλ του σκάφους

Η σελίδα που προηγήθηκε εικονίζει το προφίλ του σκάφους, όπου -εκτός των πληροφοριών που είναι κοινές με τη διαμήκη τομή που αναλύθηκε παραπάνω-, ορατό είναι, πλέον, και το δεύτερο πιλοτήριο. Πρόκειται για μια -επιπλέον της κύριας- υποδομή, που παρέχει τη δυνατότητα πλοήγησης και χειρισμού ενός ταχυπλόου σκάφους, και είθισται να βρίσκεται επί του εξωτερικού καταστρώματος, «κολλημένη» πίσω από την υπερκατασκευή. Έτσι, η τελευταία λειτουργεί ως «ασπίδα προστασίας» για τον καπετάνιο, μη αφήνοντάς τον εκτεθειμένο στα καιρικά φαινόμενα του καταστρώματος. Προκειμένου να καταστεί η όλη σχετική διαμόρφωση ορατή στο σχέδιο που προηγήθηκε, έχει «αφαιρεθεί» το αντίστοιχο κομμάτι του παραπέτου (περιοχή διακεκομμένων γραμμών στο σχέδιο).

Ορατές είναι στο προφίλ και οι ακμές του σκάφους, όπως και τα παράθυρα στη γάστρα.

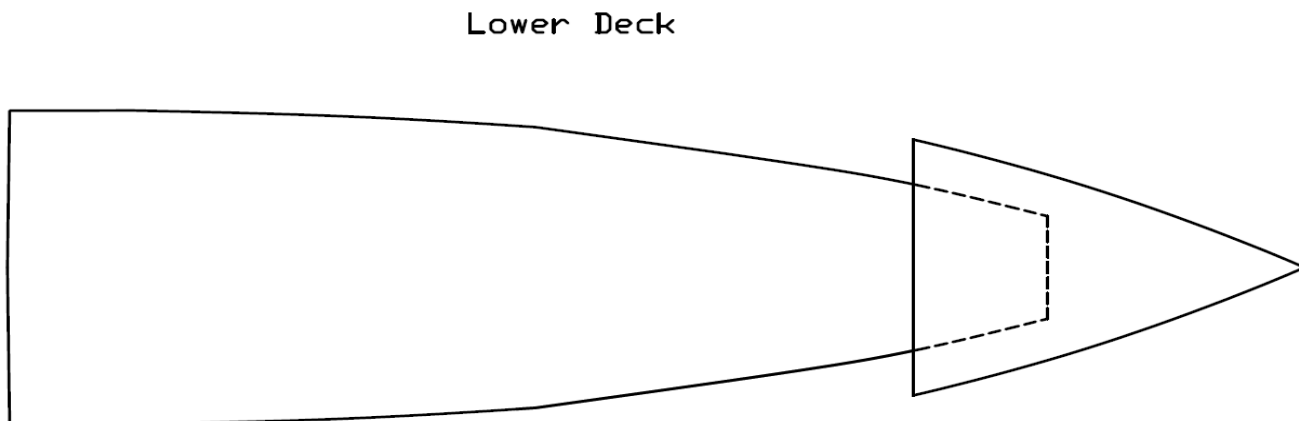
Τέλος, σημειώνεται ότι οι γραμμές που αφορούν στον προαναφερθέντα κανόνα ορατότητας των τριών μηκών πλοίου (ο οποίος προφανώς εφαρμόστηκε και για τη δεύτερη, πρυμναία θέση πιλοτηρίου), εικονίζονται στο σχέδιο με χρώμα μωβ (magenta).

4.2.3 Κάτοψη κατώτερου καταστρώματος του σκάφους



Εικόνα 25: Κάτοψη της τρισδιάστατης γάστρας του σκάφους

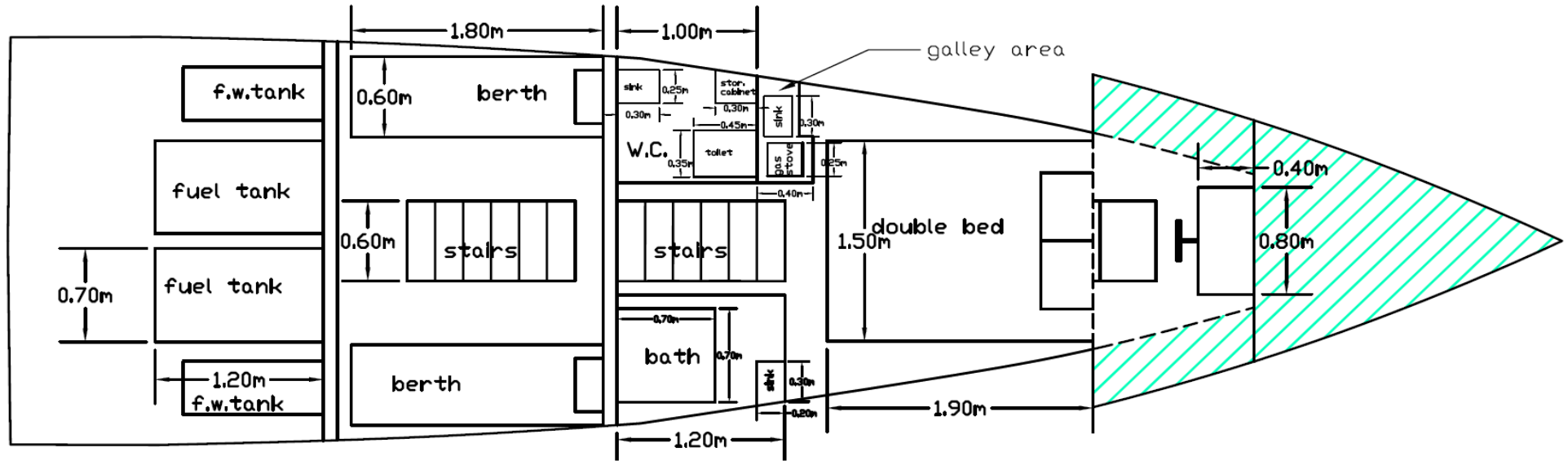
Όπως είναι ορατό από το σχέδιο διαμήκους τομής που παρουσιάστηκε πρώτο, το κατώτερο κατάστρωμα δεν βρίσκεται σε σταθερό οριζόντιο επίπεδο, αλλά ανυψώνεται στην περιοχή της πλώρας, για αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση των διαμορφούμενων χώρων. Προς εξαγωγή του κατάλληλου περιγράμματος του σκάφους χρησιμοποιήθηκαν οι δύο ίσαλοι που βρίσκονται στα αντίστοιχα ύψη, και είναι διαθέσιμες από το σχέδιο γραμμών του ταχυπλόου σκάφους. Προκύπτει, έτσι, το εξής περίγραμμα για το κατώτερο κατάστρωμα:



Εικόνα 26: Οι δύο -απαρτίζουσες το κατώτερο κατάστρωμα- ίσαλοι, σε αρχικό στάδιο

Με διακεκομμένη γραμμή στο παραπάνω σχέδιο εικονίζεται το σχετικό περίγραμμα της κατώτερης των δύο ισάλων για την περιοχή επικάλυψης.

Lower Deck



Εικόνα 27: Τελική κάτοψη του κατώτερου καταστρώματος του ταχυπλόου σκάφους

Όπως προαναφέρθηκε -και είναι ορατό και στο παραπάνω σχέδιο- το πρυμναίο τμήμα του κατώτερου καταστρώματος προορίζεται για τις δεξαμενές του σκάφους (καυσίμου και γλυκού νερού). Η συνολική χωρητικότητα των πρώτων έχει υποτεθεί ίση με 800 και των δεύτερων ίση με 200 λίτρα -πρόκειται για τιμές συνήθεις για τέτοιου μεγέθους ταχύπλοα σκάφη αναψυχής. Για λόγους ευστάθειας, καλύτερης κατανομής του βάρους και εκμετάλλευσης του περιορισμένου χώρου, όσο και εφεδρείας στην περίπτωση «προσβολής» του περιεχομένου μιας δεξαμενής, γίνεται χρήση δύο πανομοιότυπων δεξαμενών, αντί μονής -τόσο για το καύσιμο, όσο και για το γλυκό νερό. Οι διαστάσεις των δεξαμενών είναι αντιστοιχούσες στο εκάστοτε ήμισυ της υποτεθείσας χωρητικότητας κάθε κατηγορίας.

Μεταξύ της πρυμναίας και της πρωραίας περιοχής του σχεδίου του κατώτερου καταστρώματος (η τελευταία -όπως προαναφέρθηκε- στεγάζει το κυρίως χειριστήριο του σκάφους), διακρίνονται δύο μεγαλύτεροι χώροι, αφιερωμένοι στις ανάγκες των επιβαινόντων. Ο πίσω χώρος διαθέτει πλαϊνές κουκέτες¹², προς παροχήν υποδομής ύπνου για δύο άτομα, ενώ ο μπροστά -εκτός από μια μεγαλύτερη κουκέτα, ικανή να φιλοξενήσει από μόνη της δύο άτομα- περιλαμβάνει, επίσης, το μπάνιο και την τουαλέτα. Και οι δύο αυτοί χώροι είναι σχεδιασμένοι και διαστασιοποιημένοι έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η αποτελεσματικότερη δυνατή αξιοποίηση του περιορισμένου χώρου, μη στερώντας, παράλληλα, από το μικρό ταχύπλοο όλα τα βασικά στοιχεία.

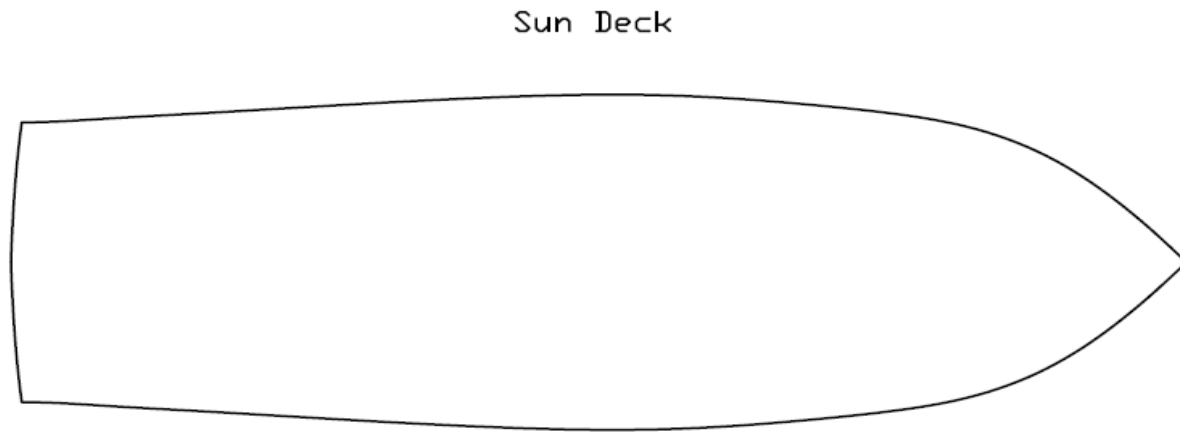
Χαρακτηριστική για τον συμπαγή σχεδιασμό που επιχειρήθηκε στο σκάφος της διπλωματικής εργασίας είναι η επιλογή τοποθέτησης «υγρού μπάνιου» (wet bath). Με χρήση ανθεκτικών στην υγρασία υλικών, όλα τα εξαρτήματα βρίσκονται σε ενιαίο χώρο, ενώ το νερό από το ντους ρέει απευθείας στο υπό κλίση δάπεδο, ώστε να οδηγείται απρόσκοπτα στην αποχέτευση [31].

Μπροστά από τον χώρο της τουαλέτας (W.C.) υπάρχει, επιπλέον, ανοιχτή συμπαγής περιοχή εν είδει κουζίνας, διαθέτουσα νεροχύτη, φορητό γκαζάκι και -κάτω από το τελευταίο- ένα μικρό ψυγείο.

Σημειώνεται, τέλος, ότι η πρόσβαση και στους δύο προαναφερθέντες χώρους γίνεται με κατάλληλα διαστασιοποιημένες σκάλες, σύμφωνα με τις συνήθεις περιπτώσεις παρομοίων, υπαρχόντων στην αγορά σκαφών.

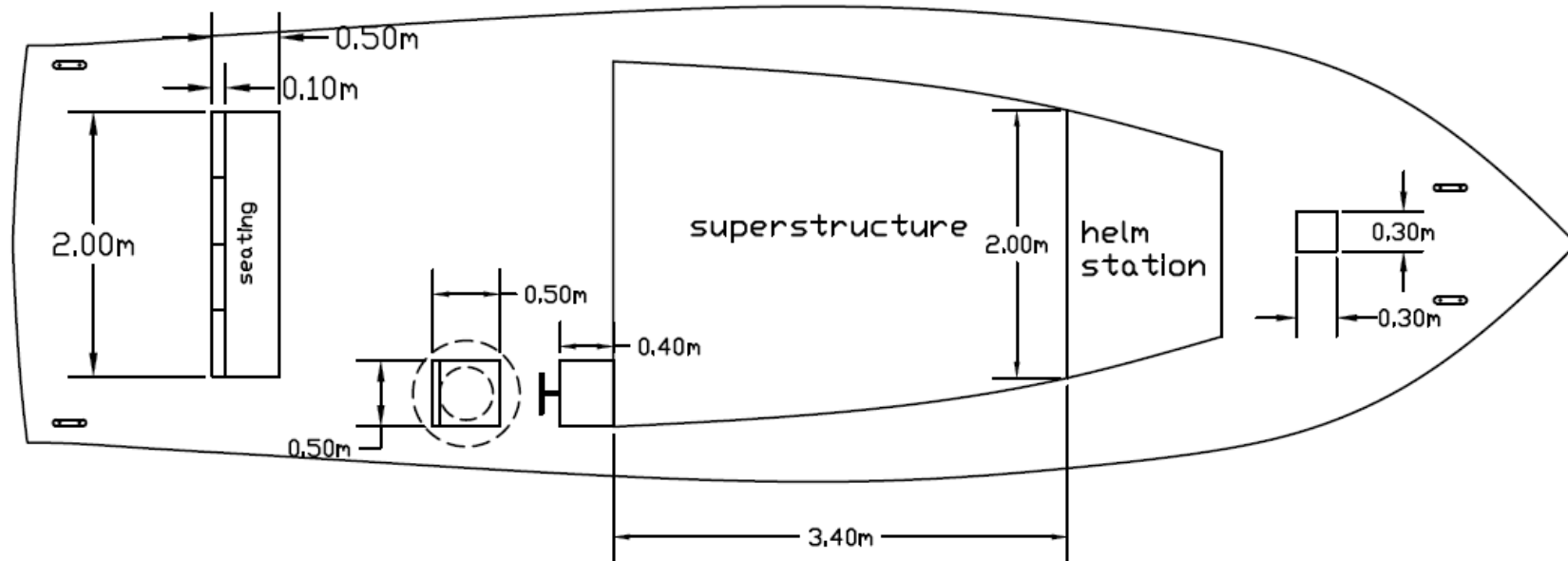
¹² Κουκέτα: όρος ευρέως χρησιμοποιούμενος στα σκάφη- περιγράφει το κρεβάτι ή τον χώρο ύπνου. Ειδικά στα μικρά ταχύπλοα, μια κουκέτα σχεδιάζεται έτσι ώστε να συμβάλει στη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση του χώρου, παρέχοντας άνεση, χωρίς όμως να θυσιάζεται η λειτουργικότητα του σκάφους.

4.2.4 Κάτοψη εξωτερικού καταστρώματος του σκάφους



Εικόνα 28: Η -αντιστοιχούσα στο εξωτερικό κατάστρωμα- ίσαλος του ταχυπλόου σκάφους, σε αρχικό στάδιο

Sun Deck



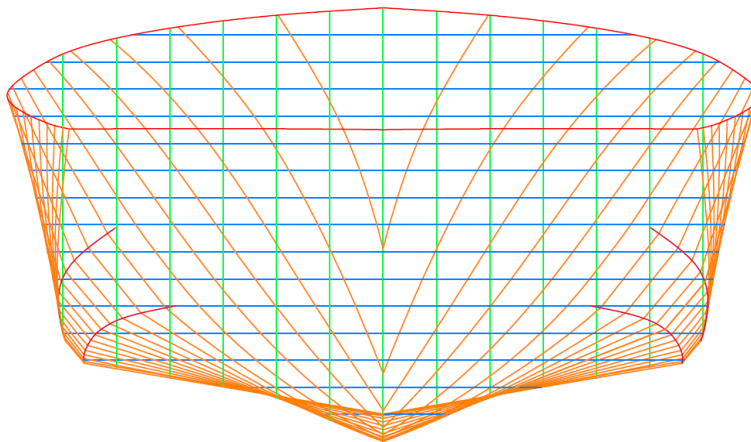
Εικόνα 29: Τελική κάτοψη του εξωτερικού καταστρώματος του ταχυπλόου σκάφους

Το παραπάνω σχέδιο παρέχει την κάτοψη του εξωτερικού καταστρώματος του ταχυπλόου. Ορατές είναι πλέον και οι τέσσερις υπάρχουσες στο σκάφος δέστρες, οι οποίες βρίσκονται τοποθετημένες σε εκάστοτε αντιδιαμετρικές θέσεις. (Πρόκειται για δύο προραίες και δύο πρυμναίες, ώστε το σκάφος να μπορεί να «δένει» υπό μορφή τραπεζίου στο λιμάνι).

Επίσης ορατός και κατάλληλα διαστασιολογημένος είναι και ο ηλεκτρικός κύλινδρος του βαρούλκου, που βρίσκεται στην περιοχή της πρόρας και προορίζεται για αυτοματοποιημένη ανύψωση, όσο και κατέβασμα της άγκυρας, συμβάλλοντας στην ομαλή λειτουργία του συστήματος, μιας και έτσι παρέχεται διαρκής έλεγχος της ταχύτητάς της. Όσον αφορά στην εντολή, αυτή δίνεται απευθείας από τον χώρο χειρισμού, προσφέροντας ασφάλεια σε περίπτωση παραγμένων νερών ή κακοκαιρίας [32].

Λίγο πιο πίσω διακρίνεται το κυρίως πιλοτήριο και η υπερκατασκευή του σκάφους, «κολλημένο» στην οποία -όπως εξηγήθηκε- βρίσκεται το κατάλληλα διαστασιολογημένο δεύτερο χειριστήριο του ταχυπλόου της διπλωματικής εργασίας. Σημειώνεται ότι το ειδικά διαμορφωμένο και κατάλληλα υπερυψωμένο κάθισμα επιτρέπει στον καπετάνιο πλήρη περιστροφή περί τον άξονά του, με ταυτόχρονη εξασφάλιση επαρκούς χώρου τοποθέτησης των ποδιών του επί του καταστρώματος.

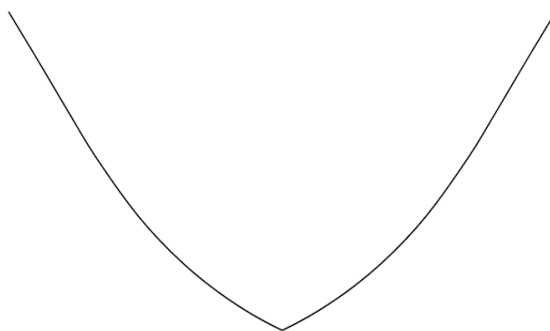
4.2.5 Εγκάρσιες τομές του σκάφους



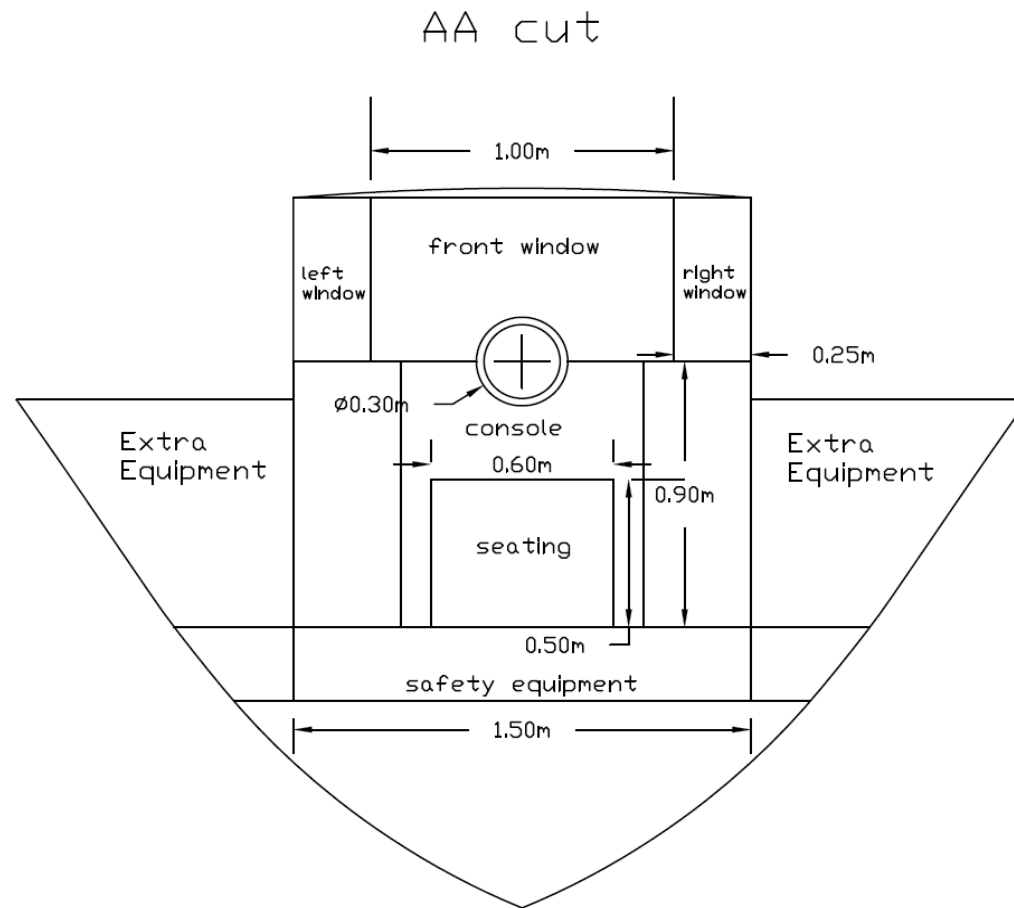
Εικόνα 30: Εγκάρσια όψη της τρισδιάστατης γάστρας του ταχυπλόου σκάφους

Όπως φαίνεται από το σχέδιο διαμήκους όψης της Εικόνας 23 που παρατέθηκε προηγουμένως, επιχειρούνται -προς ολοκλήρωση του G.A.- τρεις εγκάρσιες τομές σε χαρακτηριστικές, για τις γραμμές της γάστρας και άρα και τον εσωτερικό διαμορφούμενο χώρο, περιοχές (“A-A”, “B-B” και “C-C”).

