Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

RePHIL

Ελληνικός Ερευνητικός Στόλος – Ανακατασκευή του Ερευνητικού Σκάφους «ΦΙΛΙΑ»

ΠΕ 5: Πρόγραμμα συνέργειας για την αξιολόγηση της μετασκευής του ΕΣ ΦΙΛΙΑ και του αναβαθμισμένου εξοπλισμού

Π5.2 - Μελέτη αντίστασης & πρόωσης και συμπεριφοράς σε κυματισμούς

Το πρόγραμμα συγχρηματοδοτείται από Επιχειρησιακό Πρόγραμμα (Ε.Π.) «Ανταγωνιστικότητα Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία» Περιόδου 2014 – 2020 και το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης

Πρόσκληση ΕΠΑνΕΚ 039 για την υποβολή προτάσεων με θέμα «Ενίσχυση των υποδομών έρευνας και καινοτομίας»

Τίτλος Παραδοτέου: Αποτελέσματα των μελετών και υπολογισμών αντίστασης & πρόωσης και συμπεριφοράς σε κυματισμούς.

Αριθμός Παραδοτέου: 5.2

Υπεύθυνοι	**Συγγραφείς**	**Ημερομηνία**	**Εγκεκριμένο**
Καθ. Γ. Τζαμπίρας Καθ. Γ. Ζαραφωνίτης	Γ. Κατσαούνης Σ. Πολύζος Γ. Δαφέρμος		

Πληροφορίες εγγράφου		**Περιεχόμενα**		**Κατάσταση**
Πακέτο Εργασίας:	ΠΕ 5	Σελίδες:	155	
Υποκατηγορίας:	Π5.2	Πίνακες:	29	
Λέξεις κλειδιά:	Υπολογισμοί αντίστασης και πρόωσης, Υπολογισμοί συμπεριφοράς σε κυματισμούς	Εικόνες:	118	
		Παραρτήματα:	20	

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ

Η εργασία που περιγράφεται στην παρούσα έκθεση υποστηρίχθηκε από το Χρηματοδοτικό Μηχανισμό Ε.Π. «Ανταγωνιστικότητα Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία» Περιόδου 2014 – 2020 με τη συγχρηματοδότηση του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης που αντιστοιχεί στην πρόσκληση 039 για την υποβολή προτάσεων με θέμα «Ενίσχυση των υποδομών έρευνας και καινοτομίας».

	Ανάδοχος (Συντονιστής)
hcmr ΕΛΚΕΘΕ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (ΕΛΚΕΘΕ)
	Εταίρος
ΕΘΝ.ΜΕΤΣΟΒ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΝ	ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ (ΕΜΠ) ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

1. Εισαγωγή 3
2. Ανάπτυξη Ψηφιακών Σχεδίων Γραμμών και Τριδιάστατων Μοντέλων Γάστρας 5
2.1 Γραμμές Γάστρας και Τριδιάστατο Μοντέλο προ της επιμήκυνσης 5
2.2 Γραμμές Γάστρας και Τριδιάστατο Μοντέλο επιμηκυμένου πλοίου 7
3. Υδροστατικοί Υπολογισμοί 8
4. Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό 9
4.1 Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, T=1.76m 11
4.2 Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, T=2.6m 12
4.3 Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, T=2.55m 16
5. Αριθμητικοί Υπολογισμοί Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό 18
5.1 Αποτύπωση της γεωμετρίας 18
5.2 Περιγραφή της Αριθμητικής Μεθόδου 20
5.3 Υπολογισμοί Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, για το πλοίο προ της επιμήκυνσης 22
5.4 Υπολογισμοί Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, για το επιμηκυμένο πλοίο 29
5.5 Σύγκριση Υπολογισμών και Πειραματικών Μετρήσεων 39
6. Μελέτη συμπεριφοράς του πλοίου σε κυματισμούς 42
6.1 Δημιουργία 3D γεωμετρίας του Ε/Σ «ΦΙΛΙΑ» και του επιμηκυμένου σκάφους 42
6.2 Περιγραφή λογισμικού 42
6.3 Προδιαγραφές Υπολογισμών 43
6.4 Αποτελέσματα Υπολογισμών σε Αρμονικούς Κυματισμούς 44
6.4.1 Ταχύτητα Vs=0kn 45
6.4.2 Ταχύτητα Vs=3kn 50
6.4.3 Ταχύτητα Vs=10kn 54
6.5 Αποτελέσματα Φασματικής Ανάλυσης 59
6.5.1 Κυματισμοί 180deg 63
6.5.2 Κυματισμοί 135deg 67
6.5.3 Κυματισμοί 90deg 71
6.5.4 Αποτελέσματα μέσης πρόσθετης αντίστασης κυματισμού 75
7. Συμπεράσματα 77
8. Ονοματολογία 78
9. Βιβλιογραφικές Αναφορές 79

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ 80
Παράρτημα 1 - Όψεις τρι-διάστατων Μοντέλων 80
Παράρτημα 2 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, αρχική διαμόρφωση πλοίου 87
Παράρτημα 3 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons 88
Παράρτημα 4 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons και blisters 89
Παράρτημα 5 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons και βολβό 90
Παράρτημα 6 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons, blisterskαι βολβό 91
Παράρτημα 7 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, επιμηκυμένο πλοίο με sponsons και βολβό 92
Παράρτημα 8 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, επιμηκυμένο πλοίο με sponsons, blisters και βολβό 93
Παράρτημα 9 - Διαγράμματα Υδροστατικών Μεγεθών 94
Παράρτημα 10 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=1.76m, t=0.34m, αρχική διαμόρφωση πλοίου 104
Παράρτημα 11 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.6m, αρχική διαμόρφωση πλοίου 105
Παράρτημα 12 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.6m, πλοίο με sponsons 107
Παράρτημα 13 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.6m, πλοίο με sponsons και blisters 109
Παράρτημα 14 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.55m, πλοίο με sponsons και blisters 111
Παράρτημα 15 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.55m, πλοίο με sponsons, blisters και βολβό 112
Παράρτημα 16 - Διαγράμματα Πειραματικών Μετρήσεων, T=1.76m, t=0.34m 113
Παράρτημα 17 - Διαγράμματα Πειραματικών Μετρήσεων, T=2.6m 118
Παράρτημα 18 - Διαγράμματα Πειραματικών Μετρήσεων, T=2.55m 124
Παράρτημα 19 - Συγκριτικά Διαγράμματα Υπολογισμών και Πειραματικών Μετρήσεων 129
Παράρτημα 20 - Μετρήσεις ροπής και ισχύος ελικοφόρων αξόνων και μετρήσεις επιπέδων κραδασμών επί του σκάφους μετά τη μετασκευή 129

1. Εισαγωγή

Η παρουσιαζόμενη εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Υποέργου (2): «Ενέργειες ΕΜΠ για το Ερευνητικό Σκάφος ΦΙΛΙΑ» της Πράξης «Ελληνικός Ερευνητικός Στόλος – Ανακατασκευή του Ερευνητικού Σκάφους (Ε/Σ) ΦΙΛΙΑ» με κωδικό ΟΠΣ (MIS) 5002682. Ειδικότερα το κείμενο αποτελεί το Παραδοτέο Π5.2 του Υποέργου, το οποίο σύμφωνα με την περιγραφή της Αυτεπιστασίας ΕΜΠ περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των μελετών και υπολογισμών αντίστασης και πρόωσης και συμπεριφοράς σε κυματισμούς. Σημειώνεται εδώ ότι το πρόγραμμα εργασιών του πακέτου εργασίας Π5 περιλαμβάνει και μετρήσεις επί του πλοίου, τα αποτελέσματα των οποίων θα περιληφθούν σε νεώτερη έκδοση του Παραδοτέου, είτε στο Παραδοτέο Π5.1, καθώς στη παρούσα φάση οι εργασίες ανακατασκευής του πλοίου δεν είχαν αποπερατωθεί ώστε το πλοίο να διεξαχθούν οι αντίστοιχες δοκιμές και μετρήσεις.

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι ο αριθμητικός υπολογισμός της ισχύος ρυμούλκησης του σκάφους «ΦΙΛΙΑ» σε ήρεμο νερό και σε αντιπροσωπευτικές καταστάσεις αναφοράς πριν και μετά την επιμήκυνση καθώς και η διερεύνηση της δυναμικής του συμπεριφοράς σε κυματισμούς.

Για το σκοπό αυτό αρχικά αναπτύχθηκε τρι-διάστατο (3D) σχέδιο γραμμών της γάστρας με εξομαλυμένη επιφάνεια που παρεμβάλει τις ναυπηγικές γραμμές, στη βάση των υπαρχόντων σχεδίων και ναυπηγικών γραμμών καθώς και των κατασκευαστικών σχεδίων του πλοίου. Η εξομαλυμένη επιφάνεια χρησιμοποιήθηκε για λεπτομερείς υδροστατικούς υπολογισμούς και εν συνεχεία για αριθμητικές προσομοιώσεις.

Οι αριθμητικοί υπολογισμοί αντίστασης ρυμούλκησης σε ήρεμο νερό πραγματοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (ΣΝΜΜ ΕΜΠ). Εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις: η πρώτη αφορά στο σκάφος προ της επιμήκυνσης (που θα αναφέρεται στη συνέχεια ως "*υπάρχον*") ενώ η δεύτερη στο σκάφος μετά από επιμήκυνση κατά 5m. Τα χαρακτηριστικά των δύο περιπτώσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1. Η αντίσταση ρυμούλκησης μελετήθηκε αριθμητικά για την ταχύτητα υπηρεσίας 8.2 kn καθώς και για τις ταχύτητες 7.0 7.7 και 9.0 kn.

Τα αριθμητικά αποτελέσματα συγκρίνονται με πειραματικές μετρήσεις που έχουν ληφθεί στην Πειραματική Δεξαμενή του ΕΝΘΥ, χρησιμοποιώντας μοντέλο υπό κλίμακα του πλοίου σε διάφορες διαμορφώσεις.

Τέλος, σημειώνεται ότι οι δοκιμές και μετρήσεις επί του πλοίου μετά την ολοκλήρωση της μετασκευής, οι οποίες εντάσσονται στο παραδοτέο Π5.2, παρουσιάζονται σε ξεχωριστή αναφορά, Παράρτημα 20, στο τέλος της παρούσης έκθεσης.

Πίνακας 1.1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Ερευνητικού Πλοίου «ΦΙΛΙΑ»

		original	elongated	
Ολικό Μήκος	L_{OA}	24.748	29.748	**m**
Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{BP}	20.850	25.850	**m**
Μήκος Ισάλου Σχεδίασης	L_{WL}	23.340	28.340	**m**
Πλάτος	**B**	7.150	7.150	**m**
Βύθισμα Σχεδίασης	T_{des}	2.498	2.498	**m**

Οι υπολογισμοί δυναμικής συμπεριφοράς των δύο περιπτώσεων, σε περιβάλλον κυματισμών πραγματοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου (ΣΝΜΜ ΕΜΠ), με χρήση του λογισμικού NEWDRIFT. Ο συγκεκριμένος κώδικας βασίζεται στη χρήση τρισδιάστατων στοιχείων (panels) για την αναπαράσταση της γεωμετρίας του πλοίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς των κινήσεων του πλοίου και της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού σε περιβάλλον αρμονικών κυμάτων.

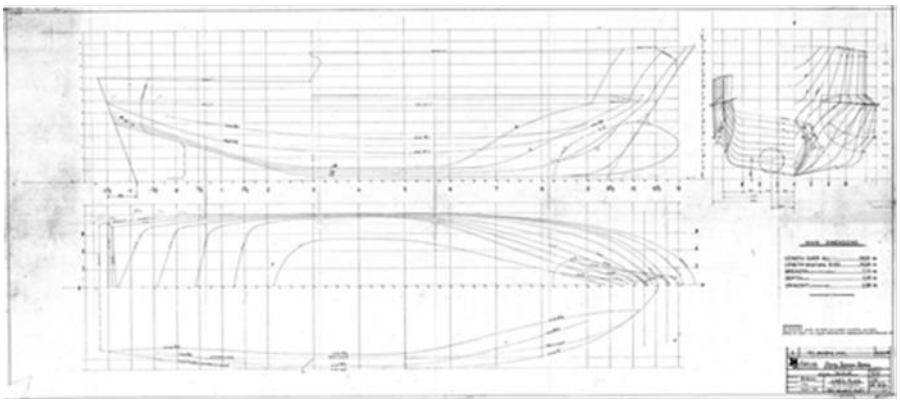
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι παραπάνω αναλύσεις και τα ειδικότερα αποτελέσματα.

2. Ανάπτυξη Ψηφιακών Σχεδίων Γραμμών και Τριδιάστατων Μοντέλων Γάστρας

2.1 Γραμμές Γάστρας και Τριδιάστατο Μοντέλο προ της επιμήκυνσης

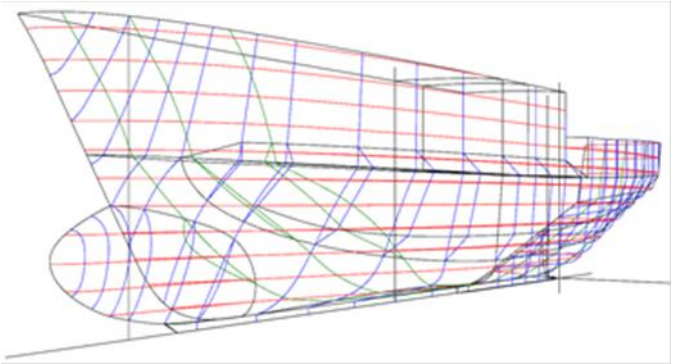
Για την ανάπτυξη του Computer Aided Design (CAD) μοντέλου του πλοίου «ΦΙΛΙΑ» αξιοποιήθηκαν τα ψηφιοποιημένα σχέδια που ήταν διαθέσιμα, όπως το σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών (Σχήμα 2.1) και τα Κατασκευαστικά Σχέδια.

Εξετάζοντας το ιστορικό του πλοίου μέσα από τα σχέδια συμπεραίνεται ότι αυτό έχει δεχθεί σειρά τροποποιήσεων. Αρχικά προστέθηκαν Sponsons, προφανώς για βελτίωση της ευστάθειας, καθώς και Blisters στον πυθένα, για την υποδοχή οργάνων μετρήσεων. Στη συνέχεια τροποποιήθηκε η πρύμνη και προστέθηκε βολβός. Τέλος, στα πλαίσια του παρόντος έργου, το πλοίο θα επιμηκυνθεί κατά 5m. Καθώς στο πλοίο έχουν γίνει οι παραπάνω προσθήκες, η ανάπτυξη του γεωμετρικού μοντέλου ξεκίνησε από την αρχική «καθαρή» γάστρα και στη συνέχεια προστέθηκαν τμηματικά τα υπόλοιπα στοιχεία.

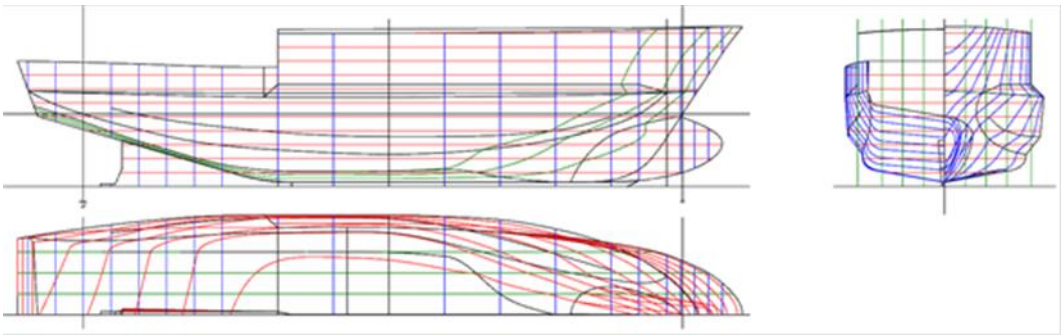


Σχήμα 2.1: Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών υπάρχοντος πλοίου.

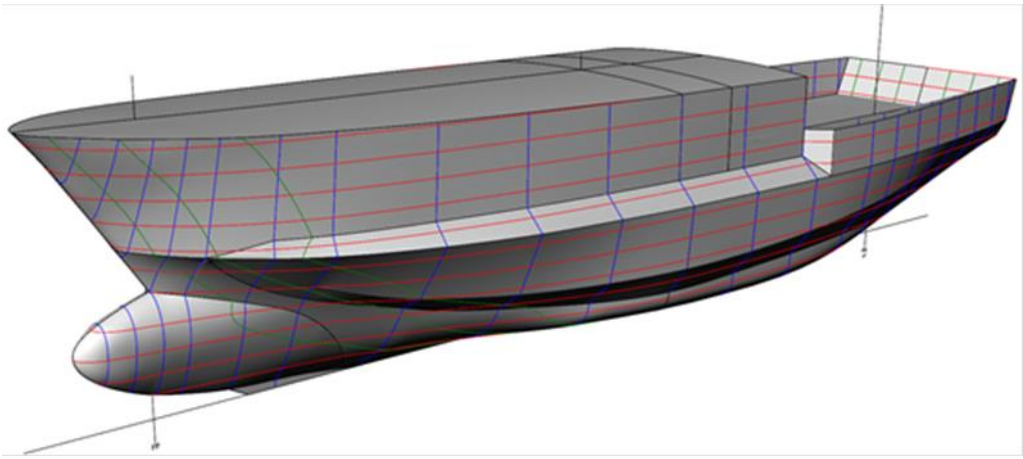
Για το CAD μοντέλο σχεδιάστηκαν πρώτα οι νομείς και οι γραμμές αναφοράς (προφίλ πλοίου, προφίλ καταστρώματος κλπ.) παρεμβάλλοντας σημεία πάνω στα ψηφιοποιημένα σχέδια. Οι καμπύλες που προέκυψαν εξομαλύνθηκαν και οι γραμμές αναφοράς θεωρήθηκε ότι έχουν την τελική τους μορφή. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν ίσαλοι, παρεμβάλλοντας τους νομείς, οι οποίες και εξομαλύνθηκαν. Ακολούθησε επαναληπτική διαδικασία μέχρι να προκύψει ένα ομαλό σύνολο νομέων και ισάλων. Το τελικό Σχέδιο Γραμμών, αποτυπώνεται στα Σχήματα 2.2 και 2.3. Αξιοποιώντας αυτό, κατασκευάστηκε το μοντέλο της γάστρας, αποτελούμενο από επιφανειακά τμήματα με κατάλληλη συνέχεια (Σχήμα 4.4). Περισσότερες όψεις του πλοίου, στις διάφορες διαμορφώσεις του, παρατίθενται στο Παράρτημα 1.



Σχήμα 2.2: Τρι-διάστατο σχέδιο γραμμών υπάρχοντος πλοίου.



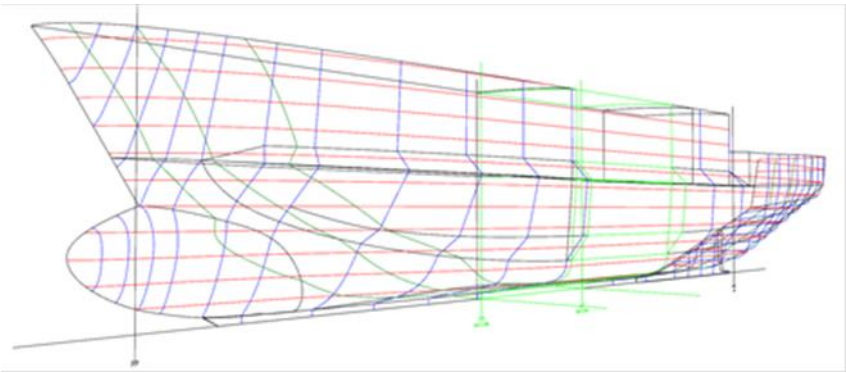
Σχήμα 2.3: Όψεις σχεδίου γραμμών υπάρχοντος πλοίου



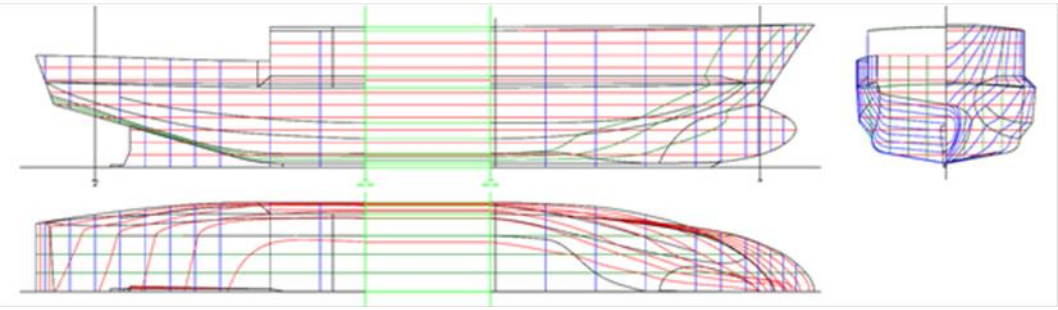
Σχήμα 2.4: Τρι-διάστατο μοντέλο γάστρας υπάρχοντος πλοίου.

2.2 Γραμμές Γάστρας και Τριδιάστατο Μοντέλο επιμηκυμένου πλοίου

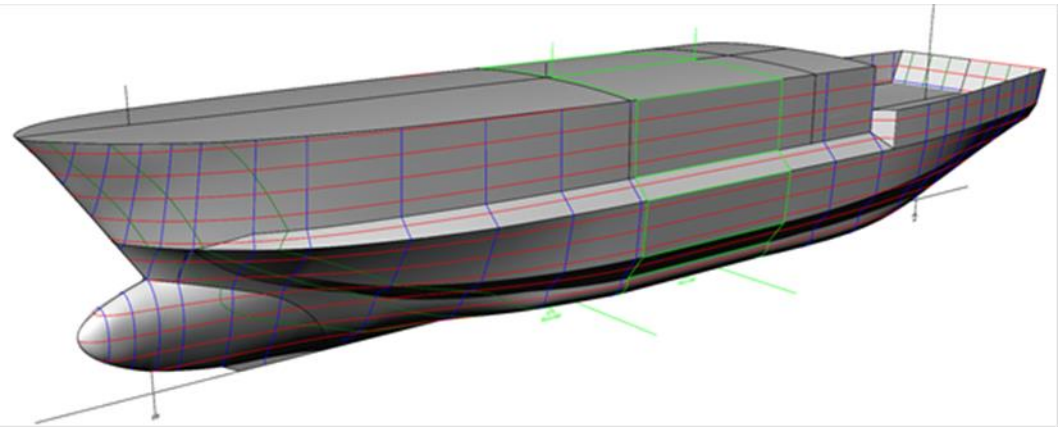
Το CAD σχέδιο γραμμών και το αντίστοιχο μοντέλο της γάστρας του επιμηκυμένου πλοίου προέκυψε από τροποποίηση του μοντέλου του υπάρχοντος πλοίου. Με βάση τα δεδομένα της μετασκευής, το μοντέλο «κόπηκε» στη διαμήκη θέση 300mm πρώραθεν του κατασκευαστικού νομέα #21 και προστέθηκαν 5m πρόσθετου πρισματικού τμήματος. Το Σχέδιο Γραμμών του επιμηκυμένου πλοίου, αποτυπώνεται στα Σχήματα 2.5 και 2.6 ενώ το μοντέλο της γάστρας αποτυπώνεται στο Σχήμα 2.7.



Σχήμα 2.5: Τρι-διάστατο σχέδιο γραμμών επιμηκυμένου πλοίου.



Σχήμα 2.6: Όψεις σχεδίου γραμμών επιμηκυμένου πλοίου



Σχήμα 2.7: Τρι-διάστατο μοντέλο γάστρας επιμηκυμένου πλοίου.

3. Υδροστατικοί Υπολογισμοί

Αξιοποιώντας τα CAD μοντέλα της γάστρας του υπάρχοντος και του επιμηκυμένου πλοίου πραγματοποιήθηκαν υδροστατικοί υπολογισμοί για όλες τις διαμορφώσεις του πλοίου. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αποτυπώνονται σε μορφή πινάκων στα Παραρτήματα 2 έως 8, και σε μορφή διαγραμμάτων στο Παράρτημα 9. Στο τελευταίο παρατίθενται επίσης υδροστατικά αποτελέσματα για το υπάρχον πλοίο, όπως υπολογίστηκαν κατά το πιο πρόσφατο τεστ ευστάθειας του σκάφους.

Αναλυτικότερα, στο Παράτημα 2, παρατίθενται τα υδροστατικά μεγέθη του πλοίου στην αρχική του διαμόρφωση με το skeg. Στο Παράτημα 3, παρατίθενται τα υδροστατικά μεγέθη του πλοίου με τα sponsons. Στο Παράτημα 4, παρατίθενται τα υδροστατικά μεγέθη του πλοίου με τα sponsons και τα blisters. Στο Παράτημα 5, παρατίθενται τα υδροστατικά μεγέθη του πλοίου με τα sponsons και τον βολβό. Στο Παράτημα 6, παρατίθενται τα υδροστατικά μεγέθη του πλοίου με τα sponsons τον βολβό και τα blisters. Στο Παράτημα 6, παρατίθενται τα υδροστατικά μεγέθη του επιμηκυμένου πλοίου με τα sponsons και τον βολβό. Τέλος στο Παράτημα 8, παρατίθενται τα υδροστατικά μεγέθη του επιμηκυμένου πλοίου με τα sponsons τον βολβό και τα blisters. Οι παραπάνω περιπτώσεις συνοψίζονται στον Πίνακα 3.1.

Σε κάθε περίπτωση η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο βασικό επίπεδο αναφοράς, στη θέση του κατασκευαστικού νομέα #0 και ο άξονας-x έχει θετική φορά πρώραθεν. Οι υπολογισμοί έγιναν για ειδικό βάρος νερού ίσο με γ=1,025 tn/m^3.

Πίνακας 3.1: Διαμορφώσεις του πλοίου για του Υδροστατικούς Υπολογισμούς

Παράρτημα	Διαμόρφωση Πλοίου
2	Αρχική Διαμόρφωση με skeg
3	Πλοίο με sponsons
4	Πλοίο με sponsons και blisters
5	Πλοίο με sponsons και βολβό
6	Πλοίο με sponsons, βολβό και blisters
7	Επιμηκυμένο πλοίο με sponsons και βολβό
8	Επιμηκυμένο πλοίο με sponsons, βολβό και blisters

4. Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό

Το Ερευνητικό Σκάφος «ΦΙΛΙΑ» έχει μελετηθεί πειραματικά στην Πειραματική Δεξαμενή του ΕΝΘΥ. Οι διαστάσεις της δεξαμενής δίνονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Πειραματικής Δεξαμενής ΕΝΘΥ ΕΜΠ

Μήκος	90,00	**m**
Πλάτος	4.60	**m**
Βάθος	3.00	**m**
Μέγιστη Ταχύτητα Φορείου	5.30	**m/sec**

Έχουν πραγματοποιηθεί σε προηγούμενες ερευνητικές εργασίες τρεις σειρές πειραμάτων. Σε όλα τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε ξύλινο μοντέλο του πλοίου, υπό κλίμακα 1/10. Αρχικά το μοντέλο αφορούσε την αρχική διαμόρφωση του πλοίου ενώ σταδιακά έχει δεχθεί τροποποιήσεις συμφώνα με τις μελετώμενες μετασκευές του πλοίου. Το μοντέλο στην τρέχουσα διαμόρφωσή του περιλαμβάνει τα sponsons, τα blisters και το βολβό και είναι όμοιο του πλοίου πριν την επιμήκυνση.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν παρατίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων για τον προσδιορισμό της ισχύος ρυμούλκησης του πλοίου, για τις διάφορες διαμορφώσεις του. Οι αναλυτικοί πίνακες των μετρήσεων και αναλύσεων, παρατίθενται στα Παραρτήματα 10 έως 15, ενώ στα Παραρτήματα 16 έως 18, παρουσιάζονται τα μεγέθη σε μορφή διαγραμμάτων. Οι παραπάνω περιπτώσεις συνοψίζονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Διαμορφώσεις του πλοίου για του Υδροστατικούς Υπολογισμούς

Σειρά	**Διαμόρφωση Πλοίου**	**Βύθισμα [m]**	**Διαγωγή [m] (+: έμπρυμνη)**	**Κεφάλαιο**	**Αριθμός Παραρτήματος Πινάκων**	**Αριθμός Παραρτήματος Διαγραμμάτων**
1η	**Αρχική Διαμόρφωση**	1.76	0.34	4.1	10	16
2η	**Αρχική Διαμόρφωση**	2.60	0.00	4.2	11	17
	sponsons	2.60	0.00		12	
	sponsons και blisters	2.60	0.00		13	
3η	**sponsons και blisters**	2.55	0.00	4.3	14	18
	sponsons, βολβό και blisters	2.55	0.00		15	

Σε κάθε περίπτωση η ανάλυση των μετρήσεων γίνεται ακλουθώντας την κλασσική μέθοδο Froude όπου τα πειράματα εκτελούνται σε όμοιο αριθμό Froude, Fn με το πλοίο:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} \tag{4.1}$$

Για κάθε τιμή της ταχύτητας του μοντέλου V_M, υπολογίζεται ο αδιάστατος συντελεστής αντίστασης $C_{T,M}$, από τη μετρούμενη αντίσταση σε $R_{T,M}$:

$$C_{T,M} = \frac{R_{T,M}}{1/2 \cdot \rho \cdot S_M \cdot V_M^2} \tag{4.2}$$

Ο συντελεστής αντίστασης C_T, θεωρούμε ότι αποτελείται από τον συντελεστή αντίστασης τριβής C_F, και τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης C_R:

$$C_T = C_F + C_R \tag{4.3}$$

Όπου ο συντελεστής αντίστασης τριβής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C_{F.ITTC} = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2} \tag{4.4}$$

Όπου Rn, ο αριθμός Reynolds':

$$Rn = \frac{V \cdot L_{WL}}{\nu} \tag{4.5}$$

Οπότε ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης C_R υπολογίζεται:

$$C_R = C_{T,M} - C_{F,M} \tag{4.6}$$

Θεωρώντας τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης C_R συνάρτηση μόνο του αριθμού Fn και δεδομένης της επιλογής τα πειράματα να εκτελούνται σε όμοιο αριθμό Fn με το πλοίο, η τιμή του συντελεστή που υπολογίσαμε, θα είναι ίδια και για το πλοίο. Συνεπώς:

$$C_{T,S} = C_{F,S} + C_R + \Delta C_F \tag{4.7}$$

Όπου $\Delta C_F = 0.4 \times 10^{-3}$ ο συντελεστής συσχέτισης μοντέλου-πλοίου. Η αντίσταση ρυμούλκησης του πλοίου υπολογίζεται:

$$R_{T,S} = C_{T,S} \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot S_S \cdot V_S^2 \tag{4.8}$$

Και η ισχύς ρυμούλκησης:

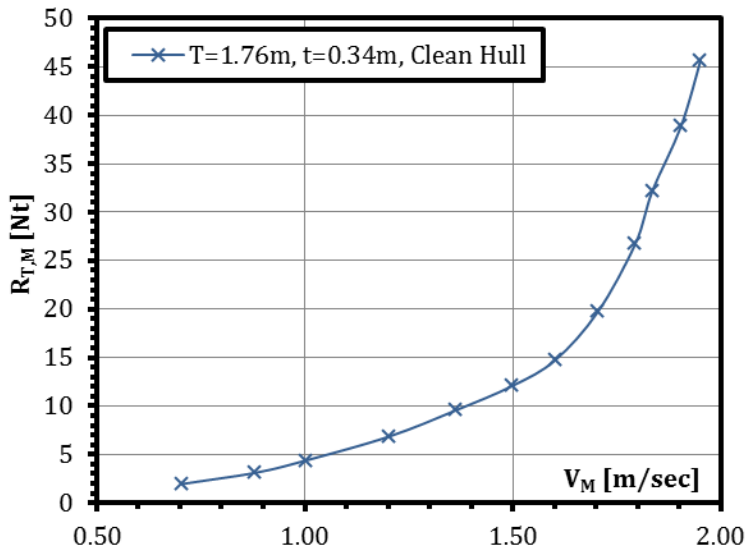
$$EHP = R_{T,S} \cdot V_S \tag{4.9}$$

4.1 Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, T=1.76m

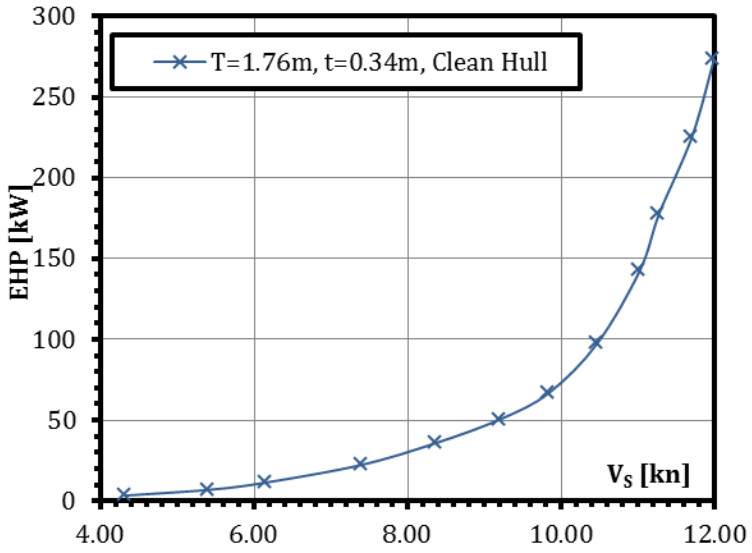
Για τους σκοπούς του παρόντος έργου αξιοποιήθηκαν πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών αντίστασης σε υπο κλίμακα μοντέλο του πλοίου. Η πρώτη σειρά πειραμάτων [1] αφορούσε την αρχική διαμόρφωση του πλοίου, σε βύθισμα 1.76 m και έμπρυμνη διαγωγή 0.34m. Τα χαρακτηριστικά του πλοίου και του μοντέλου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3. Η ανάλυση των μετρήσεων και η εκτίμηση της ισχύος πρόωσης του πλοίου έγιναν ακολουθώντας τη μέθοδο της Παραγράφου 4. Στα Σχήματα 4.1 και 4.2 παρουσιάζονται οι καμπύλες αντίστασης ρυμούλκησης μοντέλου και ισχύος ρυμούλκησης του πλοίου αντίστοιχα. Στο Παράρτημα 10 παρατίθενται σε μορφή πίνακα οι μετρήσεις και η ανάλυσή τους με βάση την μέθοδο Froude. Τέλος στο Παράτημα 16 παρουσιάζονται τα μεγέθη σε μορφή διαγραμμάτων.

Πίνακας 4.3: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Πλοίου & Προτύπου, 1η Σειρά Πειραμάτων

		Πλοίο	**Μοντέλο**	
Κλίμακα	**λ**		10	
Μήκος Ισάλου	**L_{WL}**	20.340	2.034	**m**
Μήκος Βρεχόμενο	**L_{SUB}**	20.340	2.034	**m**
Πλάτος	**B**	6.250	0.625	**m**
Βύθισμα	**T**	1.760	0.176	**m**
Διαγωγή	**t**	0.340	0.034	**m (+: έμπρυμνη)**
Βρεχόμενη Επιφάνεια	**S**	132.550	1.326	**m^2**



Σχήμα 4.1: Καμπύλη Αντίστασης Ρυμούλκησης μοντέλου σε ήρεμο νερό, 1η Σειρά Πειραμάτων.



Σχήμα 4.2: Καμπύλη Ισχύος Ρυμούλκησης Πλοίου, 1η Σειρά Πειραμάτων.

4.2 Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, T=2.6m

Η δεύτερη σειρά πειραμάτων [2] αφορούσε το πλοίο στην αρχική του διαμόρφωση καθώς και μετά την προσθήκη sponsons και εν συνεχεία μετά την προσθήκη blisters, σε βύθισμα 2.60 m χωρίς διαγωγή. Τα χαρακτηριστικά του πλοίου και του μοντέλου για τις τρεις διαμορφώσεις παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.4 έως 4.6. Η ανάλυση των μετρήσεων και η εκτίμηση της ισχύος πρόωσης του πλοίου έγιναν ακολουθώντας τη μέθοδο της Παραγράφου 4. Στα Σχήματα 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται οι καμπύλες αντίστασης ρυμούλκησης μοντέλου και ισχύος ρυμούλκησης του πλοίου αντίστοιχα. Στα Παραρτήματα 11 έως 13 παρατίθενται σε μορφή πίνακα οι μετρήσεις και η ανάλυσή τους με βάση την μέθοδο Froude. Τέλος στο Παράτημα 17 παρουσιάζονται τα μεγέθη σε μορφή διαγραμμάτων.

Πίνακας 4.4: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Πλοίου & Προτύπου, 2η Σειρά Πειραμάτων, αρχική διαμόρφωση

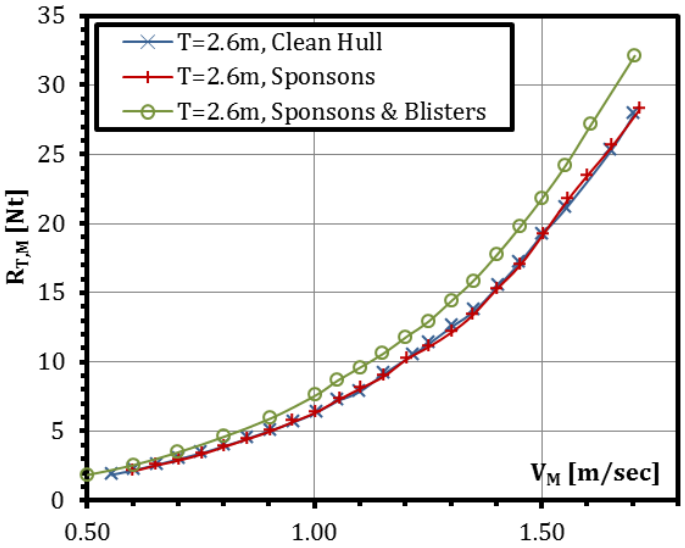
		Πλοίο	**Μοντέλο**	
Κλίμακα	**λ**		10	
Μήκος Ισάλου	**L_{WL}**	23.240	2.324	**m**
Μήκος Βρεχόμενο	**L_{SUB}**	23.240	2.324	**m**
Πλάτος	**B**	6.164	0.616	**m**
Βύθισμα	**T**	2.600	0.260	**m**
Διαγωγή	**t**	0.000	0.000	**m (+: έμπρυμνη)**
Βρεχόμενη Επιφάνεια	**S**	184.880	1.849	**m^2**

Πίνακας 4.5: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Πλοίου & Προτύπου, 2η Σειρά Πειραμάτων, μετά την προσθήκη Sponsosns

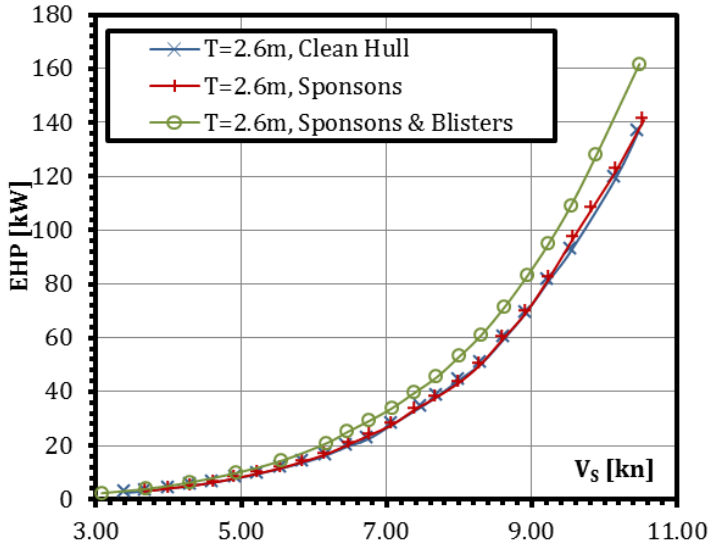
		Πλοίο	Μοντέλο	
Κλίμακα	**λ**		10	
Μήκος Ισάλου	**L_{WL}**	23.240	2.324	**m**
Μήκος Βρεχόμενο	**L_{SUB}**	23.240	2.324	**m**
Πλάτος	**B**	7.066	0.707	**m**
Βύθισμα	**T**	2.600	0.260	**m**
Διαγωγή	**t**	0.000	0.000	**m (+: έμπρυμνη)**
Βρεχόμενη Επιφάνεια	**S**	192.312	1.923	**m^2**

Πίνακας 4.6: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Πλοίου & Προτύπου, 2η Σειρά Πειραμάτων, μετά την προσθήκη Sponsosns και Blisters

		Πλοίο	Μοντέλο	
Κλίμακα	**λ**		10	
Μήκος Ισάλου	**L_{WL}**	23.240	2.324	**m**
Μήκος Βρεχόμενο	**L_{SUB}**	23.240	2.324	**m**
Πλάτος	**B**	7.066	0.707	**m**
Βύθισμα	**T**	2.600	0.260	**m**
Διαγωγή	**t**	0.000	0.000	**m (+: έμπρυμνη)**
Βρεχόμενη Επιφάνεια	**S**	194.610	1.946	**m^2**



Σχήμα 4.3: Καμπύλες Αντίστασης Ρυμούλκησης μοντέλου σε ήρεμο νερό, 2η Σειρά Πειραμάτων.



Σχήμα 4.4: Καμπύλες Ισχύος Ρυμούλκησης Πλοίου, 2η Σειρά Πειραμάτων.

Από τη δεύτερη σειρά πειραμάτων είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την αντίσταση των Blisters. Συγκεκριμένα μπορούμε να θεωρήσουμε πως ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης αποτελείται από το άθροισμα του συντελεστή χωρίς blisters και του συντελεστή αντίστασης των blisters, C_{BL}:

$$C_{R(withBLISTERS)} = C_{R(woBLISTERS)} + C_{BL} \tag{4.10}$$

Όμως ο συντελεστής $C_{R(woBLISTERS)}$ είναι ίσος με το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης της δεύτερης διαμόρφωσης του πλοίου για αυτή τη σειρά πειραμάτων, ενώ ο συντελεστής $C_{R(withBLISTERS)}$ είναι ίσος με το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης της τρίτης διαμόρφωσης του πλοίου. Συνεπώς για κάθε ταχύτητα μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή του συντελεστή αντίστασης των blisters, C_{BL}. Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας, ενώ στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζονται οι καμπύλες των Συντελεστών Υπόλοιπης Αντίστασης C_R, για το πλοίο με sponsons (=$C_{R(woBLISTERS)}$) και το πλοίο με sponsons και blisters (=$C_{R(withBLISTERS)}$) καθώς και του Συντελεστή Αντίστασης Blisters C_{BL}.

Παρατηρούμε ότι η τιμή του συντελεστή Αντίστασης Blisters C_{BL} είναι σταθερή και ανεξάρτητη του αριθμού Fn, στο εύρος τιμών Fn που μας απασχολεί. Συνεπώς μπορούμε να θεωρήσουμε την τιμή του συντελεστή ίση με τη μέση του τιμή:

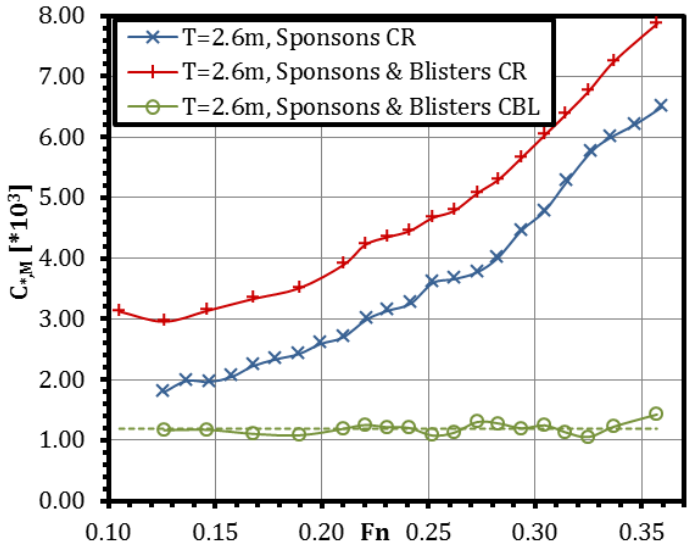
$$C_{BL} = 1.191 \times 10^{-3} \tag{4.11}$$

Σημειωτέον πως στην παραπάνω ανάλυση, οι αδιαστατοποιήσεις έχουν γίνει με τη βρεχόμενη επιφάνεια του αρχικού πλοίου S=194.610m^2, σε βύθισμα T=2.60m. Για το πλοίο σε άλλο βύθισμα ή για το επιμηκυμένο πλοίο η τιμή του συντελεστή μεταβάλλεται ως εξής:

$$C_{BL,new} = C_{BL,original} \cdot \left(S_{original} / S_{new}\right) \tag{4.12}$$

Πίνακας 4.7: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Πλοίου & Προτύπου, 3η Σειρά Πειραμάτων, πριν την προσθήκη Βολβού

V_S kn	Fn	V_M m/sec	$C_{R(woBlisters)}$ $*10^3$	$C_{R(withBlisters)}$ $*10^3$	C_{BL} $*10^3$
1.584	0.105	0.501	-	3.124	-
1.901	0.126	0.601	1.793	2.957	1.164
2.207	0.146	0.698	1.963	3.136	1.173
2.533	0.168	0.801	2.227	3.332	1.106
2.859	0.189	0.904	2.426	3.509	1.082
3.172	0.210	1.003	2.704	3.893	1.190
3.324	0.220	1.051	2.970	4.222	1.252
3.482	0.231	1.101	3.133	4.349	1.216
3.640	0.241	1.151	3.248	4.450	1.202
3.801	0.252	1.202	3.587	4.665	1.078
3.956	0.262	1.251	3.657	4.783	1.126
4.117	0.273	1.302	3.770	5.070	1.300
4.269	0.283	1.350	4.020	5.298	1.279
4.434	0.294	1.402	4.461	5.659	1.198
4.598	0.305	1.454	4.788	6.034	1.245
4.747	0.314	1.501	5.241	6.371	1.130
4.908	0.325	1.552	5.703	6.756	1.053
5.088	0.337	1.609	6.022	7.247	1.225
5.392	0.357	1.705	6.441	7.866	1.425



Σχήμα 4.5: Καμπύλες Συντελεστών Υπόλοιπης Αντίστασης C_R, για το πλοίο με sponsons (=$C_{R(woBLISTERS)}$) και το πλοίο με sponsons και blisters (=$C_{R(withBLISTERS)}$) καθώς και του Συντελεστή Αντίστασης Blisters C_{BL}.

4.3 Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, T=2.55m

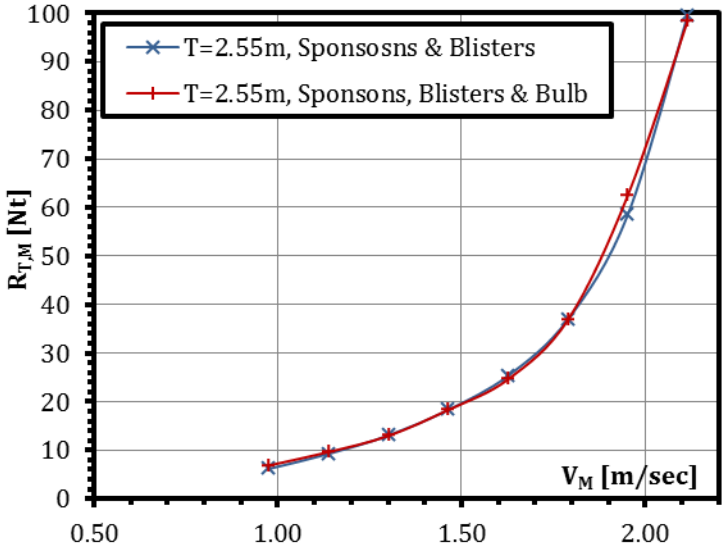
Η τρίτη σειρά πειραμάτων [3] αφορούσε το πλοίο μετά την προσθήκη sponsons και blisters και εν συνεχεία μετά την προσθήκη βολβού, σε βύθισμα 2.55 m χωρίς διαγωγή. Τα χαρακτηριστικά του πλοίου και του μοντέλου για τις δύο διαμορφώσεις παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.8 και 4.9. Η ανάλυση των μετρήσεων και η εκτίμηση της ισχύος πρόωσης του πλοίου έγιναν ακλουθώντας τη μέθοδο της Παραγράφου 4. Στα Σχήματα 4.6 και 4.7 παρουσιάζονται οι καμπύλες αντίστασης ρυμούλκησης μοντέλου και ισχύος ρυμούλκησης του πλοίου αντίστοιχα. Στα Παραρτήματα 14 και 15 παρατίθενται σε μορφή πίνακα οι μετρήσεις και η ανάλυσή τους με βάση την μέθοδο Froude. Τέλος στο Παράτημα 18 παρουσιάζονται τα μεγέθη σε μορφή διαγραμμάτων.

Πίνακας 4.8: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Πλοίου & Προτύπου, 3η Σειρά Πειραμάτων, πριν την προσθήκη Βολβού

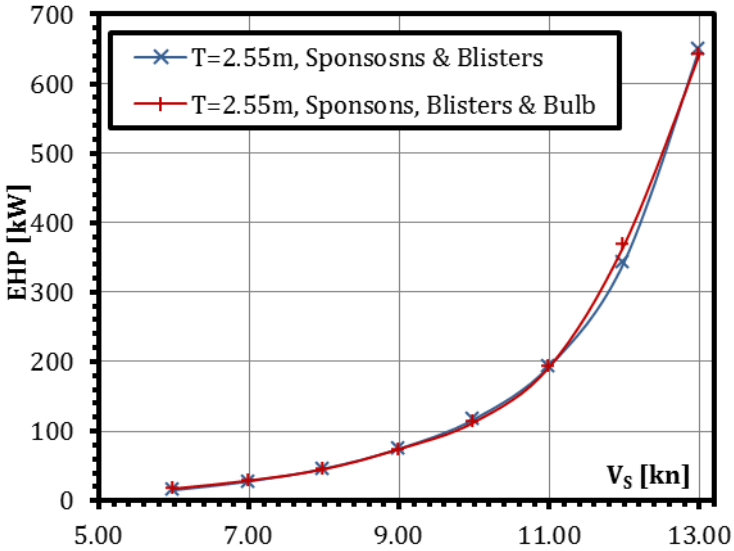
		Πλοίο	**Μοντέλο**	
Κλίμακα	**λ**		10	
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	23.157	2.316	**m**
Μήκος Βρεχόμενο	L_{SUB}	23.157	2.316	**m**
Πλάτος	**B**	7.058	0.706	**m**
Βύθισμα	**T**	2.550	0.255	**m**
Διαγωγή	**t**	0.000	0.000	**m (+: έμπρυμνη)**
Βρεχόμενη Επιφάνεια	**S**	191.242	1.912	**m^2**

Πίνακας 4.9: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Πλοίου & Προτύπου, 3η Σειρά Πειραμάτων, μετά την προσθήκη Βολβού

		Πλοίο	**Μοντέλο**	
Κλίμακα	**λ**		10	
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	23.157	2.316	**m**
Μήκος Βρεχόμενο	L_{SUB}	24.655	2.466	**m**
Πλάτος	**B**	7.058	0.706	**m**
Βύθισμα	**T**	2.550	0.255	**m**
Διαγωγή	**t**	0.000	0.000	**m (+: έμπρυμνη)**
Βρεχόμενη Επιφάνεια	**S**	200.335	2.003	**m^2**



Σχήμα 4.6: Καμπύλες Αντίστασης Ρυμούλκησης μοντέλου σε ήρεμο νερό, 3η Σειρά Πειραμάτων.

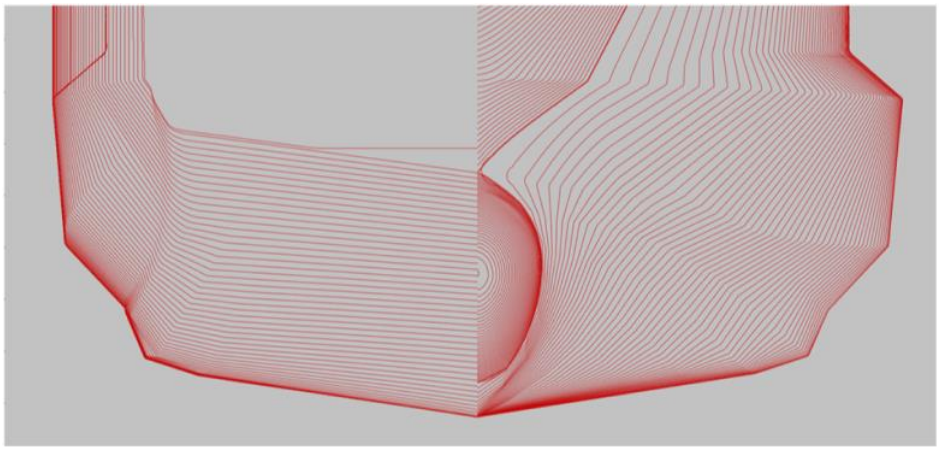


Σχήμα 4.7: Καμπύλες Ισχύος Ρυμούλκησης Πλοίου, 3η Σειρά Πειραμάτων.

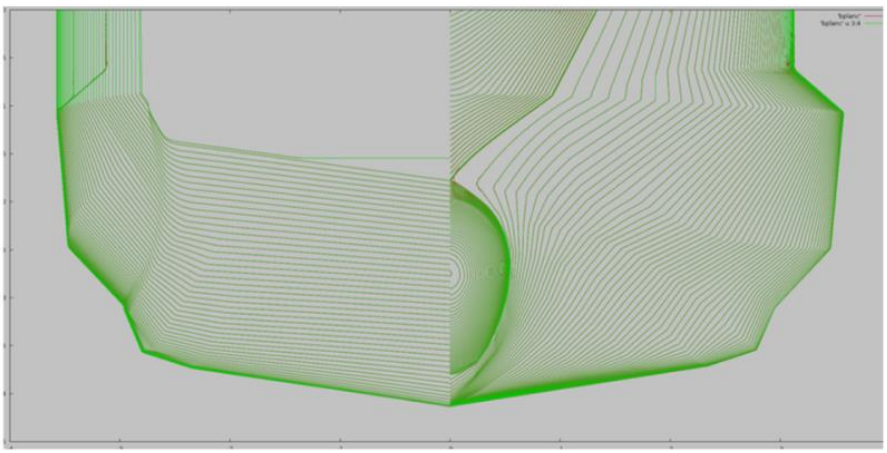
5. Αριθμητικοί Υπολογισμοί Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό

5.1 Αποτύπωση της γεωμετρίας

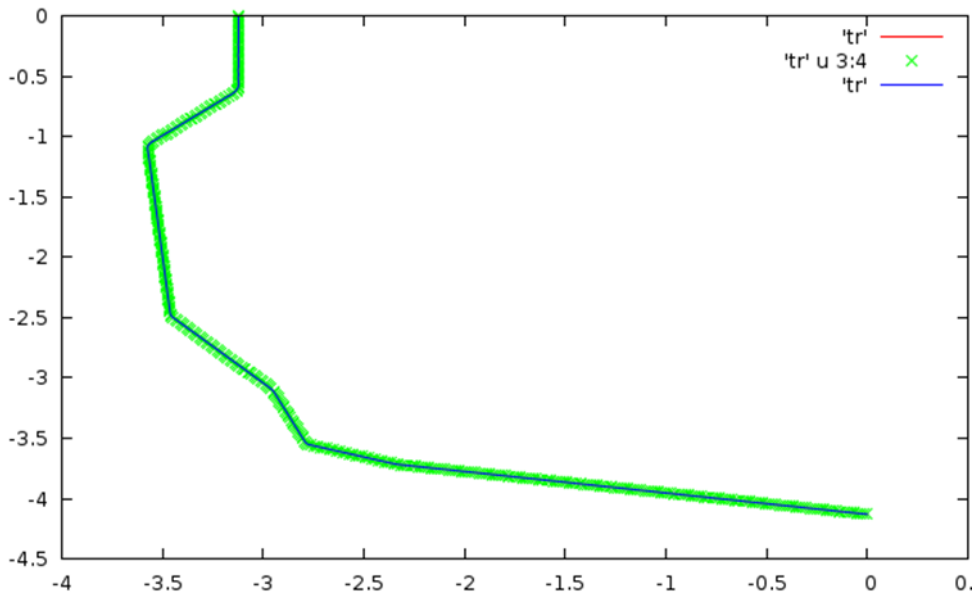
Η αναλυτική αναπαράσταση της γεωμετρίας του σκάφους επιτυγχάνεται με τη μέθοδο του σύμμορφου μετασχηματισμού [4]. Αρχικά από τον Τομέα της Μελέτης Πλοίου παρήχθησαν με ειδικό σχεδιαστικά προγράμματα τα offsets σε επαρκή αριθμό νομέων που συμπεριλαμβάνουν και τον βολβό. Στη συνέχεια, μέσω του λογισμικού condor υπολογίστηκαν οι συντελεστές του σύμμορφου μετασχηματισμού των τομών σε κύκλο, υιοθετώντας 500 συντελεστές ανά τομή. Στο σχήμα 5.1 φαίνεται η αναλυτική αναπαράσταση των εγκάρσιων τομών, ενώ στο σχήμα 5.2 συγκρίνονται τα αποτελέσματα της σύμμορφης απεικόνισης με τα αρχικά δεδομένα, και, όπως προκύπτει, η αναλυτική αναπαράσταση είναι εξαιρετικά ικανοποιητική. Στο σχήμα 5.3 γίνεται η σύγκριση σε μία τομή περίπου στο μέσο του πλοίου, η οποία πιστοποιεί την ακρίβεια της μεθόδου.



Σχήμα 5.1: Αναλυτική αναπαράσταση των εγκάρσιων τομών με σύμμορφη απεικόνιση

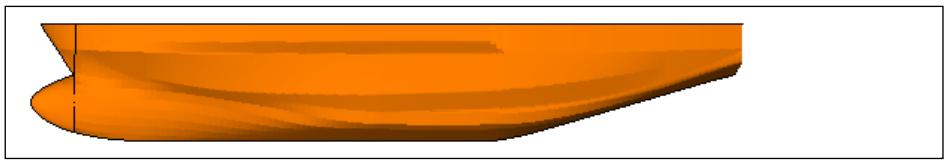


Σχήμα 5.2: Σύγκριση αναλυτικής αναπαράστασης (κόκκινες καμπύλες) με τα ψηφιοποιημένα δεδομένα (πράσινες καμπύλες).

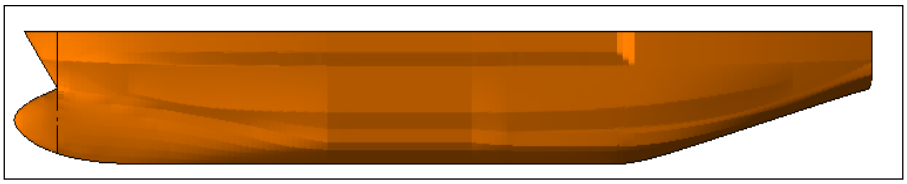


Σχήμα 5.3: Αναλυτική αναπαράσταση (μπλε καμπύλη) και αρχικά δεδομένα (πράσινα σύμβολα) στο μέσο νομέα.

Η εφαρμογή της μεθόδου του σύμμορφου μετασχηματισμού είναι απαραίτητη για την παραγωγή των τριδιάστατων πλεγμάτων που απαιτούνται για την επίλυση των εξισώσεων RANS (Reynolds Averged – Navier Stokes) που διέπουν το πεδίο ροής. Παράλληλα, με παρεμβολή μεταξύ των συντελεστών γειτονικών τομών, υπάρχει η δυνατότητα άμεσης αναπαράστασης οποιασδήποτε εγκάρσιας τομής κατά μήκος του πλοίου. Στα σχήματα 5.4 και 5.5 παρουσιάζεται η αναλυτική αναπαράσταση της γεωμετρίας του πλοίου πριν και μετά την επιμήκυνση.



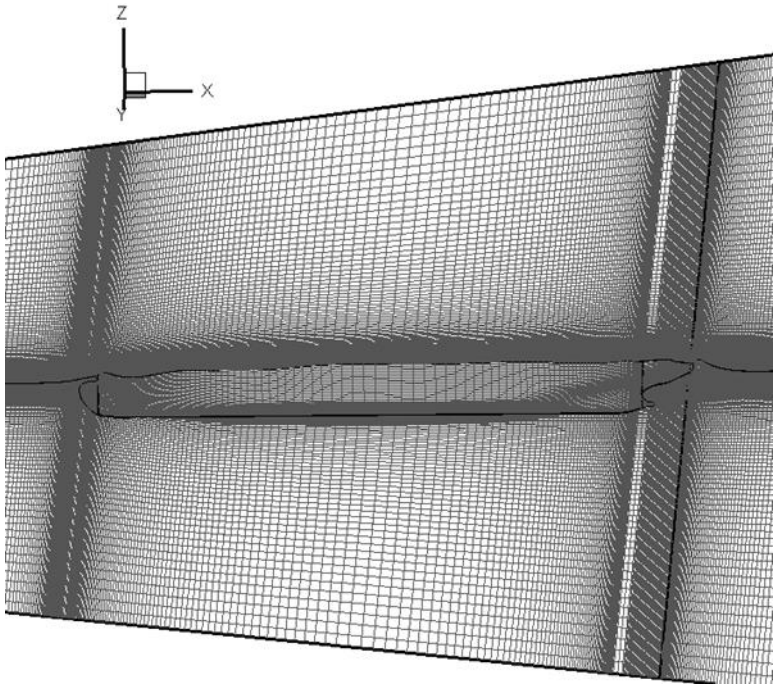
Σχήμα 5.4: Αναλυτική αναπαράσταση της αρχικής γάστρας με σύμμορφη απεικόνιση.



Σχήμα 5.5: Αναλυτική αναπαράσταση της επιμηκυμένης γάστρας με σύμμορφη απεικόνιση.

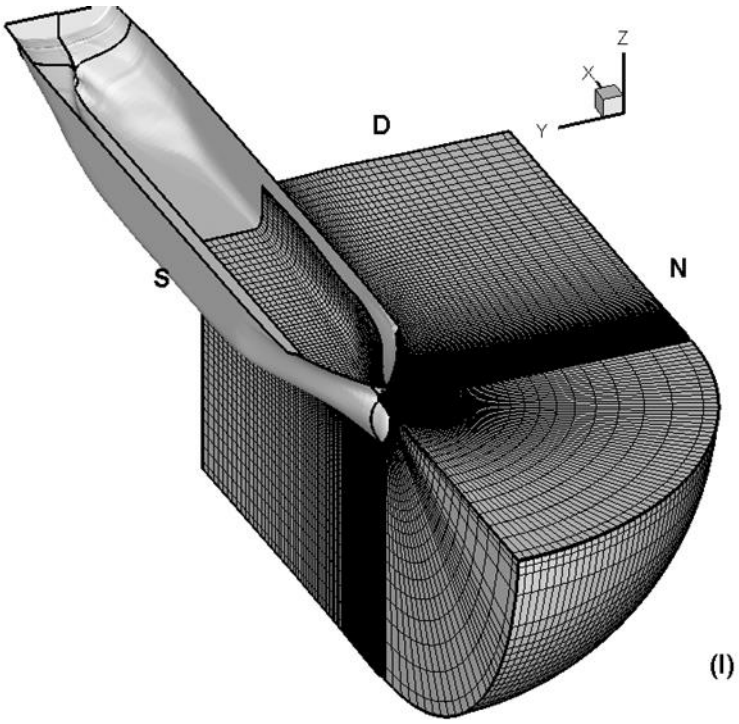
5.2 Περιγραφή της Αριθμητικής Μεθόδου

Η επίλυση των εξισώσεων RANS πραγματοποιείται κάτω από την επιφάνεια των κυματισμών που υπολογίζονται από τη δυναμική ροή [5]. Το πρόβλημα του δυναμικού (Laplace) επιλύεται με την κλασική μέθοδο Hess & Smith, διανέμοντας τετράπλευρα επιφανειακά στοιχεία στην επιφάνεια του πλοίου και στην επιφάνεια των κυματισμών, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6. Μία επαναληπτική διαδικασία Lagrangian-Eulerian εισάγεται για τον υπολογισμό του τελικού συνόρου της ελεύθερης επιφάνειας, ώστε να ικανοποιούνται ταυτόχρονα η κινηματική και δυναμική συνοριακή συνθήκη (μηδενική κάθετη ταχύτητα και σταθερή, ατμοσφαιρική, πίεση).

