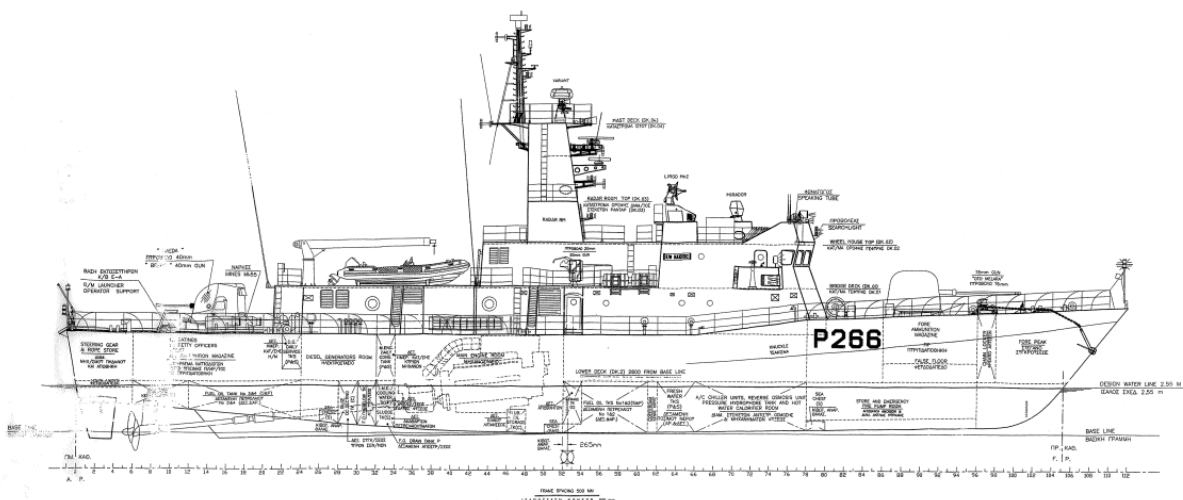




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΠΜΣ ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ



ΟΡV OSPREY HSY-56A

Βελτιστοποίηση λειτουργικού προφίλ περιπολικού
πλοίου ανοικτής θαλάσσης

Παπαλέξης Σπήλιος (ΑΜ:08119824)

Επιβλέπων: Γ. Γρηγορόπουλος

Αθήνα
Ιούλιος 2022

Ευχαριστίες

Η πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στον τομέα “Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής” στην Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η υπόδειξη του θέματος έγινε από τον Καθηγητή Γ. Γρηγορόπουλο με επιβλέπων τον ίδιο.

Θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Καθηγητή Γ. Γρηγορόπουλο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας. Οι σημαντικές υποδείξεις και συμβουλές του με κατεύθυναν σ’ ένα σωστό τρόπο σκέψης πάνω απ’ όλα και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του για την επίλυση διάφορων θεμάτων.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγιναν αναλυτικοί υπολογισμοί της συμπεριφοράς (αντίσταση και πρόωση σε ήρεμο νερό και δυναμική συμπεριφορά σε κυματισμούς) ενός περιπολικού πλοίου ανοικτής θαλάσσης οι οποίοι επικαιροποιήθηκαν με πειραματικά αποτελέσματα και μετρήσεις επί του πλοίου. Οι προβλέψεις που προέκυψαν συγκρίθηκαν με τη λειτουργική συμπεριφορά του πλοίου όπως καταγράφεται σε διάφορες καταστάσεις θάλασσας.

Συγκεκριμένα, για την επικαιροποίηση των αναλυτικών υπολογισμών χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες που προέρχονται από: (α) τις μετρήσεις των μηχανών σε πέδη, (β) τις δοκιμές παραλαβής του πλοίου και (γ) μετρήσεις πλοίου μετά από δεξαμενισμό (καθαρισμός γάστρας και ελίκων) λαμβάνοντας υπόψη κάθε φορά την κατάσταση φόρτωσης του πλοίου.

Οι αναλυτικές προβλέψεις της συμπεριφοράς του πλοίου συγκρίθηκαν με μετρήσεις της συμπεριφοράς του πλοίου σε πραγματικές καταστάσεις θάλασσας, που περιγράφεται από το σημείο λειτουργίας των κυρίων μηχανών, την κατανάλωση καυσίμου, την ταχύτητά του και την κατάσταση θάλασσας. Η σύγκριση των ανωτέρω μεγεθών οδήγησε σε εκτίμηση των αιτιών που επηρεάζουν την απόδοση του πλοίου (ηλικία, ρύπανση γάστρας ή/και ελίκων) και σε προτάσεις βελτίωσης του λειτουργικού προφίλ του πλοίου με συνέπεια τη μείωση κατανάλωσης καυσίμου του πλοίου.

Το υπό μελέτη πλοίο είναι Κανονιοφόρος τ. Μαχητής (OSPNEY HSY 56A – HULL No 1613) του Πολεμικού Ναυτικού συνολικού μήκους 56.5 m, μέγιστου πλάτους 10 m, βυθίσματος 3.6 m και εκτοπίσματος 575 τόνων.

Abstract

In the present paper, detailed calculations of the behavior (resistance and propulsion in calm water and dynamic behavior in ripples) of an offshore patrol vessel were made, which were updated with experimental results and measurements on board. The resulting predictions were compared with the operating behavior of the vessel as recorded in various sea conditions.

Specifically, for the updating of the detailed calculations, information derived from: (a) the measurements of the engines on the brake, (b) the ship acceptance tests and (c) ship measurements before and after tanking (cleaning of hull and propellers) were used, taking into account each time the loading condition of the vessel.

Detailed predictions of the ship's behavior were compared with measurements of the ship's behavior in real sea conditions, described by the operating point of the main engines, fuel consumption, speed and sea condition. The comparison of the above quantities lead to an assessment of the causes that affect the performance of the ship (age, pollution of the hull and / or propellers) and suggestions for improving the operational profile of the ship thus reducing the fuel consumption of the ship.

The ship under study is an Offshore Patrol Vessel - Gunboat type Machitis (OSPREY HSY 56A - HULL No 1613) of the Navy with a total length of 56.5 m, a maximum width of 10 m, a draft of 3.6 m and a displacement of 575 tons.

Content

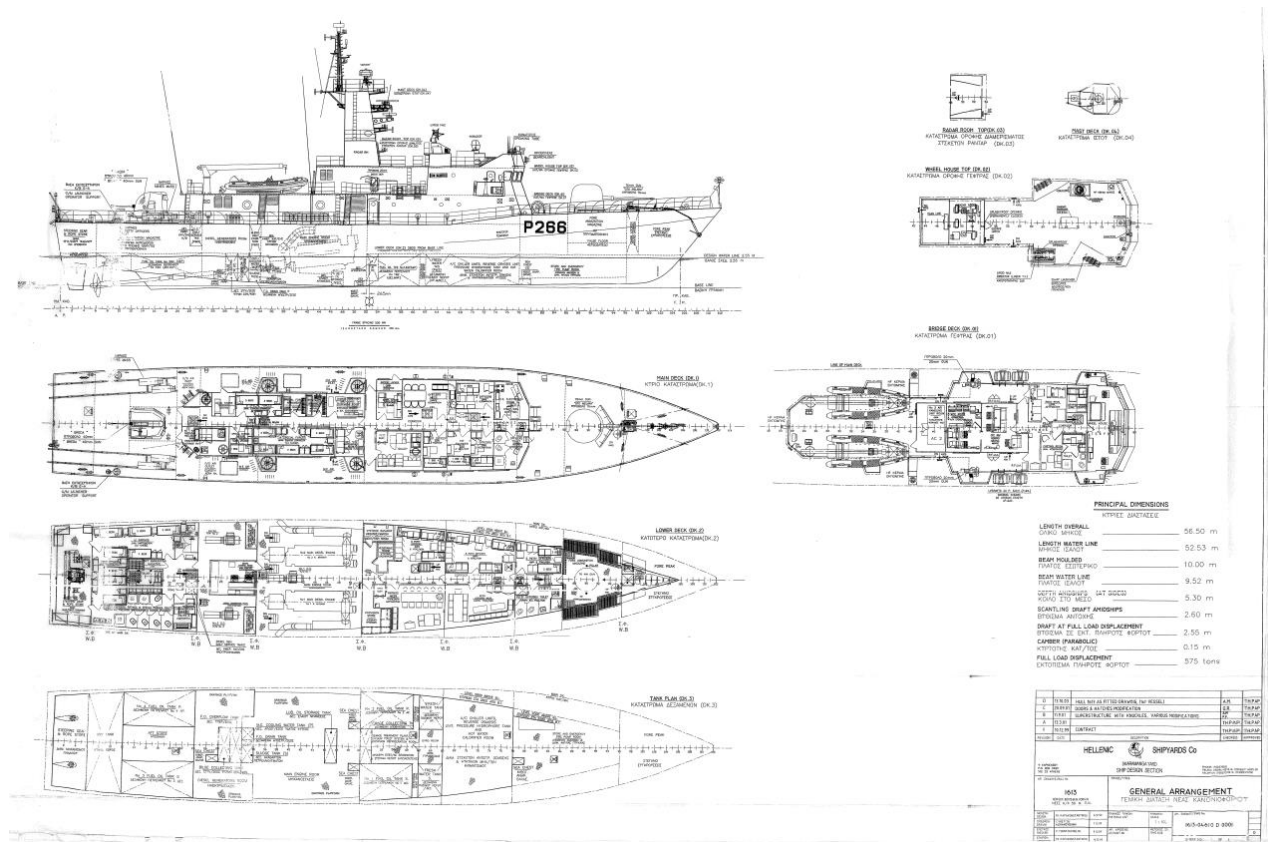
1. Περιγραφή και Δεδομένα Πλοίου	6
1.1 Περιγραφή Πλοίου.....	6
1.2 Δεδομένα Πλοίου	12
1.2.1 Model Test	12
1.2.2 Sea Trials	15
1.2.3 Diesel Test Report	15
1.3 Ιστορικό Πλοίου	16
2. Περιγραφή Προγραμμάτων	17
2.1 Frank	17
2.2 Swan2.....	17
2.3 Επιλογή Περιόδων Κορυφής.....	18
3. Αντίσταση-Πρόωση.....	23
3.1 Αντίσταση πλοίου	23
3.1.1 Γενικές έννοιες.....	23
3.1.2 Fouling - Aging.....	23
3.1.3 Trim	24
3.1.4 Τρόποι υπολογισμού αντίστασης.....	24
3.2 Χαρακτηριστικά έλικας	33
3.2.1 Συντελεστές ώσης και ροπής (KT –KQ)	33
3.2.2 Thrust deduction factor – wake fraction	37
3.3 Ισχύς και οι συνιστώσες της	38
3.4 Χρήση ειδικής φόρμας excel στον υπολογισμό απαιτούμενης ισχύος.....	39
4 Αποτελέσματα – Συμπεράσματα.....	42
4.1 Αποτελέσματα	42
4.2 Συμπεράσματα.....	46
Παράρτημα	48
Βιβλιογραφία	50

1. Περιγραφή και Δεδομένα Πλοίου

1.1 Περιγραφή Πλοίου

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το πολεμικό πλοίο Κανονιοφόρος τ. Μαχητής (OSPREY HSY 56A – HULL No 1613) του Πολεμικού Ναυτικού συνολικού μήκους 56.5 m, μέγιστου πλάτους 10 m, βυθίσματος 3.6 m και εκτοπίσματος 575 τόνων.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου, όπως παρουσιάζονται και στο General Arrangement, είναι τα εξής:



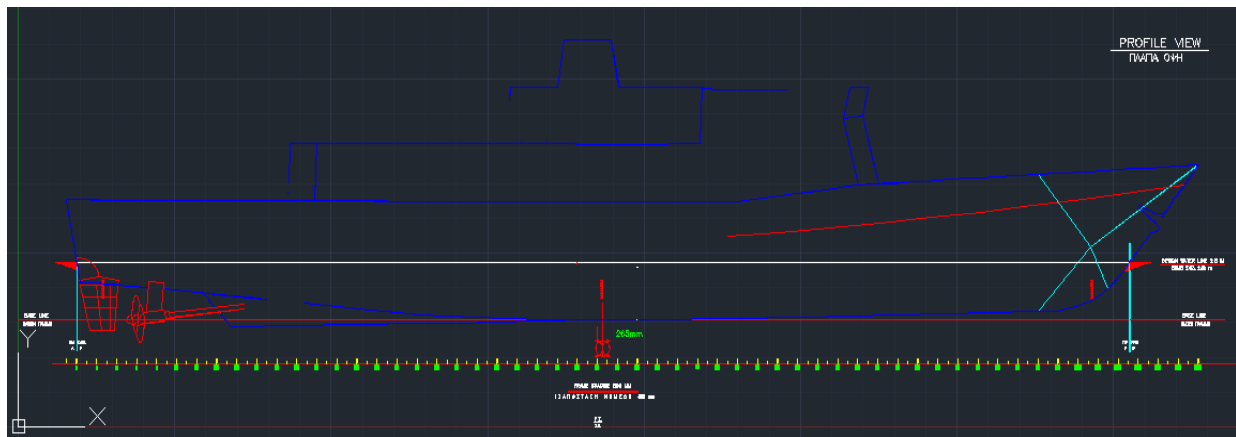
ΕΙΚΟΝΑ 1: GENERAL ARRANGEMENT

PRINCIPAL DIMENSIONS

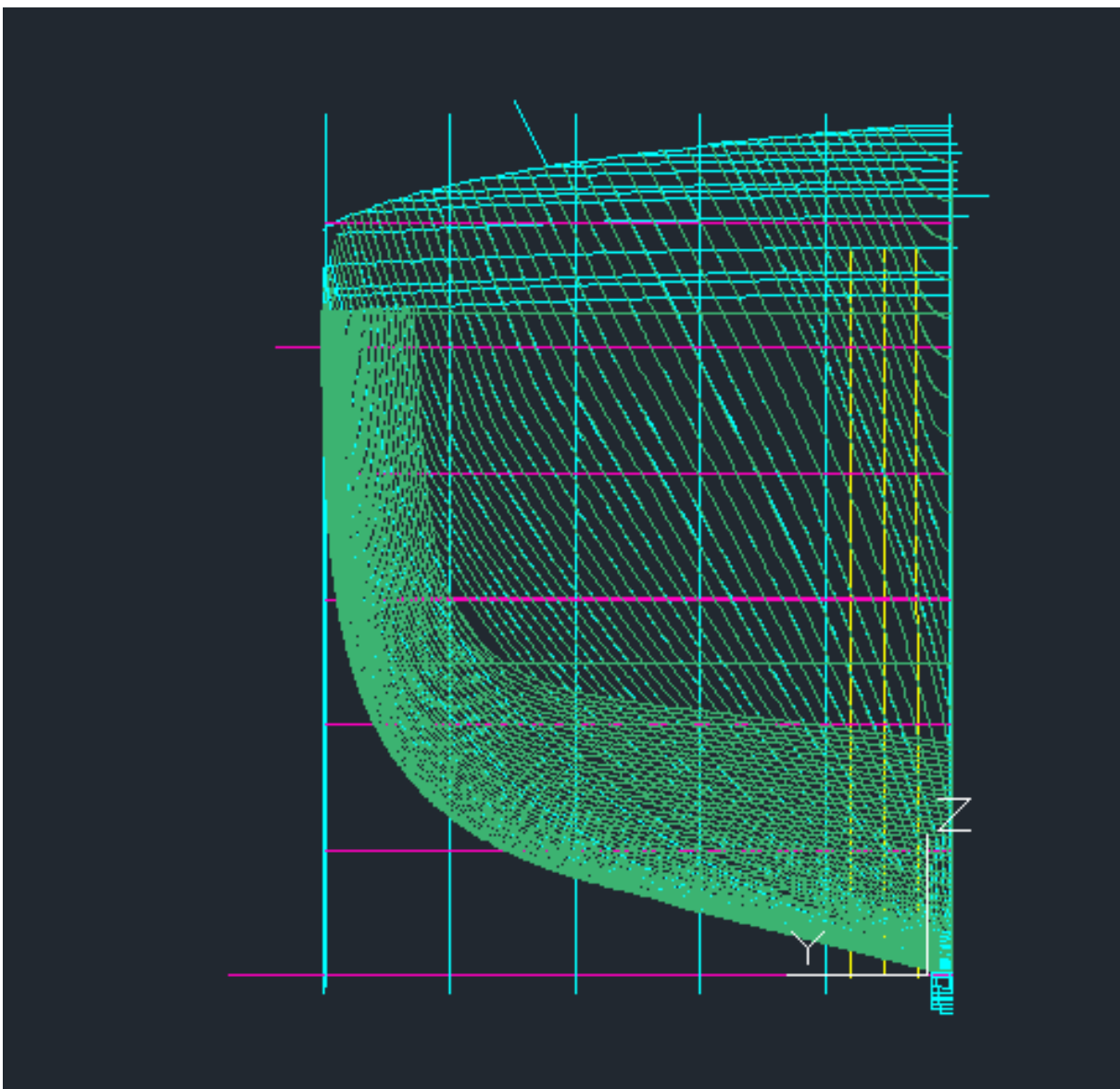
ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

LENGTH OVERALL ΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	_____	56.50 m
LENGTH WATER LINE ΜΗΚΟΣ ΙΣΑΛΟΥ	_____	52.53 m
BEAM MOULDED ΠΛΑΤΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ	_____	10.00 m
BEAM WATER LINE ΠΛΑΤΟΣ ΙΣΑΛΟΥ	_____	9.52 m
DEPTH AMIDSHIPS (AT SIDES) ΚΟΙΛΟ ΣΤΟ ΜΕΣΟ	_____	5.30 m
SCANTLING DRAFT AMIDSHIPS ΒΥΘΙΣΜΑ ΑΝΤΟΧΗΣ	_____	2.60 m
DRAFT AT FULL LOAD DISPLACEMENT ΒΥΘΙΣΜΑ ΣΕ ΕΚΤ. ΠΛΗΡΟΤΣ ΦΟΡΤΟΥ	_____	2.55 m
CAMBER (PARABOLIC) ΚΥΡΤΟΤΗΣ ΚΑΤ/ΤΟΣ	_____	0.15 m
FULL LOAD DISPLACEMENT ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ ΠΛΗΡΟΤΣ ΦΟΡΤΟΥ	_____	575 tons

Για το πλοίο υπήρχε διαθέσιμη η γεωμετρία της γάστρας του, όπου με κατάλληλη επεξεργασία, και με χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Autocad, έγινε η απαραίτητη σχεδίαση της γάστρας για την εξαγωγή των απαιτούμενων πληροφοριών.