4.2.5.1 Πρωραία εγκάρσια τομή



Εικόνα 31: Νομέας 13 (σε διαμήκη θέση της τομής "A-A")



Εικόνα 32: Πρωραία εγκάρσια τομή του ταχυπλόου σκάφους (Τομή "Α-Α")

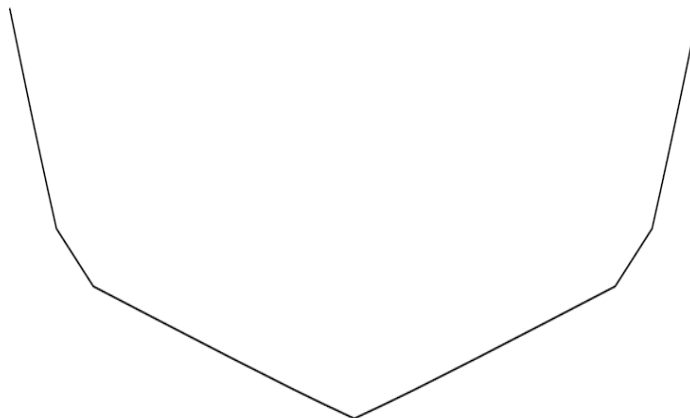
Η τομή “Α-Α” αφορά στο πρωραίο τμήμα του σκάφους, και συγκεκριμένα «διαπερνά» την περιοχή του κυρίως χώρου χειρισμού. Ορατά στο σχέδιο και κατάλληλα διαστασιολογημένα εμφανίζονται τα διάφορα εξαρτήματα αυτού, όπως η κονσόλα πλοήγησης και τμήμα του καθίσματος του καπετάνιου. Μεταξύ της περιοχής τοποθέτησης των ποδιών του καθήμενου και του καταστρώματος υπάρχει διαθέσιμος χώρος, που αξιοποιείται για την αποθήκευση εξοπλισμού ασφαλείας: ένας πυροσβεστήρας χαμηλού προφίλ, αλλά και πτυσσόμενα σωσίβια μπορούν, εδώ, να τοποθετηθούν.

Εκατέρωθεν της κεντρικής περιοχής του σχεδίου υφίστανται συμμετρικοί χώροι που «φιλοξενούν» επιπλέον εξοπλισμό του ταχυπλόου και ακολουθούν -για τους προφανείς λόγους μέγιστης εκμετάλλευσης- τη μορφή της γάστρας. Αυτός ο εξοπλισμός μπορεί να περιλαμβάνει- μεταξύ άλλων- εξαρτήματα ψυχαγωγίας, ψαρέματος ή και προσωπικά αντικείμενα των επιβαινόντων.

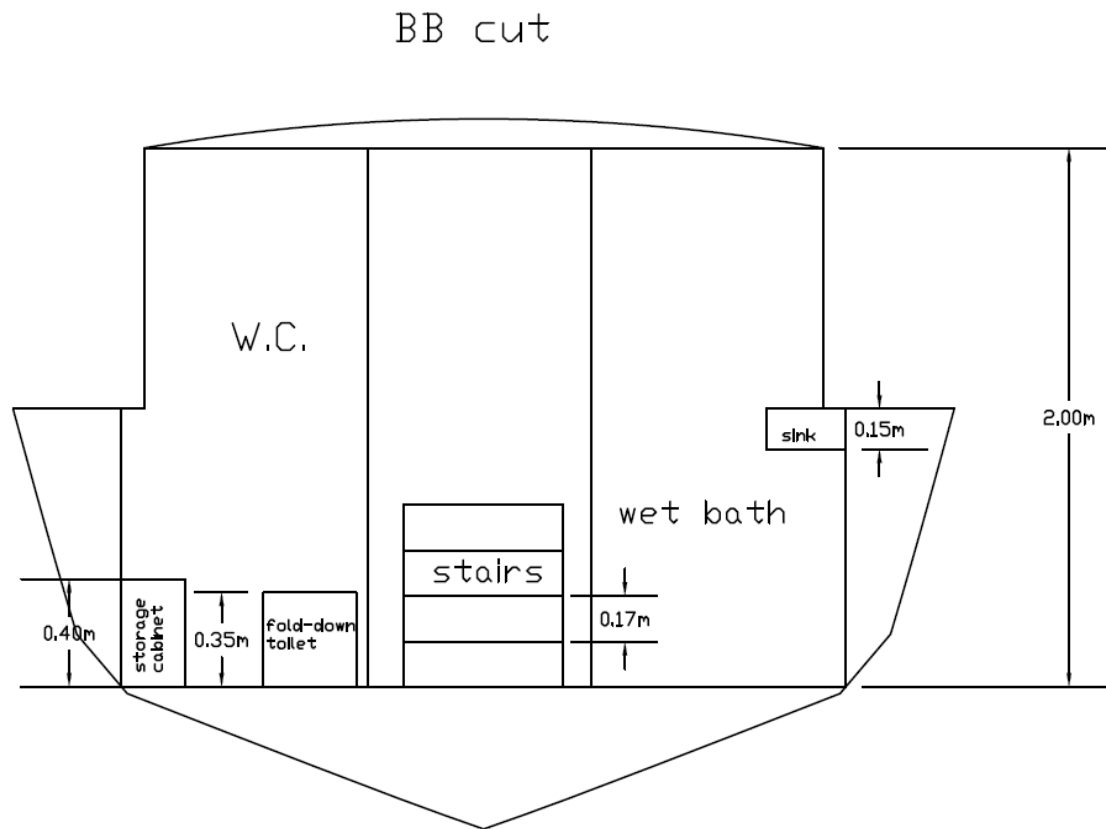
Στο παραπάνω σχέδιο διακρίνεται και η διαμόρφωση των παραθύρων (μπροστινό και πλαϊνά τζάμια), που παρέχει στον καπετάνιο την απαραίτητη ορατότητα, μέσα από την κλειστή καμπίνα χειρισμού.

Τέλος, αναφέρεται για την όψη αυτή ότι μεταξύ της Εικόνας 31 (Νομέας 13) και της Εικόνας 32 (πρωραία εγκάρσια τομή), έχει μεσολαβήσει, προφανώς, και η προσθήκη της υπερκατασκευής, η διαμόρφωση της οποίας για τη συγκεκριμένη διαμήκη θέση είναι η εικονιζόμενη.

4.2.5.2 Εγκάρσια τομή περί το μέσον του σκάφους



Εικόνα 33: Νομέας 8 (σε διαμήκη θέση της τομής “B-B”)



Εικόνα 34: Εγκάρσια τομή περί το μέσον του ταχυπλόου σκάφους (Τομή “B-B”)

Η τομή “B-B” αφορά σε περιοχή περί το μέσον του ταχυπλόου· «διαπερνά» το τμήμα εκείνο του σκάφους που είναι «αφιερωμένο» στην ικανοποίηση των αναγκών των επιβαινόντων και συνδέεται με το εξωτερικό κατάστρωμα μέσω της εικονιζόμενης σκάλας.

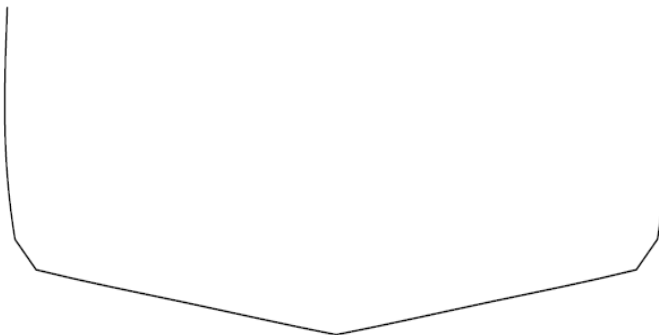
Αριστερά και δεξιά διακρίνονται οι χώροι της τουαλέτας και του μπάνιου, αντίστοιχα, και τα ορατά -από τη συγκεκριμένη όψη- βασικά στοιχεία που οπωσδήποτε περιλαμβάνουν, κατάλληλα διαστασιοποιημένα (μεταξύ άλλων ένας νιπτήρας και μια μικρή ντουλάπα).

Παράλληλα με την επιλογή τοποθέτησης «υγρού μπάνιου» που παρουσιάστηκε νωρίτερα, ένα ακόμη χαρακτηριστικό παράδειγμα της «συμπυκνωμένης» σχεδίασης που επιχειρήθηκε στο ταχύπλοο της διπλωματικής εργασίας είναι η τοποθέτηση αναδιπλούμενης τουαλέτας. Πρόκειται για εξαιρετική λύση που ακολουθούν πολλά μικρά σκάφη και δίνει τη δυνατότητα στερέωσης της τουαλέτας σε τοίχο, και «διπλώματός» της όταν αυτή δεν χρησιμοποιείται, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση πολύτιμου χώρου στην αφορούμενη περιοχή.

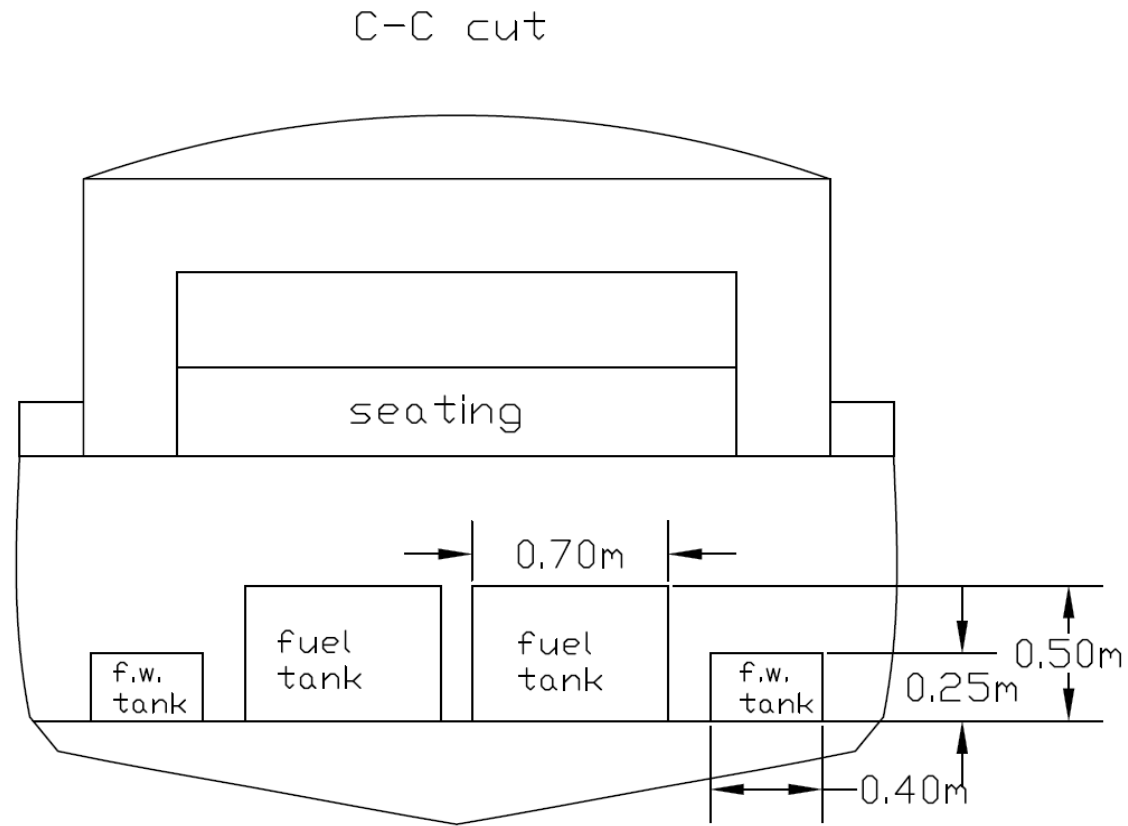
Στο πλαίσιο της καλύτερης εκμετάλλευσης του διαθέσιμου χώρου, άλλωστε, εντάσσεται και η αξιοποίηση μέρους της γάστρας εκατέρωθεν της μορφής που ακολουθεί η υπερκατασκευή.

Τέλος, σημειώνεται ότι -αντίστοιχα με την προωαία τομή- μεταξύ της Εικόνας 33 (Νομέας 8) και της Εικόνας 34 (εγκάρσια τομή περί το μέσον του σκάφους), έχει μεσολαβήσει προφανώς και η προσθήκη της υπερκατασκευής, η διαμόρφωση της οποίας για τη συγκεκριμένη διαμήκη θέση είναι η εικονιζόμενη. Πρόκειται για την περιοχή όπου αυτή φτάνει στο μέγιστο ύψος της, εξασφαλίζοντας το απαραίτητο προαναφερθέν ύψος (δύο μέτρα) για την άνετη διαμονή και κίνηση των επιβαινόντων στους απαραίτητους χώρους.

4.2.5.3 Πρυμναία εγκάρσια τομή



Εικόνα 35: Νομέας 2 (σε διαμήκη θέση της τομής "C-C")



Εικόνα 36: Πρυμναία εγκάρσια τομή του ταχυπλόου σκάφους (Τομή "C-C")

Η τομή “C-C” αφορά στο πρυμναίο τμήμα του σκάφους και πιο συγκεκριμένα «διαπερνά» την περιοχή που «φιλοξενεί» τις δεξαμενές καυσίμου και γλυκού νερού. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, πρόκειται για δεξαμενές που εξυπηρετούν ολική χωρητικότητα 800 και 200 λίτρων αντίστοιχα. Για τους λόγους που εξηγήθηκαν σε προηγούμενο σχέδιο, έχει προτιμηθεί η εγκατάσταση δύο πανομοιότυπων εκάστοτε δεξαμενών, οι οποίες παρουσιάζονται στο παραπάνω σχέδιο κατάλληλα διαστασιολογημένες.

Ορατό από τη συγκεκριμένη τομή είναι και υπάρχον κάθισμα στο εξωτερικό κατάστρωμα του ταχυπλόου σκάφους, που προσφέρεται για αναπαυτική απόλαυση του ταξιδιού και μπορεί να φιλοξενήσει ταυτόχρονα έως και τέσσερα άτομα.

Όπως και στις προηγούμενες τομές, έτσι και σε αυτήν, σημειώνουμε ότι μεταξύ της Εικόνας 35 (Νομέας 2) και της Εικόνας 36 (πρυμναία εγκάρσια τομή), έχει μεσολαβήσει προφανώς και η προσθήκη της υπερκατασκευής, η διαμόρφωση της οποίας για τη συγκεκριμένη διαμήκη θέση είναι η εικονιζόμενη.

Τέλος, σημειώνεται το -χαρακτηριστικό για τις γάστρες της Σειράς Ταχυπλόων Σκαφών του Ε.Μ.Π.- πλατύ περίγραμμα του νομέα στην πρυμναία περιοχή.

4.3 Τελικό Σχέδιο Γενικής Διάταξης

Με τα επιμέρους σχέδια που απαρτίζουν τη Γενική Διάταξη του σκάφους να έχουν παρουσιασθεί ένα προς ένα, και τη λογική τους να έχει αναλυθεί, παρουσιάζεται πλέον το τελικό G.A. του ταχυπλόου σκάφους της διπλωματικής εργασίας.

[illegible][illegible][illegible][illegible]

A schematic diagram of a ship's hull cross-section. The hull is divided into several horizontal layers. The top layer is labeled 'deck'. Below the deck is a layer labeled 'structure'. The main body of the hull is divided into two large sections: 'upper hull' on the left and 'lower hull' on the right. The lower hull is further divided into 'inner hull' and 'outer hull'. The bottom of the hull is labeled 'bottom'. The diagram also shows various structural elements like 'bulkhead', 'stanchion', and 'ladder'.

Επιβλέπων καθηγητής : κ. Γρηγορόπουλος

- 1 elevated lower deck at bow

—, line of sight

+ captain's eye level

— : maximum draught waterline

+ : bulwark's height at bow

Εικόνα 37: Σχέδιο Γενικής Διάταξης του ταχυπλόου σκάφους

5 Χαρακτηριστικά διαμήκους ισορροπίας για $C_{dl}=7.00$

5.1 Κατανομή βαρών

Διαθέτοντας πλέον το Σχέδιο Γενικής Διάταξης του ταχυπλόου σκάφους της διπλωματικής εργασίας, εκτός από την εποπτεία των διαφόρων χώρων και των συνιστωσών που τους απαρτίζουν, είναι δυνατή και μια πρώτη προσέγγιση της κατανομής βαρών στην κατάσταση που εξετάζεται. Αυτή -υπενθυμίζεται εδώ- είναι η πιο «βαριά» ($C_{dl} = 7.00$) και αντιστοιχεί σε βύθισμα:

$$T = 0.639 \text{ m}$$

Η λογική που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή του Πίνακα βαρών -και κατ' επέκταση της διαγωγής που έπεται- βασίζεται στον επιμερισμό εκείνων των συνιστωσών του σκάφους σε ομάδες οι οποίες συνεισφέρουν στη διαμόρφωση του τελικού εκτοπίσματος του ταχυπλόου.

Πίνακας 6: Κατανομή Βαρών και Υπολογισμός Διαγωγής σκάφους στην κατάσταση $C_{dl}=7.00$

Components	Categories	Wi (kg)	Xi (in m, from transom)	Wi*Xi (kg*m)
	Hull & Decks	3547	4.255	15092.49
	Superstructure	700	5.679	3975.30
	Fuel Tanks	600	1.598	958.80
	F.W. Tanks	200	1.698	339.60
	Anchor Locker & Chains	150	9.005	1350.75
Passenger 1	Windlass	20	9.601	192.02
Passenger 2	"Passengers"	90	2.405	216.45
Passenger 3		90	2.405	216.45
Passenger 4		90	0.985	88.65
Passenger 5		90	0.985	88.65
Passenger 6		90	2.598	233.82
		90	2.598	233.82
	Additional Fluids	100	2.334	233.40
	Extra Equipment	200	7.936	1587.20
	Provisions	200	4.998	999.60
	Navigation & Communication Equipment (1)	50	8.648	432.40
	Navigation & Communication Equipment (2)	50	3.783	189.15
	Safety Equipment	100	7.794	779.40
Bulkhead 1	Structural Reinforcements	40	2.248	89.92
Bulkhead 2		40	4.248	169.92
Bulkhead 3		30	8.848	265.44
Bulkhead 4		50	10.305	515.25
Longitudinals		40	5.555	222.20
	Engines	700	-0.885	-619.50

Toilet	Galley & Appliances	25	5.073	126.83
Gas Stove & Fridge below		35	5.498	192.43
Sink 1		15	5.448	81.72
Sink 2		15	4.448	66.72
Sink 3		15	5.398	80.97
Storage Cabinet		30	5.148	154.44
Wet Bath		75	4.648	348.60
Stair 1	Furniture & Fittings	50	3.348	167.40
Stair 2		50	4.848	242.40
Double Bed		70	6.748	472.36
Berth 1		40	3.298	131.92
Berth 2		40	3.298	131.92
Helm Station Seating		50	8.948	447.40
Helm Station Console		70	8.648	605.36
2nd Helm Station Seating		50	3.025	151.25
2nd Helm Station Console		40	3.785	151.40
Outdoor Seating		40	1.448	57.92
	Interior Finishes	500	4.35	2175.00
	Miscellaneous Gear	300	6.776	2032.80
	Total Weight (kg)	8867	lcg (in m, from transom)	4.023
	Deviation from theoretical value (%)	4.85	static trim angle (deg)	0.28

Βασικές κατηγορίες στην κατανομή βαρών θεωρήθηκαν -μεταξύ άλλων- η γάστρα, τα καταστρώματα και η υπερκατασκευή, μαζί με δομικά στοιχεία (φρακτές), οι επιβάτες με τα προσωπικά τους αντικείμενα, οι μηχανές, τα έπιπλα της κουζίνας, του μπάνιου και της τουαλέτας, εσωτερικές ενισχύσεις, όσο και οι δεξαμενές και στοιχεία επιπλέον εξοπλισμού¹³.

Σημειώνεται ότι για μια πρώτη προσέγγιση -σαν αυτή που επιχειρήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία- τα βάρη των διαφόρων συνιστωσών που απαρτίζουν την εκάστοτε κατηγορία υπετέθησαν με τη βοήθεια αντιστοίχων εξαρτημάτων που διαθέτουν παρόμοια σκάφη της αγοράς (πλην των μηχανών, για τις οποίες γνωρίζουμε το ακριβές βάρος από το φυλλάδιο του κατασκευαστή). Επιπλέον, έγινε συμψηφισμός κάθε επιβάτη με τα προσωπικά του αντικείμενα, προς δημιουργία ενός «διευρυμένου» επιβάτη με αυξημένο βάρος (συνήθης απλοποιητική πρακτική).

Οι διαμήκεις θέσεις των επιμέρους κεντρών βαρών (l_{cg_i}) των συνιστωσών -εκάστοτε βάρους w_i - εξήχθησαν από τη συνδυαστική ανάγνωση των προηγούμενων σχεδίων που απαρτίζουν τη Γενική Διάταξη του σκάφους. Ο προσδιορισμός τους είναι απαραίτητος για εφαρμογή του τύπου εύρεσης της διαμήκου θέσης του κέντρου βάρους του ίδιου του ταχυπλόου σκάφους:

$$LCG = \frac{\sum w_i * l_{cg_i}}{\sum w_i}$$

¹³ Για την αναλυτική κατηγοριοποίηση των διαφόρων βαρών, βλ. Πίνακα 6.