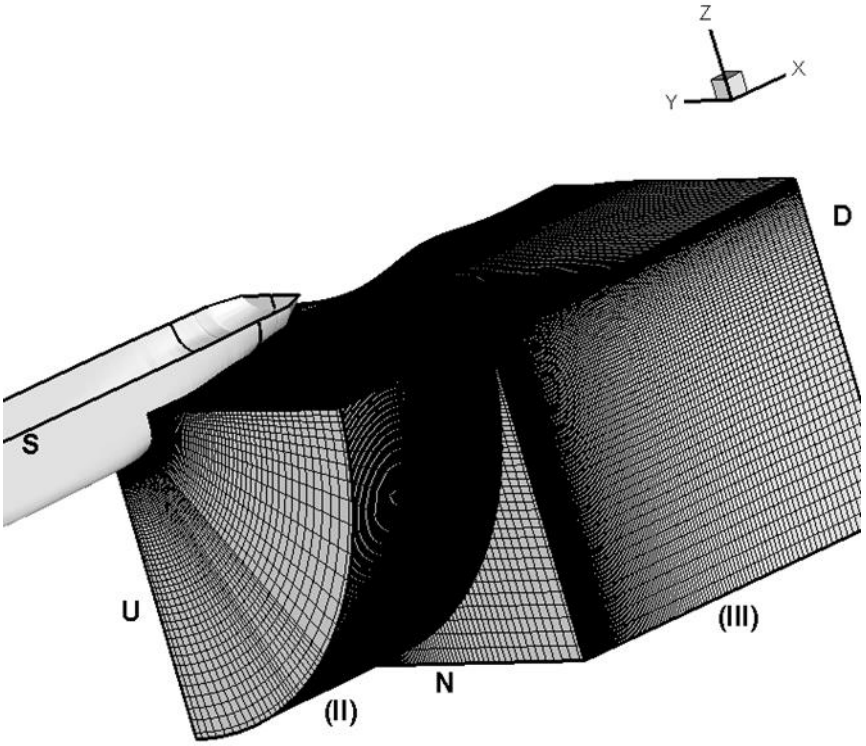


Σχήμα 5.6: Δημιουργία των τετράπλευρων επιφανειακών στοιχείων στην ελεύθερη επιφάνεια και τη γάστρα του πλοίου.

Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την επίλυση των εξισώσεων RANS κάτω από γνωστή ελεύθερη επιφάνεια έχει αναπτυχθεί στο ΕΝΘΥ [4]. Χρησιμοποιείται η μέθοδος των επικαλυπτόμενων χωρίων (Blocks) ώστε να εφαρμόζονται οι πυκνοί αριθμοί νομέων που απαιτούνται για να παράγουν ακριβή αποτελέσματα. Δεδομένου ότι το υπό μελέτη πλοίο έχει βολβοειδή πλώρη, δημιουργείται ένα πλέγμα τύπου C-O στο πρωραίο και μεσαίο τμήμα του, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.7, που χαρακτηρίζεται ως Block I. Λόγω, επίσης της διαμόρφωσης της πρύμνης με καθρέφτη, στο πρυμναίο τμήμα του σκάφους και στον γειτονικό ομόρρου δημιουργούνται τα Blocks II και III που είναι τύπου H–O, σχήμα 5.8 [6].



Σχήμα 5.7: Το πλέγμα τύπου C-O στο πρωραίο τμήμα και γύρω από το βολβό.



Σχήμα 5.8: Το πλέγμα τύπου H-O στο πρυμναίο τμήμα (II) και στον ομόρρου (III).

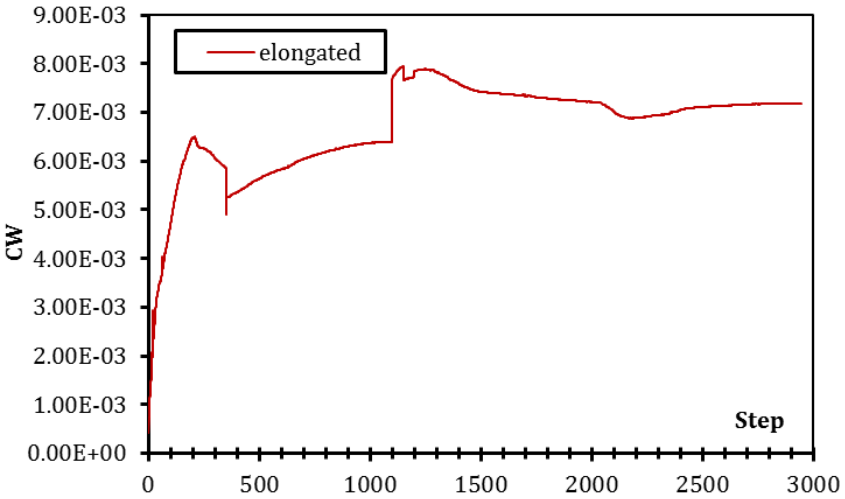
Οι εξισώσεις RANS στα Blocks I έως III επιλύονται εισάγοντας ένα σύστημα ορθογωνίων καμπυλόγραμμων συντεταγμένων ενώ η προσομοίωση της τύρβης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του μοντέλου K-ω-SST.

Η αριθμητική μέθοδος που επιλύει τις εξισώσεις RANS βασίζεται στη μέθοδο των όγκων ελέγχου χρησιμοποιώντας μετατοπισμένα (staggered) πλέγματα [4]. Οι όροι διάχυσης και χωρικής διακριτοποίησης προσεγγίζονται με σχήματα διαφορών δεύτερης τάξης, ενώ οι όροι μεταφοράς υπολογίζονται με την εφαρμογή του δευτεροτάξιου φραγμένου σχήματος ανάντη διαφορών. Το πεδίο πιέσεων συνυπολογίζεται με το πεδίο ταχυτήτων μέσω της εφαρμογής του αλγόριθμου SIMPLE. Σε όλα τα Blocks η αριθμητική σύγκλιση των μη γραμμών εξισώσεων που προκύπτουν επιτυγχάνεται μέσω επαναληπτικής διαδικασίας. Οι συνοριακές συνθήκες στο στερεό κέντρο βασίζονται στη θεωρία των συναρτήσεων τοίχου (wall functions), ενώ στα σύνορα συμμετρίας της ροής εφαρμόζονται συνθήκες Neummann. Επειδή η ελεύθερη επιφάνεια θεωρείται ως γνωστό σύνορο, οι συνιστώσες της ταχύτητας σε αυτό προκύπτουν από τη συνθήκη ολίσθησης (κάθετη συνιστώσα μηδενική) και για την πίεση εφαρμόζεται συνθήκη Neummann. Οι συνιστώσες της ταχύτητας στο εξωτερικό σύνορο N των σχημάτων 5.7 και 5.8 υπολογίζονται από την δυναμική ροή. Στο σύνορο εξόδου του Block III εφαρμόζονται συνθήκες ανοικτού συνόρου, ενώ στα σύνορα εισόδου των Blocks II και III οι συνθήκες τύπου Dirichlet για όλες τις μεταβλητές υπολογίζονται από γραμμές παρεμβολές μεταξύ των τομών του προηγούμενου Block.

Η επίλυση πραγματοποιείται πρώτα στο Block I και θεωρείται σταθερή λόγω της παραβολικότητας του πεδίου ροής. Στη συνέχεια οι εξισώσεις RANS επιλύονται ταυτόχρονα στα Blocks II και III.

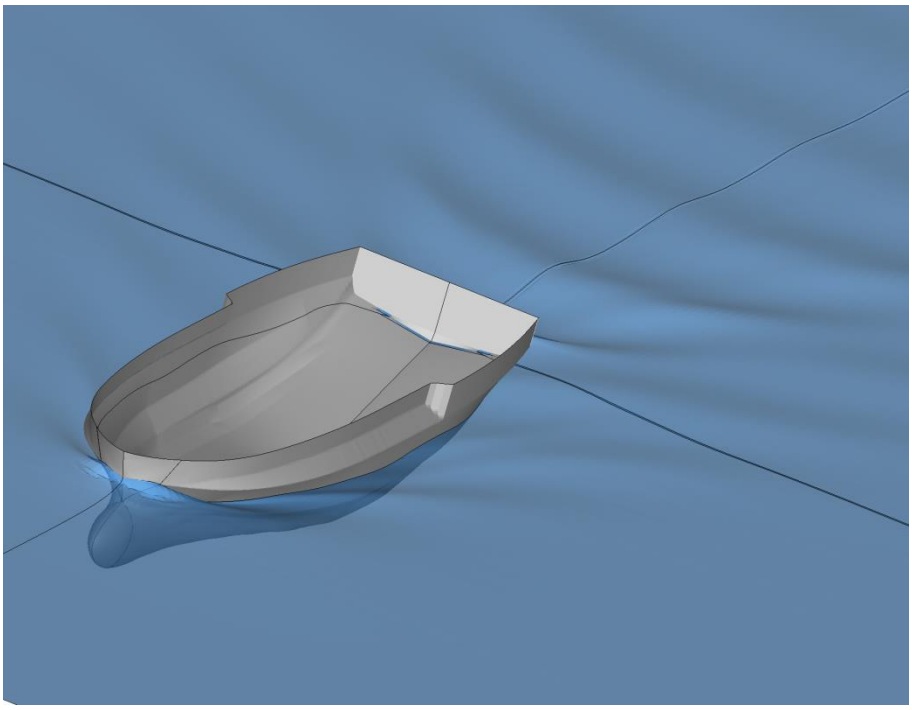
5.3 Υπολογισμοί Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, για το πλοίο προ της επιμήκυνσης

Οι υπολογισμοί για την υδροδυναμική αντίσταση του αρχικού πλοίου πραγματοποιήθηκαν για τις ταχύτητες των 7, 8.2 και 9 κόμβων. Το πρώτο βήμα των υπολογισμών σύμφωνα με την περιγραφόμενη μέθοδο αφορούσε την δημιουργία της ελεύθερης επιφάνειας των κυματισμών, σύμφωνα με τον κώδικα της δυναμικής ροής. Το υπολογιστικό πεδίο εκτείνονταν κατά το διάμηκες από x/L=0.8 έως x/L=3 όπου η αρχή του συστήματος συντεταγμένων συμπίπτει με το πρωραίο άκρο του πλοίου και L είναι το μήκος του. Κατά το εγκάρσιο, το εξωτερικό σύνορο του πεδίου θεωρήθηκε σε απόσταση y/L=1.66 από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας. Χρησιμοποιήθηκαν 45300 επιφανειακά στοιχεία, εκ των οποίων 37700 κάλυπταν την ελεύθερη επιφάνεια και 7600 την επιφάνεια του πλοίου. Θεωρήθηκε ότι το πλοίο είναι ελεύθερο κατά την κατακόρυφη κίνησή του, δηλαδή με τη βοήθεια του κώδικα υπολογίστηκε και η παράλληλη βύθιση. Ένα χαρακτηριστικό διάγραμμα που περιγράφει τη ιστορία της σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης κυματισμού C_W φαίνεται στο Σχήμα 5.9. Πρακτικά, η μέθοδος έχει συγκλίνει μετά από 2500 περίπου βήματα διαμόρφωσης της ελεύθερης επιφάνειας. Η ασυνέχεια στις 200 και στη συνέχεια στις 1300 επαναλήψεις οφείλεται στην αντίστοιχη ενεργοποίηση της δημιουργίας της παράλληλης βύθισης και διαγωγής.

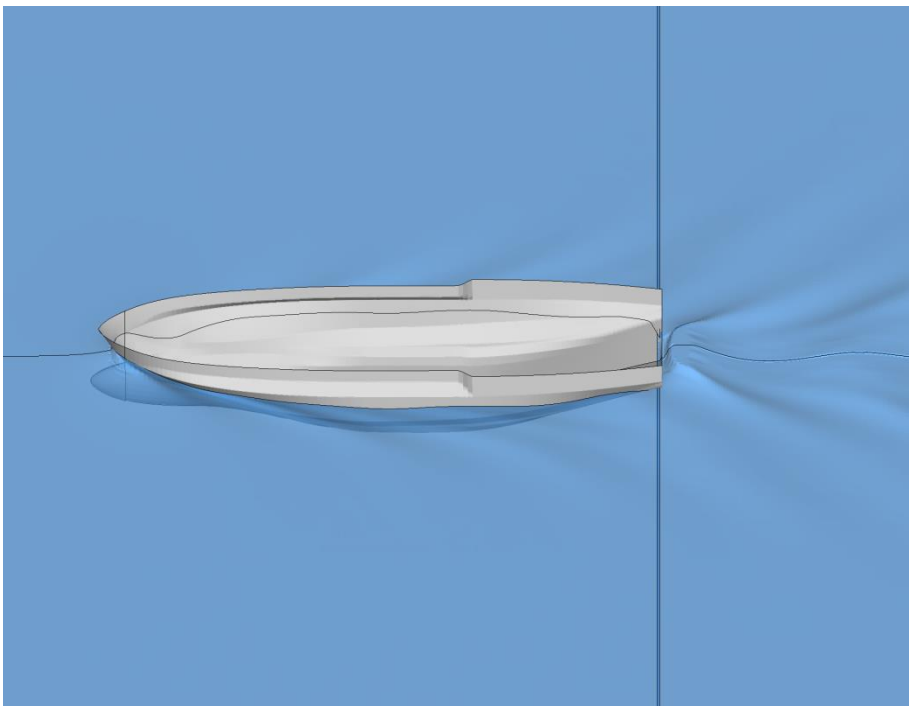


Σχήμα 5.9: Η πορεία της σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης κυματισμών για το επιμηκυμένο πλοίο

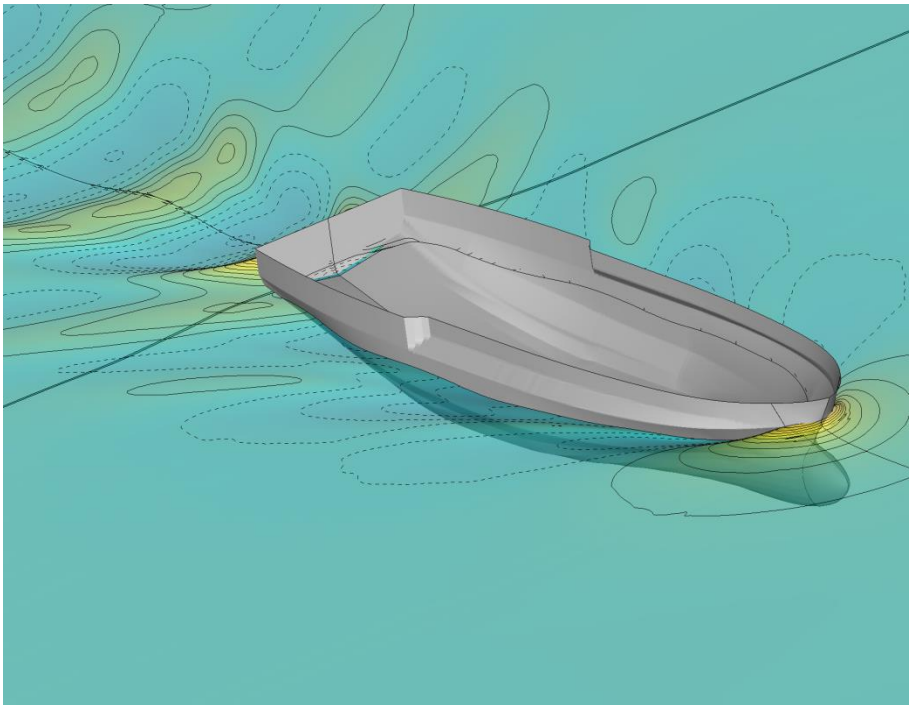
Στα σχήματα 5.10 έως 5.12 αποτυπώνεται η επιφάνεια των κυματισμών για το αρχικό πλοίο στους 7 kn, στα σχήματα 5.13 έως 5.15 αναπαρίσταται η επιφάνεια για το αρχικό πλοίο στους 8.2 kn, ενώ στα σχήματα 5.16 έως 5.18 αναπαρίσταται η επιφάνεια για αρχικό πλοίο στους 9 kn.



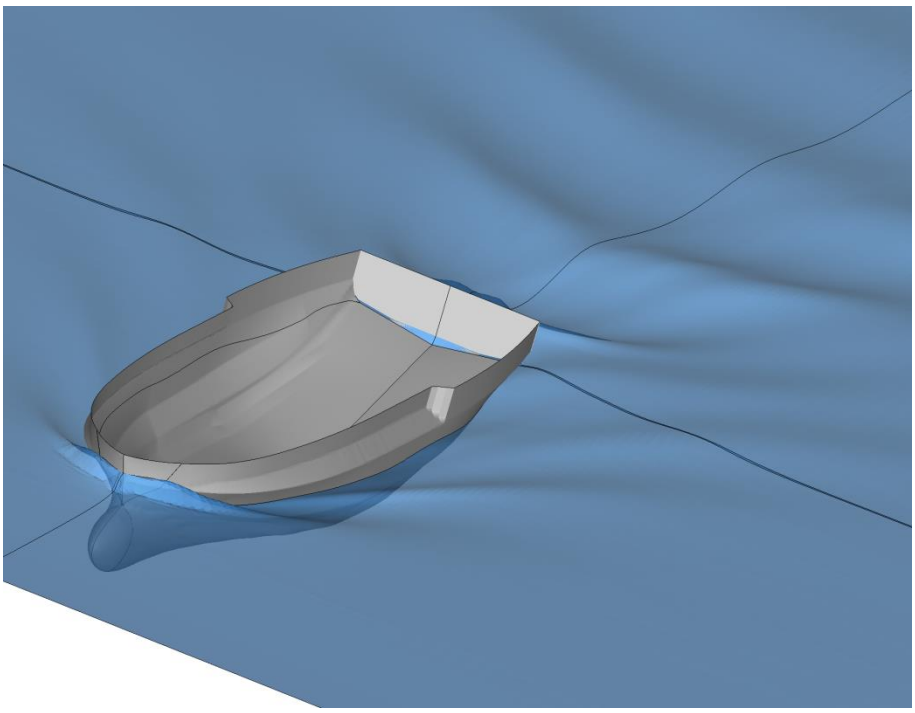
Σχήμα 5.10: Η επιφάνεια των κυματισμών στο αρχικό πλοίο, V=7 kn.



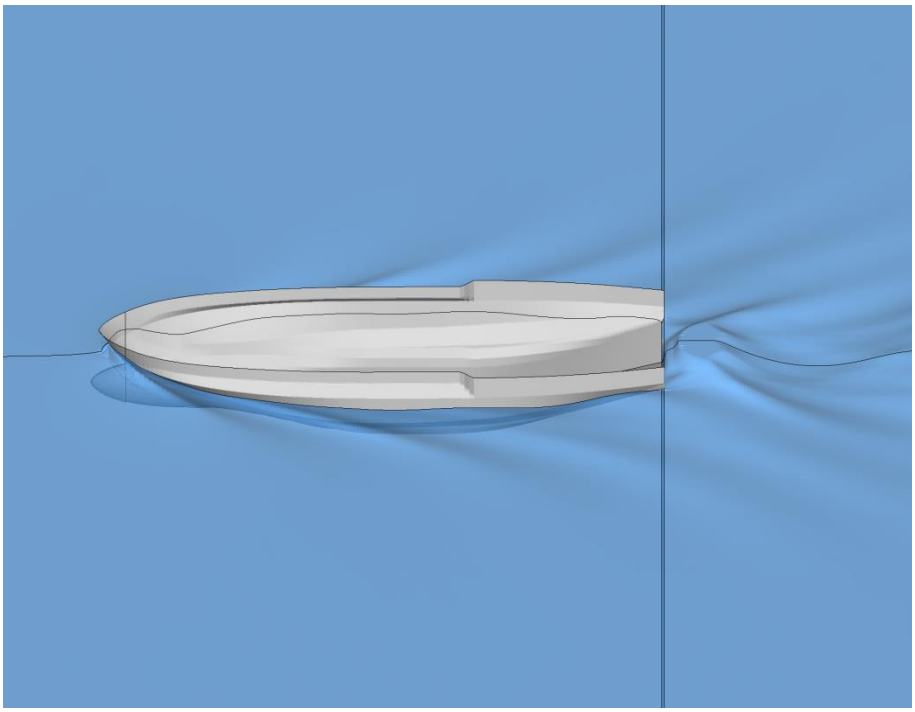
Σχήμα 5.11: Η επιφάνεια των κυματισμών στο αρχικό πλοίο, V=7 kn.



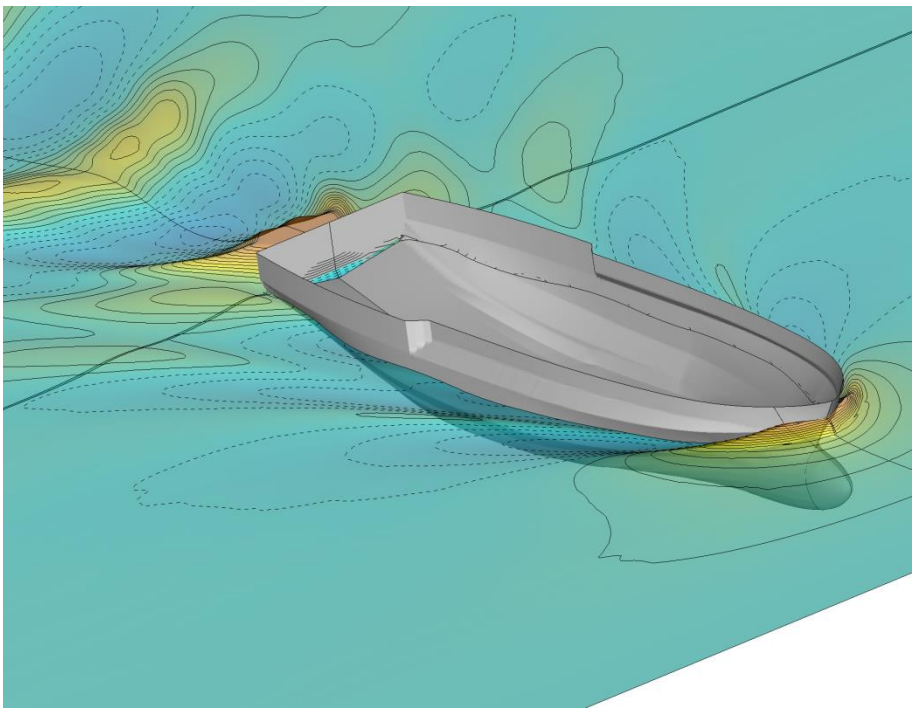
Σχήμα 5.12: Η επιφάνεια των κυματισμών με ισοϋψείς καμπύλες στο αρχικό πλοίο, V=7 kn.



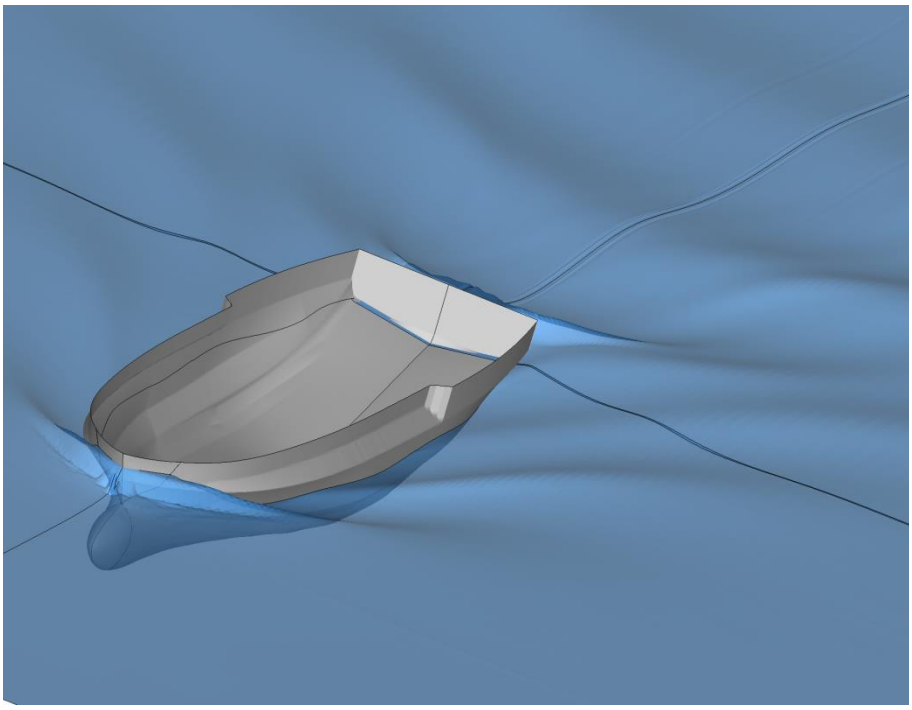
Σχήμα 5.13: Η επιφάνεια των κυματισμών στο αρχικό πλοίο, V=8.2 kn.



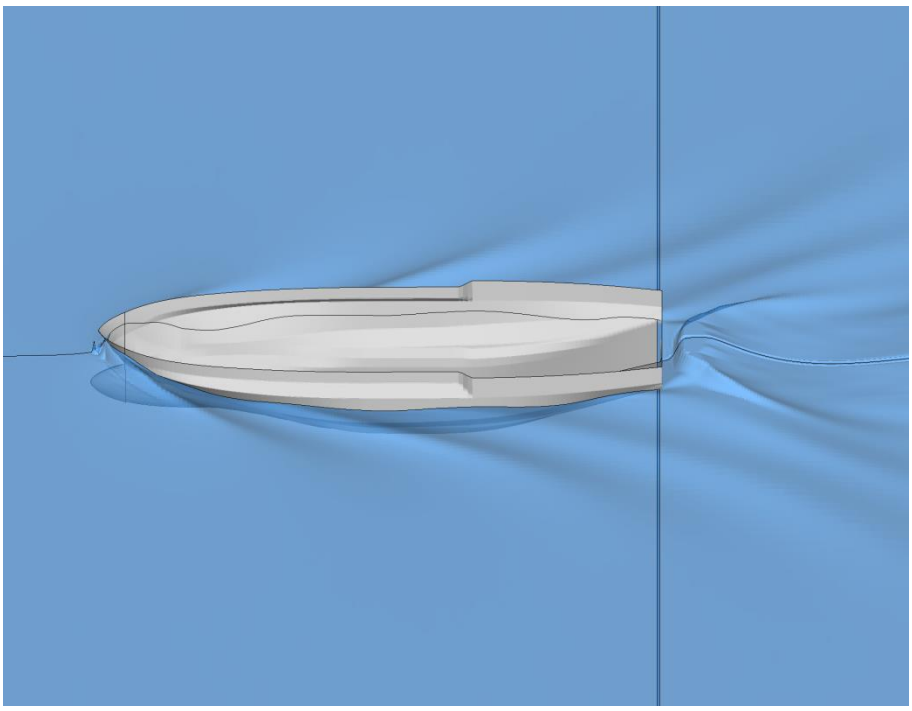
Σχήμα 5.14: Η επιφάνεια των κυματισμών στο αρχικό πλοίο, V=8.2 kn.



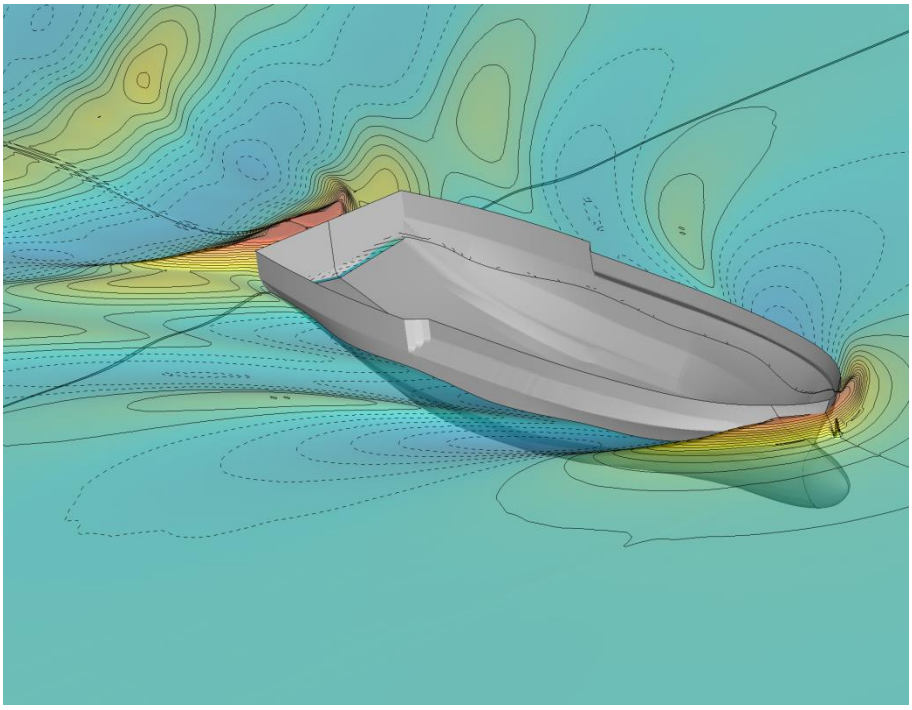
Σχήμα 5.15: Η επιφάνεια των κυματισμών με ισοϋψείς καμπύλες στο αρχικό πλοίο, V=8.2 kn.



Σχήμα 5.16: Η επιφάνεια των κυματισμών στο αρχικό πλοίο, V=9 kn.



Σχήμα 5.17: Η επιφάνεια των κυματισμών στο αρχικό πλοίο, V=9 kn.



Σχήμα 5.18: Η επιφάνεια των κυματισμών με ισοϋψείς καμπύλες στο αρχικό πλοίο, V=9 kn.

Μετά τον υπολογισμό της ελεύθερης επιφάνειας, εφαρμόστηκε ο κώδικας αριθμητικής επίλυσης των εξισώσεων RANS με σκοπό τον υπολογισμό της

υδροδυναμικής αντίστασης και της ισχύος ρυμούλκησης. Επειδή η γάστρα έχει πρύμνη καθρέφτη, χρησιμοποιήθηκαν τρία BLOCKS, εκ των οποίων το πρώτο κάλυπτε τον βολβό και το πρωραίο τμήμα και τα δύο άλλα την περιοχή της πρύμνης και του γειτονικού ομόρρου. Η μετάβαση από το πρωραίο προς το πρυμναίο υπολογιστικό χωρίο ορίστηκε στο μέσο του πλοίου, ενώ το εξωτερικό σύνορο θεωρήθηκε σε απόσταση y/L=0.63. Υπενθυμίζεται εδώ ότι το πλεονέκτημα της εφαρμοζόμενης υβριδικής μεθόδου επιτρέπει την διαμόρφωση ενός περιορισμένου χωρίου. Ο συνολικός αριθμός των κόμβων του πεδίου ήταν σε κάθε περίπτωση 10.97M.

Το λογισμικό υπολογίζει τη συνολική αντίσταση του πλοίου R_T ως το άθροισμα της συνιστώσας τριβής R_F και της συνιστώσας της πίεσης R_P:

$$R_T = R_F + R_P \tag{5.1}$$

Τις συνιστώσες τριβής και πίεσης τις υπολογίζει ολοκληρώνοντας στο βρεχόμενο μέρος της γάστρας τις διατμητικές τάσεις και την πίεση αντίστοιχα. Στη συνέχεια υπολογίζει τους αντίστοιχους αδιάστατους συντελεστές:

$$C_T = \frac{R_T}{1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} \ , \ C_F = \frac{R_F}{1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} \ , \ C_P = \frac{R_P}{1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} \tag{5.2}$$

Σε κάθε περίπτωση για την αδιαστατοποίηση λαμβάνεται υπ’ όψην η πραγματική βρεχόμενη επιφάνεια και όχι η βρεχόμενη επιφάνεια κάτω από την ίσαλο ηρεμίας. Η ισχύς ρυμούλκησης στην ταχύτητα V δίνεται από τη σχέση:

$$EHP = R_T \cdot V_S \tag{5.3}$$

Στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί, παρατίθενται τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη όμως για λόγους σύγκρισης με τις πειραματικές μετρήσεις γίνεται ανάλυση με βάση τη μέθοδο Froude, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 4.

Πίνακας 5.1: Υπολογιστικά αποτελέσματα για το αρχικό πλοίο

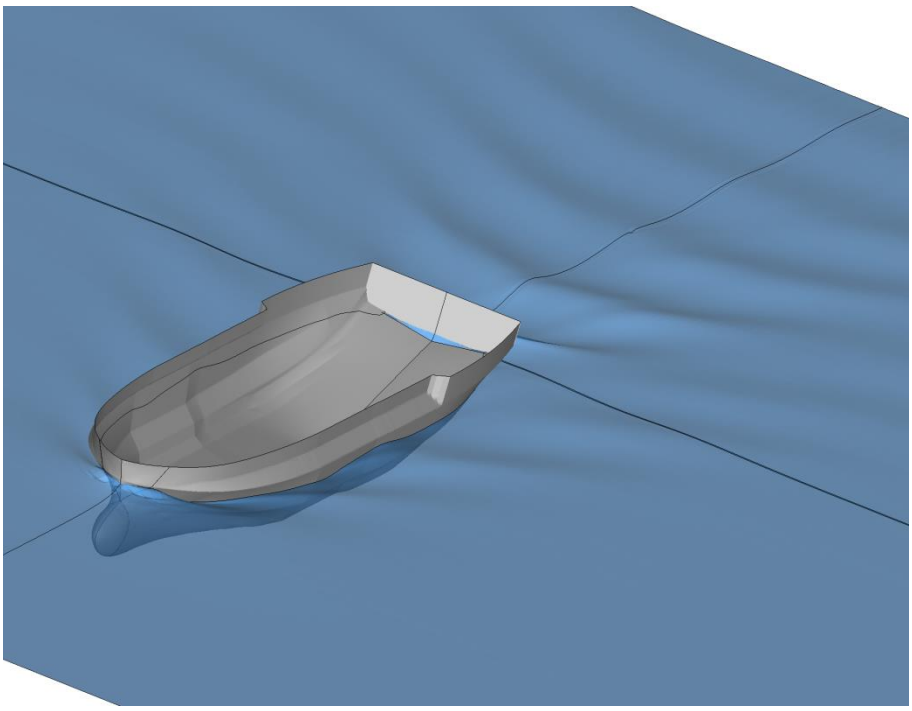
Ship Name		**FILIA**					
Test Condition		**Original**					
Ship Data							
L_{WL}	23.074	m					
L_{Bulb}	24.569	m					
B_{WL}	7.052	m					
T	2.498	m					
Trim	0.000	m	(+: έμπρυμνη)				
S	194.354	m^2					
S.W. Tmp.	19.000	^oC					
Grav	9.81	m/sec^2					
S.W.Dens.	1025.00	kp/m^3					
	104.49	$kp*sec^2/m^4$					
S.W.Visc.	1.139E-06	m^2/sec					
V_S kn	**V_S m/s**	**Fn**	**Rn_S $*10^{-8}$**	**$R_{T,S}$ Nt**	**$C_{T,S\ (woBLISTERS)}$ $*10^3$**	**$C_{F,S,ITTC}$ $*10^3$**	**C_R $*10^3$**
6.994	3.598	0.239	0.776	6048.896	4.691	2.162	2.529
8.193	4.215	0.280	0.909	9975.782	5.637	2.112	3.525
8.992	4.626	0.307	0.998	16936.176	7.945	2.084	5.861

5.4 Υπολογισμοί Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, για το επιμηκυμένο πλοίο

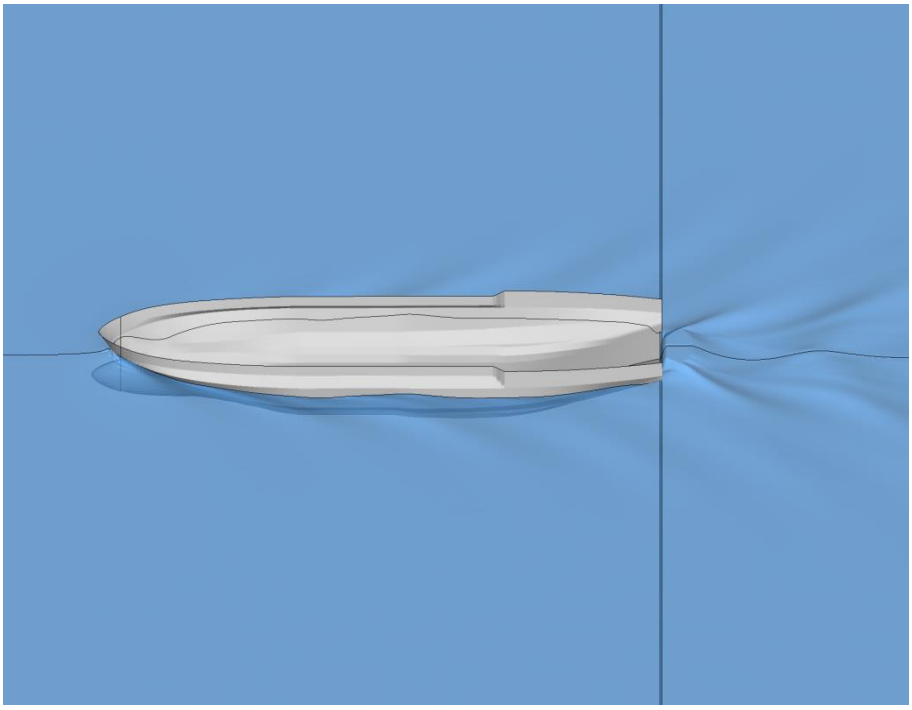
Οι υπολογισμοί για την υδροδυναμική αντίσταση του επιμηκυμένου πλοίου πραγματοποιήθηκαν για τις ταχύτητες των 7, 7.7, 8.2 και 9 κόμβων. Η διαδιακασία που ακολουθήθηκε είναι όμοια με εκείνη για το αρχικό πλοίο και περιγράφεται στην Παράγραφο 5.3. Συνοπτικά, αρχικά εφαρμόστηκε ο κώδικας δυναμικής ροής για τον υπολογισμό της ελεύθερης επιφάνειας των κυματισμών για κάθε ταχύτητα. Χρησιμοποιήθηκαν 45300 επιφανειακά στοιχεία, εκ των οποίων 37700 κάλυπταν την ελεύθερη επιφάνεια και 7600 την επιφάνεια του πλοίου. Θεωρήθηκε ότι το πλοίο είναι ελεύθερο κατά την κατακόρυφη κίνησή του, δηλαδή με τη βοήθεια του κώδικα υπολογίστηκε και η παράλληλη βύθιση.

Μετά τον υπολογισμό της ελεύθερης επιφάνειας, εφαρμόστηκε ο κώδικας αριθμητικής επίλυσης των εξισώσεων RANS με σκοπό τον υπολογισμό της υδροδυναμικής αντίστασης και της ισχύος ρυμούλκησης. Χρησιμοποιήθηκαν τρία BLOCKS, εκ των οποίων το πρώτο κάλυπτε τον βολβό και το πρωραίο τμήμα και, τα δύο άλλα την περιοχή της πρύμνης και του γειτονικού ομόρρου. Ο συνολικός αριθμός των κόμβων του πεδίου ήταν σε κάθε περίπτωση 10.97M.

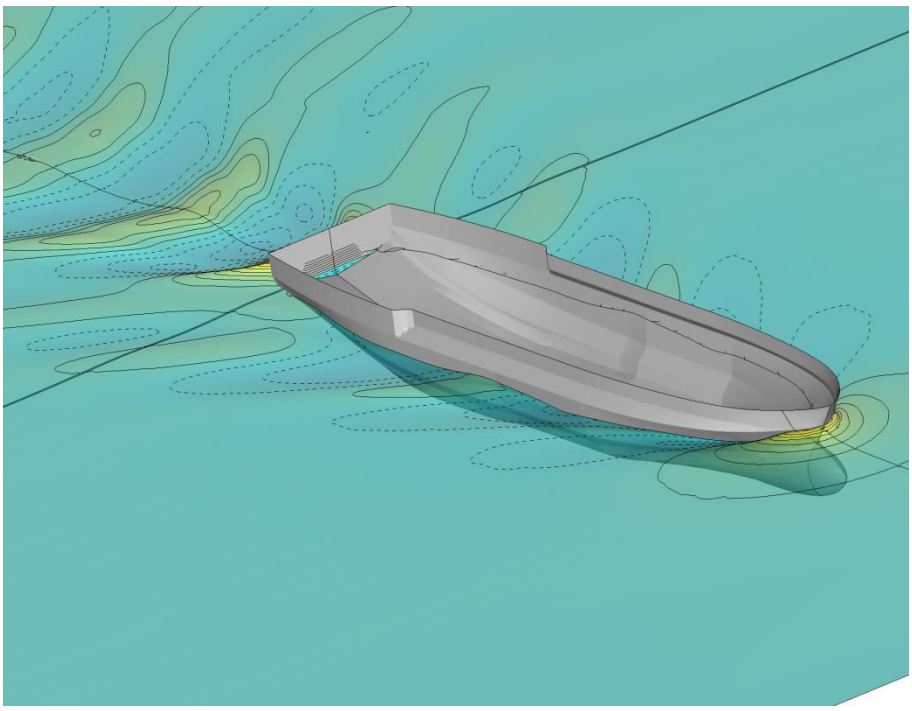
Στα σχήματα 5.19 έως 5.21 αποτυπώνεται η επιφάνεια των κυματισμών για το επιμηκυμένο πλοίο στους 7 kn, στα σχήματα 5.22 έως 5.24 αναπαρίσταται η επιφάνεια για το επιμηκυμένο πλοίο στους 7.7 kn, στα σχήματα 5.25 έως 5.27 αναπαρίσταται η επιφάνεια για το επιμηκυμένο πλοίο στους 8.2 kn, ενώ στα σχήματα 5.28 έως 5.30 αναπαρίσταται η επιφάνεια για επιμηκυμένο πλοίο στους 9 kn.



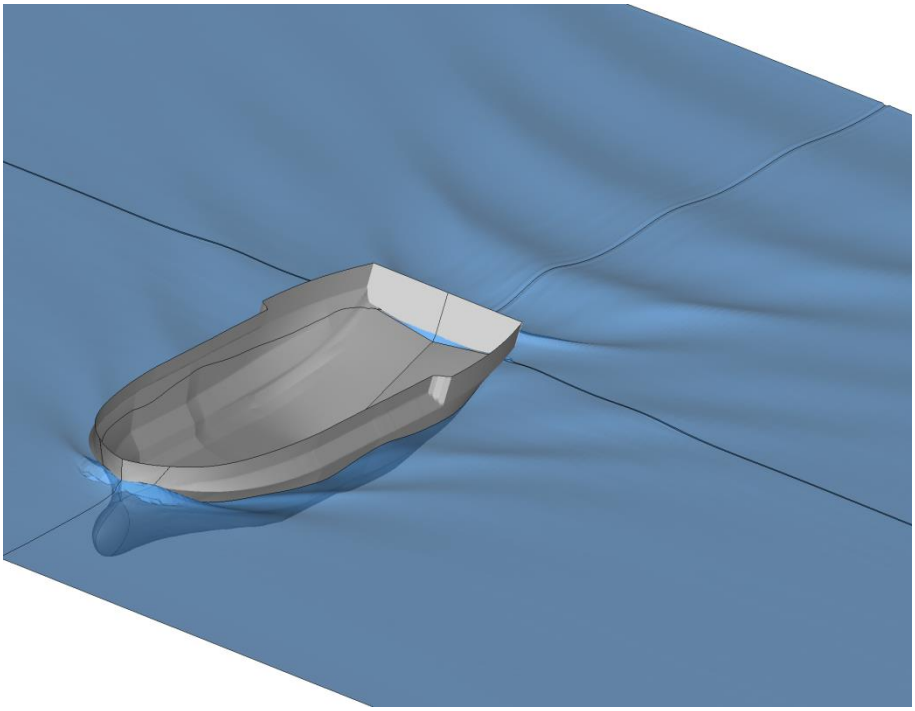
Σχήμα 5.19: Η επιφάνεια των κυματισμών στο επιμηκυμένο πλοίο, V=7 kn.



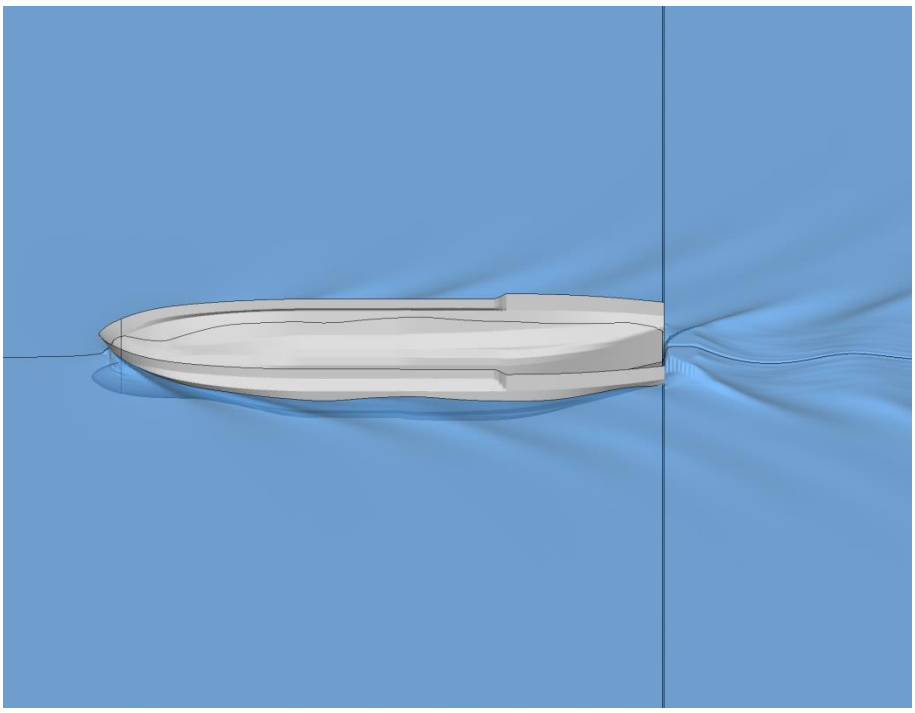
Σχήμα 5.20: Η επιφάνεια των κυματισμών στο επιμηκυμένο πλοίο, V=7 kn.



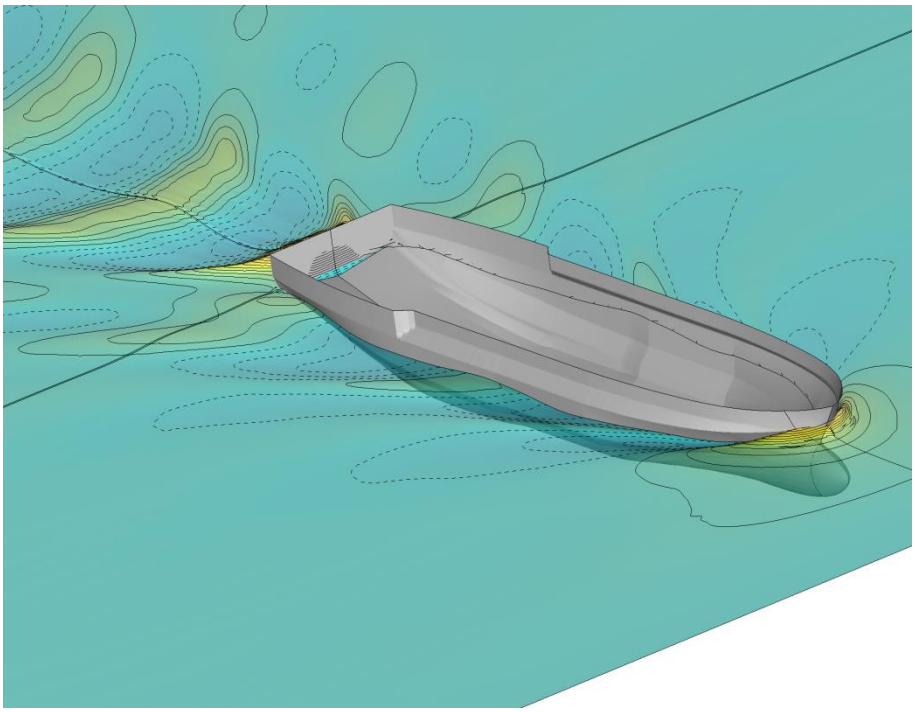
Σχήμα 5.21: Η επιφάνεια των κυματισμών με ισοϋψείς καμπύλες στο επιμηκυμένο πλοίο, V=7 kn.



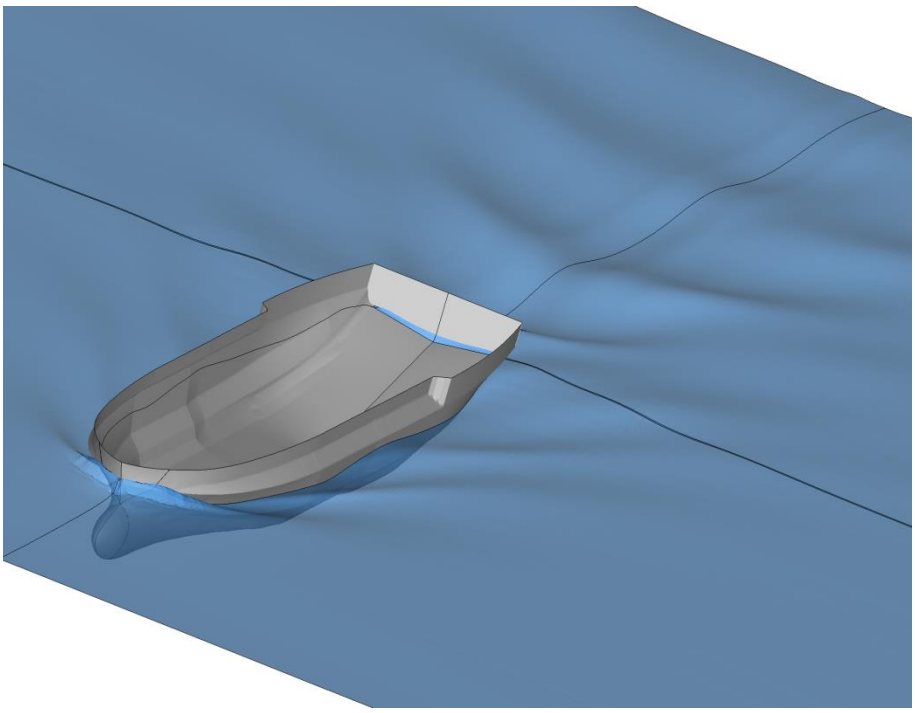
Σχήμα 5.22: Η επιφάνεια των κυματισμών στο επιμηκυμένο πλοίο, V=7.7 kn.



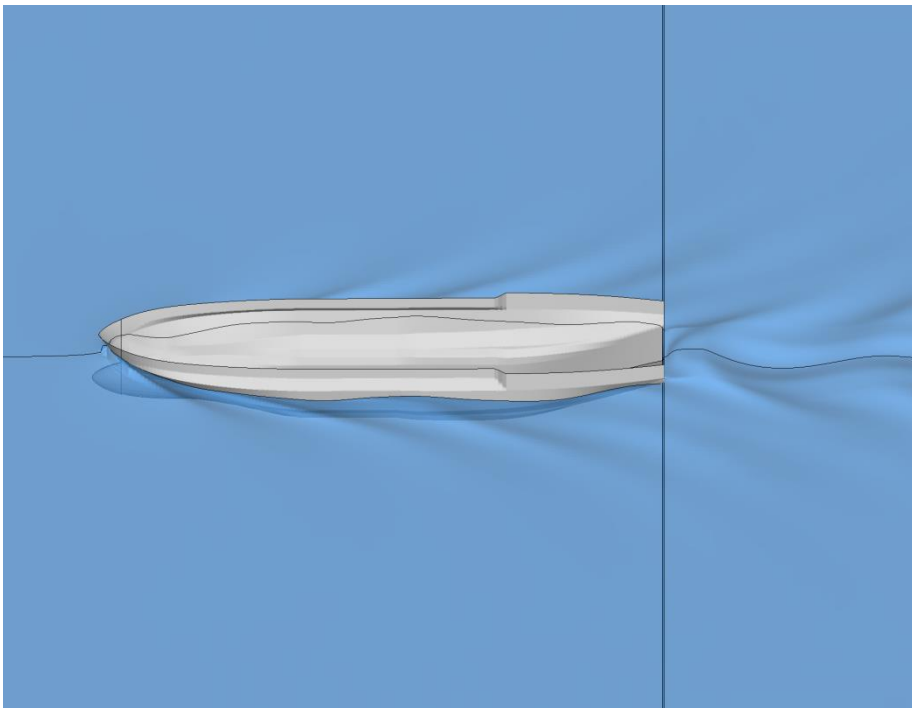
Σχήμα 5.23: Η επιφάνεια των κυματισμών στο επιμηκυμένο πλοίο, V=7.7 kn.



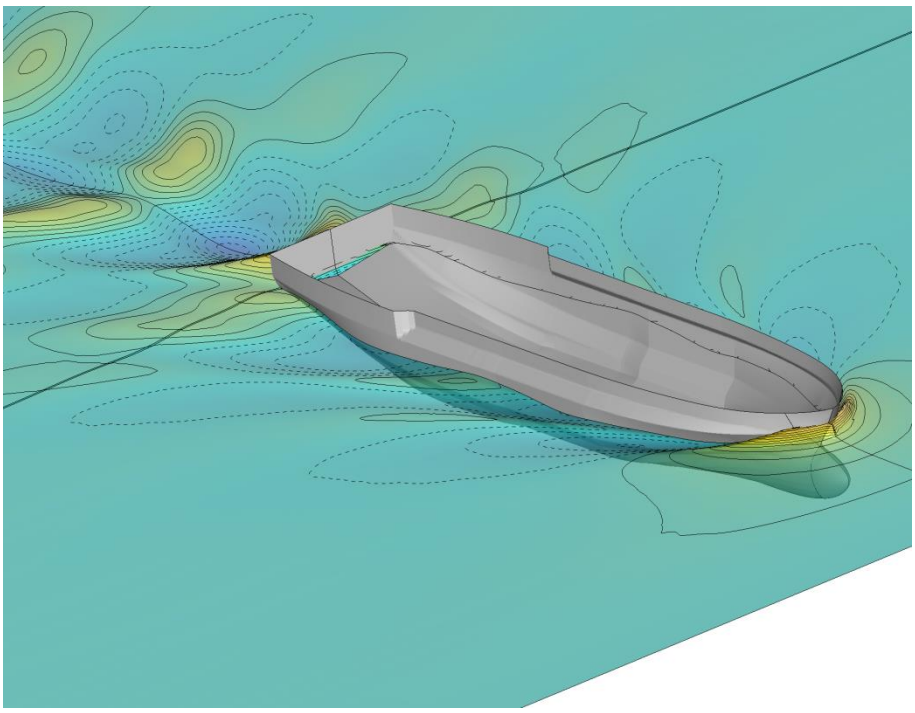
Σχήμα 5.24: Η επιφάνεια των κυματισμών με ισοϋψείς καμπύλες στο επιμηκυμένο πλοίο, V=7.7 kn.



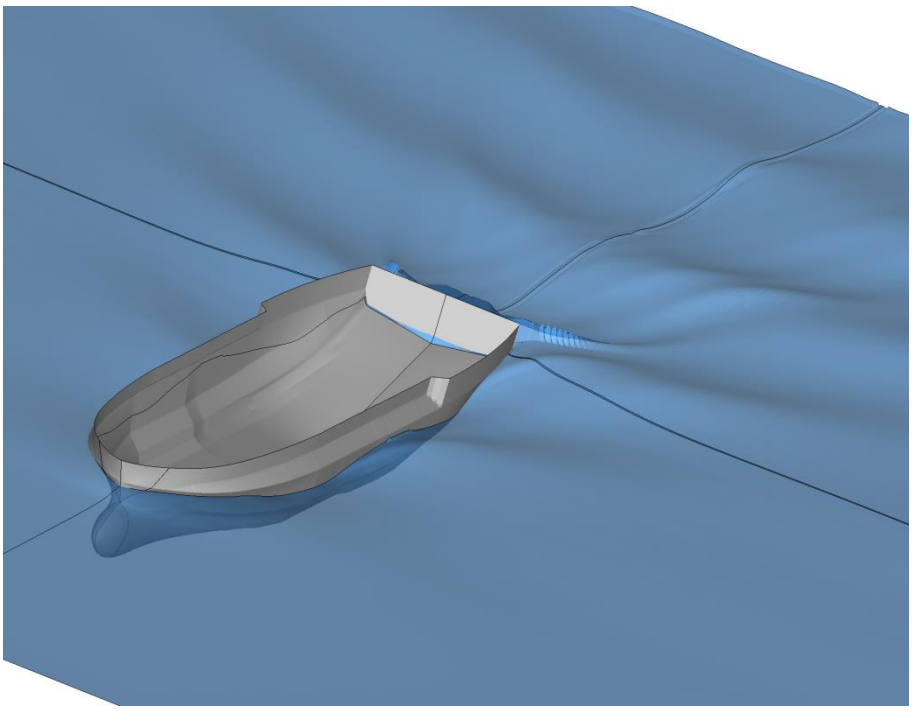
Σχήμα 5.25: Η επιφάνεια των κυματισμών στο επιμηκυμένο πλοίο, V=8.2 kn.



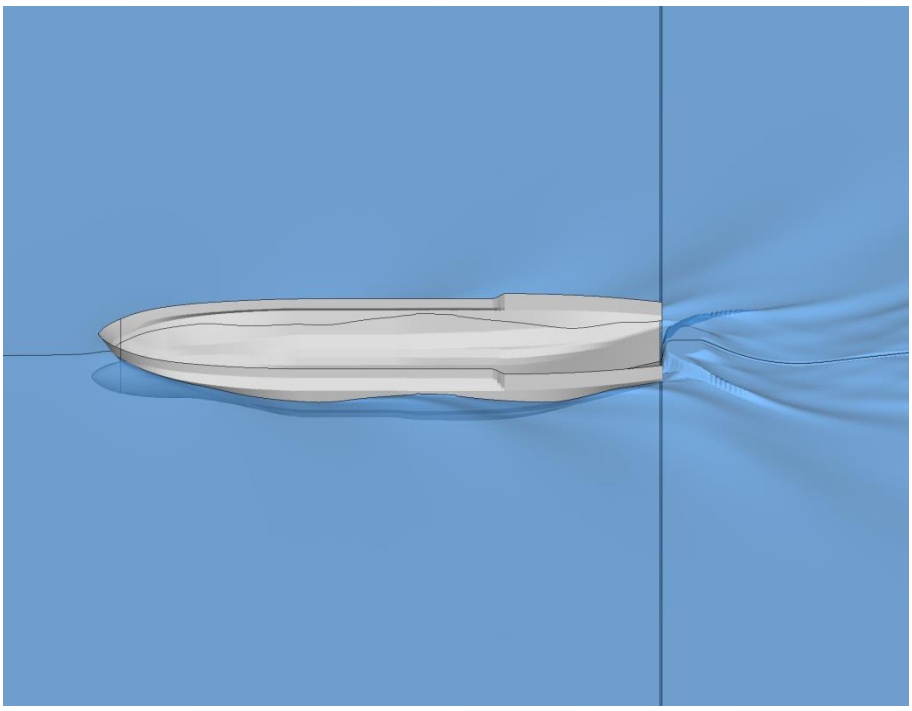
Σχήμα 5.26: Η επιφάνεια των κυματισμών στο επιμηκυμένο πλοίο, V=8.2 kn.



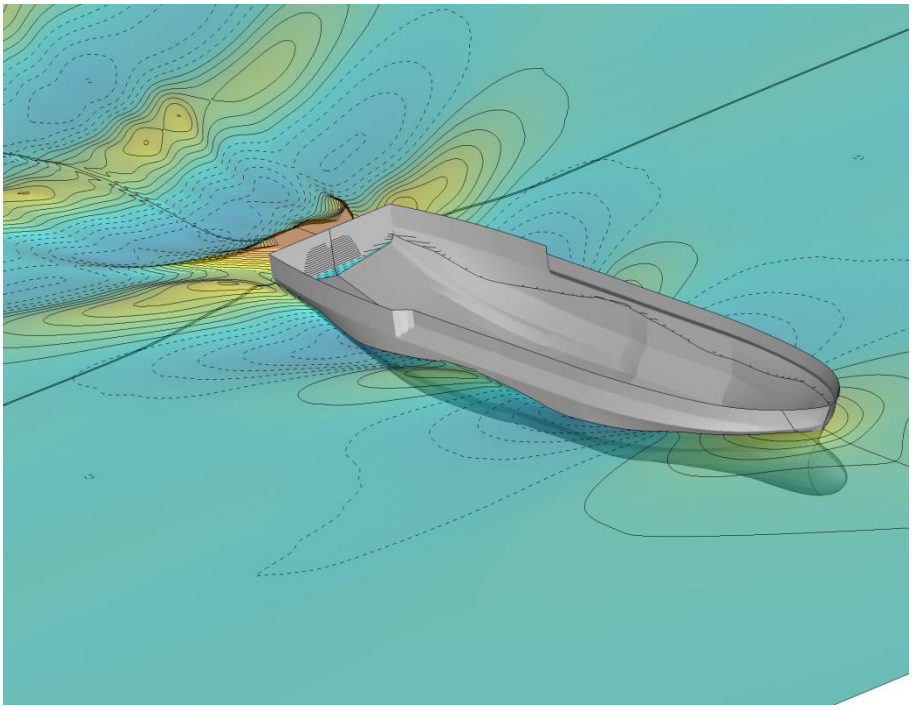
Σχήμα 5.27: Η επιφάνεια των κυματισμών με ισοϋψείς καμπύλες στο επιμηκυμένο πλοίο, V=8.2 kn.



Σχήμα 5.28: Η επιφάνεια των κυματισμών στο επιμηκυμένο πλοίο, V=9 kn.



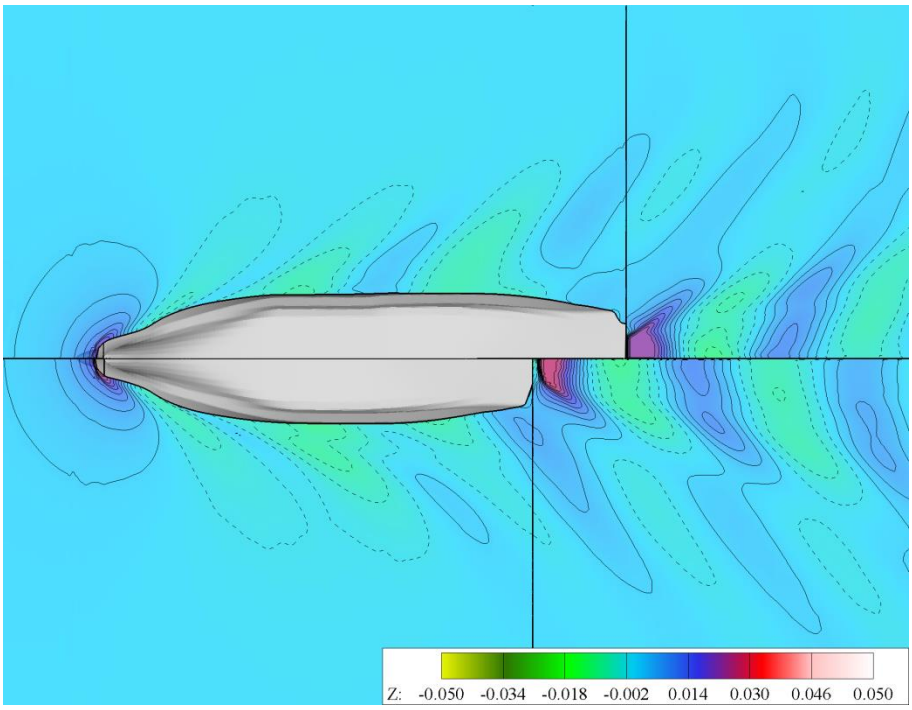
Σχήμα 5.29: Η επιφάνεια των κυματισμών στο επιμηκυμένο πλοίο, V=9 kn.