ΕΙΚΟΝΑ 2: AUTOCAD PROFILE VIEW



ΕΙΚΟΝΑ 3: AUTOCAD LINES

Από το ηλεκτρονικό πλέον σχέδιο της γάστρας εξήχθησαν δεδομένα για τις επιφάνειες του πλοίου, βρεχόμενες, πηδαλίου και υπερκατασκευής, σε δύο διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης, σύμφωνα και με το σχετικό Stability Booklet, όπως περιγράφονται και κάτωθι:

Κατάσταση Full Load (Departure Even Keel – No Mines)

Κατάσταση Light Ship

Με κύρια χαρακτηριστικά ανά κατάσταση όπως αναφέρονται παρακάτω:

CONDITION NO 14 DEPARTURE EVEN KEEL (NO MINES)

WEIGHT ITEM	SPECIF.	WEIGHT	VCG	LCG	FREE	TCG
	OR	OR	FROM	FROM	SURFACE	FROM
	UNIT		BL	L/2	MOMENT	CL
	WEIGHT	TON	M	M	TON*M	M
TOTAL AMMUNITIONS		13.2	4.731	-1.239		0.209
TOTAL DEADWEIGHT		92.8	2.804	-3.952	42.22	0.069
LIGHT SHIP		482.0	4.010	-2.695		-0.009
TOTAL DISPLACEMENT		574.8	3.815	-2.898	42.22	0.004

SALT WATER DENSITY = 1.025

CONDITION NO 14 DEPARTURE EVEN KEEL (NO MINES)

DRAFT AMIDSHIPS	=	2.549 M
DRAFT AT L.C.F.	=	2.550 M
DRAFT AFT	=	2.552 M
DRAFT FORWARD	=	2.547 M
TRIM	=	-0.005 M
DISPLACEMENT	=	574.8 TONNES
L.C.G.	=	-2.898 M
T.C.G.	=	0.004 M
V.C.G.	=	3.815 M
FREE SURFACE CORRECTION	=	0.073 M
KMT	=	5.773 M
GM SOLID	=	1.958 M
GM FLUID	=	1.885 M

CONDITION No 15 LIGHT SHIP CONDITION

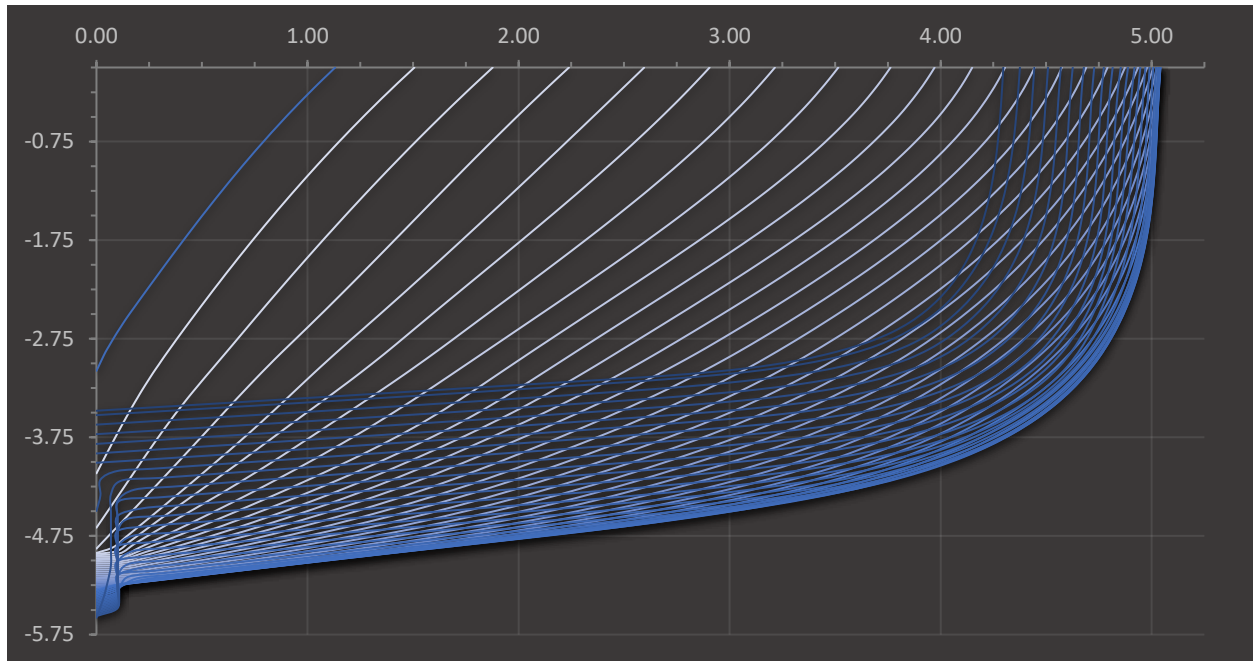
WEIGHT ITEM	SPECIF.	WEIGHT	VCG	LCG	FREE	TCG
	OR	OR	FROM	FROM	SURFACE	FROM
	UNIT		BL	L/2	MOMENT	CL
	WEIGHT	TON	M	M	TON*M	M
TOTAL DEADWEIGHT		0.0				
TOTAL DEADWEIGHT		0.0NaN	NaN		0.00NaN	
LIGHT SHIP		482.0	4.010	-2.695		-0.009
TOTAL DISPLACEMENT		482.0	4.010	-2.695	0.00	-0.009

SALT WATER DENSITY = 1.025

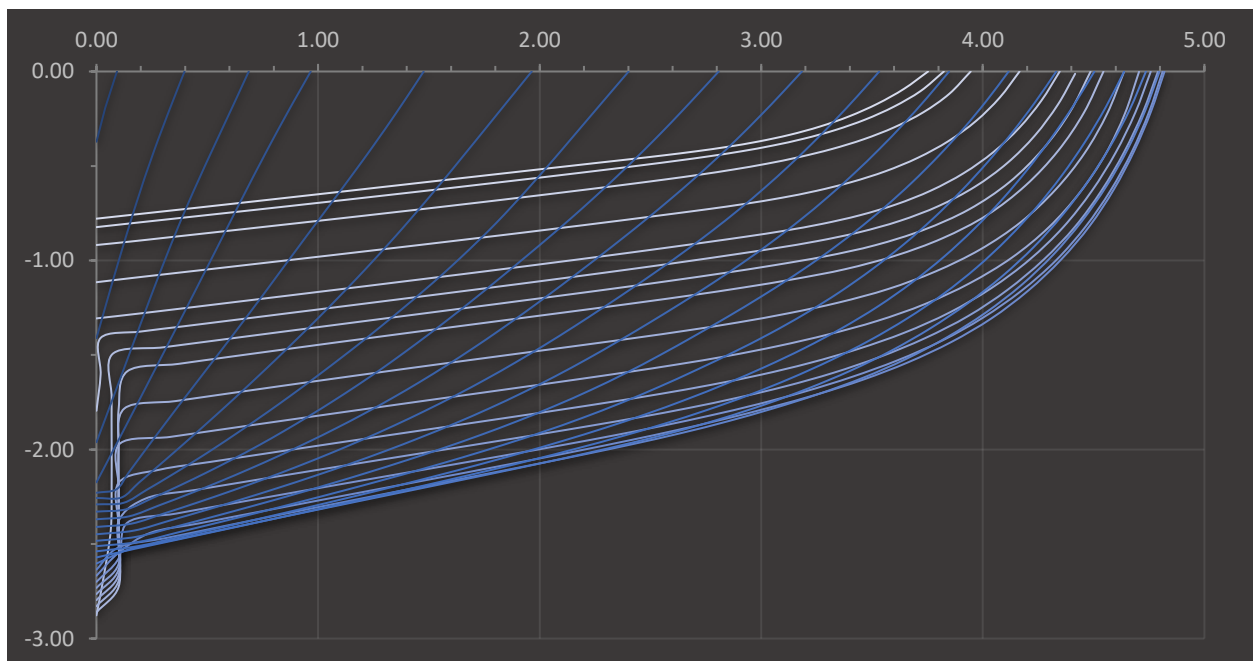
CONDITION No 15 LIGHT SHIP CONDITION

LIGHT SHIP CONDITION		
DRAFT AMIDSHIPS	=	2.309 M
DRAFT AT L.C.F.	=	2.311 M
DRAFT AFT	=	2.321 M
DRAFT FORWARD	=	2.298 M
TRIM	=	-0.024 M
DISPLACEMENT	=	482.0 TONNES
L.C.G.	=	-2.695 M
T.C.G.	=	-0.009 M
V.C.G.	=	4.010 M
FREE SURFACE CORRECTION	=	0.000 M
KMT	=	5.998 M
GM SOLID	=	1.988 M
GM FLUID	=	1.988 M

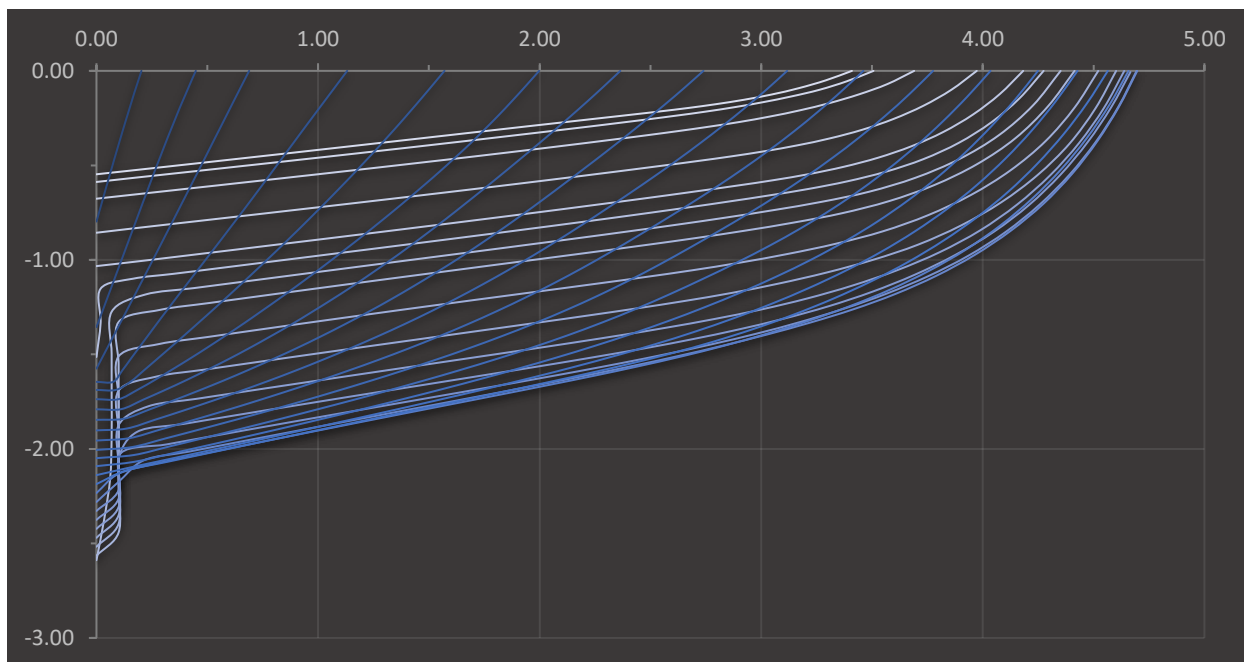
Παρακάτω παρουσιάζονται τα body plan για το σύνολο της γάστρας καθώς και για τις καταστάσεις Full Load και Light Ship.



ΕΙΚΟΝΑ 4: BODYPLAN HULL



ΕΙΚΟΝΑ 5: BODYPLAN FULL LOAD CONDITION



ΕΙΚΟΝΑ 6: BODYPLAN LIGHT SHIP CONDITION

Χρησιμοποιώντας το σχεδιαστικό πρόγραμμα Autocad, αρχικά τοποθετήθηκε στο background το σχέδιο του πλοίου από το general arrangement. Με spline, μέσω πολλών σημείων περιγράφηκε η πλάγια όψη της πλώρης και την πρύμνη, και με ενιαία γραμμή η τρόπιδα. Ύστερα περιγράφηκαν όλοι οι νομείς, δηλαδή το σύνολο σημείων που τους αποτελούν, γνωρίζοντας από τα δεδομένα την θέση του καθενός. Ύστερα σε κάθε νομέα ξεχωριστά, το καμπύλο τμήμα του περιγράφηκε με spline, ώστε να υπάρχει με αρκετά καλύτερη ακρίβεια στον νομέα. Έπειτα σε κάθε νομέα τοποθετήθηκαν πάνω στην τελική του καμπύλη σημεία που ισαπέχουν. Τέλος τοποθετήθηκε ευθεία γραμμή, η οποία αντιπροσωπεύει την ίσαλο, ανάλογα με κάθε κατάσταση βύθισης.

Για την περιγραφή της γάστρας στο πρόγραμμα Frank τα σημεία των νομέων που βρίσκονται πάνω από την ίσαλο αφαιρέθηκαν, και κρατήθηκαν μόνο αυτά που είναι βυθισμένα. Έτσι σαν είσοδο χρησιμοποιήθηκε το σύνολο ισαπέχοντων σημείων των νομέων κάτω από την ίσαλο, έτσι ώστε να περιγράφεται με ακρίβεια η γάστρα που έρχεται σε επαφή με το νερό.

Για την περιγραφή της γάστρας στο πρόγραμμα Swan2 τα σημεία των νομέων που βρίσκονται πάνω από την ίσαλο περιεγράφηκαν μαζί με τα ύφαλα. Σαν επίπεδο αναφοράς θεωρήθηκε το επίπεδο της ισάλου για την κατάσταση Full Load.

Ακόμα, με χρήση κάποιων εντολών του προγράμματος Autocad, υπολογίστηκε η βρεχόμενη επιφάνεια, η επιφάνεια του πηδαλίου και η διαμήκης και εγκάρσια επιφάνεια της υπερκατασκευής, δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν αργότερα για να υπολογιστούν οι διάφορες συνιστώσες αντιστάσης.

1.2 Δεδομένα Πλοίου

1.2.1 Model Test

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το πρότυπο υπό κλίμακα του πλοίου κατασκευάστηκε από ξύλο σε κλίμακα 1 : 9.2 σύμφωνα με τα σχέδια του πλοίου από τα Ελληνικά Ναυπηγεία. Οι κύριες διαστάσεις του πλοίου και του πρότυπου υπό κλίμακα είναι ως κάτωθι:

	ΠΛΟΙΟ	Πρότυπο υπό κλίμακα
L_{pp}	52.530 m	5.710 m
B	10.000 m (CWL)	1.087 m
T_{Design}	2.549 m	0.277 m
d_{CWL}	557 m ³	0.715 m ³
$D_{Prop.}$	2.200 m	0.239 m

Το πρότυπο υπό κλίμακα **HSVA Model No. 4039-0000** είναι χωρίς παρελκόμενα. Το πρότυπο υπό κλίμακα **HSVA Model No. 4039-1001** είναι εξοπλισμένο με αξονικά, I-bracket σε κάθε άξονα και διπλό πηδάλιο. Τα πηδάλια τοποθετήθηκαν στην μέση γραμμή των αξόνων σε γωνία 0°. Η ευθυγράμμιση των αξόνων δόθηκε από τα ναυπηγεία.

Στον καθρέφτη της γάστρας είναι τοποθετημένο trim wedge διαστάσεων 26 x 130 mm.

ΔΟΚΙΜΕΣ

Οι δοκιμές εκτελέστηκαν στην δεξαμενή της HSVA με μήκος 300 m, πλάτος 18 m και βάθος 6 m. Αρχικά εκτελέστηκαν δοκιμές αντίστασης χωρίς τα παρελκόμενα, ακολούθησαν δοκιμές αντίστασης με τα παρελκόμενα και τέλος δοκιμές αυτό-πρώωσης. Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν για δύο διαφορετικά εκτοπίσματα, full load και light ship.

Για να μελετηθεί η επίδραση της κατεύθυνσης στρέψης των προπελών στην απαιτούμενη ισχύ, δοκιμάστηκαν και οι δύο φορές στρέψης για εκτόπισμα full load.

Παρακάτω δίνονται οι διάφορες δοκιμές που εκτελέστηκαν:

Τύπος δοκιμής	Συνθήκες Προτύπου υπό κλίμακα	Βύθισμα πλοίου	Ταχύτητα πλοίου
---------------	-------------------------------	----------------	-----------------

Αντίστασης	Χωρίς παρελκόμενα	2.549 m – full load	24 – 26 kts
Αντίστασης	Χωρίς παρελκόμενα	2.357 m – light ship	14 – 27 kts
Αυτό-πρόωσης	Με παρελκόμενα – Άνω συγκλίνουσες προπέλες	2.549 m – full load	20 – 24 kts
Αντίστασης	Με παρελκόμενα	2.549 m – full load	14 – 26 kts
Αυτό-πρόωσης	Με παρελκόμενα – Κάτω συγκλίνουσες προπέλες	2.549 m – full load	14 – 26 kts
Αντίστασης	Με παρελκόμενα	2.357 m – light ship	14 – 27 kts
Αυτό-πρόωσης	Με παρελκόμενα – Κάτω συγκλίνουσες προπέλες	2.357 m – light ship	14 – 27 kts

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

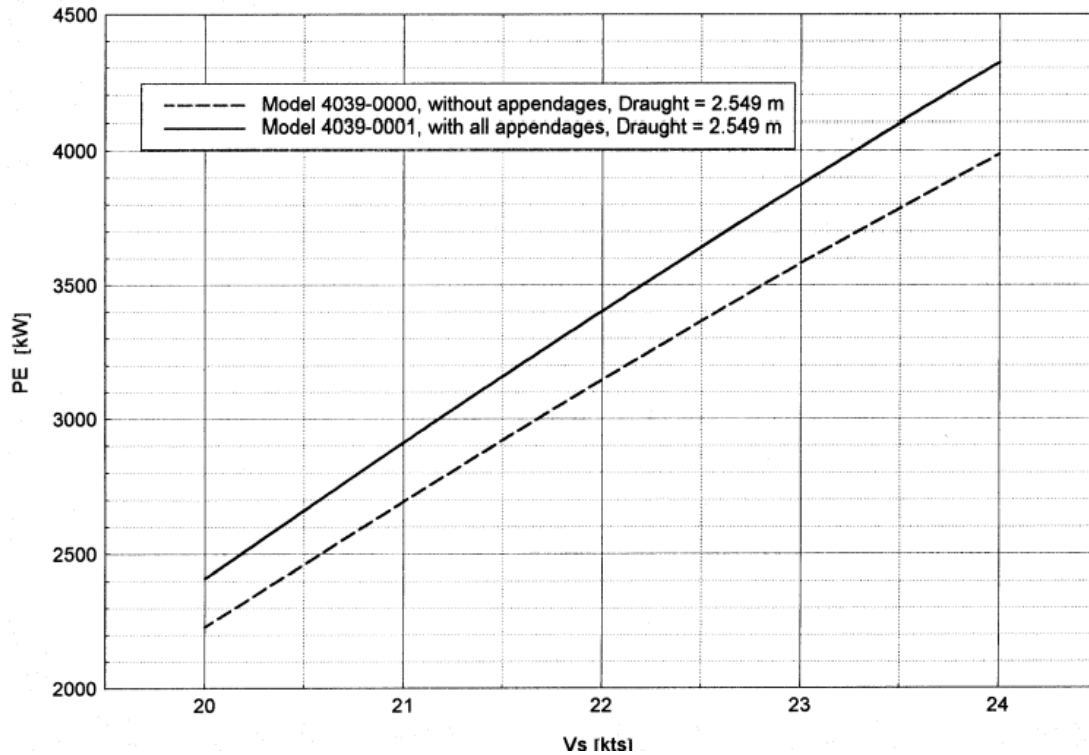
Τα αποτελέσματα των δοκιμών αναλύθηκαν σύμφωνα με την HSVA Standard Method.

Η αντίσταση των παρελκομένων διορθώθηκε για την πλήρης κλίμακα (πλοίο) σύμφωνα με την 60/40 μέθοδο. Σε αυτή την διόρθωση μια δύναμη ίση με το 40 % της αντίστασης παρελκομένων αφαιρείται από την συνολική αντίσταση του προτύπου υπό κλίμακα με τα παρελκόμενα. Μια αντιστοιχιζόμενη αύξηση στην δύναμη (μείωση τριβής) εφαρμόζεται κατά την διάρκεια των δοκιμών αυτό-πρόωσης.

Η αντίσταση παρελκομένων καθορίστηκε για βύθισμα πλοίου 2.549 m – full load, και η διόρθωση 60/40 χρησιμοποιήθηκε επίσης για βύθισμα πλοίου 2.357 m – light ship.

Σύγκριση της effective power P_E και για τα δύο μοντέλα και για βύθισμα πλοίου 2.549 m – full load δίνεται παρακάτω:

Ταχύτητα πλοίου	P_E		ΔP_E
	Χωρίς παρελκόμενα	Με παρελκόμενα	
20 kts	2229 kW	2409 kW	8.1 %
21 kts	2693 kW	2911 kW	8.1 %
22 kts	3146 kW	3402 kW	8.1 %
23 kts	3582 kW	3874 kW	8.2 %
24 kts	3986 kW	4320 kW	8.4 %



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 1: MODEL TEST - ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει πως η αντίσταση παρελκομένων ισοδυναμεί με περίπου 8 %.