5.1.1 Υπολογισμός βάρους γάστρας, καταστρωμάτων και υπερκατασκευής του σκάφους

Παρεμβάλλεται, εδώ, μια παράγραφος αφορούσα στον υπολογισμό του βάρους της γάστρας, των καταστρωμάτων και της υπερκατασκευής του ταχυπλόου σκάφους, που προφανώς είναι πιο ιδιαίτερος από την εκτίμηση των βαρών «έτοιμων» εξαρτημάτων που υφίστανται στην αγορά.

Για την προσέγγιση του βάρους γίνεται, εδώ, χρήση του τύπου:

$$W (kg) = \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) * V(m^3),$$

όπου " ρ " η πυκνότητα του εκάστοτε εξεταζόμενου στοιχείου και " V " ο όγκος αυτού.

Όμως, για τον όγκο ισχύει, επιπρόσθετα, ότι:

$$V(m^3) = A(m^2) * t(m),$$

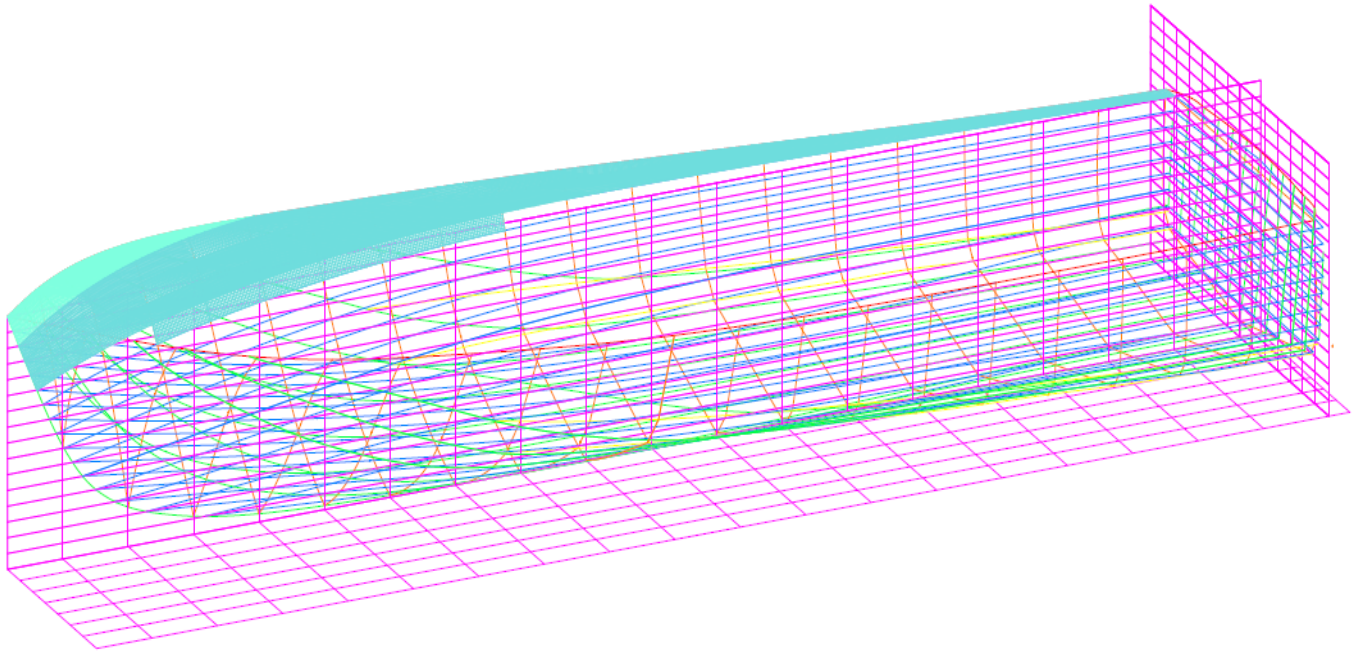
όπου " A " η επιφάνεια του στοιχείου και " t " το πάχος του.

Όσον αφορά στα καταστρώματα, ο προσδιορισμός της επιφάνειάς τους είναι απλός και μπορεί να γίνει κάνοντας -στις εκάστοτε κατόψεις- χρήση της εντολής "area" του προγράμματος Autocad Mechanical 2022, σε περιβάλλον του οποίου άλλωστε εξήχθησαν όλα τα σχέδια. Όμοια μετρώνται οι (επίπεδες) επιφάνειες των πλευρών της υπερκατασκευής. Όσον αφορά, δε, στην καμπυλωμένη οροφή, το σχήμα της προσεγγίζεται επαρκώς με τη θεώρηση κατά τόπους τραπεζοειδούς διαμόρφωσης.

Για την προσέγγιση της επιφάνειας της γάστρας, τα πράγματα είναι λίγο πιο περίπλοκα, μιας και δεν πρόκειται για τρισδιάστατη ενότητα στο σχέδιο, αλλά για συνδυασμό γραμμών (πλέγματα νομέων, ισάλων και διαμήκων τομών), με το Autocad να έχει τη δυνατότητα μέτρησης της επιφάνειας τρισδιάστατων διαμορφώσεων μόνον στην περίπτωση που αυτά απαρτίζουν μια ενότητα -οπότε και μπορεί να γίνει εφαρμογή της εντολής "area", ακολουθούμενης από την επιλογή "o" ("o → object").

Το συγκεκριμένο εμπόδιο παρακάμπτεται κάνοντας χρήση της εντολής "loft", που δημιουργεί ομαλές επιφάνειες μεταξύ γραμμών. Έτσι, αφού διαμεριστεί η γάστρα σε μικρά τμήματα -με «σπάσιμο» των γραμμών στα μεταξύ τους σημεία τομής χρησιμοποιώντας την εντολή "break"- εφαρμόζεται σε κάθε διαμορφούμενο τμήμα η παραπάνω αναφερθείσα εντολή, με αποτέλεσμα από τα επιμέρους αυτά χωρία τελικά να συντίθεται η μορφή της γάστρας σε πολύ καλή προσέγγιση. Η δε επιφάνειά της ισούται, προφανώς, με το άθροισμα των επιφανειών των διαφόρων τμημάτων.

Ακολουθεί χαρακτηριστικό στιγμιότυπο οθόνης που ελήφθη σε αρχικό στάδιο της παραπάνω διαδικασίας:



Εικόνα 38: Επιμερισμός της γάστρας του σκάφους σε τμήματα, προς μέτρηση επιφανειών

Σημειώνεται εδώ ότι -όπως φαίνεται στην Εικόνα 38- σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου η μορφή της γάστρας είναι τέτοια που να επιτρέπει την ομαλή μετάβαση από το ένα τμήμα της στο άλλο, θεωρήθηκαν ως χωρία μικρές λωρίδες, όπως συμβαίνει με το πρωραίο πλαϊνό κομμάτι, που αποτυπώνεται παραπάνω με χρώμα κυανό.

Η επιφάνεια που υπολογίστηκε με αυτόν τον τρόπο ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά τη μορφή της γάστρας (εξαιρουμένων προφανώς των καταστρωμάτων και της υπερκατασκευής) είναι περίπου ίση με:

$$A_{HULL} = 60 \text{ m}^2$$

Η τιμή αυτή κρίνεται λογική, κάτι που αιτιολογείται μάλιστα ως εξής:

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε σε προηγθέν σημείο της διπλωματικής εργασίας για προκαταρκτικό υπολογισμό των υδροστατικών χαρακτηριστικών του ταχυπλόου ("hydro.exe"), δέχεται ως κύρια μεταβλητή εισόδου το βύθισμα του σκάφους. Επομένως, θέτοντας αυτό ίσο με εκείνο που αντιστοιχεί στην κατακόρυφη συνιστώσα της θέσης του ακραίου πρυμναίου σημείου της γάστρας¹⁴, η μεταβλητή εξόδου της βρεχόμενης επιφάνειας δίνει μια προσέγγιση για την επιφάνειά της. Προκύπτει, συγκεκριμένα, " $W.S. = 49.5 \text{ m}^2$ ".

¹⁴ Λαμβάνεται το σημείο αυτό ως το ανώτερο που μπορεί να δώσει έγκυρο αποτέλεσμα, μιας και για ελάχιστα υψηλότερα ευρισκόμενο σημείο το σκάφος είναι, πλέον, βυθισμένο.

Με δεδομένο ότι πρόωραθεν του ακραίου πυρηναίου σημείου η γάστρα ακολουθεί αποκλειστικά ανοδική πορεία, και λαμβάνοντας υπ' όψιν το σχήμα της πορείας αυτής, η υπολογισθείσα τιμή των $60 m^2$ κρίνεται, λοιπόν, εξαιρετικά λογική.

Για την προσέγγιση πλέον του βάρους της γάστρας, αρκεί υπόθεση για την τιμή του πάχους του υλικού της. Από τον Πίνακα 5 που προηγήθηκε και περιλαμβάνει βασικά χαρακτηριστικά παρομοίων -με το υπό σχεδίαση- ταχυπλόων σκαφών της αγοράς, είναι σαφές πως και το σκάφος της διπλωματικής εργασίας οφείλει να είναι κατασκευασμένο από σύνθετα υλικά.

Ακολουθεί σύντομη αναφορά στη φύση των υλικών αυτών, η οποία κρίνεται αναγκαία, δεδομένης της εκτεταμένης χρήσης τους σε ναυπηγικές εφαρμογές και δη στα ταχύπλοα σκάφη.

5.1.1.1 Σύνθετα Υλικά -Εισαγωγή

Ως σύνθετα λογίζονται εκείνα τα υλικά που αποτελούνται από δύο ή περισσότερα διακριτά μέρη σημαντικά διαφερόσων -μεταξύ τους- φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων που και τα ίδια, τελικά, έχουν ιδιότητες ισχυρά αποκλίνουσες από αυτές των συνιστώντων τους μερών. Συνηθέστερη μορφή είναι αυτή των ινωδών συνθέτων υλικών, όπου ίνες (νήματα) χαμηλής πυκνότητας και υψηλής αντοχής και δυσκαμψίας εμβαπτίζονται σε ρητίνη (αρχικά υγρή και στη συνέχεια στερεοποιούμενη μήτρα) και σταθεροποιούνται μαζί της προς δημιουργία του τελικού υλικού [33].

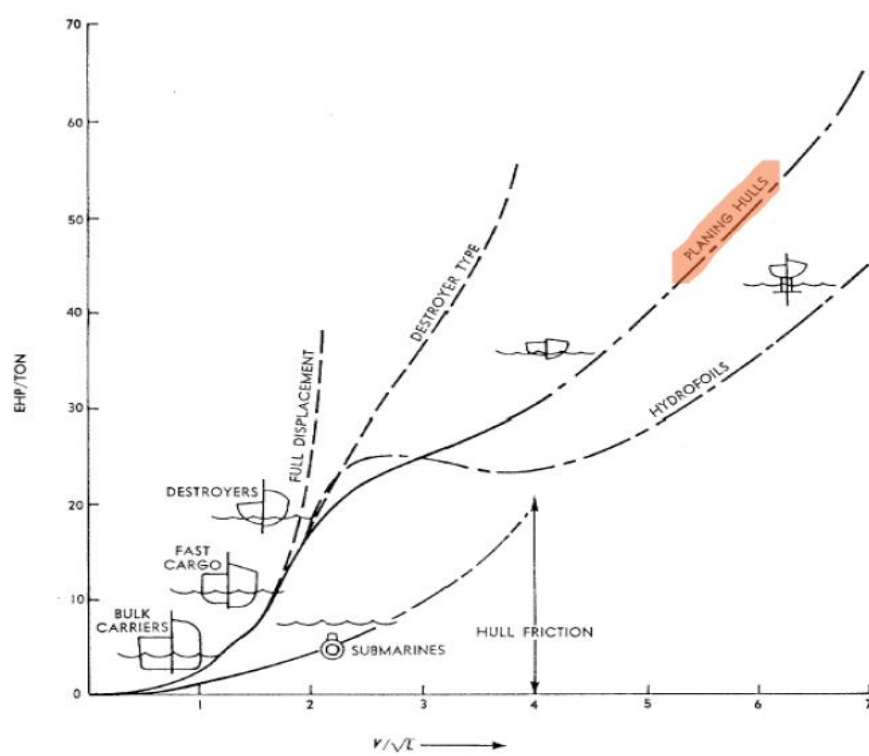
Η λογική πίσω από τη συγκεκριμένη προσέγγιση είναι η επίτευξη σημαντικά καλύτερων ιδιοτήτων για το νέο υλικό, σε σχέση με εκείνες των μερών από τα οποία αποτελείται. Πιο συγκεκριμένα, οι ίνες είναι αυτές που προσφέρουν αυξημένη αντοχή και δυσκαμψία, λόγω της ευθυγράμμισης της κρυσταλλικής δομής με τον άξονά τους κατά τη διαδικασία παραγωγής. Επειδή όμως -ως νήματα που είναι- η μόνη φόρτιση στην οποία μπορούν να αντισταθούν είναι η εφελκυστική, χρησιμοποιείται η ρητίνη ως συνδετικό υλικό, προσφέροντας στις ίνες σταθεροποίηση, υποστήριξη έναντι θλιπτικών φορτίων, προστασία από φθορά, αλλά και μεταφορά των φορτίων σε περίπτωση θραύσης κάποιας εξ αυτών.

Στη ναυπηγική γίνεται χρήση των λεγόμενων πολύστρωτων (laminates), που αποτελούνται από υπέρθεση αλληπάλληλων στρώσεων ινωδών συνθέτων υλικών¹⁵, με την ιδιαίτερη σημασία που αναφέρθηκε ότι έχουν για τα ταχύπλοα σκάφη να εστιάζεται στο γεγονός ότι είναι εξαιρετικά «ελαφρά υλικά» (lightweight materials). Τέτοιου είδους υλικά μειώνουν το βάρος ενός πλοίου δεδομένου μεγέθους, επιτρέποντας την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων λειτουργίας.

¹⁵ Πρόκειται για δύο, τουλάχιστον, στρώσεις είτε του ίδιου συνθέτου υλικού με διαφορετικό προσανατολισμό ινών είτε για διαφορετικά σύνθετα υλικά.

Όσον αφορά στο σκάφος της διπλωματικής εργασίας, αυτό είναι ταχύπλοο· στις υψηλές, μάλιστα, ταχύτητες λειτουργεί ως ολισθακάτος. Για τη σχεδιάσή του, επομένως, καίριο μέγεθος αποτελεί το εκτόπισμά του¹⁶: Με δεδομένο, τώρα, ότι ο λόγος $\frac{R_T}{\Delta}$ παίρνει σε ολισθακάτους τιμές έως και 30%, βασική επιδίωξη για τα σκάφη αυτά είναι προφανώς η επίτευξη μειωμένου βάρους, ώστε να μπορεί να υπερνικηθεί η αντίστασή του, κινούμενη σε λογικά εύρη.

Προς επίρρωση των παραπάνω, παρατίθεται στο σημείο αυτό το παρακάτω σχετικό διάγραμμα, συνοδευόμενο συνοπτικά από την αντίστοιχη θεωρητική ανάλυση:



Εικόνα 39: Ισχύς ρυμούλκησης ανά τόνο εκτοπίσματος συναρτήσει του λόγου ταχύτητας- μήκους, για διαφόρους τύπους πλοίων [3]

¹⁶ Η μέθοδος εκτίμησης αντίστασης ολισθακάτων -κατά Savitsky- αναδεικνύει το εκτόπισμα ως τη βασική παράμετρο σχεδίασης τέτοιων σκαφών.

Η Εικόνα 39 αποτελεί αποτύπωση μιας εκδοχής της ολικής αντίστασης διαφόρων τύπων πλοίου συναρτήσει μιας έκφρασης της ταχύτητάς τους. Η μεν πρώτη αναπαρίσταται υπό τη μορφή της ισχύος ρυμούλκησης ανά τόνο εκτοπίσματος:

$$\frac{EHP}{ton_displ} = \frac{R * V}{ton_displ} ,$$

η δε δεύτερη υπό τη μορφή του διαστατού αριθμού Froude (ή «λόγου ταχύτητας-μήκους»)¹⁷:

$$\frac{V(kn)}{\sqrt{L(feet)}}$$

Μια μη γραμμική μορφολογική εικόνα, χαρακτηριστική για κάθε τύπο πλοίου, παρατηρείται στο παραπάνω διάγραμμα. Σημειώνεται επίσης ότι η μορφή των αντίστοιχων «κλασικών» καμπυλών αντίστασης ($R_T - V_s$) είναι παρόμοια με αυτήν του διαγράμματος, μιας και τα εμπλεκόμενα μεγέθη προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των παραπάνω εναλλακτικών εκφάνσεών τους με σταθερούς συντελεστές. Χαρακτηριστικά, ισχύει μεταξύ αδιάστατου και διαστατού αριθμού Fr :

$$Fr \simeq 0.2947 \frac{V(kn)}{\sqrt{L(feet)}} \quad [3]$$

Για τις ολισθακάτους γίνεται φανερό ότι ο λόγος $\frac{EHP}{ton_displ}$ παίρνει μεγάλες τιμές για υψηλούς αριθμούς $\frac{V(kn)}{\sqrt{L(feet)}}$ (αντιστοιχούντες σε αδιάστατους αριθμούς Fr μεγαλύτερους της μονάδας).

Δικαιολογείται, λοιπόν, η θέση που αναφέρθηκε παραπάνω, σύμφωνα με την οποία στη σχεδίαση τέτοιων σκαφών (όπως του ταχυπλόου της διπλωματικής εργασίας) καίρια είναι η ελαχιστοποίηση του εκτοπίσματος, κάτι που ξεκινά από μια κατά το δυνατόν ελαφρά γάστρα και υπερκατασκευή.

Ακριβώς τη συγκεκριμένη ανάγκη εξυπηρετούν τα σύνθετα υλικά πολύ αποτελεσματικότερα των υπολοίπων, εξαιτίας της δυνατότητας κατάλληλης επιλογής ειδών και περιεκτικότητας των συνιστώντων τους μερών, όσο και προσαρμογής του προσανατολισμού της διεύθυνσης των ινών-ανάλογα με την κατά τόπους αναπτυσσόμενη φόρτιση [33].

¹⁷ 1 kn= 0.5144 m/s , 1 ft= 0.3048 m

Με δεδομένο ότι στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται η αρχική σχεδίαση ενός ταχυπλόου σκάφους αναψυχής, δεν πραγματοποιείται δομικός σχεδιασμός αυτού (structural design)¹⁸ · η εκτίμηση του πάχους γίνεται με τη βοήθεια συνήθων τιμών για αντίστοιχα σκάφη. Ωστόσο, χάριν πληρότητας αναφέρονται στην πορεία ενδεικτικά ορισμένα σύνθετα υλικά (είδος ρητίνης και ινών, αριθμός και ακολουθία στρώσεων) που επιτρέπουν την επίτευξη των εκάστοτε υποτεθέντων παχών, αποδεικνύοντας την εφικτότητα της συγκεκριμένης σχεδίασης.

5.1.1.2 Παρουσίαση πολύστρωτων των διαφόρων περιοχών του σκάφους

Διαφορετικές περιοχές του σκάφους υφίστανται -όπως προαναφέρθηκε- διαφορετικές φορτίσεις, με αποτέλεσμα για τη γυμνή γάστρα να υποτίθενται ξεχωριστά τα πάχη του πυθμένα, του καθρέπτη της πρύμνης και των πλευρών του ταχυπλόου σκάφους. Έτσι -με βάση συνήθειες περιοχές τιμών παρομοίων σκαφών- θεωρούνται:

$$t_{bottom} = 25mm$$

$$t_{transom} = 30mm$$

$$t_{side} = 15mm$$

Ακολουθεί προσδιορισμός πολύστρωτου που οδηγεί σε πάχος πυθμένα ίσο με 25 mm -για τις υπόλοιπες περιοχές του σκάφους χρησιμοποιούνται οι ίδιοι τύποι, επομένως παρατίθενται γι' αυτές μόνον τα τελικά πάχη, μαζί με τον εκάστοτε αριθμό των χρησιμοποιούμενων στρώσεων.

¹⁸ structural design: πολύπλοκη και απαιτητική διαδικασία διαστασιολόγησης των κατασκευαστικών στοιχείων ενός σκάφους υπό δεδομένη φόρτιση. Συνίσταται στον υπολογισμό των υδροστατικών και την εκτίμηση -βάσει εμπειρικών τύπων- των υδροδυναμικών φορτίων των διαφόρων περιοχών της γάστρας ενός ταχυπλόου. Απαραίτητος είναι ο υπολογισμός των διαφόρων κατακορύφων επιταχύνσεων και ο προσδιορισμός των εκάστοτε επιφανειών σχεδιασμού (καθορισμένες ισαποστάσεις πλακών και ενισχυτικών), προς επιλογήν υλικών, προσδιορισμό ακολουθίας στρώσεων και αναλυτική διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων για δεδομένο συντελεστή ασφαλείας. [28]

Έστω πολύστρωτο αποτελούμενο από εναλλασσόμενες στρώσεις CSM¹⁹ και WR²⁰ από γυαλί τύπου “Ε”²¹ και εποξική ρητίνη²²:

$$\rho_F = 2.55 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_R = 1.20 \text{ g/cm}^3$$

Υποτίθενται, επίσης, [33]:

$$CSM: 450 \text{ g/m}^2, W_f = 30\%$$

$$WR: 800 \text{ g/m}^2, W_f = 50\%$$

Το πάχος μίας στρώσης πολύστρωτου υλικού προσδιορίζεται από τον αντίστοιχο κανονισμό του Νορβηγικού Νηογνώμονα (“DNV”, Det Norske Veritas):

$$t = \frac{M * \left[\frac{1}{\rho_f} + \frac{1 - W_f}{W_f * \rho_R} \right]}{1000} \quad [33],$$

όπου

t: το πάχος της στρώσης, σε mm

M: το επιφανειακό βάρος των ενισχυτικών ινών της στρώσης, σε g/m²

W_f: η κατά βάρος περιεκτικότητα της στρώσης σε ίνες, σε δεκαδική μορφή

ρ_R: η πυκνότητα της στερεοποιημένης ρητίνης, σε g/cm³

ρ_F: η πυκνότητα των ενισχυτικών ινών, σε g/cm³

¹⁹ Chopped Strand Mat, CSM -Υαλοπίλημα: «χαλαρό ύφασμα» τυχαίου προσανατολισμού πολλών ινών, με μακροσκοπική συμπεριφορά ιστροπικού υλικού [28].