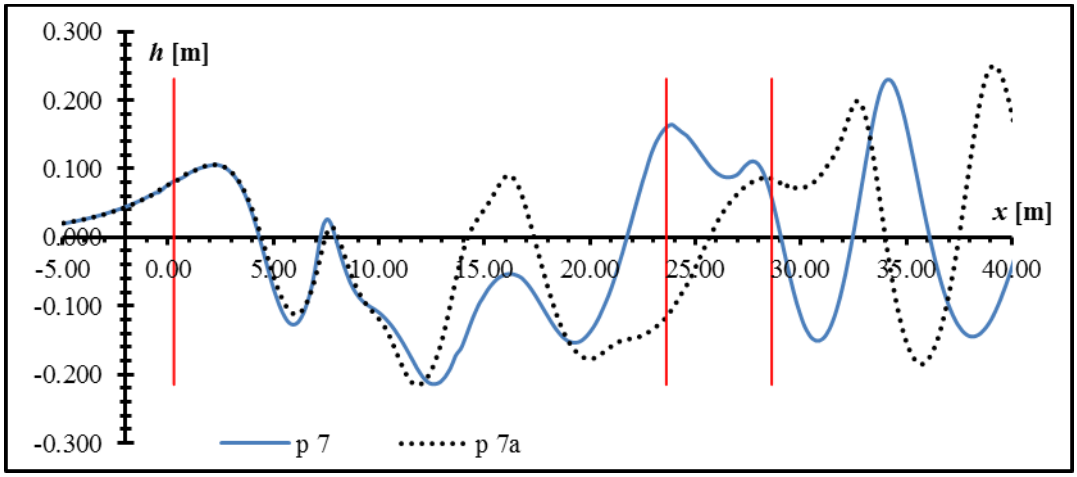
Σχήμα 5.30: Η επιφάνεια των κυματισμών με ισοϋψείς καμπύλες στο επιμηκυμένο πλοίο, V=9 kn.

Στο σχήμα 5.31 γίνεται σύγκριση της επιφάνειας για το αρχικό και το επιμηκυμένο πλοίο για ταχύτητα 7 kn. Ενώ στο σχήμα 5.32 γίνεται σύγκριση της τομής της επιφάνειας για το αρχικό και το επιμηκυμένο πλοίο, σε απόσταση 10 cm από το

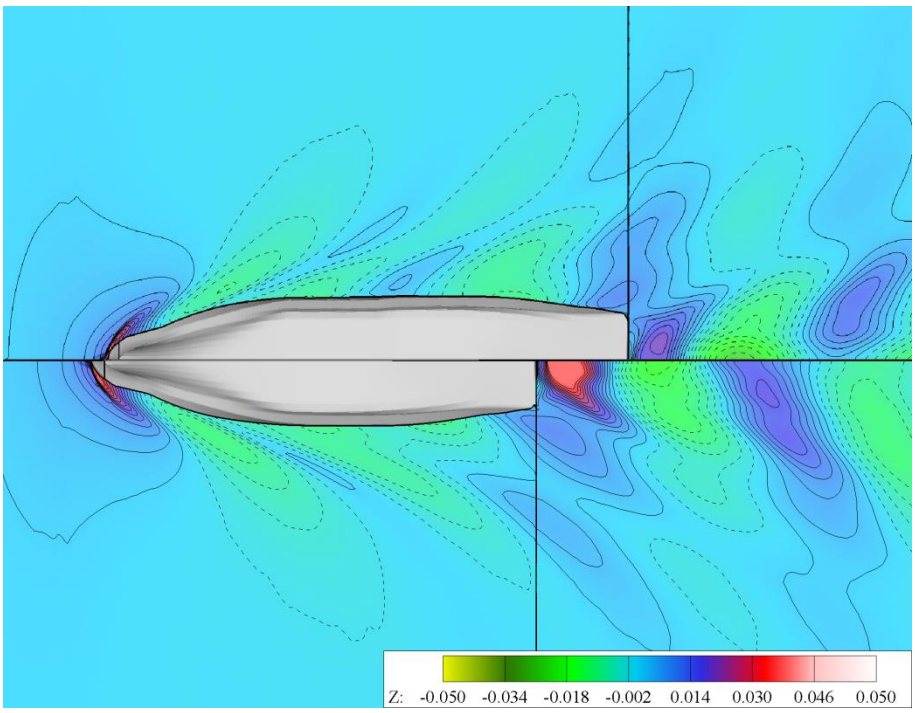
μέγιστο πλάτος του πλοίου, για την ίδια ταχύτητα. Τα ζεύγη σχημάτων 5.33-5.34 και 5.35-5.36 παρουσιάζουν τα αντίστοιχα δεδομένα για ταχύτητες 8.2 kn και 9 kn αντίστοιχα.



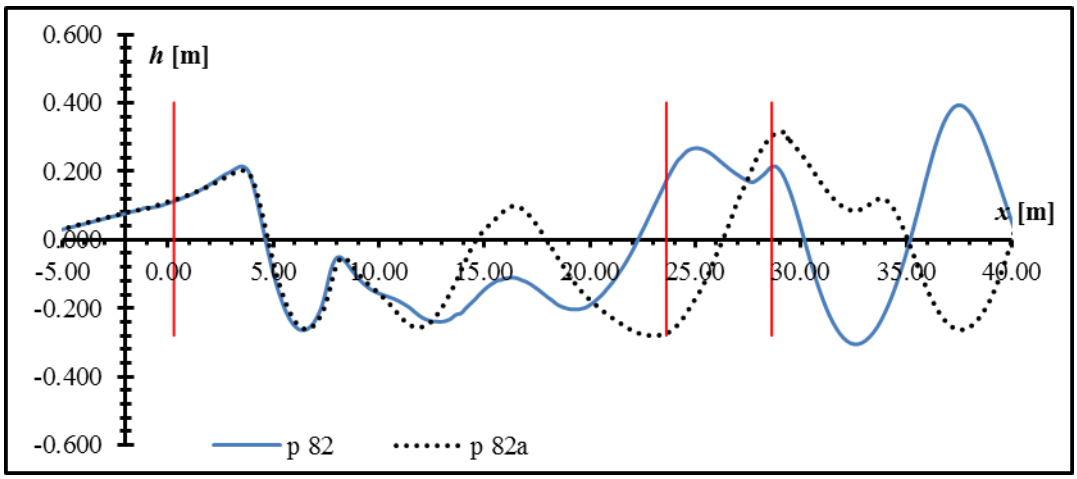
Σχήμα 5.31: Ισοϋψείς καμπύλες της επιφάνεια των κυματισμών στο αρχικό και επιμηκυμένο πλοίο, V=7 kn.



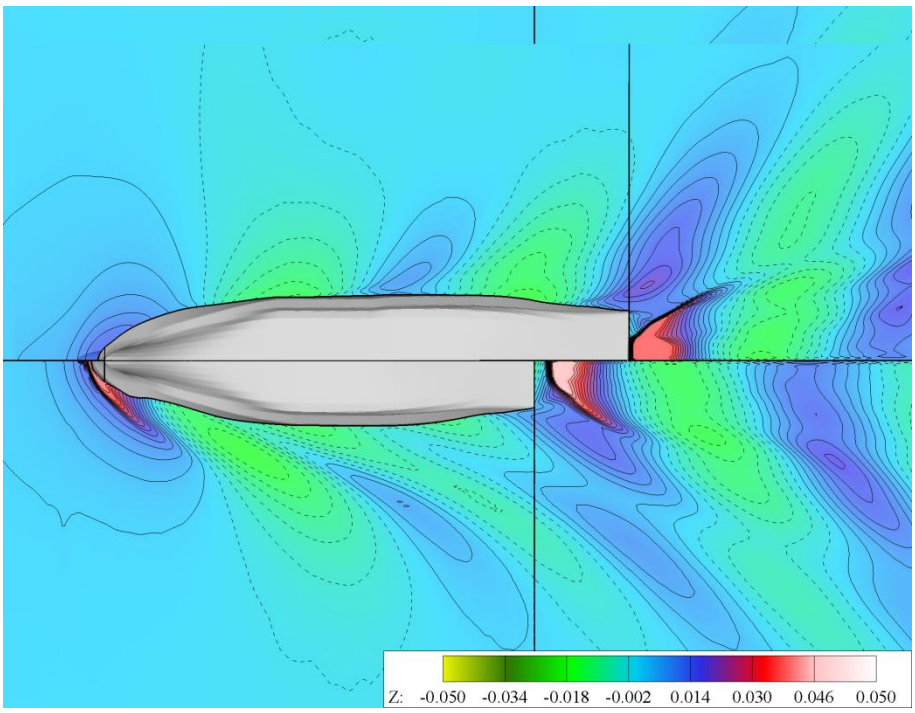
Σχήμα 5.32: Διαμήκεις τομές της επιφάνειας των κυματισμών στο αρχικό και επιμηκυμένο πλοίο, V=7 kn, απόσταση 10 cm από το πλάτος του πλοίου.



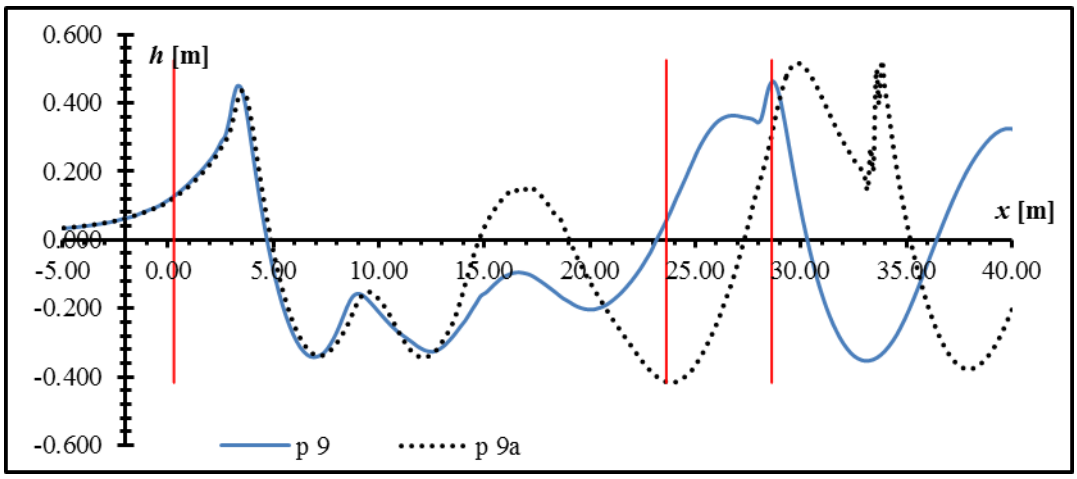
Σχήμα 5.33: Ισοϋψείς καμπύλες της επιφάνεια των κυματισμών στο αρχικό και επιμηκυμένο πλοίο, V=8.2 kn.



Σχήμα 5.34: Διαμήκεις τομές της επιφάνειας των κυματισμών στο αρχικό και επιμηκυμένο πλοίο, V=8.2 kn, απόσταση 10 cm από το πλάτος του πλοίου.



Σχήμα 5.35: Ισοϋψείς καμπύλες της επιφάνεια των κυματισμών στο αρχικό και επιμηκυμένο πλοίο, V=9 kn.



Σχήμα 5.36: Διαμήκεις τομές της επιφάνειας των κυματισμών στο αρχικό και επιμηκυμένο πλοίο, V=9 kn, απόσταση 10 cm από το πλάτος του πλοίου.

Στον Πίνακα 5.2 που ακολουθεί, παρατίθενται τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν για το επιμηκυμένο πλοίο, όπου για λόγους σύγκρισης με τις πειραματικές μετρήσεις γίνεται ανάλυση με βάση τη μέθοδο Froude, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 4.

Πίνακας 5.3: Υπολογιστικά αποτελέσματα για το επιμηκυμένο πλοίο

Ship Name		**FILIA**					
Test Condition		**Elongated**					
Ship Data							
L_{WL}	28.074	m					
L_{Bulb}	29.569	m					
B_{WL}	7.052	m					
T	2.498	m					
Trim	0.000	m	(+: έμπρυμνη)				
S	242.721	m^2					
S.W. Tmp.	19.000	ºC					
Grav	9.81	m/sec^2					
S.W.Dens.	1025.00	kp/m^3					
	104.49	$kp*sec^2/m^4$					
S.W.Visc.	1.139E-06	m^2/sec					
V_S kn	**V_S m/s**	**Fn**	**Rn_S $*10^{-8}$**	**$R_{T,S}$ Nt**	**$C_{T,S\ (woBLISTERS)}$ $*10^3$**	**$C_{F,S,ITTC}$ $*10^3$**	**C_R $*10^3$**
6.994	3.598	0.217	0.934	6607.651	4.103	2.104	1.999
7.694	3.958	0.239	1.028	9184.407	4.713	2.075	2.638
8.193	4.215	0.254	1.094	11348.950	5.136	2.056	3.079
8.992	4.626	0.279	1.201	18901.229	7.100	2.029	5.071

5.5 Σύγκριση Υπολογισμών και Πειραματικών Μετρήσεων

Τα αποτελέσματα που παρουσιάσθηκαν στις δύο προηγούμενες παραγράφους αφορούν το πλοίο προ και μετά την επιμήκυνση αλλά χωρίς τα blisters. Αντιθέτως οι πειραματικές μετρήσεις αφορούν το αρχικό πλοίο με τα blisters. Για να καταστεί δυνατή η σύγκριση, εφαρμόζεται η μέθοδος που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 4.2. Με αυτή τη μέθοδο η τιμή του συντελεστή αντίστασης blisters, C_{BL}, τροποποιείται με βάση τη βρεχόμενη επιφάνεια (εξίσωση 4.12) και προστίθεται στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης και τελικά στον συντελεστή ολικής αντίστασης:

$$C_{R(withBlisters)} = C_{R(woBlisters)} + C_{BL} \tag{5.4}$$

Η τιμή της αντίστασης ρυμούλκησης υπολογίζεται από τη σχέση 4.8 όπου ως βρεχόμενη επιφάνεια λαμβάνεται το άθροισμα της βρεχόμενης επιφάνειας με την επιφάνεια των blisters:

$$S_{withBLISTERS} = S + S_{BL} \tag{5.5}$$

Τέλος η ισχύς ρυμούλκησης υπολογίζεται από τη σχέση 4.9. Στους Πίνακες 5.3 και 5.4 παρατίθενται τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν για το αρχικό και το επιμηκυμένο πλοίο αντίστοιχα, συνυπολογίζοντας την αντίσταση των blisters.

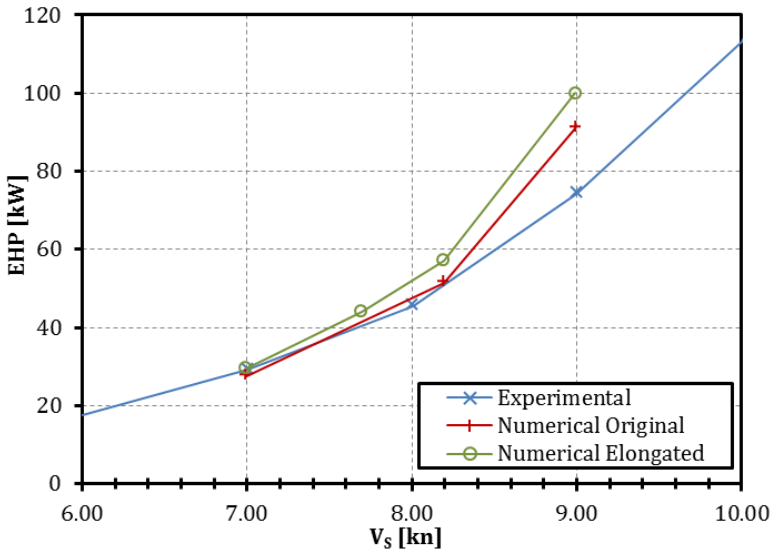
Πίνακας 5.3: Υπολογιστικά αποτελέσματα για το αρχικό πλοίο με τα Blisters

$S_{withBlisters}$	196.652	m^2					
V_S kn	V_S m/s	Fn	C_{BL} $*10^3$	C_R+C_{BL} $*10^3$	$C_{T,S\ (with\ CBL)}$ $*10^3$	$R_{T,S\ (with\ CBL)}$ Nt	EHP (with CBL) kW
6.994	3.598	0.239	1.179	3.708	5.870	7658.658	27.556
8.193	4.215	0.280	1.179	4.704	6.816	12204.778	51.443
8.992	4.626	0.307	1.179	7.040	9.124	19679.233	91.036

Πίνακας 5.4: Υπολογιστικά αποτελέσματα για το επιμηκυμένο πλοίο με τα Blisters

$S_{withBlisters}$	245.019	m^2					
V_S kn	V_S m/s	Fn	C_{BL} $*10^3$	C_R+C_{BL} $*10^3$	$C_{T,S\ (with\ CBL)}$ $*10^3$	$R_{T,S\ (with\ CBL)}$ Nt	EHP (with CBL) kW
6.994	3.598	0.217	0.946	2.945	5.049	8208.452	29.534
7.694	3.958	0.239	0.946	3.584	5.659	11132.822	44.064
8.193	4.215	0.254	0.946	4.026	6.082	13567.242	57.183
8.992	4.626	0.279	0.946	6.017	8.047	21622.987	100.028

Από την παραπάνω διαδικασία προκύπτουν αριθμητικά αποτελέσματα συγκρίσιμα με τις εκτιμήσεις με βάση τις πειραματικές μετρήσεις. Στο σχήμα 5.37 παρουσιάζονται οι καμπύλες ισχύος ρυμούλκησης για το αρχικό και το επιμηκυμένο πλοίο, όπως έχουν υπολογιστεί, καθώς και η αντίστοιχη πειραματική καμπύλη..



Σχήμα 5.37: Σύγκριση των Υπολογιστικών αποτελεσμάτων για την Ισχύ Ρυμούλκησης, συμπεριλαμβανομένης της αντίστασης των Blisters και της Εκτίμησης με βάση τις Πειραματικές Μετρήσεις

Παρατηρούμε την πολύ καλή σύμπτωση των αριθμητικών προβλέψεων με τα αποτελέσματα της αναγωγής των πειραματικών μετρήσεων, ειδικά στην ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου 8.2kn. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σύγκριση των παραπάνω τιμών Ισχύος Ρυμούλκησης EHP με την Ονομαστική Εγκατεστημένη Ισχύ

SHP 2x250 kW οδηγεί στο συμπέρασμα του χαμηλού συνολικού βαθμού απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης, οφειλόμενο πιθανότατα σε μη βέλτιστη επιλογή των χαρακτηριστικών της έλικας.

Από τα διαθέσιμα αριθμητικά αποτελέσματα, είναι δυνατή η εκτίμηση της ποσοστιαίας αύξησης της αντίστασης και της ισχύος ρυμούλκησης. Οι εκτιμήσεις αυτές παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.5 και 5.6.

Πίνακας 5.5: Σύγκριση των Υπολογιστικών αποτελεσμάτων για την Αντίσταση Ρυμούλκησης, συμπεριλαμβανομένης της αντίστασης των Blisters και της Εκτίμησης με βάση τις Πειραματικές Μετρήσεις

V_S	$R_{T,S}$		$dR_{T,S}$	$R_{T,S}$	
kn	**Nt**		**%**	**Nt**	
	Numerical Original	**Numerical Elongated**		**Experimental**	**Experimental Projection**
7.000	7658.658	8208.452	6.70%	8070.918	8611.499
8.200	12204.778	13567.242	10.04%	12044.718	13254.286
9.000	19679.233	21622.987	8.99%	16035.664	17477.157

Πίνακας 5.6: Σύγκριση των Υπολογιστικών αποτελεσμάτων για την Ισχύ Ρυμούλκησης, συμπεριλαμβανομένης της αντίστασης των Blisters και της Εκτίμησης με βάση τις Πειραματικές Μετρήσεις

V_S	EHP		dEHP	EHP	
kn	**kW**		**%**	**kW**	
	Numerical Original	**Numerical Elongated**		**Experimental**	**Experimental Projection**
7.000	27.556	29.534	6.70%	29.066	31.013
8.200	51.443	57.183	10.04%	51.213	56.354
9.000	91.036	100.028	8.99%	74.248	80.922

Από τα παραπάνω είναι δυνατό να εκτιμηθεί η απώλεια της ταχύτητας του πλοίου στην περίπτωση που η μηχανή δεν διαθέτει το απαιτούμενο περιθώριο ισχύος, εφόσον θεωρήσουμε ότι, λόγω της υδροδυναμικής διάταξης, ο ολικός συντελεστής πρόωσης

$$\eta_{\mathrm{TS}} = \frac{\mathrm{EHP}}{\mathrm{SHP}} \tag{5.6}$$

παραμένει περίπου αμετάβλητος. Από τον Πίνακα 5.6 παρατηρούμε ότι η ισχύς ρυμούλκησης του αρχικού πλοίου, στην ταχύτητα υπηρεσίας των 8.2 kn είναι 51.44 kW. Κάνοντας παρεμβολή στις τιμές για το επιμηκυμένο πλοίο, μπορούμε να υπολογίσουμε ότι η ισχύς ρυμούλκησης έχει την παραπάνω τιμή για ταχύτητα 7.97 kn. Συνεπώς αναμένεται απώλεια ταχύτητας κατά 0.2kn.

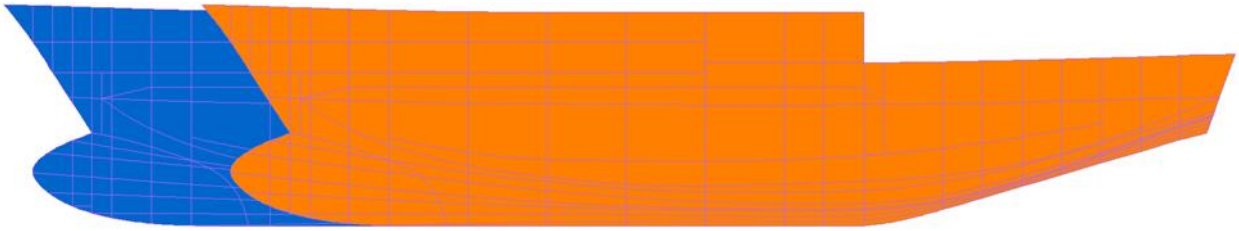
6. Μελέτη συμπεριφοράς του πλοίου σε κυματισμούς

6.1 Δημιουργία 3D γεωμετρίας του Ε/Σ «ΦΙΛΙΑ» και του επιμηκυμένου σκάφους

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η σύγκριση της συμπεριφοράς σε θαλάσσιους κυματισμούς του Ε/Σ «ΦΙΛΙΑ» πριν και μετά τη μετασκευή και επιμήκυνση κατά 5 μέτρα. Οι κύριες διαστάσεις των δύο πλοίων φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα, ενώ μια άποψη της διαφοράς των δύο πλοίων φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 6.1: Κύριες διαστάσεις

Διάσταση	«ΦΙΛΙΑ»	Νέο Σκάφος
Ολικό Μήκος Loa	26.10 m	31.10 m
Μήκος μεταξύ καθέτων Lpp	20.57 m	25.57 m
Πλάτος B	7.15 m	7.15 m
Κοίλο D	3.20 m	3.20 m
Βύθισμα T	2.57 m	2.59 m



Σχήμα 6.1: Σύγκριση 3D γεωμετρίας του Ε/Σ «ΦΙΛΙΑ» (πορτοκαλί) με το επιμηκυμένο πλοίο (μπλε)

6.2 Περιγραφή λογισμικού

Για τη μελέτη της συμπεριφοράς του πλοίου σε κυματισμούς χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό NEWDRIFT. Το NEWDRIFT είναι ένας κώδικας που έχει αναπτυχθεί από το Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου του ΕΜΠ και στηρίζεται στη θεωρία δυναμικού για την επίλυση του προβλήματος αλληλεπίδρασης ενός πλωτού σώματος με προσπίπτοντα, αρμονικό κυματισμό. Ο κώδικας εντάσσεται στην κατηγορία των λεγόμενων 3D panel μεθόδων και βασίζεται στην αναπαράσταση του δυναμικού με χρήση κατάλληλης συνάρτησης Green. Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας απαιτείται η διακριτοποίηση της βρεχόμενης επιφάνειας με χρήση επίπεδων τριγωνικών ή/και τετράπλευρων επίπεδων στοιχείων (panels). Η χρήση του συγκεκριμένου κώδικα οδηγεί στον υπολογισμό των κινήσεων στους έξι βαθμούς ελευθερίας για το πλωτό σώμα, καθώς επίσης και των φορτίσεων, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού.

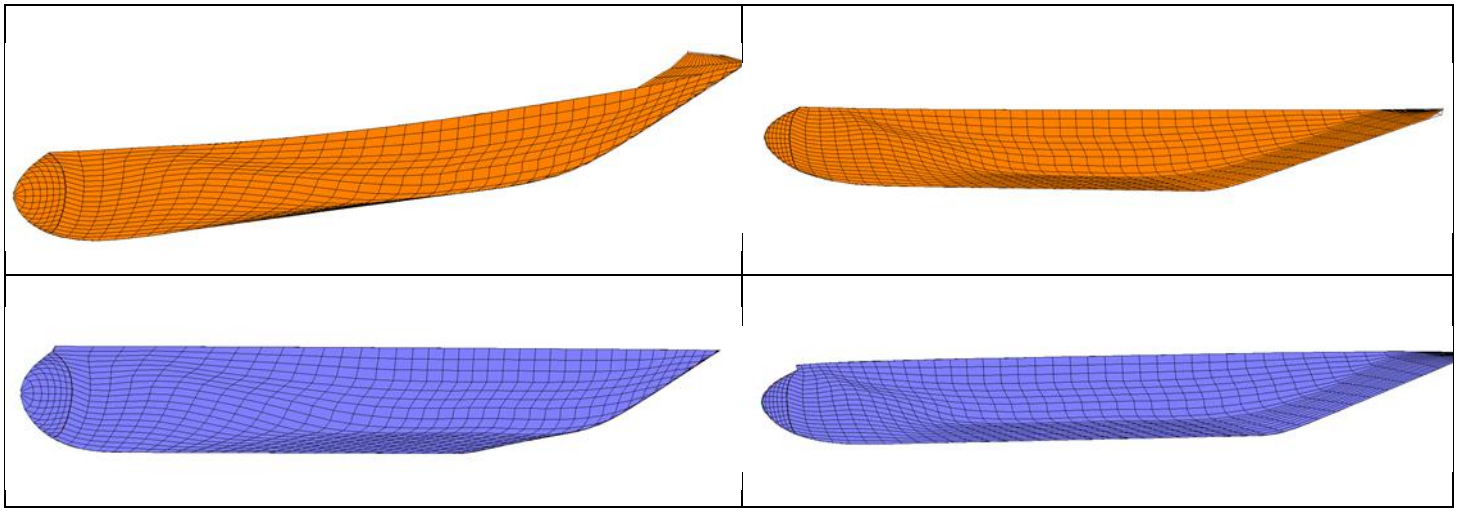
6.3 Προδιαγραφές Υπολογισμών

Για την εκτέλεση των υπολογισμών χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία, με βάση την κατανομή βαρών και την υδροστατική ισορροπία, ενώ υιοθετήθηκαν κάποιες υποθέσεις για τις ακτίνες αδράνειας, όπως φαίνονται στον επόμενο πίνακα. Οι καταστάσεις φόρτωσης αντιστοιχούν στην κατάσταση αναχώρησης πλήρους φορτίου (Full load departure -FLD) για το εκάστοτε πλοίο.

Πίνακας 6.2: Καταστάσεις φόρτωσης των δύο πλοίων για τους υπολογισμούς seakeeping

Μέγεθος	«ΦΙΛΙΑ»	Νέο Σκάφος
Δ [t]	206.6	282.3
LCG [m] (from AP)	9.16	11.90
T_M [m]	2.542	2.595
Trim [m]	-0.237	0.045
KG_{corr} [m]	3.05	2.96
Rxx [m] (40% B)	2.86	2.86
Ryy [m] (20% L_{BP})	4.11	5.11
Rzz [m] (20% L_{BP})	4.11	5.11
Vessel Speed [kn]	0-3-10	
Wave direction [deg]	90-135-180 (180 -> head waves)	
Wave lengths [m]	2-125 m	

Για την αναπαράσταση του συμμετρικού τμήματος της γάστρας χρησιμοποιήθηκαν 1020 panels. Μερικές απόψεις τις μορφής του τρισδιάστατου σώματος φαίνονται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 6.2: Απόψεις panelization για το Ε/Σ ΦΙΛΙΑ (πάνω) και του επιμηκυμένου πλοίου (κάτω)

6.4 Αποτελέσματα Υπολογισμών σε Αρμονικούς Κυματισμούς

Στα παρακάτω γραφήματα συνοψίζονται τα αδιαστατοποιημένα αποτελέσματα της απόκρισης (RAO) για τις κινήσεις στους έξι βαθμούς ελευθερίας. Η αδιαστατοποίηση γίνεται με βάση το πλάτος του κύματος (α) για τις μετατοπίσεις στο κέντρο βάρους (CG) και με βάση το γινόμενο του κυματαριθμού με το πλάτους του κύματος (k*α) για τις στροφές. Πιο συγκεκριμένα:

$$RAO_{1-3} = \frac{x_{1-3}}{a} \qquad RAO_{4-6} = \frac{x_{4-6}}{ka} = \frac{x_{4-6}}{2\pi a/\lambda}$$

Όπου x_{1-6} το πλάτος απόκρισης στους έξι βαθμούς ελευθερίας, α το πλάτος του κύματος, k ο κυματαριθμός και λ το μήκος κύματος.

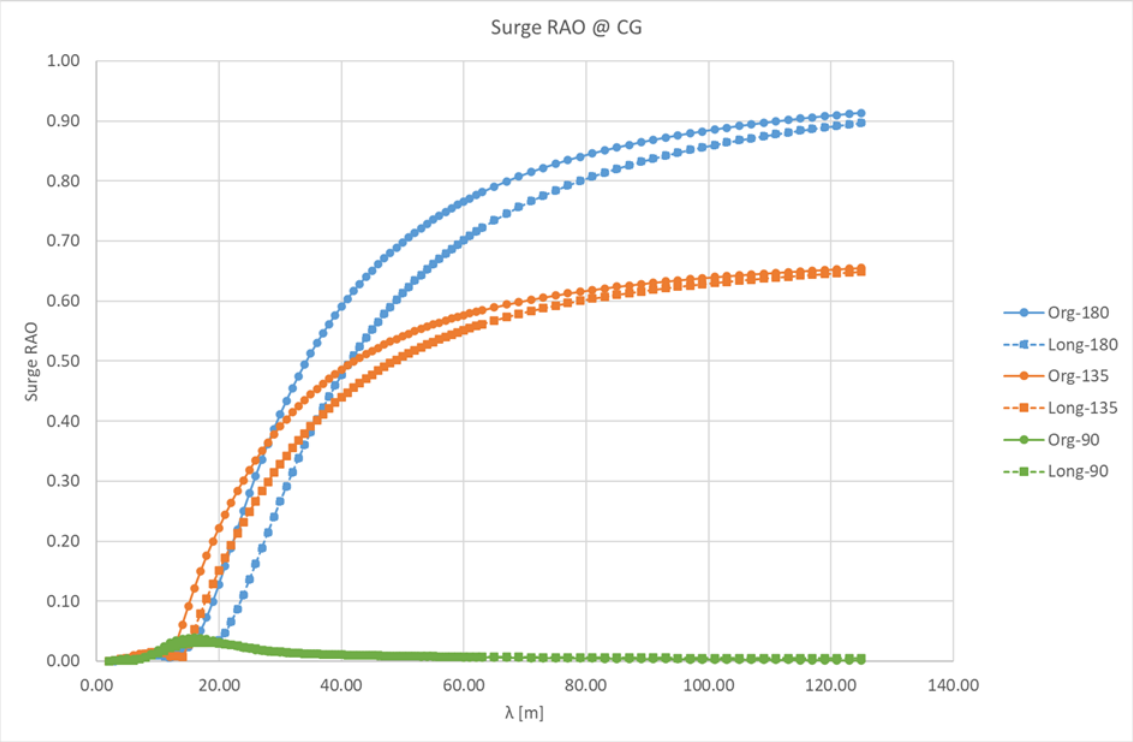
Τα γραφήματα είναι οργανωμένα ώστε να δείχνουν τις κινήσεις στους έξι βαθμούς ελευθερίας για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης του κυματισμού ως προς το πλοίο που μελετήθηκαν. Κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε μία διαφορετική γωνία πρόσπτωσης. Οι συνεχείς καμπύλες αντιστοιχούν στο αρχικό πλοίο, ενώ οι διακεκομένες στο επιμηκυμένο.

Στο τελευταίο διάγραμμα δίνεται η πρόσθετη αντίσταση σε κυματισμούς. Τα αποτελέσματα για την πρόσθετη αντίσταση έχουν διαιρεθεί με το τετράγωνο του πλάτους του προσπίπτοντος κυματισμού και δίνονται σε kN/m^2:

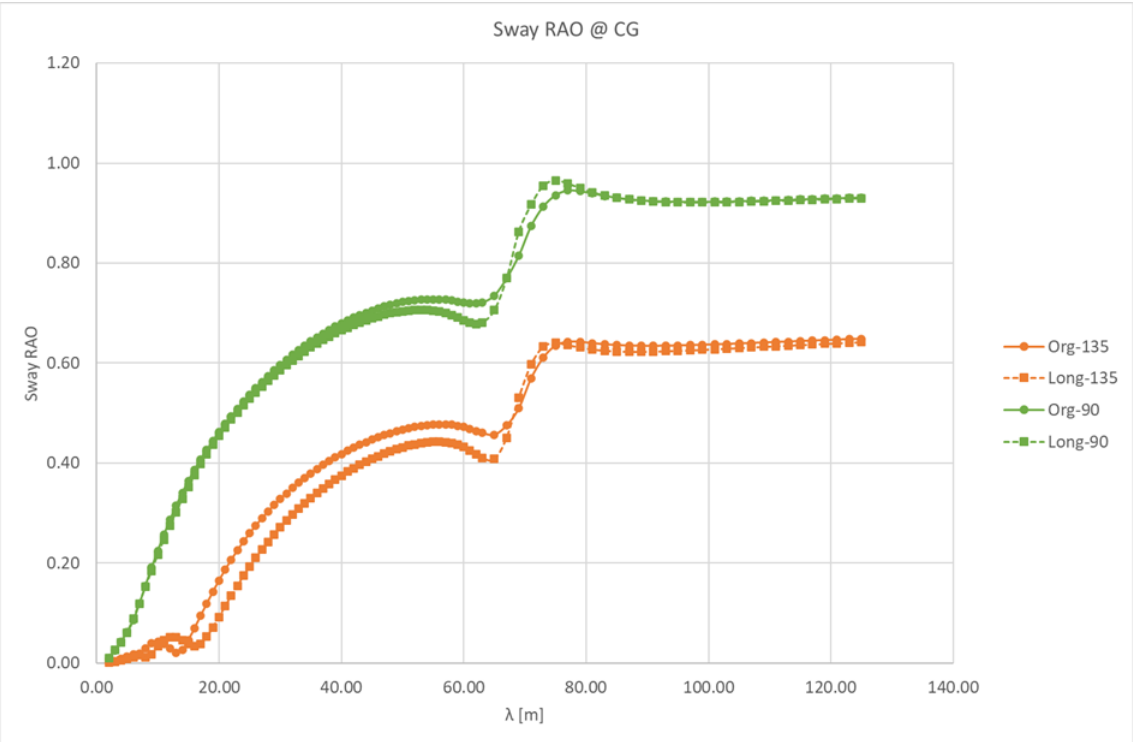
$$RAO_{AR} = \frac{AR}{a^2}$$

Όπου AR η τιμή της πρόσθετης αντίστασης και α το πλάτος του κύματος.

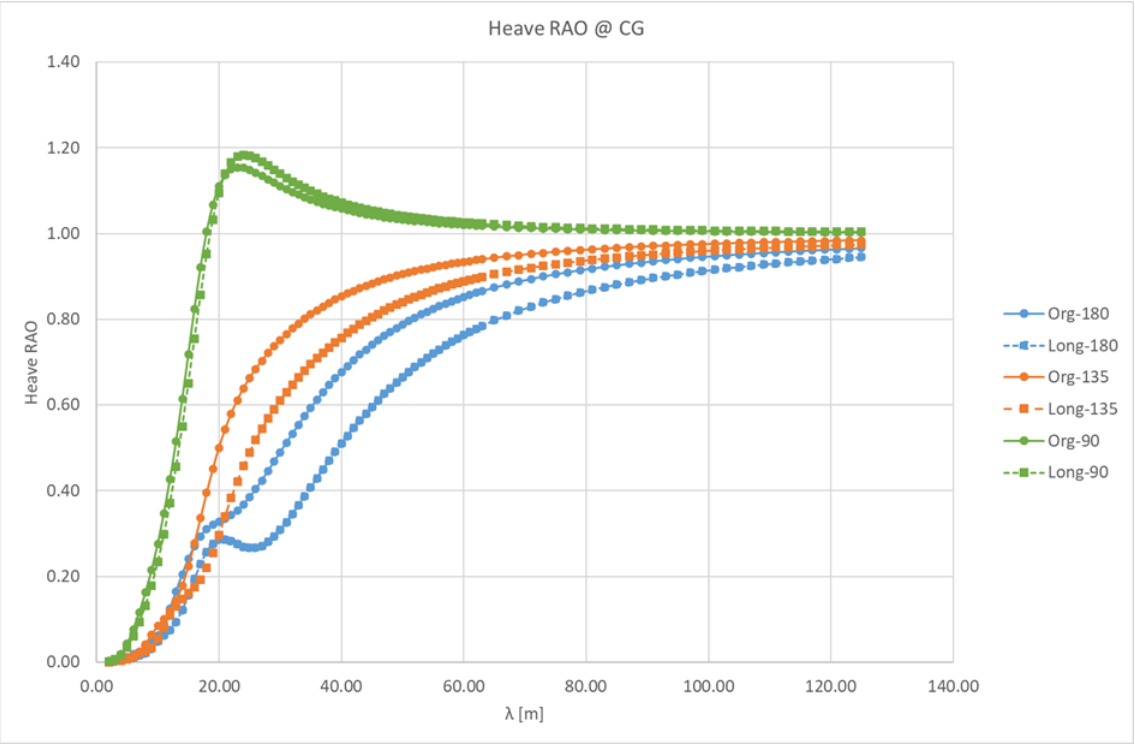
6.4.1 Ταχύτητα Vs=0kn



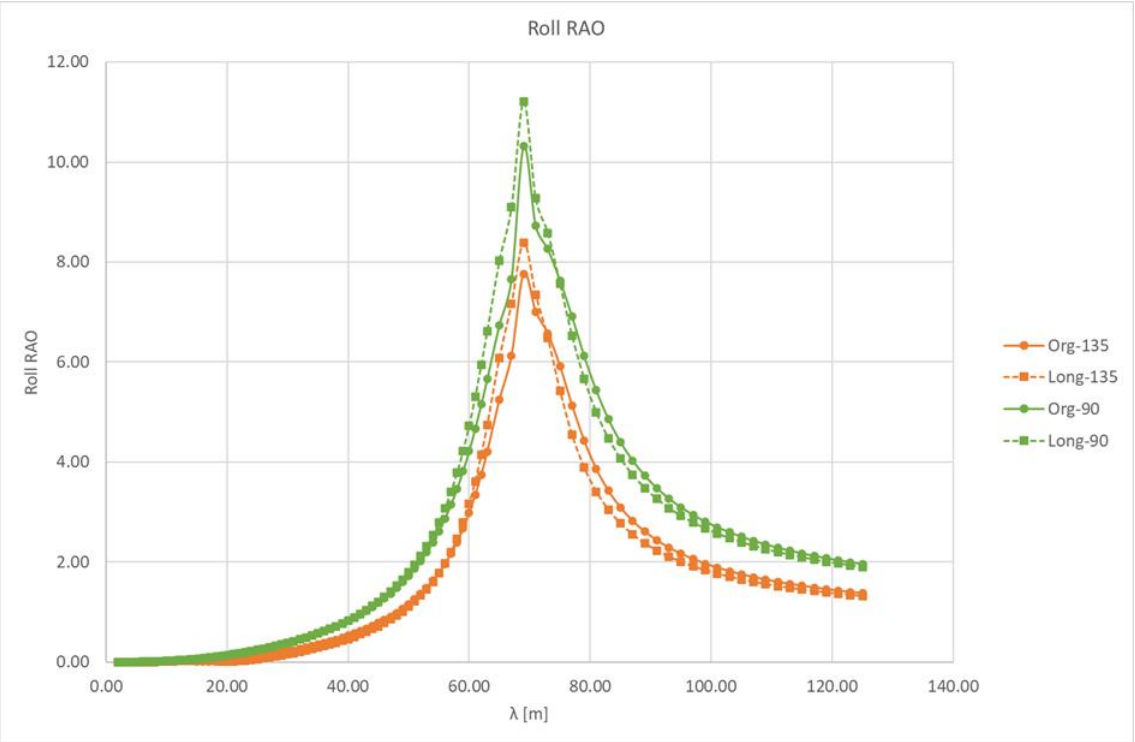
Σχήμα 6.8: Yaw RAO



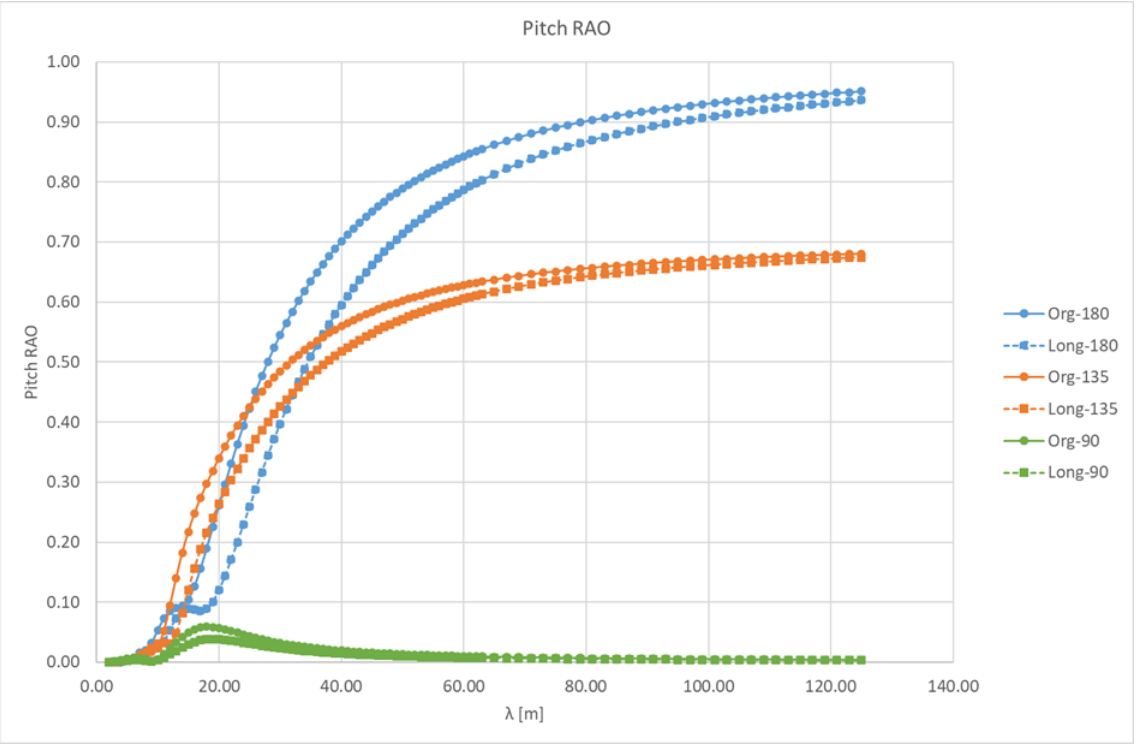
Σχήμα 6.4: Sway RAO



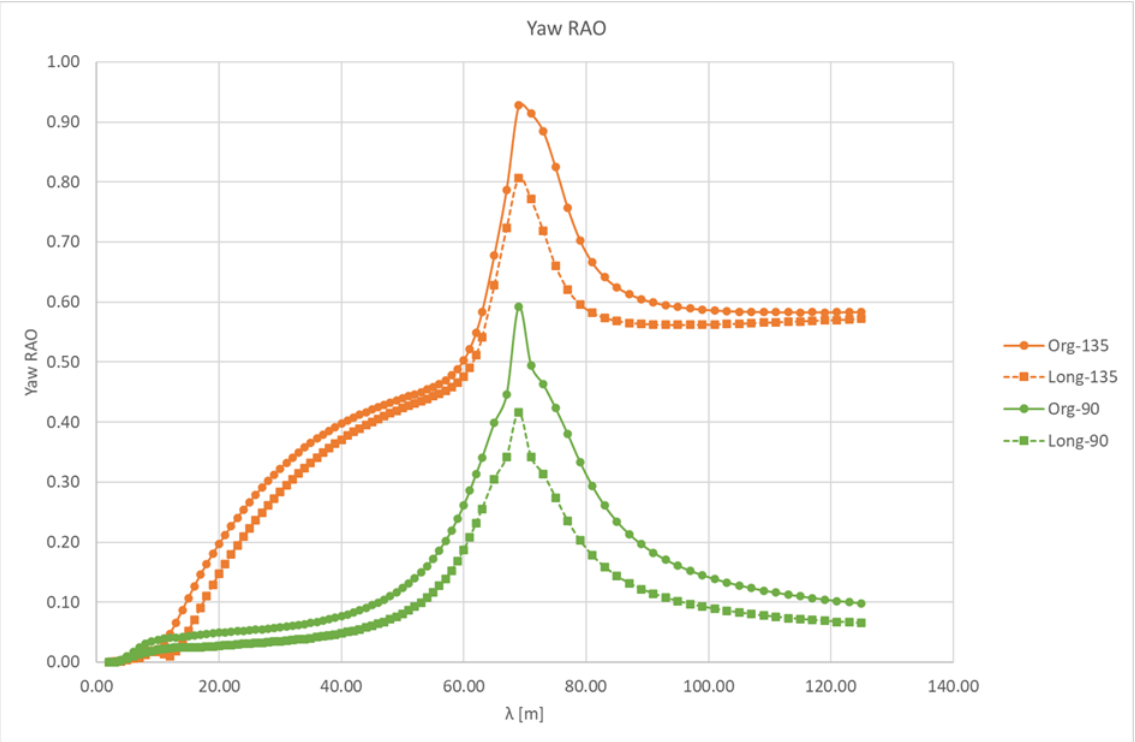
Σχήμα 6.5: Heave RAO



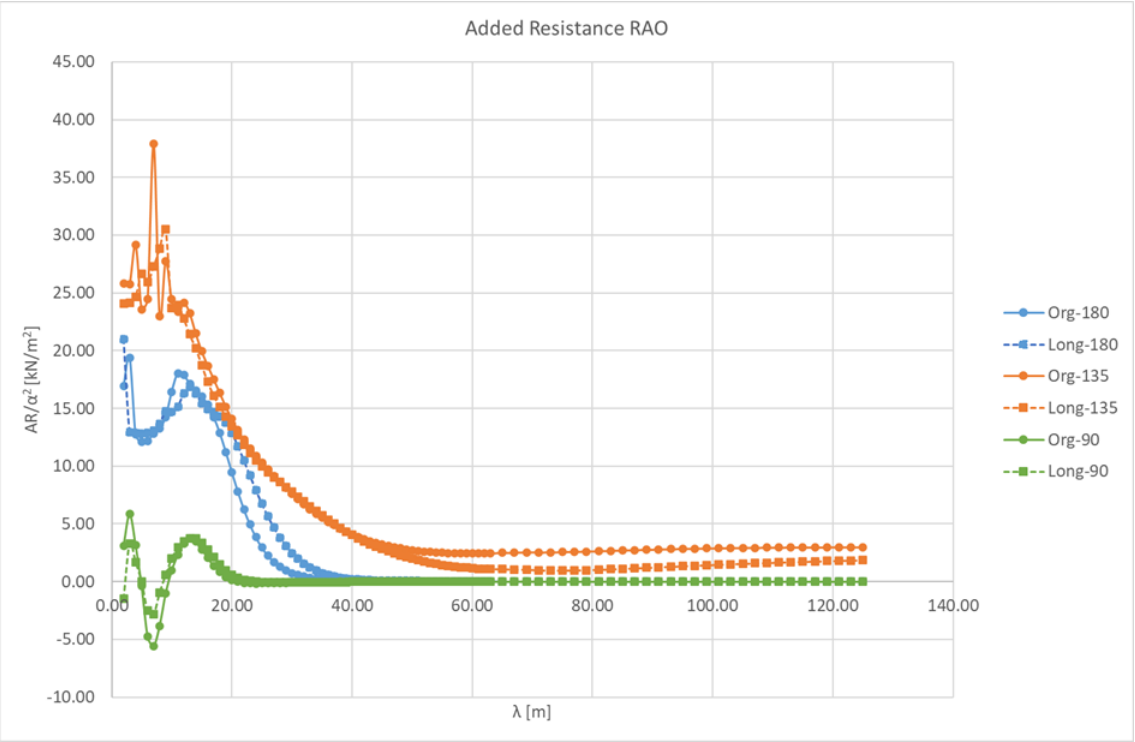
Σχήμα 6.6: Roll RAO



Σχήμα 6.7: Pitch RAO



Σχήμα 6.8: Yaw RAO



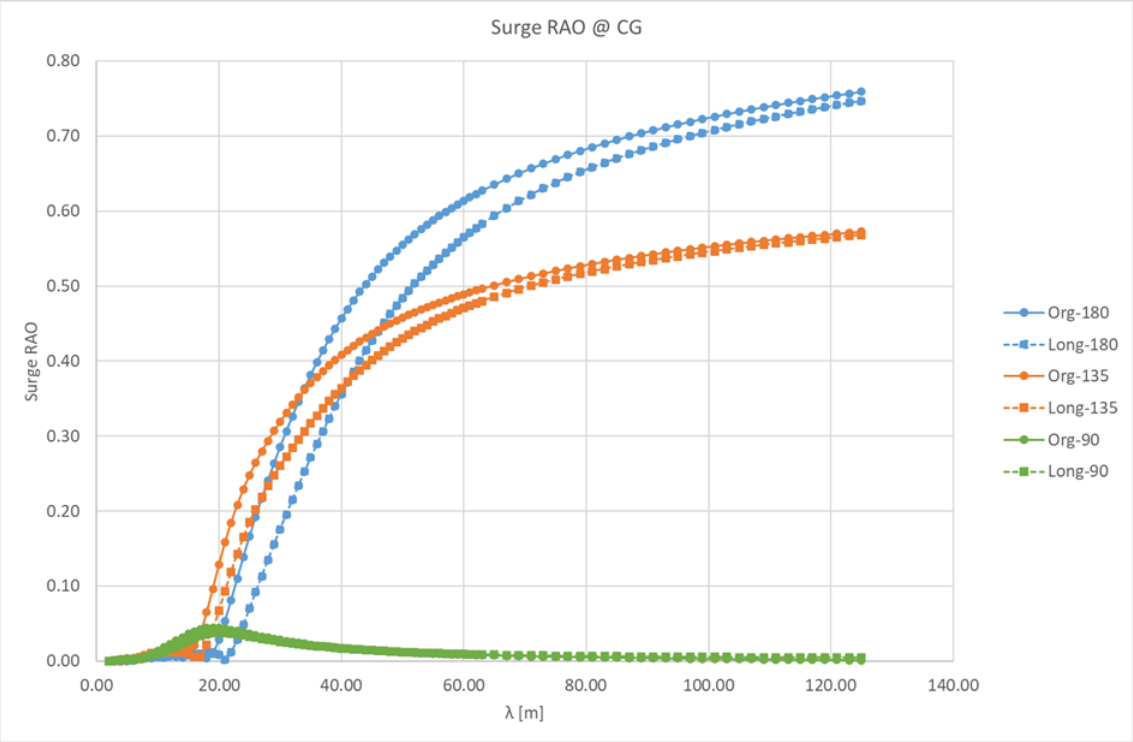
Σχήμα 6.9: Πρόσθετη αντίσταση

Ξεκινώντας από τη διαμήκη κίνηση του κέντρου βάρους (surge) φαίνεται ότι το νέο σκάφος εμφανίζει μικρότερες κινήσεις, για τις περιπτώσεις των κυματισμών με γωνία 180 και 135 μοιρών σε όλο το εύρος των κυμάτων που εξετάστηκαν. Για την περίπτωση των πλευρικών κυματισμών (90 μοίρες), οι αποκρίσεις είναι ουσιαστικά οι ίδιες και διατηρούν χαμηλές τιμές, όπως αναμένεται. Σχετικά με την εγκάρσια κίνηση του κέντρου βάρους (sway), για τους πλάγιους κυματισμούς (γωνία 90 μοιρών) δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή, ενώ για τη γωνία των 135 μοιρών το πλοίο μετά την επιμήκυνση εμφανίζει μικρότερες κινήσεις σε σχέση με το αρχικό. Για τη συγκεκριμένη περίπτωση, δεν εμφανίζονται τα αποτελέσματα για μετωπικούς κυματισμούς, καθώς η συμμετρία της γάστρας και του προβλήματος, οδηγεί σε μηδενισμό των εγκάρσιων κινήσεων. Σε ό,τι αφορά την κατακόρυφη κίνηση του κέντρου βάρους (heave) φαίνεται ότι οι αποκρίσεις του νέου πλοίου είναι σημαντικά μειωμένες σε σχέση με το υπάρχον, για τις διευθύνσεις 180 και 135 μοιρών. Για τους πλευρικούς κυματισμούς των 90 μοιρών, το νέο πλοίο εμφανίζει υψηλότερη απόκριση από το αρχικό, για μήκη κύματος άνω των 20 μέτρων και μέχρι τα 50m, ενώ για μήκη μικρότερα των 20 μέτρων ή μεγαλύτερα των 50 και τα δύο πλοία έχουν σχεδόν πανομοιότυπη συμπεριφορά στις αντίστοιχες περιπτώσεις. Σχετικά με την κίνηση διατοιχισμού (roll) για τη γωνία των 135 μοιρών και τη γωνία 90 μοιρών, η συμπεριφορά είναι ουσιαστικά πανομοιότυπη, με εξαίρεση την περιοχή του συντονισμού για μήκη κύματος 60-80m όπου η απόκριση είναι ελαφρά υψηλότερη για το νέο σκάφος. Για την περίπτωση του προνευτασμού (pitch) παρατηρείται συστηματικά μικρότερη απόκριση του νέου σκάφους, έναντι του υπάρχοντος για όλο

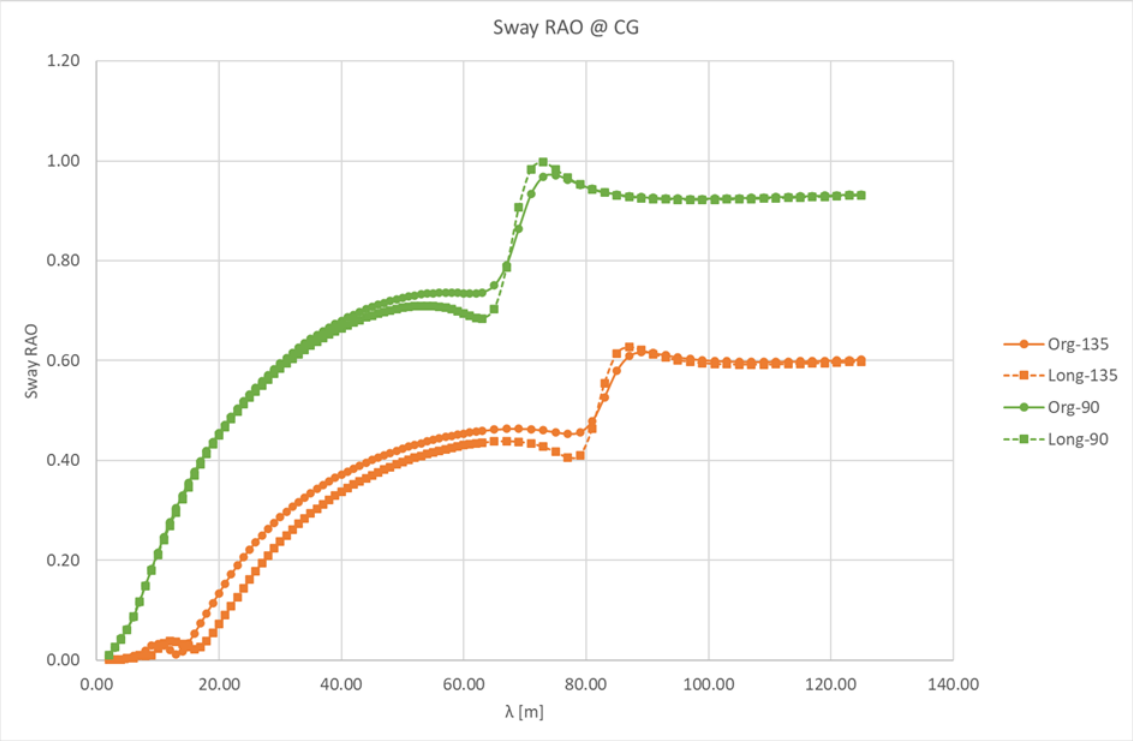
το εύρος των κυματισμών που εξετάστηκαν και τις διαφορετικές διευθύνσεις του κύματος. Όμοια συμπεριφορά παρατηρείται και για την περίπτωση της στροφικής ταλάντωσης γύρω από τον κατακόρυφο άξονα (yaw), όπου το νέο πλοίο εμφανίζει μικρότερη τιμή RAO για όλα τα εξεταζόμενα μήκη κύματος.

Η πρόσθετη αντίσταση λόγω κυματισμών για μετωπικούς και πλευρικούς κυματισμούς, για μήκη κύματος άνω των 30-35m φαίνεται να συγκλίνει στην ίδια τιμή. Για τα μικρότερα μήκη κύματος και μετωπικούς κυματισμούς, φαίνεται ότι για κύματα μέχρι 17m το νέο σκάφος έχει μικρότερη αντίσταση κυματισμού, ενώ για το εύρος 17-40m το νέο σκάφος έχει μεγαλύτερη αντίσταση κυματισμού. Αξίζει να σημειωθεί ότι και για τα δύο πλοία, η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού είναι μεγαλύτερη για τη γωνία κυματισμών των 135 μοιρών, καθώς οι εγκάρσιες κινήσεις οδηγούν σε αυξημένη αντίσταση, συγκριτικά με την περίπτωση των μετωπικών κυματισμών. Δεδομένου ότι στο νέο σκάφος οι κινήσεις είναι γενικά μειωμένες, φαίνεται ότι και η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού είναι μειωμένη για όλο το εύρος μηκών κύματος που εξετάστηκαν για τη γωνία των 135 deg.