ΠΡΟΠΕΛΑ

Τα χαρακτηριστικά των προπελών είναι τα κάτωθι:

Διάμετρος	2.200 m
Pitch ratio (mean)	1.294
Διάμετρος Hub	0.235 m
Disc area ratio	0.780
Πλήθος πτερυγίων	5

1.2.2 Sea Trials

Τα αποτελέσματα των sea trials (speed trials) αναφέρονται παρακάτω:

SHIP'S SPEED TRIALS

TEST RESULTS-TABLE

Place of Trial:	SARONIC GULF	
Date of Trial:	11/12/03	
Displacement at the beginning of the Trial:	578,7	t
Air Temperature during measurements	13,4	°C
Vessel's trim at standstill condition:	-48	mm

Run no.		1 To-Mile 270°	2 Fro-Mile 90°
Heading Course	Port BHP	3013,75	3009,33
	Starboard BHP	3065,49	3055,29
	Total BHP	6079,24	6064,62
	BHP mean value out of to- & fro-mile	6071,93	
Shaft Revolutions n, [min ⁻¹]	Port	899,91	898,94
	Starboard	899,39	898,67
	Mean value for each direction	899,65	898,80
	Mean value out of to- & fro-mile	899,22	
Speed over ground according to D.G.P.S., [knots]	To-Mile / Fro-Mile	22,43	22,28
	Mean value out of to- & fro-mile, V _m	22,36	
Max. Rudder Angle Deviation from 0°	Port	0	0
	Starboard	0	0
	Max. value out of to- and fro-mile	0	
	Mean value of shaft revol. / Max. Shaft revolutions	99,96 %	99,86 %
	BHP / MCR	82,60 %	82,40 %
Power Margin, [%]	To-Mile / Fro-Mile	17,4	17,6
	Mean value out of to- & fro-mile	17,5	

Remark: Power loss in way of Reduction: Gear 3,5%.

Όπως αναφέρεται παραπάνω η απώλειες λόγω μειωτήρα στον άξονα υπολογίζονται στο 3,5%.

1.2.3 Diesel Test Report

Το πλοίο φέρει για πρόωση δύο μεσόστροφες μηχανές Wartsilla Nohab 16V25. Παρακάτω αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε κύριας μηχανής.

ENGINE DATA

Engine Type	16V25
Nominal Output	3680 kW _b
Nominal Speed	900 rpm

GENERAL DATA

Fuel Oil	MDO C&B
Lubrication Oil	Specific gravity: 0.889 kg/dm ³ Mobil Pegasus 705
Brake k	1/1360
Altitude (MASL)	42 meter

Engine No: 4259 - Rotation Direction: CCW Test Data

Load % of nominal	%	25	50	75	90	100	110
Engine load	kW	920	1840	2760	3312	3680	4048
Fuel consumption	Kg/h	207	380	544	677	742	848
	g/kWh	225	207	197	204	202	209
Engine speed	RPM	567	714	818	869	900	929
Shaft torque	kNm	15494	24609	32220	36395	39046	41610

Engine No: 4260 - Rotation Direction: CW Test Data

Load % of nominal	%	25	50	75	90	100	110
Engine load	kW	920	1840	2760	3312	3680	4048
Fuel consumption	Kg/h	206	380	554	680	753	866
	g/kWh	224	207	201	205	205	214
Engine speed	RPM	567	714	818	869	900	929
Shaft torque	kNm	15494	24609	32220	36395	39046	41610

1.3 Ιστορικό Πλοίου

Το πλοίο μελέτης (Κ/Φ ΜΑΧΗΤΗΣ) αποτελείται από την γάστρα Νο 1613. Η ναυπήγηση της γάστρας ξεκίνησε στις 15 Ιανουαρίου 2002 και καθελκύστηκε στις 04 Ιουνίου του ίδιου έτους. Τελευταίος δεξαμενισμός εκτελέστηκε το πρώτο εξάμηνο του 2018 στα ναυπηγεία Σκαραμαγκά όπου και εκτελέστηκε και υδροβολή / αμμοβολή της γάστρας και υφαλοχρωματισμός. Έκτοτε δεν έχει εκτελεστεί καθαρισμός αξονικών και προπελών.

Οι ωριαίες καταγραφές λειτουργικών παραμέτρων αφορούν το 2^ο τρίμηνο του 2021.

Οι κύριες μηχανές πρόωσης (Wartsilla Nohab 16V25) έχουν άνω των 20.000 ώρων λειτουργίας. Η ΔΕ Κ.Μ. έχει προβεί σε αντικατάσταση αντλιών πετρελαίου υψηλής πίεσης (αντλίες Bosch) όπως προβλέπεται από τον κατασκευαστή ενώ στην ΑΡ Κ.Μ. δεν έχει εκτελεστεί αντικατάσταση αντλιών και λειτουργεί με υπέρβαση ωρών λειτουργίας.

2. Περιγραφή Προγραμμάτων

2.1 Frank

Το πρόγραμμα Frank, χρησιμοποιεί σαν είσοδο τις συντεταγμένες στα περιγράμματα των νομέων του πλοίου και υπολογίζει το δισδιάστατο δυναμικό για κάθε μία από τις κινήσεις heave, sway και roll. Αυτό επιτυγχάνεται καθορίζοντας κατανεμημένες πηγές στο περίγραμμα των νομέων. Ύστερα, ολοκληρώνοντας υπολογίζει τους υδροδυναμικούς παράγοντες της πρόσθετης μάζας νερού και του damping για δεδομένη συχνότητα. Οι παρακάτω παραδοχές γίνονται:

1. Το ρευστό υποτίθεται ασυμπίεστο και μη συνεκτικό
2. Η επιφανειακή τάση δεν λαμβάνεται υπόψιν
3. Το περιβάλλον υδροδυναμικό πεδίο υποτίθεται αστρόβιλο
4. Οι κινήσεις θεωρούνται αρκετά μικρές, ώστε οι γραμμικοί όροι της συνθήκης ελευθέρας επιφάνειας, και η γραμμικοποιημένη εξίσωση Bernoulli, να ισχύουν.

Το δυναμικό ταχύτητας που υπολογίζεται είναι το εξής:

$$\Phi^{(m)}(x, y, t) = \text{Re}\{\phi^{(m)}(x, y) \cdot e^{-i\omega t}\}$$

Όπου m υποδηλώνει το είδος της ταλάντωσης και ικανοποιεί τις επόμενες συνθήκες:

- Εξίσωση Laplace, για μέσα στο υδροδυναμικό πεδίο

$$\nabla^2 \phi^{(m)} = \frac{\partial^2 \phi^{(m)}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi^{(m)}}{\partial y^2} = 0$$

- Συνθήκη ελεύθερης επιφάνειας για $y=0$ και πέρα από τη διατομή

$$\frac{\partial^2 \phi^{(m)}}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi^{(m)}}{\partial y} = 0$$

- Συνθήκη θαλάσσιου πυθμένα

$$\lim_{y \rightarrow -\infty} |\nabla \phi^{(m)}| = 0$$

- Κινηματική οριακή συνθήκη για την ταχύτητα στο περίγραμμα της τομής

$$\vec{n} \cdot \nabla \phi^{(m)} = v_n$$

- Συνθήκη ακτινοβολίας. Αυτή η κατάσταση απαιτεί από την διαταραγμένη επιφάνεια να βρίσκεται μακριά από το ταλαντευόμενο σώμα και να έχει ημιτονοειδή μορφή κύματος.

2.2 Swan2

Το SWAN 2 είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστή για την ανάλυση των σταθερών και ασταθών ροών ελεύθερης επιφάνειας μετά από πλοία που είναι ακίνητα ή ταξιδεύουν σε νερό άπειρου ή πεπερασμένου βάθους ή σε κανάλι.

Το SWAN2 επιλύει τα προβλήματα μόνιμης και ημιμόνιμης ροής δυναμικού ελεύθερης επιφάνειας γύρω από τα πλοία χρησιμοποιώντας μια τρισδιάστατη μέθοδο Rankine Panel στο πεδίο του χρόνου με κατανομή τετράπλευρων πλαισίων πάνω από την γάστρα του πλοίου και την ελεύθερη επιφάνεια. Οι συνθήκες ελεύθερης επιφάνειας που εφαρμόζονται στο SWAN2 γραμμικοποιούν τις σταθερές και ασταθείς διαταραχές κυμάτων σχετικά με τη ροή διπλού σώματος. Οι αλγόριθμοι αριθμητικής λύσης προέκυψαν μετά από ανάλυση ορθολογικής σταθερότητας, η οποία οδηγεί σε συγκλίνουσες, ακριβείς και αποτελεσματικές προσομοιώσεις ροής κυμάτων χωρίς αριθμητική διάχυση.

Η χρήση του SWAN 2 δεν απαιτεί πρόσβαση σε πρόγραμμα Computer Aided Design (CAD) για τη δημιουργία πλέγματος πάνελ πάνω από το κύτος του πλοίου και την ελεύθερη επιφάνεια. Το πλέγμα πάνελ δημιουργείται από το SWAN 2, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να διασφαλίζει ότι πληρούνται όλα τα κριτήρια σταθερότητας. Η γάστρα του πλοίου εισάγεται στο SWAN 2 με τη μορφή offsets που δημιουργούνται από οποιοδήποτε πρόγραμμα CAD.

Εκτελέστηκε επαναληπτική διαδικασία μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση της παράλληλης βύθισης και της διαγωγής για τη συγκεκριμένη ταχύτητα πλεύσης

2.3 Επιλογή Περιόδων Κορυφής

Η επιλογή των περιόδων κορυφής έγινε με βάση τις καταστάσεις θάλασσας που έχουν παρατηρηθεί στο Αιγαίο πέλαγος. Χάριν πληρότητας, στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι καταστάσεις θάλασσας όπως έχουν κωδικοποιηθεί από το NATO για το Βόρειο Ατλαντικό.

Σημειώνεται επίσης, ότι η λήψη των πειραματικών μετρήσεων (δειγματοληψία) είχε διάρκεια 10 min στη κλίμακα προτύπου, που για κλίμακα προτύπου και πλοίου 1:9.2 αντιστοιχεί σε διάρκεια περί 30 min αντίστοιχα στη φυσική κλίμακα, σύμφωνα με την πρακτική της I.T.T.C.

- * Ένταση ανέμου σε ύψος 19,5 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας για να παραχθούν πλήρως αναπτυγμένες θάλασσες.
- * Οι ελάχιστες τιμές αντιστοιχούν στο 5% των περιόδων και οι μέγιστες στο 95% των περιόδων που αντιστοιχούν στη δεδομένη περιοχή υψών κύματος.
- * Με βάση τις περιόδους που αντιστοιχούν στις κεντρικές συχνότητες που περιλαμβάνονται στους πίνακες πρόβλεψης των κλιματολογικών συνθηκών (Hindcast Climatology).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ ΚΑΤΑ ΝΑΤΟ

Κωδικός Κατάστασης Θάλασσας	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)		Επικρατούσα Ταχύτητα Ανέμου (Knots)*		Πιθανότητα εμφάνισης της Κατάστασης Θάλασσας	Περίοδος Κορυφής Φάσματος (sec)	
	Περιοχή Τιμών	Μέσος όρος	Περιοχή Τιμών	Μέσος όρος		Περιοχή τιμών**	Πιο πιθανή τιμή***
0-1	0-0,1	0,05	0-1	0,5	0	-	-
2	0,1-0,5	0,3	1-6	3,5	7,2	3,3-12,8	7,5
3	0,5-1,25	0,88	7-10	8,5	22,4	5,0-14,8	7,5
4	1,25-2,5	1,88	17-21	19	28,7	6,1-15,2	8,8
5	2,5-4	3,25	22-27	24,5	15,5	8,3-15,5	9,7
6	4-6	5	28-47	37,5	18,7	9,8-16,2	12,4
7	6-9	7,5	48-55	51,5	6,1	11,8-18,5	15,0
8	9-14	11,5	56-63	59,5	1,2	14,2-18,6	16,4
>8	>14	>14	>63	>63	<0,05	15,7-23,7	20,0

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία επιλεγμένων ως αντιπροσωπευτικών καταστάσεων θάλασσας του Αιγαίου πελάγους από τον Άτλαντα ανέμου και κύματος, (Αθανασούλης και Σκαρσουλής, 1992). Τέλος στον πίνακα 3 παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία για τη συχνότητα εμφάνισης διαφόρων ζευγών σημαντικού ύψους κύματος και περιόδων κορυφής φάσματος στη Μεσόγειο θάλασσα (Περιοχή 12) από Hogben, N. and Lumb, F.E. (1967). Ocean wave statistics, Her Majesty's Stationery Office, London.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ

ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (SEA STATE)	$H_{1/3}$ (m)	T_p (sec)	ω_p (rad/sec)
1	2	0.46≈0.5	5.76≈6	1.09
2	3	1.33≈1.5	5.76≈6	1.09(*)
3	4	2.51≈2.5	5.76≈6	1.09
4	3	1.08≈1	7.57≈8	0.83
5	4	1.99≈2	7.85≈8	0.80
6	5	3.14≈3	8.38≈8	0.75
7	4	2.66≈2.5	12.31≈12	0.51
8	5	3.79≈4	12.44≈12	0.505
9	6	4.99≈5	12.46≈12	0.504
10	4	1.77	6.65	0.94(*)
11	4	2.95	8.59	0.73(*)
12	5	4.13	10.20	0.62(*)
13	6	5.31	11.52	0.545(*)
14	6	6.49	12.82	0.49(*)

Πλήρως αναπτυγμένες θάλασσες.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ
(ΠΕΡΙΟΧΗ 12 ΣΤΟΝ ΑΤΛΑΝΤΑ) (105 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ)**

T_p (sec) $H_{1/3}$ (m)	CALM	$T_p < 5,6$	7,3	9,5	11,8	14	16,2	18,5	20,7	23	25,2	TOTAL
0,3	5795	7226	128	41	23	10	2	0	1	88	66	13380
0,59	174	16252	1287	173	58	25	11	7	2	35	379	18404
1,18	157	20413	6513	1048	250	85	35	11	10	42	146	28709
1,77	84	7080	8978	2190	521	144	41	25	7	1	15	19087
2,36	43	1541	4260	2575	709	162	29	21	6	1	4	9352
2,95	12	545	1892	1730	690	176	53	28	4	3	2	5135
3,54	15	183	756	927	455	181	47	13	1	2	2	2584
4,13	8	85	331	492	334	146	44	22	9	2	0	1472
4,72	0	36	170	250	180	76	53	19	3	0	0	787
5,31	1	23	109	155	147	65	35	17	8	0	0	560
5,9	14	10	17	28	28	18	2	1	0	0	0	117
6,49	1	18	18	13	17	9	7	1	0	1	2	86
7,08	3	13	14	30	34	18	7	1	1	0	2	123
7,67	0	4	20	14	14	8	8	4	0	0	0	73
8,26	0	4	6	17	3	4	6	0	0	0	2	42
8,85	0	3	4	11	8	7	3	1	0	0	0	37
9,44	0	1	6	3	9	2	2	3	1	0	0	28
10,08	0	0	4	1	0	0	1	0	1	0	0	8
10,62	0	0	1	0	0	3	0	0	0	1	0	6
11,21	0	0	0	1	4	1	1	0	1	0	0	9
12,98	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Με βάση τα παραπάνω αποφασίστηκε να επιλεγούν οι εννιά καταστάσεις που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, ως αντιπροσωπευτικές θάλασσες για το Αιγαίο Πέλαγος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΘΑΛΑΣΣΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ

Σημαντικό ύψος, Hs [m]	Περίοδος κορυφής, T _p [sec]
2	5
2	6
2	7
3	8
4	8
4	9
4	10
5	11

3. Αντίσταση-Πρόωση

3.1 Αντίσταση πλοίου

3.1.1 Γενικές έννοιες

Η αντίσταση ενός πλοίου οφείλεται σε απώλειες ενέργειας λόγω αλληλεπίδρασης με το νερό. Ουσιαστικά η αντίσταση του πλοίου, είναι η δύναμη που πρέπει να δίνει η προπέλα σε αυτό, ώστε να συνεχίζει να κινείται με την ίδια ταχύτητα. Για απλούστευση του φαινομένου αυτού, η αντίσταση χωρίζεται σε κάποιες βασικές αντιστάσεις. Ειδικότερα αποτελείται από την αντίσταση συνεκτικότητας (C_v) και την αντίσταση κυματισμού. Η πρώτη αναλύεται σε αντίσταση τριβής, όπου είναι εκείνη που υπολογίζεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των επαφτομενικών τάσεων, και σε αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας, όπου είναι εκείνη που υπολογίζεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των κάθετων δυνάμεων. Η δεύτερη αντίσταση (κυματισμού), συναντάται κυρίως σε μεγαλύτερες ταχύτητες σε πλοία εκτοπίσματος, είναι συνάρτηση της μορφής της γάστρας και ουσιαστικά είναι αντίσταση πίεσης. Ο κύριος λόγος που υπάρχει η αντίσταση αυτή, είναι γιατί τα σημεία της γάστρας, ως κινούμενα σημεία πίεσης, μετατοπίζουν την ελεύθερη επιφάνεια, με επακόλουθο την δημιουργία ενός συστήματος κυματισμού που εκτείνεται πίσω από τη γάστρα. Η ενέργεια αυτή που δαπανάται από το πλοίο για τη δημιουργία και συντήρηση των κυματισμών αυτών, είναι η ενέργεια κυματισμού.

Εκτός από αυτές τις βασικές αντιστάσεις, υπάρχουν και οι δευτερεύουσες αντιστάσεις όπως αντίσταση θραύσεως κύματος, παρελκομένων, αέρα, πρόσθετη αντίσταση λόγω στροφής, και επαγόμενη.

3.1.2 Fouling - Aging

Ένα μέγεθος που σχετίζεται άμεσα με την αντίσταση του πλοίου, και συγκεκριμένα με την αντίσταση τριβής, είναι η ρύπανση της γάστρας (fouling). Ο όρος είναι μια λέξη η οποία αναφέρεται στη ρύπανση της γάστρας του πλοίου από φυτά, όπως φύκια και θαλάσσια χόρτα, και ζωντανούς οργανισμούς, όπως στρείδια, μύδια, ανεμόνες, κ.ά. . Η ρύπανση αυτή μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το μέγεθος των ζωντανών οργανισμών:

- Macrofouling, όπου αναφέρεται στα φυτά και τα οστρακοειδή που προαναφέραμε,
- Microfouling, όπου αναφέρεται σε γλίτσα η οποία αποτελείται από βακτήρια και άλλους μικροοργανισμούς.

Η συνεισφορά του δεύτερου είδους ρύπανσης είναι αισθητά μικρότερη από την πρώτη.

Οι ζωντανοί αυτοί οργανισμοί, τρέφονται από το νερό που ρέει στη γάστρα καθώς κινείται το πλοίο. Οι ταχύτητες 0 έως 10 κόμβοι, είναι ιδανικές για την ανάπτυξη αυτών των οργανισμών. Η τραχύτητα της επιφάνειας της γάστρας του πλοίου, οφείλεται σε διάβρωση, ξεφλούδισμα πολλών στρωμάτων μπογιάς, μη σωστή τήρηση μέτρων προστασίας, καθώς και

μηχανικών βλαβών. Η ανάπτυξη των οργανισμών πάνω στη γάστρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως γεωγραφικούς, ωκεανογραφικούς, εποχιακούς, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τις διαδρομές και την ταχύτητα του πλοίου. Η ρύπανση της γάστρας αυξάνει την αντίσταση, και μειώνει την ταχύτητα του πλοίου κατά 10 με 15% σε ίδια ισχύ κινητήρα. Για να κρατηθεί η ίδια ταχύτητα, πρέπει να αυξηθεί η ισχύς κατά 23 με 38%, και κατ'επέκταση η κατανάλωση κατά 25 – 40 %. Αυτό καθιστά αναγκαία τη διαδικασία antifouling, όπου ουσιαστικά κρατείται η επιφάνεια της γάστρας όσο πιο λεία γίνεται με χρήση ειδικών μπογιών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την οικονομία μέσω της μείωσης της κατανάλωσης, οπότε επιφέρει κέρδη σαν μείωση των δαπανών. Επίσης αν χρησιμοποιείται διαδικασία antifouling, το πλοίο περνά λιγότερο χρόνο αραγμένο για διαδικασία καθαρισμού, με αποτέλεσμα πάλι την αύξηση των κερδών του.