²⁰ Woven Roving, WR -Υαλούφασμα: «αραιοπλεγμένο, τραχύ και χοντροκομμένο ύφασμα» που αποτελείται από δέσμες νημάτων πλεγμένες κάθετα μεταξύ τους. Διαθέτει, προφανώς, υψηλότερη αντοχή από το CSM [28]. Σημειώνεται ότι στο ταχύπλοο της διπλωματικής εργασίας οι στρώσεις WR έχουν τις ίνες τους προσανατολισμένες παράλληλα και κάθετα προς τη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση του σκάφους.

²¹ Γυαλί τύπου “Ε”: Ο μακράν συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος -στις ναυπηγικές κατασκευές- τύπος ινών. Οι ίνες γυαλιού (“glass fibers”) διαθέτουν υψηλή αντοχή, χαμηλή δυσκαμψία, αλλά και περιορισμένο κόστος [28].

²² Εποξική ρητίνη: Είδος ρητίνης που χρησιμοποιείται κυρίως σε σκάφη υψηλών απαιτήσεων, εξαιτίας του σημαντικού κόστους της. Διαθέτει καλές μηχανικές ιδιότητες και αντίσταση στο νερό, υπάρχει σε πολλές παραλλαγές και αποτελεί ένα από τα αποτελεσματικότερα είδη κολλητικών ουσιών [28].

Έτσι, βάσει των παραπάνω υποτεθέντων τιμών, προκύπτει:

$$t_{CSM} = 1.05 \text{ mm}$$

$$t_{WR} = 0.98 \text{ mm}$$

για τα πάχη μίας στρώσης CSM και μίας στρώσης WR αντίστοιχα²³.

Έστω, τώρα, πολύστρωτο με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, αποτελούμενο από δώδεκα στρώσεις WR και δεκατρείς στρώσεις CSM. Τότε ισχύει:

$$\rho_{στρώσης} = \frac{1}{\frac{W_f}{\rho_f} + \frac{W_r}{\rho_r}}$$

για την πυκνότητα μιας στρώσης.

Επομένως, αντικαθιστώντας τις αντίστοιχες τιμές, προκύπτει:

$$\rho_{CSM} = 1.427 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{WR} = 1.632 \text{ g/cm}^3$$

για την πυκνότητα μιας στρώσης CSM και μιας στρώσης WR αντίστοιχα.

Ισχύει, προφανώς, για την πυκνότητα του πολύστρωτου (laminate) συνολικά:

$$\rho_{lam.} = \frac{a * t_{CSM} * \rho_{CSM} + b * t_{WR} * \rho_{WR}}{t_{CSM} + t_{WR}},$$

όπου a και b ο αριθμός των στρώσεων CSM και WR αντίστοιχα.

²³ Τα πάχη αυτά (στρώσης CSM και στρώσης WR) είναι κοινά για όλα τα μετέπειτα πολύστρωτα των διαφόρων περιοχών του σκάφους, μιας και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά αυτών δεν μεταβάλλονται - αλλάζει μόνον ο εκάστοτε χρησιμοποιούμενος αριθμός των στρώσεων.

Προκύπτει έτσι:

$$\rho_{lam.} = 1.522 \text{ g/cm}^3,$$

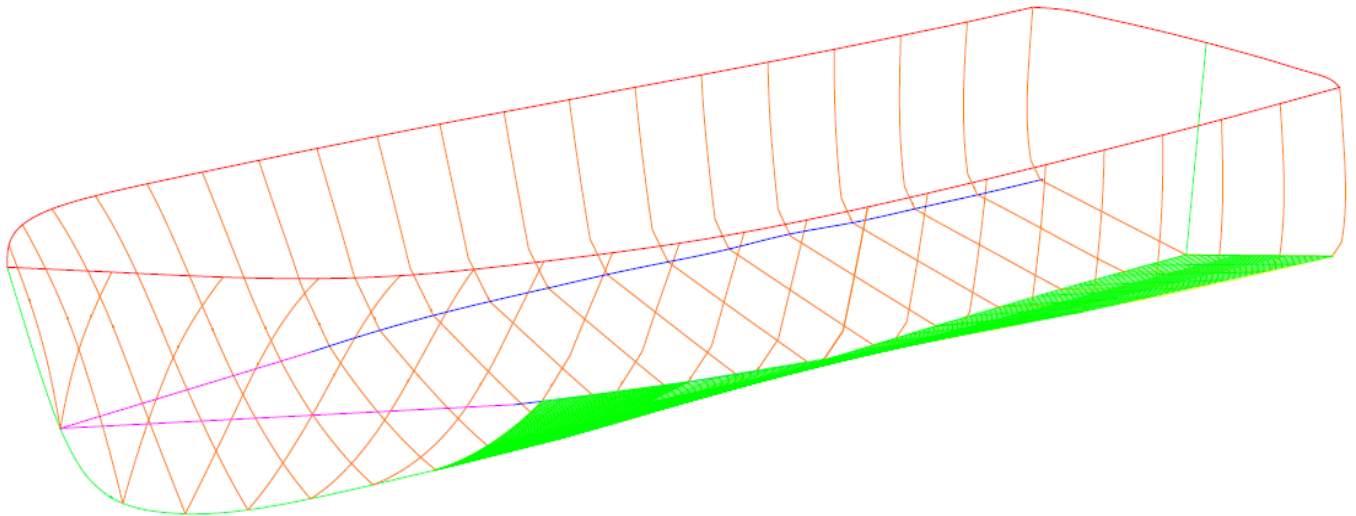
ενώ για το συνολικό πάχος του πολύστρωτου, t_{lam} :

$$t_{lam} = a * t_{CSM} + b * t_{WR} \simeq 25mm$$

Το παραπάνω, λοιπόν, πολύστρωτο εξυπηρετεί το πάχος των 25 mm που υποτέθηκε σε προηγούμενο στάδιο για τον πυθμένα. Διαθέτοντας, πλέον, πάχος και πυκνότητα για την περιοχή του πυθμένα του ταχυπλόου σκάφους, μένει να προσδιοριστεί η αντίστοιχη επιφάνεια της γάστρας, διαδικασία η οποία είναι ανάλογη με αυτήν που περιγράφηκε στην αρχή του κεφαλαίου και αφορά στις εντολές “break” και “loft” του προγράμματος Autocad.

Σημειώνεται ότι ως εμπλεκόμενη επιφάνεια εδώ θεωρείται αυτή που «απλώνεται» χαμηλά από την τρόπιδα του σκάφους και εκατέρωθεν αυτής έως την κάτω ακμή του. (Η τελευταία εκτείνεται περίπου στο εβδομήντα τοις εκατό του μήκους της γάστρας· για το πρωαίο κομμάτι θεωρήθηκε περιοχή που οριοθετείται από καμπύλη προσομοιάζουσα στη μορφή της κάτω ακμής).

Παρατίθεται, ακολούθως, χαρακτηριστικό στιγμιότυπο που ελήφθη σε ενδιάμεσο στάδιο της παραπάνω διαδικασίας:



Εικόνα 40: Διαδικασία προσδιορισμού του ημίσεος της επιφάνειας πυθμένα της γάστρας

Επομένως, για το βάρος του πυθμένα ισχύει, τελικά:

$$W_{bottom} = \rho_{bottom} * t_{bottom} * A_{bottom} \simeq 1027.35 \text{ kg}$$

Η μεθοδολογία που περιγράφηκε εκτενώς για τον πυθμένα εφαρμόζεται, όμοια, για τις υπόλοιπες περιοχές της γάστρας (καθρέπτης, πλευρές), όσο και για τις φρακτές, το παραπέτο, την υπερκατασκευή και τα καταστρώματα του σκάφους. Διαφοροποίηση εντοπίζεται μόνον στον τελικό αριθμό στρώσεων (και άρα παχών) των διαφόρων περιοχών και στη διαδικασία προσδιορισμού των εκάστοτε επιφανειών -αυτή είναι σημαντικά απλουστευμένη στην περίπτωση των φρακτών, των καταστρωμάτων και της υπερκατασκευής, όπου τα σχήματα είναι επίπεδα ή προσεγγίζονται ικανοποιητικά ως τέτοια.

Σημειώνεται, επίσης, πως για τα παράθυρα του ταχυπλόου σκάφους χρησιμοποιείται σκληρυμένο «μονολιθικό» γυαλί (tempered monolithic glass). Πρόκειται για τύπο γυαλιού ασφαλείας [34] που αποτελείται από ένα, μόνον, φύλλο και έχει υποστεί κατάλληλη σκλήρυνση²⁴. Τα επιλεγέντα πάχη των παραθύρων υπερβαίνουν τα ελάχιστα επιτρεπόμενα από τους κανονισμούς [35], διαφοροποιούμενα ανάλογα με τη θέση τους (τα μπροστινά παράθυρα είναι προφανώς μεγαλύτερου πάχους από τα πλαϊνά, καθώς οι απαιτήσεις εκεί είναι μεγαλύτερες).

Επισημαίνεται, ακόμη, πως η υπερκατασκευή είναι κατασκευασμένη από το ίδιο είδος πολύστρωτου με αυτό που χρησιμοποιήθηκε για τη γάστρα.

Προκύπτουν, έτσι, οι ακόλουθοι δύο πίνακες, ο οποίοι συνοψίζουν τα -απαραίτητα για την εκτίμηση του κάθε βάρους- χαρακτηριστικά των διαφόρων συνιστώντων μερών που αφορούν στις κατηγορίες “Hull & Decks” και “Superstructure” αντίστοιχα, του Πίνακα 6 που προηγήθηκε:

Πίνακας 7: Βάρη συνιστωσών της κατηγορίας «Hull & Decks»

HULL & DECKS							
						Laminate	
	Area (m ²)	Thickness (m)	Volume (m ³)	Density (kg/m ³)	Weight (kg)	Number of CSM plies	Number of WR plies
Bottom	27	0.025	0.675	1522	1027.35	13	12
Transom	4	0.025	0.1	1522	152.20	15	14
Side	29	0.015	0.435	1540	669.90	8	7
Bulwark	6	0.015	0.09	1540	138.60	8	7
Lower Deck	27	0.018	0.486	1520	738.72	9	8
Sun Deck	35.5	0.015	0.5325	1540	820.05	8	7
				SUM	3546.82		

²⁴ Σκλήρυνση: διαδικασία επεξεργασίας υλικού (εδώ γυαλιού) προς επίτευξη σημαντικά μεγαλύτερης σκληρότητας και αντοχής, χαρακτηριστικά που επιτυγχάνονται μέσω θέρμανσης του υλικού σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ακολουθούμενης από απότομη ψύξη του [31].

Πίνακας 8: Βάρη συνιστωσών της κατηγορίας «Superstructure»

SUPERSTRUCTURE							
						Laminate	
	Area (m ²)	Thickness (m)	Volume (m ³)	Density (kg/m ³)	Weight (kg)	number of CSM plies	number of WR plies
Top	10.8	0.015	0.162	1540	249.5	8	7
Sides	6.85	0.012	0.082	1542	126.8	7	6
Front Window	2.2	0.015	0.033	2500	82.5		
Side Windows	6.5	0.012	0.078	2500	195.0		
Bulkhead	1.8	0.015	0.027	1540	41.6	8	7
				SUM	695.3		

Δύο επιπρόσθετες σημειώσεις σχετικά με τους παραπάνω πίνακες που χρήζουν αναφοράς στο σημείο αυτό είναι οι εξής:

- 1) Η πυκνότητα του «μονολιθικού» σκληρυμένου γυαλιού ελήφθη ίση με 2500 kg/m³, δηλαδή όσο μια συνήθης τιμή μη επεξεργασμένου γυαλιού, μιας και η σκλήρυνση είναι διαδικασία που επεμβαίνει στις μηχανικές και όχι στις χημικές ιδιότητες του υλικού, όπως είναι η πυκνότητά του [36].
- 2) Για το κατώτερο κατάστρωμα θεωρήθηκε πάχος λίγο μεγαλύτερο από αυτό του εξωτερικού καταστρώματος, εξαιτίας της ιδιαίτερης σημασίας που έχει το πρώτο για την εξασφάλιση επαρκούς αντοχής αλλά και διατήρηση της στεγανότητας του σκάφους. (Το δεύτερο δεν υποβάλλεται σε εξίσου ισχυρά φορτία· σχεδιάζεται, λοιπόν, ελαφρύτερο για λόγους βελτιστοποίησης βάρους).

5.2 Έλεγχος εκτοπίσματος και υπολογισμός διαγωγής του σκάφους

Βασικός σκοπός της δημιουργίας του Πίνακα 6 είναι ο έλεγχος του κατά πόσον η προηγηθείσα Γενική Διάταξη του ταχυπλόου σκάφους της διπλωματικής εργασίας οδηγεί σε εκτόπισμα παραπλήσιο με το αρχικό -αυτό υπενθυμίζεται ότι εξήχθη με επιβολή μεθόδου ομοιότητας Froude μεταξύ πειραματικού μοντέλου εργαστηρίου και ταχυπλόου υπό σχεδίαση. Διερευνάται, δηλαδή, η απόκλιση θεωρητικού και πραγματικού εκτοπίσματος. Είναι -από πριν- γνωστό ότι:

$$\Delta_{\theta\epsilon\omega\rho.} = 9319 \text{ kg}$$

και προκύπτει τώρα ότι:

$$\Delta_{\gamma\epsilon\nu.\delta\iota\acute{\alpha}\tau.} = 8867 \text{ kg}$$

$$(\Delta_{\gamma\epsilon\nu.\delta\iota\acute{\alpha}\tau.} < \Delta_{\theta\epsilon\omega\rho.})$$

Η ποσοστιαία απόκλιση των δύο εκτοπισμάτων ανέρχεται στο 4.85%²⁵· ούσα μικρότερη του 5% κρίνεται, λοιπόν, αποδεκτή.

Δεύτερο και εξίσου βασικό σκοπό της εξαγωγής του Πίνακα 6 αποτελεί ο υπολογισμός της στατικής²⁵ διαγωγής του σκάφους στην κατάσταση φόρτωσης που μελετάται ($C_{dl} = 7.00$).

Ως γνωστόν, η γωνία διαμήκους κλίσης ή διαγωγής (angle of trim) -συμβολιζόμενη με “ θ ”-, αφορά σε στροφές περί άξονα παράλληλο προς τον εγκάρσιο του σκάφους. Δεχόμενοι, τώρα, την ισχύ της θεωρίας των μικρών μεταβολών²⁶ στην περιοχή της εξεταζόμενης ισάλου -λογική υπόθεση, μιας και αυτή βρίσκεται πάνω και από την άνω ακμή της γάστρας- η γωνία διαγωγής υπολογίζεται ως εξής:

²⁵ Γίνεται διευκρίνιση ότι εδώ υπολογίζεται η γωνία στατικής διαγωγής (που αφορά στα βυθίσματα για συγκεκριμένη φόρτωση), διότι για ταχύπλοα σκάφη υπάρχει και αυτή της δυναμικής διαγωγής (εμφανιζόμενη εξαιτίας των θετικών υδροδυναμικών πιέσεων που αναπτύσσονται στον πυθμένα, όταν το ταχύπλοο οδηγηθεί σε ταχύτητες πέραν εκείνων για τις οποίες συμπεριφέρεται ως γάστρα εκτοπίσματος).

²⁶ Θεωρία μικρών μεταβολών: βασική μεθοδολογία ασφαλούς προσέγγισης της τελικής λύσης του γενικού υδροστατικού προβλήματος, με βασικό πλεονέκτημα τον «συσχετισμό των διαφορικών μεταβολών του κέντρου άντωσης με τις γεωμετρικές ιδιότητες της αρχικής ισάλου πλεύσης» [11]. Η προϋπόθεση ισχύος της είναι η βασική γεωμετρική συνθήκη σύμφωνα με την οποία «η προβολή της ισάλου πλεύσης στο βασικό επίπεδο αναφοράς Oxy του σωματοπαγούς συστήματος παραμένει σταθερή όταν μεταβάλλονται οι βασικές παράμετροι που ορίζουν την ίσαλο πλεύσης κατά δT , $\delta \varphi$, $\delta \theta$ » [11], όπου φ η γωνία εγκάρσιας κλίσης του σκάφους.

$$\tan\theta = \frac{M_{yz}^G - M_{yz}^B}{\gamma I_{yy}^F} = \frac{\Delta(x_G - x_B)}{\gamma I_{yy}^F} = \frac{\Delta(x_G - x_B)}{MT1 L}$$

Όμως, τα μεγέθη $MT1$ και x_B είναι γνωστά για την κατάσταση που μελετάται ($C_{dl} = 7.00$, $T_{Cdl=7.00} = 0.639m$) και έχουν προκύψει από τους αντίστοιχους υδροστατικούς υπολογισμούς του προγράμματος “hydro” που αναφέρθηκε σε προηγούμενο στάδιο της διπλωματικής εργασίας. Το σχετικό στιγμιότυπο οθόνης παρατίθεται εκ νέου:

***** HYDROSTATICS *****

DRAFT	AREA	LCF	IMM.VOL.	DISPL.	I TRANS.	I LONG.	LCB	BM	KB	W.S.	BML
0.639	24.9	-1.258	8.773	8.992	15.9	172.3	-1.372	1.815	0.432	28.9	19.6
DRAFT	TP1	MCT1	CH.DISPL.	CB	CWP	CM	CP	CB*	CWP*	CM*	CP*
0.639	0.256	0.163	-2.977	0.46126	0.83811	0.54517	0.84609	0.34974	0.63548	0.41715	0.83840

Εικόνα 41: Τα μεγέθη LCB (x_B) και MCT1 ως δεδομένα εξόδου του προγράμματος “hydro”

Σημειώνεται ότι η διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης (LCB) δίνεται από το πρόγραμμα ως απόσταση από τον μέσο νομέα του σκάφους. Ωστόσο, δεδομένου ότι το σύστημα αξόνων για το υπό σχεδίαση ταχύπλοο ορίστηκε στην αρχή της διπλωματικής εργασίας να βρίσκεται στην τομή του ακραίου πρυμναίου νομέα με το βασικό επίπεδο αναφοράς, προκύπτει τελικά (μετρώντας τις αντίστοιχες αποστάσεις στο περιβάλλον Autocad):

$$LCB = 4.122 m$$

και για το μέγεθος $MT1$ (ροπή διαγωγής ανά μονάδα διαφοράς βυθισμάτων) είναι:

$$MT1 = MCT1 * 100 = 16.3 t$$

Με τη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους πλέον γνωστή (από την εκτίμηση της κατανομής βαρών που προηγήθηκε, $x_G = 4.023 m$), προκύπτει και η τιμή της γωνίας διαμήκους κλίσης:

$$\tan\theta \simeq 0.005 \Rightarrow \theta \simeq 0.28^\circ$$

Η γωνία στατικής διαγωγής, λοιπόν, ούσα μικρότερη από μισή μοίρα, καθιστά αποδεκτές τη Γενική Διάταξη που παρουσιάστηκε παραπάνω και τη συνεπακόλουθη κατανομή βαρών (για $C_{dl} = 7.00$)· το ταχύπλοο σκάφος της διπλωματικής εργασίας είναι, λοιπόν, σε κατάσταση ηρεμίας σχεδόν ισοβύθιστο.

Προκειμένου, όμως, οι παραπάνω υπολογισθείσες τιμές να γίνουν πραγματικά αποδεκτές, πρέπει να ακολουθήσουν γι' αυτές οι εξής δύο επισημάνσεις που αφορούν σε παραδοχές που έγιναν στην αρχή της διπλωματικής εργασίας και επηρεάζουν τα αποτελέσματα αυτής της παραγράφου:

1) Στην αρχική φάση της σχεδίασης, προκειμένου να εξαχθεί η αντίσταση του ταχυπλόου σκάφους στις υψηλές ταχύτητες, έγινε χρήση της μεθόδου Savitsky, όπως παρουσιάστηκε διεξοδικά στο αντίστοιχο εδάφιο. Βασική παράμετρο εισόδου, όμως, για τη μέθοδο αυτή αποτελεί η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους (LCG) του σκάφους, η οποία και υποτέθηκε τότε απέχουσα 35% του μήκους ισάλου από τον καθρέπτη της πρύμνης²⁷, δηλαδή:

$$LCG = 0.35 L_{WL} = 0.35 * 10.904 = 3.816m$$

Με δεδομένο ότι η απόκλιση μεταξύ υποτεθέντος και πραγματικού LCG είναι μικρή ($4.023 - 3.816 = 0.207 m$), θεωρείται ότι και τα προκύπτοντα εξ αυτών μεγέθη έχουν επίσης μικρή διαφορά, μη μεταβάλλοντας σημαντικά τα τελικά αποτελέσματα. Για την επιβεβαίωση των παραπάνω, πραγματοποιείται εκ νέου υπολογισμός της αντίστασης του σκάφους για τη μέγιστη επιτεύξιμη ταχύτητά του, $V_{max} = 35 kn$ · αυτή τη φορά με το «σωστό» LCG .