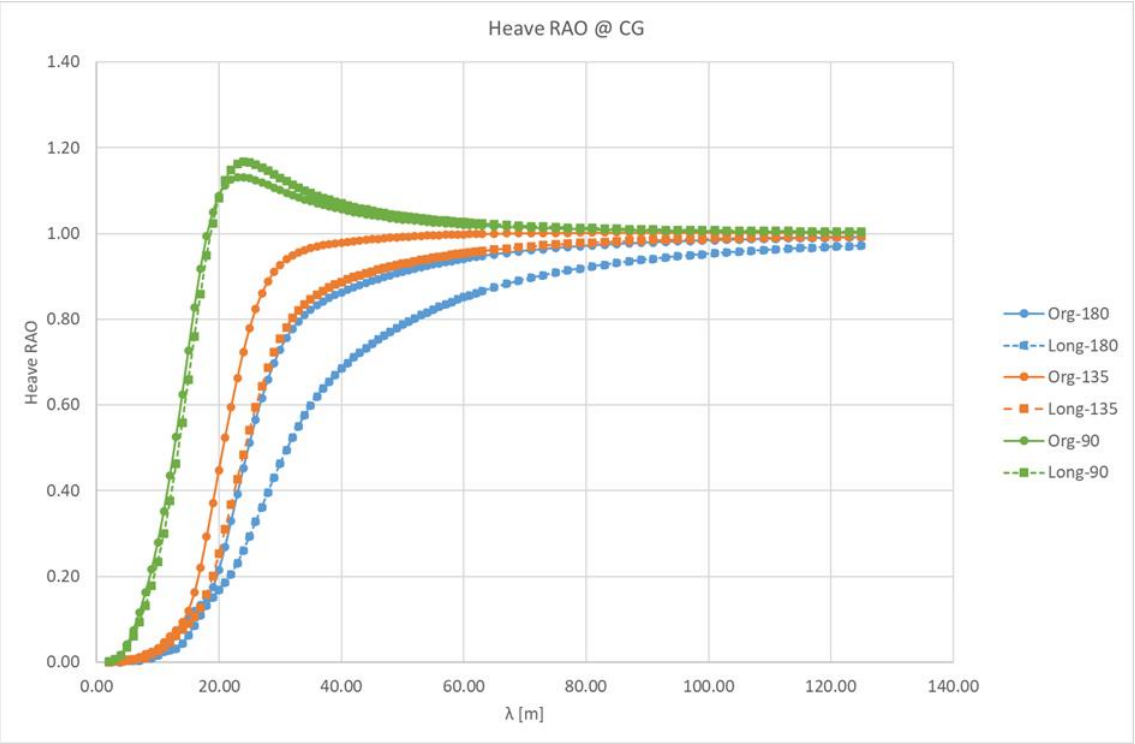
6.4.2 Ταχύτητα Vs=3kn



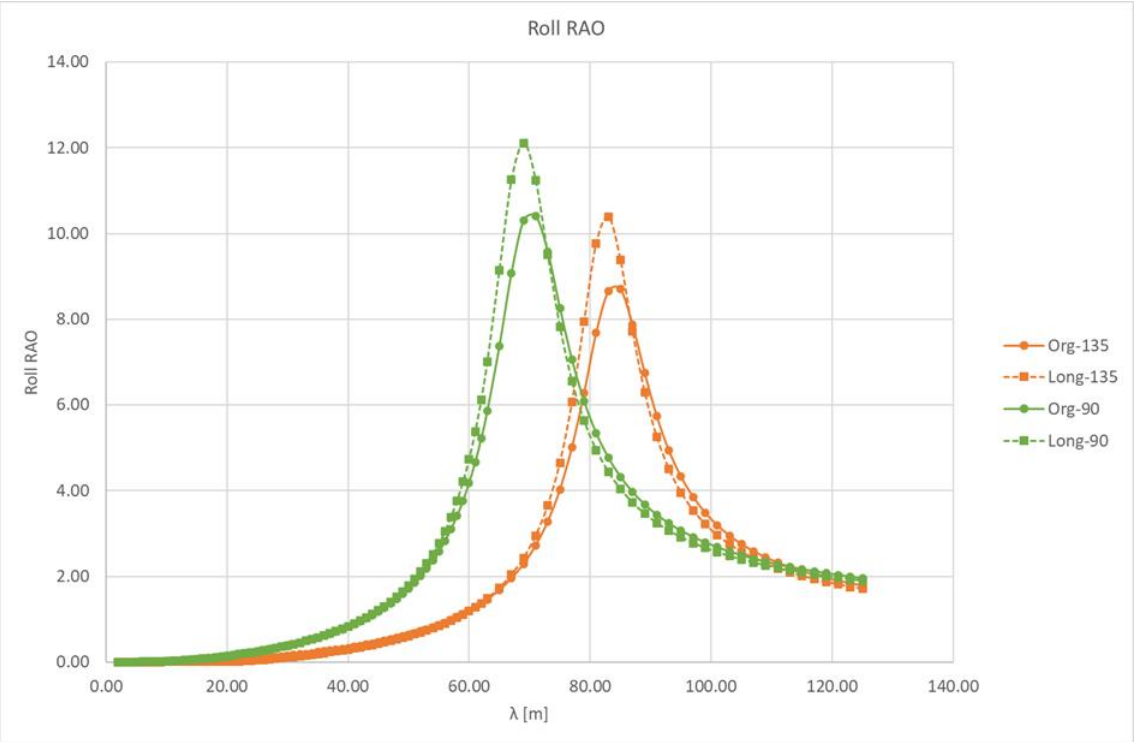
Σχήμα 6.10: Surge RAO



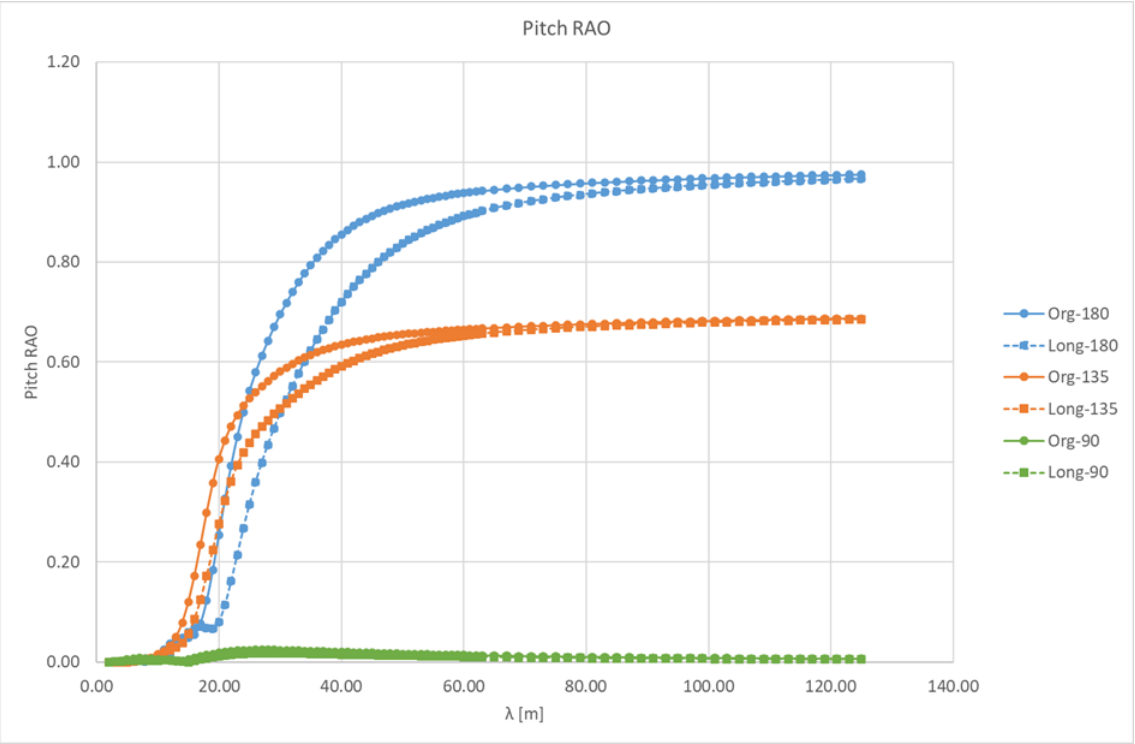
Σχήμα 6.11: Sway RAO



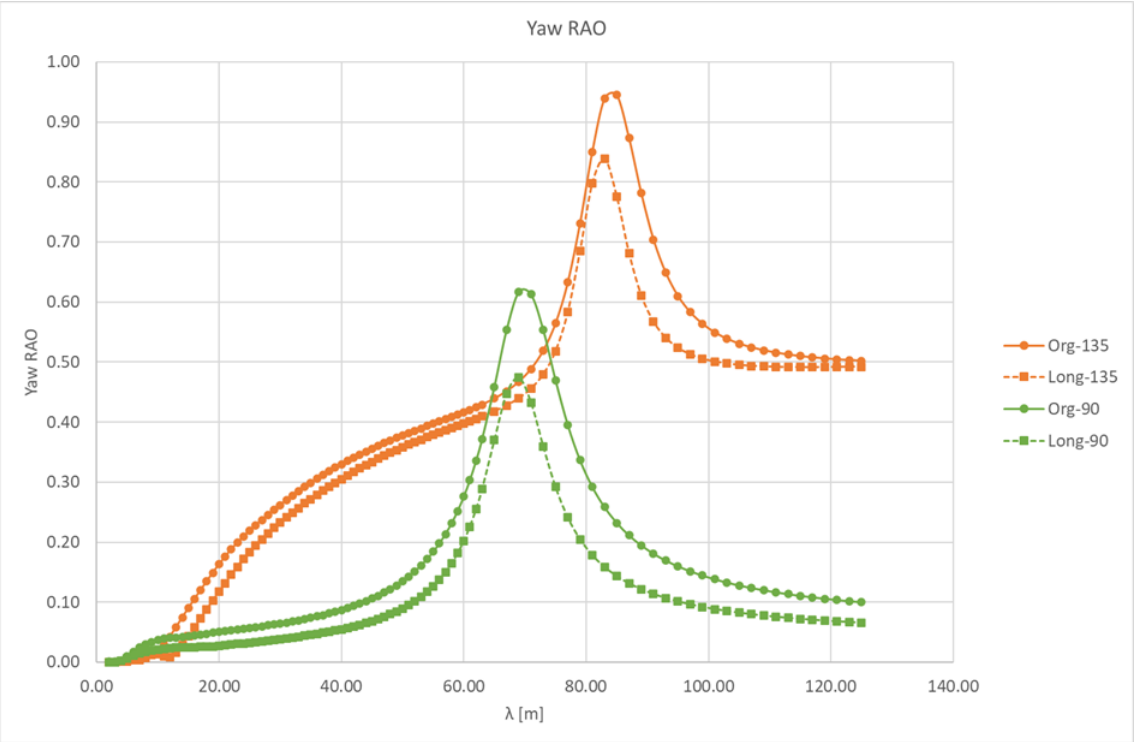
Σχήμα 6.12: Heave RAO



Σχήμα 6.13: Roll RAO



Σχήμα 6.14: Pitch RAO

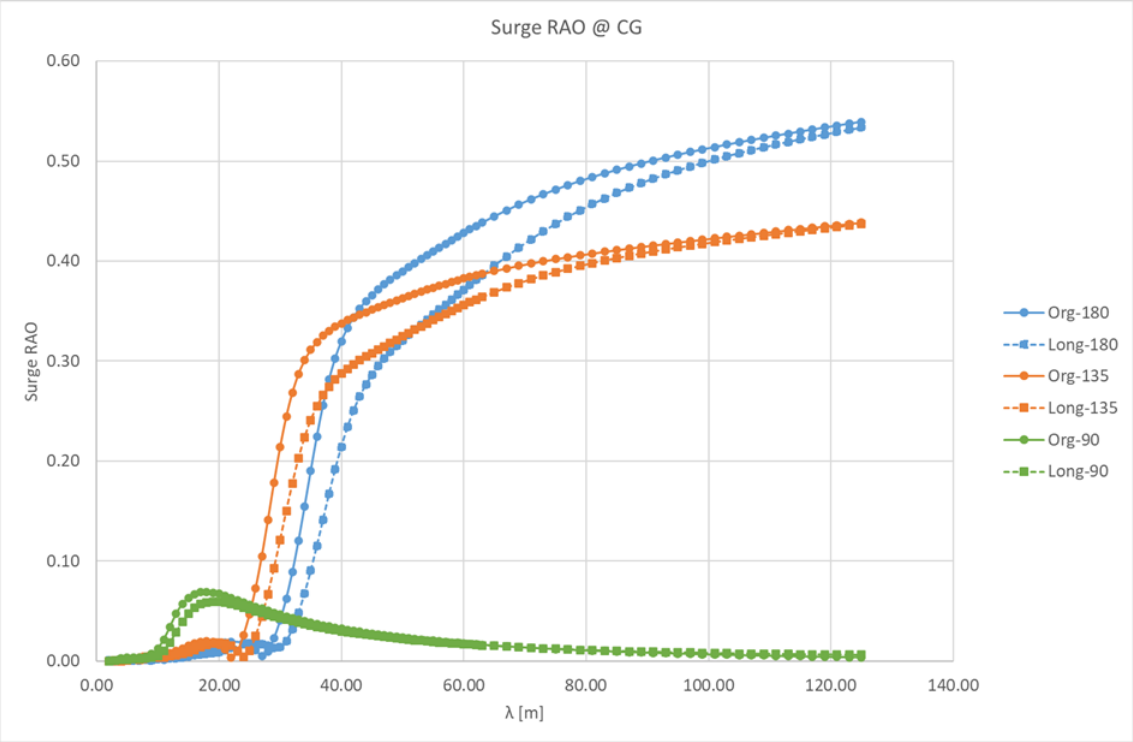


Σχήμα 6.15: Yaw RAO

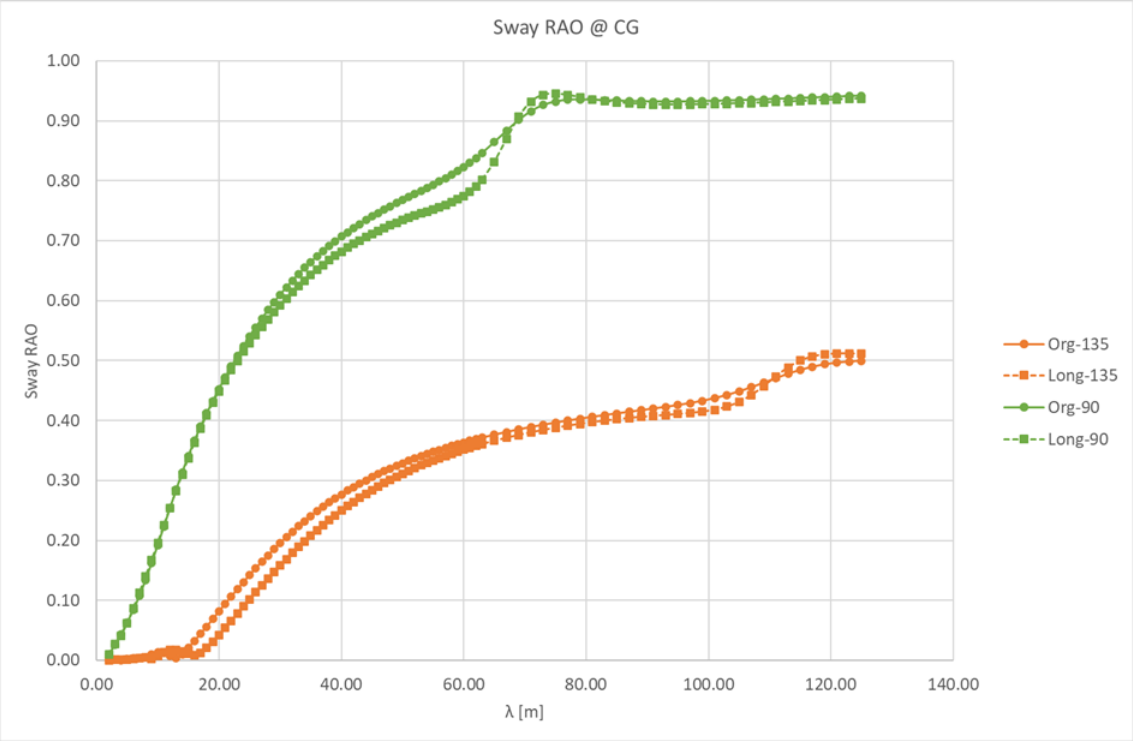
Σχήμα 6.16: Πρόσθετη αντίσταση

Με βάση τα αποτελέσματα για την ταχύτητα των 3kn, φαίνεται ότι η σύγκριση των αποκρίσεων ως προς τις κινήσεις παραμένει η ίδια, με συστηματικά χαμηλότερες κινήσεις του νέου πλοίου έναντι του αρχικού, με εξαίρεση τις κινήσεις heave για την περίπτωση των πλευρικών κυματισμών στις 90 μοίρες, όπου οι κινήσεις heave του επιμηκυμένου πλοίου είναι οριακά αυξημένες σε σχέση με τις αποκρίσεις του αρχικού πλοίου και για την κίνηση roll για τα κύματα 90 και 135 μοιρών. Ποιοτικές διαφορές παρατηρούνται για την περίπτωση της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού, όπου η μικρή πρόσω ταχύτητα αλλάζει την εικόνα, οδηγώντας σε περίπου ίδιο εύρος τιμών για την περίπτωση των μετωπικών κυματισμών και των κυματισμών στις 135 μοίρες. Ωστόσο και πάλι το νέο πλοίο εμφανίζει σταθερά μικρότερες τιμές της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού, με τις διαφορές να είναι άλλοτε ιδιαίτερα σημαντικές, άλλοτε οριακές ανάλογα με το μήκος κύματος και τη γωνία πρόσπτωσης.

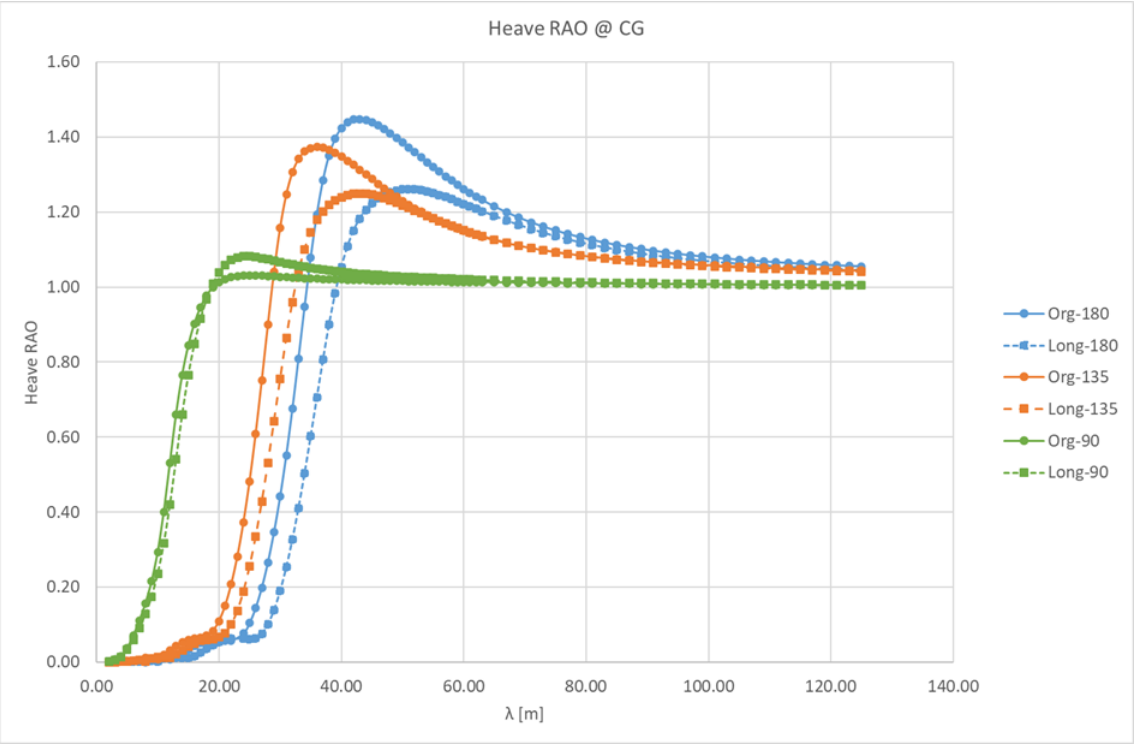
6.4.3 Ταχύτητα Vs=10kn



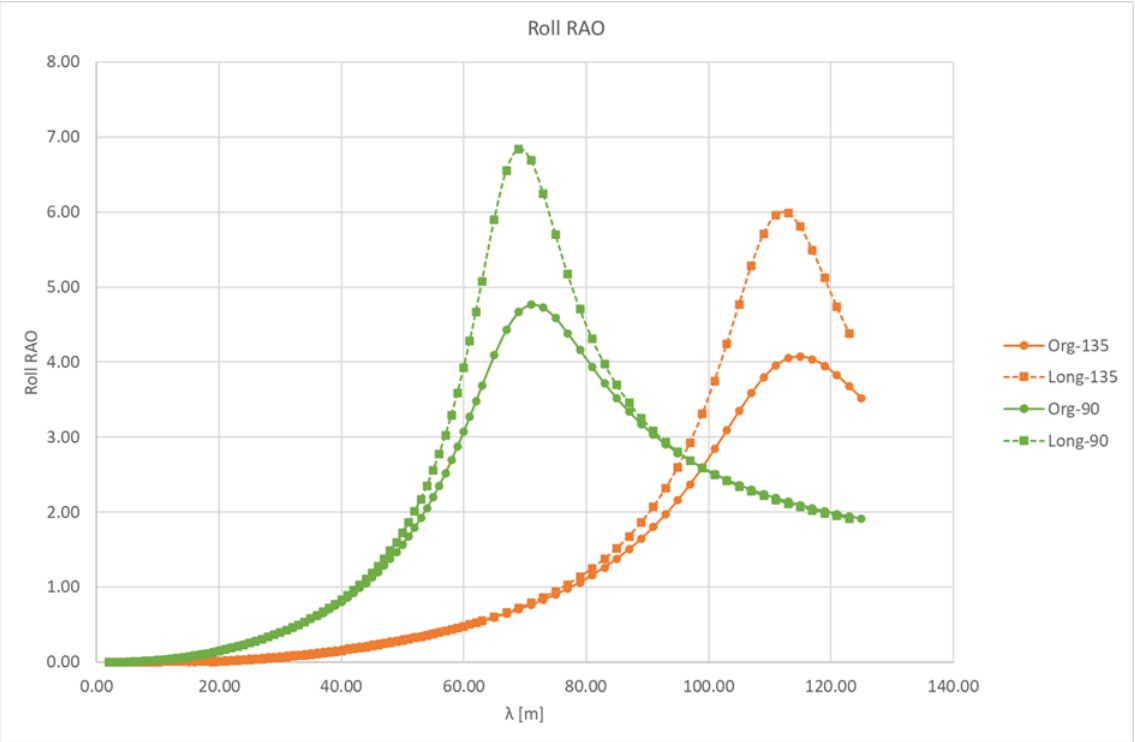
Σχήμα 6.17: Surge RAO



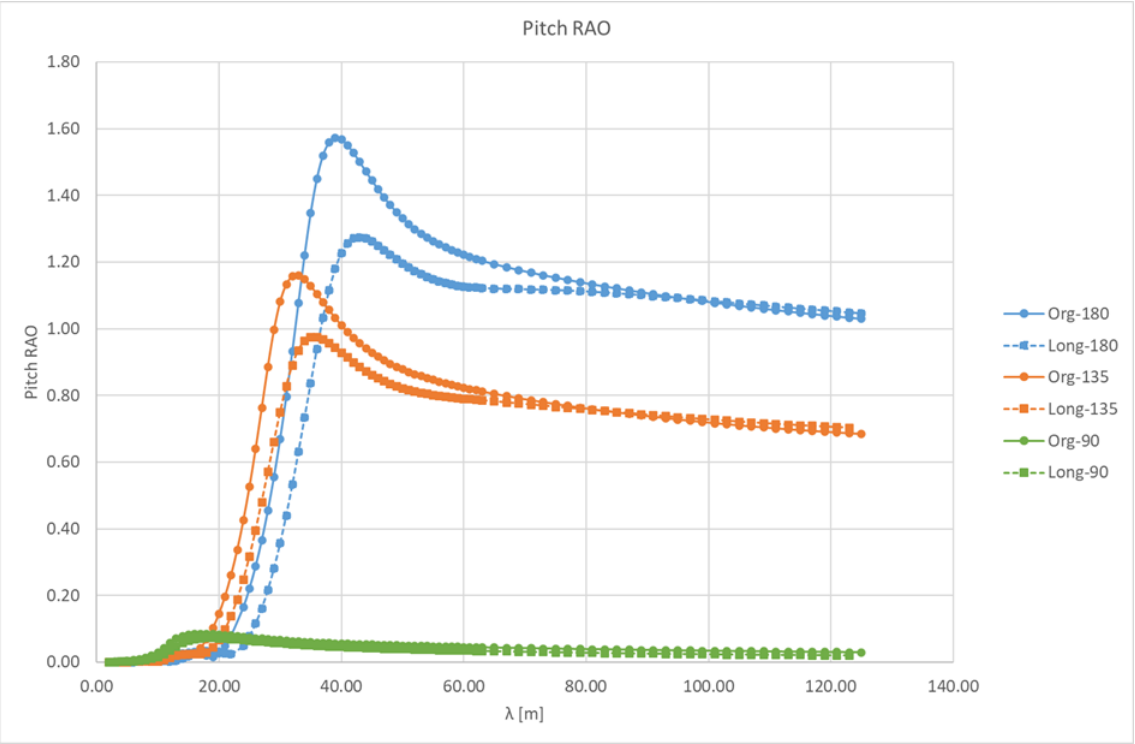
Σχήμα 6.18: Sway RAO



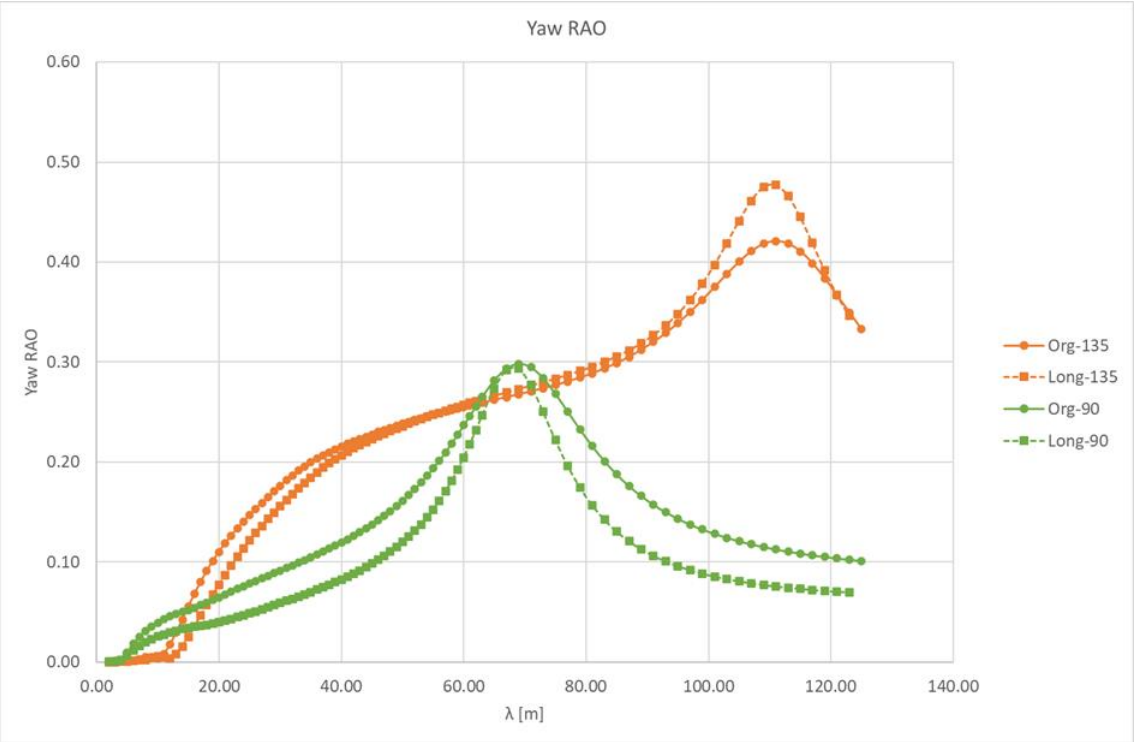
Σχήμα 6.19: Heave RAO



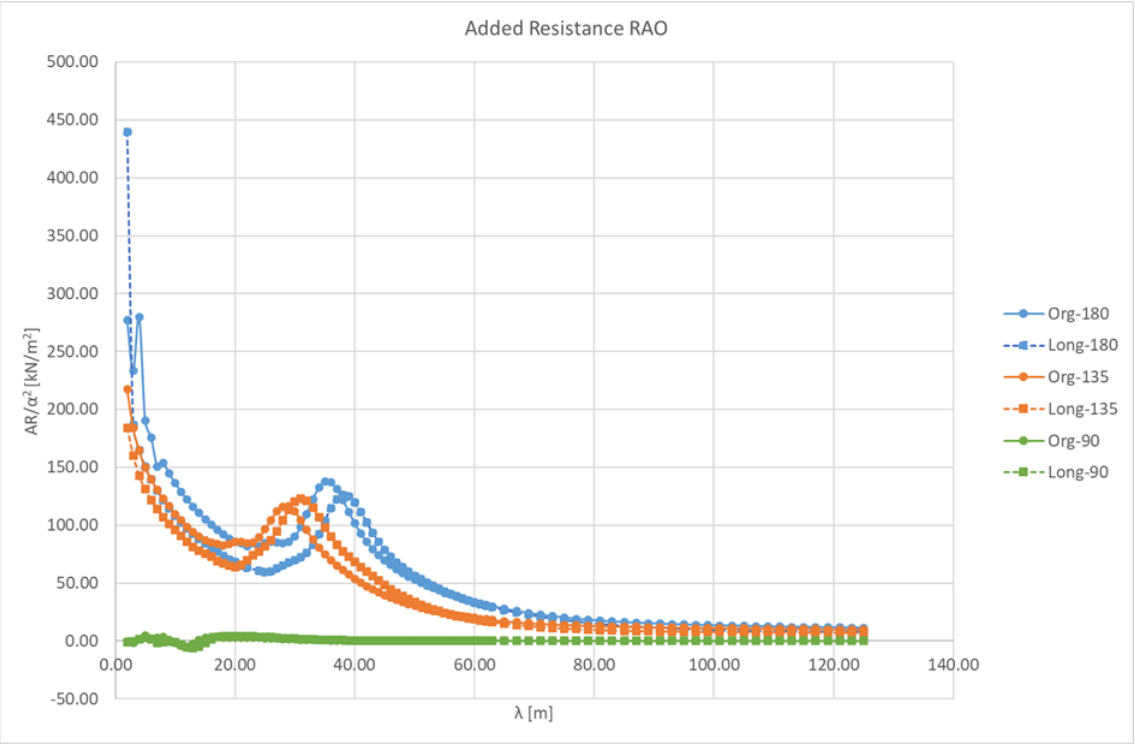
Σχήμα 6.20: Roll RAO



Σχήμα 6.21: Pitch RAO



Σχήμα 6.22: Yaw RAO



Σχήμα 6.23: Πρόσθετη αντίσταση

Ξεκινώντας από τη διαμήκη κίνηση του κέντρου βάρους (surge) φαίνεται ότι το νέο σκάφος εμφανίζει μικρότερες κινήσεις, για τις γωνίες πρόσπτωσης των 180 και 135 μοιρών, σε όλο το εύρος των μηκών κύματος που εξετάστηκαν. Για την περίπτωση των πλευρικών κυματισμών (90 μοίρες), παρατηρείται όμοια συμπεριφορά στα χαμηλότερα μήκη κύματος, ενώ στα μεγαλύτερα μήκη οι αποκρίσεις των δύο πλοίων είναι ίδιες και έχουν πολύ χαμηλή τιμή, όπως αναμενόταν. Σχετικά με την εγκάρσια κίνηση του κέντρου βάρους (sway), παρατηρείται και πάλι συστηματικά χαμηλότερη απόκριση του επιμηκυμένου πλοίου, συγκριτικά με το αρχικό, ενώ για τα μήκη κύματος που είναι μικρότερα του μήκους του σκάφους, η συμπεριφορά των δύο πλοίων είναι αρκετά όμοια. Σε ό,τι αφορά την κατακόρυφη κίνηση του κέντρου βάρους (heave) φαίνεται ότι και πάλι οι αποκρίσεις του νέου πλοίου είναι μειωμένες σε σχέση με το υπάρχον, για τις διευθύνσεις 180 και 135 μοιρών. Για τους πλευρικούς κυματισμούς των 90 μοιρών, η συμπεριφορά είναι ανεστραμμένη για μήκη κύματος άνω των 18 μέτρων, όπου το νέο πλοίο εμφανίζει μια μεγαλύτερη κορυφή και στη συνέχεια παραμένει σε μεγαλύτερες τιμές συγκριτικά με το αρχικό πλοίο. Σχετικά με την κίνηση διατοιχισμού (roll) η συμπεριφορά είναι όμοια με την αντίστοιχη που φάνηκε στις προηγούμενες δύο περιπτώσεις. Για την περίπτωση του προνευτασμού (pitch) παρατηρείται συστηματικά μικρότερη απόκριση του νέου σκάφους, έναντι του υπάρχοντος για όλο το εύρος των κυματισμών που εξετάστηκαν και τις διαφορετικές διευθύνσεις του κύματος. Όμοια συμπεριφορά παρατηρείται και για την περίπτωση της στροφικής ταλάντωσης γύρω από τον κατακόρυφο άξονα (yaw), όπου το νέο πλοίο εμφανίζει μικρότερη τιμή RAO για όλα τα εξεταζόμενα

κύματα, με εξαίρεση τους κυματισμούς μήκους άνω των 60m για την περίπτωση κυμάτων άνω των 135 μοιρών.

Σχετικά με την πρόσθετη αντίσταση κυματισμού, φαίνεται ότι το επιμηκυμένο πλοίο έχει μικρότερες τιμές για τα μικρότερα μήκη κύματος (μέχρι τα 30 μέτρα για τις 135 μοίρες και μέχρι τα 38 μέτρα για τις 180), και μεγαλύτερες τιμές για κύματα από 30 μέχρι και 50 μέτρα (135 μοίρες) ή από 38 μέχρι 55 μέτρα (180 μοίρες). Για ακόμη μεγαλύτερα μήκη κύματος, τα δύο πλοία παρουσιάζουν ουσιαστικά ταυτόσημη συμπεριφορά. Αξίζει να σημειωθεί ότι για την υψηλότερη ταχύτητα οι τιμές της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού για τις 180 μοίρες είναι σε γενικές γραμμές ψηλότερες από τις αντίστοιχες για τις 135 μοίρες, σε αντίθεση με τη συμπεριφορά που παρουσιάστηκε για τη μηδενική ταχύτητα. Για τους πλευρικούς κυματισμούς των 90 μοιρών, η πρόσθετη αντίσταση κυματισμούς είναι ουσιαστικά μηδενική και στις δύο περιπτώσεις.

6.5 Αποτελέσματα Φασματικής Ανάλυσης

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, κρίθηκε σκόπιμη η σύγκριση των δύο πλοίων σε περιβάλλον μη-αρμονικών κυματισμών, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν πιο ρεαλιστικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκαν κάποια σημεία πάνω στο πλοίο για τα οποία είναι ενδιαφέρουσα η εκτίμηση των επιταχύνσεων, ώστε να συγκριθεί η συμπεριφορά του πλοίου πριν και μετά την επιμήκυνση σε αντιπροσωπευτικές περιοχές του πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη ένα ρεαλιστικό θαλάσσιο περιβάλλον.

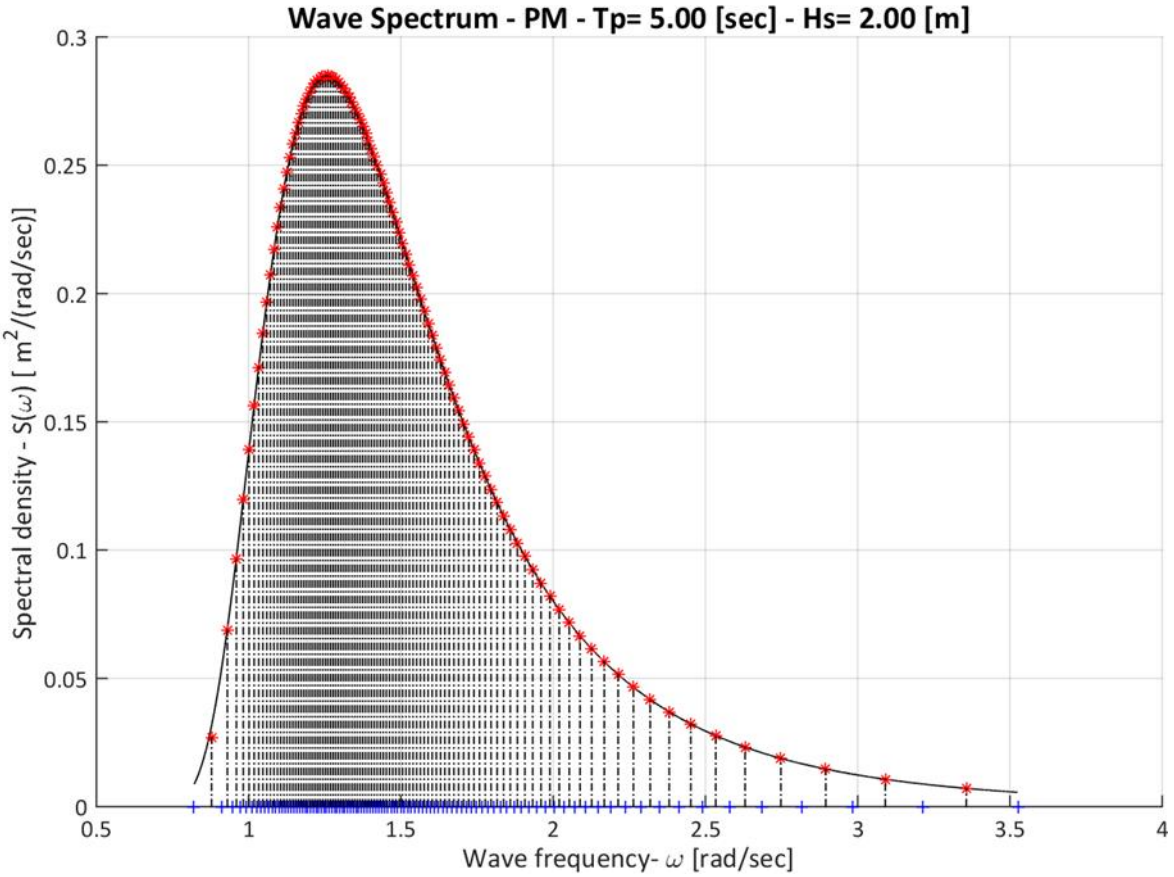
Στη δεδομένη προσέγγιση, τα μη αρμονικά κύματα αντιπροσωπεύονται από ένα ιδεατό, μαθηματικό φάσμα δύο παραμέτρων, του σημαντικού ύψους κύματος H_s και της περιόδου κορυφής T_P. Υποθέτοντας γραμμικότητα του συστήματος αλληλεπίδρασης πλοίου-θάλασσας, τα μη- αρμονικά κύματα μπορούν να θεωρηθούν ως υπέρθεση γραμμικών, αρμονικών κυματισμών και ταυτόχρονα θεωρείται ότι η ολική απόκριση του πλοίου είναι η υπέρθεση των αποκρίσεων στον εκάστοτε αρμονικό κυματισμό.

Για τον υπολογισμό του φάσματος απόκρισης, το αρχικό φάσμα του κυματισμού διακριτοποιείται σε έναν αριθμό αρμονικών κυματισμών, η υπέρθεση των οποίων δίνει μια αντιπροσωπευτική αναπαράσταση της πραγματικής κατάστασης της θάλασσας. Κάθε αρμονικό κύμα χαρακτηρίζεται από μία περιοχή μεταξύ διαδοχικών μπλε σημείων, όπως φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα. Για τη συγκεκριμένη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν 80 κύματα για τη διακριτοποίηση του συνεχούς φάσματος κυματισμού. Παρατηρείται ότι περισσότερα κύματα είναι συγκεντρωμένα γύρω από την συχνότητα κορυφής, καθώς επιλέχθηκε η ισεμβαδική διακριτοποίηση του φάσματος, όπου το κάθε αρμονικό κύμα μεταφέρει την ίδια ενέργεια, η οποία αποτελεί το 1/80 της ολικής ενέργειας κάτω από το φάσμα. Με αυτή τη διαδικασία, η απόκριση σε κάθε χαρακτηριστικό αρμονικό κύμα, μπορεί να υπολογιστεί και συνεπώς ο συνδυασμός των αποκρίσεων μπορεί να αποτυπωθεί σε ένα φάσμα απόκρισης. Φυσικά, για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η διαδικασία, οι αποκρίσεις σε αρμονικούς κυματισμούς πρέπει να έχουν υπολογιστεί εκ των προτέρων με κάποιο λογισμικό όπως το NEWDRIFT, στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Συνεπώς, το NEWDRIFT χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόκρισης σε αρμονικά κύματα, με μήκη κύματος που να καλύπτουν όλη την περιοχή από κοντά έως μακριά κύματα (ως προς το μήκος του πλοίου). Οι υπολογισμοί αυτοί πραγματοποιούνται για μηδενική και μη-μηδενική πρόσω ταχύτητα και για τις σχετικές γωνίες πλοίου-κύματος, που εξετάστηκαν. Για κάθε αρμονικό κυματισμό, υπολογίζονται οι οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις για κάθε σημείο ενδιαφέροντος και υπολογίζεται ο συντελεστής απόκρισης RAO για κάθε κίνηση και σημείο ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια και ανάλογα με τη διακριτοποίηση του φάσματος κυματισμού, οι τιμές των RAO για κάθε σημείο παρεμβάλλονται με βάση τις συχνότητες συνάντηση ω_e και η τιμή του φάσματος απόκρισης υπολογίζεται ως:

$$S_{mot}(\omega_e) = (RAO(\omega_e)^2) * S_{enc}(\omega_e)$$

Όπου ω_e [rad/s] είναι η συχνότητα συνάντησης, S_{enc} [m^2/(rad/sec)] είναι η τιμή του φάσματος συνάντησης, S_{mot} [m^2/(rad/sec)] είναι η τιμή του φάσματος απόκρισης και RAO είναι η τιμή του συντελεστή απόκρισης για κάθε αρμονικό κύμα.



Σχήμα 6.24: Φάσμα κυματισμού Pierson-Moscowitz H_s=2.0m & T_P=5.0sec

Αξιοποιώντας κλασικές τεχνικές φασματικής ανάλυσης πάνω στο φάσμα απόκρισης μπορούν να υπολογιστούν τα βασικά χαρακτηριστικά της απόκρισης. Η σημαντικότερη παράμετρος είναι η τιμή RMS, η οποία μπορεί να υπολογιστή μέσω ολοκλήρωσης του εμβαδού ή της ροπής κάτω από την καμπύλη του φάσματος απόκρισης, ως εξής:

$$m_k = \int \omega_e^k S(\omega_e) d\omega_e$$

Όπου m_k είναι η φασματική ροπή k τάξης.

Οι τιμές RMS για μετατοπίσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις μπορούν να υπολογιστούν θέτοντας k=0, 2, 4 αντίστοιχα, στην επόμενη σχέση:

$$RMS = \sqrt{m_k}$$

Η μέγιστη επιτάχυνση στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τις RMS τιμές της επιτάχυνσης, πολλαπλασιασμένης με ένα συντελεστή ίσο με 3.0, σύμφωνα με τον IMO HSC 2000 Annex 9. Οπότε, οι μέγιστες επιταχύνσεις μπορούν να υπολογιστούν ως:

$$maxacc_{hor} = 3 * \sqrt{RMSacc_x^2 + RMSacc_y^2}$$

$$maxacc_{vert} = 3 * RMSacc_z$$

Η σύγκριση των τιμών των μέγιστων επιταχύνσεων σε κάθε σημείο ενδιαφέροντος, μπορούν να δώσουν μια εκτίμηση της ποιότητας της συμπεριφοράς του πλοίου πριν και μετά την μετασκευή υπό την επίδραση θαλάσσιων κυματισμών.

Αντίστοιχη ανάλυση γίνεται για τον υπολογισμό της μέσης πρόσθετης αντίστασης κυματισμού, ανά φάσμα, ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία φασματικής ανάλυσης. Συγκεκριμένα, η μέση πρόσθετη αντίσταση κυματισμού υπολογίζεται ως:

$$meanAR = 2 * \int RAO_{AR}(\omega_e) * S(\omega_e) d\omega_e$$

Για τη μελέτη επιλέχθηκαν 4 συνδυασμοί παραμέτρων φάσματος, για την αναπαράσταση διαφορετικών καταστάσεων θάλασσας από αρκετά ήπιες μέχρι και σχετικά πιο έντονες. Ο συνδυασμός παραμέτρων σημαντικού ύψους κύματος H_s και περιόδου κορυφής T_P φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

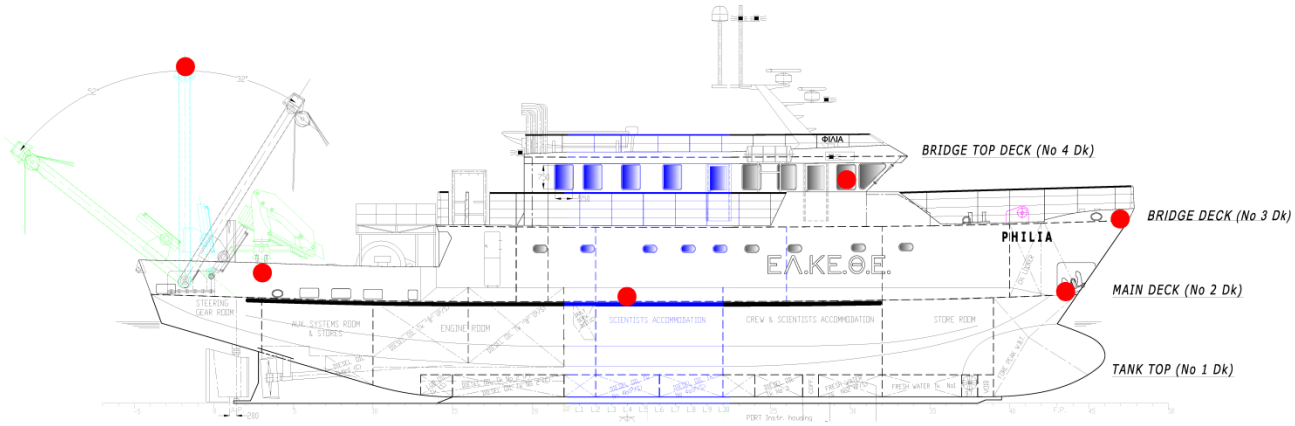
Πίνακας 6.3: Φασματικές παράμετροι

Spectrum Pierson-Moscowitz	H_s [m]	T_p [sec]
1	1.00	3.00
2	1.50	4.00
3	2.00	5.00
4	3.00	6.00

Τα σημεία ενδιαφέροντος καθορίστηκαν με βάση το GA του πλοίου και οι συντεταγμένες τους συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα. Σημειώνεται ότι οι συντεταγμένες υπολογίζονται με σημείο αναφοράς την τομή της βασικής γραμμής αναφοράς με την πρυμναία κάθετο, συνεπώς τα αντίστοιχα σημεία ενδιαφέροντος στο πλοίο πριν και μετά την επιμήκυνση έχουν κοινά σημεία αναφοράς για τις συντεταγμένες y και z, ενώ οι συντεταγμένες x αλλάζουν μόνο για σημεία πρώραθεν του πρυμναίου άκρου του νέου προστιθέμενος τμήματος.

Πίνακας 6.4: Συντεταγμένες σημείων ενδιαφέροντος για τη φασματική ανάλυση

Description	ID	x-Philia [m]	x-Long [m]	y [m]	z [m]
Bow/ Deck 3	1	22.80	27.80	0.00	5.75
Bow/ Deck 2	2	21.10	26.10	0.00	3.20
Bridge (side)	3	14.20	19.20	1.70	7.00
Midship/Deck 2	4	10.29	12.79	0.00	3.20
Aft Crane	5	0.75	0.75	1.80	3.20
A-frame (top)	6	-1.62	-1.62	0.00	10.6



Σχήμα 6.25: Σημεία ενδιαφέροντος στο επιμηκυμένο πλοίο

Για κάθε σημείο υπολογίζονται οι μέγιστες επιταχύνσεις σε κάθε φάσμα κυματισμού και συγκρίνονται οι τιμές τους πριν και μετά τη μετασκευή. Πρέπει να τονιστεί ότι στη δεδομένη φάση των υπολογισμών, η δυνατότητα επίτευξης των ταχυτήτων 3kn και 10kn, υπό τις συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες και της συνεπαγόμενης αυξημένης απαίτησης ισχύος, λόγω της πρόσθετης αντίστασης κυματισμών, δεν εξετάζεται και θεωρείται δεδομένο ότι η εγκατάσταση ισχύος μπορεί να πετύχει τις συγκεκριμένες ταχύτητες και για τα δύο πλοία, σε όλες τις συνθήκες καιρού.

Στα αποτελέσματα που ακολουθούν παρουσιάζονται για κάθε φάσμα και ταχύτητα πλοίου τα αποτελέσματα για τις μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες επιταχύνσεις, ως κλάσμα της επιτάχυνσης της βαρύτητας (g), για κάθε σημείο ενδιαφέροντος. Στα αποτελέσματα, όταν οι επιταχύνσεις είναι μειωμένες στο νέο πλοίο συγκριτικά με το υπάρχον, αποδίδεται ένα πράσινο σημείο στη διαφορά, ενώ το κόκκινο σημείο υποδεικνύει αυξημένες επιταχύνσεις συγκριτικά με το υπάρχον. Αντίστοιχα αποτελέσματα δίνονται και για τη μέση πρόσθετη αντίσταση κυματισμού, όπου το πράσινο σημείο υποδεικνύει μείωση της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού.

6.5.1 Κυματισμοί 180deg

Point	Spectrum	Hs=1.0	Tp=3.0			
	Vs	0kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.029	0.020	-31.03%	0.221	0.155	-29.86%
2	0.014	0.007	-50.00%	0.198	0.141	-28.79%
3	0.045	0.030	-33.33%	0.108	0.086	-20.37%
4	0.014	0.007	-50.00%	0.061	0.040	-34.43%
5	0.014	0.007	-50.00%	0.900	0.076	-91.56%
6	0.093	0.094	1.08%	0.120	0.094	-21.67%

Point	Spectrum	Hs=1.0	Tp=3.0			
	Vs	3kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.035	0.025	-28.57%	0.232	0.160	-31.03%
2	0.011	0.007	-36.36%	0.208	0.146	-29.81%
3	0.053	0.035	-33.96%	0.110	0.088	-20.00%
4	0.011	0.007	-36.36%	0.060	0.038	-36.67%
5	0.011	0.007	-36.36%	0.103	0.079	-23.30%
6	0.106	0.066	-37.74%	0.136	0.099	-27.21%

Point	Spectrum	Hs=1.0	Tp=3.0			
	Vs	10kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.041	0.030	-26.83%	0.201	0.146	-27.36%
2	0.008	0.009	12.50%	0.178	0.132	-25.84%
3	0.058	0.041	-29.31%	0.086	0.072	-16.28%
4	0.008	0.009	12.50%	0.043	0.026	-39.53%
5	0.008	0.009	12.50%	0.114	0.097	-14.91%
6	0.108	0.073	-32.41%	0.146	0.117	-19.86%

Point	Spectrum	Hs=1.5	Tp=4.0			
	Vs	0kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.042	0.030	-28.57%	0.397	0.294	-25.94%
2	0.056	0.035	-37.50%	0.356	0.268	-24.72%
3	0.062	0.043	-30.65%	0.198	0.167	-15.66%
4	0.056	0.035	-37.50%	0.118	0.082	-30.51%
5	0.056	0.035	-37.50%	0.166	0.138	-16.87%
6	0.140	0.093	-33.57%	0.217	0.172	-20.74%

Point	Spectrum	Hs=1.5	Tp=4.0			
	Vs	3kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.068	0.046	-32.35%	0.593	0.433	-26.98%
2	0.054	0.034	-37.04%	0.532	0.394	-25.94%
3	0.110	0.072	-34.55%	0.290	0.242	-16.55%
4	0.054	0.034	-37.04%	0.177	0.117	-33.90%
5	0.054	0.034	-37.04%	0.288	0.218	-24.31%
6	0.242	0.152	-37.19%	0.368	0.269	-26.90%

Point	Spectrum	Hs=1.5	Tp=4.0			
	Vs	10kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.129	0.083	-35.66%	0.856	0.613	-28.39%
2	0.042	0.026	-38.10%	0.762	0.554	-27.30%
3	0.200	0.127	-36.50%	0.403	0.326	-19.11%
4	0.042	0.026	-38.10%	0.261	0.166	-36.40%
5	0.042	0.026	-38.10%	0.520	0.404	-22.31%
6	0.407	0.254	-37.59%	0.644	0.483	-25.00%

Point	Spectrum	Hs=2.0	Tp=5.0			
	Vs	0kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.061	0.047	-22.95%	0.494	0.394	-20.24%
2	0.102	0.075	-26.47%	0.445	0.359	-19.33%
3	0.070	0.051	-27.14%	0.252	0.225	-10.71%
4	0.102	0.075	-26.47%	0.161	0.118	-26.71%
5	0.102	0.075	-26.47%	0.228	0.201	-11.84%
6	0.155	0.105	-32.26%	0.290	0.246	-15.17%

Point	Spectrum	Hs=2.0	Tp=5.0			
	Vs	3kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.084	0.059	-29.76%	0.808	0.638	-21.04%
2	0.105	0.076	-27.62%	0.726	0.582	-19.83%
3	0.132	0.088	-33.33%	0.410	0.362	-11.71%
4	0.105	0.076	-27.62%	0.270	0.192	-28.89%
5	0.105	0.076	-27.62%	0.412	0.340	-17.48%
6	0.303	0.201	-33.66%	0.516	0.413	-19.96%

Point	Spectrum	Hs=2.0	Tp=5.0			
	Vs	10kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.195	0.135	-30.77%	1.504	1.182	-21.41%
2	0.104	0.072	-30.77%	1.343	1.072	-20.18%
3	0.316	0.216	-31.65%	0.747	0.651	-12.85%
4	0.104	0.072	-30.77%	0.531	0.384	-27.68%
5	0.104	0.072	-30.77%	0.959	0.814	-15.12%
6	0.676	0.459	-32.10%	1.169	0.961	-17.79%

Point	Spectrum	Hs=3.0	Tp=6.0			
	Vs	0kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.102	0.085	-16.67%	0.633	0.530	-16.27%
2	0.160	0.132	-17.50%	0.571	0.484	-15.24%
3	0.097	0.077	-20.62%	0.334	0.308	-7.78%
4	0.164	0.132	-19.51%	0.229	0.176	-23.14%
5	0.164	0.132	-19.51%	0.315	0.292	-7.30%
6	0.180	0.126	-30.00%	0.391	0.350	-10.49%

Point	Spectrum	Hs=3.0	Tp=6.0			
	Vs	3kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.117	0.089	-23.93%	1.054	0.874	-17.08%
2	0.171	0.136	-20.47%	0.949	0.799	-15.81%
3	0.162	0.113	-30.25%	0.551	0.506	-8.17%
4	0.171	0.136	-20.47%	0.382	0.289	-24.35%
5	0.171	0.136	-20.47%	0.557	0.485	-12.93%
6	0.370	0.253	-31.62%	0.686	0.582	-15.16%

Point	Spectrum	Hs=3.0	Tp=6.0			
	Vs	10kn	180 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.258	0.185	-28.29%	2.144	1.770	-17.44%
2	0.185	0.139	-24.86%	1.921	1.611	-16.14%
3	0.423	0.300	-29.08%	1.104	1.005	-8.97%
4	0.185	0.139	-24.86%	0.822	0.637	-22.51%
5	0.185	0.139	-24.86%	1.397	1.238	-11.38%
6	0.925	0.654	-29.30%	1.685	1.450	-13.95%

Με βάση τα αποτελέσματα, φαίνεται ότι για μετωπικούς κυματισμούς οι κατακόρυφες επιταχύνσεις είναι σημαντικά μειωμένες για όλα τα σημεία ενδιαφέροντος σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζεται σχεδόν καθολικά και για τις οριζόντιες επιταχύνσεις, με εξαίρεση τις ταχύτητες 0 και 10kn, για το φάσμα 1.0m/3.0sec όπου υπάρχουν σημεία με αύξηση της επιτάχυνσης, η οποία όμως είναι αμελητέα. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο, καθώς οι αποκρίσεις στα regular waves είναι γενικά μειωμένες στο νέο πλοίο για τη γωνία των 180 μοιρών. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι για την ταχύτητα των 10kn για τα φάσματα με Hs=2.0m και Hs=3.0m, αλλά και για την περίπτωση ταχύτητας 3kn και φάσμα Hs=3.0m παρατηρούνται σημαντικές κατακόρυφες επιταχύνσεις που μπορεί να υπερβαίνουν το 1g, για κάποια σημεία.

6.5.2 Κυματισμοί 135deg

Point	Spectrum	Hs=1.0	Tp=3.0			
	Vs	0kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.148	0.102	-31.08%	0.266	0.200	-24.81%
2	0.130	0.089	-31.54%	0.237	0.181	-23.63%
3	0.090	0.066	-26.67%	0.122	0.106	-13.11%
4	0.033	0.022	-33.33%	0.070	0.047	-32.86%
5	0.095	0.073	-23.16%	0.136	0.105	-22.79%
6	0.170	0.114	-32.94%	0.174	0.130	-25.29%

Point	Spectrum	Hs=1.0	Tp=3.0			
	Vs	3kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.175	0.118	-32.57%	0.293	0.223	-23.89%
2	0.149	0.101	-32.21%	0.260	0.202	-22.31%
3	0.110	0.079	-28.18%	0.134	0.117	-12.69%
4	0.032	0.022	-31.25%	0.078	0.051	-34.62%
5	0.112	0.083	-25.89%	0.158	0.127	-19.62%
6	0.198	0.133	-32.83%	0.202	0.155	-23.27%

Point	Spectrum	Hs=1.0	Tp=3.0			
	Vs	10kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.198	0.136	-31.31%	0.279	0.193	-30.82%
2	0.168	0.117	-30.36%	0.248	0.175	-29.44%
3	0.118	0.086	-27.12%	0.126	0.099	-21.43%
4	0.031	0.021	-32.26%	0.075	0.044	-41.33%
5	0.130	0.098	-24.62%	0.151	0.116	-23.18%
6	0.217	0.145	-33.18%	0.191	0.139	-27.23%

Point	Spectrum	Hs=1.5	Tp=4.0			
	Vs	0kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.235	0.193	-17.87%	0.452	0.378	-16.37%
2	0.214	0.175	-18.22%	0.405	0.344	-15.06%
3	0.143	0.119	-16.78%	0.229	0.212	-7.42%
4	0.083	0.063	-24.10%	0.150	0.109	-27.33%
5	0.160	0.158	-1.25%	0.252	0.220	-12.70%
6	0.295	0.232	-21.36%	0.316	0.269	-14.87%

Point	Spectrum	Hs=1.5	Tp=4.0			
	Vs	3kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.281	0.221	-21.35%	0.607	0.513	-15.49%
2	0.247	0.196	-20.65%	0.542	0.466	-14.02%
3	0.190	0.151	-20.53%	0.305	0.283	-7.21%
4	0.087	0.065	-25.29%	0.208	0.153	-26.44%
5	0.203	0.178	-12.32%	0.364	0.326	-10.44%
6	0.374	0.289	-22.73%	0.454	0.393	-13.44%

Point	Spectrum	Hs=1.5	Tp=4.0			
	Vs	10kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.351	0.272	-22.51%	0.927	0.732	-21.04%
2	0.293	0.231	-21.16%	0.827	0.663	-19.83%
3	0.271	0.208	-23.25%	0.455	0.397	-12.75%
4	0.091	0.065	-28.57%	0.322	0.230	-28.57%
5	0.241	0.212	-12.03%	0.585	0.507	-13.33%
6	0.534	0.396	-25.84%	0.722	0.604	-16.34%

Point	Spectrum	Hs=2.0	Tp=5.0			
	Vs	0kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.294	0.264	-10.20%	0.528	0.466	-11.74%
2	0.265	0.236	-10.94%	0.476	0.425	-10.71%
3	0.201	0.186	-7.46%	0.294	0.279	-5.10%
4	0.129	0.106	-17.83%	0.205	0.161	-21.46%
5	0.224	0.215	-4.02%	0.306	0.283	-7.52%
6	0.389	0.344	-11.57%	0.379	0.345	-8.97%

Point	Spectrum	Hs=2.0	Tp=5.0			
	Vs	3kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.335	0.288	-14.03%	0.745	0.664	-10.87%
2	0.300	0.259	-13.67%	0.670	0.605	-9.70%
3	0.238	0.207	-13.03%	0.405	0.388	-4.20%
4	0.139	0.114	-17.99%	0.297	0.235	-20.88%
5	0.254	0.239	-5.91%	0.463	0.433	-6.48%
6	0.461	0.392	-14.97%	0.569	0.521	-8.44%

Point	Spectrum	Hs=2.0	Tp=5.0			
	Vs	10kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.418	0.347	-16.99%	1.347	1.138	-15.52%
2	0.354	0.299	-15.54%	1.207	1.034	-14.33%
3	0.360	0.290	-19.44%	0.701	0.646	-7.85%
4	0.157	0.124	-21.02%	0.532	0.420	-21.05%
5	0.299	0.281	-6.02%	0.899	0.827	-8.01%
6	0.715	0.565	-20.98%	1.094	0.976	-10.79%

Point	Spectrum	Hs=3.0	Tp=6.0			
	Vs	0kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.411	0.390	-5.11%	0.651	0.591	-9.22%
2	0.347	0.322	-7.20%	0.589	0.542	-7.98%
3	0.328	0.323	-1.52%	0.385	0.374	-2.86%
4	0.192	0.167	-13.02%	0.282	0.234	-17.02%
5	0.296	0.293	-1.01%	0.386	0.367	-4.92%
6	0.567	0.540	-4.76%	0.476	0.448	-5.88%

Point	Spectrum	Hs=3.0	Tp=6.0			
	Vs	3kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.447	0.408	-8.72%	0.928	0.850	-8.41%
2	0.389	0.351	-9.77%	0.838	0.778	-7.16%
3	0.349	0.329	-5.73%	0.533	0.521	-2.25%
4	0.208	0.179	-13.94%	0.407	0.338	-16.95%
5	0.330	0.322	-2.42%	0.587	0.562	-4.26%
6	0.623	0.575	-7.70%	0.717	0.674	-6.00%

Point	Spectrum	Hs=3.0	Tp=6.0			
	Vs	10kn	135 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.524	0.455	-13.17%	1.766	1.543	-12.63%
2	0.452	0.397	-12.17%	1.587	1.407	-11.34%
3	0.470	0.395	-15.96%	0.957	0.909	-5.02%
4	0.240	0.201	-16.25%	0.754	0.628	-16.71%
5	0.387	0.374	-3.36%	1.211	1.144	-5.53%
6	0.916	0.754	-17.69%	1.461	1.344	-8.01%

Για την περίπτωση των κυματισμών με γωνία πρόσπτωσης 135 deg ως προς το πλοίο φαίνεται καθολική μείωση των επιταχύνσεων τόσο στην οριζόντια όσο και στην κατακόρυφη διεύθυνση, γεγονός που υποδηλώνει μια βελτίωση της συμπεριφοράς του επιμηκυμένου πλοίου, έναντι του αρχικού.