Η γήρανση της γάστρας αφορά τις ανωμαλίες που δημιουργούνται στην γάστρα του πλοίου και επηρεάζουν την γεωμετρία της. Λόγω κοπώσεων και ταλαντώσεων παρατηρούνται πόροι και καμπυλώσεις στα ελάσματα της γάστρας ανάμεσα στα νεύρα. Ως αποτέλεσμα η γεωμετρία αλλάζει, γίνεται στο σύνολό της λιγότερο λεία και ασυνεχείς επηρεάζοντας αισθητά την αντίσταση. Η γήρανση της γάστρας είναι ένα φαινόμενο μην αντιστρέψιμο.

3.1.3 Trim

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την αντίσταση του πλοίου είναι η διαγωγή του, και πώς αυτή αλλάζει με τις αλλαγές της ταχύτητας.

Δυναμική διαγωγή (running trim), είναι το φαινόμενο κατά το οποίο το πλοίο αλλάζει τη διαγωγή και το βύθισμα του καθώς αναπτύσσει ταχύτητα, σε σχέση με την ακινησία, λόγω αλλαγής στις δυνάμεις πίεσης και συνεκτικότητας που αναπτύσσονται στη γάστρα. Τα αποτελέσματα αυτού του φαινομένου είναι σε χαμηλές ταχύτητες να υπάρχει μια ελαφρά παράλληλη βύθιση, λόγω πτώσης πίεσης στη γάστρα, και μια ελαφρά πρωραία διαγωγή, λόγω δράσης των δυνάμεων τριβής. Καθώς όμως αυξάνεται η ταχύτητα, σε περίπου αριθμό $Fr=0.3$ και πάνω, αντιστρέφεται η κίνηση της πλώρης και ανυψώνεται και η πρύμνη βυθίζεται. Σε συνηθισμένου τύπου εμπορικά πλοία, η πρυμναία διαγωγή οδηγεί σε αύξηση της αντίστασης σε χαμηλές ταχύτητες και μείωση σε υψηλές. Στις χαμηλές ταχύτητες, το αυξημένο πρυμναίο βύθισμα ανεβάζει την αντίσταση μορφής λόγω πιο γεμάτης πρύμνης, ενώ στις υψηλές αυτό αντισταθμίζεται λόγω μείωσης αντίστασης κυματισμού επειδή η πλώρη είναι πιο λεπτόγραμμη με την αντίστοιχη διαγωγή.

3.1.4 Τρόποι υπολογισμού αντίστασης

Στην παρούσα διπλωματική, η συνολική αντίσταση που υπολογίστηκε, χωρίστηκε σε 4 συνιστώσες.

- Αντίσταση ανέμου,
- Αντίσταση σε ήρεμο νερό,
- Πρόσθετη αντίσταση κυματισμού λόγω κατάστασης θάλασσας
- Αντίσταση παρελκομένων.

Η αντίσταση σε ήρεμο νερό, ουσιαστικά περιλαμβάνει τις 2 βασικές συνιστώσες αντίστασης, συνεκτικότητας και κυματισμού.

3.1.4.1 Αντίσταση ανέμου

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Ο συντελεστής αντίστασης ανέμου, και κατ' επέκταση η αντίσταση του ανέμου για τις ελεύθερες επιφάνειες του πλοίου, υπολογίστηκε από το paper του Blendermann, όπου μια σειρά από τεστ σε αεροδυναμική σήραγγα για δεδομένους τύπους πλοίου, παρουσιάζεται. Συγκεκριμένα μοντέλα από πολλά δεδομένα πλοία έχουν δοκιμαστεί στη σήραγγα στο Institute of Naval Architecture (IS).

ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΡΑΓΓΑ

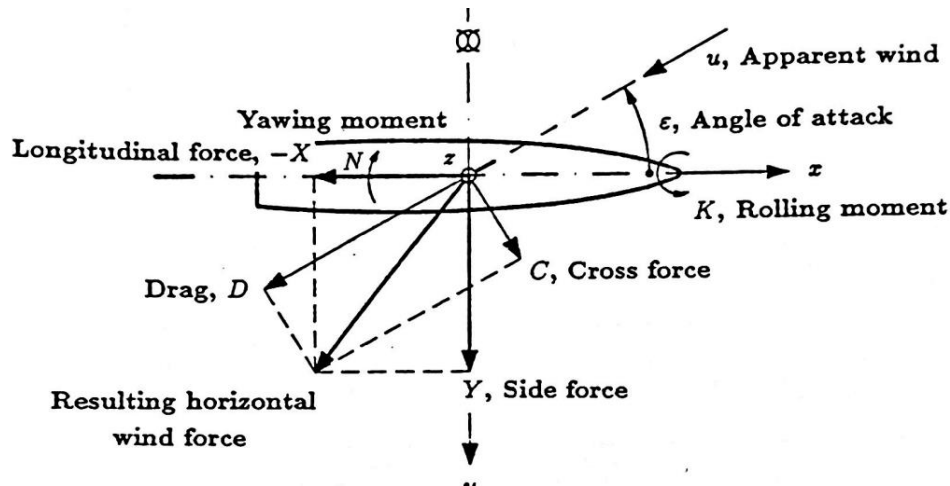
Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στην σήραγγα δοκιμών κλειστού κυκλώματος του Ινστιτούτου με τα κάτωθι χαρακτηριστικά:

Working section	1.75 m * 1.05 m
Maximum speed	35 m/s
Turbulence intensity	~ 0.5 %
Reynolds numbers of the flow	$2 * 10^6 - 3 * 10^6$

Το μοντέλο ήταν δεμένο και γυρισμένο προς τη ροή του ανέμου. Το σημείο δημιουργίας του ανέμου βρισκόταν σε απόσταση 1,1 μέτρων από την έξοδο της σήραγγας. Οι δοκιμές έδειξαν ότι η πίεση ήταν σταθερή σε όλο το πλάτος του μοντέλου, μετά από μια απότομη αύξηση πίσω από την άκρη του. Οι μετρήσεις έγιναν στη ροή του ανέμου από τη σήραγγα, με φυσική ανάπτυξη οριακού στρώματος πάνω από την επιφάνεια του πατώματος

ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ

Οι δυνάμεις του ανέμου και οι ροπές εκφράζονται σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων σταθερό στο πλοίο με κέντρο αξόνων στο επίπεδο ισάλου. Ο άξονας x έχει κατεύθυνση την πλώρη του πλοίου, ο άξονας y είναι οριζόντιος με κατεύθυνση δεξιά του πλοίου και ο άξονας z είναι κατακόρυφα κάθετος. Η δύναμη X είναι η διαμήκης δύναμη και η δύναμη Y η εγκάρσια δύναμη. Η ροπή N στον άξονα z είναι η ροπή yaw και η ροπή K στον άξονα z είναι η ροπή roll. Οι δυνάμεις στο οριζόντιο επίπεδο ως προς τον άνεμο (σχετικός άνεμος σε κινούμενο πλοίο) αναλύονται στην αντίσταση D, στην φορά του ανέμου και στην δύναμη C, κάθετη στην φορά του ανέμου με γωνία ε την γωνία πρόσπτωσης του φαινόμενου ανέμου (ε=0 για άνεμο κατάπλωρα). Υπολογίζονται οι δυνάμεις μόνο στο οριζόντιο επίπεδο. Η κατακόρυφη δύναμη ανέμου και η ροπή pitch είναι ασήμαντες για την συμπεριφορά τυπικών πλοίων.



ΕΙΚΟΝΑ 7: COORDINATE SYSTEM; WIND FORCES AND WIND MOMENTS.

Οι δυνάμεις και οι ροπές του ανέμου εκφράζονται σε αδιάστατη μορφή ως συντελεστές σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$\text{Συντελεστές δυνάμεων:} \quad CX_{AF} = \frac{X}{q * A_F} \quad CY = \frac{Y}{q * A_L}$$

$$\text{Συντελεστές ροπών:} \quad CN = \frac{N}{q * A_L * L_{OA}} \quad CK = \frac{K}{q * A_L * \bar{H}}$$

όπου $q = \frac{\rho}{2} u^2$ είναι το dynamic head της ροής αέρα, ρ είναι η πυκνότητα του αέρα, A_F είναι η εγκάρσια προβεβλημένη επιφάνεια του πλοίου, A_L η διαμήκης προβεβλημένη επιφάνεια και $\bar{H} = \frac{A_L}{L_{OA}}$ το μέσο ύψος του πλοίου, με L_{OA} το συνολικό μήκος πλοίου.

Ο συντελεστής της διαμήκης δύναμης αφορά την διαμήκη προβεβλημένη επιφάνεια:

$$CX = \frac{X}{q * A_L}$$

Οι συντελεστές της αντίστασης D και της δύναμης C ορίζονται ως κάτωθι:

$$CD = \frac{D}{q * A_L} \quad CC = \frac{C}{q * A_L}$$

Η σχέση μεταξύ των δυνάμεων εκφράζεται μέσω των συντελεστών ως εξής:

$$\begin{bmatrix} CX \\ CY \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos(\varepsilon) & \sin(\varepsilon) \\ \sin(\varepsilon) & \cos(\varepsilon) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CD \\ CC \end{bmatrix}$$

οπότε προκύπτει

$$CD = CY * \sin(\varepsilon) - CX * \cos(\varepsilon) \quad CC = CX * \sin(\varepsilon) + CY * \cos(\varepsilon)$$

$$CX = CC * \sin(\varepsilon) - CD * \cos(\varepsilon) \quad CY = CD * \sin(\varepsilon) + CC * \cos(\varepsilon)$$

ΑΠΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΕ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΑΝΕΜΟΥ ΠΛΗΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Οι συντελεστές φόρτισης ανέμου μπορούν να εφαρμοστούν κατευθείαν στο πρωτότυπο πλοίο από το μοντέλο. Οι δυνάμεις ανέμου και οι ροπές στο πλοίο στο φυσικό περιβάλλον προκύπτουν από τις παραπάνω σχέσης που προέκυψαν για το μοντέλο ως εξής:

$$\begin{aligned} X &= CX_{AF} * q_{ref} * A_F & Y &= CY * q_{ref} * A_L \\ N &= CN * q_{ref} * A_L * L_{OA} & K &= CK * q_{ref} * A_L * \bar{H} \end{aligned}$$

όπου q_{ref} είναι τώρα το effective dynamic pressure του φαινόμενου ανέμου υπεύθυνου για την αντίστοιχη φόρτιση. Μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$q_{ref} = k_q * \bar{q}_H + (1 - k_q) * q_H$$

όπου $0 \leq k_q \leq 1$, \bar{q}_H η mean dynamic pressure στο μέσο ύψος του πλοίου και q_H το dynamic head του ανέμου σε αυτό το ύψος. Το effective dynamic pressure του φαινόμενου ανέμου μπορεί να θεωρηθεί ως κάτωθι:

Διαμήκης δύναμη X: $q_{ref} = q_H, k_q = 0$

Εγκάρσια δύναμη Y: $q_{ref} = k_q * \bar{q}_H + (1 - k_q) * q_H, k_q \cong 0.6$

Ροπή yaw N: $q_{ref} = k_q * \bar{q}_H + (1 - k_q) * q_H, k_q \cong 0.6$

Ροπή roll K: $q_{ref} = q_H, k_q = 0$

Η διαμήκης δύναμη X προκαλείται κυρίως από την ροή αέρα πάνω από το πλοίο, οπότε μπορεί να θεωρηθεί $q_{ref} = q_H, k_q = 0$. Η εγκάρσια δύναμη Y αποτελείται από δύο μέρη: την δύναμη στην προσήνεμη πλευρά που μπορεί να θεωρηθεί ότι εξαρτάται από την mean dynamic pressure πάνω στο μέσο ύψος του πλοίου, και την δύναμη στην υπήνεμη πλευρά του πλοίου που εξαρτάται από το head του ανέμου στο ίδιο ύψος. Η συμβολή τους στην εγκάρσια δύναμη είναι περίπου 60% και 40% αντίστοιχα, οπότε προκύπτει το $k_q \cong 0.6$ στην εξίσωση. Για την ροπή yaw N ισχύει ότι και στην εγκάρσια δύναμη Y ενώ για την ροπή roll K ισχύει ότι και στην διαμήκη δύναμη X.

Συνοψίζοντας, για τον υπολογισμό των φορτίσεων ανέμου σε ένα πλοίο πρέπει:

- να οριστεί το προφίλ ανέμου του πλοίου
- να βρεθεί η average dynamic pressure στο μέσο ύψος του πλοίου και η mean dynamic pressure στο ίδιο ύψος
- να καθοριστεί η effective dynamic pressure
- να υπολογιστούν οι φορτίσεις ανέμου

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

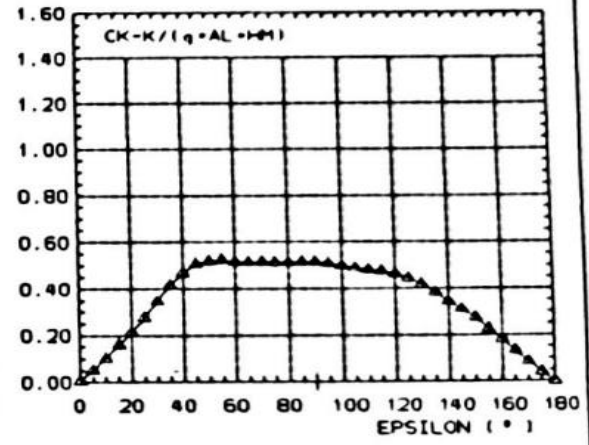
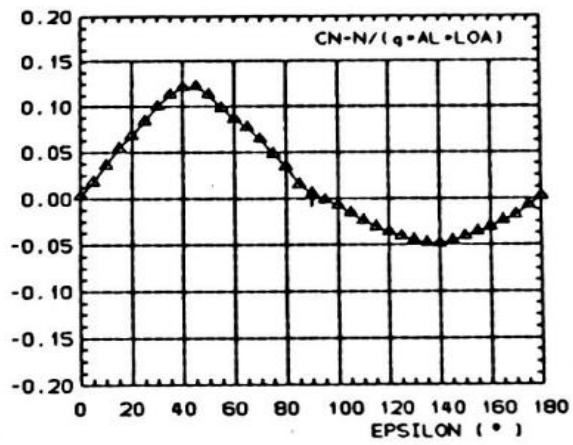
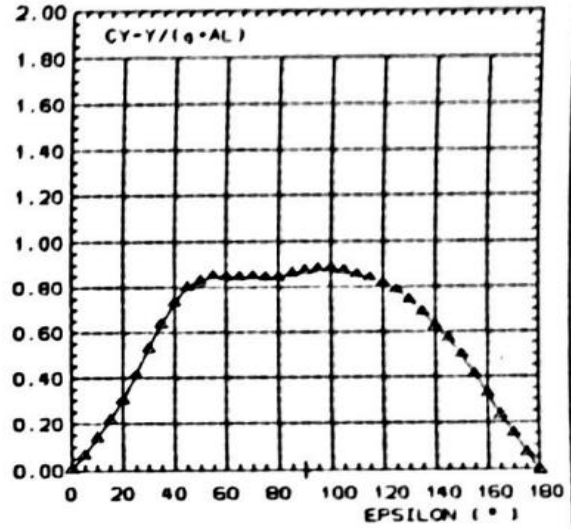
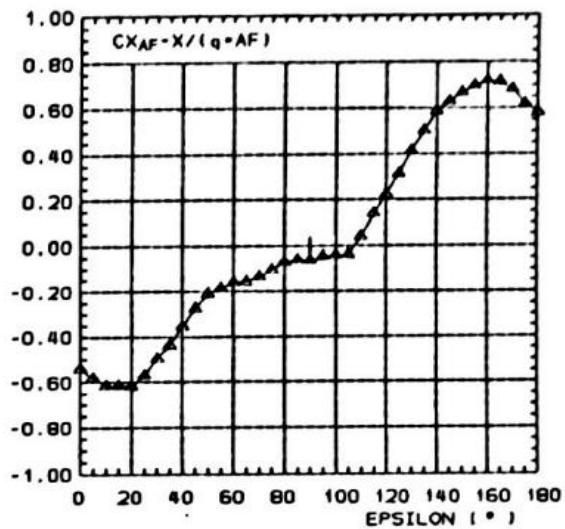
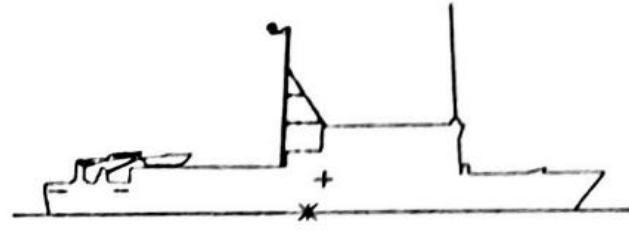
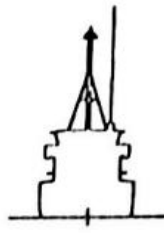
Πλοίο: SPEEDBOAT (code no: SPE0102BN)

Επιφάνεια αναφοράς: 317.63 m² A_L

Μήκος αναφοράς CN: 53.60 m L_{OA}, Μήκος αναφοράς CK: 5.93 m $\frac{A_L}{L_{OA}}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: BLENDERMAN

ε (deg)	CD	CC	CX	CY	CN	CK
0.0	0.134	0.005	-0.134	0.005	0.003	0.005
5.0	0.149	0.051	-0.144	0.063	0.018	0.049
10.0	0.174	0.108	-0.152	0.136	0.036	0.101
15.0	0.203	0.168	-0.152	0.214	0.054	0.157
20.0	0.247	0.231	-0.153	0.301	0.068	0.211
25.0	0.302	0.314	-0.141	0.412	0.084	0.274
30.0	0.371	0.396	-0.123	0.528	0.100	0.345
35.0	0.454	0.459	-0.108	0.636	0.113	0.413
40.0	0.537	0.503	-0.088	0.730	0.121	0.467
45.0	0.613	0.517	-0.067	0.799	0.122	0.505
50.0	0.668	0.492	-0.052	0.828	0.113	0.518
55.0	0.723	0.450	-0.046	0.850	0.098	0.524
60.0	0.753	0.389	-0.039	0.846	0.086	0.514
65.0	0.782	0.322	-0.038	0.844	0.077	0.513
70.0	0.809	0.259	-0.033	0.848	0.064	0.514
75.0	0.821	0.193	-0.026	0.843	0.048	0.512
80.0	0.834	0.129	-0.017	0.843	0.034	0.511
85.0	0.858	0.060	-0.015	0.860	0.015	0.514
90.0	0.873	-0.016	-0.016	0.873	0.005	0.514
95.0	0.876	-0.088	-0.011	0.880	-0.002	0.507
100.0	0.867	-0.163	-0.010	0.882	-0.008	0.496
105.0	0.841	-0.235	-0.009	0.873	-0.016	0.486
110.0	0.807	-0.283	0.010	0.855	-0.024	0.480
115.0	0.774	-0.323	0.034	0.838	-0.031	0.474
120.0	0.733	-0.359	0.055	0.814	-0.036	0.464
125.0	0.687	-0.386	0.077	0.784	-0.041	0.443
130.0	0.634	-0.398	0.102	0.741	-0.045	0.416
135.0	0.573	-0.397	0.124	0.685	-0.048	0.381
140.0	0.512	-0.384	0.145	0.623	-0.049	0.342
145.00	0.453	-0.375	0.156	0.567	-0.046	0.309
150.0	0.391	-0.347	0.165	0.496	-0.041	0.273
155.0	0.330	-0.299	0.172	0.410	-0.036	0.224
160.0	0.279	-0.245	0.178	0.325	-0.031	0.178
165.0	0.231	-0.178	0.177	0.231	-0.024	0.131
170.0	0.193	-0.120	0.169	0.151	-0.018	0.084
175.0	0.144	-0.056	0.152	0.069	-0.008	0.038
180.0	0.158	-0.006	0.144	-0.006	0.002	-0.003