Ακολουθεί χαρακτηριστικό στιγμιότυπο οθόνης των σχετικών δεδομένων εξόδου του προγράμματος “SAV.exe”:

²⁷ Η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους σε κάθε κατάσταση φόρτωσης προσδιορίζεται από την εκάστοτε κατανομή βαρών του σκάφους. Επειδή αυτή έπεται του προσδιορισμού της καμπύλης αντίστασης, έγινε -για την εξαγωγή, τότε, της δεύτερης-η υπόθεση ότι $LCG = 35\% L_{WL}$. Πρόκειται για μια λογική τιμή που βάσει εμπειρίας οδηγεί σε μικρές γωνίες δυναμικής διαγωγής, καλή ευστάθεια και άνωση, επομένως σε γενικά ισορροπημένη λειτουργία του ταχυπλόου σκάφους.

```

Given data ....
Displacement ..... 9319.40 Kp
Planform Breadth ..... 3.600 m
LCG (fwd of transom) ..... 4.023 m
Deadrise angle ..... 20.000 deg

Point No 1      V [kn] = 35.00
Cv   =  3.032305      Clb =  0.042352
Lamda =  1.589212      Clo =  0.068338      trim =  3.536208
Vm   =  17.808603      Re =  0.8574E+08      Cf   =  0.002117
Fv   =  3.982982      M   =  0.984186

Frictional Resistance =  771.36 Kp      Bare Hull Resistance =  1347.27 Kp
Savitsky EHP          =  323.65 HP      Modified Savitsky EHP =  318.53 HP

```

Εικόνα 42: Τα νέα μεγέθη R_T (“Bare Hull Resistance”) και EHP (“Modified Savitsky EHP”) ως δεδομένα εξόδου του προγράμματος “SAV.exe”

Πράγματι, η ποσοστιαία απόκλιση των νέων από τα παλιά μεγέθη, τόσο για την αντίσταση R_T , όσο -προφανώς- και για την ισχύ EHP , ανέρχεται, περίπου, σε 2% :

$$\% \text{ Deviation} = \frac{R'_T - R_T}{R_T} = \frac{EHP' - EHP}{EHP} \simeq 2\%$$

Έτσι, η νέα ισχύς SHP' -θεωρώντας τιμή για τον Συντελεστή Πρόωσης $P.C.$ ίδια με την αρχικώς υποθεθείσα- ισούται με:

$$SHP' = \frac{EHP'}{0.60} \simeq 531 \text{ hp}$$

Η διατήρηση, λοιπόν, για το σκάφος, της προηγηθείσας επιλογής μηχανών (δίδυμες εξωλέμβιες τύπου Mercury 300R), κρίνεται αποτελεσματική, μιας και εξακολουθεί να υφίσταται επαρκές περιθώριο ισχύος:

$$\text{Engine Power Margin' (\%)} = \frac{SHP'_{avail.} - SHP_{V_{max}}}{SHP'_{avail.}} * 100 \simeq 11.5\%$$

Όσον αφορά, δε, στην επίδραση της μεταβολής της διαμήκους θέσης του κέντρου βάρους του ταχυπλόου στους υδροστατικούς υπολογισμούς -που επίσης προηγήθηκαν της Γενικής Διάταξης- τονίζεται ότι τέτοια δεν υφίσταται. Αυτό συμβαίνει διότι το υδροστατικό διάγραμμα (ουσιαστικά σημεία αυτού υπολογίζει το χρησιμοποιηθέν “hydro.exe”) είναι συνάρτηση αποκλειστικά της εξωτερικής γεωμετρίας του σκάφους και, επομένως, παντελώς ανεξάρτητο της κατανομής βαρών του.

2) Η δεύτερη παρατήρηση που γίνεται αφορά στη γωνία στατικής διαγωγής, για την οποία υπολογίστηκε: $\theta \simeq 0.28^\circ$. Είναι γνωστό ότι το υδροστατικό διάγραμμα κατασκευάζεται για μια συγκεκριμένη διαγωγή, με τη συνήθη κατάσταση για την οποία αυτό υπολογίζεται να είναι η ισοβύθιστη, πράγμα που ισχύει και για το χρησιμοποιηθέν πρόγραμμα “hydro.exe”, όπως φαίνεται και στο χαρακτηριστικό στιγμιότυπο οθόνης που ακολουθεί:

```
SPECIFIC GRAVITY OF WATER = 1.025 METRICTONNES/METER 3
SHELL PLATE THICKNESS = 0.000 METER
CALCULATIONS ARE PERFORMED FOR 1 ANGLES AND 1 DRAFTS
TRIMMING ANGLE IS 0.0000 (DEG.)

LIST OF UNITS USED FOR THE RESULTS
DISTANCES ,AREAS ETC. : METER
DISPLACEMENT : METRICTONNES
MOMENTS : METRICTONNES*METER
```

Εικόνα 43: Οι προηγούμενες υδροστατικοί υπολογισμοί αφορούν σε ισοβύθιστη κατάσταση

Το γεγονός ότι η κατανομή βαρών που προέκυψε στην πορεία της διπλωματικής εργασίας οδηγεί σε γωνία στατικής διαγωγής αρκετά μικρότερη της μίας μοίρας (περίπου, μάλιστα, στο ένα τέταρτο αυτής), καθιστά αποδεκτή τη θεώρηση της μελετούμενης κατάστασης ως σχεδόν ισοβύθιστης, επιτρέποντας έτσι τη διατήρηση των αρχικών υδροστατικών υπολογισμών.

Με τις παραπάνω παρατηρήσεις ολοκληρώνεται το κυρίως κομμάτι της διπλωματικής εργασίας. Απομένει η εκλογή κατάλληλης έλικας και ο έλεγχος αυτής σε συνθήκες σπηλαίωσης, όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στην Ενότητα 6 που ακολουθεί.

6 Εκλογή έλικας για το ταχύπλοο σκάφος

6.1 Εισαγωγή στα συστήματα πρόωσης

Παρά την εμφάνιση διαφόρων εναλλακτικών επιλογών τα τελευταία χρόνια -π.χ. συστήματα υδραυλικής αντίδρασης, “waterjets”²⁸- η ναυτική έλικα εξακολουθεί σήμερα να αποτελεί το κυρίαρχο προωστήριο μέσο για τους διαφόρους τύπους σκαφών και πλοίων σχεδόν όλων των μεγεθών²⁹. Η αιτία έγκειται σε έναν συνδυασμό παραγόντων· ως προωστήριο μέσο η έλικα έχει χαμηλό κόστος και ικανοποιητική απόδοση, ενώ δεν είναι επιρρεπής σε ζημιές -με την προϋπόθεση, φυσικά, ότι σχεδιάζεται και χρησιμοποιείται καταλλήλως. Μάλιστα, εξακολουθεί να συμπεριφέρεται παραδεκτά ακόμη κι όταν η επιλογή της δεν είναι η βέλτιστη, αλλά και όταν οι συνθήκες υπό τις οποίες καλείται να λειτουργήσει μεταβάλλονται ή και χειροτερεύουν. Έτσι, εμφανίζει παραδεκτή απόδοση σε διαφορετικές καταστάσεις εκτοπίσματος (πλήρης φόρτος έως κατάσταση ερματισμού), αντίστασης (κακές καιρικές συνθήκες, ρυπασμένη γάστρα) και ταχύτητας [9].

Όπως, λοιπόν, τα περισσότερα σκάφη, έτσι και τα ταχύπλοα χρησιμοποιούν κυρίαρχα την έλικα ως προωστήριο μέσο. Ωστόσο, υπάρχει εδώ η εξής ιδιαιτερότητα: εξαιτίας του συνδυασμού υψηλών ταχυτήτων σχεδίασης και χαμηλών εκτοπισμάτων τέτοιων σκαφών, απαιτούνται γι’ αυτά εξαιρετικά μεγάλες ισχύες σε κατά το δυνατόν περιορισμένο χώρο.

Οι ιδιαίτερα μεγάλες ταχύτητες επί του πτερυγίου της έλικας³⁰ είναι εκείνες που εισάγουν δυναμικότητα -στο πρόβλημα της επιλογής της για ταχύπλοα- την παράμετρο της σπηλαίωσης, μιας και το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται σε περιοχές ροής με μεγάλες ταχύτητες ρευστού που συνεπάγονται μικρές πιέσεις, πλήττοντας το σύστημα έλικα-σκάφος με τέσσερις τρόπους: διάβρωση, εκπομπή θορύβου, διέγερση σε κραδασμούς, απώλεια ώσης [3].

²⁸ Η αρχή λειτουργίας των “waterjets” βασίζεται την εισροή νερού στον πυθμένα του σκάφους, επιτάχυνσή του με τη βοήθεια περρωτής αντλίας, και εκτόνωση, τελικά, στην πρόμνη, μέσω ενός ακροφυσίου στην ατμόσφαιρα [1].

²⁹ Μία από τις λίγες εξαιρέσεις αποτελούν τα αερόστρωμνα σκάφη (hovercrafts), στα οποία γίνεται χρήση συστημάτων προώθησης αέρα, μιας και αυτά δεν διαθέτουν στερεές κατασκευές στο νερό, με την αρχή λειτουργίας τους να στηρίζεται στη δημιουργία στρώματος αέρα μεταξύ σκάφους και επιφάνειας της θάλασσας [1].

³⁰ Η ταχύτητα σε κάθε σημείο του πτερυγίου της έλικας προκύπτει από Πυθαγόρειο Θεώρημα της -μεγάλης, προφανώς,- ταχύτητας του ταχύπλοου και της ταχύτητας περιστροφής της έλικας, που, όμως, επίσης είναι μεγάλη. Το τελευταίο ισχύει εξαιτίας των αναγκαστικά χαμηλών διαμέτρων έλικας, που οδηγούν σε υψηλότερες στροφές αυτής.

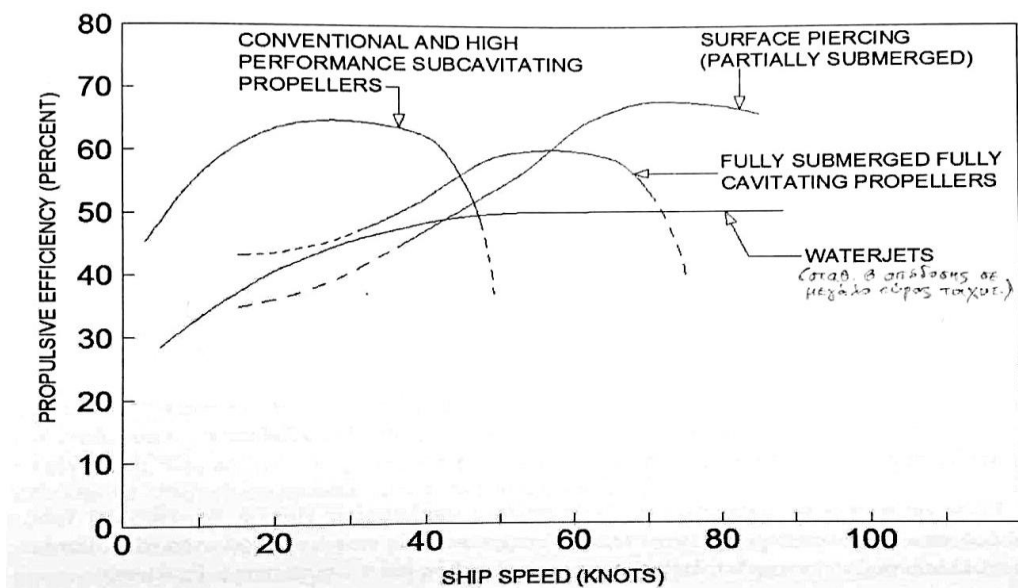
Η διάβρωση είναι αποτέλεσμα της βίαιης επανυγροποίησης των αερίων φυσαλίδων -που έχουν σχηματιστεί εξαιτίας της μείωσης της πίεσης σε τιμές μικρότερες από εκείνη της ατμοποίησης του νερού- όταν αυτές, κινούμενες με την ταχύτητα του ρευστού, πλησιάζουν περιοχές υψηλότερης πίεσης, δρώντας κρουστικά πάνω στην επιφάνεια του πτερυγίου [3].

Όσον αφορά στην εκπομπή θορύβου (προφανώς ιδιαίτερα ανεπιθύμητη για ταχύπλοο σκάφος αναψυχής), αυτή μπορεί να γίνει πολύ ενοχλητική, εξαιτίας των -μεγάλου εύρους συχνοτήτων- κρουστικών κυμάτων που γεννώνται κατά την καταστροφή των φυσαλίδων.

Η διέγερση σε κραδασμούς δεν ανησυχεί τόσο το ταχύπλοο σκάφος της διπλωματικής εργασίας, μιας και αυτό είναι κατασκευασμένο από σύνθετα υλικά, ενώ το αναφερόμενο φαινόμενο σχετίζεται με διέγερση σε ταλάντωση τμημάτων της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, λόγω του παλλόμενου όγκου ατμοποιημένου ρευστού.

Η απώλεια ώσης, από την άλλη, απασχολεί σε μεγάλο βαθμό τις έλικες ταχυπλόων (επομένως και το σκάφος της διπλωματικής εργασίας), καθώς από ένα ποσοστό σπηλαίωσης και μετά καθιστά την πίσω όψη του πτερυγίου ανενεργή, μιας και η πίεση εκεί δεν μπορεί να γίνει μικρότερη της πίεσης ατμοποίησης. Έτσι, αρχίζει να λαμβάνει χώρα αποκόλληση, οδηγώντας βαθμιαία στο φαινόμενο της απώλειας ώσης (thrust breakdown), το οποίο -σε ακραίες περιπτώσεις- μεταφράζεται ακόμη και σε αδυναμία επίτευξης της ταχύτητας σχεδίασης του μελετώμενου σκάφους [3].

Εξαιτίας, λοιπόν, τόσο της επιρρέπειας των ταχυπλόων σκαφών σε σπηλαίωση -όπως εξηγήθηκε παραπάνω- όσο και της σοβαρότητας των διαφόρων συνεπειών της, διακρίνονται τα εξής τρία είδη ελίκων βάσει των αντιστοίχων συνθηκών λειτουργίας τους: έλικες υποσπηλαίωσης ή πλήρους διαβροχής (subcavitating ή fully wetted), μερικής σπηλαίωσης (transcavitating) και υπερσπηλαίωσης (supercavitating) [1]. Οι βαθμοί απόδοσης των διαφόρων συστημάτων πρόωσης φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 44: Σχετική μέγιστη απόδοση συστημάτων πρόωσης [1]

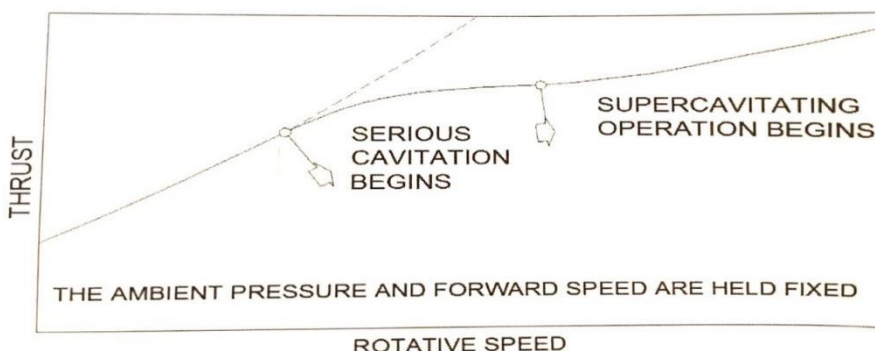
Ακολουθεί μια σύντομη αναφορά σε κάθε τύπο έλικας, τόσο χάριν πληρότητας όσο και για λόγους εισαγωγής των εννοιών που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω, στη διαδικασία εκλογής έλικας για το υπό σχεδίαση ταχύπλοο σκάφος αναψυχής.

6.2 Κατηγορίες ελίκων ταχυπλόων σκαφών

Οι έλικες υποσπηλαίωσης σχεδιάζονται για δεδομένες συνθήκες λειτουργίας, με την απαίτηση η στατική πίεση σε οποιοδήποτε σημείο της επιφάνειας των πτερυγίων τους να μην πλησιάζει υπερβολικά την πίεση ατμοποίησης του νερού στις συγκεκριμένες συνθήκες. Ωστόσο, εξαιτίας των ιδιοτήτων της ροής³¹ κοντά στην έλικα των ταχυπλόων, στην πράξη λίγες είναι για τα σκάφη αυτά οι έλικες που λειτουργούν σε περιβάλλον παντελούς έλλειψης σπηλαίωσης. Αλλά, ακόμη και μια έλικα που θα πετύχαινε απόλυτη απουσία σπηλαίωσης, θα ήταν πιθανότατα μεγαλύτερη και πιο αργόστροφη από το επιτρεπόμενο, με αποτέλεσμα οικονομικά μειονεκτήματα για τη λειτουργία του σκάφους [1] .

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 44 που προηγήθηκε, οι έλικες υποσπηλαίωσης είναι ακατάλληλες για ταχύτητες μεγαλύτερες των 40 kn, μιας και εμφανίζουν απαγορευτική μηχανική διάβρωση (erosion), ως συνέπεια της έντονης σπηλαίωσής τους.

Οι έλικες μερικής σπηλαίωσης, τώρα, αφορούν σε σκάφη των οποίων οι συνθήκες λειτουργίας συνεπάγονται σημαντική σπηλαίωση (serious cavitation)· στο διάγραμμα που ακολουθεί³² πρόκειται για τη μεσαία περιοχή. Εκεί εντοπίζεται απώλεια ώσης, δηλαδή αύξηση των στροφών περιστροφής οδηγεί σε πτώση της αποδιδόμενης, από την έλικα, ώσης.



Εικόνα 45: Εμφάνιση σπηλαίωσης στο διάγραμμα ώσεως- στροφών έλικας [1]

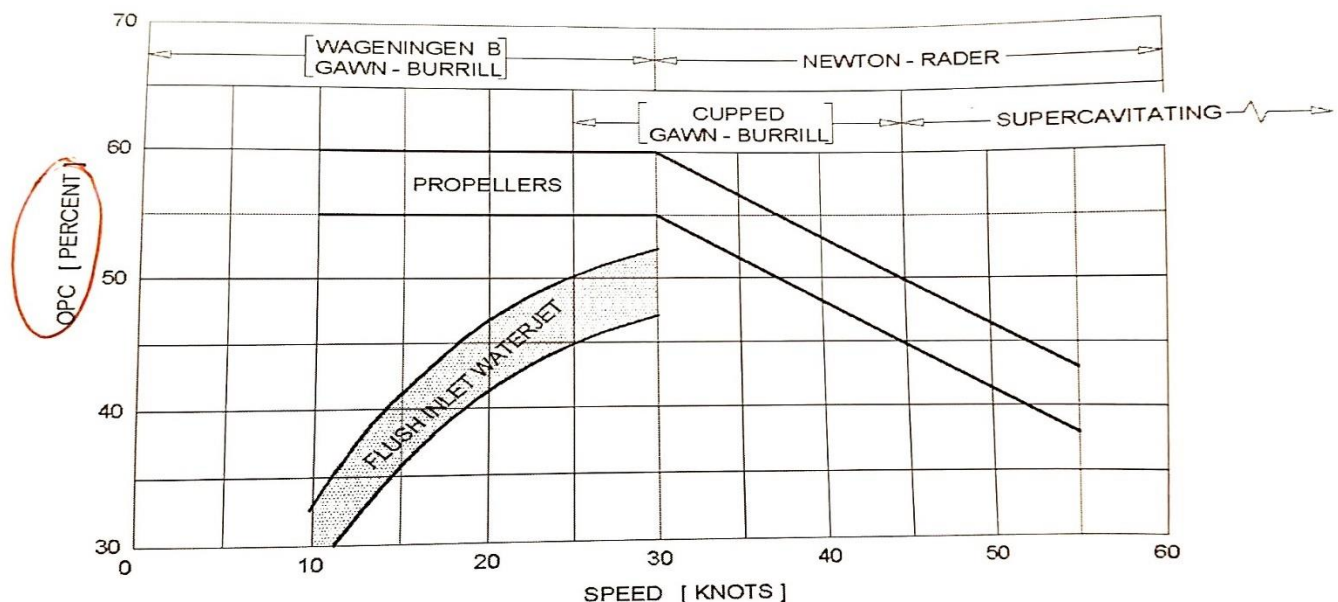
³¹ Η ιδιαιτερότητα, εδώ, αναφέρεται στη συνδυασμένη επίδραση της κυκλικής μεταβολής της γωνίας πρόσπτωσης ροής εξαιτίας της κλίσης του ελικοφόρου άξονα και των ασταθών συνιστωσών του ομόρρου στην περιοχή της έλικας.

³² Η έλλειψη γραμμικότητας μεταξύ στροφών έλικας και ταχύτητας σκάφους που αντιστοιχεί στις υψηλές ταχύτητες του διαγράμματος «αντανάκλα» την παρουσία σπηλαίωσης.

Η δεξιά περιοχή του παραπάνω διαγράμματος αφορά στις έλικες εκείνων των ταχυπλόων που έχουν πολύ υψηλές ταχύτητες λειτουργίας (πάνω από 40, έως και 100 kn- με πολύ χαμηλή, φυσικά, απόδοση από αυτήν την τιμή ταχύτητας και μετά) και αντιστοιχούν σε συνθήκες υπερσπηλαίωσης (supercavitating) και πλήρους υπερσπηλαίωσης (fully supercavitating). Στην πρώτη κατάσταση παρουσιάζεται φυσαλίδα σπηλαίωσης στα πτερύγια της έλικας, πηγάζουσα από το χείλος πρόσπτωσης και καλύπτουσα ολόκληρη την όψη υποπίεσης, καταλήγοντας, τελικά, με τη ροή πίσω από το χείλος εκφυγής, ενώ η δεύτερη κατάσταση προϋποθέτει, επιπλέον, ανεξαρτησία του συντελεστή ώσης της έλικας, K_T , από τον αριθμό σπηλαίωσης, σ , -αντιστοιχεί, δηλαδή, σε εξαιρετικά μεγάλες σπηλαιώσεις.

Όσον αφορά στα διάφορα είδη ελίκων, σημειώνεται ότι σε συνθήκες μερικής σπηλαίωσης μπορούν να λειτουργήσουν και οι κοινές έλικες υποσπηλαίωσης Wageningen και Gawn-Burrill (φυσικά με αντίστοιχη μείωση της απόδοσης, όσο και της διάρκειας ζωής τους), ενώ πολύ καλά αποτελέσματα σε συνθήκες μερικής σπηλαίωσης, αλλά και υπερσπηλαίωσης έχει η γνωστή συστηματική σειρά ελίκων Newton-Rader. Ειδικά για τις έλικες Gawn-Burrill, η κάμψη της ακμής εκφυγής των υδροτομών των πτερυγίων τους βελτιώνει τη συμπεριφορά αυτών σε συνθήκες μερικής σπηλαίωσης [1].

Στο διάγραμμα που ακολουθεί εικονίζεται η μεταβολή του ολικού βαθμού απόδοσης συστημάτων πρόωσης ολισθακάτων με τις προτεινόμενες για διάφορες περιοχές ταχυτήτων έλικες, όσο και με συστήματα υδραυλικής αντίδρασης. Επισημαίνεται ότι για την περιοχή μεταξύ 30 και 60 kn-στην οποία εμπίπτει και το ταχύπλοο σκάφος της διπλωματικής εργασίας- προτείνεται η χρήση ελίκων της συστηματικής σειράς Newton-Rader.