6.5.3 Κυματισμοί 90deg

Point	Spectrum	Hs=1.0	Tp=3.0			
	Vs	0kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.181	0.146	-19.34%	0.185	0.160	-13.51%
2	0.156	0.126	-19.23%	0.181	0.158	-12.71%
3	0.142	0.132	-7.04%	0.157	0.143	-8.92%
4	0.099	0.096	-3.03%	0.164	0.150	-8.54%
5	0.122	0.111	-9.02%	0.151	0.139	-7.95%
6	0.185	0.164	-11.35%	0.162	0.150	-7.41%

Point	Spectrum	Hs=1.0	Tp=3.0			
	Vs	3kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.189	0.156	-17.46%	0.174	0.154	-11.49%
2	0.161	0.134	-16.77%	0.172	0.153	-11.05%
3	0.145	0.137	-5.52%	0.154	0.141	-8.44%
4	0.098	0.095	-3.06%	0.163	0.150	-7.98%
5	0.112	0.103	-8.04%	0.150	0.138	-8.00%
6	0.171	0.154	-9.94%	0.162	0.149	-8.02%

Point	Spectrum	Hs=1.0	Tp=3.0			
	Vs	10kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.210	0.182	-13.33%	0.213	0.183	-14.08%
2	0.177	0.155	-12.43%	0.205	0.178	-13.17%
3	0.154	0.149	-3.25%	0.170	0.154	-9.41%
4	0.096	0.094	-2.08%	0.176	0.159	-9.66%
5	0.096	0.089	-7.29%	0.173	0.157	-9.25%
6	0.155	0.138	-10.97%	0.191	0.172	-9.95%

Point	Spectrum	Hs=1.5	Tp=4.0			
	Vs	0kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.265	0.229	-13.58%	0.325	0.301	-7.38%
2	0.220	0.188	-14.55%	0.319	0.299	-6.27%
3	0.233	0.222	-4.72%	0.285	0.274	-3.86%
4	0.156	0.151	-3.21%	0.290	0.280	-3.45%
5	0.151	0.147	-2.65%	0.262	0.255	-2.67%
6	0.262	0.253	-3.44%	0.273	0.267	-2.20%

Point	Spectrum	Hs=1.5	Tp=4.0			
	Vs	3kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.274	0.239	-12.77%	0.288	0.275	-4.51%
2	0.226	0.197	-12.83%	0.288	0.275	-4.51%
3	0.235	0.226	-3.83%	0.271	0.261	-3.69%
4	0.154	0.150	-2.60%	0.286	0.277	-3.15%
5	0.139	0.136	-2.16%	0.273	0.266	-2.56%
6	0.246	0.241	-2.03%	0.289	0.281	-2.77%

Point	Spectrum	Hs=1.5	Tp=4.0			
	Vs	10kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.298	0.266	-10.74%	0.289	0.269	-6.92%
2	0.245	0.219	-10.61%	0.285	0.267	-6.32%
3	0.244	0.239	-2.05%	0.263	0.252	-4.18%
4	0.154	0.150	-2.60%	0.286	0.277	-3.15%
5	0.126	0.123	-2.38%	0.304	0.297	-2.30%
6	0.231	0.228	-1.30%	0.335	0.323	-3.58%

Point	Spectrum	Hs=2.0	Tp=5.0			
	Vs	0kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.331	0.303	-8.46%	0.383	0.364	-4.96%
2	0.255	0.226	-11.37%	0.377	0.361	-4.24%
3	0.319	0.315	-1.25%	0.343	0.336	-2.04%
4	0.191	0.187	-2.09%	0.347	0.340	-2.02%
5	0.170	0.170	0.00%	0.316	0.313	-0.95%
6	0.381	0.390	2.36%	0.324	0.323	-0.31%

Point	Spectrum	Hs=2.0	Tp=5.0			
	Vs	3kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.340	0.312	-8.24%	0.341	0.333	-2.35%
2	0.261	0.234	-10.34%	0.341	0.333	-2.35%
3	0.321	0.321	0.00%	0.325	0.320	-1.54%
4	0.190	0.186	-2.11%	0.341	0.337	-1.17%
5	0.160	0.161	0.63%	0.329	0.327	-0.61%
6	0.371	0.388	4.58%	0.345	0.342	-0.87%

Point	Spectrum	Hs=2.0	Tp=5.0			
	Vs	10kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.352	0.327	-7.10%	0.316	0.305	-3.48%
2	0.278	0.253	-8.99%	0.315	0.306	-2.86%
3	0.315	0.318	0.95%	0.301	0.295	-1.99%
4	0.192	0.187	-2.60%	0.333	0.330	-0.90%
5	0.156	0.154	-1.28%	0.354	0.354	0.00%
6	0.332	0.352	6.02%	0.390	0.385	-1.28%

Point	Spectrum	Hs=3.0	Tp=6.0			
	Vs	0kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.464	0.441	-4.96%	0.472	0.456	-3.39%
2	0.323	0.295	-8.67%	0.467	0.453	-3.00%
3	0.479	0.487	1.67%	0.429	0.425	-0.93%
4	0.252	0.247	-1.98%	0.434	0.429	-1.15%
5	0.217	0.220	1.38%	0.399	0.400	0.25%
6	0.625	0.665	6.40%	0.408	0.409	0.25%

Point	Spectrum	Hs=3.0	Tp=6.0			
	Vs	3kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.478	0.459	-3.97%	0.426	0.420	-1.41%
2	0.331	0.302	-8.76%	0.426	0.421	-1.17%
3	0.490	0.506	3.27%	0.407	0.407	0.00%
4	0.252	0.247	-1.98%	0.428	0.425	-0.70%
5	0.210	0.213	1.43%	0.414	0.417	0.72%
6	0.634	0.690	8.83%	0.431	0.431	0.00%

Point	Spectrum	Hs=3.0	Tp=6.0			
	Vs	10kn	90 DEG			
	Horizontal Acc (g)			Vertical Acc (g)		
	PHILIA	Long	Diff	PHILIA	Long	Diff
1	0.457	0.443	-3.06%	0.387	0.381	-1.55%
2	0.345	0.319	-7.54%	0.388	0.383	-1.29%
3	0.438	0.460	5.02%	0.367	0.365	-0.54%
4	0.257	0.251	-2.33%	0.415	0.415	0.00%
5	0.213	0.212	-0.47%	0.431	0.437	1.39%
6	0.505	0.571	13.07%	0.481	0.479	-0.42%

Με βάση τους υπολογισμούς για την περίπτωση των πλευρικών κυματισμών των 90 μοιρών, φαίνεται ότι για τα φάσματα με Hs=1.0 και Hs=1.5m, το νέο πλοίο έχει μικρότερες επιταχύνσεις από το υπάρχον, ανεξάρτητα από την ταχύτητα πλεύσης. Για την περίπτωση φάσματος με Hs=2.0m το νέο πλοίο έχει έστω και οριακά ίδιες ή μικρότερες κατακόρυφες επιταχύνσεις. Για το ίδιο φάσμα, οι οριζόντιες επιταχύνσεις εμφανίζονται αυξημένες για το σημείο 6 που αφορά στο πρυμναίο A-frame. Για το φάσμα με Hs=3.0m φαίνεται αύξηση των επιταχύνσεων, έστω και οριακά για τις κατακόρυφες κινήσεις κυρίως στην πρυμναία περιοχή του πλοίου. Για τις οριζόντιες κινήσεις φαίνεται αύξηση των οριζόντιων επιταχύνσεων τόσο για το πρυμναίο σημείο του A-frame όσο και στην περιοχή της γέφυρας, γεγονός που σχετίζεται με τις αυξημένες αποκρίσεις Roll στο νέο σκάφος, για όλο το εύρος ταχυτήτων που εξετάστηκαν.

6.5.4 Αποτελέσματα μέσης πρόσθετης αντίστασης κυματισμού

Στους επόμενους πίνακες συνοψίζεται η σύγκριση των τιμών της μέσης πρόσθετης αντίστασης κυματισμού για τα δύο πλοία, ανά γωνία πρόσπτωσης του κυματισμού και ταχύτητα πλεύσης του πλοίου. Στα αποτελέσματα αμελήθηκε η περίπτωση των πλάγιων κυματισμών (90deg) καθώς φαίνεται ότι έτσι κι αλλιώς η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού είναι περιορισμένη.

- Κυματισμοί 180deg

Spectrum	Vs	0kn	180 DEG
	Mean Added Resistance [kN]		
	PHILIA	Long	Diff
Hs=1.0m /Tp=3.0sec	4.602	4.542	-1.30%
Hs=1.5m /Tp=4.0sec	5.708	6.159	7.90%
Hs=2.0m /Tp=5.0sec	5.017	5.787	15.35%
Hs=3.0m /Tp=6.0sec	5.603	6.700	19.58%

Spectrum	Vs	3kn	180 DEG
	Mean Added Resistance [kN]		
	PHILIA	Long	Diff
Hs=1.0m /Tp=3.0sec	29.183	20.276	-30.52%
Hs=1.5m /Tp=4.0sec	31.318	27.573	-11.96%
Hs=2.0m /Tp=5.0sec	34.134	30.767	-9.86%
Hs=3.0m /Tp=6.0sec	44.726	40.768	-8.85%

Spectrum	Vs	10kn	180 DEG
	Mean Added Resistance [kN]		
	PHILIA	Long	Diff
Hs=1.0m /Tp=3.0sec	132.935	112.147	-15.64%
Hs=1.5m /Tp=4.0sec	144.806	112.582	-22.25%
Hs=2.0m /Tp=5.0sec	150.105	123.830	-17.50%
Hs=3.0m /Tp=6.0sec	211.057	180.384	-14.53%

- Κυματισμοί 135deg

Spectrum	Vs	0kn	135 DEG
	Mean Added Resistance [kN]		
	PHILIA	Long	Diff
Hs=1.0m /Tp=3.0sec	7.711	7.477	-3.03%
Hs=1.5m /Tp=4.0sec	9.782	9.493	-2.95%
Hs=2.0m /Tp=5.0sec	9.629	9.289	-3.53%
Hs=3.0m /Tp=6.0sec	12.193	11.504	-5.65%

Spectrum	Vs	3kn	135 DEG
	Mean Added Resistance [kN]		
	PHILIA	Long	Diff
Hs=1.0m /Tp=3.0sec	29.004	21.629	-25.43%
Hs=1.5m /Tp=4.0sec	36.905	29.817	-19.21%
Hs=2.0m /Tp=5.0sec	37.111	30.725	-17.21%
Hs=3.0m /Tp=6.0sec	46.999	39.093	-16.82%

Spectrum	Vs	10kn	135 DEG
	Mean Added Resistance [kN]		
	PHILIA	Long	Diff
Hs=1.0m /Tp=3.0sec	85.031	73.459	-13.61%
Hs=1.5m /Tp=4.0sec	101.475	89.709	-11.59%
Hs=2.0m /Tp=5.0sec	108.180	101.530	-6.15%
Hs=3.0m /Tp=6.0sec	147.252	143.445	-2.59%

Με βάση τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το νέο σκάφος έχει μικρότερη τιμή μέσης πρόσθετης αντίστασης κυματισμού, για όλες τις εξεταζόμενες γωνίες πρόσπτωσης και φάσματα θάλασσας, με εξαίρεση την περίπτωση των μετωπικών κυματισμών με μηδενική πρόσω ταχύτητα. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο με βάση τα αποτελέσματα των υπολογισμών σε αρμονικούς κυματισμούς. Ωστόσο, τόσο οι διαφορές μεταξύ των τιμών για το πλοίο πριν και μετά την επιμήκυνση, όσο και κατά απόλυτο μέγεθος είναι αρκετά μικρές και έχουν ενδιαφέρον μόνο πιθανώς για μελέτες πρόσδεσης του πλοίου και διατήρησης της θέσης του σε έντονα καιρικά φαινόμενα. Κατά τα άλλα φαίνεται ότι υπάρχει σημαντική πτώση της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού μέχρι και 30% για το πλοίο μετά την επιμήκυνση.

7. Συμπεράσματα

Στα πλαίσια του πακέτου Π5.2 του ερευνητικού προγράμματος «Ελληνικός ερευνητικός στόλος Ανακατασκευή του ερευνητικού σκάφους Ε/Σ ΦΙΛΙΑ» κατασκευάστηκαν τα τρι-διάστατα CAD Σχέδια γραμμών και αριθμητικά μοντέλα για το σκάφος «ΦΙΛΙΑ» πριν και μετά την επιμήκυνσή του. Τα μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση λεπτομερών υδροστατικών υπολογισμών για τις διάφορες διαμορφώσεις του πλοίου. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν αριθμητικοί υπολογισμοί για την αντίσταση του πλοίου πριν και μετά την επιμήκυνση. Ακόμη έγινε σύγκριση των υπολογισμών με πειραματικές μετρήσεις.

Τα αριθμητικά αποτελέσματα βρίσκονται σε πολύ καλή σύμπτωση με τα αποτελέσματα της αναγωγής των πειραματικών μετρήσεων, ειδικά στην ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου 8.2kn. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σύγκριση των παραπάνω τιμών Ισχύος Ρυμούλκησης EHP με την Ονομαστική Εγκατεστημένη Ισχύ SHP 2x250 kW οδηγεί στο συμπέρασμα του χαμηλού συνολικού βαθμού απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης, οφειλόμενο πιθανότατα σε μη βέλτιστη επιλογή των χαρακτηριστικών της έλικας και τη γενικότερη υδροδυναμική σχεδίαση των παρελκομένων και της γάστρας του υπάρχοντος π.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει αύξηση της υδροδυναμικής αντίστασης και της ισχύος ρυμούλκησης ύστερα από την επιμήκυνση, σε σχέση με το υπάρχον πλοίο. Η αύξηση αυτή είναι συνάρτηση της ταχύτητας και έχει μέγιστη τιμή περίπου 10%. Η αύξηση της βρεχόμενης επιφάνειας όμως είναι της τάξης του 20% και παράλληλα παρατηρούμε σε κάθε ταχύτητα μείωση του ολικού συντελεστή αντίστασης. Συνεπώς αν και η αντίσταση τριβής αυξάνεται με την επιμήκυνση του πλοίου, ο συντελεστής πίεσης μειώνεται. Συνοψίζοντας, από τους υπολογισμούς προκύπτει πως μετά την επιμήκυνση αναμένεται μία μείωση της ταχύτητας του πλοίου κατά 0.2kn από τους 8.2 στους 7.98kn.

Στα πλαίσια της παρούσας αναφοράς εξετάστηκε επίσης η δυναμική συμπεριφορά του πλοίου σε θαλάσσιους κυματισμούς και παρουσιάστηκε η σύγκριση των αποκρίσεων πριν και μετά τη μετασκευή. Για το επιμηκυμένο πλοίο παρατηρούνται συστηματικά χαμηλότερες τιμές για τις περισσότερες κινήσεις, γωνίες πρόσπτωσης και μήκη κύματος.

Αναφορικά με την πρόσθετη αντίσταση κυματισμού, φαίνεται ότι το επιμηκυμένο πλοίο παρουσιάζει μικρότερες τιμές για τα μικρότερα μήκη κύματος και μεγαλύτερες τιμές για μεσαίου μήκους κύματα. Για τα μεγαλύτερα μήκη κύματος, τα δύο πλοία παρουσιάζουν ουσιαστικά ταυτόσημη συμπεριφορά. Σε μη αρμονικούς κυματισμούς, το νέο σκάφος έχει μικρότερη τιμή μέσης πρόσθετης αντίστασης κυματισμού, για όλες τις εξεταζόμενες γωνίες πρόσπτωσης και φάσματα θάλασσας, με εξαίρεση την περίπτωση των μετωπικών κυματισμών με μηδενική πρόσω ταχύτητα. Στις

υπόλοιπες περιπτώσεις φαίνεται ότι υπάρχει σημαντική πτώση της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού μέχρι και 30% για το νέο πλοίο.

8. Ονοματολογία

L_{OA} ολικό μήκος του πλοίου

L_{BP} μήκος μεταξύ των καθέτων του πλοίου

L_{WL} μήκος ισάλου του πλοίου

L_{SUB} βρεχόμενο μήκος του πλοίου

B πλάτος πλοίου

T βύθισμα

S βρεχόμενη επιφάνεια

V_S ταχύτητα πλοίου

V_M ταχύτητα προτύπου

Fn αριθμός Froude ως προς το L_{WL}

Rn αριθμός Reynolds με βάση το L_{SUB}

C_T συντελεστής ολικής αντίστασης

C_F συντελεστής αντίστασης τριβής

C_R συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης

C_{BL} συντελεστής αντίστασης προσαρτημάτων

R_T ολική αντίσταση ρυμούλκησης

EHP ισχύς ρυμούλκησης

v κινηματική συνεκτικότητα

ρ πυκνότητα νερού

9. Βιβλιογραφικές αναφορές

[1] C. Grekoussis and. T. Loukakis, **“Research Centre of Crete. Research Vessel. Model Experimental Investigations”**, report NAL-04F=1984, LSMH,NTUA

[2] C. Grekoussis and. T. Loukakis, **“Research vessel FILIA-Addition of side sponsons”**, report NAL-25F=1987, LSMH,NTUA

[3] S. Peppa, G. Grigoropoulos, T. Loukakis, **“Ε/Ρ 'ΦΙΛΙΑ' - Δοκιμές αντίστασης σε ήρεμο νερό για την προσθήκη πρωραίου βολβού - Καθορισμός Γραμμών Ροής”**, report NAL-170F=1997, LSMH,NTUA

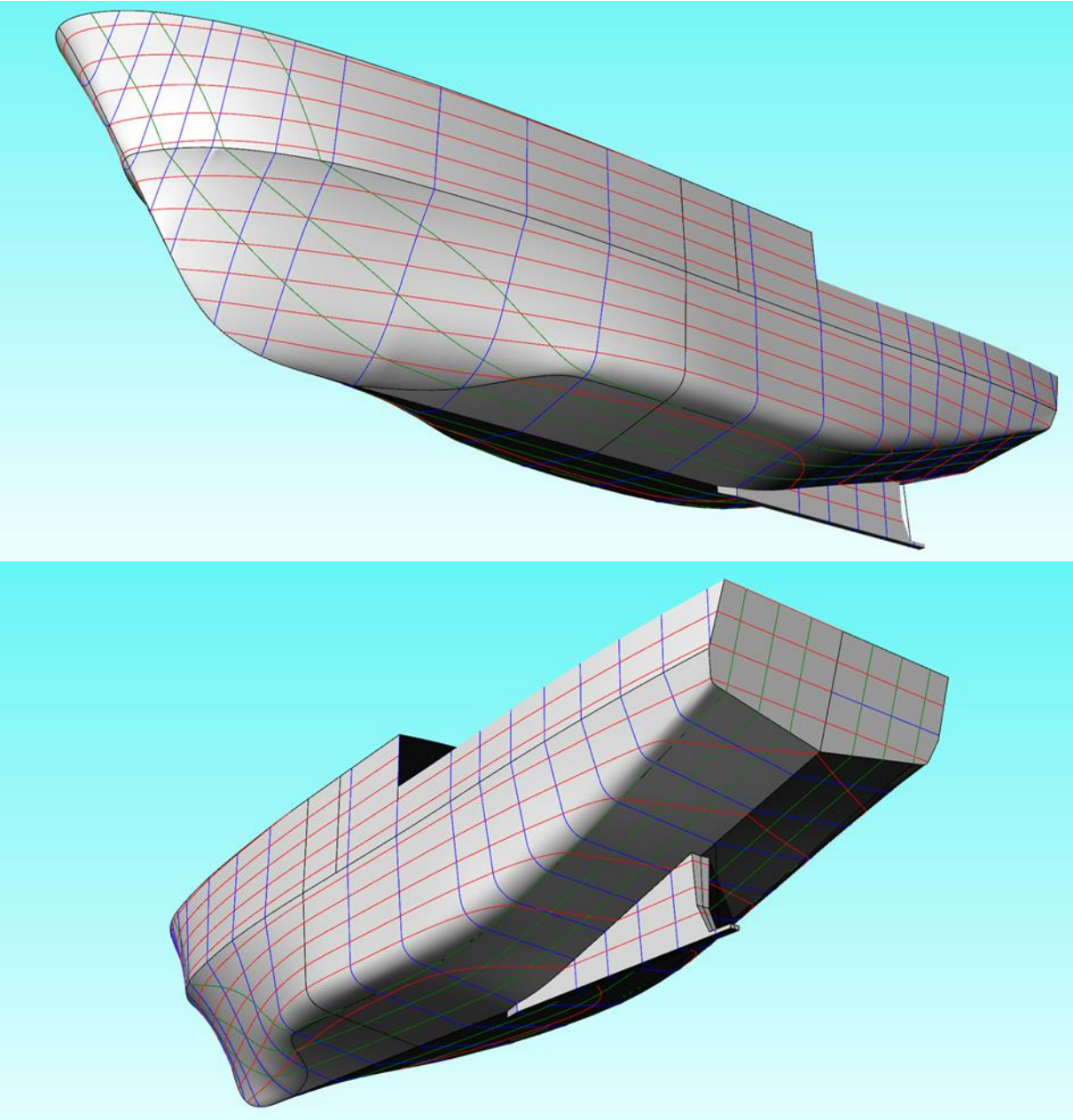
[4] G. Tzabiras and K. Kontogiannis, **“An integrated method for predicting the hydrodynamic performance of low-c_B ships”**, Computer-Aided Design Journal, 42, 2010, pp 985-1000

[5] G. Tzabiras **“A method for predicting the influence of an additive bulb on ship resistance”** 8th International Conference on Hydrodynamics, Nantes 2008, pp. 53-60

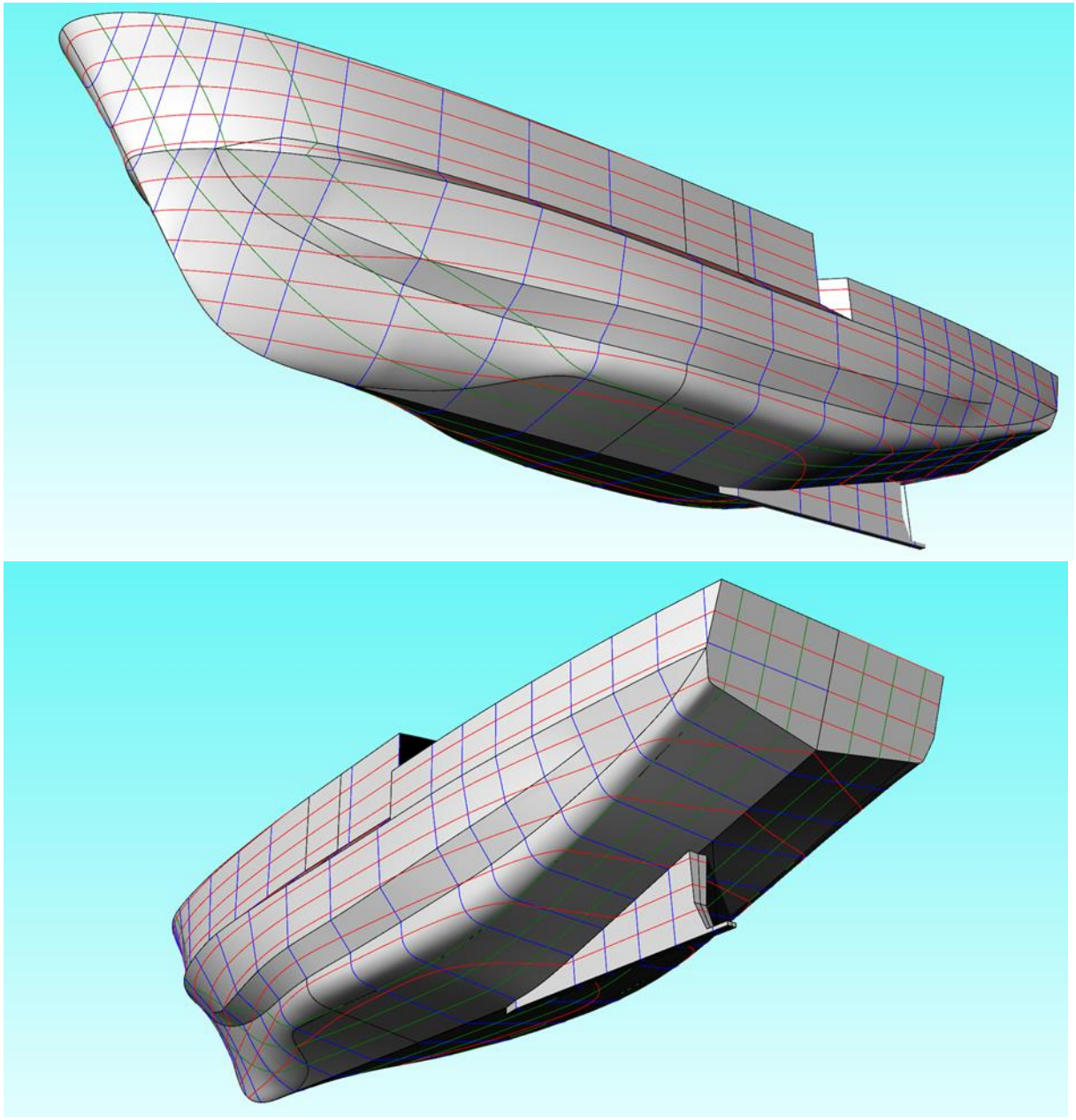
[6] G. Tzabiras and K. Psaras **“Numerical simulation of self-propulsion tests of a Product-Carrier at various conditions”** HIPER-2014 Int. Conference, Athens, 2014, pp. 92-102

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

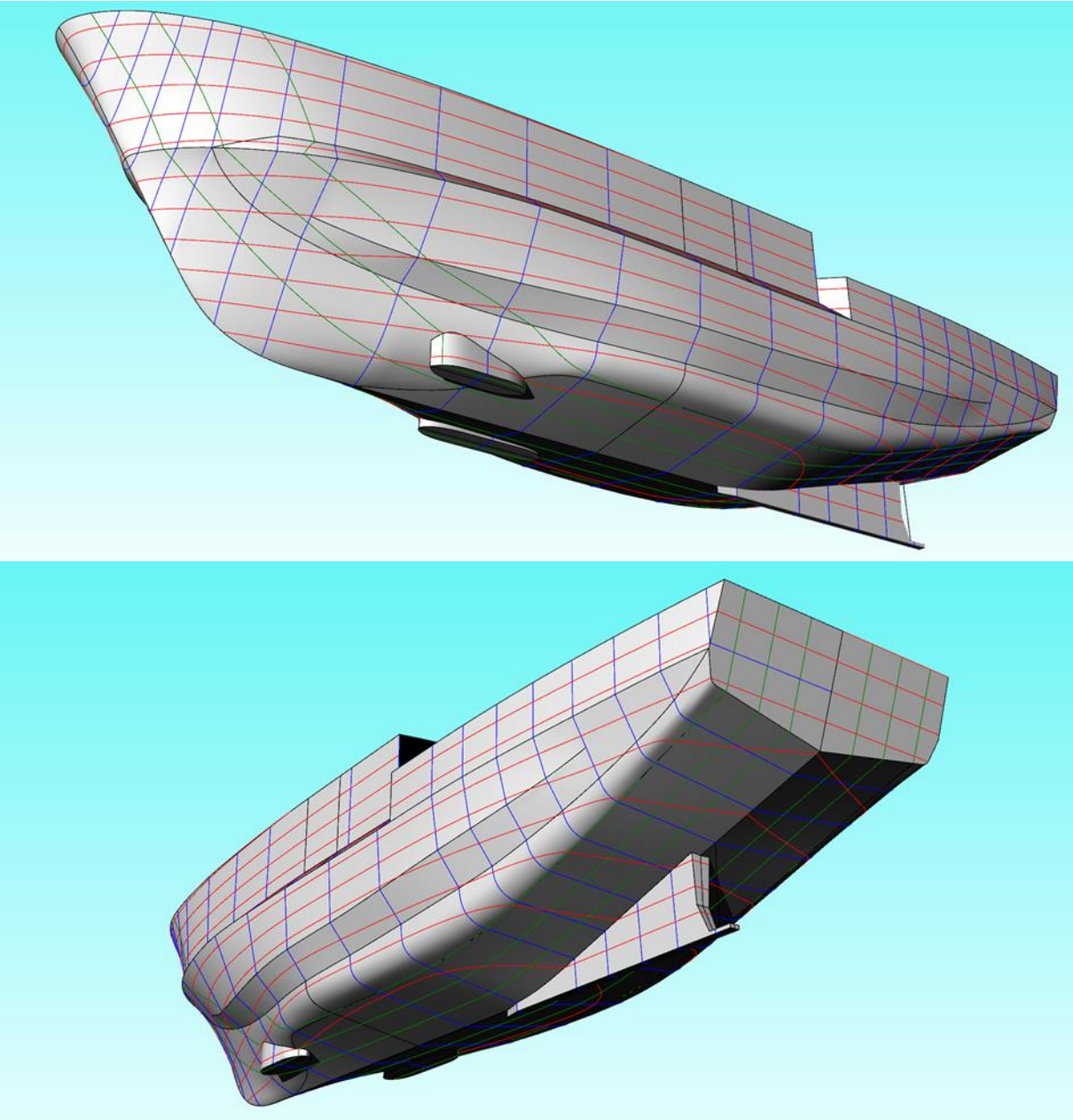
Παράρτημα 1 - Όψεις τρι-διάστατων Μοντέλων



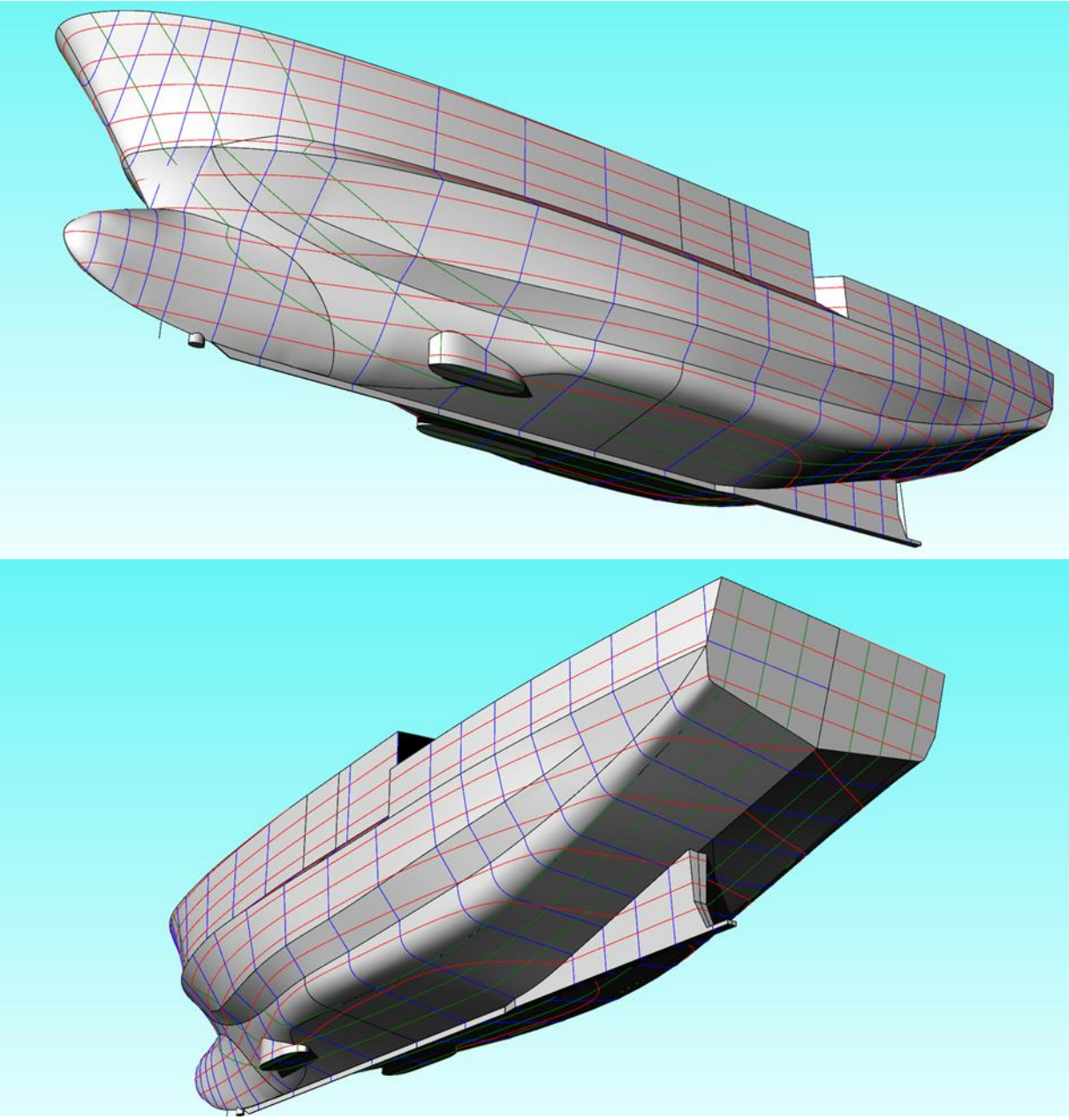
Σχήμα Π1.1: Τρι-διάστατο σχέδιο αρχικής διαμόρφωσης πλοίου.



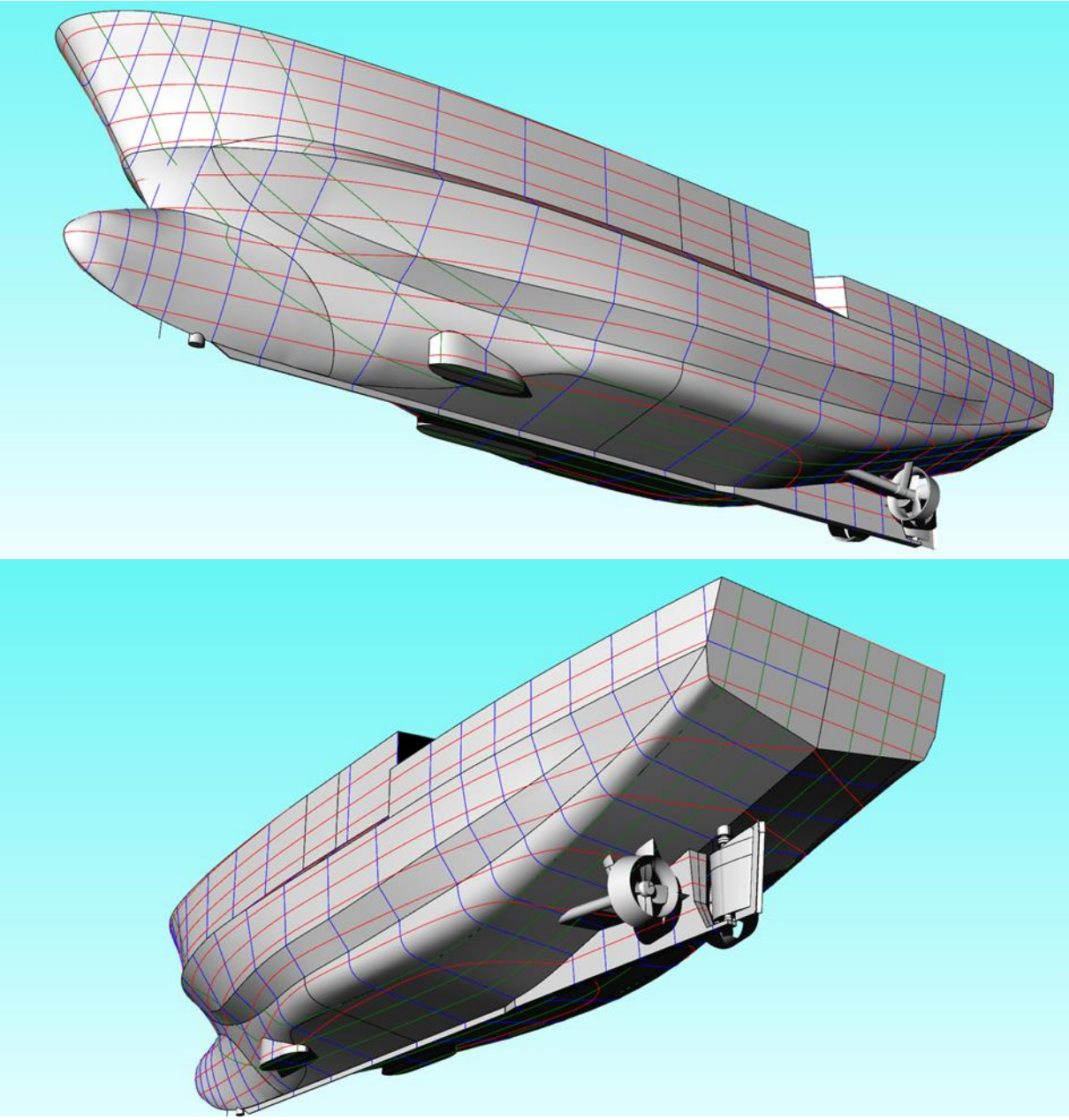
Σχήμα Π1.2: Τρι-διάστατο σχέδιο αρχικής διαμόρφωσης πλοίου μετά την προσθήκη sponsons.



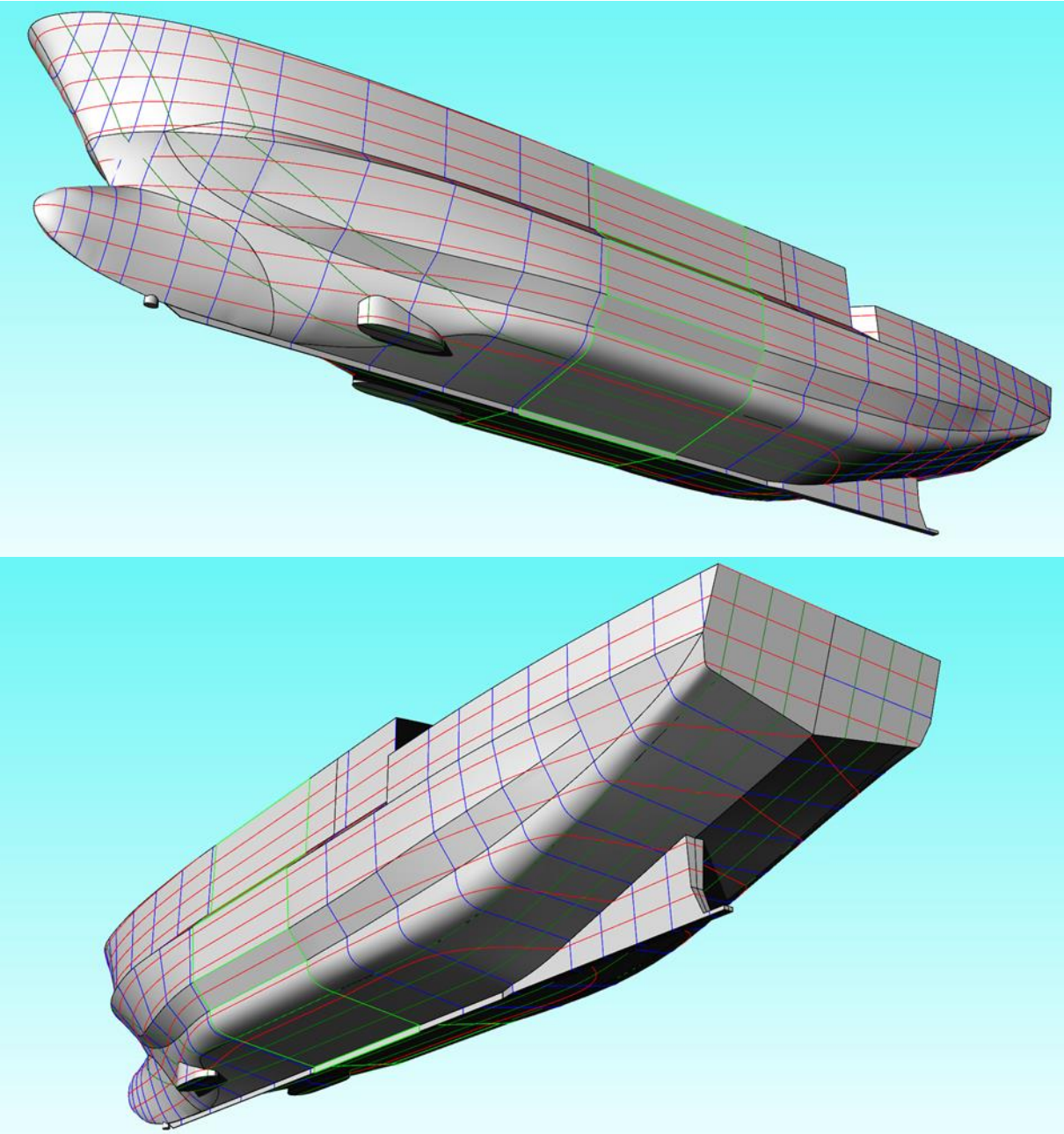
Σχήμα Π1.3: Τρι-διάστατο σχέδιο του πλοίου μετά την προσθήκη sponsons και blisters.



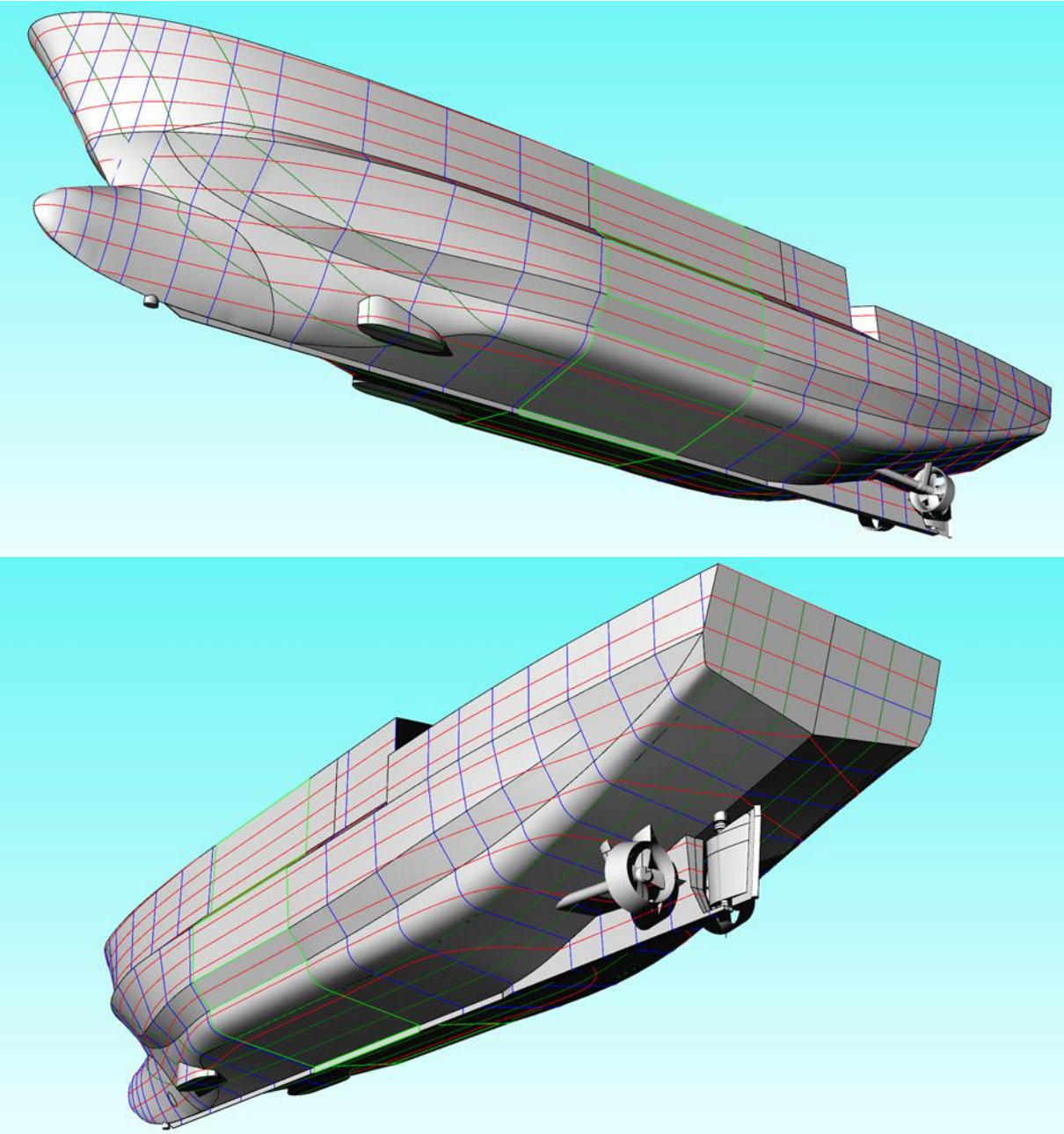
Σχήμα Π1.4: Τρι-διάστατο σχέδιο του πλοίου μετά την προσθήκη sponsons, blisters και βολβού.



Σχήμα Π1.5: Τρι-διάστατο σχέδιο του πλοίου μετά την προσθήκη sponsons, blisters και βολβού, με πηδάλιο, αξονικά και έλικες.



Σχήμα Π1.6: Τρι-διάστατο σχέδιο του επιμηκυμένου με τα blisters.



Σχήμα Π1.7: Τρι-διάστατο σχέδιο του επιμηκυμένου με blisters, πηδάλιο, αξονικά και έλικες.

Παράρτημα 2 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, αρχική διαμόρφωση πλοίου

T	V	Δ	LCB	VCB	AWP	LCF	KML	KMT	TPC	MCT	S
m	m^3	tn	m	m	m^2	m	m	m	tn/cm	tn*m/cm	m^2
0.200	0.40	0.41	6.642	0.127	6.563	10.299	295.464	0.416	0.07	0.06	9.40
0.300	1.60	1.64	9.794	0.225	17.516	10.988	148.097	2.124	0.18	0.12	21.74
0.400	3.91	4.01	10.503	0.301	28.777	10.968	91.651	3.944	0.29	0.18	34.40
0.500	7.36	7.55	10.692	0.372	40.324	10.843	66.564	5.750	0.41	0.24	47.36
0.600	11.97	12.27	10.718	0.442	51.518	10.685	52.719	7.232	0.53	0.31	60.01
0.700	17.51	17.94	10.685	0.508	58.591	10.549	43.707	6.853	0.60	0.37	68.76
0.800	23.63	24.22	10.635	0.571	63.704	10.437	37.830	6.139	0.65	0.43	75.86
0.900	30.21	30.97	10.581	0.632	67.843	10.339	33.793	5.498	0.70	0.49	82.28
1.000	37.18	38.11	10.527	0.691	71.310	10.251	30.882	4.960	0.73	0.55	88.34
1.100	44.46	45.58	10.475	0.750	74.376	10.168	28.726	4.532	0.76	0.61	94.22
1.200	52.05	53.35	10.424	0.808	77.267	10.086	27.111	4.205	0.79	0.67	100.03
1.300	59.91	61.41	10.374	0.867	80.091	10.003	25.900	3.957	0.82	0.74	105.82
1.400	68.06	69.77	10.325	0.924	82.880	9.916	24.994	3.766	0.85	0.81	111.61
1.500	76.49	78.40	10.275	0.982	85.638	9.830	24.301	3.619	0.88	0.88	117.39
1.600	85.19	87.32	10.225	1.040	88.348	9.747	23.752	3.505	0.91	0.95	123.14
1.700	94.16	96.51	10.176	1.098	91.093	9.661	23.367	3.416	0.93	1.03	128.92
1.800	103.41	105.99	10.126	1.157	93.881	9.576	23.110	3.347	0.96	1.12	134.77
1.900	112.94	115.76	10.076	1.215	96.675	9.494	22.928	3.296	0.99	1.21	140.69
2.000	122.70	125.76	10.026	1.274	99.483	9.416	22.827	3.259	1.02	1.30	146.65
2.100	132.84	136.16	9.977	1.333	102.373	9.340	22.782	3.235	1.05	1.40	152.76
2.200	143.22	146.80	9.928	1.392	105.317	9.262	22.813	3.222	1.08	1.51	158.96
2.300	153.90	157.75	9.879	1.452	108.338	9.183	22.907	3.218	1.11	1.62	165.28
2.400	164.89	169.01	9.830	1.512	111.445	9.101	23.058	3.224	1.14	1.75	171.73
2.500	176.20	180.60	9.780	1.572	114.633	9.018	23.256	3.236	1.17	1.88	178.30
2.600	187.82	192.51	9.731	1.632	117.773	8.947	23.420	3.255	1.21	2.01	184.88
2.700	199.74	204.73	9.683	1.693	120.642	8.908	23.423	3.280	1.24	2.13	191.29
2.800	211.94	217.24	9.638	1.754	123.247	8.903	23.291	3.308	1.26	2.24	197.54
2.900	224.38	229.99	9.598	1.815	125.592	8.930	23.041	3.337	1.29	2.34	203.62
3.000	237.05	242.98	9.563	1.875	127.766	8.983	22.725	3.365	1.31	2.43	209.60
3.100	249.94	256.19	9.535	1.936	130.002	9.044	22.458	3.397	1.33	2.52	215.66

* Η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο βασικό επίπεδο αναφοράς, στη θέση του κατασκευαστικού νομέα #0 και ο άξονας-x έχει θετική φορά πρώραθεν
* Τα βυθίσματα είναι προβεβλημένα (moulded)
* Πυκνότητα νερού, ρ=1,025 tn/m^3
* Στους υπολογισμούς έχει ληφθεί υπ' όψη το skeg
* Στους υπολογισμούς δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη πάχος ελασμάτων γάστρας, τα blisters και τα παρελκόμενα (πηδάλιο, αξονικά, κλπ.)
* Ο πίνακας προέκυψε από σχέδιο γραμμών του πλοίου.

Παράρτημα 3 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons

T	V	Δ	LCB	VCB	AWP	LCF	KML	KMT	TPC	MCT	S
m	m^3	tn	m	m	m^2	m	m	m	tn/cm	tn*m/cm	m^2
0.200	0.40	0.41	6.642	0.127	6.563	10.299	295.464	0.416	0.07	0.06	9.40
0.300	1.60	1.64	9.794	0.225	17.516	10.988	148.097	2.124	0.18	0.12	21.74
0.400	3.91	4.01	10.503	0.301	28.777	10.968	91.651	3.944	0.29	0.18	34.40
0.500	7.36	7.55	10.692	0.372	40.324	10.843	66.564	5.750	0.41	0.24	47.36
0.600	11.97	12.27	10.718	0.442	51.518	10.685	52.719	7.232	0.53	0.31	60.01
0.700	17.51	17.94	10.685	0.508	58.591	10.549	43.707	6.853	0.60	0.37	68.76
0.800	23.63	24.22	10.635	0.571	63.704	10.437	37.830	6.139	0.65	0.43	75.86
0.900	30.21	30.97	10.581	0.632	67.843	10.339	33.793	5.498	0.70	0.49	82.28
1.000	37.18	38.11	10.527	0.691	71.310	10.251	30.882	4.960	0.73	0.55	88.34
1.100	44.46	45.58	10.475	0.750	74.376	10.168	28.726	4.532	0.76	0.61	94.22
1.200	52.05	53.35	10.424	0.809	77.425	10.088	27.114	4.231	0.79	0.67	100.09
1.300	59.97	61.47	10.375	0.867	81.042	10.013	25.929	4.089	0.83	0.74	106.22
1.400	68.27	69.98	10.326	0.926	85.070	9.939	25.087	4.032	0.87	0.81	112.57
1.500	76.99	78.92	10.278	0.985	89.402	9.868	24.505	4.024	0.92	0.89	119.08
1.600	86.16	88.31	10.231	1.045	93.952	9.807	24.103	4.045	0.96	0.98	125.72
1.700	95.79	98.19	10.186	1.106	98.757	9.751	23.893	4.085	1.01	1.07	132.53
1.800	105.92	108.56	10.142	1.168	103.721	9.698	23.821	4.131	1.06	1.18	139.50
1.900	116.50	119.41	10.098	1.230	107.856	9.633	23.750	4.098	1.11	1.29	146.15
2.000	127.42	130.61	10.056	1.291	111.599	9.562	23.690	4.049	1.14	1.40	152.64
2.100	138.82	142.29	10.012	1.354	115.176	9.487	23.621	3.998	1.18	1.52	159.14
2.200	150.51	154.27	9.968	1.416	118.642	9.411	23.593	3.954	1.22	1.64	165.64
2.300	162.54	166.61	9.924	1.477	122.063	9.333	23.605	3.917	1.25	1.77	172.19
2.400	174.92	179.29	9.879	1.539	125.484	9.256	23.660	3.889	1.29	1.90	178.84
2.500	187.64	192.33	9.835	1.601	128.930	9.178	23.760	3.870	1.32	2.04	185.57
2.600	200.71	205.72	9.790	1.663	132.294	9.113	23.828	3.858	1.36	2.19	192.31
2.700	214.09	219.44	9.746	1.724	135.358	9.077	23.743	3.855	1.39	2.32	198.86
2.800	227.77	233.46	9.705	1.786	138.131	9.069	23.530	3.858	1.42	2.43	205.23
2.900	241.71	247.75	9.669	1.847	140.619	9.089	23.205	3.864	1.44	2.54	211.42
3.000	255.88	262.28	9.638	1.909	142.909	9.129	22.820	3.872	1.46	2.63	217.49
3.100	270.29	277.05	9.612	1.969	145.228	9.174	22.480	3.886	1.49	2.73	223.62

* Η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο βασικό επίπεδο αναφοράς, στη θέση του κατασκευαστικού νομέα #0 και ο άξονας-x έχει θετική φορά πρώραθεν
* Τα βυθίσματα είναι προβεβλημένα (moulded)
* Πυκνότητα νερού, ρ=1,025 tn/m^3
* Στους υπολογισμούς έχει ληφθεί υπ' όψη το skeg
* Στους υπολογισμούς δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη πάχος ελασμάτων γάστρας, τα blisters και τα παρελκόμενα (πηδάλιο, αξονικά, κλπ.)
* Ο πίνακας προέκυψε από σχέδιο γραμμών που είχε αναπτυχθεί στη φάση της αρχικής διαπλάτυνσης του πλοίου. Η ακρίβεια των δεδομένων αυτών, ως προς την ανταπόκρισή τους στη πραγματική κατάσταση του πλοίου (As Built condition) χρειάζεται να εξετασθεί με μετρήσεις κατά τον δεξαμενισμό του πλοίου.

Παράρτημα 4 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons και blisters

T	V	Δ	LCB	VCB	AWP	LCF	KML	KMT	TPC	MCT	S
m	m³	tn	m	m	m²	m	m	m	tn/cm	tn*m/cm	m²
0.200	0.40	0.41	6.642	0.127	6.563	10.299	295.464	0.416	0.07	0.06	9.40
0.300	1.61	1.65	9.825	0.226	19.323	11.185	151.937	3.959	0.20	0.12	23.60
0.400	4.20	4.31	10.731	0.305	31.385	11.225	91.513	4.870	0.32	0.19	38.06
0.500	7.84	8.03	10.892	0.373	41.381	10.947	64.849	5.701	0.42	0.25	50.09
0.600	12.52	12.83	10.869	0.440	52.038	10.732	51.360	7.021	0.53	0.31	62.48
0.700	18.09	18.54	10.801	0.505	58.890	10.574	42.720	6.681	0.60	0.38	71.16
0.800	24.24	24.84	10.727	0.567	63.857	10.449	37.065	6.011	0.65	0.43	78.21
0.900	30.83	31.60	10.656	0.628	67.898	10.344	33.178	5.402	0.70	0.49	84.60
1.000	37.80	38.74	10.589	0.687	71.313	10.252	30.384	4.886	0.73	0.55	90.64
1.100	45.08	46.21	10.528	0.746	74.376	10.168	28.338	4.476	0.76	0.61	96.52
1.200	52.67	53.99	10.470	0.804	77.425	10.088	26.801	4.186	0.79	0.67	102.39
1.300	60.59	62.10	10.415	0.863	81.042	10.013	25.668	4.052	0.83	0.74	108.52
1.400	68.89	70.61	10.362	0.921	85.070	9.939	24.866	4.000	0.87	0.81	114.86
1.500	77.61	79.55	10.311	0.981	89.402	9.868	24.313	3.996	0.92	0.89	121.38
1.600	86.78	88.95	10.261	1.041	93.952	9.807	23.934	4.019	0.96	0.98	128.02
1.700	96.41	98.82	10.212	1.102	98.757	9.751	23.742	4.061	1.01	1.07	134.82
1.800	106.54	109.20	10.166	1.163	103.721	9.698	23.685	4.110	1.06	1.18	141.80
1.900	117.12	120.05	10.121	1.226	107.856	9.633	23.627	4.079	1.11	1.29	148.45
2.000	128.04	131.24	10.076	1.287	111.599	9.562	23.577	4.032	1.14	1.40	154.94
2.100	139.44	142.92	10.031	1.350	115.176	9.487	23.518	3.982	1.18	1.52	161.44
2.200	151.13	154.91	9.986	1.412	118.642	9.411	23.498	3.940	1.22	1.64	167.94
2.300	163.16	167.24	9.941	1.473	122.063	9.333	23.517	3.904	1.25	1.77	174.49
2.400	175.54	179.93	9.895	1.535	125.484	9.256	23.579	3.877	1.29	1.90	181.13
2.500	188.26	192.97	9.849	1.597	128.930	9.178	23.683	3.858	1.32	2.04	187.87
2.600	201.32	206.36	9.804	1.659	132.294	9.113	23.756	3.848	1.36	2.19	194.61
2.700	214.71	220.08	9.759	1.721	135.358	9.077	23.676	3.846	1.39	2.32	201.16
2.800	228.39	234.10	9.718	1.782	138.131	9.069	23.467	3.849	1.42	2.43	207.53
2.900	242.33	248.38	9.681	1.844	140.619	9.089	23.147	3.856	1.44	2.54	213.72
3.000	256.50	262.91	9.649	1.905	142.909	9.129	22.766	3.864	1.46	2.63	219.79
3.100	270.91	277.68	9.623	1.966	145.228	9.174	22.430	3.878	1.49	2.73	225.92

* Η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο βασικό επίπεδο αναφοράς, στη θέση του κατασκευαστικού νομέα #0 και ο άξονας-x έχει θετική φορά πρώραθεν
* Τα βυθίσματα είναι προβεβλημένα (moulded)
* Πυκνότητα νερού, ρ=1,025 tn/m³
* Στους υπολογισμούς έχοyn ληφθεί υπ' όψη το skeg και τα blisters
* Στους υπολογισμούς δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη πάχος ελασμάτων γάστρας και τα παρελκόμενα (πηδάλιο, αξονικά, κλπ.)
* Ο πίνακας προέκυψε από σχέδιο γραμμών που είχε αναπτυχθεί στη φάση της αρχικής διαπλάτυνσης του πλοίου. Η ακρίβεια των δεδομένων αυτών, ως προς την ανταπόκρισή τους στη πραγματική κατάσταση του πλοίου (As Built condition) χρειάζεται να εξετασθεί με μετρήσεις κατά τον δεξαμενισμό του πλοίου.

Παράρτημα 5 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons και βολβό

T	V	Δ	LCB	VCB	AWP	LCF	KML	KMT	TPC	MCT	S
m	m³	tn	m	m	m²	m	m	m	tn/cm	tn*m/cm	m²
0.200	0.40	0.41	6.667	0.127	6.611	10.366	305.093	0.416	0.07	0.06	9.48
0.300	1.61	1.65	9.889	0.225	17.783	11.118	158.733	2.107	0.18	0.13	22.15
0.400	3.97	4.07	10.633	0.302	29.331	11.134	100.925	3.895	0.30	0.20	35.22
0.500	7.49	7.68	10.847	0.373	41.209	11.038	75.023	5.662	0.42	0.27	48.65
0.600	12.21	12.51	10.893	0.442	52.724	10.900	60.335	7.108	0.54	0.36	61.78
0.700	17.88	18.32	10.877	0.508	60.116	10.795	50.733	6.727	0.62	0.44	71.03
0.800	24.17	24.77	10.845	0.571	65.536	10.716	44.419	6.021	0.67	0.52	78.63
0.900	30.95	31.72	10.809	0.633	69.966	10.650	40.037	5.390	0.72	0.60	85.57
1.000	38.14	39.09	10.773	0.693	73.696	10.590	36.805	4.860	0.76	0.68	92.14
1.100	45.67	46.82	10.738	0.752	76.989	10.530	34.324	4.439	0.79	0.75	98.53
1.200	53.53	54.87	10.703	0.810	80.215	10.465	32.353	4.144	0.82	0.83	104.88
1.300	61.74	63.28	10.667	0.869	83.953	10.394	30.768	4.005	0.86	0.91	111.47
1.400	70.33	72.09	10.628	0.927	88.045	10.315	29.501	3.949	0.90	0.99	118.26
1.500	79.35	81.34	10.588	0.987	92.388	10.233	28.476	3.941	0.95	1.07	125.20
1.600	88.82	91.04	10.546	1.047	96.897	10.154	27.617	3.962	0.99	1.16	132.24
1.700	98.74	101.21	10.503	1.108	101.589	10.071	26.924	4.002	1.04	1.25	139.41
1.800	109.14	111.87	10.457	1.169	106.363	9.986	26.342	4.049	1.09	1.35	146.73
1.900	119.97	122.97	10.410	1.230	110.219	9.883	25.744	4.019	1.13	1.45	153.70
2.000	131.21	134.49	10.360	1.292	113.617	9.768	25.117	3.972	1.16	1.54	160.55
2.100	142.68	146.25	10.308	1.353	116.703	9.643	24.509	3.927	1.20	1.62	167.30
2.200	154.50	158.37	10.252	1.414	119.692	9.516	23.985	3.888	1.23	1.71	174.06
2.300	166.62	170.79	10.194	1.475	122.677	9.394	23.594	3.855	1.26	1.81	180.84
2.400	179.04	183.52	10.134	1.536	125.727	9.279	23.348	3.831	1.29	1.92	187.66
2.500	191.71	196.50	10.074	1.596	128.913	9.179	23.285	3.817	1.32	2.04	194.49
2.600	204.84	209.96	10.015	1.657	132.294	9.113	23.375	3.809	1.36	2.19	201.26
2.700	218.22	223.68	9.958	1.718	135.358	9.077	23.320	3.809	1.39	2.32	207.81
2.800	231.90	237.69	9.906	1.779	138.131	9.069	23.135	3.814	1.42	2.43	214.18
2.900	245.84	251.98	9.859	1.840	140.619	9.089	22.839	3.823	1.44	2.54	220.37
3.000	260.01	266.51	9.818	1.900	142.909	9.129	22.479	3.833	1.46	2.63	226.44
3.100	274.42	281.28	9.783	1.961	145.228	9.174	22.162	3.848	1.49	2.73	232.57

* Η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο βασικό επίπεδο αναφοράς, στη θέση του κατασκευαστικού νομέα #0 και ο άξονας-x έχει θετική φορά πρώραθεν
* Τα βυθίσματα είναι προβεβλημένα (moulded)
* Πυκνότητα νερού, ρ=1,025 tn/m³
* Στους υπολογισμούς έχει ληφθεί υπ' όψη το skeg
* Στους υπολογισμούς δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη πάχος ελασμάτων γάστρας, τα blisters και τα παρελκόμενα (πηδάλιο, αξονικά, κλπ.)
* Ο πίνακας προέκυψε από σχέδιο γραμμών που είχε αναπτυχθεί στη φάση της προσθήκης βολβού. Η ακρίβεια των δεδομένων αυτών, ως προς την ανταπόκρισή τους στη πραγματική κατάσταση του πλοίου (As Built condition) χρειάζεται να εξετασθεί με μετρήσεις κατά τον δεξαμενισμό του πλοίου.

Παράρτημα 6 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons, blisters και βολβό

T	V	Δ	LCB	VCB	AWP	LCF	KML	KMT	TPC	MCT	S
m	m3	tn	m	m	m2	m	m	m	tn/cm	tn*m/cm	m2
0.200	0.40	0.41	6.829	0.127	6.659	10.438	313.077	0.413	0.07	0.06	9.61
0.300	1.64	1.68	9.976	0.226	19.616	11.312	162.304	3.907	0.20	0.13	24.18
0.400	4.27	4.38	10.871	0.305	31.944	11.374	99.454	4.801	0.33	0.21	39.04
0.500	7.97	8.17	11.047	0.373	42.265	11.135	72.539	5.612	0.43	0.28	51.54
0.600	12.76	13.08	11.040	0.440	53.244	10.944	58.548	6.901	0.55	0.36	64.40
0.700	18.47	18.93	10.989	0.505	60.416	10.819	49.477	6.559	0.62	0.44	73.59
0.800	24.79	25.40	10.934	0.568	65.690	10.727	43.474	5.896	0.67	0.52	81.14
0.900	31.58	32.37	10.881	0.629	70.021	10.654	39.295	5.296	0.72	0.60	88.05
1.000	38.73	39.70	10.833	0.688	73.684	10.591	36.248	4.792	0.76	0.68	94.57
1.100	46.30	47.46	10.788	0.747	76.989	10.530	33.863	4.385	0.79	0.75	100.99
1.200	54.16	55.51	10.746	0.806	80.215	10.465	31.982	4.101	0.82	0.83	107.34
1.300	62.37	63.92	10.705	0.864	83.953	10.394	30.461	3.969	0.86	0.91	113.93
1.400	70.96	72.74	10.662	0.923	88.045	10.315	29.243	3.918	0.90	0.99	120.72
1.500	79.98	81.98	10.618	0.983	92.388	10.233	28.256	3.914	0.95	1.07	127.66
1.600	89.45	91.68	10.573	1.043	96.897	10.154	27.426	3.938	0.99	1.16	134.70
1.700	99.37	101.85	10.527	1.103	101.589	10.071	26.756	3.980	1.04	1.25	141.87
1.800	109.77	112.51	10.480	1.165	106.363	9.986	26.193	4.028	1.09	1.35	149.19
1.900	120.60	123.62	10.431	1.226	110.219	9.883	25.612	4.001	1.13	1.45	156.16
2.000	131.84	135.14	10.380	1.288	113.617	9.768	24.999	3.956	1.16	1.54	163.01
2.100	143.31	146.90	10.326	1.349	116.703	9.643	24.403	3.912	1.20	1.62	169.76
2.200	155.13	159.01	10.269	1.410	119.692	9.516	23.889	3.874	1.23	1.71	176.52
2.300	167.25	171.43	10.210	1.471	122.677	9.394	23.507	3.842	1.26	1.81	183.30
2.400	179.67	184.16	10.149	1.532	125.727	9.279	23.268	3.820	1.29	1.92	190.12
2.500	192.34	197.15	10.089	1.592	128.913	9.179	23.210	3.805	1.32	2.04	196.95
2.600	205.47	210.60	10.028	1.653	132.294	9.113	23.305	3.798	1.36	2.19	203.72
2.700	218.85	224.32	9.971	1.714	135.358	9.077	23.254	3.799	1.39	2.32	210.27
2.800	232.53	238.34	9.918	1.775	138.131	9.069	23.074	3.805	1.42	2.43	216.64
2.900	246.47	252.63	9.870	1.836	140.619	9.089	22.782	3.814	1.44	2.54	222.83
3.000	260.64	267.16	9.829	1.897	142.909	9.129	22.426	3.825	1.46	2.63	228.90
3.100	275.05	281.93	9.793	1.957	145.228	9.174	22.113	3.840	1.49	2.73	235.03

* Η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο βασικό επίπεδο αναφοράς, στη θέση του κατασκευαστικού νομέα #0 και ο άξονας-x έχει θετική φορά πρώραθεν
* Τα βυθίσματα είναι προβεβλημένα (moulded)
* Πυκνότητα νερού, ρ=1,025 tn/m^3
* Στους υπολογισμούς έχοyn ληφθεί υπ' όψη το skeg και τα blisters
* Στους υπολογισμούς δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη πάχος ελασμάτων γάστρας και τα παρελκόμενα (πηδάλιο, αξονικά, κλπ.)
* Ο πίνακας προέκυψε από σχέδιο γραμμών που είχε αναπτυχθεί στη φάση της προσθήκης βολβού. Η ακρίβεια των δεδομένων αυτών, ως προς την ανταπόκρισή τους στη πραγματική κατάσταση του πλοίου (As Built condition) χρειάζεται να εξετασθεί με μετρήσεις κατά τον δεξαμενισμό του πλοίου.