LPP [a] 50.90
 LOA [a] 53.60
 BVL [a] 9.20
 AL [a²] 317.63
 AF [a²] 78.64

SL [a] 1.41
 SH [a] 3.55
 HM [a] 5.93
 TV [a] 2.50
 TH [a] 2.50

Scale 1:50 Heel 0.0° Re number 2.15E+06
 EPSILON = 0°, Head wind
 CN relative to *, CK relative to VL

Uniform flow
 $q = \rho u^2 / 2$ Dynamic head

Code No. SPE01028N	SPEEDBOAT	Institut fuer Schiffbau Universitaet Hamburg
-----------------------	-----------	--

ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗ Χ

Σύμφωνα με τα παραπάνω για την εύρεση της διαμήκης δύναμης Χ θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος:

$$CX = \frac{X}{q * A_L} \rightarrow X = CX * q * A_L$$

όπου

$$q = \frac{\rho}{2} u^2, \quad \rho = 1.2255 \frac{kg}{m^3}$$
$$q = \frac{1.2255}{2} 6.8421^2 = 28.6855 \frac{kg}{m * s}$$
$$A_L = 92 m^2$$

άρα

$$X = CX * q * A_L = 17.577 * CX * u^2$$

Στην περίπτωση των sea trials η φαινόμενη ταχύτητα του ανέμου είναι $u = 13.3 kts = 6.8421 \frac{m}{s}$ και η φαινόμενη κατεύθυνση του ανέμου είναι $\varepsilon = 26^\circ$ οπότε προκύπτει συντελεστής CX υπολογίζεται στα -0.1374 . Οπότε η διαμήκης δύναμη θα ισούται με

$$X = 17.577 * CX * u^2 = 17.577 * (-0.1374) * 6.8421^2$$
$$X = -362.6077 kp$$

3.1.4.2 Αντίσταση σε ήρεμο νερό

Η αντίσταση σε ήρεμο νερό υπολογίστηκε ως εξής. Αρχικά έχοντας τα model test για το πλοίο που μελετάται, χρησιμοποιήθηκε για τις καταστάσεις Full Load (Even Keel – No mines) και Light Ship η ισχύς και η αντίσταση σε ήρεμο νερό, συναρτήσε της ταχύτητας του πλοίου. Για τις δύο καταστάσεις αυτές, δίνονται τα αντίστοιχα εκτοπίσματα, $D_{full}=557 DWT$, $D_{light}=484 DWT$.

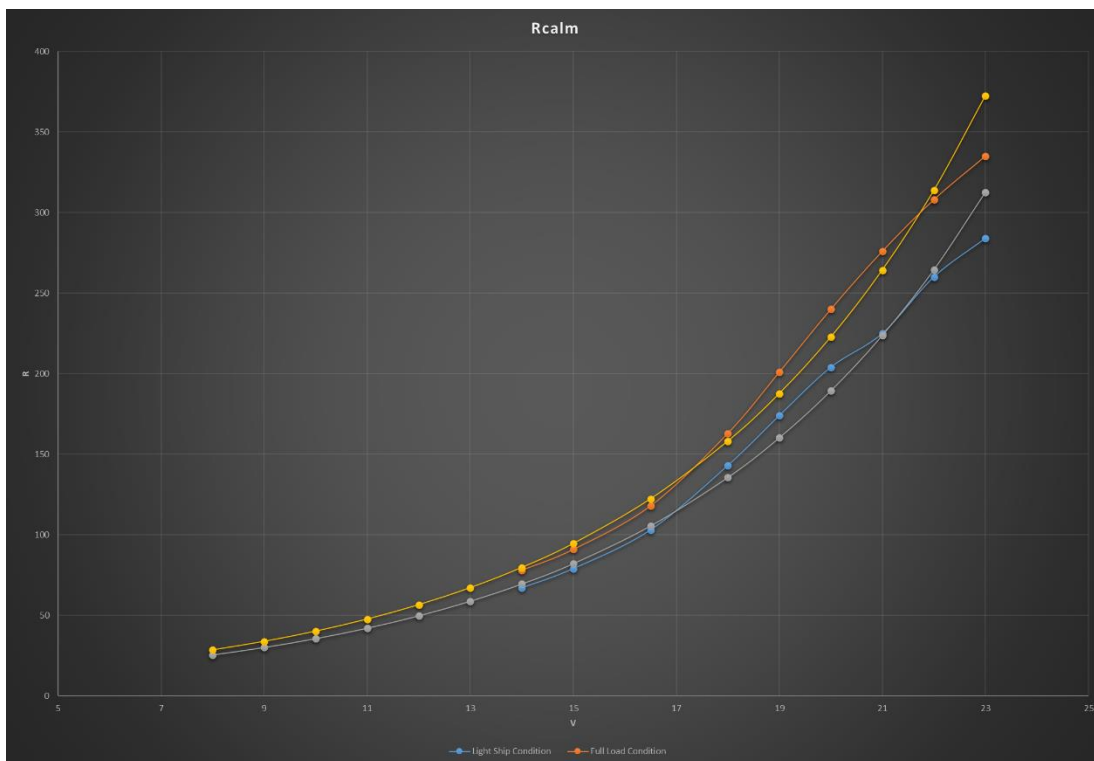
Η ισχύς που δίνεται στα model test είναι η thrust horse power (THP), δηλαδή η ισχύς που απαιτείται για να κινηθεί το πλοίο σε συγκεκριμένη ταχύτητα, με την παρουσία του συστήματος προπελών – αξόνων και brackets καθώς και των πηδαλίων.



ΕΙΚΟΝΑ 9: ΠΡΟΤΥΠΟ ΥΠΟ ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ

Ύστερα για να προβλεφθεί η ισχύς στις καταστάσεις από τα report, που διαφέρουν σε βύθισμα και άρα και εκτόπισμα από τις άλλες δύο, βρέθηκε η εκθετική συνάρτηση που περιγράφει την αντίσταση σε ήρεμο νερό ως προς την ταχύτητα για κάθε μία από τις δύο καταστάσεις και έπειτα χρησιμοποιήθηκε παρεμβολή όπου θα μετατοπίσει κατάλληλα τις καμπύλες ισχύος ανάλογα με τον λόγο εκτοπισμάτων.

Παρακάτω φαίνονται αντίστοιχα διαγράμματα.



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 2: ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

Η αντίσταση τόσο στις καταστάσεις Full Load και Light Ship, όσο και σε αυτές των report, υπολογίστηκαν από τον αντίστοιχο τύπο παρεμβολής.

Επειδή στα model test οι δοκιμές προτύπου υπό κλίμακα έγιναν για περιορισμένες ταχύτητες στις δύο καταστάσεις (14 - 23 knots) με συνέπεια και οι υπόλοιποι υπολογισμοί να γίνουν σε αυτές τις ταχύτητες, χρειάστηκε να γίνει ένα extrapolation στις καμπύλες ισχύος και αντίστασης για να καλυφθεί όλο το εύρος ταχυτήτων ταυτόχρονα. Η διαδικασία αυτή έγινε με εκθετική συνάρτηση και με ικανοποιητική σύγκλιση.

3.1.4.3 Πρόσθετη αντίσταση κυματισμού

Η αντίσταση κυματισμού υπολογίστηκε τρέχοντας το πρόγραμμα Frank για υπολογίζοντας έτσι την αντίσταση για μοναδιαίο σημαντικό ύψος κύματος. Πιο συγκεκριμένα εκτός από το κομμάτι της γεωμετρίας του πλοίου, που θα αναφερθούμε παρακάτω, σαν είσοδο στο πρόγραμμα εισήχθη η συχνότητα ω του κυματισμού που συνάντησε το πλοίο, η κατεύθυνσή του, όπου υποτέθηκε ότι ήταν ίδια με αυτήν του ανέμου, και η ταχύτητα του πλοίου.

Σαν γεωμετρικά χαρακτηριστικά εισόδου του προγράμματος εισήχθησαν οι νομείς του πλοίου, οι οποίοι αποτελούνται ο καθένας από ένα σύνολο ισαπέχοντων σημείων για να τους περιγράψουν. Επίσης η σχετική με το μέσο νομέα ($X=0$) θέση του καθενός. Μπήκαν στοιχεία για τα παρατροπίδια, όπως η θέση τους, το μήκος τους και η γωνία σε σχέση με το σκάφος. Επίσης σαν είσοδο δέχτηκε το συνολικό μήκος L_{pp} , πλάτος B_{wl} , βύθισμα T_m , τον πρισματικό συντελεστή C_b , την βρεχόμενη επιφάνεια γάστρας, τις ακτίνες αδρανείας ως προς XX , YY , ZZ , R_{xx} , R_{yy} , R_{zz} αντίστοιχα και το μετακεντρικό ύψος GM .

Σαν έξοδο του προγράμματος, εξήχθη η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού για μοναδιαίο κύμα. Πιο συγκεκριμένα, το αρχείο εξόδου (.VER), αποτελείτο από ένα σύνολο πινάκων για κάθε γωνία κυματισμού, με δεδομένη ταχύτητα, δίνοντας την πρόσθετη αντίσταση για κάθε περίοδο κύματος. Παρατίθεται ένα στιγμιότυπο από ένα κομμάτι πίνακα από το αρχείο εξόδου.

SHIP SPEED = 8.755 m/sec		HEADING ANGLE = 180.000 DEG.														
Tp	H(1/3)	HEAVE	PITCH	ROLL	ADDRES	-- ABS.VERT.ACCEL.-- --			-- -- REL.VERT.MOTIONS -- --			-- -- REL.VERT.VELOC. -- --			ALA-	
						POINT1	POINT2	POINT3	POINT1	POINT2	POINT3	POINT1	POINT2	POINT3	POINT1	
5.00	2.000	0.120	0.675	0.000	1919.	0.936	0.425	1.594	0.451	0.471	0.719	1.986	1.974	2.082	0.000	
6.00	2.000	0.249	1.233	0.000	2990.	1.435	0.728	2.469	0.394	0.429	1.048	1.382	1.429	2.226	0.000	
7.00	2.000	0.347	1.550	0.000	3251.	1.611	0.870	2.769	0.353	0.367	1.194	1.008	1.055	2.216	0.000	
8.00	3.000	0.609	2.470	0.000	6407.	2.354	1.323	4.022	0.471	0.454	1.767	1.130	1.180	3.061	0.000	
8.00	4.000	0.812	3.293	0.000	11390.	3.139	1.764	5.363	0.627	0.606	2.356	1.506	1.574	4.081	0.000	
9.00	4.000	0.881	3.243	0.000	9079.	2.885	1.671	4.895	0.550	0.491	2.182	1.141	1.176	3.619	0.000	
10.01	4.000	0.923	3.075	0.000	6910.	2.581	1.530	4.344	0.476	0.394	1.958	0.864	0.878	3.148	0.000	
11.01	5.000	1.185	3.574	0.000	8060.	2.854	1.725	4.765	0.509	0.391	2.164	0.808	0.819	3.397	0.000	

NOTATIONS

Tr IS THE MODAL PERIOD OF THE SPECTRUM IN SECONDS

H(1/3) IS THE SIGNIFICANT WAVE HEIGHT IN METERS

POINT1 IS LOCATED AT X = -23.41m FROM LCG RESPECTIVE Y = 0.00 Z = 0.00

POINT2 IS LOCATED AT X = 0.00m FROM LCG RESPECTIVE Y = 0.00 Z = 0.00

POINT3 IS LOCATED AT X = 29.20m FROM LCG RESPECTIVE Y = 0.00 Z = 0.00

ΕΙΚΟΝΑ 10: ΑΡΧΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ FRANK

Ύστερα αυτή πολλαπλασιάστηκε με το τετράγωνο του εκτιμώμενου σημαντικού ύψους κύματος H_s ώστε να υπολογιστεί η συνολική πρόσθετη αντίσταση.

Ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού C_w (water resistance coefficient) υπολογίστηκε από την έξοδο του προγράμματος Swan2 όπως φαίνεται παρακάτω.

STEADY FORCE AND RESPONSE			
Ship Speed	(m/s)	:	9.260E+0
Ship Speed	(knots)	:	1.798E+1
Wetted Surface Area	(m ²)	:	5.074E+2
R _w	(kN)	:	8.277E+1
C _w		:	3.712E-3
Sinkage	(m)	:	-1.729E-1
Trim at CG	(deg)	:	-5.106E-1

ΕΙΚΟΝΑ 11: ΑΡΧΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ SWAN2

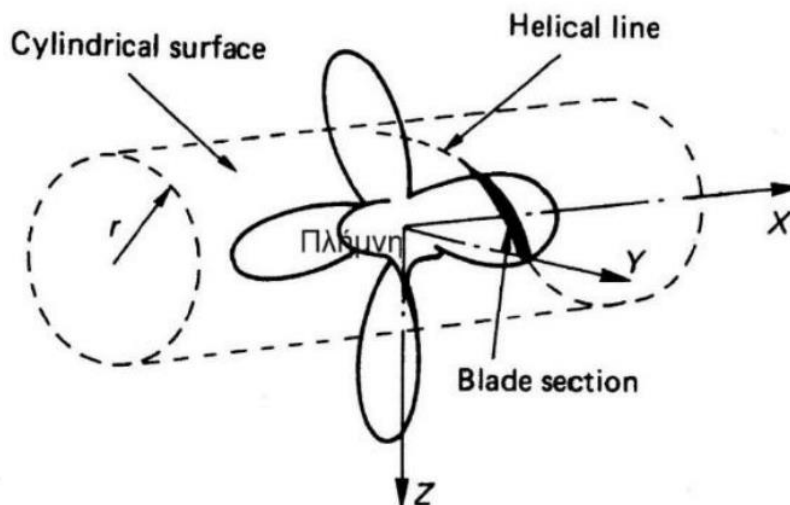
3.2 Χαρακτηριστικά έλικας

3.2.1 Συντελεστές ώσης και ροπής ($K_T - K_Q$)

Η έλικα είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα που δίνει την απαραίτητη ώση στο πλοίο για να κινηθεί τα τελευταία 150 χρόνια. Η γεωμετρία της μπορεί να περιγραφεί από 2 μεγέθη.

- Την ελικοειδή γραμμή, με βάση την οποία χτίζεται η ελικοειδής επιφάνεια, που είναι η επιφάνεια στην πραγματική τρισδιάστατη γεωμετρία του πτερυγίου
- Την δυσδιάστατη υδροτομή η οποία αποτελεί την διαταραχή της ελικοειδούς επιφάνειας προκειμένου να παραχθεί το πτερύγιο της έλικας.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα στοιχεία αυτά.

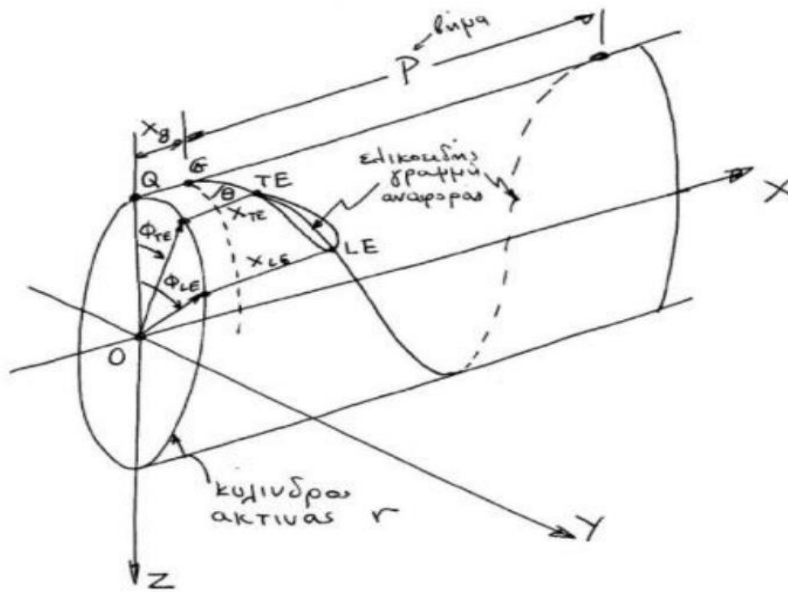


ΕΙΚΟΝΑ 12: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΛΙΚΑΣ

Η πτερυγοτομή έχει το σχήμα υδροτομής, ώστε να παράγει άνωση με μικρή αντίσταση. Η γραμμή πρόσπτωσης και εκφυγής της πτερυγοτομής ορίζουν τη γεωμετρία μιας ελικοειδούς γραμμής, βήματος P και και γωνίας βήματος θ , τα οποία συνδέονται με τη σχέση

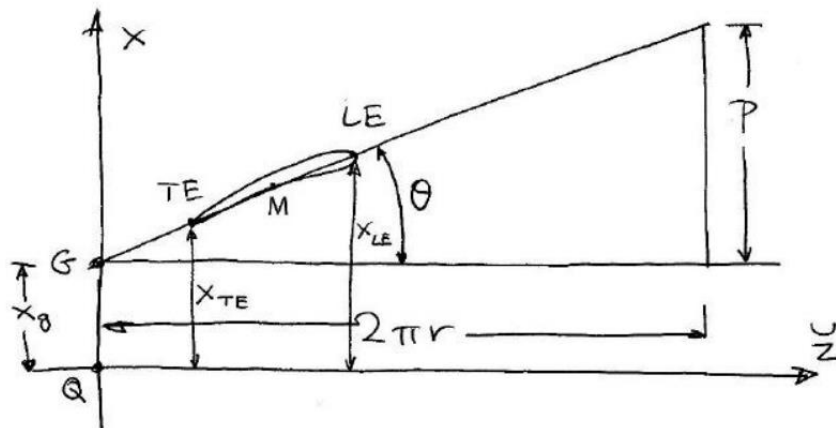
$$\theta = \tan^{-1} \frac{P}{2\pi r}$$

Η τομή της ελικοειδούς επιφάνειας με το επίπεδο XZ ορίζει τη γενέτειρα γραμμή (generator line) η οποία συνήθως είναι ευθεία γραμμή.