Εικόνα 46: Ολικός βαθμός απόδοσης διαφόρων συστημάτων πρόωσης [1]

Αφού παρουσιάστηκαν -σε αδρές γραμμές- οι βασικές έννοιες που εμπλέκονται στην υπόθεση των ελίκων ταχύπλοων σκαφών, ακολουθεί, τώρα, η ίδια η διαδικασία εκλογής έλικας για το υπό σχεδίαση ταχύπλοο σκάφος της διπλωματικής εργασίας.

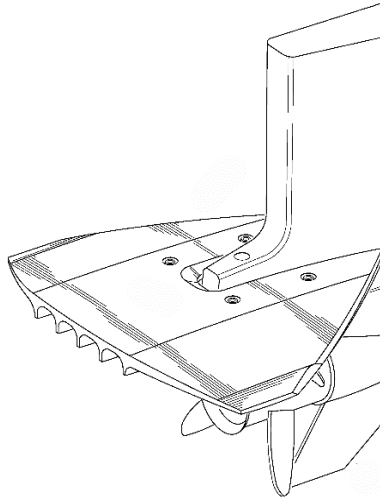
6.3 Εκλογή έλικας

6.3.1 Γεωμετρικοί περιορισμοί

Σκοπός της διαδικασίας που ακολουθεί είναι η επιλογή της -ικανοποιούσας τους περιορισμούς διαμέτρου- κατά το δυνατόν αποδοτικότερης έλικας προς επίτευξη της επιθυμητής ταχύτητας του σκάφους, με ταυτόχρονη ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου και ικανοποιητική διάρκεια ζωής. Η καλύτερη, δηλαδή, έλικα είναι εκείνη που ικανοποιεί τις απαιτήσεις ώσης του σκάφους εντός των δεδομένων ορίων: γεωμετρικών, οικονομικών και αποδιδόμενης από τη μηχανή ισχύος [1].

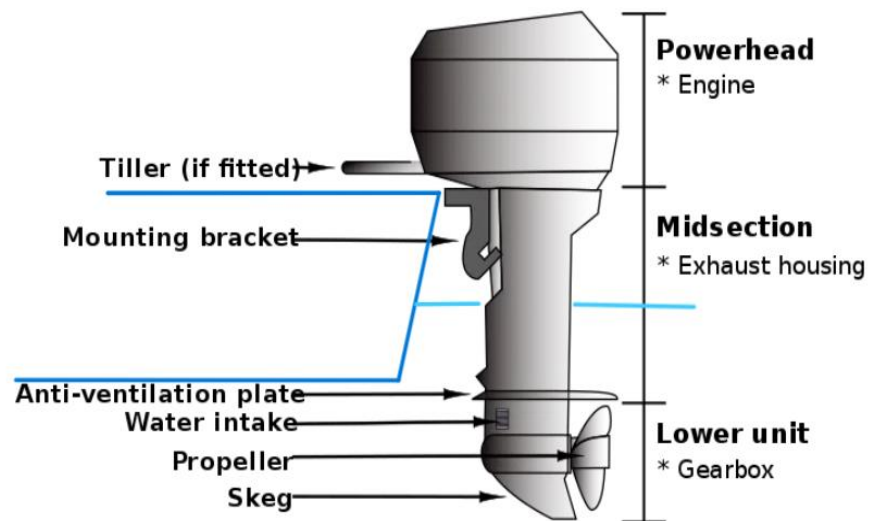
Όσον αφορά στους γεωμετρικούς περιορισμούς, αυτοί σχετίζονται κυρίως με τη μέγιστη διάμετρο των ελίκων, σε συνάρτηση με την κλίση των ελικοφόρων αξόνων. Δεδομένου, όμως, ότι για το υπό σχεδίαση ταχύπλοο έχουν υποτεθεί εξωλέμβιες μηχανές, ελικοφόροι άξονες δεν υφίστανται, επομένως αυτός ο περιορισμός αίρεται. Η απαίτηση που υπάρχει, όμως, είναι η οριζόντια πλάκα που βρίσκεται σχεδόν ακριβώς πάνω από την έλικα στην Εικόνα 20 -και καλείται “anti-ventilation ή cavitation plate”- να βρίσκεται περίπου στο ίδιο καθ’ ύψος επίπεδο με την τρόπιδα του σκάφους [37]. Κάτι τέτοιο οδηγεί στο να παραμένει η έλικα πλήρως βυθισμένη, παρέχοντας την επιθυμητή ώση, με την πλάκα να αποτελεί πρακτικά ένα εμπόδιο που λειτουργεί απαγορευτικά στην ανάμειξη αέρα με νερό στην περιοχή της έλικας, αποτρέποντας την εμφάνιση φαινομένων απώλειας ώσης.³³

³³ Αερισμός (ventilation) και σπηλαίωση (cavitation) της έλικας -παρόλο που και τα δύο οδηγούν στην αποφευκτέα μείωση ώσης- δεν είναι ταυτόσημα φαινόμενα. Το πρώτο σχετίζεται με την ανάμειξη αέρα -προερχόμενου είτε από την επιφάνεια της θάλασσας, είτε από τα καυσάτρια της μηχανής- στη ροή γύρω από την έλικα, ενώ το δεύτερο στη βίαιη επανυγροποίηση φυσαλίδων αέρα όταν αυτές βρεθούν σε περιοχή με πίεση υψηλότερη της πίεσης ατμοποίησης του νερού [34].



Εικόνα 47: Χαρακτηριστικό σκίτσο της οριζόντιας πλάκας (anti- ventilation plate) [38]

Στην εικόνα που ακολουθεί (πρόκειται για την Εικόνα 20 της διπλωματικής εργασίας -ελαφρά τροποποιημένης), η γαλάζια οριζόντια γραμμή εικονίζει την ίσαλο πλεύσης στο βύθισμα που εξετάζεται ($T = 0.639m$), και η μπλε διαμόρφωση το πρυμναίο τμήμα της γάστρας του σκάφους.



Εικόνα 48: Συνολική διαμόρφωση πρύμνης ταχυπλόου με εξωλέμβια πρόωση

Σημειώνεται, εδώ, ότι στην περίπτωση του ταχυπλόου σκάφους της διπλωματικής εργασίας, επειδή το κοίλο στην περιοχή του καθρέπτη της πρύμνης είναι μεγαλύτερο από το κατακόρυφο μήκος του άξονα της εξωλέμβιας μηχανής Mercury300R που επελέγη (αντιστοιχεί στην περιοχή “Midsection” της Εικόνας 48), χρησιμοποιείται μπρακέτο συναρμολόγησης της μηχανής πάνω στον καθρέπτη (transom bracket), «εξισορροπώντας» έτσι την καθ’ ύψος αυτή διαφορά [40].

6.3.2 Βασικές παράμετροι σχεδίασης έλικας

Στο πρόβλημα σχεδίασης της έλικας, ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός της γεωμετρίας της, ώστε να ικανοποιούνται συγκεκριμένες συνθήκες. Δεδομένου ότι η σχεδίαση γίνεται με βάση συστηματικές σειρές -και όχι με ειδική αναλυτική μελέτη-, εύρεση της γεωμετρίας της έλικας σημαίνει εύρεση των παραμέτρων: $P, D, \frac{A_E}{A_0}, z$ [3].

Ακολουθεί σύντομη γενική αναφορά σε κάθε μια από τις τέσσερις αυτές παραμέτρους.

Η διάμετρος D -κυρίαρχη παράμετρος σχεδίασης της έλικας- επιλέγεται να είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη (λαμβανομένων υπ’ όψιν των γεωμετρικών περιορισμών), μιας και αύξησή της οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου της μηχανής.

Το δε βήμα P της έλικας διαδραματίζει τον καθοριστικό ρόλο στις στροφές και χρησιμοποιείται για το «ταίριασμα» έλικας- μηχανής. Σημειώνεται, εδώ, ότι μικρότερα από το βέλτιστο βήματα πολύ λίγο επηρεάζουν την απόδοση.

Όσον αφορά στην εκλογή του αριθμού πτερυγίων z της έλικας, αυτή δεν εξαρτάται ουσιαστικά από την απόδοση της έλικας (η_0), αλλά από την ανάγκη αποφυγής ταλαντώσεων της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου.³⁴

Τέλος, ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας, $a_E = \frac{A_E}{A_0}$, που εκφράζει το μέγεθος της επιφάνειας των πτερυγίων, εκλέγεται με βάση κριτήρια αποφυγής σπηλαίωσης. Στο μέγεθος αυτό, είθισται να δίνεται ένα περιθώριο, διότι-παρά την μικρή πτώση απόδοσης λόγω των αυξημένων απωλειών τριβής- είναι γνωστό ότι τότε η έλικα συμπεριφέρεται καλύτερα σε θαλασσοταραχή [9].

³⁴ Στην περίπτωση του ταχυπλόου σκάφους της διπλωματικής εργασίας, το οποίο είναι κατασκευασμένο από σύνθετα υλικά, αρκεί η αποφυγή συντονισμού στα μεταλλικά τμήματα του συστήματος έλικα-άξονας-μηχανή.

6.3.3 Διαδικασία εκλογής κατάλληλης έλικας

Επιστρέφοντας, τώρα, στη διαδικασία επιλογής έλικας ταχυπλόου, σημειώνεται ότι αυτή ουσιαστικά διαφέρει από την αντίστοιχη για τα συμβατικά πλοία μόνον στην εντονότερη παρουσία της σπηλαίωσης. Επομένως, και εδώ θα γίνει χρήση διαγραμμάτων ελεύθερης ροής (δηλαδή K_T, K_Q, η_0 συναρτήσεων του J), με τη διαφορά³⁵ ότι πλέον υπάρχει και εξάρτηση των παραμέτρων αυτών από τον αριθμό σπηλαίωσης, δηλαδή κάθε διάγραμμα αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο "σ".

Φυσικά, όπως και στην περίπτωση επιλογής ελίκων συμβατικών σκαφών, αντί του συντελεστή K_T , προτιμάται ο συντελεστής $\frac{K_T}{J^2}$, ο οποίος απαλείφει τις στροφές της έλικας στα πρώτα στάδια των υπολογισμών, ενώ αποτελεί ταυτόχρονα κοινή μεταβλητή σκάφους-έλικας, συμβιβάζοντας τις απαιτήσεις ώσης του πρώτου με τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά της δεύτερης.

Με δεδομένο ότι:

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad \text{και} \quad J = \frac{V(1-w)}{nD}$$

προκύπτει για τον νέο, «βοηθητικό» συντελεστή $\frac{K_T}{J^2}$:

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{T}{\rho D^2 V^2 (1-w)^2}$$

Επιπλέον, για τη γάστρα ισχύει³⁶ :

$$T = \frac{R}{1-t}$$

³⁵ Μία, ακόμη, διαφορά των διαγραμμάτων αυτών σε σχέση με τα αντίστοιχα που αφορούν σε έλικες προοριζόμενες για συμβατικά σκάφη, είναι ότι εμφανίζεται αντούσιος ο συντελεστής ροπής K_Q και όχι ο δεκαπλάσιός του.

³⁶ Η σχέση αυτή αποτυπώνει τη διαφορά μεταξύ αντίστασης ρυμούλκησης και απαιτούμενης από το σκάφος ώσης, η οποία οφείλεται τόσο στις ελαττωμένες πιέσεις στην περιοχή της πρύμνης όσο και στη μεταβολή των ταχυτήτων ροής- και άρα της αντίστασης τριβής- που συνεπάγεται η τοποθέτηση έλικας επί της γάστρας. Εκφραστής αυτής της διαφοράς είναι ο συντελεστής μείωσης ώσης, t [3].

Εάν, δε, υποτεθούν περισσότερες των μία ελίκων (κάτι που συμβαίνει κατά κόρον στην περίπτωση των ταχυπλόων σκαφών, προς ικανοποίηση της μεγάλης απαίτησης ισχύος που υπάρχει και για την οποία συνήθως δεν επαρκεί ή δεν συμφέρει η τοποθέτηση μίας μόνον μηχανής), προκύπτει:

$$T = \frac{R}{(1-t)N_{PR}}$$

(Υποτίθεται, προφανώς, ότι κάθε έλικα συνεισφέρει το ίδιο στην παραγόμενη ώση).

Έπεται, έτσι, ότι η σχέση που εξισορροπεί τις απαιτήσεις ώσης γάστρας με την παραγόμενη από κάθε έλικα ώση και εκφράζεται μέσω του συντελεστή $\frac{K_T}{J^2}$ -όπως προαναφέρθηκε- είναι η εξής:

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{R}{\rho D^2 V^2 (1-w)^2 (1-t) N_{PR}}$$

Το ταχύπλοο σκάφος της διπλωματικής εργασίας είναι διπλέλικο (έχει θεωρηθεί τοποθέτηση διδύμων μηχανών), επομένως $N_{PR} = 2$.

Αν, επιπλέον, προσδιοριστεί και η διάμετρος της έλικας, ο συντελεστής $\frac{K_T}{J^2}$ θεωρείται πια γνωστός.

Επόμενο βήμα -εξαιτίας της εξάρτησης των διαγραμμάτων έλικας ταχυπλόων σκαφών από τον εκάστοτε αριθμό σπηλαίωσης -όπως αναφέρθηκε προηγουμένως- αποτελεί ο υπολογισμός του "σ" που αντιστοιχεί στην επιλεγείσα ταχύτητα.

Ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$\sigma = \frac{P_A + P_H - P_V}{\frac{1}{2} \rho (V(1-w))^2}, \quad \text{όπου } P_H = \rho g h, \text{ και } h = T + \frac{D}{2} + 0,15D$$

(η ποσότητα $0,15D$ εκφράζει την ανοχή του ακροπτερυγίου από τη γάστρα του σκάφους-απαραίτητη κρίνεται η ύπαρξη αυτής, προκειμένου οι επαγόμενες από την έλικα στη γάστρα πιέσεις να μην λαμβάνουν επικίνδυνα μεγάλες τιμές).

Με τους συντελεστές $\frac{K_T}{J^2}$ και σ προσδιορισμένους, μια επιλογή για τον λόγο εκτεταμένης επιφανείας a_E οδηγεί σε μοναδική βέλτιστη τιμή του βαθμού απόδοσης έλικας σε ελεύθερη ροή, η_0 , η οποία συνεπάγεται με τη σειρά της συγκεκριμένο λόγο βήματος προς διάμετρο $\frac{P}{D}$ και συντελεστή προχώρησης J .

Οι στροφές της έλικας δίνονται μέσω του υπολογισθέντος " J ", ως εξής:

$$n = \frac{V(1 - w)}{J \cdot D}$$

Για τον υπολογισμό, δε, της ισχύος των μηχανών, SHP , ισχύει η σχέση:

$$SHP = \frac{EHP}{\eta_0 \eta_H \eta_R \eta_S N_{PR}},$$

όπου για τις τιμές των εμφανιζόμενων -στον παρονομαστή- συντελεστών γίνονται οι κατάλληλες υποθέσεις.

Συγκεκριμένα, για το ταχύπλοο της διπλωματικής εργασίας, με βάση τα ανωτέρω αναφερθέντα για τους γεωμετρικούς περιορισμούς, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι για παρόμοια σκάφη της αγοράς οι διάμετροι ελίκων κυμαίνονται μεταξύ 0.35 και 0.45 m, αλλά και αναζητώντας -σε κατάλληλη βάση δεδομένων [41]- έλικες που να «ταιριάζουν» στα χαρακτηριστικά της επιλεγείσας μηχανής Mercury300R, θεωρείται:

$$D = 0.40m$$

Όσον αφορά στην ταχύτητα που επιλέγεται για τη σχεδίαση της έλικας, αυτή είναι η αντιστοιχούσα στην κατάσταση υπηρεσίας του σκάφους -εν προκειμένω:

$$V_{cruising} = 28 \text{ kn.}$$

Ακόμη, υπολογίζεται ο ογκομετρικός αριθμός Froude, με τη βοήθεια του οποίου θα εκτιμηθούν οι απαραίτητοι συντελεστές w , t , η_R . Είναι:

$$F_V = \frac{V_s}{\left(g V^{\frac{1}{3}}\right)^{\frac{2}{3}}} = 2.18$$

Υποτίθενται, λοιπόν, -με τη βοήθεια σχετικών διαγραμμάτων [1]- τα ακόλουθα:

$$w = 0, \quad t = 0.02, \quad \eta_R = 0.96$$

Έτσι, προκύπτουν:

$$\frac{K_T}{J^2} = 0.19 \text{ και } \sigma = 1.02$$

Σημειώνεται, εδώ, ότι -αν και η σχεδίαση της έλικας γίνεται για την ταχύτητα υπηρεσίας του ταχυπλόου σκάφους- για την έλικα που θα επιλεγεί εξετάζεται και η απόδοσή της στη μέγιστη επιτεύξιμη ταχύτητα, δηλαδή στη $V_{max} = 35 \text{ kn}$, οπότε και ισχύουν:

$$\frac{K_T}{J^2} = 0.12 \text{ και } \sigma = 0.65$$

Η συνήθης πρακτική επιλογής έλικας ταχυπλόων σκαφών από συστηματικές σειρές -που ακολουθείται και εδώ- είναι η εξέταση διαγραμμάτων ελίκων διαδοχικά ως εξής: σειρά Wageningen-B με τέσσερα και πέντε πτερύγια, σειρά Gawn-Burrill με τρία πτερύγια και σειρά Newton-Rader επίσης με τρία πτερύγια, ενώ τελευταίες εξετάζονται οι υπερσπηλαιούμενες έλικες μεταβλητού-αντιστρεπτού βήματος με δύο, τρία και τέσσερα πτερύγια (supercavitating CRP propellers) [4].

Με δεδομένο ότι τα διαγράμματα των συμβατικών ελίκων Wageningen-B ξεκινούν από αριθμό σπηλαίωσης $\sigma = 0.75$ και μετά, και επιθυμώντας -όπως αναφέρθηκε- καλή απόδοση έλικας και στη μέγιστη ταχύτητα σκάφους, η οποία όμως αντιστοιχεί σε $\sigma = 0.65$, απορρίπτονται οι έλικες αυτής της σειράς και εξετάζονται απευθείας έλικες των δύο επόμενων σειρών (Gawn-Burrill και Newton-Rader).

Εφόσον είναι $\sigma = 1.02 \simeq 1.00$, θεωρούνται ως εξεταζόμενα κάθε φορά τα διαγράμματα που αντιστοιχούν σε $\sigma = 1.00$ (αποφεύγεται, δηλαδή, -εξαιτίας της προφανούς εγγύτητας των δύο παραπάνω τιμών- γραμμική παρεμβολή μεταξύ των αποτελεσμάτων για τα διαγράμματα με $\sigma = 1.00$ και $\sigma = 1.50$).

Επιλέγονται, στη συνέχεια, διαγράμματα ελίκων με λόγο εκτεταμένης επιφανείας “EAR” τέτοιον ώστε η μέγιστη τιμή απόδοσης της έλικας -που εκφράζεται μέσω του συντελεστή η_0 - να υπερβαίνει ή να είναι περίπου ίση με 0.60 (αυτή λογίζεται ως συνήθης τιμή “ η_0 ” αντιστοιχούσα σε μια καλοσχεδιασμένη έλικα). Προφανώς, από το κάθε τέτοιο διάγραμμα εκλέγεται τελικά εκείνη η έλικα με τον αντιστοιχούντα στο μέγιστο “ η_0 ” λόγο $\frac{P}{D}$.