Παράρτημα 7 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, επιμηκυμένο πλοίο με sponsons και βολβό

T	V	Δ	LCB	VCB	AWP	LCF	KML	KMT	TPC	MCT	S
m	m³	tn	m	m	m²	m	m	m	tn/cm	tn*m/cm	m²
0.200	0.47	0.48	8.480	0.135	9.445	12.872	606.753	0.542	0.10	0.11	12.36
0.300	2.25	2.31	12.379	0.232	26.283	13.552	293.108	2.490	0.27	0.26	30.78
0.400	5.74	5.88	13.097	0.306	43.499	13.542	184.063	4.442	0.45	0.42	49.61
0.500	10.96	11.24	13.283	0.376	61.043	13.431	135.244	6.363	0.63	0.59	68.79
0.600	17.94	18.38	13.311	0.445	77.720	13.287	107.156	7.883	0.80	0.76	87.18
0.700	26.24	26.89	13.285	0.510	87.399	13.182	87.465	7.327	0.90	0.90	98.94
0.800	35.32	36.20	13.248	0.572	93.936	13.104	74.479	6.463	0.96	1.04	108.04
0.900	44.97	46.10	13.210	0.632	99.007	13.040	65.545	5.721	1.01	1.16	116.17
1.000	55.03	56.41	13.174	0.690	103.053	12.983	59.080	5.113	1.06	1.27	123.77
1.100	65.57	67.21	13.138	0.748	106.514	12.924	54.083	4.625	1.09	1.39	131.20
1.200	76.39	78.30	13.104	0.805	110.151	12.864	50.250	4.312	1.13	1.50	138.68
1.300	87.63	89.82	13.069	0.862	114.666	12.800	47.271	4.174	1.18	1.61	146.53
1.400	99.33	101.82	13.033	0.919	119.535	12.728	44.926	4.107	1.23	1.73	154.59
1.500	111.54	114.33	12.996	0.978	124.655	12.654	43.044	4.083	1.28	1.86	162.80
1.600	124.27	127.38	12.957	1.036	129.940	12.582	41.482	4.088	1.33	1.99	171.10
1.700	137.54	140.97	12.917	1.095	135.410	12.509	40.206	4.111	1.39	2.13	179.54
1.800	151.36	155.14	12.877	1.155	140.882	12.432	39.124	4.138	1.44	2.28	188.09
1.900	165.65	169.79	12.834	1.215	144.826	12.332	38.001	4.069	1.48	2.42	196.07
2.000	180.23	184.74	12.789	1.275	148.283	12.222	36.893	3.998	1.52	2.55	203.86
2.100	195.30	200.18	12.741	1.334	151.487	12.101	35.794	3.934	1.55	2.67	211.67
2.200	210.60	215.87	12.690	1.394	154.565	11.980	34.846	3.880	1.58	2.79	219.44
2.300	226.21	231.87	12.637	1.453	157.638	11.863	34.076	3.836	1.62	2.93	227.23
2.400	242.13	248.18	12.582	1.512	160.777	11.754	33.494	3.802	1.65	3.07	235.05
2.500	258.29	264.74	12.527	1.571	164.051	11.658	33.139	3.779	1.68	3.23	242.88
2.600	274.95	281.82	12.472	1.630	167.521	11.594	32.970	3.763	1.72	3.42	250.66
2.700	291.86	299.16	12.420	1.689	170.673	11.560	32.659	3.755	1.75	3.58	258.21
2.800	309.08	316.80	12.372	1.748	173.534	11.554	32.222	3.754	1.78	3.73	265.58
2.900	326.56	334.73	12.329	1.807	176.111	11.575	31.676	3.756	1.81	3.87	272.78
3.000	344.29	352.90	12.291	1.866	178.489	11.616	31.074	3.762	1.83	3.99	279.85
3.100	362.26	371.32	12.259	1.925	180.897	11.661	30.536	3.772	1.85	4.11	286.98

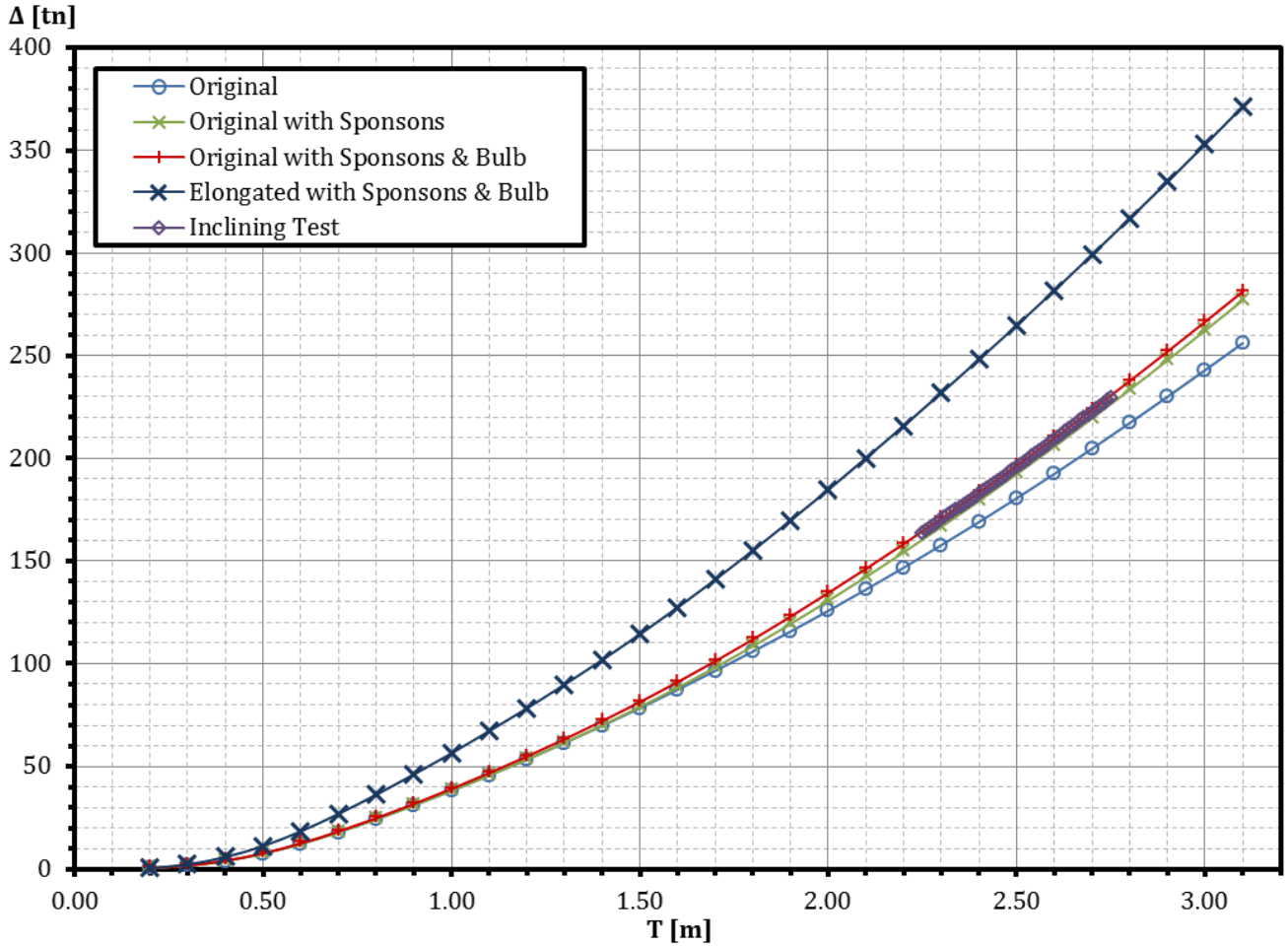
* Η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο βασικό επίπεδο αναφοράς, στη θέση του κατασκευαστικού νομέα #0 και ο άξονας-x έχει θετική φορά πρώραθεν
* Τα βυθίσματα είναι προβεβλημένα (moulded)
* Πυκνότητα νερού, ρ=1,025 tn/m³
* Στους υπολογισμούς έχει ληφθεί υπ' όψη το skeg
* Στους υπολογισμούς δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη πάχος ελασμάτων γάστρας, τα blisters και τα παρελκόμενα (πηδάλιο, αξονικά, κλπ.)
* Ο πίνακας προέκυψε από σχέδιο γραμμών που είχε αναπτυχθεί στη φάση της προσθήκης βολβού και κατόπιν της επιμήκυνσης. Η ακρίβεια των δεδομένων αυτών, ως προς την ανταπόκρισή τους στη πραγματική κατάσταση του πλοίου (As Built condition) χρειάζεται να εξετασθεί με μετρήσεις κατά τον δεξαμενισμό του πλοίου.

Παράρτημα 8 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, επιμηκυμένο πλοίο με sponsons, blisters και βολβό

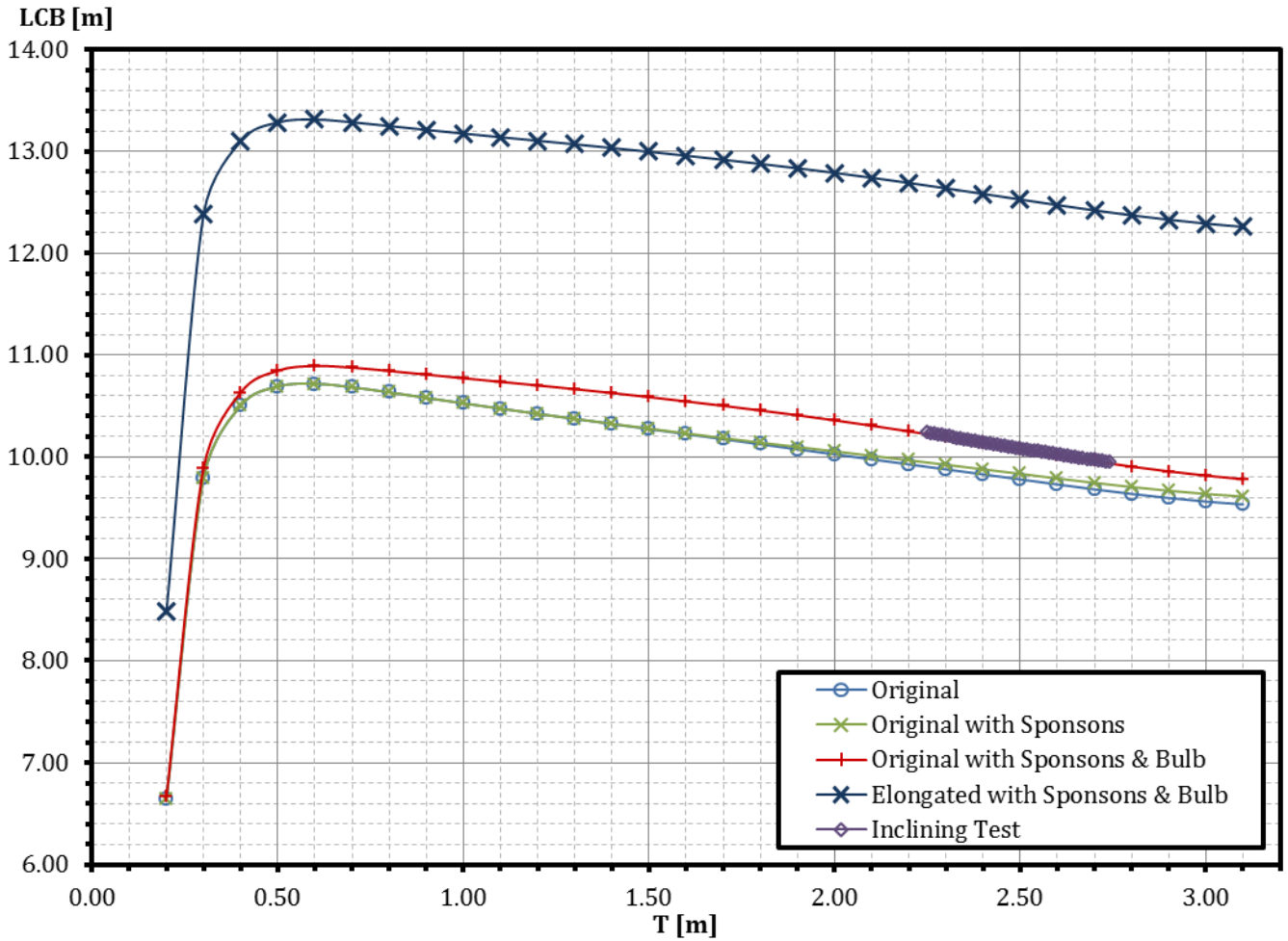
T	V	Δ	LCB	VCB	AWP	LCF	KML	KMT	TPC	MCT	S
m	m³	tn	m	m	m²	m	m	m	tn/cm	tn*m/cm	m²
0.200	0.47	0.49	8.644	0.136	9.466	12.933	617.005	0.539	0.10	0.12	12.46
0.300	2.27	2.33	12.465	0.233	28.035	13.856	308.148	3.831	0.29	0.28	32.73
0.400	6.02	6.17	13.393	0.308	45.976	13.856	188.445	5.069	0.47	0.45	53.29
0.500	11.41	11.70	13.531	0.376	61.911	13.542	133.832	6.317	0.63	0.60	71.49
0.600	18.44	18.90	13.491	0.443	78.002	13.334	105.675	7.739	0.80	0.77	89.57
0.700	26.75	27.42	13.420	0.508	87.480	13.207	86.387	7.218	0.90	0.91	101.28
0.800	35.84	36.73	13.354	0.569	93.894	13.116	73.650	6.385	0.96	1.04	110.35
0.900	45.49	46.62	13.296	0.629	98.886	13.044	64.886	5.664	1.01	1.16	118.46
1.000	55.53	56.92	13.244	0.687	102.898	12.982	58.555	5.071	1.05	1.27	126.04
1.100	66.05	67.70	13.198	0.745	106.363	12.923	53.692	4.594	1.09	1.39	133.48
1.200	76.86	78.78	13.155	0.802	110.013	12.863	49.947	4.288	1.13	1.50	140.96
1.300	88.08	90.28	13.114	0.859	114.534	12.799	47.030	4.154	1.17	1.61	148.82
1.400	99.77	102.27	13.073	0.917	119.410	12.728	44.729	4.090	1.22	1.73	156.88
1.500	111.97	114.77	13.031	0.975	124.537	12.654	42.881	4.069	1.28	1.86	165.09
1.600	124.69	127.80	12.989	1.033	129.828	12.583	41.344	4.075	1.33	1.99	173.40
1.700	137.94	141.39	12.946	1.093	135.304	12.510	40.088	4.099	1.39	2.13	181.84
1.800	151.75	155.54	12.903	1.153	140.774	12.433	39.023	4.127	1.44	2.28	190.39
1.900	166.03	170.18	12.858	1.213	144.726	12.333	37.914	4.060	1.48	2.42	198.37
2.000	180.61	185.12	12.811	1.272	148.190	12.223	36.816	3.990	1.52	2.55	206.17
2.100	195.66	200.55	12.761	1.332	151.402	12.103	35.727	3.926	1.55	2.67	213.98
2.200	210.96	216.23	12.709	1.391	154.488	11.982	34.787	3.873	1.58	2.79	221.75
2.300	226.56	232.22	12.655	1.450	157.568	11.865	34.023	3.830	1.62	2.93	229.53
2.400	242.47	248.53	12.599	1.509	160.714	11.756	33.446	3.797	1.65	3.07	237.36
2.500	258.62	265.09	12.543	1.568	163.996	11.660	33.096	3.773	1.68	3.23	245.18
2.600	275.28	282.17	12.487	1.628	167.474	11.597	32.930	3.758	1.72	3.42	252.97
2.700	292.19	299.50	12.435	1.687	170.633	11.563	32.622	3.751	1.75	3.58	260.52
2.800	309.40	317.14	12.386	1.746	173.502	11.556	32.188	3.750	1.78	3.73	267.89
2.900	326.88	335.05	12.342	1.805	176.087	11.577	31.644	3.752	1.80	3.87	275.08
3.000	344.61	353.23	12.303	1.864	178.473	11.618	31.045	3.758	1.83	3.99	282.16
3.100	362.58	371.64	12.270	1.923	180.888	11.663	30.509	3.769	1.85	4.11	289.29

* Η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο βασικό επίπεδο αναφοράς, στη θέση του κατασκευαστικού νομέα #0 και ο άξονας-x έχει θετική φορά πρώραθεν
* Τα βυθίσματα είναι προβεβλημένα (moulded)
* Πυκνότητα νερού, ρ=1,025 tn/m³
* Στους υπολογισμούς έχοyn ληφθεί υπ' όψη το skeg και τα blisters
* Στους υπολογισμούς δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη πάχος ελασμάτων γάστρας και τα παρελκόμενα (πηδάλιο, αξονικά, κλπ.)
* Ο πίνακας προέκυψε από σχέδιο γραμμών που είχε αναπτυχθεί στη φάση της προσθήκης βολβού και κατόπιν της επιμήκυνσης. Η ακρίβεια των δεδομένων αυτών, ως προς την ανταπόκρισή τους στη πραγματική κατάσταση του πλοίου (As Built condition) χρειάζεται να εξετασθεί με μετρήσεις κατά τον δεξαμενισμό του πλοίου.

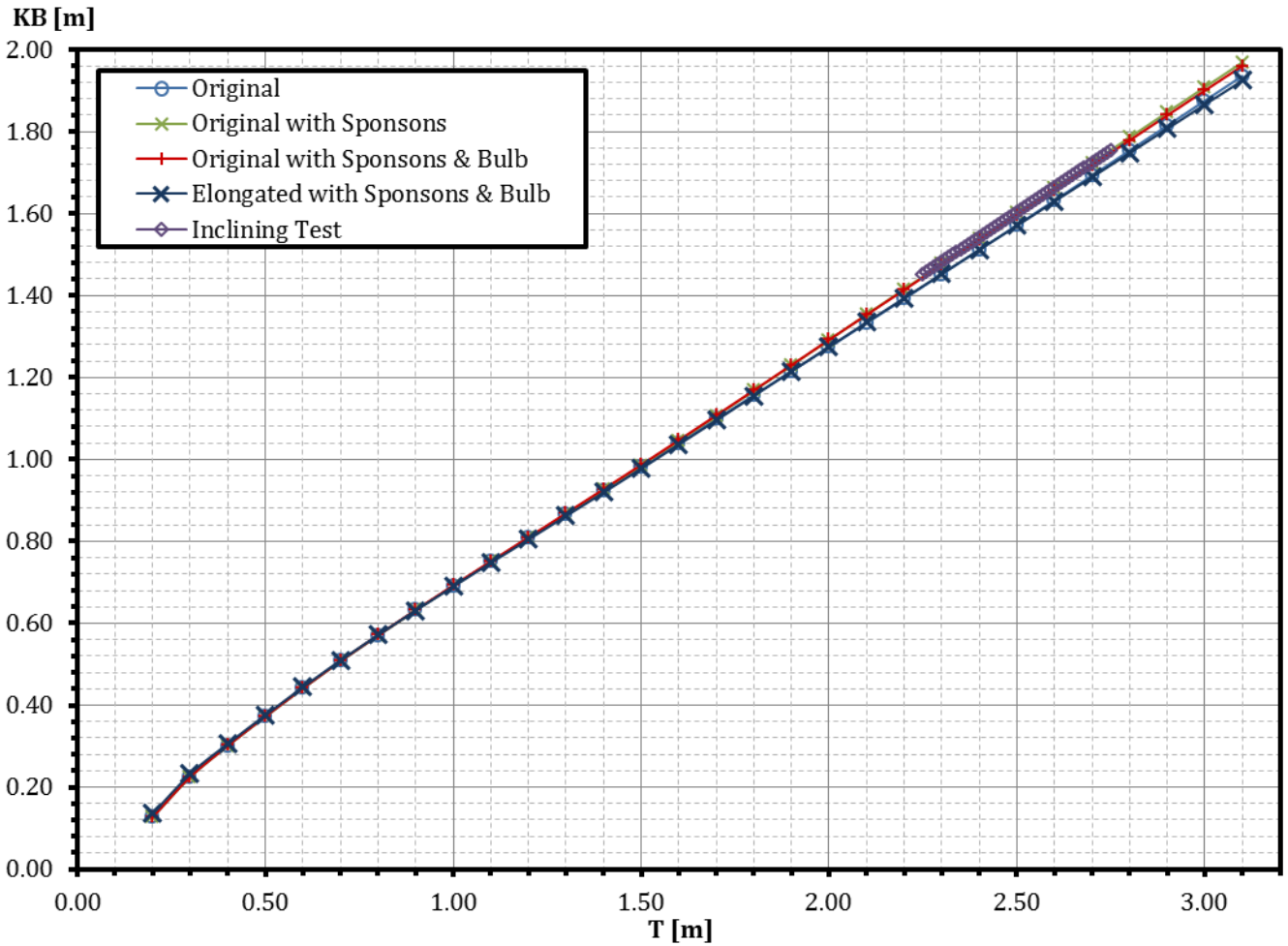
Παράρτημα 9 - Διαγράμματα Υδροστατικών Μεγεθών



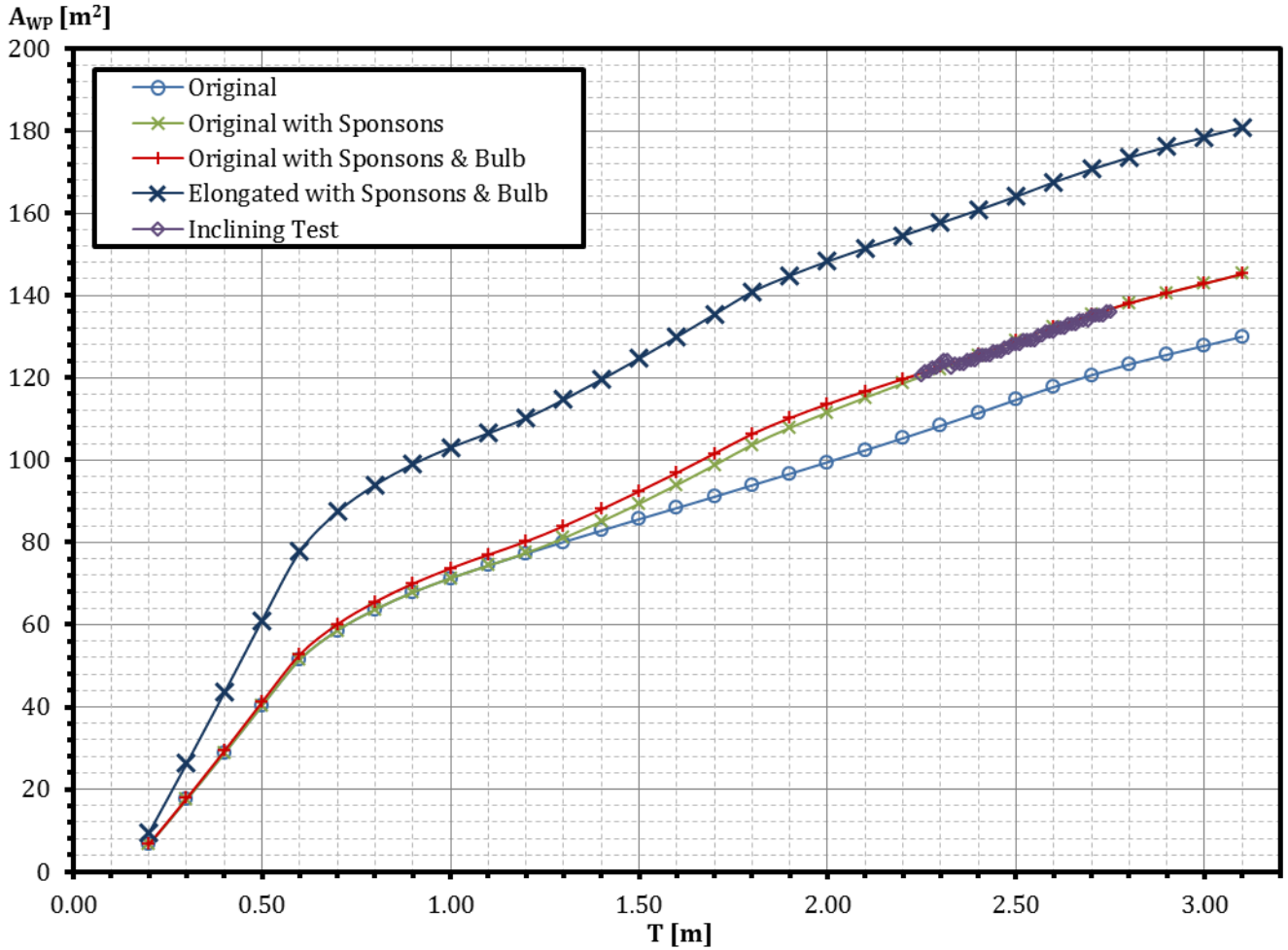
Σχήμα Π9.1: Καμπύλες εκτοπίσματος, Δ.



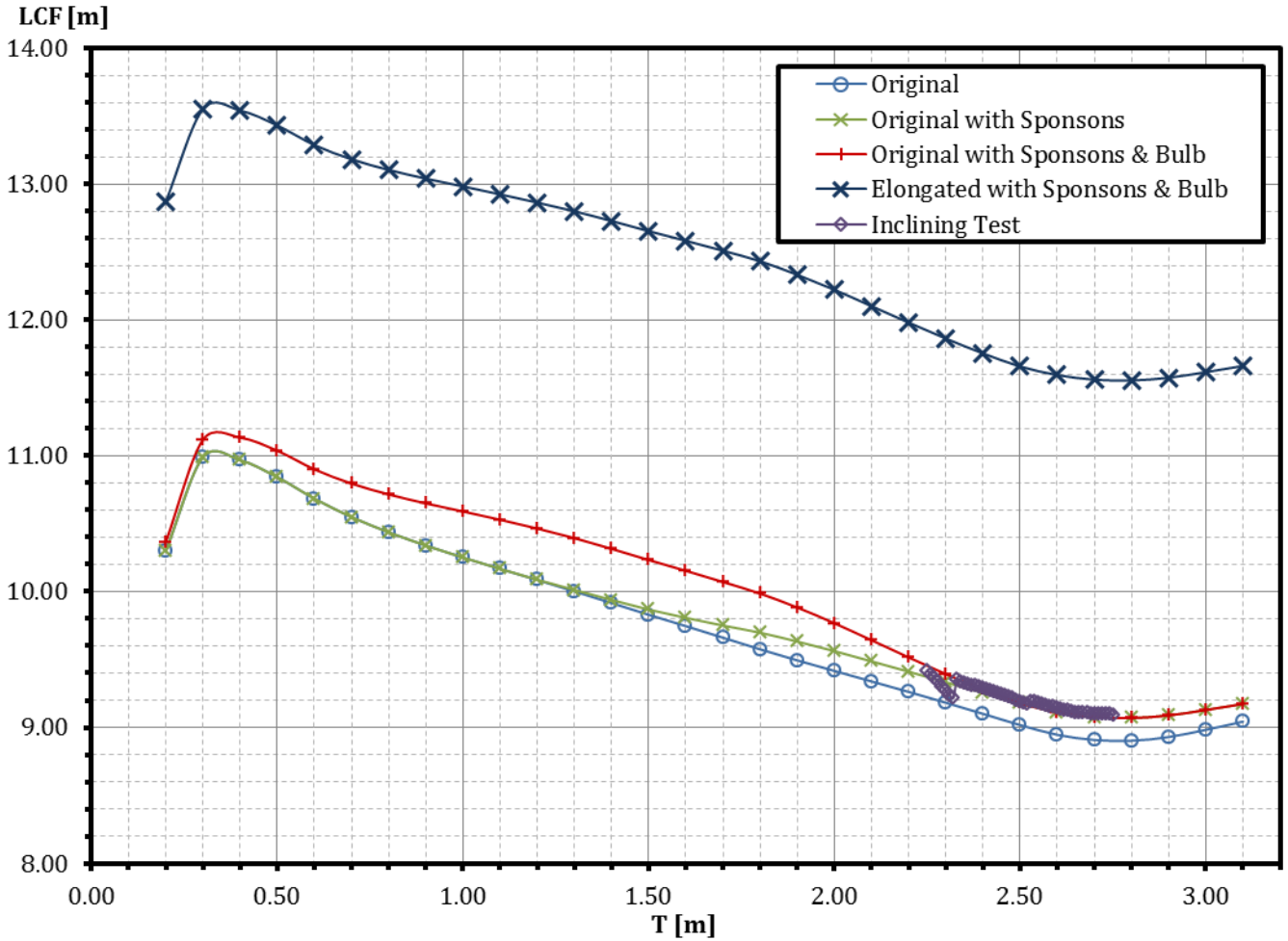
Σχήμα Π9.2: Καμπύλες διαμήκους θέσης κέντρου άνωσης, LCB.



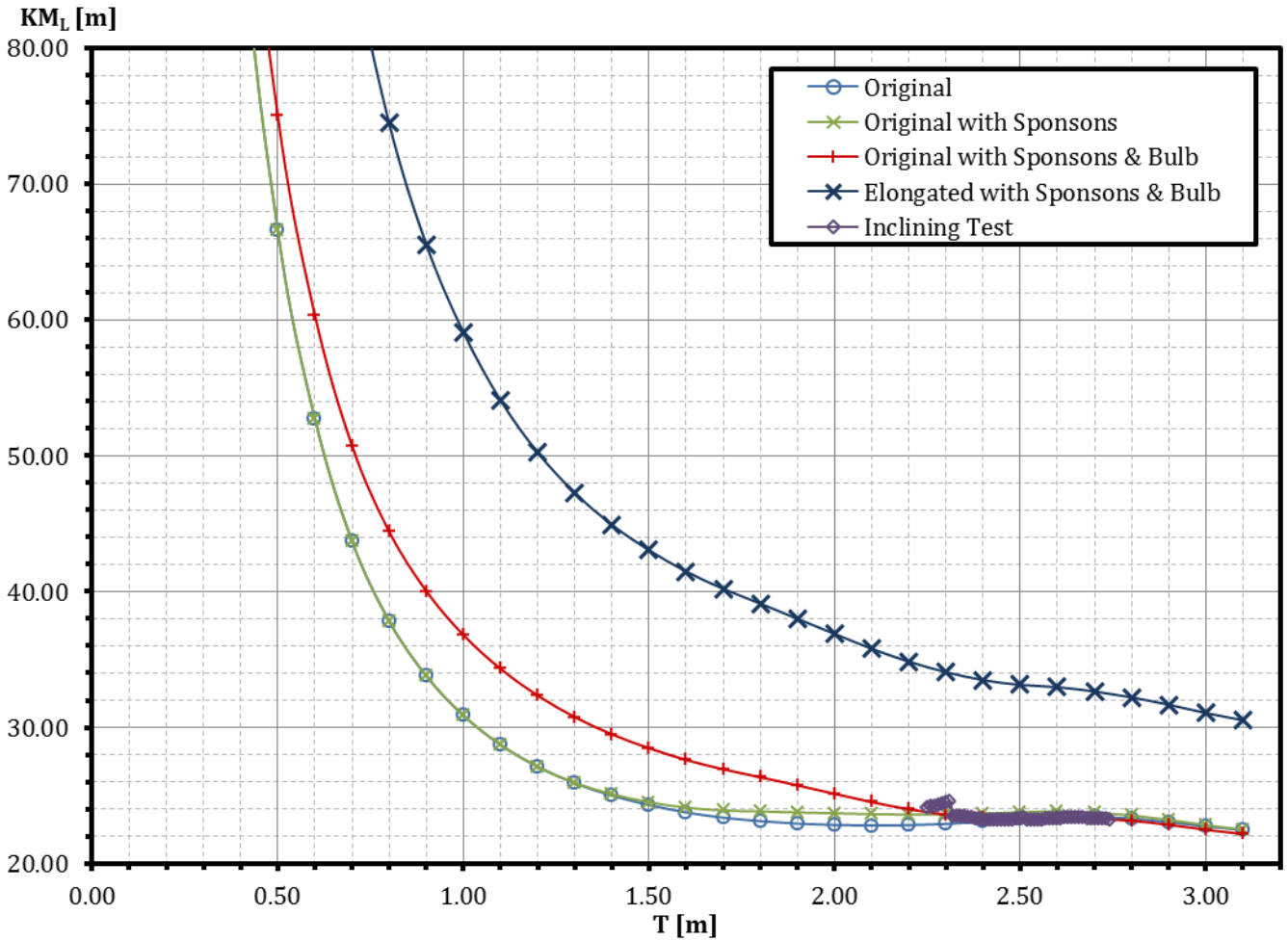
Σχήμα Π9.3: Καμπύλες κατακόρυφης θέσης κέντρου άνωσης, KB.



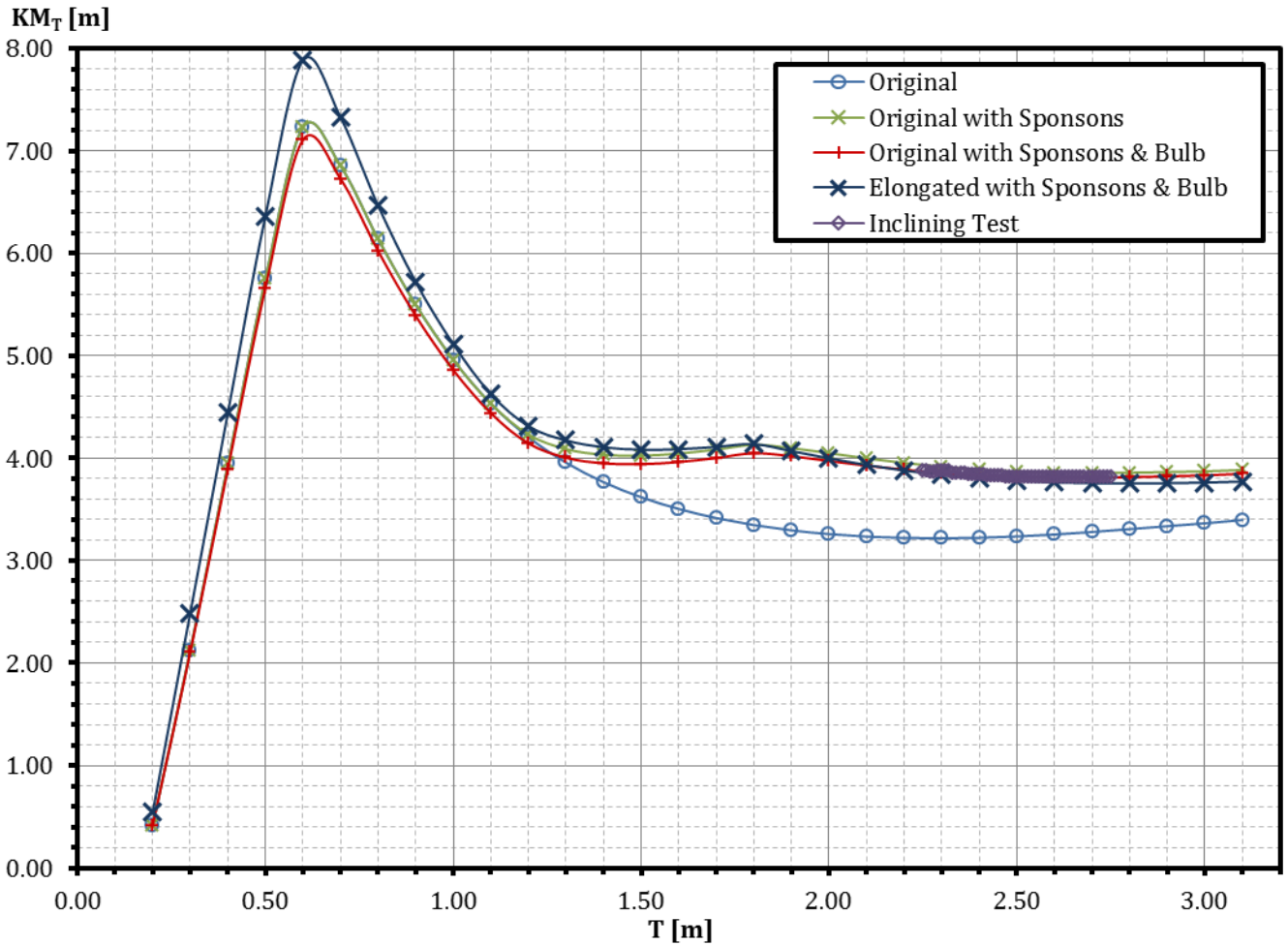
Σχήμα Π9.4: Καμπύλες επιφάνειας ισάλου, A_{WP}.



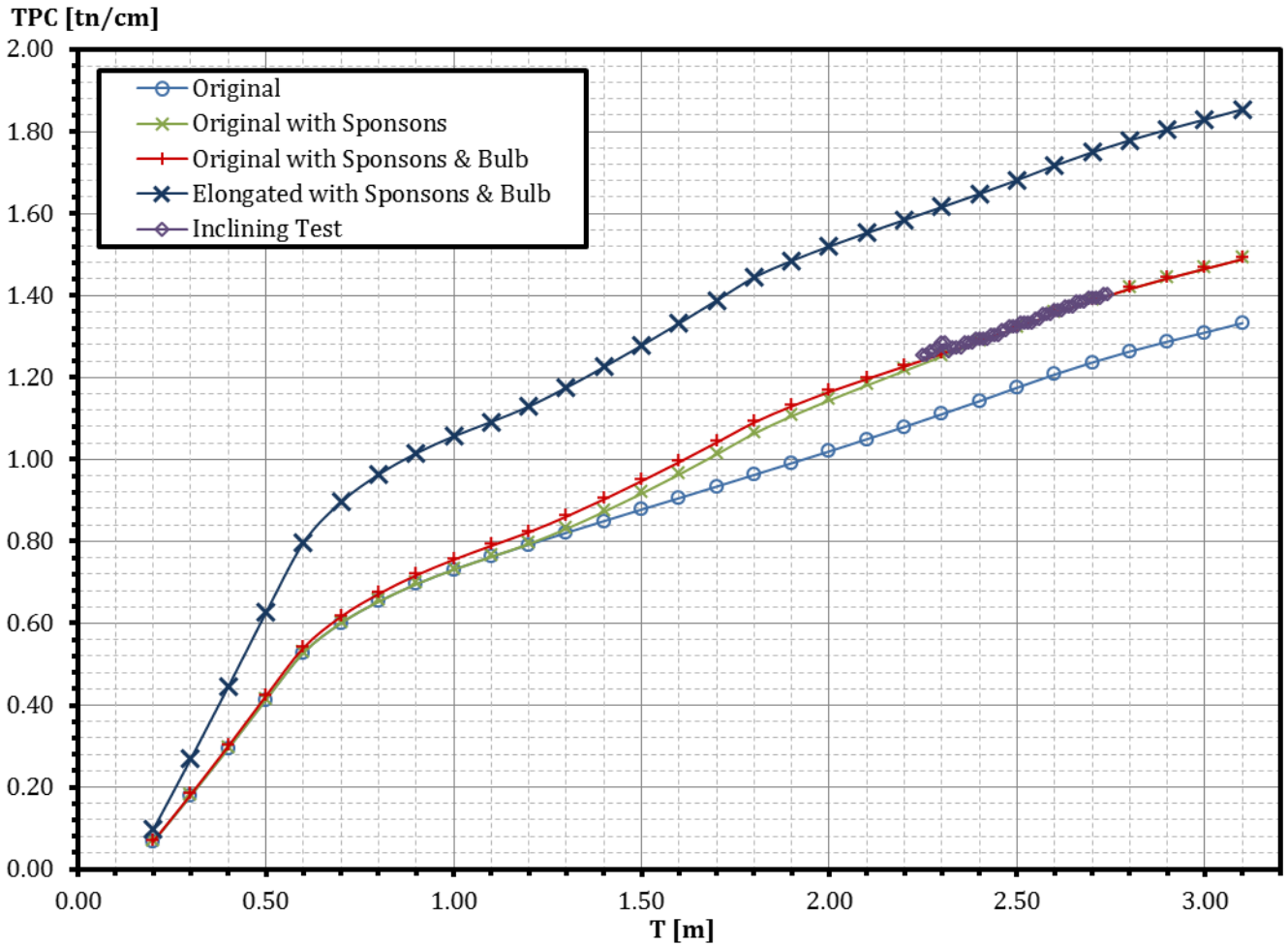
Σχήμα Π9.5: Καμπύλες διαμήκους θέσης κέντρου πλευστότητας, LCF.



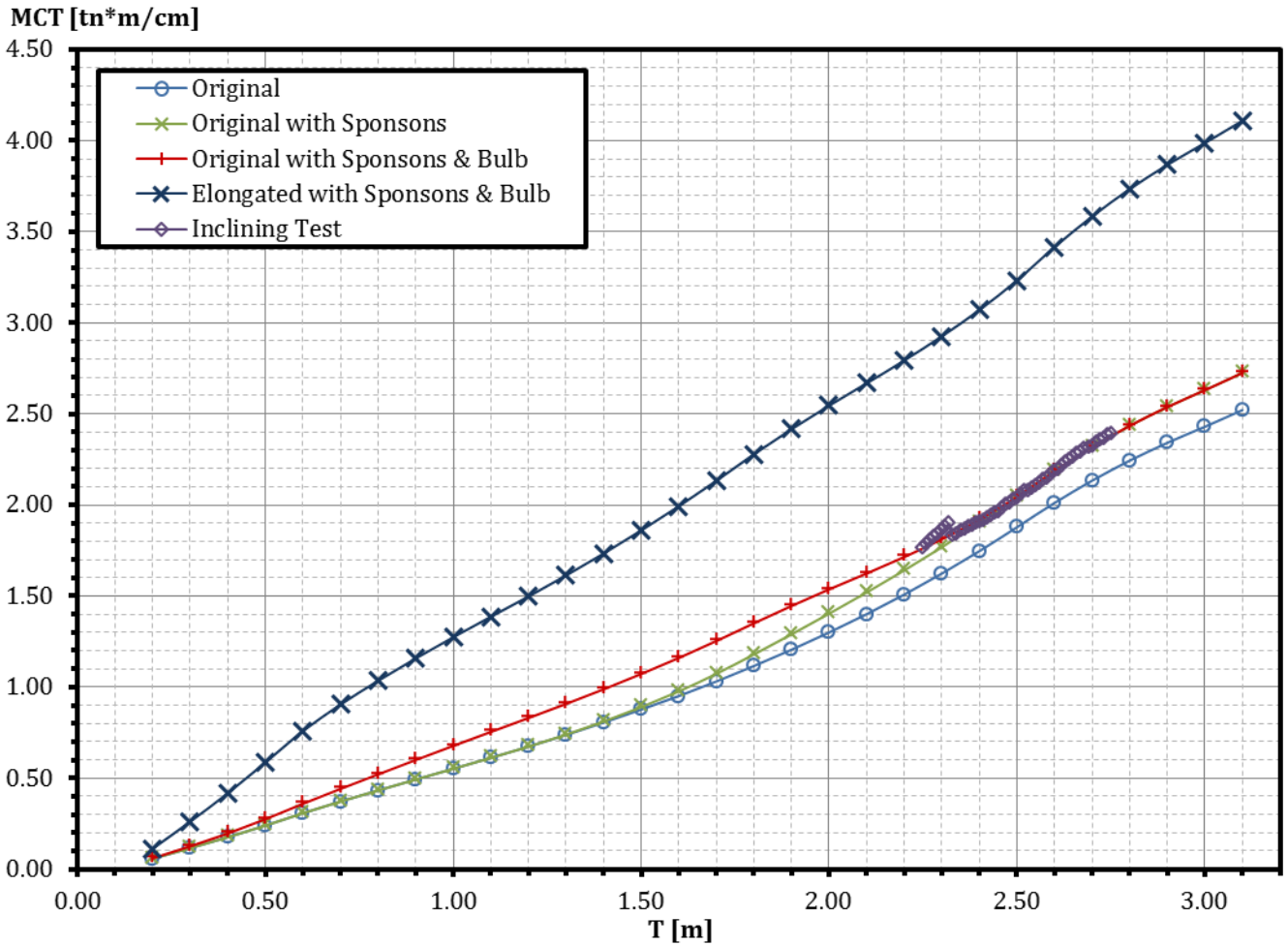
Σχήμα Π9.6: Καμπύλες κατακόρυφης απόστασης διαμήκους μετάκεντρου, KM_L.



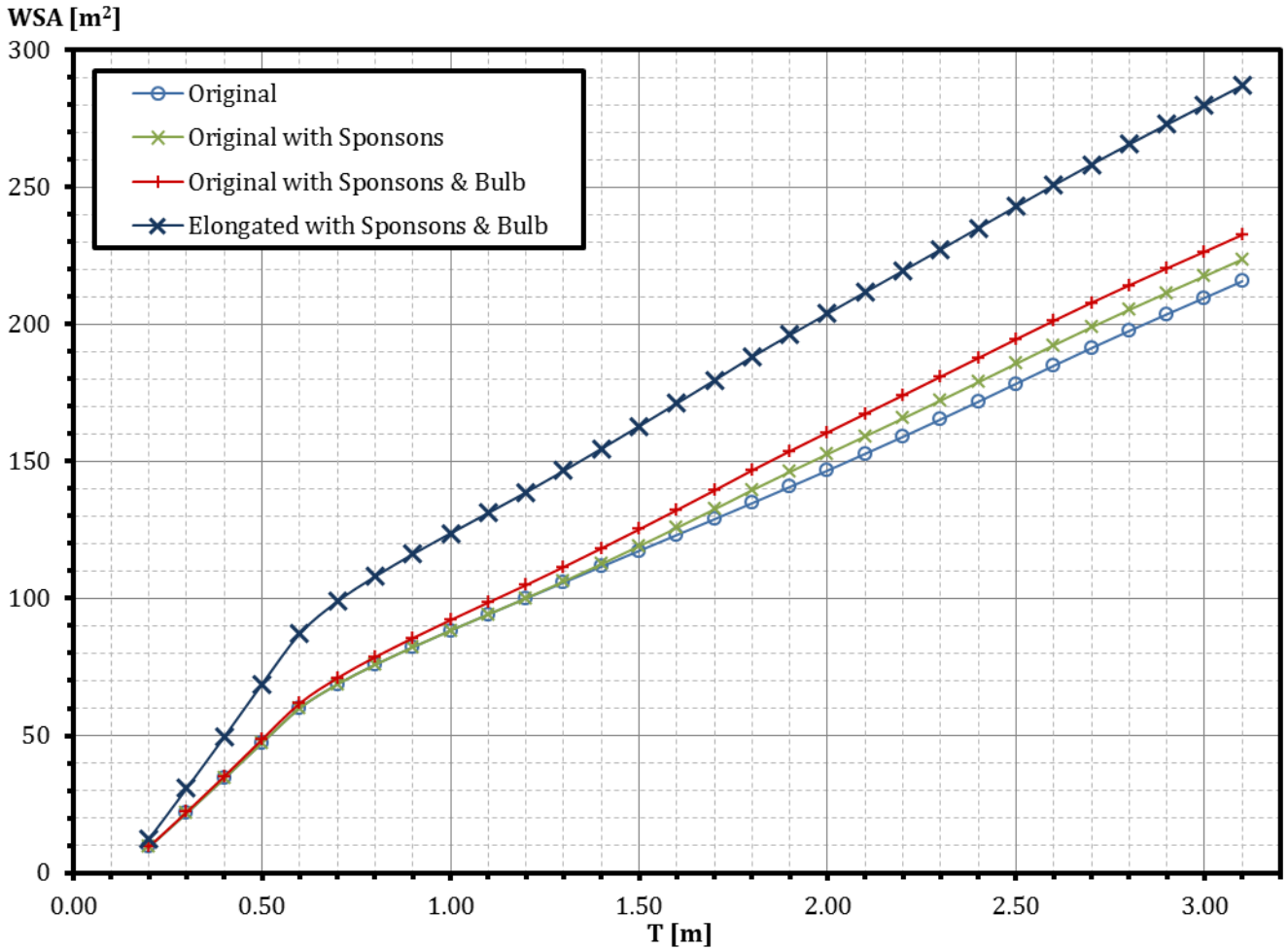
Σχήμα Π9.7: Καμπύλες κατακόρυφης απόστασης εγκάρσιου μετάκεντρου, KM_T.



Σχήμα Π9.8: Καμπύλες μεταβολής εκτοπίσματος ανά μονάδα μεταβολής του βυθίσματος, TPC.



Σχήμα Π9.9: Καμπύλες ροπής διαγωγής ανά μονάδα μεταβολής του βυθίσματος, MCT.



Σχήμα Π9.10: Καμπύλες βρεχόμενης επιφάνειας, WSA.

Παράρτημα 10 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=1.76m, t=0.34m, αρχική διαμόρφωση πλοίου

Ship Name		**FILIA**	
Test Condition			
Model No	**020-84**	**Date**	**4/10/1984**
Scale	**10.000**	**Trip Wires**	**YES**

Ship Data			**Model Data**			
L_{WL}	20.340	m	L_{WL}	2.034	m	
L_{Bulb}	20.340	m	L_{Bulb}	2.034	m	
B_{WL}	6.250	m	B_{WL}	0.625	m	
T	1.760	m	**T**	0.176	m	
Trim	0.340	m	**Trim**	0.034	m	(+: έμπρυμνη)
S	132.550	m^2	**S**	1.326	m^2	
S.W. Tmp.	15.000	ºC	**F.W. Tmp.**	23.000	ºC	
ΔC_F*1000	0.404					
Grav	9.806	m/sec^2				
S.W.Dens.	1026.02	kp/m^3	**F.W.Dens.**	997.54	kp/m^3	
	104.63	$kp*sec^2/m^4$		101.73	$kp*sec^2/m^4$	
S.W.Visc.	1.189E-06	m^2/sec	**F.W.Visc.**	9.344E-07	m^2/sec	

V_M m/s	$R_{T,M}$ kp	Fn	Rn_M $*10^{-6}$	$R_{T,M}$ Nt	$C_{T,M}$ $*10^3$	$C_{F,M}$ $*10^3$	C_R $*10^3$
0.704	0.199	0.158	1.532	1.951	5.956	4.281	1.674
0.880	0.317	0.197	1.916	3.109	6.072	4.090	1.982
1.002	0.446	0.224	2.181	4.373	6.589	3.984	2.605
1.204	0.701	0.270	2.621	6.874	7.173	3.842	3.331
1.362	0.973	0.305	2.965	9.541	7.780	3.750	4.030
1.499	1.232	0.336	3.263	12.081	8.132	3.681	4.451
1.602	1.504	0.359	3.487	14.748	8.692	3.635	5.058
1.704	2.009	0.382	3.709	19.700	10.262	3.592	6.670
1.794	2.725	0.402	3.905	26.721	12.558	3.557	9.001
1.835	3.280	0.411	3.994	32.164	14.448	3.542	10.906
1.904	3.962	0.426	4.145	38.851	16.210	3.518	12.693
1.951	4.658	0.437	4.247	45.676	18.151	3.502	14.649

V_S m/s	Fn	Rn_S $*10^{-8}$	$C_{F,S}$ $*10^3$	$C_{T,S}$ $*10^3$	$R_{T,S}$ Nt	EHP kW	V_S kn
2.226	0.158	0.381	2.408	4.486	1511.865	3.366	4.327
2.783	0.197	0.476	2.327	4.712	2481.403	6.905	5.409
3.169	0.224	0.542	2.281	5.290	3611.265	11.443	6.159
3.807	0.270	0.651	2.219	5.954	5868.707	22.344	7.401
4.307	0.305	0.737	2.179	6.612	8340.542	35.923	8.372
4.740	0.336	0.811	2.148	7.003	10700.017	50.721	9.214
5.066	0.359	0.866	2.127	7.589	13243.096	67.089	9.847
5.389	0.382	0.922	2.108	9.182	18129.706	97.692	10.474
5.673	0.402	0.970	2.092	11.497	25161.958	142.747	11.028
5.803	0.411	0.993	2.086	13.395	30671.343	177.979	11.280
6.021	0.426	1.030	2.074	15.171	37398.419	225.175	11.704
6.170	0.437	1.055	2.067	17.120	44312.949	273.393	11.993

Παράρτημα 11 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.6m, αρχική διαμόρφωση πλοίου

Ship Name		**FILIA**	
Test Condition		**C2 – w/o Sponsons**	
Model No	**020-84**	**Date**	**3/4/1987**
Scale	**10.000**	**Trip Wires**	**YES**

Ship Data			**Model Data**			
L_{WL}	23.240	m	**L_{WL}**	2.324	m	
L_{Bulb}	23.240	m	**L_{Bulb}**	2.324	m	
B_{WL}	6.164	m	**B_{WL}**	0.616	m	
T	2.600	m	**T**	0.260	m	
Trim	0.000	m	**Trim**	0.000	m	(+: έμπρυμνη)
S	184.880	m^2	**S**	1.849	m^2	
S.W. Tmp.	15.000	ºC	**F.W. Tmp.**	14.500	ºC	
ΔC_F*1000	0.400					
Grav	9.806	m/sec^2				
S.W.Dens.	1026.02	kp/m^3	**F.W.Dens.**	999.18	kp/m^3	
	104.63	$kp*sec^2/m^4$		101.89	$kp*sec^2/m^4$	
S.W.Visc.	1.189E-06	m^2/sec	**F.W.Visc.**	1.154E-06	m^2/sec	

V_M m/s	$R_{T,M}$ kp	Fn	Rn_M $*10^{-6}$	$R_{T,M}$ Nt	$C_{T,M}$ $*10^3$	$C_{F,M}$ $*10^3$	C_R $*10^3$
0.553	0.189	0.116	1.114	1.853	6.561	4.580	1.982
0.601	0.222	0.126	1.210	2.177	6.525	4.499	2.026
0.653	0.263	0.137	1.315	2.579	6.548	4.421	2.128
0.701	0.304	0.147	1.412	2.981	6.568	4.355	2.213
0.750	0.347	0.157	1.511	3.403	6.549	4.294	2.255
0.802	0.400	0.168	1.615	3.922	6.602	4.235	2.367
0.851	0.453	0.178	1.714	4.442	6.641	4.184	2.457
0.902	0.513	0.189	1.817	5.030	6.694	4.134	2.560
0.953	0.575	0.200	1.919	5.638	6.722	4.088	2.633
1.004	0.647	0.210	2.022	6.344	6.814	4.045	2.769
1.050	0.731	0.220	2.115	7.168	7.039	4.009	3.030
1.098	0.798	0.230	2.211	7.825	7.027	3.973	3.054
1.153	0.931	0.242	2.322	9.129	7.435	3.935	3.500
1.216	1.070	0.255	2.449	10.492	7.683	3.893	3.789
1.252	1.154	0.262	2.522	11.316	7.816	3.871	3.945
1.302	1.278	0.273	2.622	12.532	8.004	3.841	4.163
1.352	1.395	0.283	2.723	13.679	8.102	3.813	4.289
1.404	1.576	0.294	2.828	15.454	8.488	3.785	4.703
1.451	1.748	0.304	2.922	17.141	8.814	3.761	5.054
1.502	1.959	0.315	3.025	19.210	9.219	3.736	5.483
1.553	2.149	0.325	3.128	21.073	9.460	3.712	5.748
1.652	2.573	0.346	3.327	25.231	10.009	3.668	6.342
1.703	2.841	0.357	3.430	27.859	10.400	3.646	6.754

V_S m/s	Fn	Rn_S $*10^{-8}$	$C_{F,S}$ $*10^3$	$C_{T,S}$ $*10^3$	$R_{T,S}$ Nt	EHP kW	V_S kn
1.749	0.116	0.342	2.449	4.831	1401.204	2.450	3.399
1.901	0.126	0.371	2.418	4.844	1659.384	3.154	3.694
2.065	0.137	0.404	2.387	4.914	1987.409	4.104	4.014
2.217	0.147	0.433	2.361	4.973	2317.881	5.138	4.309
2.372	0.157	0.463	2.336	4.991	2662.837	6.315	4.610
2.536	0.168	0.496	2.312	5.080	3098.841	7.859	4.930
2.691	0.178	0.526	2.292	5.149	3536.557	9.517	5.231
2.852	0.189	0.557	2.271	5.231	4036.882	11.515	5.545
3.014	0.200	0.589	2.253	5.286	4553.381	13.722	5.858
3.175	0.210	0.620	2.235	5.404	5166.685	16.404	6.172
3.320	0.220	0.649	2.220	5.650	5908.494	19.619	6.454
3.472	0.230	0.679	2.205	5.659	6471.333	22.470	6.749
3.646	0.242	0.713	2.189	6.090	7678.416	27.996	7.087
3.845	0.255	0.751	2.172	6.361	8921.485	34.306	7.475
3.959	0.262	0.774	2.163	6.508	9675.383	38.307	7.696
4.117	0.273	0.805	2.150	6.713	10793.378	44.439	8.003
4.275	0.283	0.836	2.139	6.828	11837.524	50.610	8.311
4.440	0.294	0.868	2.127	7.230	13517.236	60.014	8.630
4.588	0.304	0.897	2.117	7.570	15117.010	69.364	8.919
4.750	0.315	0.928	2.106	7.989	17095.006	81.197	9.233
4.911	0.325	0.960	2.096	8.244	18858.213	92.613	9.546
5.224	0.346	1.021	2.077	8.819	22827.140	119.251	10.155
5.385	0.357	1.052	2.068	9.222	25366.186	136.606	10.468

Παράρτημα 12 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.6m, πλοίο με sponsons

Ship Name		**FILIA**	
Test Condition		**C2 - with Sponsons**	
Model No	**020-84**	**Date**	**22/6/1987**
Scale	**10.000**	**Trip Wires**	**YES**

Ship Data			**Model Data**			
L_{WL}	23.240	m	L_{WL}	2.324	m	
L_{Bulb}	23.240	m	L_{Bulb}	2.324	m	
B_{WL}	7.066	m	B_{WL}	0.707	m	
T	2.600	m	**T**	0.260	m	
Trim	0.000	m	**Trim**	0.000	m	(+: έμπρυμνη)
S	192.312	m^2	**S**	1.923	m^2	
S.W. Tmp.	15.000	ºC	**F.W. Tmp.**	22.500	ºC	
ΔC_F*1000	0.400					
Grav	9.806	m/sec^2				
S.W.Dens.	1026.02	kp/m^3	**F.W.Dens.**	997.66	kp/m^3	
	104.63	$kp*sec^2/m^4$		101.74	$kp*sec^2/m^4$	
S.W.Visc.	1.189E-06	m^2/sec	**F.W.Visc.**	9.455E-07	m^2/sec	

V_M m/s	$R_{T,M}$ kp	Fn	Rn_M $*10^{-6}$	$R_{T,M}$ Nt	$C_{T,M}$ $*10^3$	$C_{F,M}$ $*10^3$	C_R $*10^3$
0.600	0.215	0.126	1.475	2.108	6.105	4.316	1.789
0.651	0.258	0.136	1.600	2.530	6.223	4.243	1.980
0.702	0.296	0.147	1.726	2.903	6.140	4.178	1.962
0.753	0.342	0.158	1.851	3.354	6.166	4.119	2.047
0.800	0.394	0.168	1.966	3.864	6.293	4.068	2.225
0.851	0.450	0.178	2.092	4.413	6.352	4.018	2.334
0.903	0.510	0.189	2.220	5.001	6.393	3.970	2.423
0.952	0.578	0.199	2.340	5.668	6.519	3.929	2.590
1.002	0.647	0.210	2.463	6.344	6.587	3.889	2.698
1.055	0.745	0.221	2.593	7.305	6.842	3.850	2.992
1.102	0.826	0.231	2.709	8.100	6.953	3.817	3.136
1.153	0.915	0.242	2.834	8.972	7.036	3.783	3.252
1.203	1.040	0.252	2.957	10.198	7.346	3.752	3.594
1.251	1.130	0.262	3.075	11.081	7.381	3.724	3.657
1.302	1.238	0.273	3.200	12.140	7.465	3.695	3.770
1.348	1.364	0.282	3.313	13.375	7.673	3.671	4.002
1.401	1.555	0.293	3.444	15.248	8.098	3.644	4.455
1.452	1.730	0.304	3.569	16.964	8.388	3.619	4.769
1.503	1.957	0.315	3.694	19.190	8.855	3.595	5.260
1.558	2.215	0.326	3.830	21.720	9.328	3.571	5.757
1.600	2.389	0.335	3.933	23.427	9.539	3.553	5.987
1.655	2.608	0.347	4.068	25.574	9.733	3.530	6.203
1.715	2.876	0.359	4.215	28.202	9.995	3.506	6.489

V_S m/s	Fn	Rn_S $*10^{-8}$	$C_{F,S}$ $*10^3$	$C_{T,S}$ $*10^3$	$R_{T,S}$ Nt	EHP kW	V_S kn
1.897	0.126	0.371	2.418	4.607	1636.345	3.105	3.688
2.059	0.136	0.402	2.388	4.767	1993.270	4.103	4.002
2.220	0.147	0.434	2.360	4.722	2295.724	5.096	4.315
2.381	0.158	0.465	2.335	4.782	2674.912	6.369	4.629
2.530	0.168	0.494	2.313	4.938	3117.843	7.888	4.918
2.691	0.178	0.526	2.292	5.025	3590.559	9.663	5.231
2.856	0.189	0.558	2.271	5.094	4098.013	11.702	5.551
3.010	0.199	0.588	2.253	5.243	4688.338	14.114	5.852
3.169	0.210	0.619	2.236	5.334	5283.425	16.741	6.159
3.336	0.221	0.652	2.219	5.611	6161.270	20.555	6.485
3.485	0.231	0.681	2.204	5.740	6877.086	23.965	6.774
3.646	0.242	0.713	2.189	5.842	7661.745	27.936	7.087
3.804	0.252	0.743	2.176	6.169	8808.450	33.509	7.395
3.956	0.262	0.773	2.163	6.220	9603.790	37.993	7.690
4.117	0.273	0.805	2.150	6.320	10570.512	43.522	8.003
4.263	0.282	0.833	2.140	6.542	11728.040	49.994	8.286
4.430	0.293	0.866	2.127	6.982	13520.698	59.901	8.612
4.592	0.304	0.897	2.116	7.285	15153.884	69.581	8.925
4.753	0.315	0.929	2.106	7.766	17308.427	82.265	9.239
4.927	0.326	0.963	2.095	8.252	19761.654	97.362	9.577
5.060	0.335	0.989	2.087	8.473	21400.561	108.279	9.835
5.234	0.347	1.023	2.077	8.680	23454.406	122.750	10.173
5.423	0.359	1.060	2.066	8.955	25984.479	140.922	10.542

Παράρτημα 13 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.6m, πλοίο με sponsons και blisters