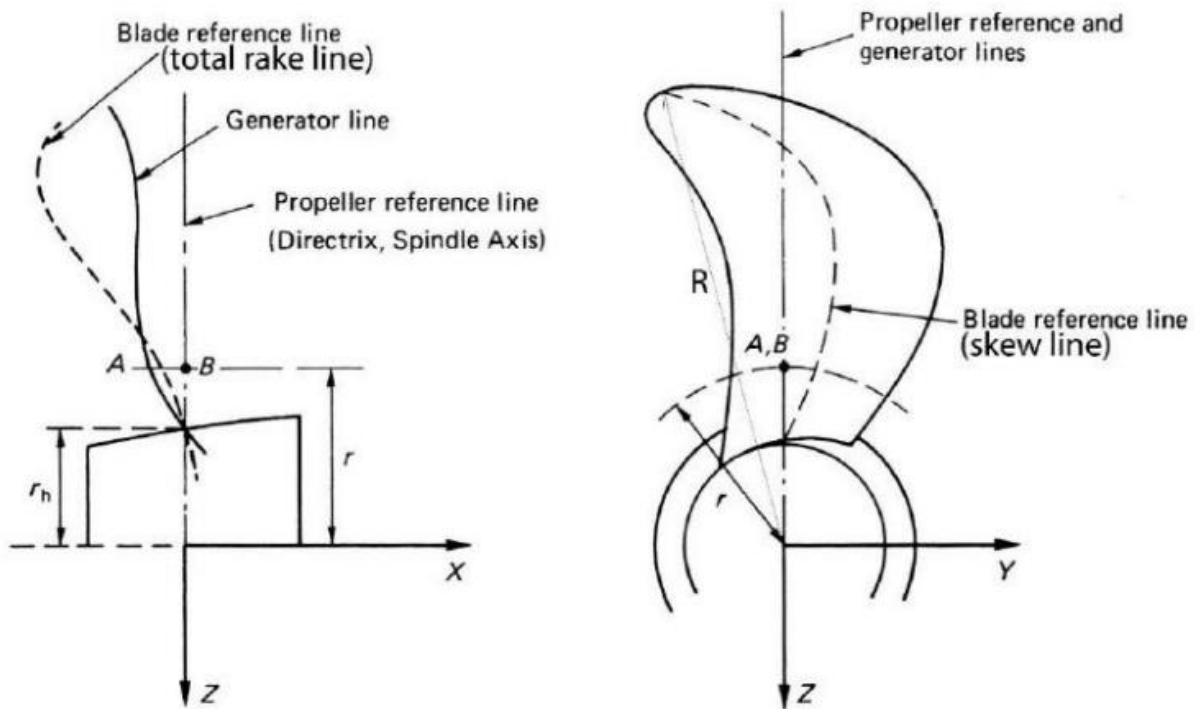
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΤΟΜΗ ΕΛΙΚΟΕΙΔΟΥΣ

Η ανάπτυξη του κυλίνδρου φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



ΕΙΚΟΝΑ 14: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ

Το τμήμα LE – TE ονομάζεται χορδή στην ακτίνα r και συμβολίζεται $c(r)$. Επίσης ορίζεται το μέσο M της χορδής, και ο γεωμετρικός τόπος των μέσων των χορδών ορίζει τη γραμμή αναφοράς του πτερυγίου. Η προβολή της γραμμής αναφοράς στον XZ άξονα ονομάζεται γραμμή της ολικής διαμήκους απόκλισης (total rake line), ενώ στον YZ άξονα, της πλευρικής απόκλισης (skew line). Και οι δύο αυτές γραμμές είναι πάρα πολύ σημαντικές γιατί εξηγούν πώς τοποθετείται το πτερύγιο στο χώρο. Στο επόμενο σχήμα φαίνονται οι δύο γραμμές.



ΕΙΚΟΝΑ 15: ΓΡΑΜΜΕΣ ΕΛΙΚΑΣ

Έλικες με ολική γωνία πλευρικής απόκλισης μεγαλύτερη των 45 μοιρών ονομάζονται έλικες με υψηλή απόκλιση (highly skewed propellers) και έχουν πολύ καλά χαρακτηριστικά σε κραδασμούς και σπηλαίωση. Για μια έλικα με Z πτερύγια, το συνολικό εκτεταμένο εμβαδόν θα είναι:

$$A_E = z * E = z * \int_{r_H}^R c(r) dr$$

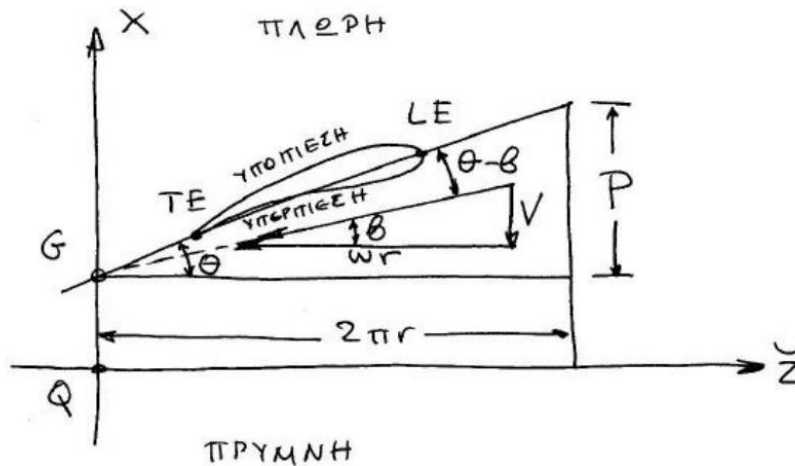
Και ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας της έλικας θα είναι

$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{z * \int_{r_H}^R c(r) dr}{\pi D^2 / 4}$$

Όπου A_0 το εμβαδόν του δίσκου της έλικας. Στην σχεδίαση ελίκων από συστηματικές σειρές, οι ερευνητές χρησιμοποιούν ένα σύνολο παραμέτρων που καθορίζουν την υδροδυναμική συμπεριφορά της έλικας. Αυτές οι παράμετροι είναι:

- Διάμετρος έλικας D
- Βήμα P
- Αριθμός πτερυγιων z
- Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας $\frac{A_E}{A_0}$

Καθώς το πτερύγιο περιστρέφεται, η πτερυγοτομή κινείται με ταχύτητα $\omega \cdot r$ (όπου ω η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής, και r η ακτινα στη θέση της πτερυγοτομής). Το νερό περνά παράλληλα με τον άξονα περιστροφής της έλικας με ταχύτητα V (προχώρηση). Έτσι δημιουργείται το παρακάτω τρίγωνο ταχυτήτων.

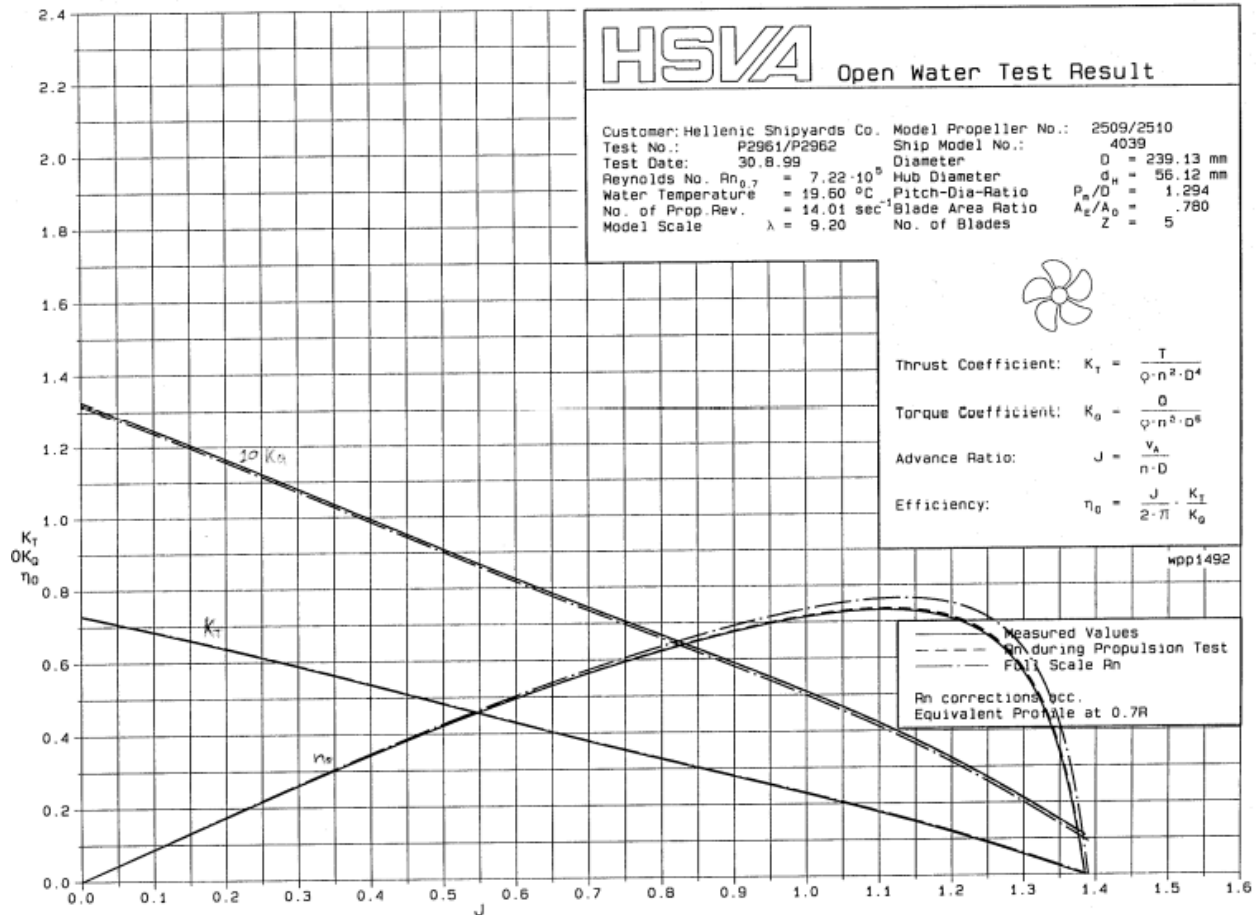


ΕΙΚΟΝΑ 16: ΠΤΕΡΥΓΟΤΟΜΗ ΕΛΙΚΑΣ

Ο συντελεστής προχώρησης J χαρακτηρίζει την γωνία μεταξύ V και $\omega \cdot r$ και συνδέεται με τον τύπο

$$\tan \beta = \frac{J}{\pi \cdot \bar{R}}$$

Ο συντελεστής προχώρησης, μαζί με το βήμα, καθορίζει τις γωνίες πρόσπτωσης των πτερυγοτομών. Για δεδομένο βήμα λοιπόν, αλλαγή του J , επιφέρει αλλαγή στην ροπή και την ώση της έλικας. Ένας τρόπος για τη μελέτη της συμπεριφοράς της έλικας είναι το διάγραμμα ελεύθερης ροής της έλικας. Εκεί παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα για το συντελεστή ώσης k_T και το συντελεστή ροπής k_Q , συναρτήσεσι του συντελεστή προχώρησης J για δεδομένες τιμές αριθμού πτερυγιών, του λόγου εκτεταμένης επιφάνειας, αριθμού σπηλαίωσης, Reynolds, Froude και Weber, και για παράμετρο το λόγο βήματος P/D . Παρακάτω παρουσιάζεται ένα τέτοιο διάγραμμα για την έλικα.



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 3: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚQ- ΚT

Οι συντελεστές ώσης και ροπής χρησιμοποιήθηκαν από τα model test σε μορφή πίνακα, συναρτήσεσι του συντελεστή προχώρησης. Έτσι κατασκευάστηκαν πολυώνυμα 3ου βαθμού που εκφράζουν αυτή την σχέση για τον κάθε συντελεστή, και χρησιμοποιήθηκαν στο φύλλο υπολογισμού του excel για να βρεθεί η απαιτούμενη ισχύς και στροφές κινητήρα, όπως θα παρουσιαστούν παρακάτω.

3.2.2 Thrust deduction factor – wake fraction

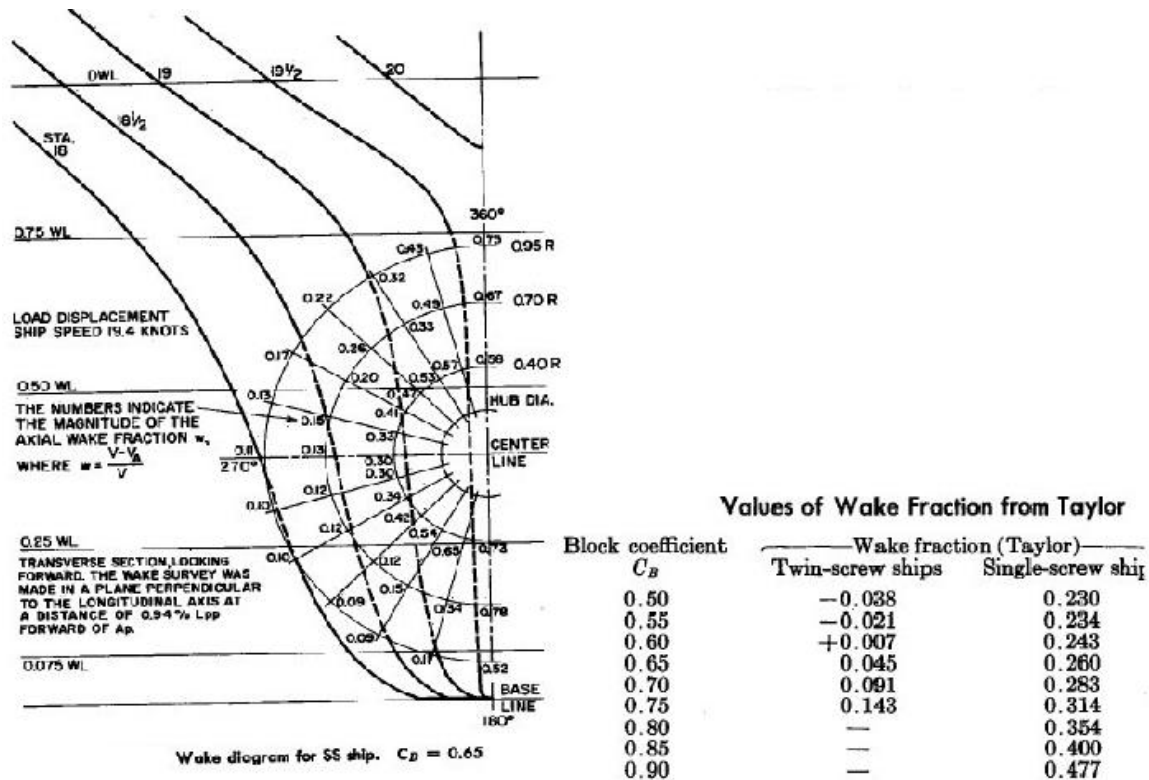
Όταν ένα πλοίο κινείται χωρίς τη χρήση προπέλας (ρυμουλκείται), δημιουργείται ένα πεδίο πίεσης γύρω από τη γάστρα. Όταν χρησιμοποιηθεί η προπέλα, και το πλοίο κινείται στην ίδια ταχύτητα, το πεδίο πιέσεων αλλάζει, επειδή η προπέλα αυξάνει τις ταχύτητες του ρευστού, και έτσι μειώνει την πίεση στο κομμάτι πίσω από την πρύμνη. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της αντίστασης. Ο συντελεστής t εκφράζει το συντελεστή μείωσης της ώσης από την προπέλα λόγω της αλλαγής του πεδίου πιέσεων, και υπολογίζεται από τον τύπο

$$t = 1 - R/T$$

όπου R η αντίσταση του πλοίου και T η ώση της προπέλας.

Η ταχύτητα του νερού που περνά από τον “δίσκο” της προπέλας V_A , είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή που περνά από τη γάστρα του πλοίου V . Η ποσοστιαία αυτή διαφορά ως προς την ταχύτητα του πλοίου είναι γνωστή ως συντελεστής w και δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$W = \frac{V - V_A}{V}$$



ΕΙΚΟΝΑ 17: ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ WAKE FRACTION

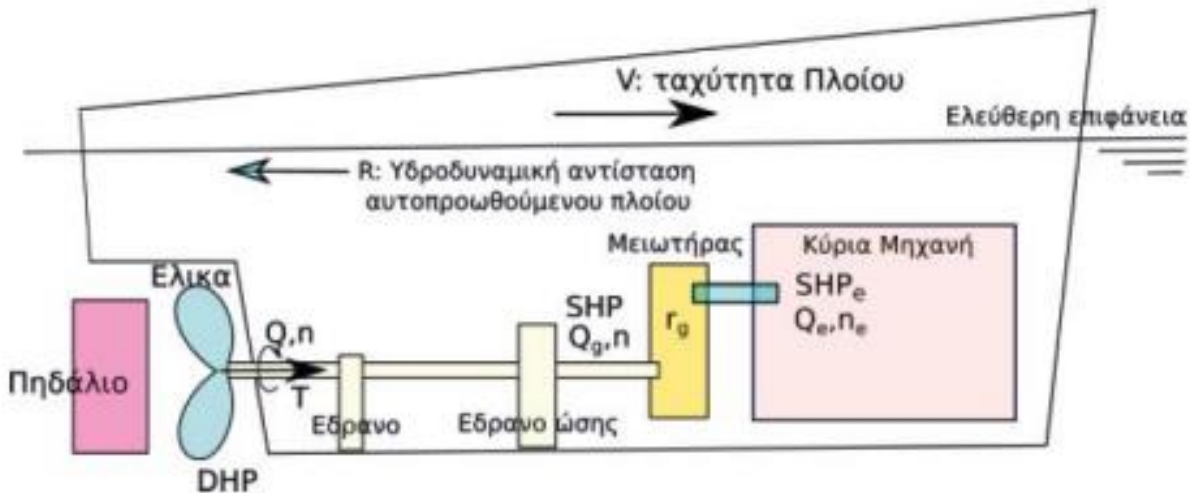
Η τιμή του συντελεστή αυτού κυμαίνεται μεταξύ -0.04 έως και 0.145 και εξαρτάται κυρίως από το σχήμα της γάστρας. Συνήθως πλοία με μεγάλο συντελεστή C_B , έχουν και μεγάλο w και η κατανομή των ταχυτήτων του ρευστού γύρω από την προπέλα είναι πολύ ανομοιογενής.

Οι δύο συντελεστές αυτοί δόθηκαν στα model test συναρτήσεως της ταχύτητας δοκιμών, και ένας μέσος όρος χρησιμοποιήθηκε για την κάθε κατάσταση.

3.3 Ισχύς και οι συνιστώσες της

Το αυτοπροωθούμενο πλοίο, είναι το πλοίο το οποίο χρησιμοποιεί σαν σύστημα πρόωσης την προπέλα η οποία είναι συνδεδεμένη μέσω ενός άξονα και ενός μειωτήρα με τη μηχανή. Στα μεγάλα εμπορικά πλοία τύπου τάνκερ, δεν χρησιμοποιούνται μειωτήρες, καθότι είναι πιο αποδοτική η χρήση βραδύστροφων μηχανών, και έτσι η προπέλα έχει τις ίδιες στροφές με τον κινητήρα. Η ισχύς που βγαίνει από τη μηχανή, μέχρι να φτάσει στην προπέλα περνά από πολλά στάδια, όπου χάνει ένα μέρος της. Ειδικότερα, η μηχανή δουλεύει και βγάζει μια ισχύ SHPe (shaft horsepower engine). Αυτή η ισχύς περνά από τον μειωτήρα (αν αυτός υπάρχει) και

εκεί χάνεται ένα μέρος, και μετατρέπεται σε SHP (shaft). Σε περίπτωση που δεν υπάρχει μειωτήρας, $SHP = SHP_e$. Ύστερα, η ισχύς αυτή, μεταφέρεται μέσω του άξονα στην έλικα, με μια μικρή απώλεια ενέργειας στην άξονα, τα έδρανα και τη χοάνη. Η ισχύς αυτή που φτάνει στην έλικα λέγεται DHP (delivered horsepower). Παρακάτω παρουσιάζεται ένα σχήμα που εξηγεί αυτές τις ισχύς.