Έτσι, εξετάζονται οι εξής δύο επιλογές ελίκων:

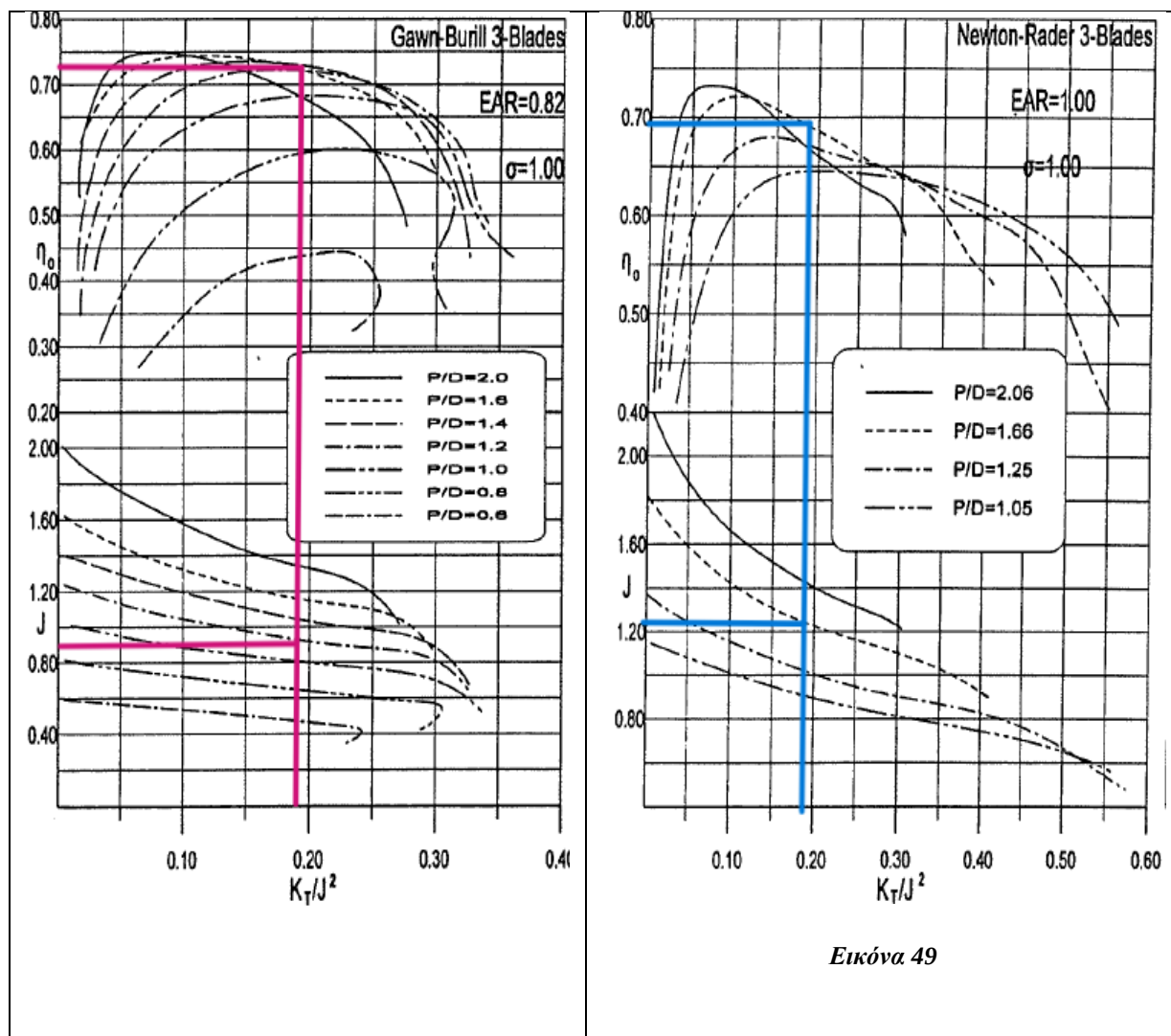
- 1) Τρίπτερη έλικα της σειράς Gawn-Burrill, με $EAR = 0.82$ και $\frac{P}{D} = 1.2$
- 2) Τρίπτερη έλικα της σειράς Newton-Rader, με $EAR = 1.00$ και $\frac{P}{D} = 1.66$

Τα χαρακτηριστικά των παραπάνω ελίκων, μαζί με τον βαθμό απόδοσης σε ελεύθερη ροή, η_0 , και τις στροφές, n , [RPS] παρουσιάζονται πινακοποιημένα ως εξής:

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά εξεταζομένων ελίκων

ΕΠΙΛΟΓΗ 1		ΕΠΙΛΟΓΗ 2	
Τύπος	Gawn-Burrill	Τύπος	Newton - Rader
Z	3	Z	3
EAR	0.82	EAR	1.00
P/D	1.20	P/D	1.66
J	0.87	J	1.22
η_0	0.73	η_0	0.69
RPM	2483.31	RPM	1770.89
n [RPS]	41.39	n [RPS]	29.51

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά η διαδικασία «ανάγνωσης» των κατάλληλων τιμών των υπό διερεύνηση ελίκων:



Εικόνα 50: Διαγράμματα ελεύθερης ροής των δύο εξεταζομένων ελίκων [4]

Ωστόσο, δεν μπορεί ακόμη να επιλεγεί κάποια από τις δύο παραπάνω έλικες, κι αυτό διότι η εισαγωγή του αριθμού σπηλαίωσης σ στην ανάλυση που προηγήθηκε, αφορά απλώς στην υδροδυναμική απόδοση της έλικας (εκφραζόμενη μέσω των διαγραμμάτων ελεύθερης ροής), με τα προβλήματα μηχανικής διάβρωσης που η σπηλαίωση προκαλεί στην έλικα να πρέπει, σε κάθε περίπτωση, να εξεταστούν.

6.3.3.1 Έλεγχος σπηλαίωσης

Προκειμένου, λοιπόν, να διερευνηθεί αν οι υπό εξέταση έλικες ανθίστανται στα διαβρωτικά αποτελέσματα της σπηλαίωσης, θα εφαρμοστούν σε κάθε περίπτωση ορισμένα κριτήρια-αντιστοιχούντα στον εκάστοτε τύπο έλικας.

Ο πλήρης έλεγχος του βαθμού σπηλαίωσης των ελίκων επιβάλλει την αξιολόγηση των συντελεστών φόρτισης τ_c και Q_c κάθε έλικας για την τιμή του $\sigma_{0.7R}$ στην οποία αυτή λειτουργεί³⁷. Οι συντελεστές αυτοί (φόρτισης ώσης και ροπής στα 0.7R, αντίστοιχα) ορίζονται ως εξής:

$$\tau_c = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A_P (V_{0.7R})^2}$$
$$Q_c = \frac{Q}{\frac{1}{2} \rho D A_P (V_{0.7R})^2} ,$$

όπου:

$$V_{0.7R} = \sqrt{(V(1-w))^2 + (0.7\pi nD)^2}$$

η συνισταμένη ταχύτητα ροής στο 70% της ακτίνας της έλικας, και

$$A_P = EAR \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot \left(1.067 - 0.229 \cdot \left(\frac{P}{D} \right) \right)$$

η προβεβλημένη επιφάνεια της έλικας.

³⁷ Η χορδή περυγίου στα 0.7R (70% της ακτίνας) θεωρείται αντιπροσωπευτική τιμή για τη μελέτη των χαρακτηριστικών της έλικας [36], εξαιτίας των επικρατούντων συνθηκών ροής, ώσης και πίεσης στην περιοχή αυτή.

Ακολουθεί ο προηγούμενος πίνακας (Πίνακας 9), εμπλουτισμένος με τα νέα μεγέθη που μεσολάβησαν και για τις δύο εξεταζόμενες έλικες:

Πίνακας 10: Εμπλουτισμένος πίνακας χαρακτηριστικών των εξεταζόμενων ελίκων

Vs=28 kn			
	Γ29	MAX B. APOD.	Γ18
ΕΠΙΛΟΓΗ 1		ΕΠΙΛΟΓΗ 2	
Τύπος	Gawn-Burrill	Τύπος	Newton - Rader
Z	3	Z	3
EAR	0.82	EAR	1.00
P/D	1.20	P/D	1.66
J	0.87	J	1.22
η_0	0.73	η_0	0.69
RPM	2483.31	RPM	1770.89
n [RPS]	41.39	n [RPS]	29.51
$V_{0.7R}$	39.15	$V_{0.7R}$	29.69
$\sigma_{0.7R}$	0.14	$\sigma_{0.7R}$	0.24
K_T	0.15	K_T	0.29
T	671.05	T	671.05
A_p	0.08	A_p	0.09
τ_c	0.10	τ_c	0.17
K_Q	0.03	K_Q	0.08
Q	50.91	Q	75.53
Q_c	0.02	Q_c	0.05

Οι τιμές των συντελεστών τ_c και Q_c συγκρίνονται με χαρακτηριστικές τιμές της βιβλιογραφίας-αντιστοιχούσες σε συγκεκριμένα ποσοστά φόρτισης- που ονομάζονται «κριτήρια». Συνήθως, τα κριτήρια με τα οποία συγκρίνεται η φόρτιση των ελίκων ταχυπλόων σκαφών είναι τρία, με το κάθε ένα από αυτά να εκφράζει υψηλότερη κατάσταση φόρτισης σε σχέση με το προηγούμενό του [4].

- 1° κριτήριο

Προσεγγίζεται από την καμπύλη:

$$\tau_{C_{10\% \text{ Back Cav.}}} = 0.494(\sigma_{0.7R})^{0.88}$$

η οποία αντιστοιχεί σε ποσοστό σπηλαίωσης πίσω όψης πτερυγίου ίσο με δέκα τοις εκατό (10% back cavitation).

- 2° κριτήριο

Προσεγγίζεται από την καμπύλη:

$$\tau_{C_{KT \text{ Break Down}}} = 0.7(\sigma_{0.7R})$$

και εκφράζει το όριο στο οποίο η σπηλαίωση μόλις αρχίζει να επιδρά (πτωτικά) στην ώση της έλικας (K_T breakdown).

- 3° κριτήριο

Βασικά μεγέθη εδώ είναι το όριο μέγιστης φόρτισης ώσης $\tau_{C_{Limit}}$ (max. thrust limit) και το όριο μέγιστης φόρτισης ροπής $Q_{C_{Limit}}$ (max. torque limit).

Για έλικες τύπου Gawn- Burrill είναι:

$$\tau_{C_{Limit}} = \max \{ \tau_{C0}, \tau_{CX} \}, \text{ όπου}$$

$$\sigma_{0.7R} \leq 0.4 \text{ και}$$

$$\tau_{C0} = 1.2 \sigma_{0.7R}$$

$$\tau_{CX} = 0.0725 \left(\frac{P}{D} \right) - 0.034EAR$$

και

$$Q_{C\,Limit} = \max \{Q_{C0}, Q_{CX}\}, \acute{\alpha}\pi\omicron\upsilon$$

$$\sigma_{0.7R} \leq 0.4 \text{ και}$$

$$Q_{C0} = 0.2 \left(\frac{P}{D} \right) \{ (\sigma_{0.7R})^{[0.7+0.31(EAR)^{0.9}]} \}$$

$$Q_{CX} = \frac{1}{(EAR)^{1/3}} [0.0185 \left(\frac{P}{D} \right)^2 - 0.0166 \left(\frac{P}{D} \right) + 0.00594]$$

Για έλικες τύπου Newton-Rader είναι:

$$\tau_{C\,Limit} = \max \{ \tau_{C0}, \tau_{CX} \}, \acute{\alpha}\pi\omicron\upsilon$$

$$\sigma_{0.7R} \leq 0.4$$

$$\tau_{C0} = [0.703 + 0.25 \left(\frac{P}{D} \right)] (\sigma_{0.7R})^{[0.65+0.10(\frac{P}{D})]}$$

$$\tau_{CX} = -0.0142EAR + 0.0833 \left(\frac{P}{D} \right)$$

και

$$Q_{C\,Limit} = \max \{Q_{C0}, Q_{CX}\}$$

$$Q_{C0} = [-0.12 + 0.24 \left(\frac{P}{D}\right)](\sigma_{0.7R})^{[0.5+0.165(\frac{P}{D})]}$$

$$Q_{CX} = -0.024(EAR)^{1/2} + 0.0335\left(\frac{P}{D}\right)$$

Στην ουσία, κάθε ένα από τα τρία παραπάνω κριτήρια αφορά στην αντίστοιχη περιοχή της Εικόνας 45 που προηγήθηκε και περιγράφει την προοδευτική επίδραση της σπηλαίωσης στην ώση της έλικας. Τα δύο πρώτα κριτήρια, προφανώς, εφαρμόζονται σε έλικες υποσπηλαίωσης, με το δεύτερο, μάλιστα, να αποτελεί και την έσχατη περίπτωση στην οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα -μη εξαρτώμενα από τον αριθμό σπηλαίωσης- διαγράμματα ελεύθερης ροής συμβατικών ελίκων. Το τρίτο κριτήριο εφαρμόζεται σε κάθε είδος έλικας και αφορά στο ύστατο όριο πέραν του οποίου η έλικα αδυνατεί να φορτιστεί.

Για την έλικα υποσπηλαίωσης Gawn-Burrill που εξετάζεται (τα χαρακτηριστικά της παρουσιάστηκαν στον παραπάνω Πίνακα 10), εφαρμόζοντας το πρώτο κριτήριο (10% back cavitation), διαπιστώνεται η μη ικανοποίησή του. Η συγκεκριμένη, δηλαδή, έλικα δεν πληροί τις προϋποθέσεις μηχανικής αντοχής έναντι των διαβρωτικών αποτελεσμάτων του φαινομένου της σπηλαίωσης και επομένως απορρίπτεται ως επιλογή για το υπό σχεδίαση ταχύπλοο της διπλωματικής εργασίας³⁸.

Για τη δεύτερη εξεταζόμενη επιλογή -πρόκειται για έλικα τύπου Newton-Rader, δηλαδή υπερσπηλαιούμενη έλικα- διαπιστώνεται η ικανοποίηση του τρίτου κριτηρίου σπηλαίωσης, που είναι και το μοναδικό υπό εξέταση, μιας και τα δύο πρώτα αφορούν σε έλικες υποσπηλαίωσης.

Τα παραπάνω φαίνονται συγκεντρωμένα στον Πίνακα 11, που ακολουθεί:

³⁸ Προφανώς, αρκεί η μη ικανοποίηση του πρώτου κριτηρίου για την απόρριψη της έλικας, δεδομένου ότι κάθε επόμενο κριτήριο είναι αυστηρότερο του προηγούμενου του- επομένως μη ικανοποίηση του πρώτου συνεπάγεται αυτόματα μη ικανοποίηση και των υπολοίπων κριτηρίων σπηλαίωσης

Πίνακας 11: Εξέταση των εκάστοτε κριτηρίων σπηλαιώσης για τις δύο επιλογές ελίκων

	ΕΠΙΛΟΓΗ 1	ΕΠΙΛΟΓΗ 2
1ο κριτήριο		
τ_c	0.10	0.17
$\tau_{c10\%}$	0.09	0.14
$\tau_c < \tau_{c10\%}$	Για υπο-σπηλαιούμενες έλικες	
2ο κριτήριο		
$\tau_{cKTBreakdown}$	0.10	0.17
$\tau_c < \tau_{cKTBreakdown}$	Για υπο-σπηλαιούμενες έλικες	
3ο κριτήριο		
$\sigma_{0.7R}$		0.24
$\sigma_{0.7R} \leq 0.4$		
τ_{c0}		0.35
τ_{cX}		0.12
τ_{cLimit}		0.35
Q_{c0}		0.092
Q_{cX}		0.032
Q_{cLimit}		0.092
$\tau_c < \tau_{cLimit}$		OK
$Q_c < Q_{cLimit}$		OK

Επομένως, σε συνδυασμό με τον καλό βαθμό απόδοσης, η_0 , -ο οποίος διαπιστώθηκε παραπάνω- δικαιολογείται η εκλογή της δεύτερης εξεταζόμενης περίπτωσης ως έλικας του ταχυπλόου σκάφους της διπλωματικής εργασίας.

Παρουσιάζονται, ακολούθως, χάριν πληρότητας, πινακοποιημένες οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή όλων των κρίσιμων -για την επιλογή έλικας- μεγεθών των Πινάκων 10 και 11.

Πίνακας 12: Απαραίτητα για την εξέταση των δύο ελίκων μεγέθη

Υπολογισμός απαραίτητων μεγεθών	
τ	4.810
$\delta\Delta=T_v$ [kg]	110.68
$\Delta_{\text{διορθ.}}$ [kg]	9208.72
Ογκ. εκτ διορθ [m ³]	88.14
N_{pr}	2.00
L/B	3.25
$1-w$	1.00
$1-t$	0.98
η_R	0.96
w	0.00
t	0.02
$D_{\text{επιλ}}$	0.40
K_T/J^2	0.19
ρ [kp *s ² /m ⁴]	104.61
p_A [Kp/m ²]	10336.00
p_v [Kp/m ²]	175.70
H [m]	0.90
p_H [Kp/m ²]	922.58
σ	1.02
ογκομ. αρ. Froude	2.18
$F_v=V_s/(gV^{1/3})^{2/3}$	

Γίνεται, στο σημείο αυτό, η εξής απαραίτητη σημείωση για τον παραπάνω Πίνακα:

Εκτός από τα μεγέθη στα οποία έχει ήδη γίνει αναφορά ($N_{PR}, w, t, \eta_R, D, \frac{K_T}{J^2}, EHP, H$) και τα «τυποποιημένα» μεγέθη (ρ, p_A, p_H) εμφανίζεται επιπλέον η έννοια του «διορθωμένου» όγκου εκτοπίσματος ταχυπλόου. Αυτή χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά για τον υπολογισμό του ογκομετρικού αριθμού Froude (ο οποίος και ορίστηκε παραπάνω ως $F_v = V_s / \left(gV^{1/3}\right)^{2/3}$), ενώ ως όγκος εκτοπίσματος λαμβάνεται όχι ο πραγματικός για $C_{DL} = 7.00$, αλλά ένας κατάλληλα διορθωμένος, όπως εξηγείται ακολούθως:

Στη μελετούμενη ταχύτητα (αντιστοιχούσα σε κατάσταση ολίσθησης), το ταχύπλοο εμφανίζει συγκεκριμένη τιμή δυναμικής διαγωγής -στην οποία έχει προστεθεί η στατική διαγωγή, όπως αυτή προέκυψε από την κατανομή βαρών που προηγήθηκε στη διπλωματική εργασία), ενώ, όσον αφορά στις εξωλέμβιες μηχανές, αυτές διαθέτουν τη δυνατότητα ρύθμισης της γωνίας κλίσης τους σε σχέση με την τροπίδα του σκάφους προς επίτευξη βέλτιστης απόδοσης πλευσης όταν το σκάφος «πλανάει». Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, όσο και το γεγονός ότι -βάσει εμπειρίας- η σχετική γωνία διαγωγής μεταξύ τροπίδας και εξωλέμβιων μηχανών «κινείται» συνήθως κοντά στην περιοχή των τριών με πέντε μοιρών (3-5°), θεωρείται ως σχετική γωνία η $\tau = 4.81^\circ$ -ελλείψει άλλων δεδομένων³⁹. Επομένως, η ώση των ελίκων παράγεται υπό την αντίστοιχη κλίση ως προς την τροπίδα του ταχυπλόου, με την οριζόντια συνιστώσα της, T_H , να εξισορροπεί την αντίσταση και την κατακόρυφη συνιστώσα, T_v , να μειώνει το φαινόμενο εκτόπισμα του σκάφους. Ισχύει, λοιπόν, για την T_v [2]:

$$T_v = T \sin(\delta\tau) = T \sin(\tau) \quad 40$$

Επομένως, το εκτόπισμα μειώνεται κατά ένα μέγεθος $\delta\Delta$, που δίνεται από τη σχέση:

$$\delta\Delta = T_v = T_H \tan(\delta\tau) = R \tan(\delta\tau)$$

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το «διορθωμένο» εκτόπισμα του σκάφους χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του αντίστοιχου όγκου εκτοπίσματος, ο οποίος με τη σειρά του απαιτείται για την εύρεση του -απαραίτητου για την εισαγωγή στα διαγράμματα εκτίμησης των συντελεστών ελίκων- ογκομετρικού αριθμού Froude.

Ένα τελευταίο βήμα που ενισχύει περαιτέρω την αιτιολόγηση εκλογής της έλικας Newton-Rader που εξετάστηκε παραπάνω (πέραν της γενικής σύστασης της βιβλιογραφίας για χρήση τέτοιας κατηγορίας ελίκων στο εύρος ταχυτήτων μεταξύ 30 και 60 κόμβων -όπως έχει ήδη επισημανθεί ως σχόλιο επί της Εικόνας 46) παρουσιάζεται ακολούθως.

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της διαδικασίας εκλογής έλικας για το υπό σχεδίαση ταχύπλοο, αυτή γίνεται για την ταχύτητα λειτουργίας, ωστόσο επιθυμητή είναι και η υψηλή απόδοσή της στη μέγιστη επιτεύξιμη ταχύτητα.

³⁹ Λόγω ανάγκης επιλογής κατά το δυνατόν αντιπροσωπευτικής σχετικής γωνίας διαγωγής, θεωρήθηκε γι' αυτήν τιμή ίση με τη συνολική διαγωγή που υπολογίστηκε για το σκάφος στη μελετώμενη ταχύτητα (4.81° - λογική υπόθεση, μιας και το εύρος 3-5° θεωρείται σύνθετες βάσει εμπειρίας).

⁴⁰ Βάσει της υποσημείωσης 39, ισχύει, εδώ, $\delta\tau = \tau$.

Για τη δεδομένη, λοιπόν, έλικα, προκύπτει στην τιμή $V_{max} = 35kn$:

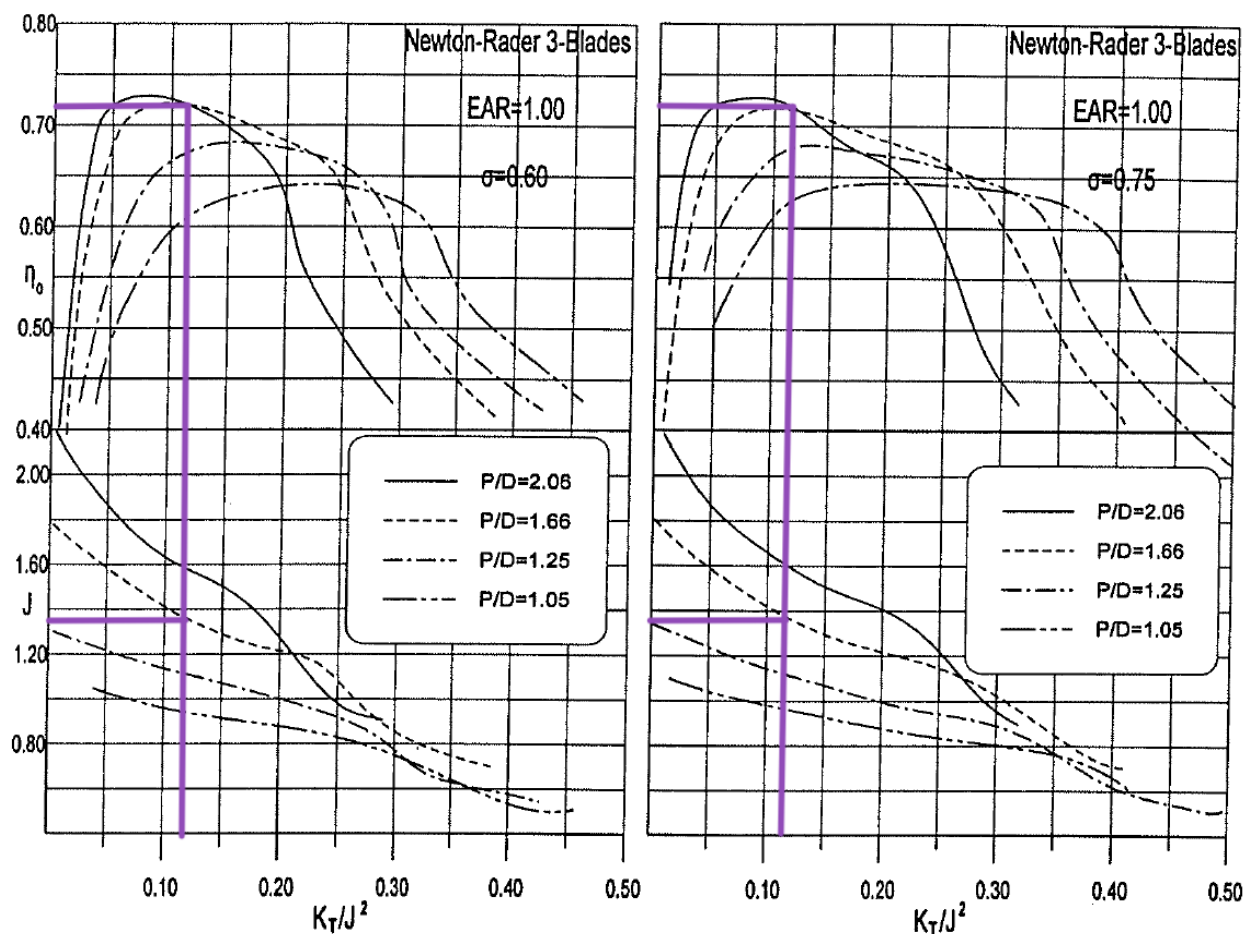
$$\frac{K_T}{J^2} = 0.12 \text{ και } \sigma = 0.65$$

Ο αντίστοιχος πίνακας με τα απαραίτητα -για τους υπολογισμούς- στοιχεία φαίνεται ακολούθως (πρόκειται για τον Πίνακα 12, εμπλουτισμένο με την ταχύτητα $V_{max} = 35kn$:

Πίνακας 13: Πίνακας απαραίτητων υπολογισμών και για τη μέγιστη ταχύτητα ταχυπλόου

	Vs=28kn	Vs=35kn
Υπολογισμός απαραίτητων μεγεθών		
τ	4.810	3.82
$\delta\Delta=T_V$ [kg]	110.68	87.99
$\Delta_{\text{διορθ.}}$ [kg]	9208.72	9231.41
Ογκ. εκτ διορθ [m³]	88.14	88.36
N_{pr}	2.00	2.00
L/B	3.25	3.25
1-w	1.00	1.00
1-t	0.98	0.98
n_R	0.96	0.96
w	0.00	0.00
t	0.02	0.02
Δεπιλ	0.40	0.40
K_T/J^2	0.19	0.12
ρ [kp *s ² /m ⁴]	104.61	104.61
ρ_A [Kp/m ²]	10336.00	10336.00
ρ_V [Kp/m ²]	175.70	175.70
H [m]	0.90	0.90
ρ_H [Kp/m ²]	922.58	922.58
σ	1.02	0.65
ογκομ. αρ. Froude	2.18	2.72
$Fv=Vs/(gV^{1/3})^{2/3}$		

Ακολουθούν τα εξεταζόμενα διαγράμματα έλικας σε ελεύθερη ροή:



Εικόνα 51: Διαγράμματα ελεύθερης ροής της επιλεγείσας έλικας [4]

Αν και αρχικώς ελήφθησαν δύο διαγράμματα -εξαιτίας της «ενδιάμεσης» τιμής του αριθμού σπηλαίωσης σ ($0.60 < 0.65 < 0.75$)- παρατηρείται ότι για $\frac{K_T}{J^2} = 0.12$ οι τιμές των βαθμών απόδοσης έλικας σε ελεύθερη ροή η_0 και συντελεστών προχώρησης J είναι παραπλήσιες, επομένως δεν απαιτείται, τελικά, γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών των δύο διαγραμμάτων. Η «είσοδος» στα διαγράμματα αυτά γίνεται με το δεδομένο, πλέον, βήμα της έλικας, για τα υπολογισθέντα " σ ", " $\frac{K_T}{J^2}$ ".

Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας -περιλαμβάνων τα χαρακτηριστικά της επιλεγείσας έλικας Newton-Rader στην ταχύτητα των 35 kn:

Πίνακας 14: Πίνακας χαρακτηριστικών υπό εξέταση έλικας σε ελεύθερη ροή, για V_{max}

ΕΠΙΛΟΓΗ 2 στη V_{max}	
Τύπος	Newton - Rader
Z	3
EAR	1.00
P/D	1.66
J	1.38
η_0	0.72
RPM	1956.96
n [RPS]	32.62
$V_{0.7R}$	33.87
$\sigma_{0.7R}$	0.18
K_T	0.24
T	672.32
A_P	0.09
τ_c	0.13
K_Q	0.07
Q	82.04
Q_c	0.04

Παρατηρείται ότι $\eta_0 \approx 0.72$ -υψηλότερη τιμή που φανερώνει ότι και στη μέγιστη ταχύτητα σκάφους η επιλεγείσα έλικα λειτουργεί εξαιρετικά- ενώ οι υπολογισμοί σπηλαίωσης που επαναλαμβάνονται για την νέα ταχύτητα⁴¹ φανερώνουν ικανοποίηση του 3^{ου} κριτηρίου σπηλαίωσης -που είναι και το μόνο που «απασχολεί» τις έλικες Newton-Rader, ως έλικες υπερσπηλαίωσης- όπως φαίνεται στον Πίνακα 15 (εμπλουτισμένος Πίνακας 11) που ακολουθεί⁴²:

⁴¹ Η ικανοποίηση των κριτηρίων σπηλαίωσης είναι, βέβαια, εκ των προτέρων γνωστή, εξαιτίας του υψηλότερου η_0 .

⁴² Σημειώνεται το εξής: Σε όλους τους πίνακες αυτής της ενότητας χρησιμοποιήθηκαν οι κατάλληλες τιμές των εμφανιζόμενων χαρακτηριστικών (π.χ. διαγωγή, συντελεστές έλικας) για την εκάστοτε ταχύτητα. Μόνον όσον αφορά στους συντελεστές w, t, η_R , η μεταβολή τους θεωρήθηκε αμελητέα, λόγω της αντίστοιχα μικρής μεταβολής του ογκομετρικού αριθμού Froude που τα επηρεάζει.

Πίνακας 15: Εξέταση των κριτηρίων σπηλαιώσης και για τη μέγιστη ταχύτητα

	ΕΠΙΛΟΓΗ 1	ΕΠΙΛΟΓΗ 2	ΕΠΙΛΟΓΗ 2 (στη V_{max})
1ο κριτήριο			
τ_c	0.10	0.17	0.13
$\tau_{c10\%}$	0.09	0.14	0.11
$\tau_c < \tau_{c10\%}$	Για υπο-σπηλαιούμενες έλικες		
2ο κριτήριο			
$\tau_{cKTBreakdown}$	0.10	0.17	0.13
$\tau_c < \tau_{cKTBreakdown}$	Για υπο-σπηλαιούμενες έλικες		
3ο κριτήριο			
$\sigma_{0.7R}$		0.24	0.18
$\sigma_{0.7R} \leq 0.4$			
τ_{c0}		0.35	0.28
$\tau_{c\alpha}$		0.12	0.12
τ_{CLimit}		0.35	0.28
Q_{c0}		0.092	0.075
$Q_{c\alpha}$		0.032	0.032
Q_{CLimit}		0.092	0.075
$\tau_c < \tau_{c,Limit}$		OK	OK
$Q_c < Q_{c,Limit}$		OK	OK

6.3.3.2 Υπολογισμός τελικού βαθμού απόδοσης πρόωσης συστήματος έλικας-σκάφους

Με την έλικα να έχει, πλέον, τεκμηριωμένα επιλεγεί, υπολογίζεται -ως τελευταίο πια βήμα της διπλωματικής εργασίας- ο νέος βαθμός απόδοσης πρόωσης του συστήματος έλικας-σκάφους $P.C.$ (Propulsive Coefficient).

Ισχύει γι' αυτόν:

$$P.C. = \eta_0 \eta_H \eta_R \eta_S ,$$

όπου:

η_0 ο βαθμός απόδοσης έλικας σε ελεύθερη ροή, με $\eta_0 = 0.69$ για την επιλεγείσα έλικα, στην ταχύτητα λειτουργίας,

η_H ο βαθμός απόδοσης γάστρας, ίσος με: $\eta_H = \frac{1-t}{1-w} = 0.98$,

η_R ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής, για τον οποίο επελέγη σε προηγηθέν σημείο της διπλωματικής εργασίας: $\eta_R = 0.96$ και

η_S ο βαθμός απόδοσης αξονικού συστήματος, ο οποίος έχει ληφθεί ίσος με τη μονάδα, μιας και πρακτικά δεν υπάρχει ελικοφόρος άξονας (αμελητέο μήκος, άρα αμελητέες απώλειες τριβών).

Προκύπτει, λοιπόν, $P.C \simeq 0.65$ για την ταχύτητα υπηρεσίας. Δεδομένου ότι αρχικώς -σε στάδιο που προηγείτο της εκλογής έλικας- είχε υποτεθεί για τους απαραίτητους υπολογισμούς συντελεστής πρόωσης $P.C = 0.60$, επιβεβαιώνεται η καλή λειτουργία του συστήματος έλικας-ταχυπλόου της διπλωματικής εργασίας (υπάρχει, μάλιστα, και ένα επιπλέον περιθώριο ισχύος για τις μηχανές που έχουν εκλεγεί).

7 Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας υπήρξε η σχεδίαση μικρού ταχυπλόου σκάφους αναψυχής με λόγο μήκους προς πλάτος $L/B = 3.25$, αποτελούντος επέκταση της Συστηματικής Σειράς του Ε.Μ.Π. ($L/B = 4.00$ έως 7.00) · μια επιλογή που υπαγορεύτηκε τόσο από τα αναδεικνυόμενα στην εισαγωγή που έγινε σχετικά με τους διαφόρους τύπους γαστρών-προτερήματά της για το εξεταζόμενο εύρος ταχυτήτων όσο και από τη διαθεσιμότητα των συγκεκριμένων γραμμών σε περιβάλλον Autocad.

Αρχικά, έγινε υπολογισμός της αντίστασης του σκάφους στο εξεταζόμενο εύρος ταχυτήτων λειτουργίας, με χρήση της μεθόδου ομοιότητας Froude για τις χαμηλές, και της ημιεμπειρικής μεθόδου Savitsky για τις υψηλές ταχύτητες, απο τον συνδυασμό των οποίων εξήχθη η τελική καμπύλη αντίστασης του ταχυπλόου για τρεις καταστάσεις φόρτωσης, με μελετώμενη να επιλέγεται η βαρύτερη εκ των τριών. Στην περιοχή επικάλυψης των ταχυτήτων προτιμήθηκε η μέθοδος Froude, μιας και τα πειραματικά είναι τα εγκυρότερα αποτελέσματα · άλλωστε η μέθοδος Savitsky -αφορώσα σε σχεδίαση ολισθακάτων- δίνει καλά αποτελέσματα για αριθμούς $Fn \geq 1$, ενώ σ' αυτήν έχει υπεισέλθει και παραδοχή για σταθερή γωνία ανύψωσης όσο και εκτίμηση για την τιμή διαμήκους θέσης του κέντρου βάρους του σκάφους.

Επόμενη φάση στη σχεδίαση αποτέλεσε ο υπολογισμός των υδροστατικών χαρακτηριστικών του ταχυπλόου σκάφους, μέσω εισαγωγής σε κατάλληλο εκτελέσιμο πρόγραμμα -για ισοβύθιστη, ως είθισται, κατάσταση- της περιγραφής της γεωμετρίας της γάστρας. Η ελάχιστη απόκλιση μεταξύ υπολογισθέντος από μέθοδο Froude και εξαγόμενου από το υδροστατικό πρόγραμμα εκτοπίσματος επιβεβαιώνει την εγκυρότητα της προηγηθείσας διαδικασίας.

Με την ταυτότητα του ταχυπλόου σκάφους γνωστή, επελέγησαν ακολούθως η μέγιστη επιτεύξιμη ταχύτητά του, όσο και κατάλληλες εξωλέμβιες μηχανές, προς εκπόνηση τελικά Σχεδίου Γενικής Διάταξης -βάσει διαθέσιμων στοιχείων παρομοίων σκαφών της αγοράς. Έμφαση δόθηκε στην κατά το δυνατόν «συμπαγή» σχεδίαση των χώρων και εξαρτημάτων, ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργικότητά τους, με ταυτόχρονη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση της γάστρας και της υπερκατασκευής.

Η τελική κατανομή βαρών -εκτός της ίδιας σημασίας της- επέτρεψε τον υπολογισμό του πραγματικού εκτοπίσματος και της στατικής διαγωγής του σκάφους στη μελετώμενη κατάσταση φόρτωσης. Οι προκύπτουσες αυτές -μέσα από κατάλληλη επαναληπτική διαδικασία- τιμές παρουσίασαν πολύ μικρή απόκλιση από τις αρχικά θεωρηθείσες και αξιολογήθηκαν, επομένως, ως αποδεκτές, με αποτέλεσμα οι παράμετροι που επηρεάζονται και η εκτίμηση των οποίων είχε, αναγκαστικά, προηγηθεί στη διπλωματική εργασία να διατηρούνται αναλλοίωτες. Σημειώνεται, εδώ, ότι ο υπολογισμός του βάρους της γάστρας και της υπερκατασκευής έγινε θεωρώντας

κατάλληλα πολύστρωτα σύνθετα υλικά, η επιλογή των οποίων βασίστηκε σε στοιχεία της εμπειρίας όσο και της βιβλιογραφίας.

Τελευταίο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η εκλογή κατάλληλης για το ταχύπλοο έλικας, προς συνδυασμόν αποδοτικής λειτουργίας της και αποφυγής εμφάνισης φαινομένων σπηλαίωσης. Η ανάλυση οδήγησε σε επιλογή έλικας Newton- Rader, κάτι που συμφωνεί με τις συστάσεις της βιβλιογραφίας.

Μια πολύπλευρη μελέτη επιχειρήθηκε, λοιπόν, στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αυτό, φυσικά, δεν αναιρεί τη δυνατότητα που υπάρχει για επέκτασή της και που προσφέρεται εξαιτίας του ιδιαίτερα πολυσχιδούς θέματός της. Ενδεικτικά μόνον αναφέρεται, εδώ, ότι μια τέτοια διεύρυνση θα μπορούσε να περιλαμβάνει την εξέταση εναλλακτικών μορφών γάστρας για το ταχύπλοο σκάφος, με χρήση των ίδιων μεθόδων υπολογισμού της αντίστασης για τα συγκεκριμένα εύρη ταχυτήτων -προς αποφυγήν εισαγωγής επιπλέον παραμέτρων επίδρασης στα εξαγόμενα αποτελέσματα. Σκοπός: η υποβολή τους σε σύγκριση με αυτά της διπλωματικής εργασίας, ώστε να διαπιστωθεί ο βέλτιστος τύπος γάστρας για τις δεδομένες κύριες διαστάσεις και ταχύτητες λειτουργίας του σκάφους. Η επιλογή κατάλληλης γάστρας μπορεί, ακολούθως, να διασταυρωθεί με εκείνη που θα προέκυπτε από μελέτη της αντίστασης του σκάφους με χρήση κατάλληλου προγράμματος υπολογιστικής υδροδυναμικής (CFD).

Στο πλαίσιο της προσπάθειας για βέλτιστη δυνατή σχεδίαση και με δεδομένη τη σήμερα πιο επιτακτική από ποτέ ανάγκη για οικολογικές επιλογές σε όλες τις εκφάνσεις της καθημερινότητας αλλά και της βιομηχανίας, θα μπορούσε να ενταχθεί στην παρουσιαζόμενη μελέτη και η περιβαλλοντική διάσταση του προβλήματος. Κάτι τέτοιο ενδεικτικά αναφέρεται ότι μπορεί να συμπεριλάβει την εξέταση εναλλακτικών συστημάτων πρόωσης ή επικουρικών μηχανημάτων μείωσης των παραγόμενων -από το ταχύπλοο- ρύπων.

Τα ταχύπλοα σκάφη αποτελούν ένα πεδίο στο οποίο υπάρχει απαίτηση για διαρκείς βελτιώσεις σε όλα τα επίπεδα, που εκτείνονται από την παροχή ολοένα και περισσότερων ανέσεων εν πλω, έως την επίτευξη μεγαλύτερων ταχυτήτων, υψηλότερου επιπέδου ασφαλείας, και μικρότερου περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Η εξάντληση, επομένως, των παραπάνω σε μια διπλωματική εργασία δεν είναι εφικτή· παρ' όλα αυτά επιχειρήθηκε μια κατά το δυνατόν ολοκληρωμένη μελέτη στο ταχύπλοο σκάφος υπό σχεδίαση.

8 Βιβλιογραφία

- [1] Γ. Γρηγορόπουλος, Υδροδυναμική Σχεδίαση Μικρών Σκαφών, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σεπτέμβριος 2021.
- [2] D. Savitsky, "Hydrodynamic Design of Planing Hulls," in *Meeting of the New York Metropolitan Section of The Society of Naval Architects and Marine Engineers*, January 1964.
- [3] Γ. Πολίτη, Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018.
- [4] Γ. Γρηγορόπουλος και Θ. Λουκάκη, Συστηματική Σειρά Ολισθακάτων με Διπλή Ακμή του ΕΜΠ-Περιγραφή και Αποτελέσματα, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2013.
- [5] G. J. Grigoropoulos and T. A. Loukakis, "Seakeeping performance assessment of planing hulls," in *Transactions on the Built Environment*, 1995.
- [6] G. J. Grigoropoulos and T. A. Loukakis, "Effect of Spray Rails on the Resistance of Planing Hulls," in *Transactions on the Built Environment*, 1995.
- [7] G. J. Grigoropoulos and D. P. Damala, "Dynamic Performance of the NTUA Double-Chine Series Hull Forms in Random Waves," in *11th International Conference on Fast Sea Transportation*, Honolulu, Hawaii, USA, September 2011.
- [8] Γ. Α. Α. Γερογιαννάκη, «Πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς ταχυπλόου σκάφους σε ήρεμο νερό και σε κυματισμούς», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2009.
- [9] Θ. Λουκάκης, Α. Δόδουλας και Δ. Κουρεμένος, Πρόωση Πλοίου, Τόμος Α', Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, 2016.
- [10] Α. Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου, Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών, 2011.
- [11] Γ. Τζαμπίρας, Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, 2015.
- [12] itBoat, "Fibrafort Focker 388 Grand Turismo," n.d.. [Online]. Available: <https://itboat.com/fibrafort-focker-388-gran-turismo>.
- [13] Bavaria Yachts, "The Bavaria S33," n.d.. [Online]. Available: <https://www.bavariayachts.com/s33>
- [14] 33 Pro Fish, "Coastal Craft Yachts," n.d.. [Online]. Available: <https://coastalcraft.com/33-profifish>
- [15] Cockwell's, "Duchy Sport," n.d.. [Online]. Available: <https://cockwells.co.uk/duchy-sport>
- [16] De Antonio Yachts, "D36," n.d.. [Online]. Available: <https://www.deantonioyachts.com/d-36>
- [17] CobaltBoats.com, "Cobalt_360," n.d.. [Online]. Available: https://cobaltboats.com/Cobalt_360
- [18] Gagliotta.com, "Lobster35," n.d.. [Online]. Available: <https://www.gagliotta.com/en/lobster-35>
- [19] HinckleyYachts, "PicnicBoat37," n.d.. [Online]. Available: <https://www.hinckleyyachts.com/picnic-boat-37>
- [20] itBoat, "Grandezza 37 CA," n.d.. [Online]. Available: <https://itboat.com/grandezza-37-ca>
- [21] itBoat, "Marlow Prowler_375 Open," n.d.. [Online]. Available: <https://itboat.com/marlow-prowler-375>
- [22] itBoat, "BavariaYachts_Sport35," n.d.. [Online]. Available: <https://itboat.com/bavaria-sport-35>
- [23] itBoat, "NassimaYachts_40," n.d.. [Online]. Available: <https://itboat.com/nassima-yacht-40>
- [24] MJMYachts, "MJM_35," n.d.. [Online]. Available: <https://mjmyachts.com/mjm35>
- [25] Astondoa, "377_Cupe," n.d.. [Online]. Available: <https://astondoa.com/en-377-coupe>
- [26] Mercury Racing, "Mercury_300R," n.d.. [Online]. Available: <https://www.mercuryracing.com/r-series/300>

- [27] Barbera Yachting, "What is A Wet Room on a Yacht or Ship?," n.d.. [Online]. Available: <https://barbera-yachting.de/what-is-a-wet-room-on-a-yacht>
- [28] Νικόλαος Γ. Τσουβάλης, Ανάλυση και Σχεδίαση Σκαφών από Σύνθετα Υλικά, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2022.
- [29] Glass and Aluminium, "Monolithic Glass," n.d.. [Online]. Available: <https://glassandaluminum.ca/monolithic-glass>
- [30] ABS, "Rules for Building and Classing High Speed Craft," 2024.
- [31] GlassHern, "Tempered Glass," n.d.. [Online]. Available: <https://customglassmfg.net/tempered-glass>
- [32] Big D, "How To Install an Outboard Engine," n.d.. [Online]. Available: <https://bigd.mt/how-to-install-an-outboard-engine>
- [33] eureka_AIR, "Anti- Ventilation Plate," n.d.. [Online]. Available: <https://eureka.patsnap.com/anti-ventilation>
- [34] ChiefTain Training, "Propeller Cavitation and Propeller Ventilation Explained," n.d.. [Online]. Available: <https://chieftain.training/propeller-cavitation-ventilation-explained>
- [35] Propeller Depot, "Propeller Guide," n.d.. [Online]. Available: <https://www.propellerdepot.com/propeller-guide-results/mercury-300>.
- [36] Wärtsilä, "Encyclopedia of Marine and Energy Technology," n.d.. [Online]. Available: <https://www.wartsila.com/propeller-pitch>
- [37] Wikipedia, "Outboard diagram," n.d.. [Online]. Available: https://upload.wikimedia.org/Outboard_diagram
- [38] On Your Way_ Marine, "Pros and Cons of Outboard Engines," n.d.. [Online]. Available: <https://www.onyourwaymarine.ca/pros-and-cons-of-outboard-motors>
- [39] Universal Technical Institute, "What Is An Outboard Motor and How Does It Work?," n.d.. [Online]. Available: <https://www.uti.edu/marine/outboard-motor-anatomy>
- [40] Cobra Ribs, "Single vs Twin Engine," n.d.. [Online]. Available: <https://www.cobraribs.com/single-vs-twin-engine>.
- [41] Boat Builder Central, "Outboard Shaft Lengths and Transoms," n.d.. [Online]. Available: <https://boatbuildercentral.com/outboard-shaft-lengths-and-transoms>
- [42] isalos.net, "Αξιωματικός Ε.Ν.," December 2022. [Online]. Available: <https://www.isalos.net/-aroulka-sta-ploia>