Ship Name		**FILIA**	
Test Condition		**C3 - with Sponsons amd Blisers**	
Model No	**020-84**	**Date**	**25/6/1987**
Scale	**10.000**	**Trip Wires**	**YES**

Ship Data			**Model Data**			
L_{WL}	23.240	m	L_{WL}	2.324	m	
L_{Bulb}	23.240	m	L_{Bulb}	2.324	m	
B_{WL}	7.066	m	B_{WL}	0.707	m	
T	2.600	m	**T**	0.260	m	
Trim	0.000	m	**Trim**	0.000	m	(+: έμπρυμνη)
S	194.610	m^2	**S**	1.946	m^2	
S.W. Tmp.	15.000	ºC	**F.W. Tmp.**	22.500	ºC	
ΔC_F*1000	0.400					
Grav	9.806	m/sec^2				
S.W.Dens.	1026.02	kp/m^3	**F.W.Dens.**	997.66	kp/m^3	
	104.63	$kp*sec^2/m^4$		101.74	$kp*sec^2/m^4$	
S.W.Visc.	1.189E-06	m^2/sec	**F.W.Visc.**	9.455E-07	m^2/sec	

V_M m/s	$R_{T,M}$ kp	Fn	Rn_M $*10^{-6}$	$R_{T,M}$ Nt	$C_{T,M}$ $*10^3$	$C_{F,M}$ $*10^3$	C_R $*10^3$
0.501	0.189	0.105	1.231	1.853	7.606	4.483	3.124
0.601	0.260	0.126	1.477	2.550	7.271	4.314	2.957
0.698	0.353	0.146	1.716	3.462	7.319	4.183	3.136
0.801	0.470	0.168	1.969	4.609	7.400	4.067	3.332
0.904	0.605	0.189	2.222	5.933	7.478	3.969	3.509
1.003	0.775	0.210	2.465	7.600	7.782	3.888	3.893
1.051	0.883	0.220	2.583	8.659	8.075	3.853	4.222
1.101	0.980	0.231	2.706	9.610	8.166	3.818	4.349
1.151	1.080	0.241	2.829	10.590	8.235	3.785	4.450
1.202	1.204	0.252	2.954	11.806	8.418	3.753	4.665
1.251	1.318	0.262	3.075	12.924	8.507	3.724	4.783
1.302	1.471	0.273	3.200	14.425	8.765	3.695	5.070
1.350	1.618	0.283	3.318	15.866	8.968	3.670	5.298
1.402	1.810	0.294	3.446	17.749	9.302	3.643	5.659
1.454	2.020	0.305	3.574	19.808	9.652	3.618	6.034
1.501	2.223	0.314	3.689	21.799	9.967	3.596	6.371
1.552	2.463	0.325	3.815	24.152	10.329	3.573	6.756
1.609	2.767	0.337	3.955	27.133	10.796	3.549	7.247
1.705	3.274	0.357	4.191	32.105	11.376	3.510	7.866

V_S m/s	Fn	Rn_S $*10^{-8}$	$C_{F,S}$ $*10^3$	$C_{T,S}$ $*10^3$	$R_{T,S}$ Nt	EHP kW	V_S kn
1.584	0.105	0.310	2.488	6.011	1506.351	2.387	3.080
1.901	0.126	0.371	2.418	5.774	2082.322	3.958	3.694
2.207	0.146	0.431	2.362	5.898	2868.875	6.332	4.291
2.533	0.168	0.495	2.313	6.045	3872.274	9.808	4.924
2.859	0.189	0.559	2.271	6.179	5041.640	14.413	5.557
3.172	0.210	0.620	2.235	6.529	6557.369	20.798	6.165
3.324	0.220	0.649	2.220	6.842	7545.384	25.077	6.460
3.482	0.231	0.680	2.205	6.953	8414.988	29.298	6.768
3.640	0.241	0.711	2.190	7.040	9311.567	33.892	7.075
3.801	0.252	0.743	2.176	7.241	10444.620	39.701	7.389
3.956	0.262	0.773	2.163	7.346	11478.316	45.408	7.690
4.117	0.273	0.805	2.150	7.621	12897.391	53.102	8.003
4.269	0.283	0.834	2.139	7.837	14260.309	60.878	8.298
4.434	0.294	0.866	2.127	8.186	16063.912	71.220	8.618
4.598	0.305	0.899	2.116	8.550	18045.787	82.974	8.938
4.747	0.314	0.928	2.106	8.877	19967.376	94.777	9.227
4.908	0.325	0.959	2.096	9.252	22248.479	109.192	9.540
5.088	0.337	0.994	2.085	9.732	25155.058	127.992	9.890
5.392	0.357	1.054	2.068	10.334	29991.545	161.705	10.481

Παράρτημα 14 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.55m, πλοίο με sponsons και blisters

Ship Name		**FILIA**	
Test Condition		**C1 – w/o BULB**	
Model No	**020-84**	**Date**	**12/2/1997**
Scale	**10.000**	**Trip Wires**	**YES**

Ship Data			**Model Data**			
L_{WL}	23.158	m	L_{WL}	2.316	m	
L_{Bulb}	23.158	m	L_{Bulb}	2.316	m	
B_{WL}	7.058	m	B_{WL}	0.706	m	
T	2.550	m	**T**	0.255	m	
Trim	0.000	m	**Trim**	0.000	m	(+: έμπρυμνη)
S	191.242	m^2	**S**	1.912	m^2	
S.W. Tmp.	15.000	ºC	**F.W. Tmp.**	12.500	ºC	
ΔC_F*1000	0.400					
Grav	9.806	m/sec^2				
S.W.Dens.	1026.02	kp/m^3	**F.W.Dens.**	999.44	kp/m^3	
	104.63	$kp*sec^2/m^4$		101.92	$kp*sec^2/m^4$	
S.W.Visc.	1.189E-06	m^2/sec	**F.W.Visc.**	1.218E-06	m^2/sec	

V_M m/s	$R_{T,M}$ kp	Fn	Rn_M $*10^{-6}$	$R_{T,M}$ Nt	$C_{T,M}$ $*10^3$	$C_{F,M}$ $*10^3$	C_R $*10^3$
0.976	0.629	0.205	1.856	6.168	6.775	4.116	2.659
1.139	0.944	0.239	2.166	9.257	7.466	3.990	3.476
1.302	1.334	0.273	2.476	13.081	8.075	3.885	4.189
1.464	1.869	0.307	2.784	18.327	8.948	3.797	5.151
1.627	2.585	0.341	3.094	25.349	10.020	3.719	6.301
1.790	3.773	0.376	3.403	36.998	12.083	3.652	8.431
1.952	5.962	0.410	3.711	58.463	16.055	3.592	12.463
2.115	10.149	0.444	4.021	99.521	23.280	3.538	19.742

V_S m/s	Fn	Rn_S $*10^{-8}$	$C_{F,S}$ $*10^3$	$C_{T,S}$ $*10^3$	$R_{T,S}$ Nt	EHP kW	V_S kn
3.086	0.205	0.601	2.246	5.305	4957.743	15.301	5.999
3.602	0.239	0.701	2.195	6.071	7727.059	27.832	7.001
4.117	0.273	0.802	2.152	6.741	11211.254	46.160	8.003
4.630	0.307	0.902	2.115	7.666	16119.843	74.628	8.999
5.145	0.341	1.002	2.083	8.783	22810.847	117.362	10.001
5.660	0.376	1.102	2.054	10.885	34217.843	193.689	11.003
6.173	0.410	1.202	2.029	14.892	55671.022	343.644	11.999
6.688	0.444	1.302	2.006	22.148	97200.800	650.100	13.001

Παράρτημα 15 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.55m, πλοίο με sponsons, blisters και βολβό

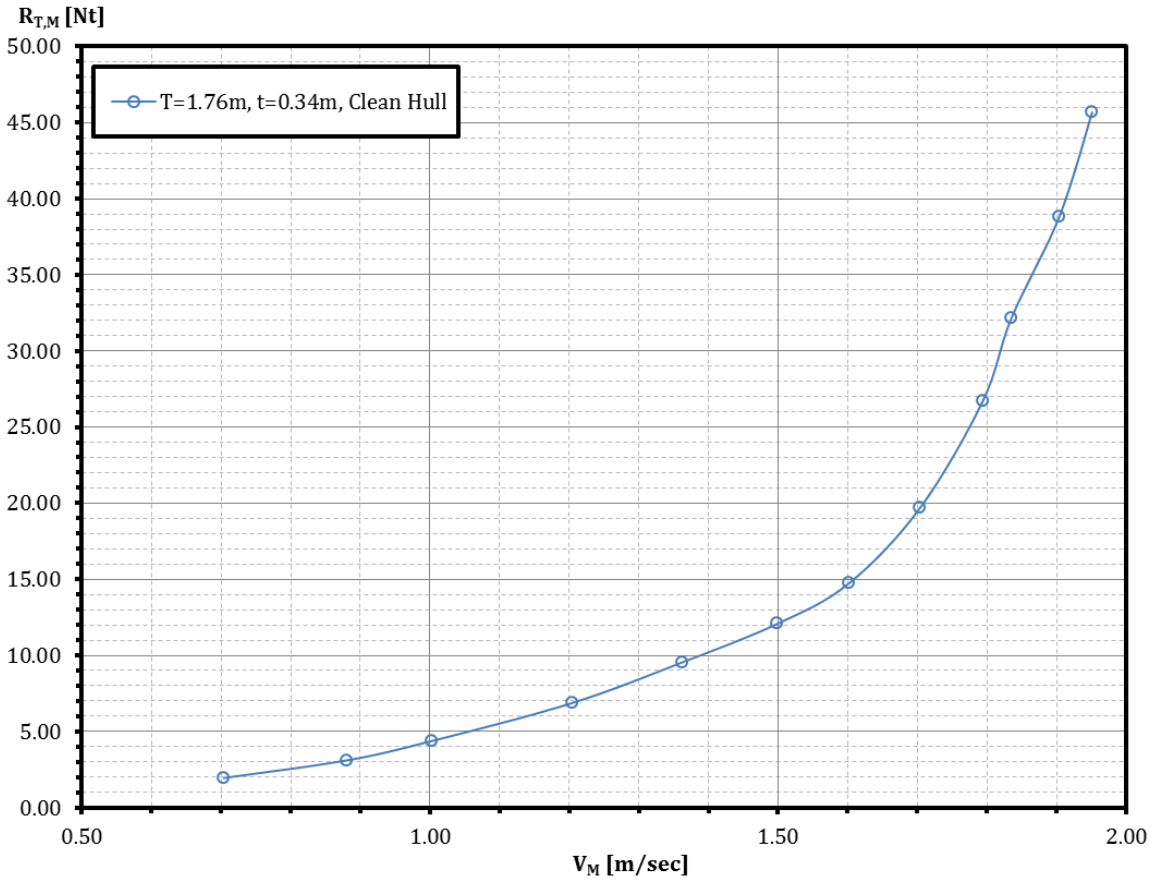
Ship Name		**FILIA**	
Test Condition		**C2 - with BULB**	
Model No	**020-84**	**Date**	**12/2/1997**
Scale	**10.000**	**Trip Wires**	**YES**

Ship Data			**Model Data**			
L_{WL}	23.158	m	L_{WL}	2.316	m	
L_{Bulb}	23.158	m	L_{Bulb}	2.316	m	
B_{WL}	7.058	m	B_{WL}	0.706	m	
T	2.550	m	**T**	0.255	m	
Trim	0.000	m	**Trim**	0.000	m	(+: έμπρυμνη)
S	191.242	m^2	**S**	1.912	m^2	
S.W. Tmp.	15.000	ºC	**F.W. Tmp.**	12.500	ºC	
ΔC_F*1000	0.400					
Grav	9.806	m/sec^2				
S.W.Dens.	1026.02	kp/m^3	**F.W.Dens.**	999.44	kp/m^3	
	104.63	$kp*sec^2/m^4$		101.92	$kp*sec^2/m^4$	
S.W.Visc.	1.189E-06	m^2/sec	**F.W.Visc.**	1.218E-06	m^2/sec	

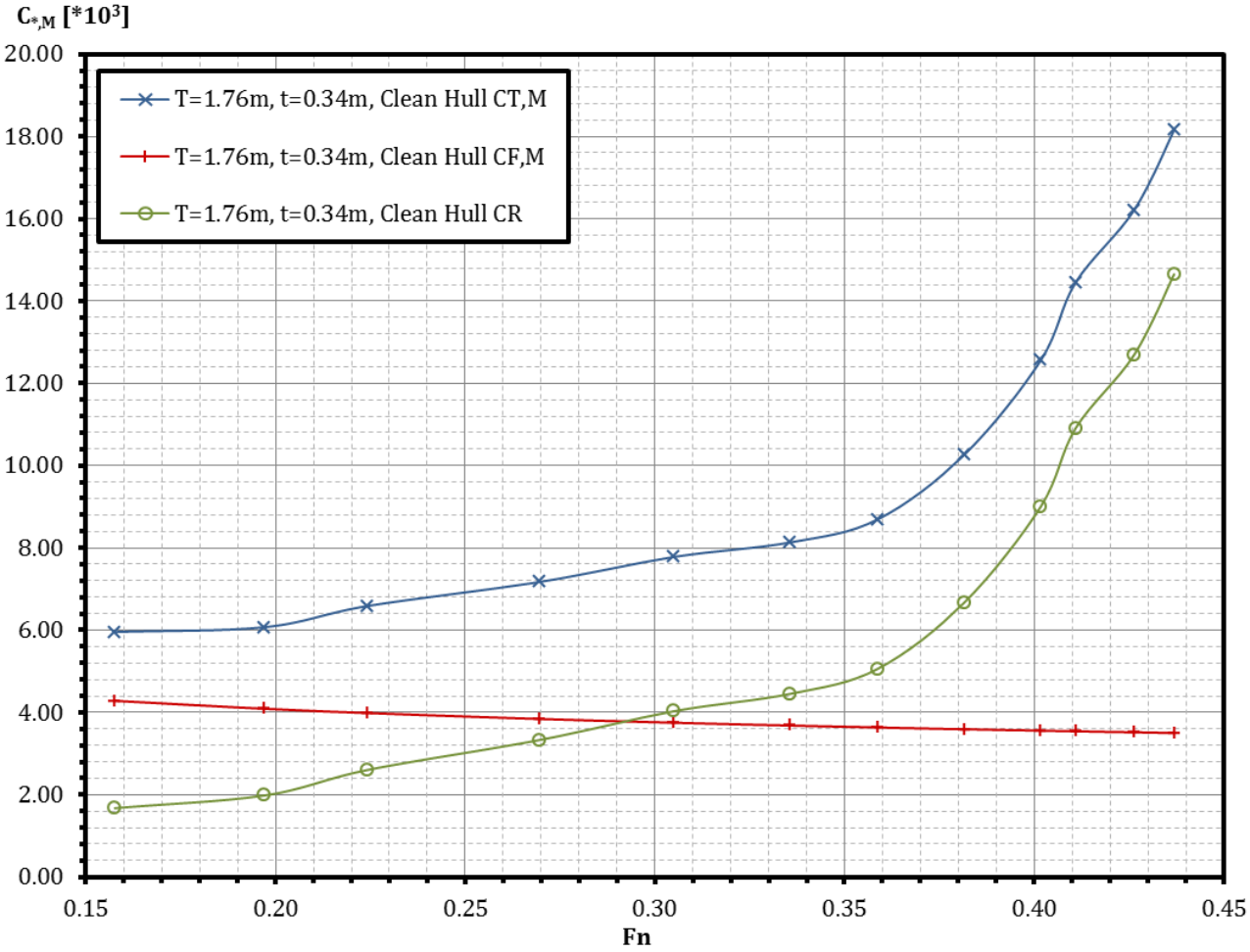
V_M m/s	$R_{T,M}$ kp	Fn	Rn_M $*10^{-6}$	$R_{T,M}$ Nt	$C_{T,M}$ $*10^3$	$C_{F,M}$ $*10^3$	C_R $*10^3$
0.976	0.701	0.205	1.976	6.874	7.208	4.064	3.144
1.139	0.983	0.239	2.306	9.639	7.422	3.940	3.482
1.302	1.325	0.273	2.636	12.993	7.656	3.837	3.819
1.464	1.867	0.307	2.964	18.308	8.532	3.751	4.782
1.627	2.511	0.341	3.294	24.623	9.291	3.675	5.617
1.790	3.765	0.376	3.624	36.920	11.510	3.608	7.902
1.952	6.367	0.410	3.951	62.435	16.368	3.549	12.818
2.115	10.040	0.444	4.281	98.452	21.985	3.496	18.489

V_S m/s	Fn	Rn_S $*10^{-8}$	$C_{F,S}$ $*10^3$	$C_{T,S}$ $*10^3$	$R_{T,S}$ Nt	EHP kW	V_S kn
3.086	0.205	0.640	2.225	5.769	5647.541	17.430	5.999
3.602	0.239	0.747	2.174	6.056	8074.322	29.082	7.001
4.117	0.273	0.854	2.132	6.350	11063.951	45.553	8.003
4.630	0.307	0.960	2.096	7.278	16030.750	74.216	8.999
5.145	0.341	1.067	2.064	8.081	21983.680	113.107	10.001
5.660	0.376	1.174	2.036	10.337	34040.925	192.688	11.003
6.173	0.410	1.280	2.011	15.229	59636.763	368.124	11.999
6.688	0.444	1.387	1.988	20.877	95976.357	641.911	13.001

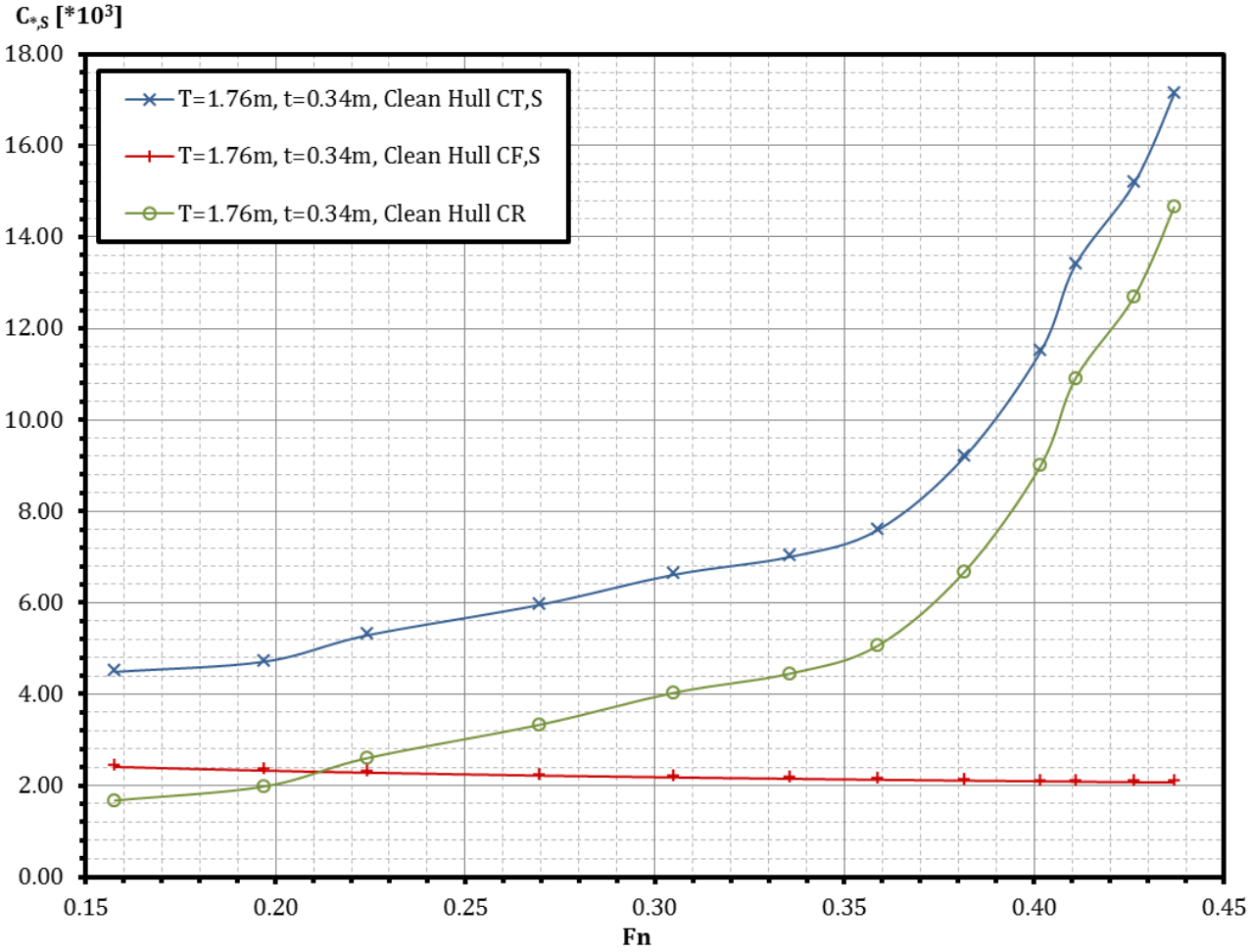
Παράρτημα 16 - Διαγράμματα Πειραματικών Μετρήσεων, T=1.76m, t=0.34m



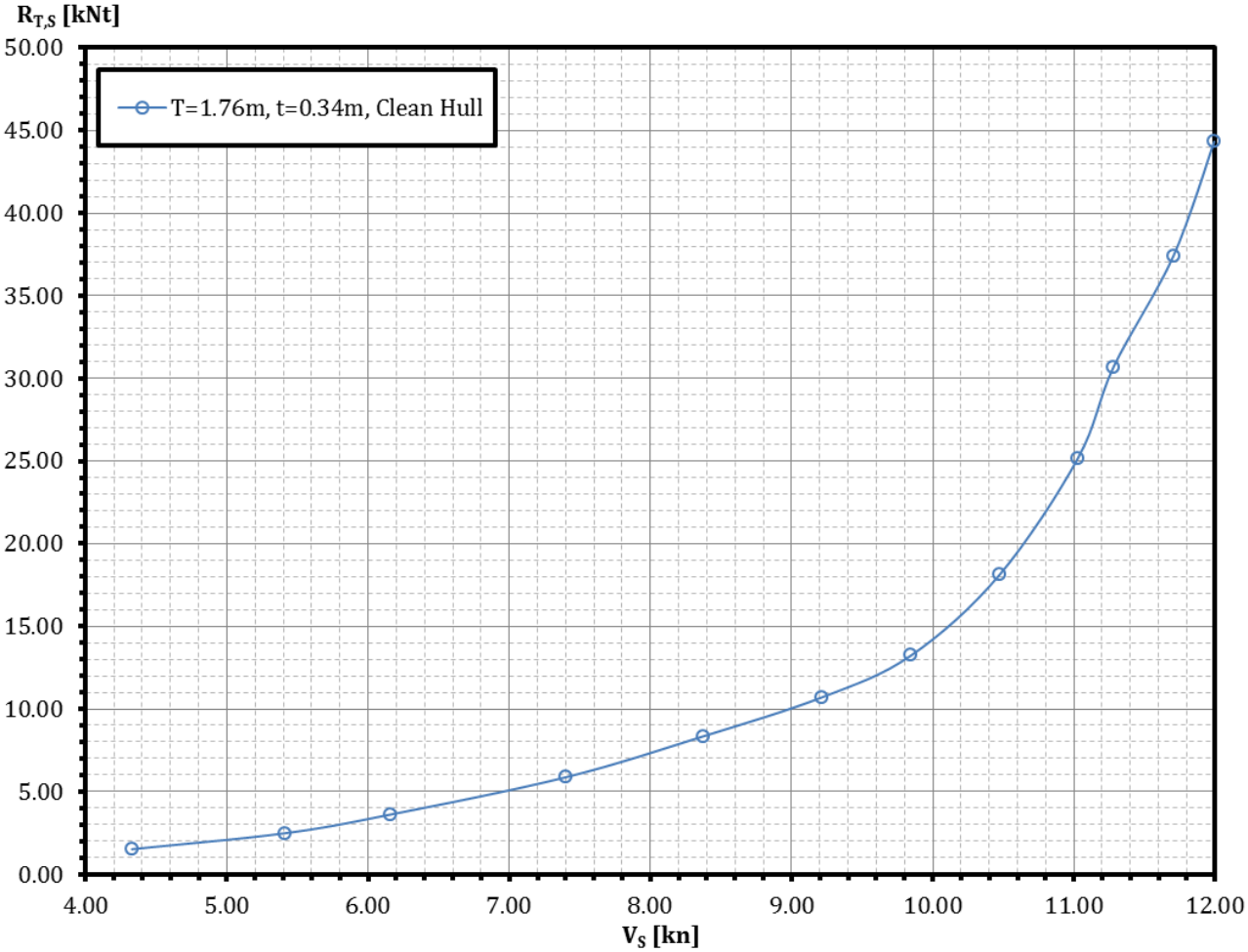
Σχήμα Π16.1: Καμπύλη Αντίστασης Ρυμούλκησης μοντέλου σε ήρεμο νερό.



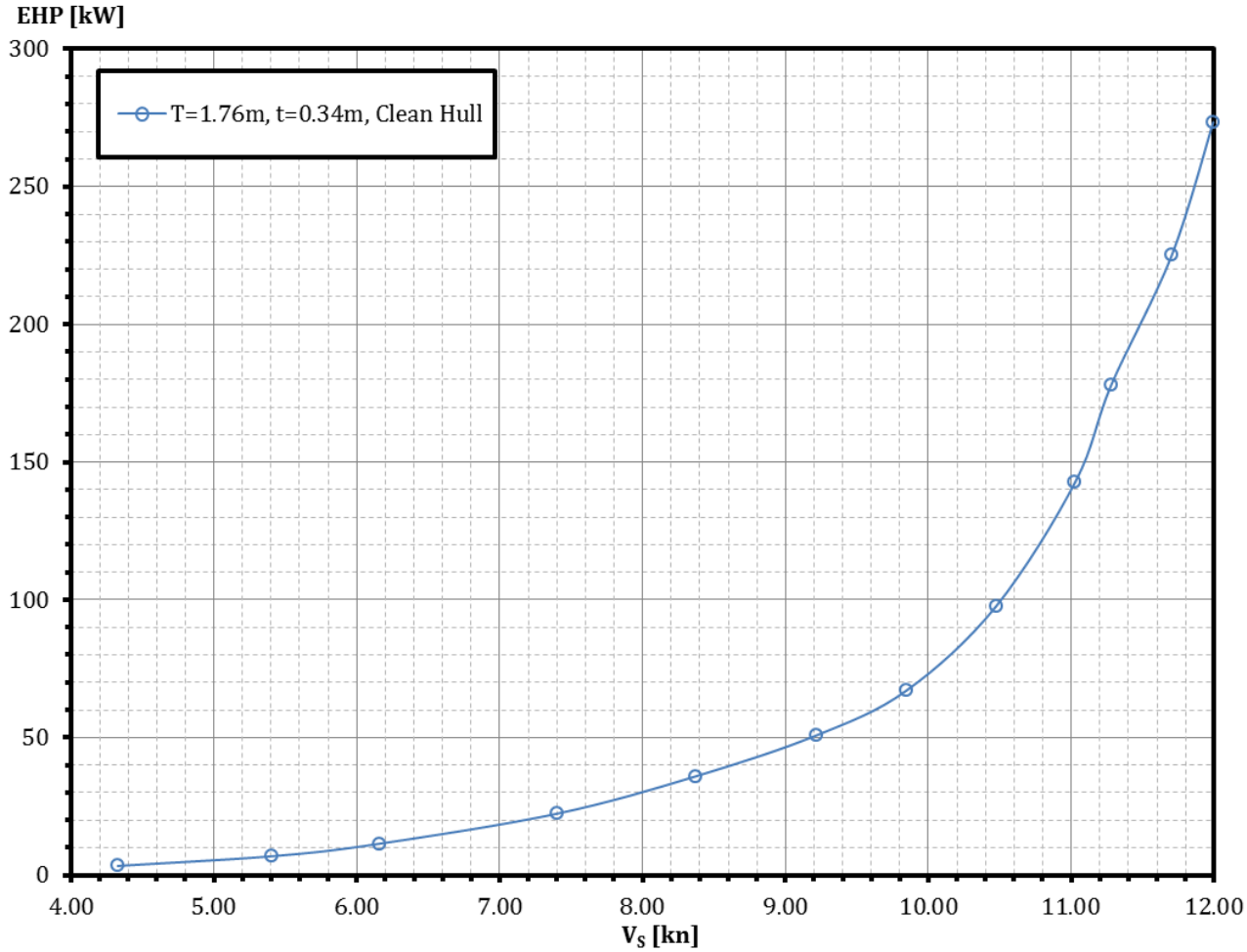
Σχήμα Π16.2: Καμπύλες Αδιάστατων Συντελεστών Αντίστασης μοντέλου.



Σχήμα Π16.3: Καμπύλες Αδιάστατων Συντελεστών Αντίστασης Πλοίου.

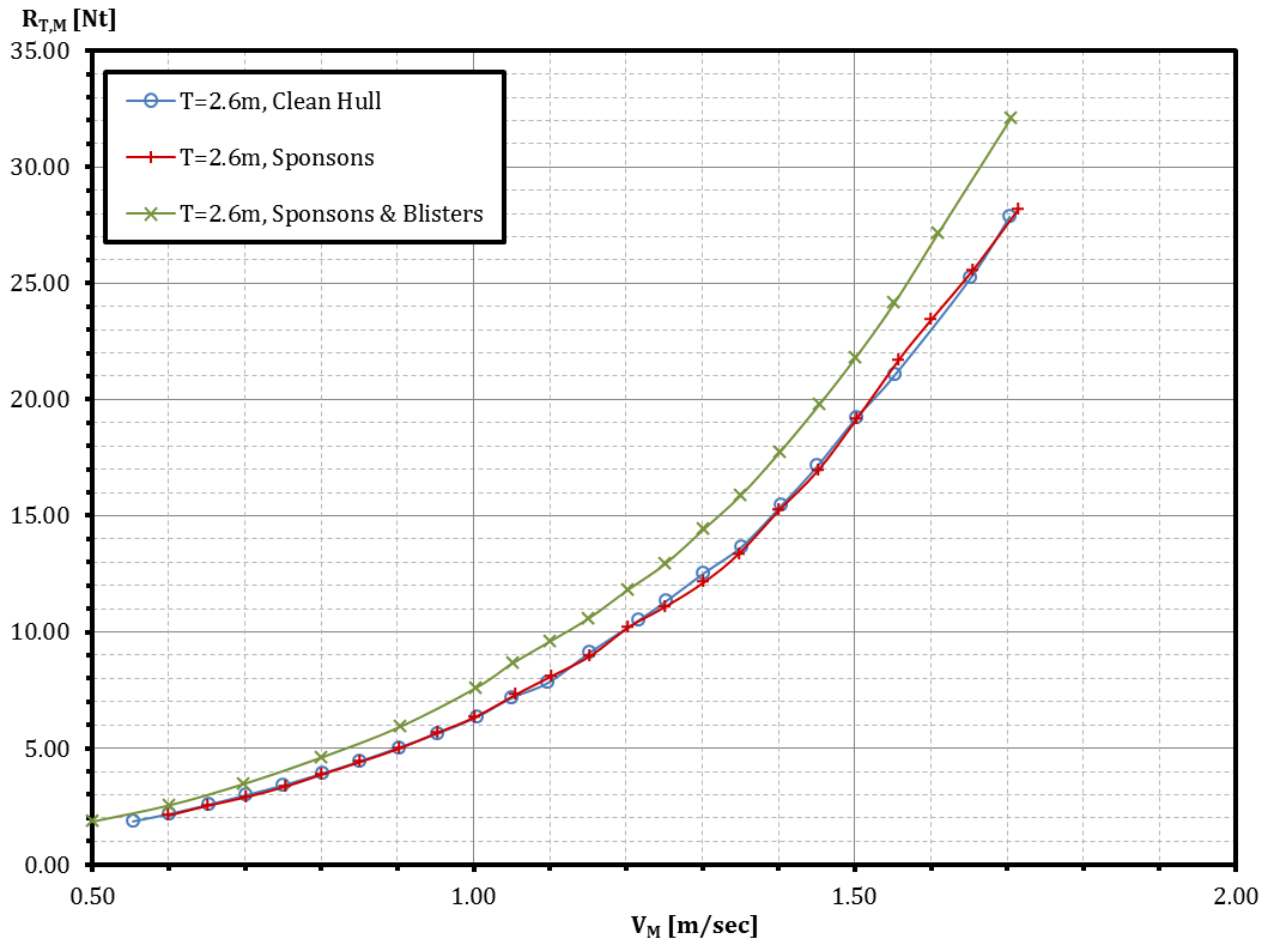


Σχήμα Π16.4: Καμπύλη Αντίστασης Ρυμούλκησης Πλοίου.

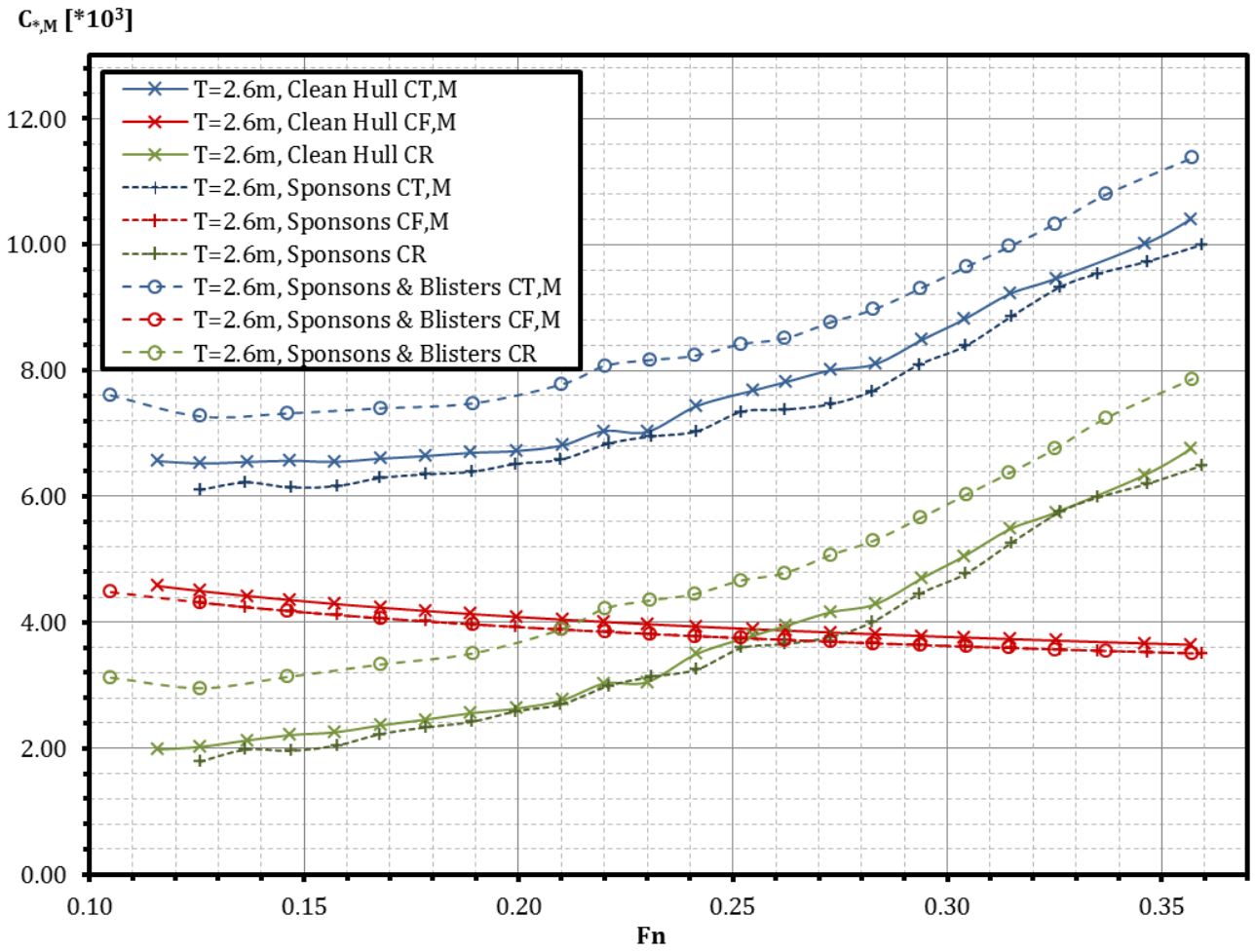


Σχήμα Π16.5: Καμπύλη Ισχύος Ρυμούλκησης Πλοίου.

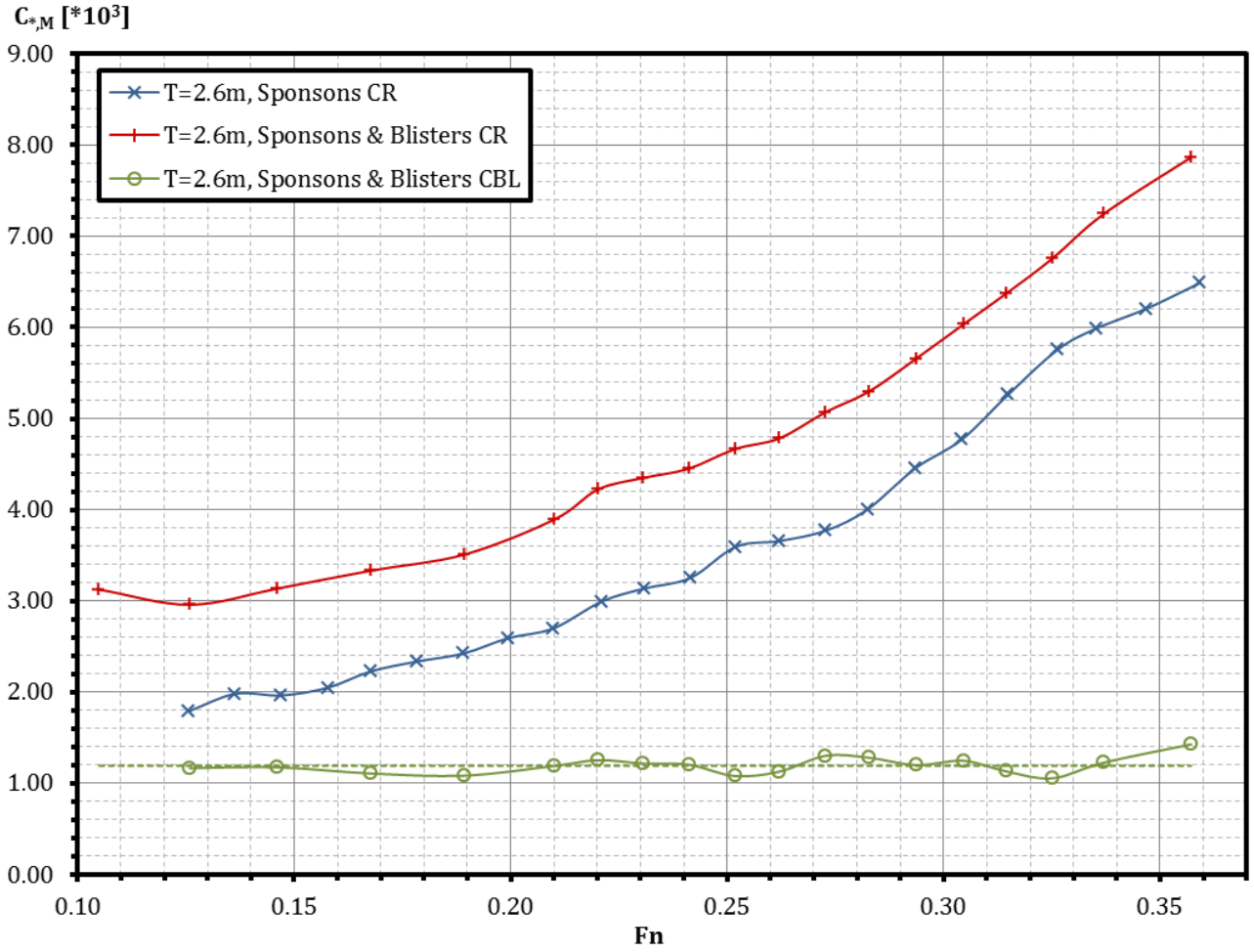
Παράρτημα 17 - Διαγράμματα Πειραματικών Μετρήσεων, T=2.6m



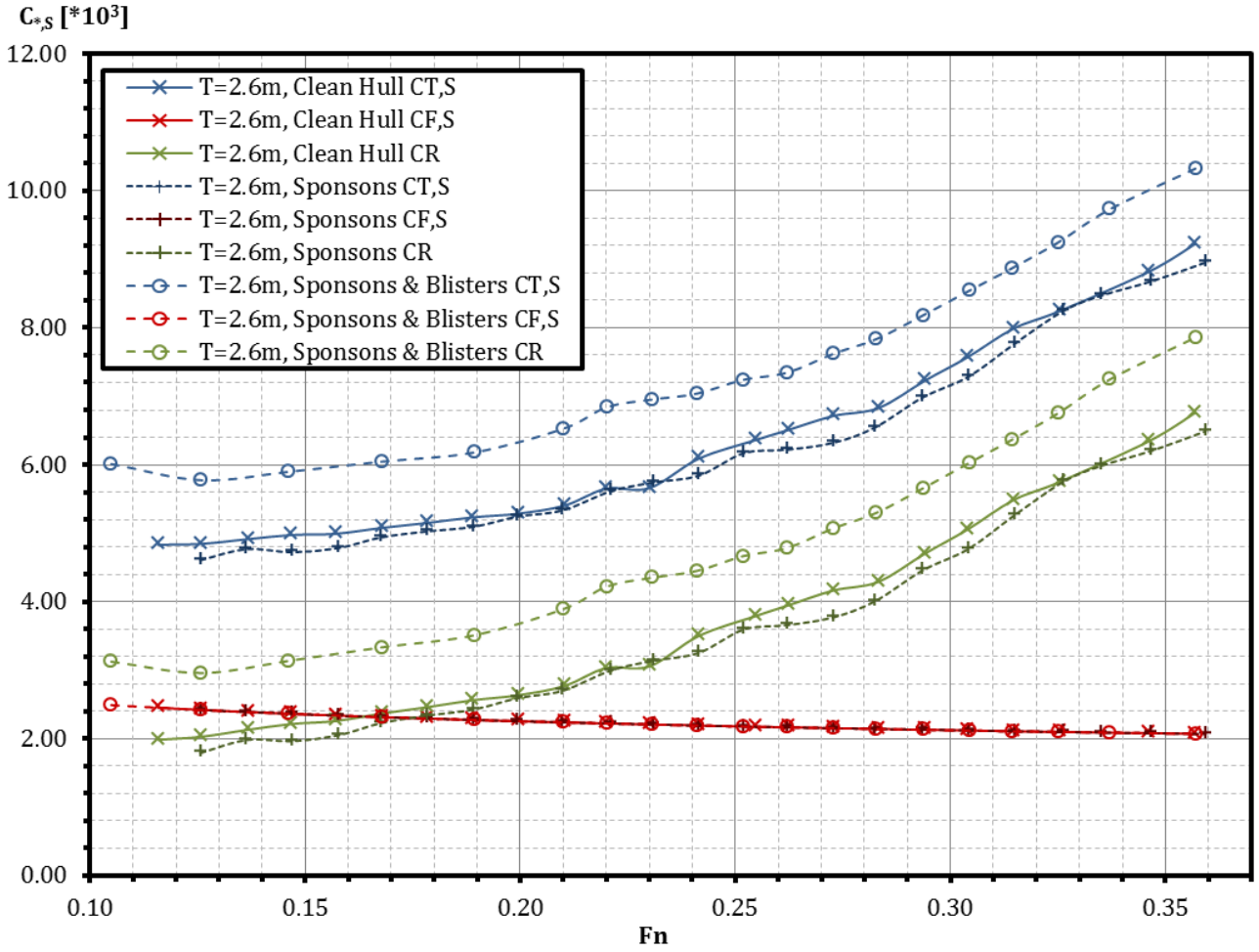
Σχήμα Π17.1: Καμπύλες Αντίστασης Ρυμούλκησης μοντέλου σε ήρεμο νερό.



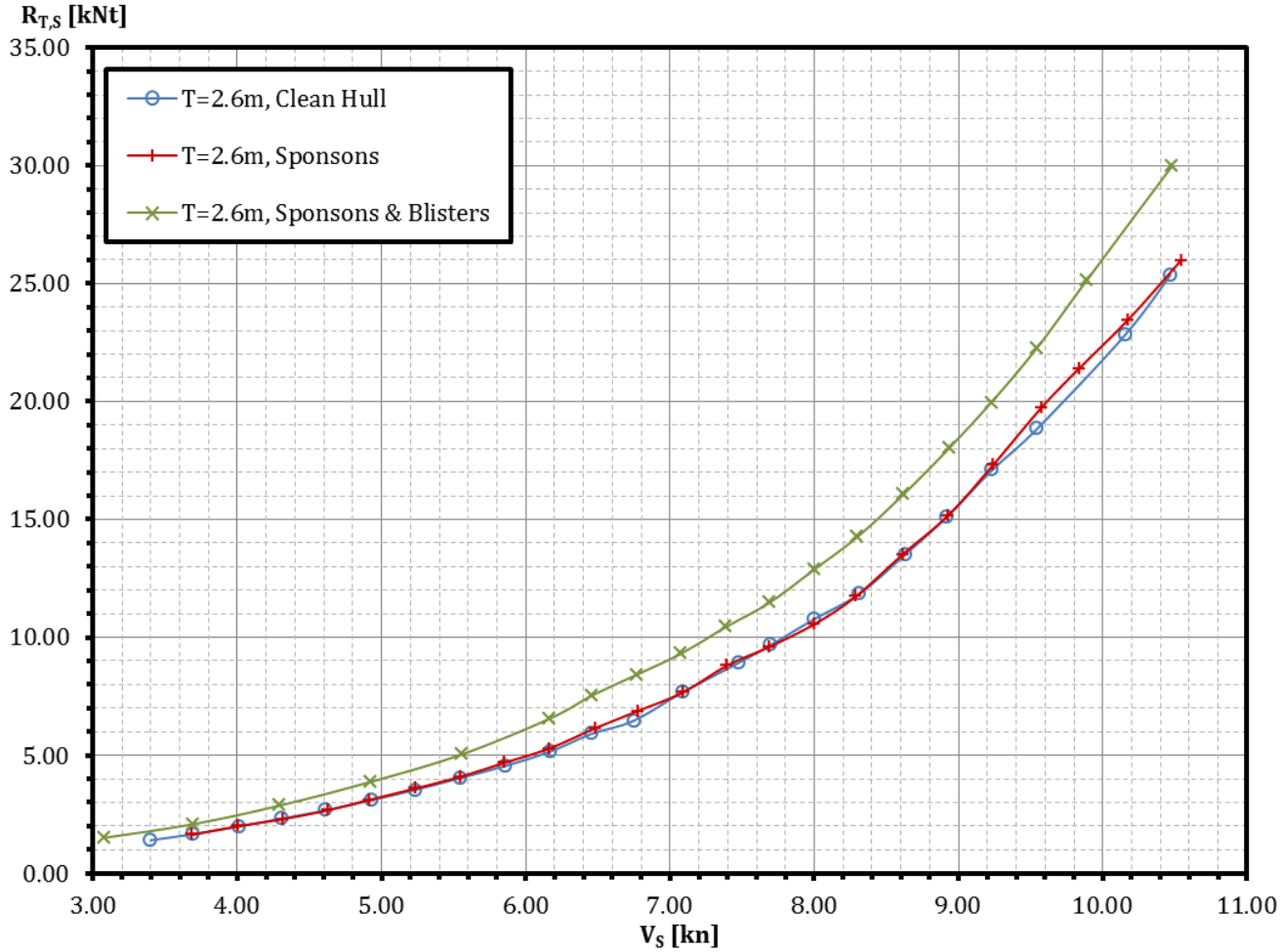
Σχήμα Π17.2: Καμπύλες Αδιάστατων Συντελεστών Αντίστασης μοντέλου.



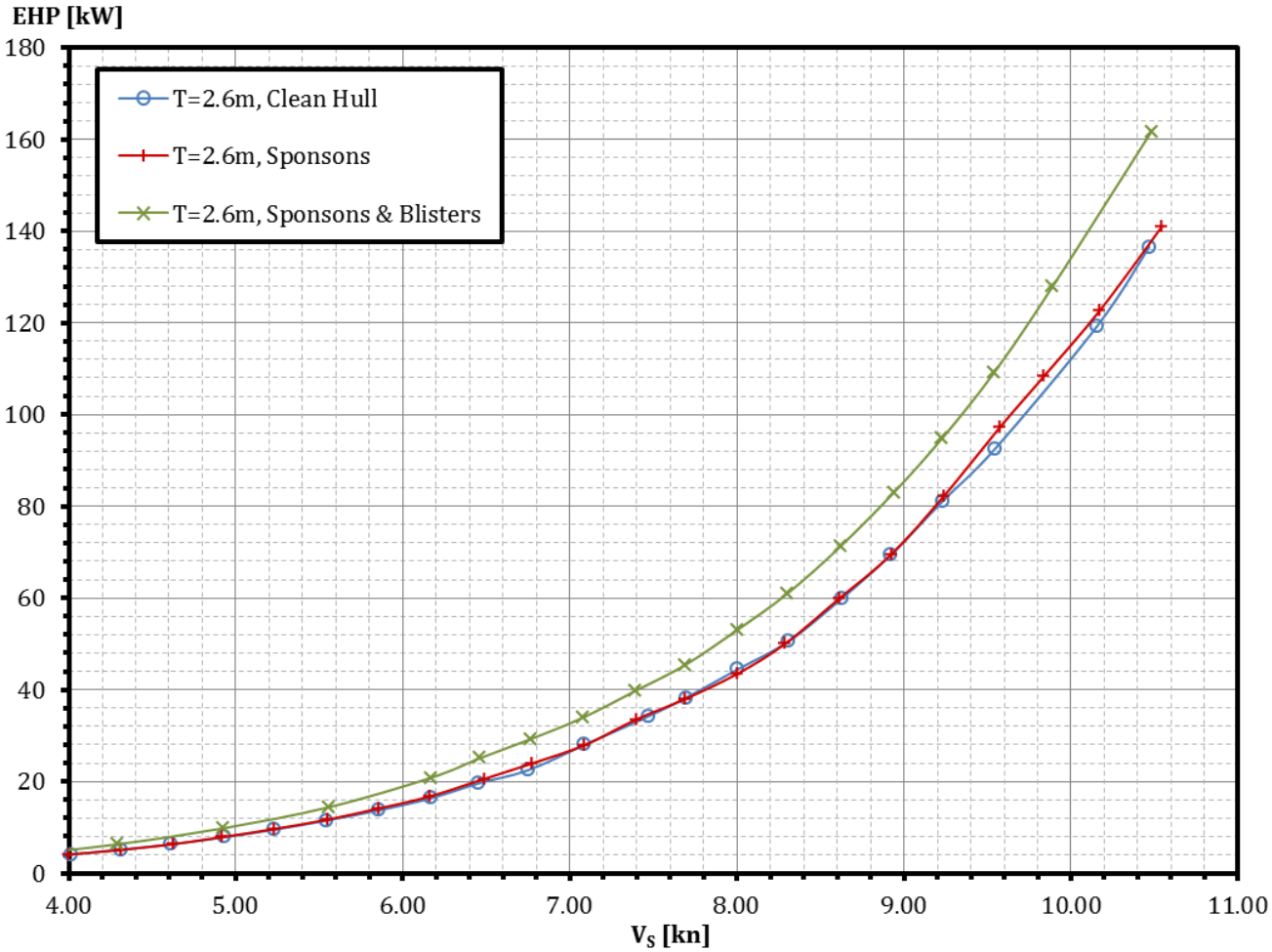
Σχήμα Π17.3: Καμπύλες Αδιάστατων Συντελεστών Υπόλοιπης Αντίστασης και Αντίστασης των Blisters.



Σχήμα Π17.4: Καμπύλες Αδιάστατων Συντελεστών Αντίστασης Πλοίου.

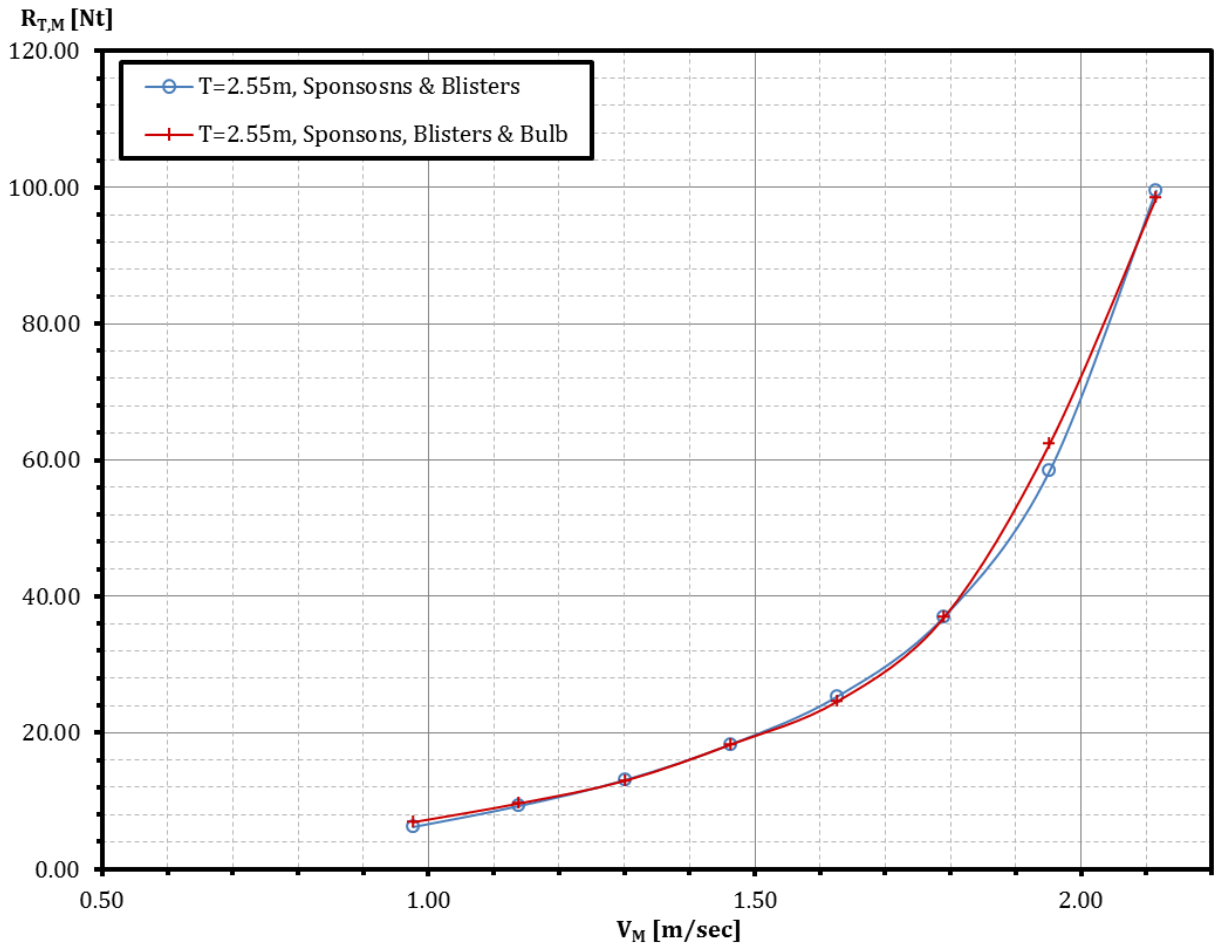


Σχήμα Π17.5: Καμπύλες Αντίστασης Ρυμούλκησης Πλοίου.

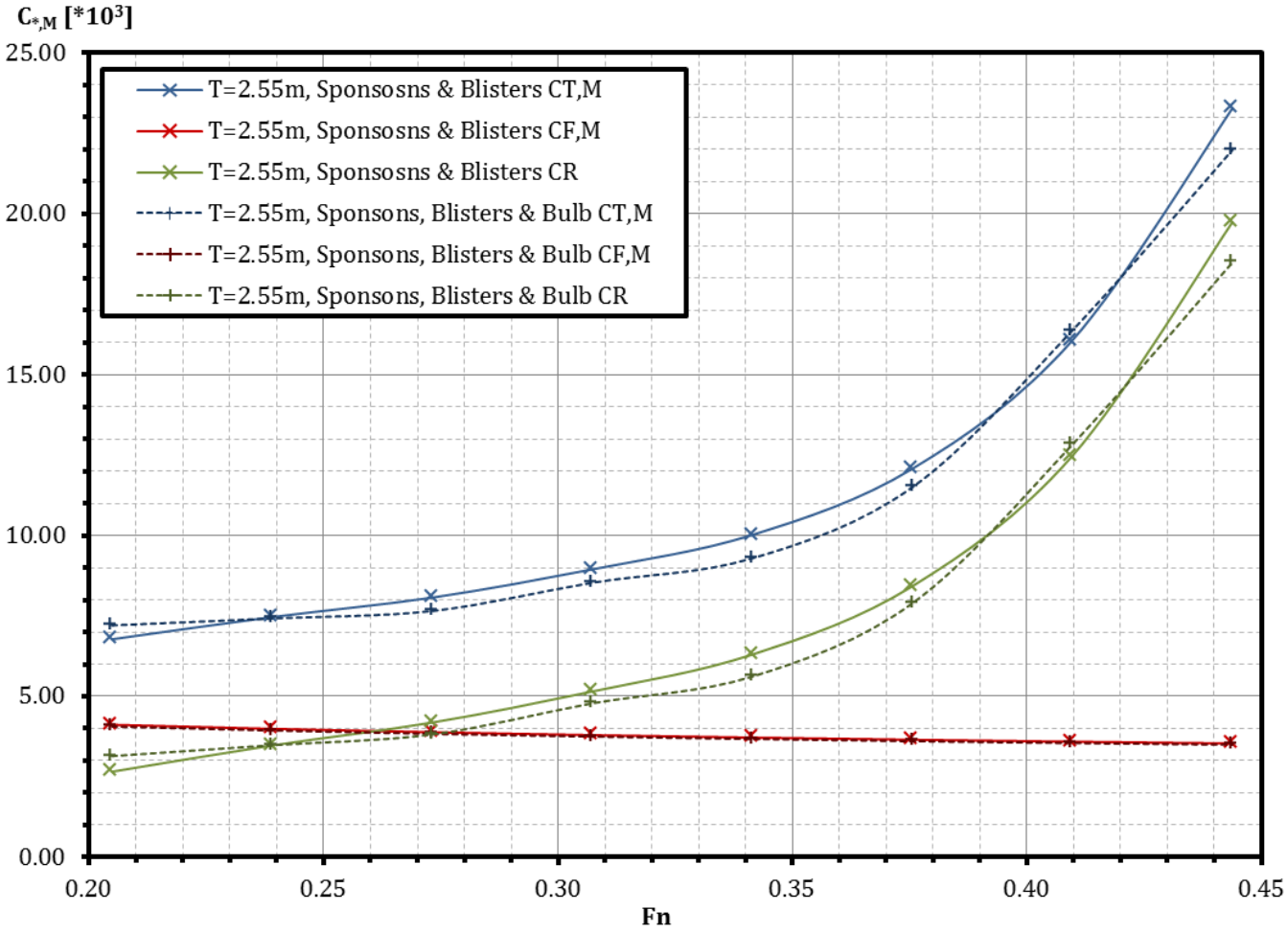


Σχήμα Π17.6: Καμπύλες Ισχύος Ρυμούλκησης Πλοίου.

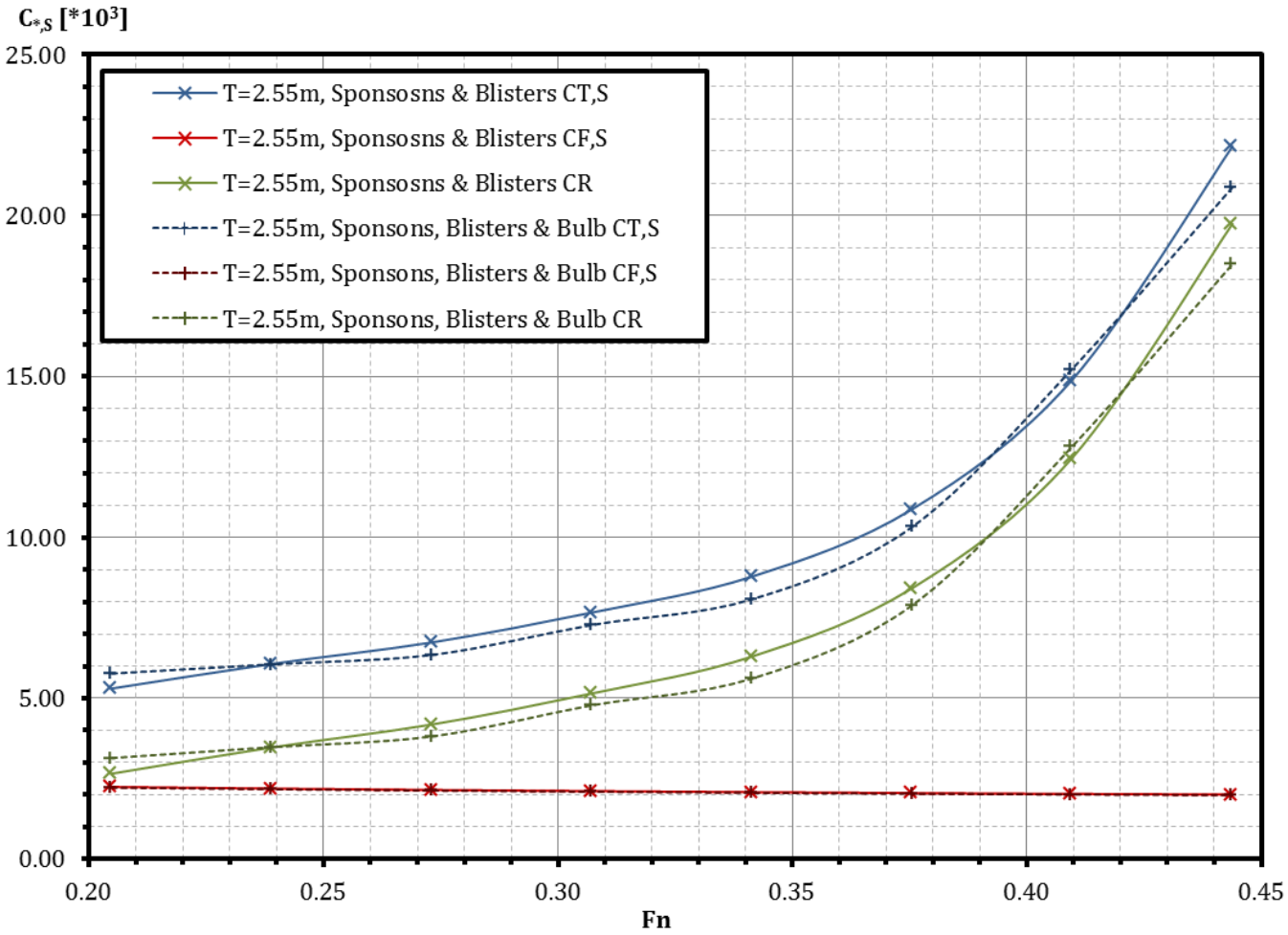
Παράρτημα 18 - Διαγράμματα Πειραματικών Μετρήσεων, T=2.55m



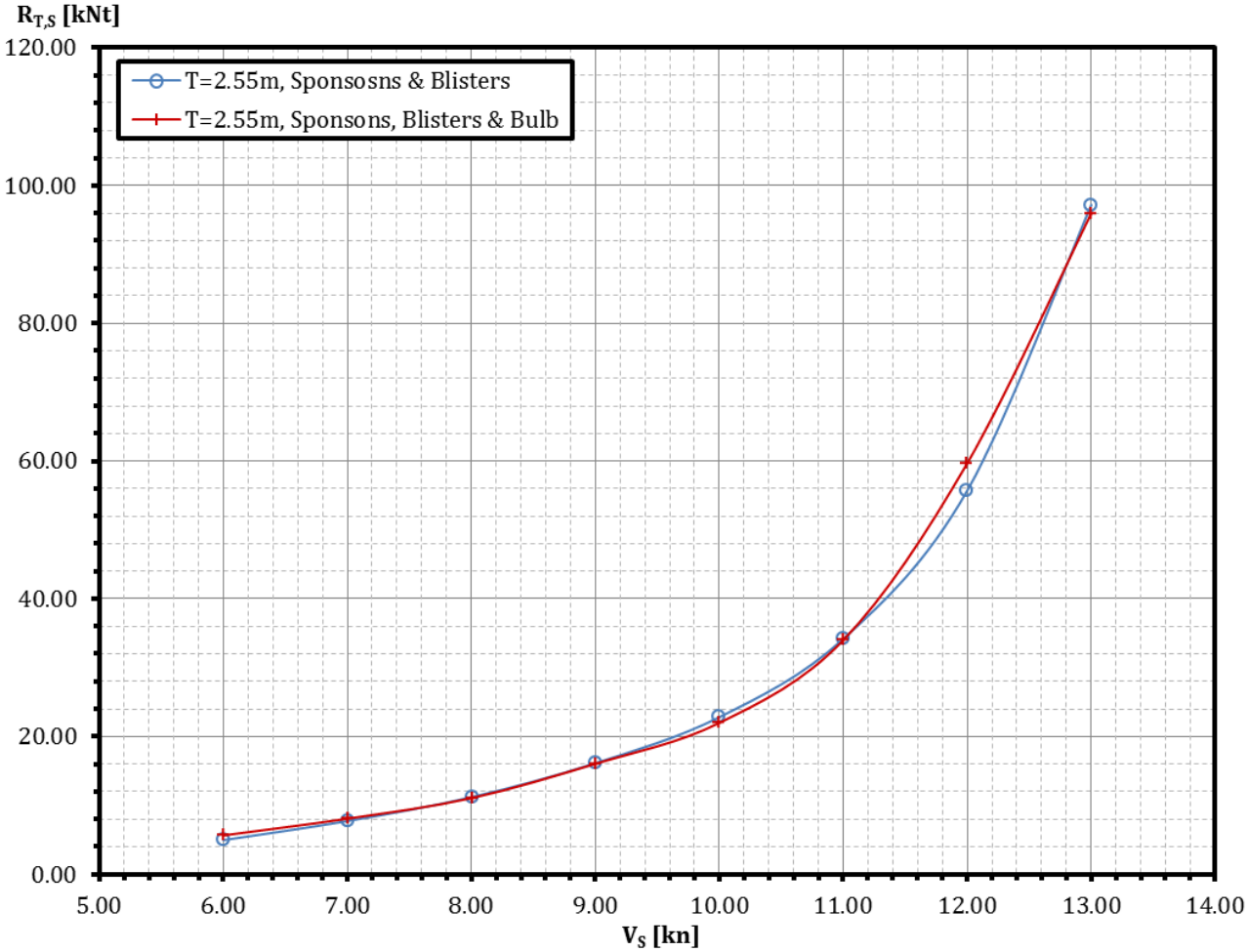
Σχήμα Π18.1: Καμπύλες Αντίστασης Ρυμούλκησης μοντέλου σε ήρεμο νερό.