ΕΙΚΟΝΑ 18: ΙΣΧΥΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΩΣΗΣ

Επίσης υπάρχει η P_t (thrust) η οποία είναι η ισχύς ώσης της έλικας, και η P_E η ισχύς ρυμούλκησης. Στα model test δινόταν η ισχύς ρυμούλκησης του προτύπου υπό κλίμακα. Έτσι χρησιμοποιήθηκε ο τύπος

$$P_E = \eta_0 * \eta_R * \frac{1 - t}{1 - w} * P_D$$

Όστε να μετατραπεί σε ισχύ αποδιδόμενη στην έλικα. Ως η_0 ορίζεται ο βαθμός απόδοσης έλικας σε ελεύθερη ροή, η_R ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής. Στα model test δίνονταν οι συντελεστές αυτοί (και w , t) συναρτήσει της ταχύτητας. Έπειτα με τον τύπο

$$P_D = \eta_s * P_S$$

μετατράπηκε σε ισχύ άξονα. Στην παρούσα διπλωματική θεωρήθηκε βαθμός απόδοσης αξονικού συστήματος (η_s) 0,98 και βαθμός απόδοσης μειωτήρα 0,965 όπως δόθηκε από τα sea trials.

3.4 Χρήση ειδικής φόρμας excel στον υπολογισμό απαιτούμενης ισχύος

Για να γίνει η σύγκριση μεταξύ report και θεωρητικών αποτελεσμάτων, χρησιμοποιήθηκε ένα excel, το οποίο με βάση όλα τα δεδομένα του πλοίου και της κατάστασης που υπήρχε την χρονική στιγμή του κάθε report, υπολογίζει την απαιτούμενη ισχύ της μηχανής, και τις στροφές της. Ύστερα η απαιτούμενη ισχύς, μεταφράζεται σε κατανάλωση για να συγκριθεί με αυτήν στα report. Το excel εκτός των μετατροπών μονάδων, λειτουργεί ως εξής.

Αρχικά παίρνει σαν είσοδο όλες τις αντιστάσεις που έχουν υπολογιστεί (ήρεμου νερού, κυματισμού και ανέμου), όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Η αντίσταση παρελκομένων υπολογίζεται ως το 8% επι της συνολικής. Ύστερα τοποθετούνται οι χαρακτηριστικά του πλοίου, για την προσεγγιστική εκτίμηση της αντίστασης της γάστρας κατά IACS. Τα χαρακτηριστικά που εισάγονται είναι τα παρακάτω:

- Εμβαδόν πηδαλίου
- Πρισματικός συντελεστής
- C_w
- Βρεχόμενη επιφάνεια
- L_{pp}
- B_{wl}
- T_m
- D_p
- Thrust deduction factor
- Wake fraction
- Χαρακτηριστικές της έλικας (K_t , $10K_q$)

Επίσης για τους υπολογισμούς εισάγονται το εκτιμώμενο ύψος κύματος θάλασσας λόγω ανέμου, καθώς και η ταχύτητα του πλοίου και οι χαρακτηριστικές της έλικας (K_t , $10K_q$) που έχουν βρεθεί από τα τεστ του προτύπου υπό κλίμακα. Το συνολικό ύψος κύματος H_s στη συνέχεια υψώνεται στο τετράγωνο και πολλαπλασιάζεται με την αντίσταση κυματισμού για μοναδιαίο ύψος κύματος που υπολογίστηκε από το πρόγραμμα Frank, ώστε να βγει η συνολική για την κατάσταση της θάλασσας. Αφού εισαχθούν όλες αυτές οι παράμετροι, υπάρχουν δύο κελιά που αντιπροσωπεύουν τον δείκτη K_t , όπου υπολογίζονται με διαφορετικό τρόπο, και αλλάζοντας τον δείκτη J αλλάζει η τιμή του ενός έως ότου εξισωθεί με τον άλλον.

Το ένα κελί K_t υπολογίζεται από την εξίσωση τρίτου βαθμού της έλικας, εισάγοντας την τιμή του J . Το δεύτερο υπολογίζεται από τον τύπο

$$K_t(J) = \frac{T * J^2}{\rho * (u_a * D_p)^2}$$

όπου D_p η διάμετρος της προπέλας, ρ η πυκνότητα του νερού (1025 kg/m^3), και $u_a = V_s * (1 - w)$ είναι η ταχύτητα του πλοίου, και w το wake fraction. Όταν εξισωθούν τα δύο κελιά, τότε εξάγουμε την απαιτούμενη ισχύ P_d και τις στροφές του κινητήρα.

Από φυσικής σημασίας, με δοκιμές του δείκτη j , εξισώνεται η απαιτούμενη ώση του πλοίου, με αυτήν που δίνει η προπέλα. Η απαιτούμενη ώση προκύπτει αθροίζοντας όλες τις επιμέρους αντιστάσεις που έχουν υπολογιστεί για την εκάστοτε κατάσταση πλοίου και θάλασσας, ενώ η ώση της προπέλας προκύπτει από τα πολυώνυμά της.

Οι στροφές υπολογίζονται (σε rps) από τον τύπο

$$n = \frac{ua}{J * Dp}$$

Η ισχύς υπολογίζεται από τον τύπο

$$Pd = \frac{2 * \pi * \rho * n^3 * Dp^5 * KQ}{1000}$$

Με τη σειρά του το KQ υπολογίζεται από το πολυώνυμο του 10KQ της έλικας που εξήχθη γραφικά από τα στοιχεία του model test, αντικαθιστώντας το J που υπολογίστηκε και διαιρώντας το με 10.

Στις ωριαίες καταγραφές λειτουργικών παραμέτρων του πλοίου, ήταν διαθέσιμες οι στροφές του κινητήρα, χωρίς όμως να δίνεται η ισχύς, οπότε έπρεπε να ερμηνευτεί η απαιτούμενη ισχύς από τους υπολογισμούς, σε κατανάλωση.

Οπότε από τα shortest της μηχανής, δημιουργήθηκε διάγραμμα ειδικής κατανάλωσης (σε gr/kwh) συναρτήσει της ισχύος. Με χρήση της γραμμικής παρεμβολής, από την απαιτούμενη ισχύ των υπολογισμών, εξήχθη η απαιτούμενη ειδική κατανάλωση.

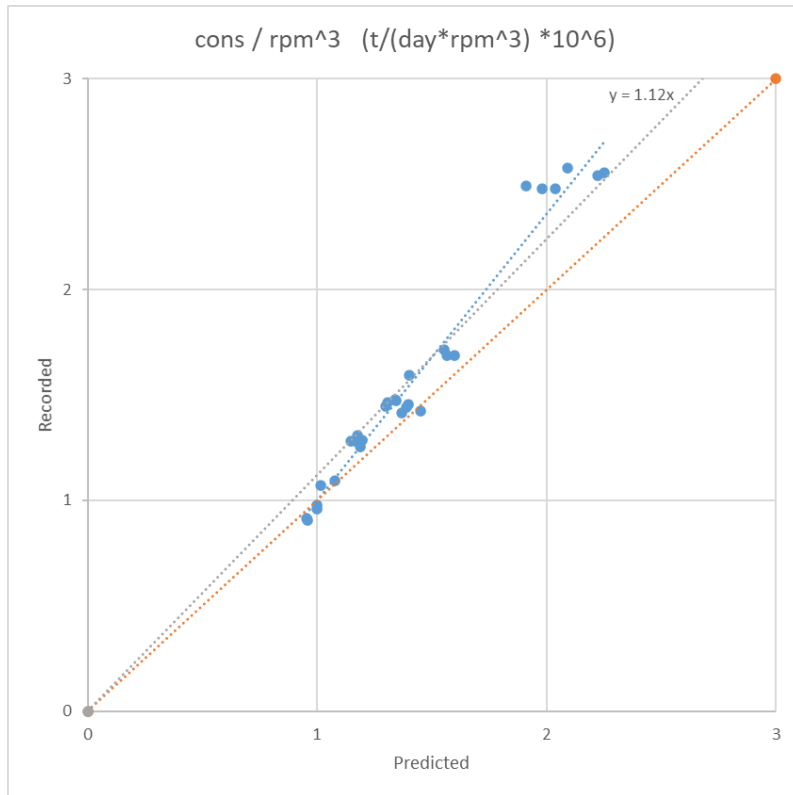
4 Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

4.1 Αποτελέσματα

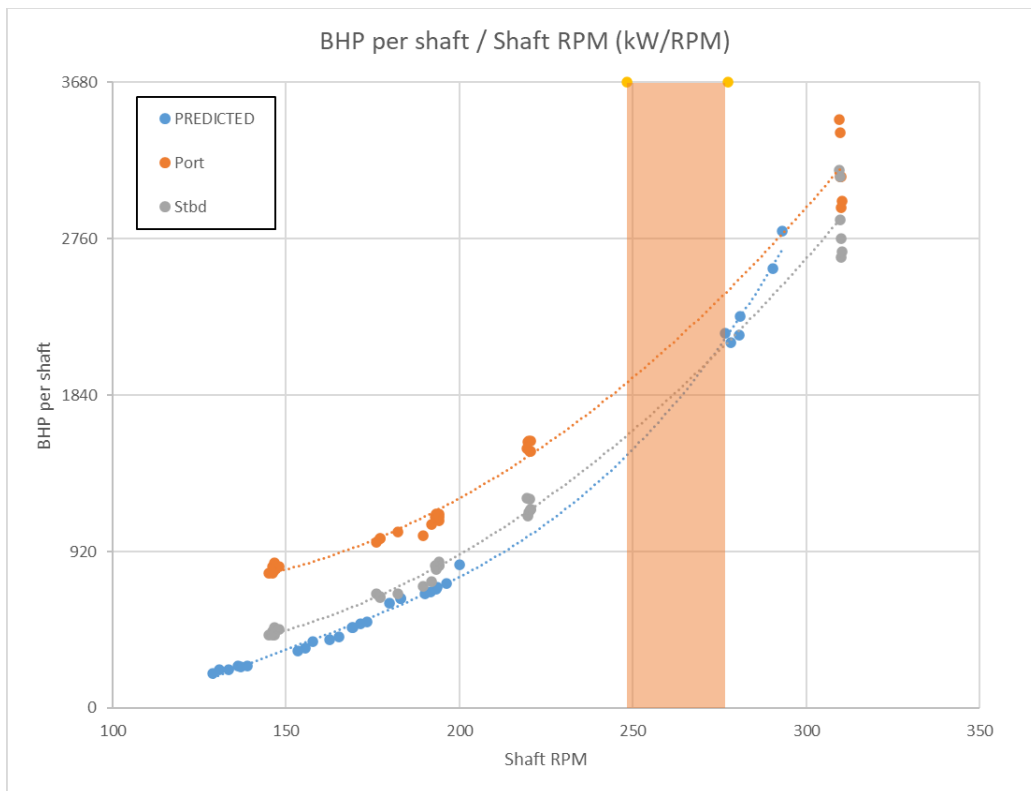
Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται τα γραφήματα των αποτελεσμάτων από τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, συγκριτικά με τις μετρήσεις από τις ωριαίες καταγραφές λειτουργικών παραμέτρων του πλοίου. Ειδικότερα παρουσιάζονται τα παρακάτω διαγράμματα:

- Λόγος κατανάλωσης (απόλυτης σε t/day) προς τις στροφές κινητήρα στην 3η δύναμη, τιμών report με αναφορά τιμές προβλεπόμενων από τα προγράμματα. (Γραφική Παράσταση 4)
- Ισχύς μηχανής με αναφορά τις στροφές άξονα. (Γραφική Παράσταση 5)
- Στροφές άξονα report με αναφορά τις υπολογισμένες. (Γραφική Παράσταση 6)
- Συνολική ισχύς report με αναφορά την υπολογισμένη από τα προγράμματα. (Γραφική Παράσταση 7)
- Κατανάλωση καυσίμου report με αναφορά την υπολογισμένη από τα προγράμματα. (Γραφική Παράσταση 8)

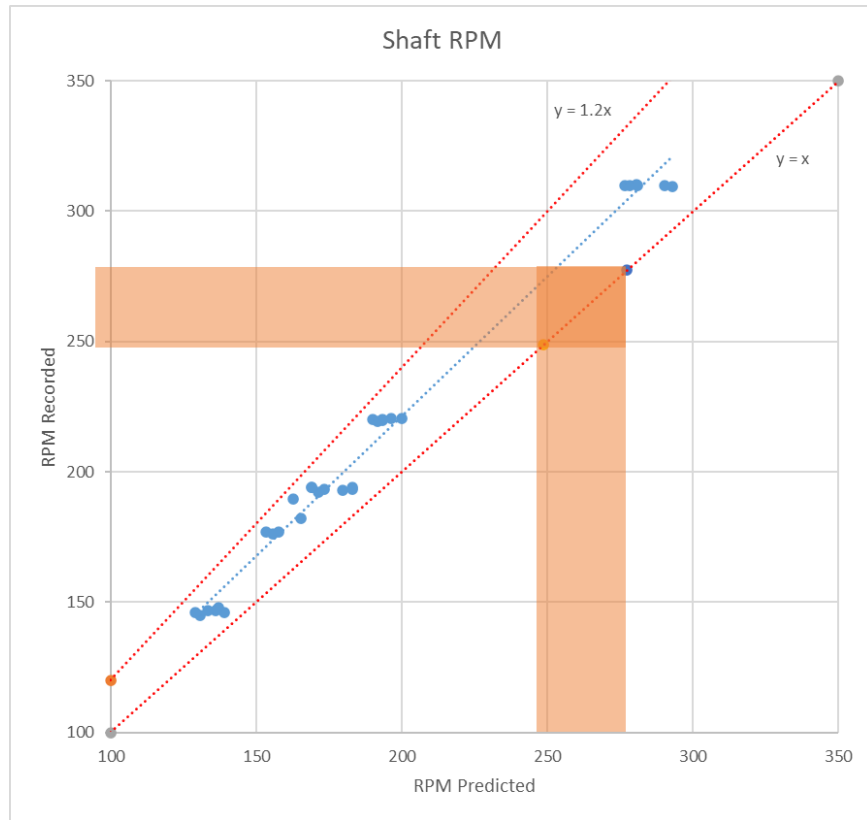
Στις Γραφικές Παραστάσεις 5 και 6 ως κόκκινη περιοχή φαίνονται οι στροφές άξονα στις οποίες το πλοίο δεν δύναται να λειτουργήσει λόγω συντονισμού αυτού και ως εκ τούτου αυξημένων κραδασμών.



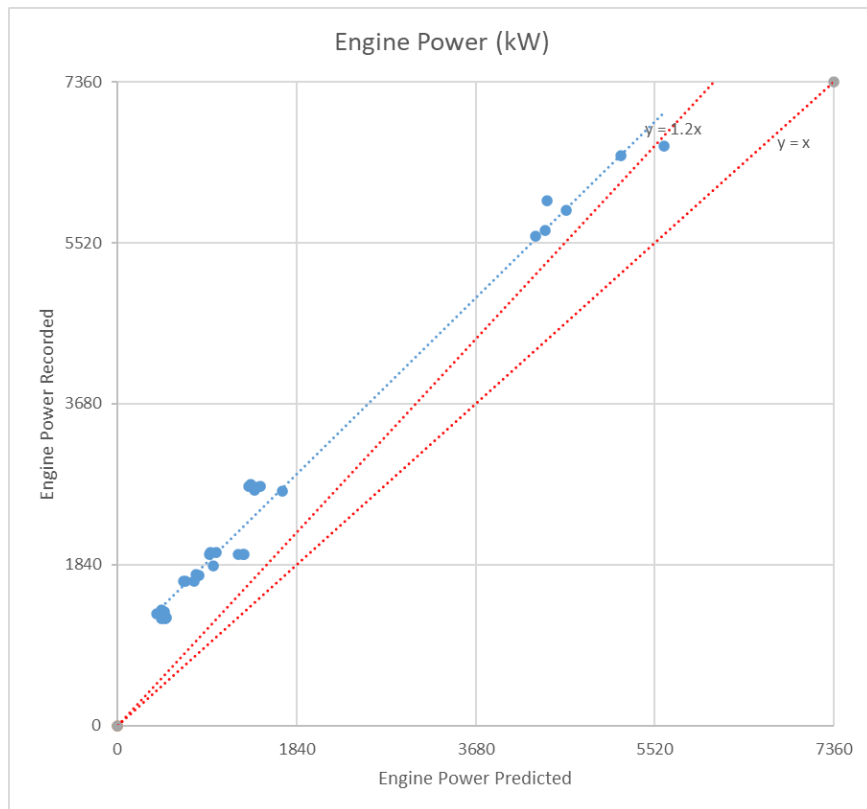
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 4



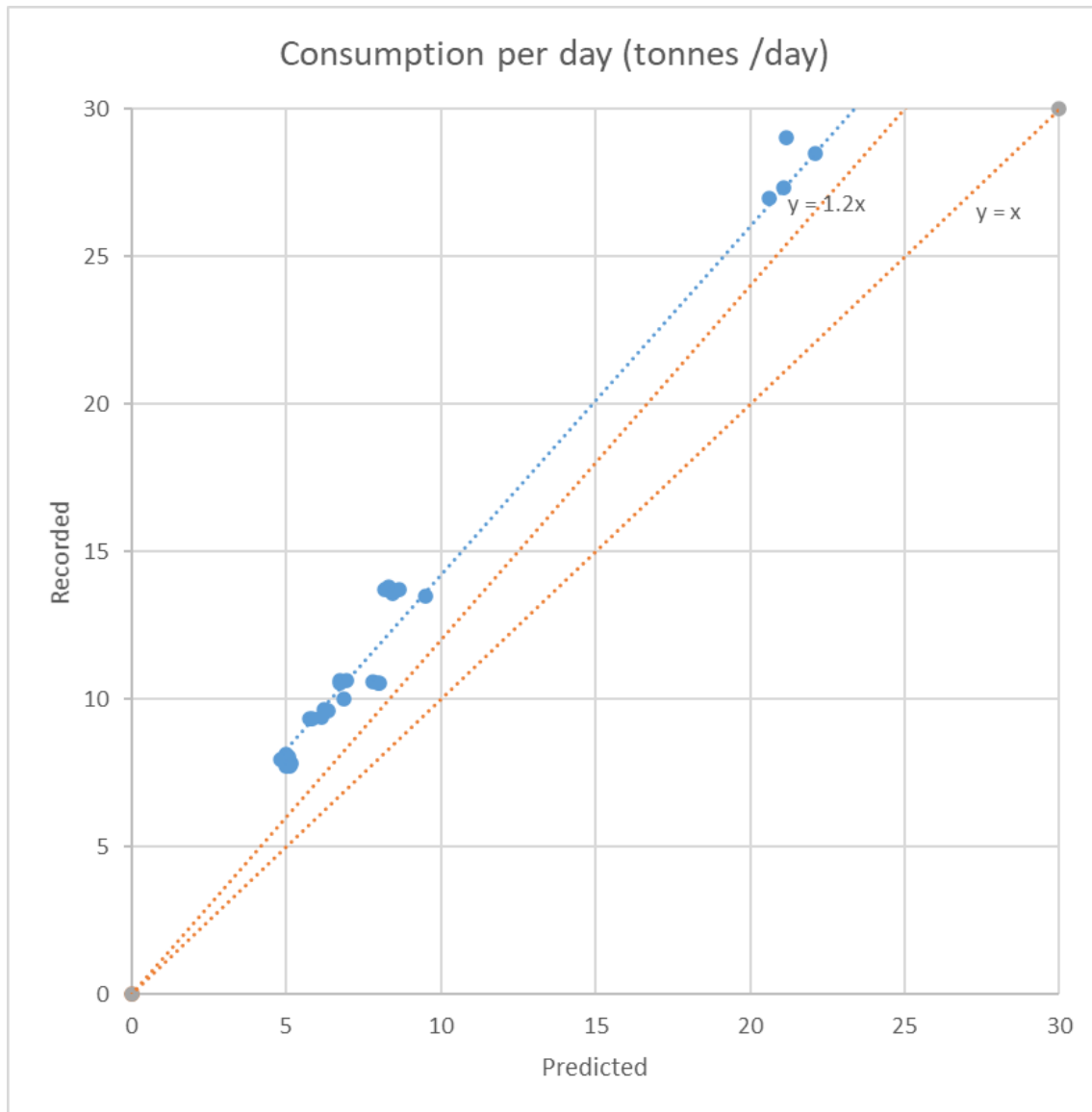
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 5



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 6



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 7



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 8

Στην Γραφική Παράσταση 9 παρατηρείται ότι τα σημεία κατανάλωσης (απόλυτης σε t/day) προς τις στροφές κινητήρα στην 3η δύναμη για χαμηλές τιμές βρίσκονται κοντά στην καμπύλη $Y=X$ ενώ σε υψηλές τιμές είναι κοντά στην καμπύλη $Y=1.12X$, το όριο ώστε να θεωρούνται ικανοποιητικές οι μετρήσεις από τις ωριαίες καταγραφές λειτουργικών παραμέτρων σε σχέση με τις υπολογισμένες. Το όριο $Y=1.12X$ πρακτικά είναι ένα όριο 12% πάνω που δίνουν οι ναυτιλιακές εταιρίες για να δικαιολογούν ανοχές. Συγκεκριμένα οι επί μέρους ανεκτές προσαυξήσεις είναι 5% για συνθήκες μη-ιδανικές όπως αυτές των δοκιμών, 2% για περιορισμένη ευθυγράμμιση άξονα και 5% για μηχανή που λειτουργεί σε πραγματικές συνθήκες και όχι σε ιδανικές συνθήκες δοκιμών στο εργοστάσιο κατασκευής της.

Στην Γραφική Παράσταση 6 παρατηρείται ότι η ισχύς μηχανής προς τις στροφές άξονα στην 3^η, για τις ωριαίες καταγραφές λειτουργικών παραμέτρων είναι πολλαπλάσια μεγαλύτερη (250 έως 400 %) με σχέση τις υπολογισμένες, λόγω μειωμένης απόδοσης Κυρίων Μηχανών.

Στην Γραφική Παράσταση 7 παρατηρείται ότι οι μετρήσεις από τις ωριαίες καταγραφές λειτουργικών παραμέτρων βρίσκονται εντός +20% από τις υπολογισμένες τιμές.

Στην Γραφική Παράσταση 8 και στην Γραφική Παράσταση 9 παρατηρείται ότι οι μετρήσεις από τις ωριαίες καταγραφές λειτουργικών παραμέτρων έχουν σημαντική απόκλιση από τις υπολογισμένες τιμές για χαμηλές τιμές. Η απόκλιση μειώνεται καθώς η ταχύτητα αυξάνεται.

4.2 Συμπεράσματα

Από την παρουσίαση των Γραφικών Παραστάσεων της παρούσας διπλωματικής και την ανάλυση αυτών λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση της γάστρας, των αξονικών και των Κύριων Μηχανών καθώς και τυχόν αποκλίσεις λόγω περιορισμένης ακρίβειας μετρήσεων από τις ωριαίες καταγραφές λειτουργικών παραμέτρων, προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα για την ίδια τη μελέτη, καθώς και για μελλοντικές μελέτες αντίστοιχου είδους.

Εξετάζοντας τις Γραφικές Παραστάσεις που αφορούν την ισχύ των Κυρίων Μηχανών (Engine Power) προκύπτουμε στα κάτωθι συμπεράσματα:

1. Υπάρχει σημαντική απόκλιση ανάμεσα στις ωριαίες καταγραφές λειτουργικών παραμέτρων και τις υπολογισμένες τιμές, απόκλιση που υποδεικνύει την καταπόνηση των μηχανών λόγω αυξημένων ωρών λειτουργίας.
2. Υπάρχει σημαντική απόκλιση ανάμεσα στην αριστερή και στην δεξιά μηχανή, αναμενόμενο αποτέλεσμα αν ληφθεί υπόψη ότι στην αριστερή μηχανή δεν έχει εκτελεστεί αντικατάσταση αντλιών πετρελαίου υψηλής πίεσης και τελεί υπό υπέρβαση ωρών λειτουργίας

Εξετάζοντας τις Γραφικές Παραστάσεις που αφορούν την κατανάλωση καυσίμου παρατηρείται σημαντική απόκλιση σε χαμηλές ταχύτητες πλεύσης. Προκύπτουν λοιπόν τα κάτωθι συμπεράσματα:

1. Αυξημένη ρύπανση σε γάστρα και σε αξονικά, το οποίο διασταυρώνεται από το ιστορικό του πλοίου καθώς τελευταίος καθαρισμός υφάλων εκτελέστηκε το πρώτο εξάμηνο του 2018 με τις μετρήσεις των ωριαίων καταγραφών λειτουργικών παραμέτρων να έχουν παρθεί το δεύτερο τρίμηνο του 2021.
2. Μικρό σφάλμα μετρήσεων / εκτιμήσεων στις ωριαίες καταγραφές λειτουργικών παραμέτρων σχετικά με σημαντικό ύψος κύματος έχει σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα.

Ύστερα από όλη αυτή την μελέτη καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική, σε όλα τα επιμέρους στάδια της είναι αρκετά ικανοποιητική, και αποτελεί μια καλή μέθοδο αρχικής εκτίμησης της κατάστασης.
- Η μέθοδος βασίζεται σε σταθερή βάση που αποτελούν τα πειράματα με πρότυπο του πλοίου σε πειραματική δεξαμενή και δοκιμές παραλαβής του πλοίου, ενώ συμπληρώνεται από υπολογισμούς για το συγκεκριμένο πλοίο και καταστάσεις φόρτωσης.
- Είναι πολύ σημαντική η ακρίβεια των μετρήσεων των ρ_{port} , καθώς αποτελούν τα στοιχεία εισόδου των προγραμμάτων και των υπολογισμών, ώστε να εξαχθούν τα τελικά αποτελέσματα και συμπεράσματα. Μικρές ανακρίβειες αυτών, επιφέρουν σημαντικές αποκλίσεις από την πραγματικότητα, σε μια ευαίσθητη στα δεδομένα μέθοδο.
- Είναι πιο αποδοτική και ακριβής όταν οι μετρήσεις γίνονται σε καταστάσεις που να παρομοιάζουν ήρεμο νερό καθώς είναι μικρότερο το σφάλμα της πρόσθετης αντίστασης.
- Η ανωτέρω μέθοδος αναδεικνύει τυχόν προβλήματα που υφίστανται στην λειτουργική κατάσταση του πλοίου. Ως εκ τούτου, μπορούν να εκτελεστούν άμεσες ενέργειες προς άρση των υφιστάμενων παρατηρήσεων.
- Η μέθοδος με μικρό πλήθος μετρήσεων, και ιδανικά σε κατάσταση θαλάσσης κοντά σε ήρεμο νερό, μπορεί να εξάγει άμεσα ασφαλές συμπεράσματα για την λειτουργική κατάσταση του προωστήριου σκεύους του πλοίου.

Σε μια μελλοντική μελέτη αντίστοιχου είδους, θα ήταν σημαντικό να μελετηθούν τα αποτελέσματα των ωριαίων καταγραφών λειτουργικών παραμέτρων και των σχετικών υπολογισμών για πλοίο πριν και μετά από Τακτική Ακινησία στην οποία θα εκτελεστεί καθαρισμός υφάλων καθώς και πριν και μετά από Γενική Επισκευή (Overhaul) των Κύριων Μηχανών ώστε να κατανοηθεί αναλυτικότερα η επίδραση αυτών καθώς και το φαινόμενο της γήρανσης της γάστρας.

Παράρτημα

Displacement	Vs	heading	Hs						winf_fr		SHAFT RPM			LOAD			Engine Power			Engine Power			CONs			cons / rpm ³ i/(day/rpm ³)*10 ⁶	
			Tp	H _{sea}	H _{swell}	$H_s = \sqrt{H_{swell}^2 + H_{sea}^2}$		m	Beaufort	m/s	Port	Sbtd	Mean	Port	Sbtd	Mean	Kw	Sbtd	Total	Kw	Sbtd	Total	Port	Sbtd	Total		i/day
						m	m																				
570	8.2	30	5.00	1	0.5	1.12	3	4.5	146.2	143.8	145.00	21.5	11.6	16.55	791.2	426.88	1218.08	0.40	189.80	133.16	7.75	2.54					
570	8.5	45	7.00	0.5	0.5	0.71	2	2.4	146.7	145.7	146.20	22.6	12.2	17.40	831.68	448.96	1280.64	0.41	196.27	136.44	7.99	2.56					
560	8.7	0	6.00	1	0.5	1.12	2	2.4	146.7	146.7	146.70	22	11.6	16.80	809.6	426.88	1236.48	0.39	192.74	133.16	7.82	2.48					
575	8.8	45	8.00	0.5	0.5	0.71	3	4.5	146.5	147	146.75	23.2	12.8	18.00	853.76	471.04	1324.8	0.42	199.82	139.74	8.15	2.58					
565	9.1	90	5.00	0.5	0.5	0.71	2	2.4	148.7	147.3	148.00	22.6	12.6	17.60	831.68	463.68	1295.36	0.40	196.27	138.64	8.04	2.48					
560	9.4	135	5.00	0.5	0	0.50	1	1	148.2	143.8	146.00	21.5	11.6	16.55	791.2	426.88	1218.08	0.39	189.80	133.16	7.75	2.49					
575	10	45	8.00	1	0.5	1.12	3	4.5	175.6	178.6	177.10	27.1	17.8	22.45	997.28	655.04	1652.32	0.30	223.17	167.78	9.38	1.69					
560	10.2	30	5.00	0.5	0.5	0.71	3	4.5	175.9	178.1	177.00	27.1	17.7	22.40	997.28	651.36	1648.64	0.30	223.17	167.21	9.37	1.69					
565	10.4	180	7.00	0.5	0.5	0.71	2	2.4	175.7	176.5	176.10	26.5	18.3	22.40	975.2	673.44	1648.64	0.30	219.54	170.63	9.36	1.71					
575	10.8	45	6.00	0.5	0.5	0.71	3	4.5	188.3	190.7	189.50	27.6	19.4	23.50	1015.68	713.92	1729.6	0.25	226.20	176.95	9.68	1.42					
560	11	30	5.00	1	0.5	1.12	2	2.4	191	193.1	192.05	29.3	20.2	24.75	1078.24	743.36	1821.6	0.26	236.56	181.58	10.04	1.42					
555	11.1	90	5.00	0.5	0.5	0.71	2	2.4	182.6	181.6	182.10	28.2	18.3	23.25	1037.76	673.44	1711.2	0.28	229.84	170.63	9.61	1.59					
575	10.7	45	6.00	1.5	0.5	1.58	3	4.5	192.2	193.7	192.95	30.5	22.8	26.65	1122.4	839.04	1961.44	0.27	243.94	196.77	10.58	1.47					
565	10.8	15	5.00	1	0.5	1.12	2	2.4	192.7	195.7	194.20	31	22.8	26.90	1140.8	839.04	1979.84	0.27	247.02	196.77	10.65	1.45					
555	10.9	135	5.00	1	0.5	1.12	1	1	192.6	195.8	194.20	29.9	23.4	26.65	1100.32	861.12	1961.44	0.27	240.24	200.32	10.57	1.44					
570	11	180	6.00	1.5	0.5	1.58	3	4.5	192.2	194.4	193.30	31	22.2	26.60	1140.8	816.96	1957.76	0.27	247.02	193.24	10.57	1.46					
560	11.1	30	7.07	1.5	0.5	1.58	3	4.5	192.8	195.2	194.00	30.5	22.7	26.60	1122.4	835.36	1957.76	0.27	243.94	196.18	10.56	1.45					
550	11.2	45	5.00	1	0.5	1.12	2	2.4	192.1	194.4	193.25	31	22.8	26.90	1140.8	839.04	1979.84	0.27	247.02	196.77	10.65	1.48					
575	12	15	7.07	1.5	0.5	1.58	3	4.5	218.5	222.7	220.60	41	31.8	36.40	1508.8	1170.24	2679.04	0.25	310.53	251.38	13.49	1.26					
570	12.2	30	5.00	1	0.5	1.12	2	2.4	220.2	220.1	220.15	41	33.4	37.20	1508.8	1229.12	2737.92	0.26	310.53	261.42	13.73	1.29					
560	12.4	90	5.00	1	0.5	1.12	2	2.4	219.2	219.6	219.40	41.5	33.5	37.50	1527.2	1232.80	2760	0.26	313.79	262.05	13.82	1.31					
570	12.4	15	6.00	1	0.5	1.12	3	4.5	218.5	221.5	220.00	42.7	31.3	37.00	1571.36	1151.84	2723.2	0.26	321.66	248.27	13.68	1.28					
560	12.5	45	5.00	1	0.5	1.12	2	2.4	218.4	221	219.70	42.6	30.7	36.65	1567.68	1129.76	2697.44	0.25	321.00	244.54	13.57	1.28					
560	12.7	90	5.00	1	0.5	1.12	2	2.4	218.8	222.1	220.45	42.7	31.7	37.20	1571.36	1166.56	2737.92	0.26	321.66	250.76	13.74	1.28					
575	16.7	45	6.00	1.5	0.5	1.58	3	4.5	308.1	310.9	309.50	94	86	90.00	3459.2	3164.80	6624	0.22	703.21	646.02	32.38	1.09					
570	16.9	30	7.07	1	0.5	1.12	3	4.5	308.5	310.9	309.70	85	78	81.50	3128	2770.40	5998.4	0.20	629.87	580.68	29.05	0.98					
560	17.2	135	5.00	1	0.5	1.12	1	1	308.6	311.1	309.85	85	75	80.00	3128	2760.00	5888	0.20	629.87	556.80	28.48	0.96					
575	17.5	30	6.00	1	0.5	1.12	3	4.5	308.4	311	309.70	92	85	88.50	3385.6	3128.00	6513.6	0.22	686.67	637.72	31.79	1.07					
570	17.7	15	5.00	0.5	0.5	0.71	2	2.4	308.5	311.2	309.85	80	72	76.00	2944	2649.60	5593.6	0.19	590.31	533.28	26.97	0.91					
560	17.9	180	5.00	0.5	0.5	0.71	2	2.4	308.5	312.1	310.30	81	73	77.00	2980.8	2686.40	5667.2	0.19	598.15	541.08	27.34	0.92					

PREDICTED															
Cx	Rwind		Added Resistance	Cw Swan2	Rcalm	Rtotal	Required N	Required Pd per shaft	Required Engine Power	Engine Power / rpm^3	cons			cons / rpm^3	
	kP	X									kN	Port	Stbd		Total
-0.123	140.4	1.38	11.83	0.00272763	30.04	43.24	130.86	213.89	226.16	0.10	452.33	103.74	103.92	4.98	2.22
-0.067	21.8	0.21	12.03	0.00270104	31.63	43.87	128.89	192.07	203.09	0.09	406.17	100.39	100.63	4.82	2.25
-0.134	43.5	0.43	11.61	0.00252188	32.27	44.31	136.16	235.51	249.02	0.10	498.03	107.06	107.19	5.14	2.04
-0.067	76.5	0.75	13.24	0.00277210	33.54	47.53	133.54	213.85	226.11	0.09	452.23	103.73	103.92	4.98	2.09
-0.016	5.2	0.05	13.44	0.00259800	34.81	48.30	136.92	227.91	240.99	0.09	481.97	105.89	106.04	5.09	1.98
0.124	-7.0	-0.07	14.23	0.00251374	36.38	50.54	138.95	232.49	245.83	0.09	491.66	106.60	106.74	5.12	1.91
-0.067	76.5	0.75	18.52	0.00273345	41.25	60.52	157.77	369.94	391.16	0.10	782.33	128.05	127.87	6.14	1.56
-0.123	140.4	1.38	17.75	0.00249756	41.73	60.86	153.25	318.97	337.26	0.09	674.52	120.03	119.96	5.76	1.60
0.144	-46.8	-0.46	19.11	0.00255988	43.52	62.17	155.59	331.85	350.89	0.09	701.78	122.05	121.95	5.86	1.55
-0.067	76.5	0.75	21.71	0.00266499	47.34	69.80	162.56	381.58	403.46	0.09	806.93	129.89	129.69	6.23	1.45
-0.123	39.9	0.39	20.58	0.00243980	47.87	68.84	171.38	467.15	493.94	0.10	987.89	143.54	143.18	6.88	1.37
-0.016	5.2	0.05	20.27	0.00236333	48.31	68.63	165.37	396.21	418.94	0.09	837.88	132.21	131.98	6.34	1.40
-0.067	76.5	0.75	21.37	0.00267598	46.53	68.65	179.78	586.10	619.72	0.11	1239.44	162.85	162.32	7.80	1.34
-0.152	49.4	0.48	20.55	0.00252724	46.62	67.65	168.94	449.65	475.45	0.10	950.89	140.73	140.40	6.75	1.40
0.124	-7.0	-0.07	19.69	0.00238141	46.68	66.30	169.18	447.35	473.02	0.10	946.03	140.36	140.04	6.73	1.39
0.144	-164.4	-1.61	21.76	0.00257404	48.62	68.77	183.01	612.12	647.23	0.11	1294.47	167.12	166.57	8.01	1.31
0.102	-116.4	-1.14	20.86	0.00242960	48.69	68.42	183.11	607.67	642.53	0.10	1285.06	166.39	165.84	7.97	1.30
-0.067	21.8	0.21	19.93	0.00228797	48.75	68.89	173.21	477.90	505.31	0.10	1010.63	145.27	144.89	6.96	1.34
-0.152	173.5	1.70	24.77	0.00249977	58.21	84.68	199.89	798.63	844.44	0.11	1688.88	198.32	197.64	9.50	1.19
-0.123	39.9	0.39	24.52	0.00241240	59.77	84.68	190.01	636.34	672.84	0.10	1345.67	171.12	170.54	8.20	1.20
-0.016	5.2	0.05	23.61	0.00227097	60.86	84.51	191.77	648.56	685.76	0.10	1371.52	173.14	172.55	8.30	1.18
-0.152	173.5	1.70	24.90	0.00238588	61.86	88.46	193.46	673.06	711.67	0.10	1423.34	177.21	176.60	8.49	1.17
-0.067	21.8	0.21	23.79	0.00225934	61.91	85.91	193.31	664.37	702.48	0.10	1404.97	175.77	175.16	8.42	1.17
-0.016	5.2	0.05	24.18	0.00223762	64.07	88.30	196.23	694.10	733.92	0.10	1467.83	180.72	180.09	8.66	1.15
-0.067	76.5	0.75	59.76	0.00307209	130.78	191.29	292.99	2654.99	2807.29	0.11	5614.57	561.45	566.99	27.08	1.08
-0.123	140.4	1.38	62.11	0.00312020	134.13	197.62	276.63	2087.28	2207.01	0.10	4414.03	440.26	442.44	21.18	1.00
0.124	-7.0	-0.07	65.22	0.00317624	138.60	203.76	280.86	2178.95	2303.94	0.10	4607.88	459.22	461.86	22.11	1.00
-0.123	140.4	1.38	74.59	0.00347914	150.10	226.07	290.31	2446.42	2586.75	0.11	5173.51	515.89	520.04	24.86	1.02
-0.152	49.4	0.48	77.37	0.00353889	153.91	231.76	278.30	2032.03	2148.59	0.10	4297.19	428.94	430.86	20.64	0.96
0.144	-46.8	-0.46	78.87	0.00355357	156.28	234.70	280.63	2076.44	2195.55	0.10	4391.09	438.03	440.16	21.08	0.95

Βιβλιογραφία

Blendermann, W. (Dec 1996). *Wind Loading of Ships – Collected Data from Wind* .

Boston Marine Consulting Inc. (2002). *Ship Flow Simulation in Calm Water and in Waves*.

Hellenic Shipyards Co. (2001 (Revision 2003)). *Intact Stability Calculations*.

Wartsila Diesel. (2001). *Test Report No: 4260 & 4259*.

Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Γ. Α. (Οκτ 1998). *ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ*.

Γεράσιμος Πολίτης, Γ. Τ. (Ιουν 2016). *Πρόωση Πλοίου*.

Πολίτης, Γ. Κ. (2016). *Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου*.