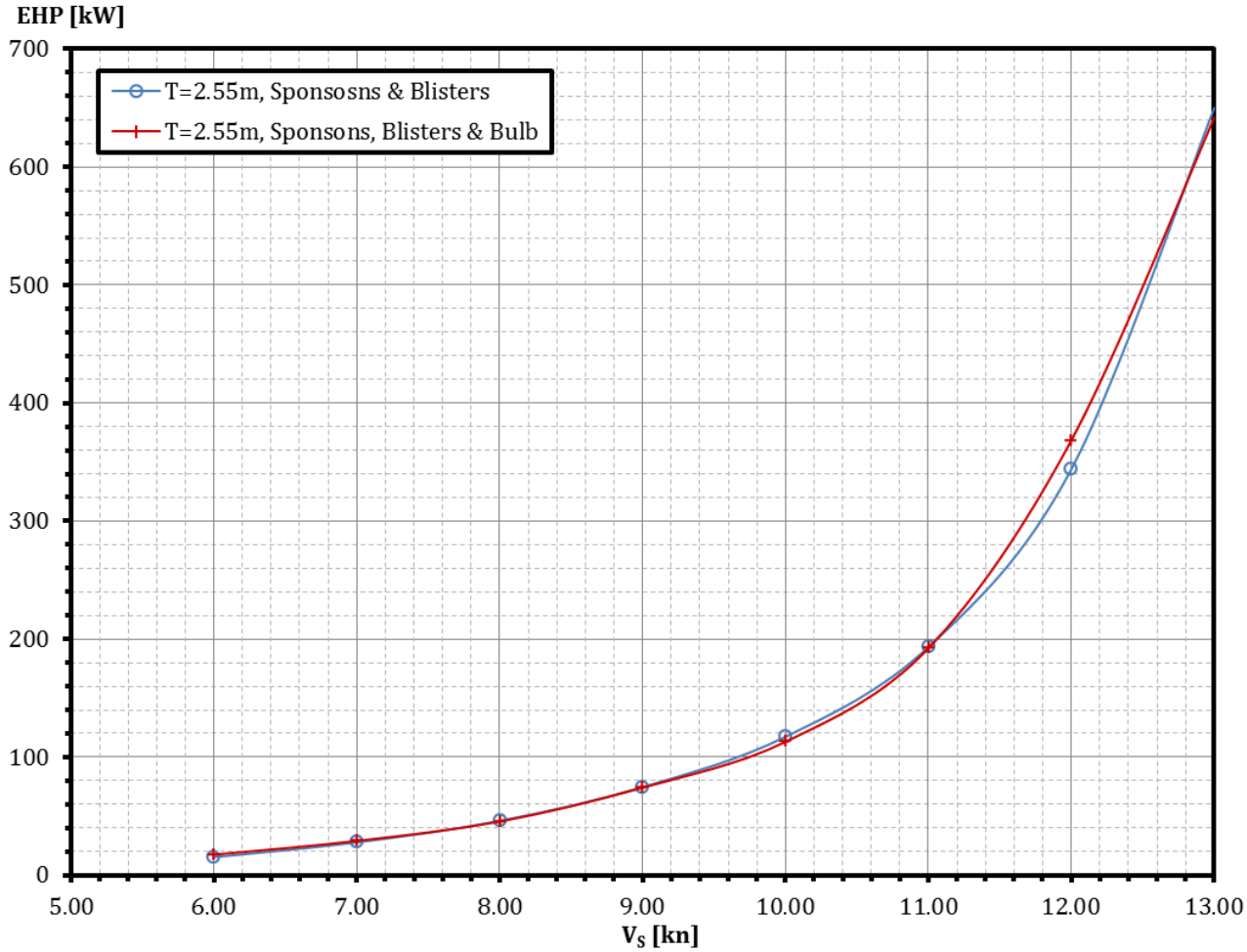
Σχήμα Π18.2: Καμπύλες Αδιάστατων Συντελεστών Αντίστασης μοντέλου.



Σχήμα Π18.3: Καμπύλες Αδιάστατων Συντελεστών Αντίστασης Πλοίου.

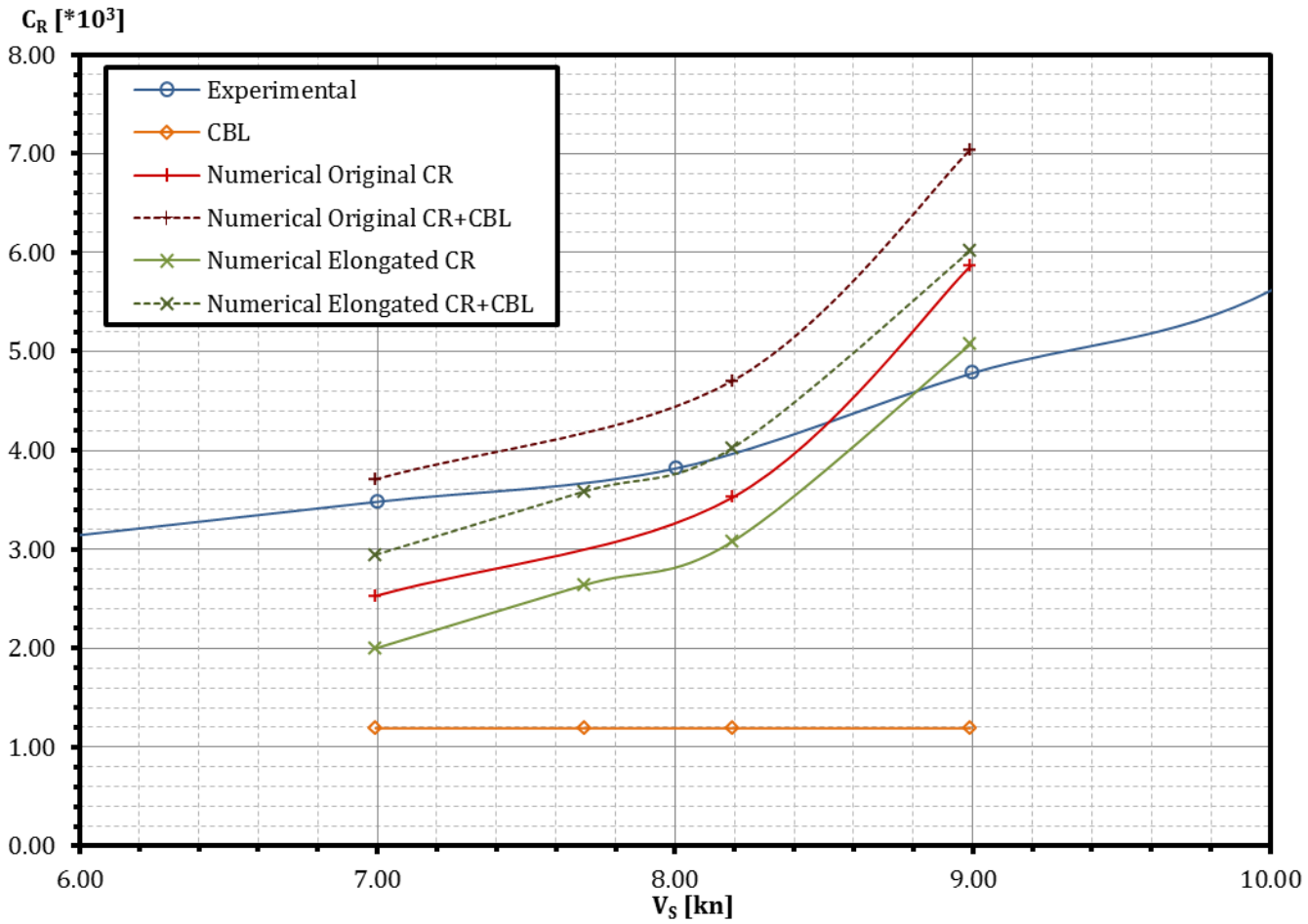


Σχήμα Π18.4: Καμπύλες Αντίστασης Ρυμούλκησης Πλοίου.

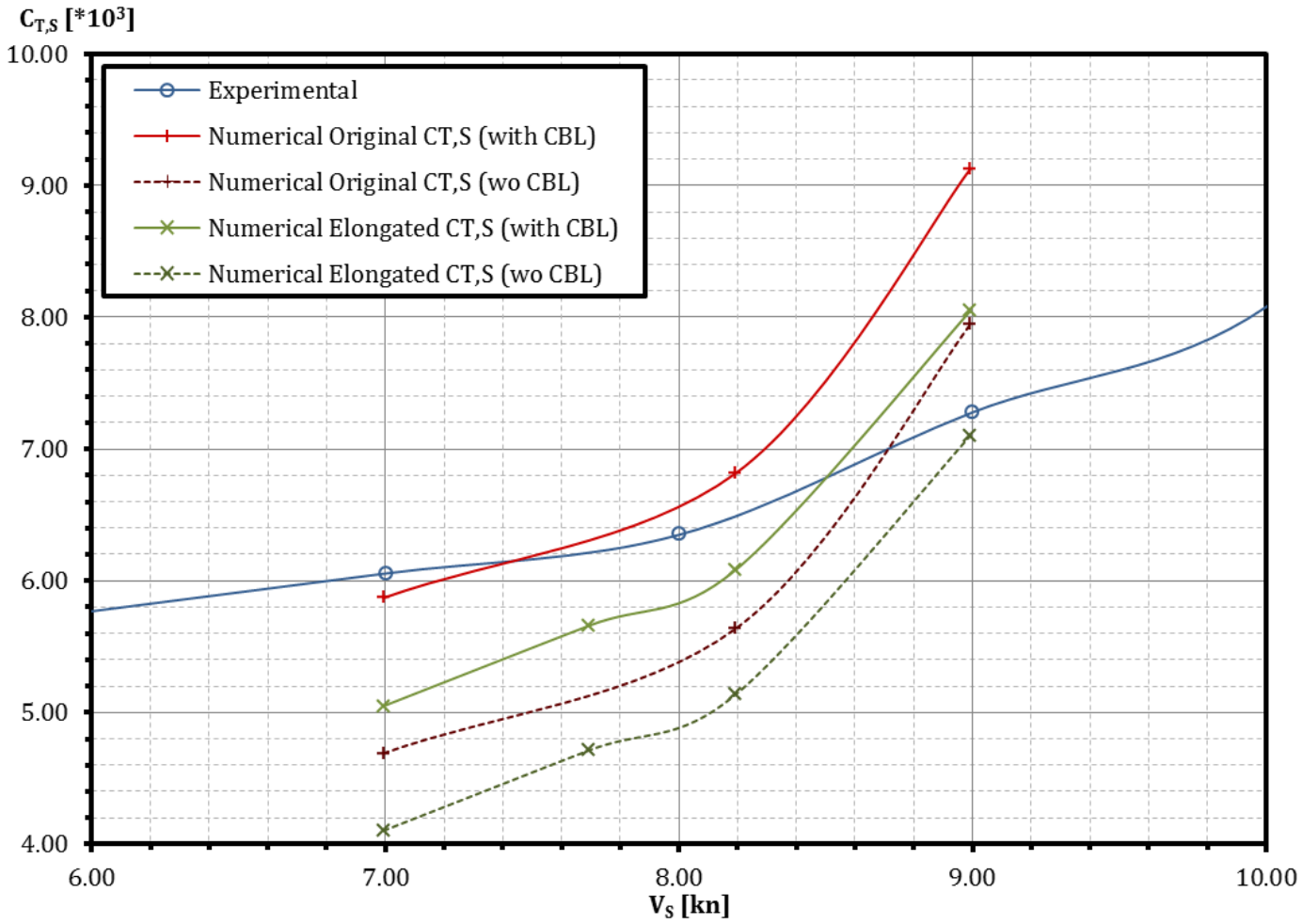


Σχήμα Π18.5: Καμπύλες Ισχύος Ρυμούλκησης Πλοίου.

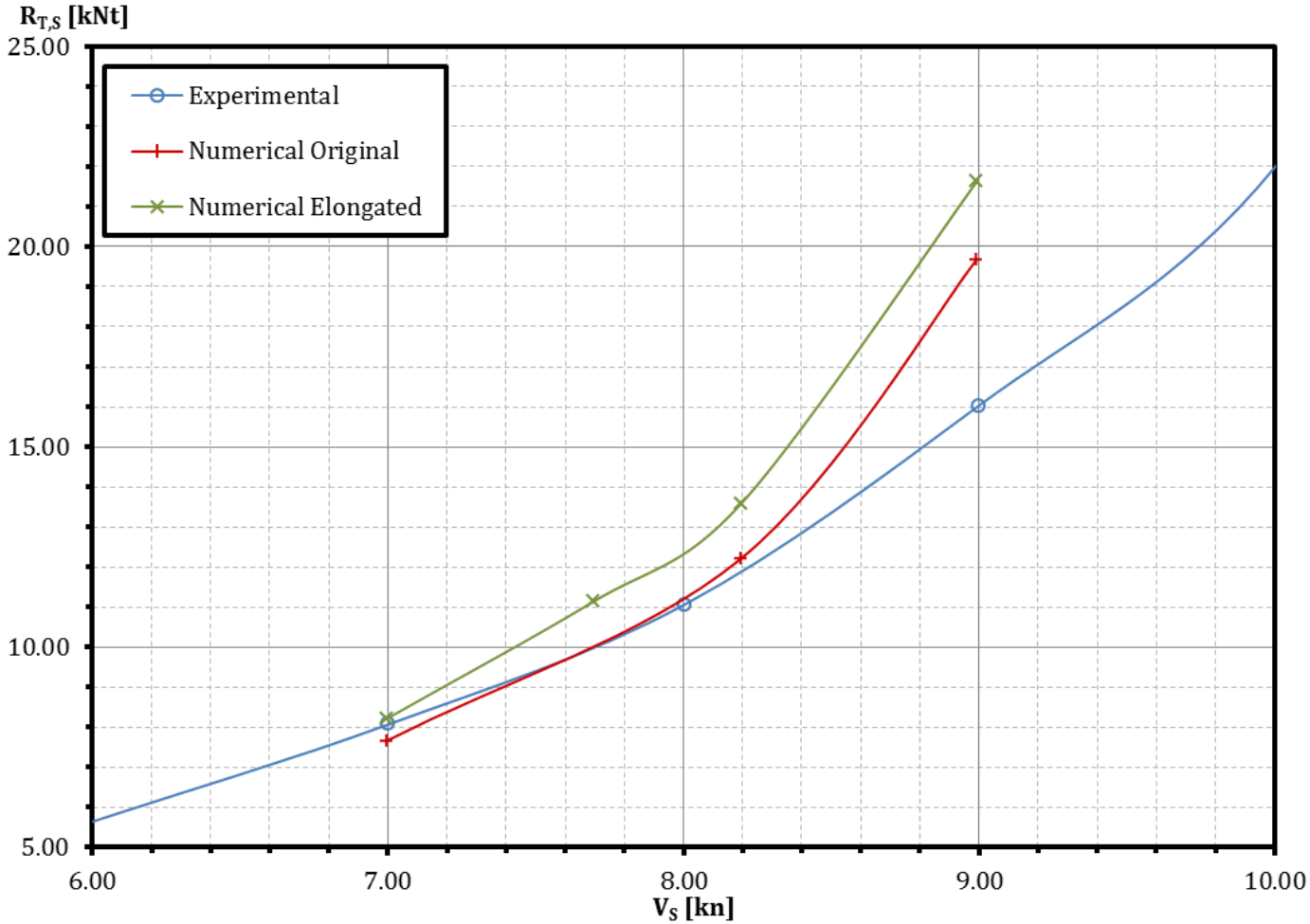
Παράρτημα 19 - Συγκριτικά Διαγράμματα Υπολογισμών και Πειραματικών Μετρήσεων



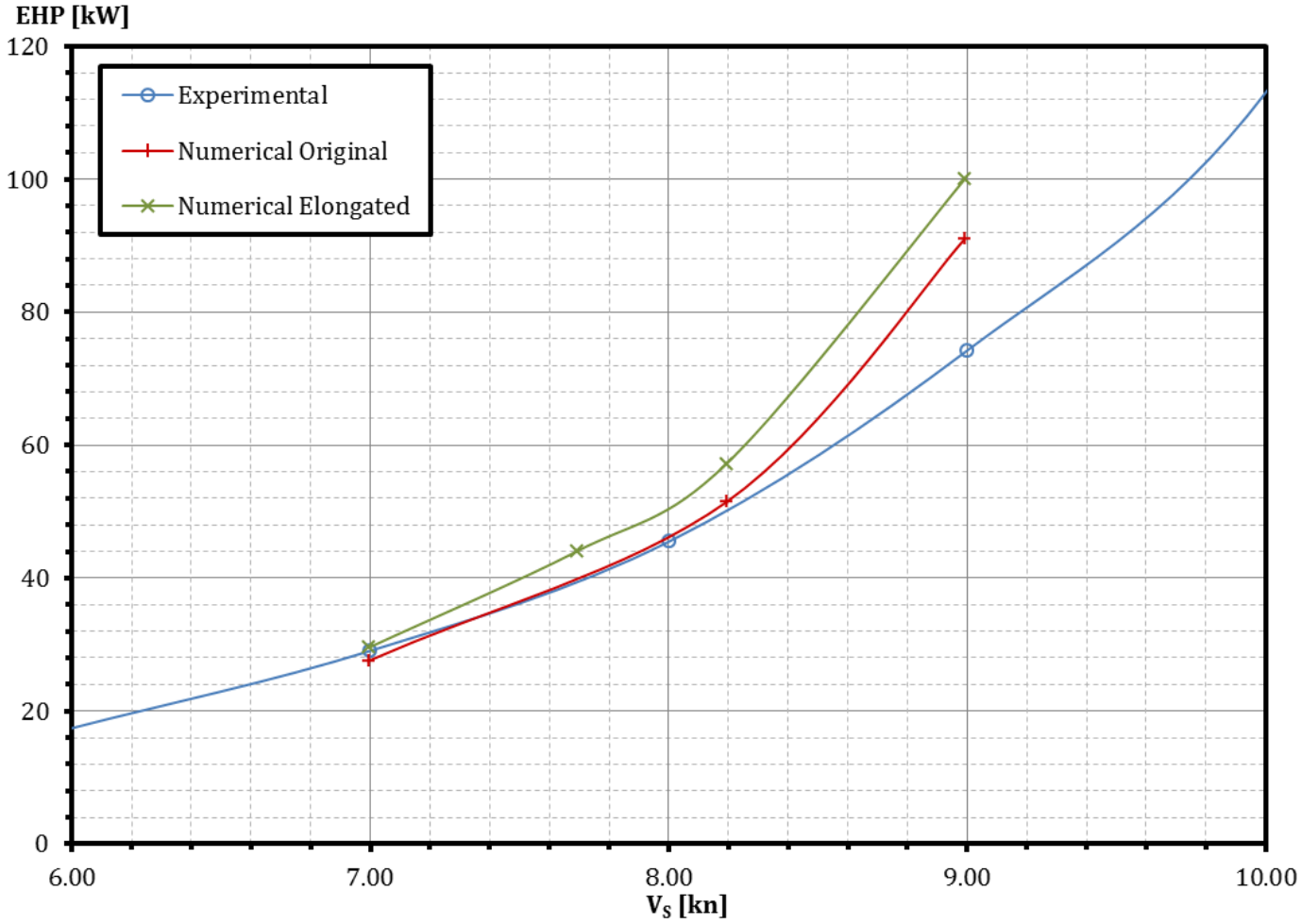
Σχήμα Π19.1: Καμπύλες Αδιάστατων Συντελεστών Υπόλοιπης Αντίστασης και Αντίστασης των Blisters.



Σχήμα Π19.2: Καμπύλες Αδιάστατων Συντελεστών Ολικής Αντίστασης Πλοίου.



Σχήμα Π19.3: Καμπύλες Αντίστασης Ρυμούλκησης Πλοίου.



Σχήμα Π19.4: Καμπύλες Ισχύος Ρυμούλκησης Πλοίου.

Παράρτημα 20 - Μετρήσεις ροπής και ισχύος ελικοφόρων αξόνων και μετρήσεις επιπέδων κραδασμών επί του σκάφους μετά τη μετασκευή

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

RePHIL

Ελληνικός Ερευνητικός Στόλος – Ανακατασκευή του Ερευνητικού Σκάφους «ΦΙΛΙΑ»

ΠΕ 5: Πρόγραμμα συνέργειας για την αξιολόγηση της μετασκευής του ΕΣ ΦΙΛΙΑ και του αναβαθμισμένου εξοπλισμού

Μετρήσεις ροπής και ισχύος ελικοφόρων αξόνων και μετρήσεις επιπέδων κραδασμών επί του σκάφους μετά τη μετασκευή

Το πρόγραμμα συγχρηματοδοτείται από Επιχειρησιακό Πρόγραμμα (Ε.Π.) «Ανταγωνιστικότητα Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία» Περιόδου 2014 – 2020 και το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης

Πρόσκληση ΕΠΑνΕΚ 039 για την υποβολή προτάσεων με θέμα «Ενίσχυση των υποδομών έρευνας και καινοτομίας»

Τίτλος Παραδοτέου: Η παρούσα αναφορά εντάσσεται στο παραδοτέο: ‘Αποτελέσματα των μελετών και υπολογισμών αντίστασης & πρόωσης και συμπεριφοράς σε κυματισμούς’.

Αριθμός Παραδοτέου: 5.2

Υπεύθυνοι	**Συγγραφείς**	**Ημερομηνία**	**Εγκεκριμένο**
Καθ. Γ. Τζαμπίρας	Γ. Κατσαούνης Σ. Πολύζος Δ. Δήμου		

Πληροφορίες εγγράφου		**Περιεχόμενα**		**Κατάσταση**
Πακέτο Εργασίας:	ΠΕ 5	Σελίδες:	22	
Υποκατηγορίας:	Π5.2	Πίνακες:	8	
Λέξεις κλειδιά:	Μετρήσεις ροπής και ισχύος, μετρήσεις επιπέδου κραδασμών	Εικόνες:	25	
		Παραρτήματα:	-	

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ

Η εργασία που περιγράφεται στην παρούσα έκθεση υποστηρίχθηκε από το Χρηματοδοτικό Μηχανισμό Ε.Π. «Ανταγωνιστικότητα Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία» Περιόδου 2014 – 2020 με τη συγχρηματοδότηση του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης που αντιστοιχεί στην πρόσκληση 039 για την υποβολή προτάσεων με θέμα «Ενίσχυση των υποδομών έρευνας και καινοτομίας».

	Ανάδοχος (Συντονιστής)
hcmr ΕΛΚΕΘΕ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (ΕΛΚΕΘΕ)
	Εταίρος
ΕΘΝ. ΜΕΤΣΟΒ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΝ ΑΡΛΕ ΠΡΟΜΗΘΕΥΣ ΠΥΡΦΟΡΟΣ	ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ (ΕΜΠ) ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

Περιεχόμενα 1
1. Εισαγωγή 3
2. Ανάπτυξη Ψηφιακών Σχεδίων Γραμμών και Τριδιάστατων Μοντέλων Γάστρας 5
2.1 Γραμμές Γάστρας και Τριδιάστατο Μοντέλο προ της επιμήκυνσης 5
2.2 Γραμμές Γάστρας και Τριδιάστατο Μοντέλο επιμηκυμένου πλοίου 7
3. Υδροστατικοί Υπολογισμοί 8
4. Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό 9
4.1 Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, T=1.76m 11
4.2 Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, T=2.6m 12
4.3 Πειράματα Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, T=2.55m 16
5. Αριθμητικοί Υπολογισμοί Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό 18
5.1 Αποτύπωση της γεωμετρίας 18
5.2 Περιγραφή της Αριθμητικής Μεθόδου 20
5.3 Υπολογισμοί Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, για το πλοίο προ της επιμήκυνσης 22
5.4 Υπολογισμοί Αντίστασης σε Ήρεμο Νερό, για το επιμηκυμένο πλοίο 29
5.5 Σύγκριση Υπολογισμών και Πειραματικών Μετρήσεων 39
6. Μελέτη συμπεριφοράς του πλοίου σε κυματισμούς 42
6.1 Δημιουργία 3D γεωμετρίας του Ε/Σ «ΦΙΛΙΑ» και του επιμηκυμένου σκάφους 42
6.2 Περιγραφή λογισμικού 42
6.3 Προδιαγραφές Υπολογισμών 43
6.4 Αποτελέσματα Υπολογισμών σε Αρμονικούς Κυματισμούς 44
6.4.1 Ταχύτητα Vs=0kn 45
6.4.2 Ταχύτητα Vs=3kn 50
6.4.3 Ταχύτητα Vs=10kn 54
6.5 Αποτελέσματα Φασματικής Ανάλυσης 59
6.5.1 Κυματισμοί 180deg 63

6.5.2 Κυματισμοί 135deg ... 67
6.5.3 Κυματισμοί 90deg ... 71
6.5.4 Αποτελέσματα μέσης πρόσθετης αντίστασης κυματισμού ... 75
7. Συμπεράσματα ... 77
8. Ονοματολογία ... 78
9. Βιβλιογραφικές αναφορές ... 79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ ... 80
Παράρτημα 1 - Όψεις τρι-διάστατων Μοντέλων ... 80
Παράρτημα 2 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, αρχική διαμόρφωση πλοίου ... 87
Παράρτημα 3 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons ... 88
Παράρτημα 4 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons και blisters 89
Παράρτημα 5 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons και βολβό. 90
Παράρτημα 6 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, πλοίο με sponsons, blisters και βολβό ... 91
Παράρτημα 7 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, επιμηκυμένο πλοίο με sponsons και βολβό ... 92
Παράρτημα 8 - Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών, επιμηκυμένο πλοίο με sponsons, blisters και βολβό ... 93
Παράρτημα 9 - Διαγράμματα Υδροστατικών Μεγεθών ... 94
Παράρτημα 10 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=1.76m, t=0.34m, αρχική διαμόρφωση πλοίου ... 104
Παράρτημα 11 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.6m, αρχική διαμόρφωση πλοίου ... 105
Παράρτημα 12 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.6m, πλοίο με sponsons ... 107
Παράρτημα 13 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.6m, πλοίο με sponsons και blisters ... 109
Παράρτημα 14 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.55m, πλοίο με sponsons και blisters ... 111
Παράρτημα 15 - Πίνακες Μετρήσεων Αντίστασης Ρυμούλκησης, T=2.55m, πλοίο με sponsons, blisters και βολβό ... 112
Παράρτημα 16 - Διαγράμματα Πειραματικών Μετρήσεων, T=1.76m, t=0.34m ... 113
Παράρτημα 17 - Διαγράμματα Πειραματικών Μετρήσεων, T=2.6m ... 118

Παράρτημα 18 - Διαγράμματα Πειραματικών Μετρήσεων, T=2.55m 124

Παράρτημα 19 - Συγκριτικά Διαγράμματα Υπολογισμών και Πειραματικών Μετρήσεων 129

Παράρτημα 20 - Μετρήσεις ροπής και ισχύος ελικοφόρων αξόνων και μετρήσεις επιπέδων κραδασμών επί του σκάφους μετά τη μετασκευή 133

Περιεχόμενα 1

1. Εισαγωγή 4

2. Συνθήκες δοκιμών 5

3. Μετρήσεις ταχύτητας 7

4. Μετρήσεις στροφών και ισχύος ελικοφόρων αξόνων 9

4.1 Εγκατάσταση και προετοιμασία εξοπλισμού 9

4.2 Μετρήσεις ισχύος ελικοφόρων αξόνων 12

4.3 Σύγκριση μετρήσεων ισχύος με αριθμητικές προβλέψεις 13

4.4 Μετρήσεις ταλαντώσεων στρεπτικών ροπών 14

4.5 Σύγκριση ταχυτήτων με την κατάσταση προ της μετασκευής 15

5. Μετρήσεις κραδασμών 16

6. Συμπεράσματα 19

7. Αναφορές 20

1. Εισαγωγή

Η παρούσα αναφορά συντάχθηκε στα πλαίσια του Υποέργου (2): «Ενέργειες ΕΜΠ για το Ερευνητικό Σκάφος ΦΙΛΙΑ» της Πράξης «Ελληνικός Ερευνητικός Στόλος – Ανακατασκευή του Ερευνητικού Σκάφους (Ε/Σ) ΦΙΛΙΑ» με κωδικό ΟΠΣ (MIS) 5002682. Ειδικότερα η έκθεση εντάσσεται στο Παραδοτέο Π5.2 του Υποέργου, το οποίο σύμφωνα με την περιγραφή της Αυτεπιστασίας ΕΜΠ περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των μελετών και υπολογισμών αντίστασης και πρόωσης και συμπεριφοράς σε κυματισμούς καθώς και αποτελέσματα δοκιμών επί του πλοίου.

Αντικείμενο της παρούσης έκθεσης είναι η παρουσίαση των ειδικότερων μετρήσεων που εκτελέστηκαν επί του πλοίου, μετά την ολοκλήρωση των εργασιών μετασκευής. Οι μετρήσεις αφορούν την επιτευχθείσα ταχύτητα του πλοίου, την ισχύ των ελικοφόρων αξόνων και το επίπεδο κραδασμών στους χώρους του σκάφους. Οι μελέτες αντίστασης, πρόωσης και συμπεριφοράς σε κυματισμούς έχουν ήδη περιληφθεί σε προηγούμενη έκδοση του Παραδοτέου Π5.2.

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται αρχικά οι συνθήκες διεξαγωγής των μετρήσεων, με αναφορά στη κατάσταση του πλοίου (βυθίσματα) και στις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Στη συνέχεια περιγράφεται η εγκατάσταση των μετρητικών συστημάτων και η διεξαγωγή των μετρήσεων. Τέλος, παρουσιάζονται οι αναλύσεις με τα αποτελέσματα των μετρήσεων και τα εξ αυτών συμπεράσματα.

2. Συνθήκες δοκιμών

Οι μετρήσεις διεξήχθησαν την Τετάρτη 5/1/2022. Το σκάφος είχε μόλις ολοκληρώσει τις εργασίες μετασκευής στο ναυπηγείο Περάματος Παπίλα και απέμεναν οι μεταφορές επί του πλοίου των διαφόρων τμημάτων του ειδικού ερευνητικού εξοπλισμού και των συναφών προμηθειών, οι οποίες θα πραγματοποιούνταν αργότερα, στη βάση του πλοίου στο Ηράκλειο Κρήτης.

Για την αποτύπωση της φόρτωσης του πλοίου κατά την ημέρα των δοκιμών έγινε επόπτευση των βυθισμάτων (βλ. Εικ. 1,2), η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 1: Επιθεώρηση βυθισμάτων ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΟΚΙΜΩΝ 5/1/2022	
Πρυμναίο βύθισμα	2,6m
Πρωραίο βύθισμα	2,2m
Μέσο βύθισμα	2,4m
Διαγωγή	0.4m by stern
Βύθισμα στο CF	2.429m
Εκτόπισμα	252,3 mt

Η κατάσταση θάλασσας κατά την ημέρα των δοκιμών ήταν ήρεμη, με παρατηρούμενο ύψος κύματος <0,3μ. Οι επικρατούντες άνεμοι ασθενείς, μέχρι BS 2.

Οι μετρήσεις διεξήχθησαν από τους Ναυπηγούς Μηχανολόγους Μηχανικούς κ.κ Γ. Κατσαούνη και Σ. Πολύζο και οι σχετικές αναλύσεις των μετρήσεων από τους κ.κ Γ. Κατσαούνη και Δ. Δήμου, όλοι τους μέλη της ερευνητικής ομάδας του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (ΕΝΘΥ) του ΕΜΠ, στο πρόγραμμα REPHIL.

Εικ. 1: Το FRV ΦΙΛΙΑ κατά την ημέρα του δοκιμαστικού ταξιδιού, στα Ναυπηγεία Περάματος Παπίλα.

Εικ. 2: Πρυμναίο και πρωραίο βύθισμα στην κατάσταση αναχώρησης.

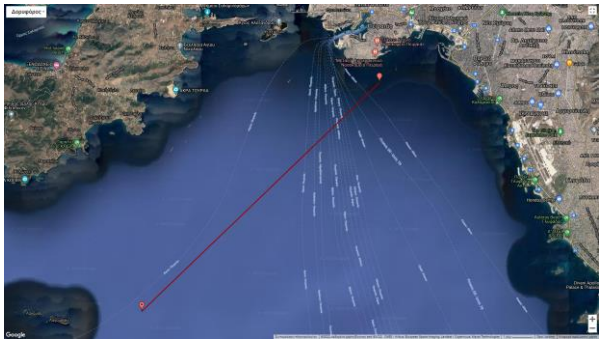
3. Μετρήσεις ταχύτητας

Μετά την αναχώρηση του πλοίου και τη διέλευση από τον δίαυλο Σαλαμίνας-Λιμένα Πειραιώς, εκτελέστηκαν οι δοκιμές ταχύτητας με μετρήσεις σε δύο επίπεδα στροφών της μηχανής (μέγιστη συνεχής λειτουργία MCR και ταχύτητα υπηρεσίας). Πραγματοποιήθηκαν επιμέρους διαδρομές, που περιελάμβαναν κίνηση σε ευθεία πορεία με σταθερές συνθήκες (σταθερές στροφές, αποφυγή κινήσεων πηδαλίου) καθώς και επαναλήψεις με αντίθετη πορεία, για την μείωση των επιδράσεων του θαλάσσιου ρεύματος και του ανέμου.

Οι δοκιμές έγιναν στον Σαρωνικό κόλπο, στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ της Σαλαμίνας και της Δυτικής ακτής της Αττικής. Η ταχύτητα του σκάφους μετρήθηκε με ανάλυση του στίγματος από τα όργανα ναυσιπλοΐας, για τον υπολογισμό της ταχύτητας σε σχέση με το έδαφος (speed over ground).

Πίνακας 2: Δοκιμές Ταχύτητας

Διαδρομή	Στροφές Κ. Μηχανών RPM (ονομ.)	Μήκος Διαδρομής [km]	Μήκος Διαδρομής [Naut. Miles]	Heading [deg]	Δt [min]	Ταχύτητα [kn]
1	1500	16.040	8.661	46.2	60.00	8.7
2	1580	1.168	0.631	180.0	3.93	9.6
3	1440	1.726	0.932	2.9	6.38	8.8
4	1440	1.149	0.620	10.3	4.25	8.8
5	1440	1.019	0.550	190.8	4.03	8.2
6a	1519	2.007	1.084	4.2	6.57	9.9
6b	1440	2.100	1.134	4.4	8.70	7.8



Διαδρομή 1

Διαδρομή 2

Διαδρομή 3

Διαδρομή 4

Διαδρομή 5

Διαδρομή 6a

Διαδρομή 6b

Εικ. 3: Διαδρομές μετρήσεων ταχύτητας.

4. Μετρήσεις στροφών και ισχύος ελικοφόρων αξόνων

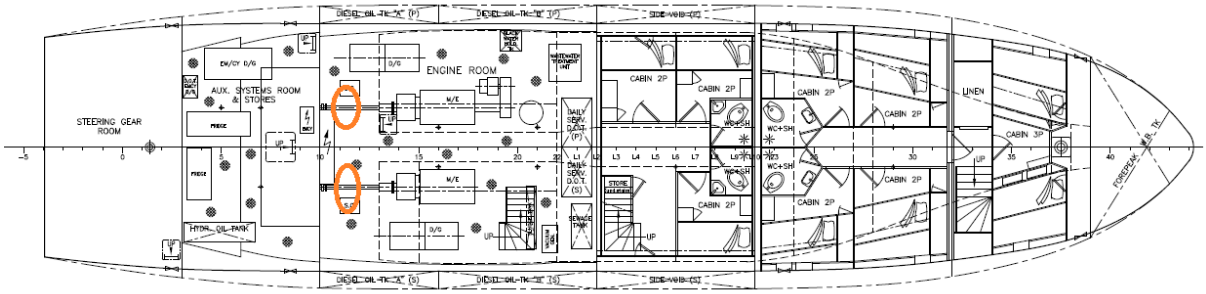
Κατά τη διάρκεια των δοκιμών ταχύτητας διεξήχθησαν παράλληλες μετρήσεις της στρεπτικής ροπής και των στροφών των ελικοφόρων αξόνων του πλοίου, στη θέση μεταξύ του μειωτήρα και του πρυμναίου εδράνου στεγανοποίησης. Οι μετρήσεις έγιναν με τον πειραματικό εξοπλισμό που αποκτήθηκε στα πλαίσια του παρόντος έργου, βλ. Πίν. 3. Η μεθοδολογία βασίζονταν στη μέτρηση των στρεπτικών παραμορφώσεων των αξόνων με χρήση επιμηκυνσιομέτρων (strain gages) και ασύρματης επικοινωνίας με σταθερό δέκτη και υπολογιστική μονάδα για την καταγραφή των σημάτων.

Πίνακας 3: Εξοπλισμός μετρήσεων ελικοφόρων αξόνων	
Αισθητήρες	Επιμηκυνσιόμετρα στρεπτικού πλέγματος Micro measurements CEA-06-250USA-350
Τηλεμετάδοση	Ασύρματο σύστημα επικοινωνίας Binsfield 10K (Δύο μοναδες, ΔΕ και ΑΡ άξονα)
Δέκτες	Binsfeld Torque Track 10K Torque telemetry system
Μετρητές RPM	Μαγνητικοί αισθητήρες Binsfeld
Ψηφιοποίηση	Σύστημα OpDAQ FT-0814 OP-TOR Field Test 2
Καταγραφή	Φορητός υπολογιστής Toshiba Tecra A3.

4.1 Εγκατάσταση και προετοιμασία εξοπλισμού

Κατά τις προηγηθείσες ημέρες των δοκιμών έγιναν επί του σκάφους εργασίες εγκατάστασης του εξοπλισμού. Τα ροπόμετρα εγκαταστάθηκαν στους δύο ελικοφόρους άξονες, στις θέσεις περί τον νομέα 11, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

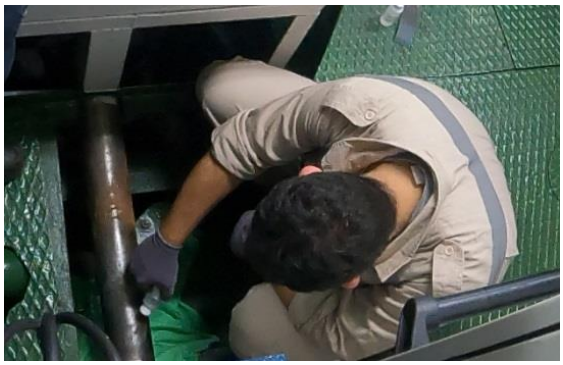
Η εγκατάσταση των επιμηκυνσιομέτρων περιλάμβανε κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας των αξόνων, με μηχανικό καθαρισμό, λείανση, χημική απόπλυση και κόλληση των αισθητήρων, με τις ηλεκτρικές καλωδιώσεις και την περιστρεφόμενη μονάδα τηλεμετάδοσης. Στιγμιότυπα από τις εργασίες αυτές παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν.



Εικ. 4: Θέσεις εγκατάστασης ροπομέτρων.

Μηχανικός καθαρισμός

Λείανση



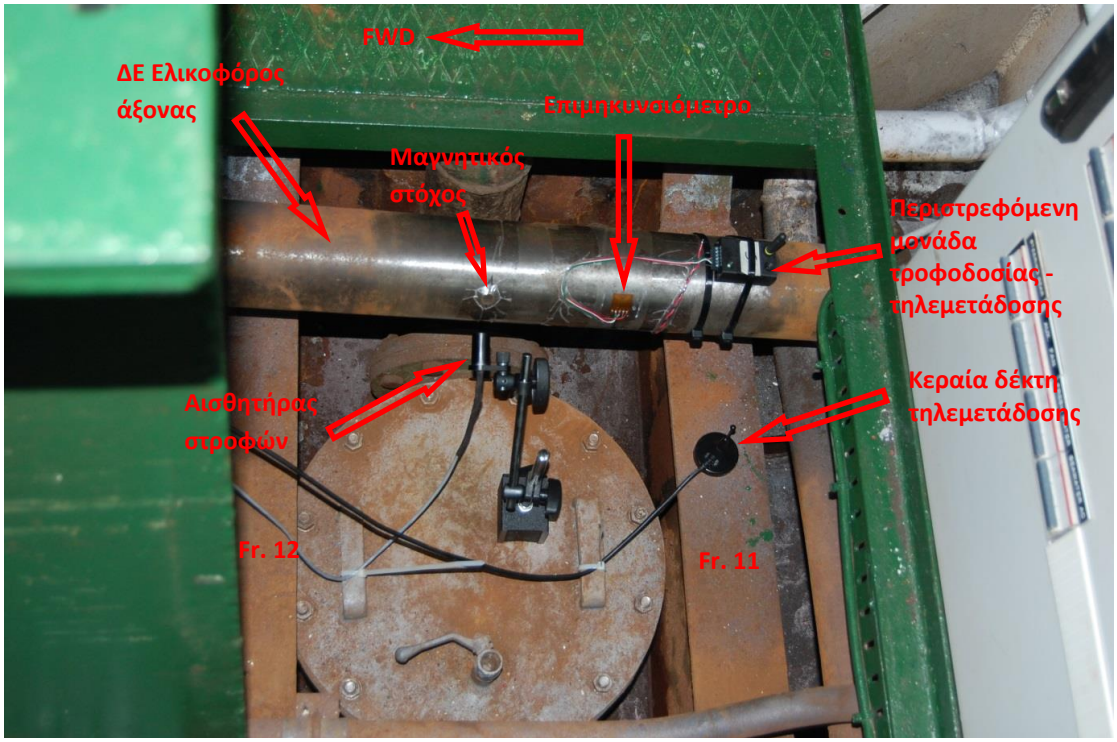
Χημικός καθαρισμός

Επικόλληση επιμηκυνσιομέτρων

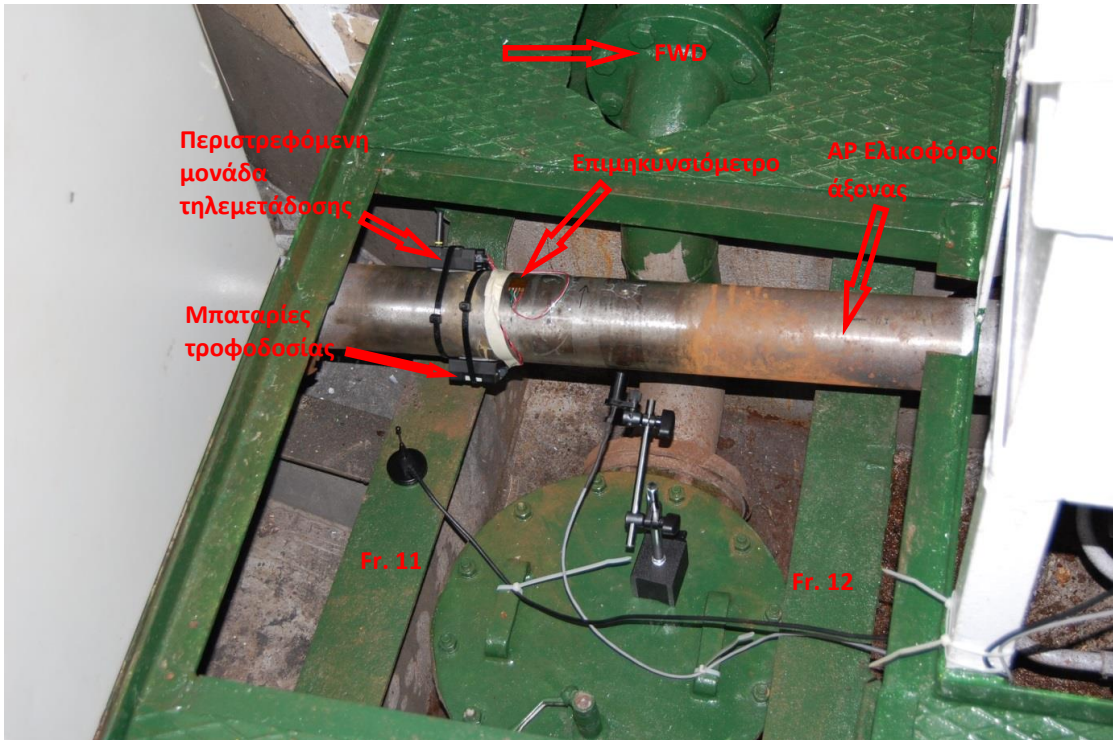
Επιμηκυνσιόμετρο στον ΑΡ άξονα

Επιμηκυνσιόμετρο στον ΔΕ άξονα

Εικ. 5: Εργασίες εγκατάστασης επιμηκυνσιομέτρων.



Εικ. 6: Εγκατάσταση μετρητικού συστήματος στον ΔΕ άξονα.



Εικ. 7: Εγκατάσταση μετρητικού συστήματος στον ΑΡ άξονα.

Εικ. 8: Σύστημα ελέγχου, ψηφιοποίησης και συλλογής μετρήσεων.

4.2 Μετρήσεις ισχύος ελικοφόρων αξόνων

Κατά τα διάφορα σκέλη των δοκιμών ταχύτητας της Τετάρτης 5/1/2022 μετρήθηκαν οι παράμετροι φόρτισης των ελικοφόρων αξόνων (στρεπτικές ροπές, στροφές) και υπολογίστηκε η αντίστοιχη ισχύς SHP. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

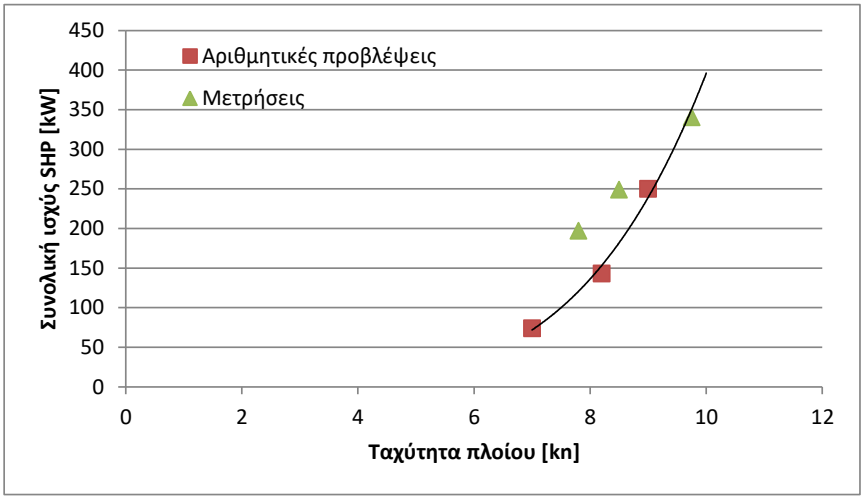
Πίνακας 4: Μετρήσεις ισχύος ελικοφόρων αξόνων								
	ΔΕ Ελικοφόρος άξονας			ΑΡ Ελικοφόρος άξονας			Συνολική Ισχύς	Ταχύτητα πλοίου
	Ροπή	Ισχύς	Στροφές	Ροπή	Ισχύς	Στροφές		
REF.	[NM]	[kW]	[RPM]	[NM]	[kW]	[RPM]	[kW]	[kn]
ACC6	4161.8	185.0	424.5	3480.6	155.2	425.7	340.2	9.6
ACC8	3393.9	141.3	397.6	3105.0	129.5	398.3	270.8	8.2
ACC9	3429.2	142.5	396.7	3098.3	129.2	398.2	271.7	8.2
AC10	3415.8	141.9	396.6	2421.6	104.5	412.2	246.4	8.8
AC11	3423.3	142.1	396.4	2418.7	104.4	412.1	246.5	8.8
AC12	3413.0	141.6	396.2	2421.8	104.4	411.7	246.0	8.8
AC13	3281.2	147.8	431.6	2568.5	114.6	426.3	262.4	8.8
AC14	2452.6	109.7	427.0	2623.4	116.7	424.6	226.4	8.8
AC18	2666.5	118.1	422.9	2373.6	107.2	431.1	225.3	
AC20	4458.1	198.0	424.1	3191.7	141.8	424.1	339.8	9.9
AC22	2075.7	86.0	395.7	2628.7	110.6	403.0	196.6	7.8
AC23	2101.7	86.7	393.9	2278.8	98.2	411.3	184.9	

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια των δοκιμών διαπιστώθηκε προβληματική λειτουργία του συστήματος ελέγχου βήματος των ελίκων (CPP). Αναφέρθηκε επίσης ότι

παράλληλα με τις μετρήσεις γίνονταν προσπάθειες από εξωτερικό συνεργείο για τη ρύθμιση του συστήματος. Από τις μετρήσεις των ροπών των αξόνων διαπιστώθηκε ότι οι ρυθμίσεις αυτές χρήζουν βελτίωσης, καθώς παρατηρήθηκε ανομοιόμορφη φόρτιση των κυρίων μηχανών του πλοίου. Λόγω του προβλήματος αυτού δεν ήταν δυνατόν να διεξαχθούν μετρήσεις σε απόλυτη αντιστοιχία με τη ρύθμιση του βήματος και, επίσης, δεν ήταν δυνατόν να διερευνηθεί μια βέλτιστη επιλογή βήματος για κάθε ταχύτητα, η οποία θα μπορούσε να αποφέρει είτε περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας είτε μείωση της απορροφούμενης ισχύος για την ίδια ταχύτητα. Θα πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι ο παραπάνω έλεγχος του συστήματος CPP δεν εντάσσεται στο πλαίσιο εργασιών του Υποέργου αλλά στο εύρος των συνήθων εργασιών συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου.

4.3 Σύγκριση μετρήσεων ισχύος με αριθμητικές προβλέψεις

Κατά τις προηγούμενες φάσεις του Υποέργου είχαν εκπονηθεί αριθμητικές αναλύσεις για την πρόβλεψη της αντίστασης ρυμούλκησης EHP του πλοίου. Για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τα μετρηθέντα επί του πλοίου μεγέθη, εκτιμήθηκε αρχικά ο συνολικός βαθμός απόδοσης πρόωσης στο επίπεδο του 40%. Στη συνέχεια, από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4 ελήφθησαν κατάλληλοι Μ.Ο. για τις τιμές της ισχύος και των ταχυτήτων κατά τη διάρκεια αντίθετων πορειών. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στο σχήμα 9, μαζί με τις αριθμητικές προβλέψεις.



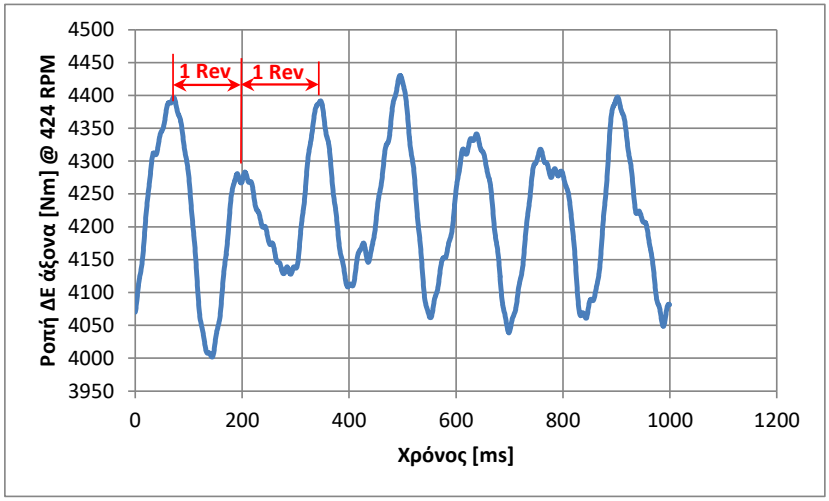
Εικ. 9: Σύγκριση μετρήσεων και αριθμητικών προβλέψεων.

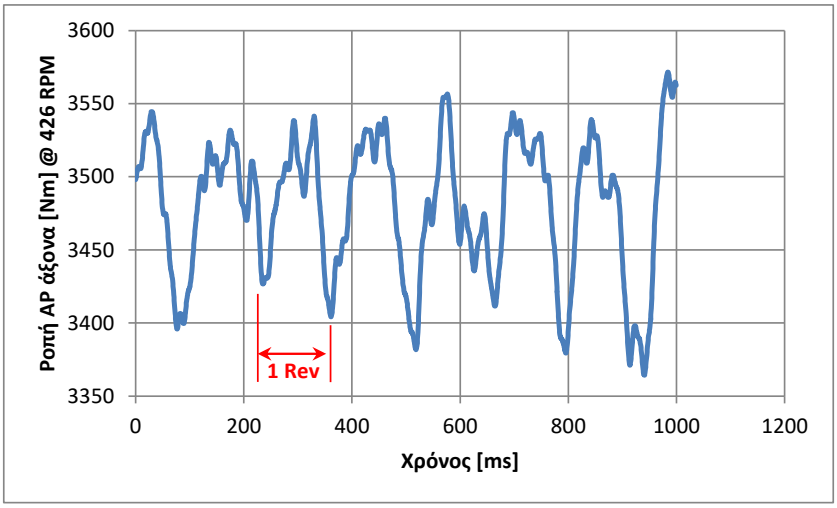
Από τη σύγκριση διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια ικανοποιητική συμφωνία στην υψηλή ταχύτητα, ενώ στις χαμηλότερες ταχύτητες τα αριθμητικά αποτελέσματα υποεκτιμούν την ισχύ πρόωσης του πλοίου. Η απόκλιση αυτή μπορεί να οφείλεται είτε στην αντίσταση των παρελκομένων του πλοίου, η οποία θα πρέπει να εξεταστεί αν υπεισέρχεται στα αριθμητικά αποτελέσματα με υποβαθμισμένη επίδραση στις χαμηλότερες ταχύτητες, είτε

στο προαναφερθέν πρόβλημα του συστήματος του ελέγχου βήματος των ελίκων, το οποίο μειώνει τον βαθμό απόδοσης αυξάνοντας την μετρούμενη ισχύ πρόωσης. Τα πειράματα επί του πλοίου έδωσαν χρήσιμα στοιχεία για την περαιτέρω εξέταση του φαινομένου και την βελτίωση των αριθμητικών μεθόδων.

4.4 Μετρήσεις ταλαντώσεων στρεπτικών ροπών

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών στη μεγαλύτερη ισχύ συνεχούς λειτουργίας ελήφθησαν υψίσυχνες μετρήσεις ροπών, για τη διερεύνηση των ταλαντώσεων κατά τη περιστροφή των αξόνων, φαινόμενο συνδεόμενο με τις αξονικές στρεπτικές ταλαντώσεις. Όπως φαίνεται και στα σχήματα που ακολουθούν, διαπιστώθηκαν μεταβολές της ροπής με εύρος (single amplitude) στο επίπεδο των 200 Nm (ΔΕ άξονας) και 100Nm (ΑΡ άξονας) που αντιστοιχούν στο 5% και 3% της μέσης ροπής αντίστοιχα.





Εικ. 10: Ταλαντώσεις στρεπτικής ροπής κυρίων αξόνων.

4.5 Σύγκριση ταχυτήτων με την κατάσταση προ της μετασκευής

Κατά τη φάση πριν τη μετασκευή, είχε εκτελεστεί δοκιμαστικό ταξίδι και είχαν καταγραφεί οι ταχύτητες του πλοίου ως ακολούθως:

Πίνακας 5: Καταγραφές ταχυτήτων πριν τη μετασκευή

Ημερομηνία	Ώρα	Πορεία	Ταχύτητα (Knts)	Άνεμος (Bfd)	Κύμα (Dir / Height m)
25/6/2020	11:00	180	7.9	NW/2	NW/0,3
	11:10	180	8.1	NW/2	NW/0,3
	11:20	180	8.2	NW/2	NW/0,3
	11:30	180	8.2	NW/2	NW/0,3
	11:40	180	8.2	NW/2	NW/0,3
	11:50	180	8.1	NW/2	NW/0,3
	12:00	180	8.1	NW/2	NW/0,3
		Μέση ταχύτητα	**8.1**		
25/6/2020	12:30	0	7.8	NW/2	NW/0,3
	12:40	0	7.9	NW/2	NW/0,3
	12:50	0	7.9	NW/2	NW/0,3
	13:00	0	7.8	NW/2	NW/0,3
	13:10	0	7.9	NW/2	NW/0,3
	13:20	0	7.8	NW/2	NW/0,3
	13:30	0	7.8	NW/2	NW/0,3
		Μέση ταχύτητα	**7.8**		

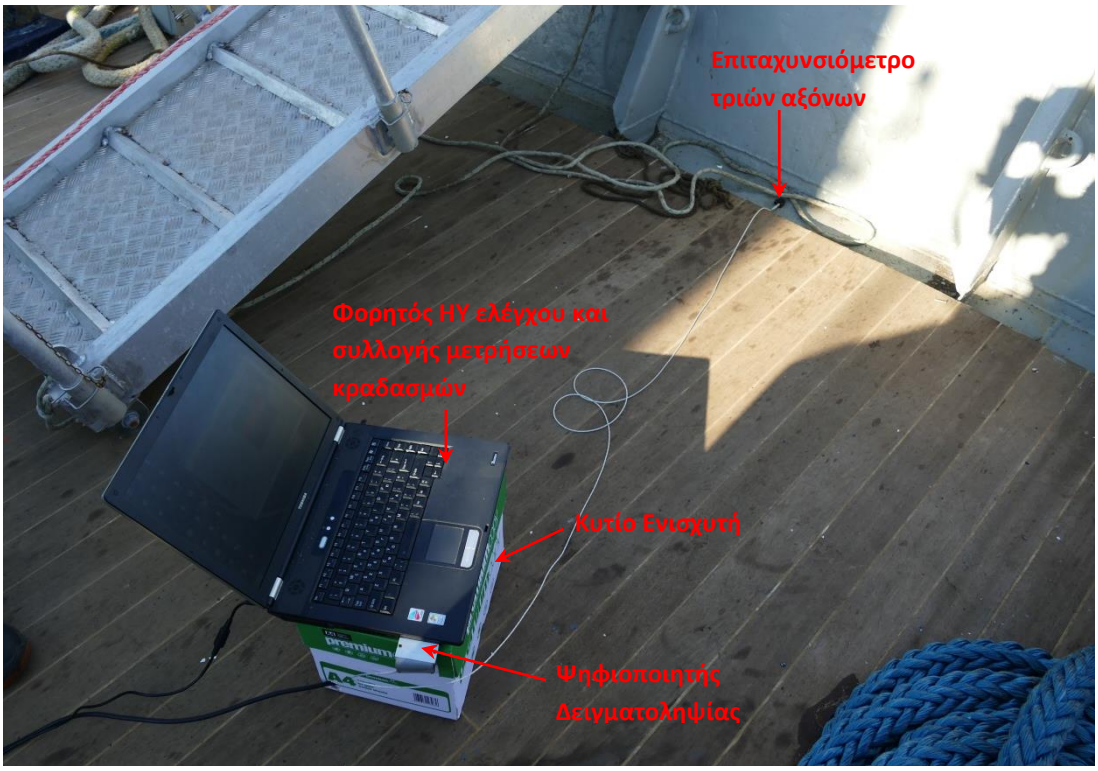
Συνθήκες δοκιμών 25/6/2020
Βυθίσματα: Fwd 2,40 m Aft 2,60 m Mid 2,50 m
Εκτόπισμα : 195 t
Στροφές Κυρίων μηχανών
STRBD ENGINE: 1600 RPM PITCH: 10
PORT ENGINE: 1600 RPM PITCH: 10

Από τον παραπάνω Πίνακα καθώς και από τις τιμές του Πίνακα 2 διαπιστώνεται μία αύξηση της ταχύτητας του πλοίου κατά 21% (Μέση επιτευχθείσα ταχύτητα στη κατάσταση συνεχούς λειτουργίας 9.7kn, σε σύγκριση με 8kn προ της μετασκευής). Η αύξηση αυτή εκτιμάται ότι οφείλεται προφανώς στον γενόμενο καθαρισμό των βρεχόμενων επιφανειών και των ελίκων του πλοίου, αλλά και στην ευεργετική επίδραση της επιμήκυνσης του σκάφους. Το τελευταίο επιβεβαιώνει και τη συντηρητική εκτίμηση της πρώτης φάσης των εργασιών του Υποέργου, όπου με βάση τις αριθμητικές προβλέψεις είχε εκτιμηθεί ότι η επιμήκυνση του πλοίου δεν θα είχε δυσμενείς επιπτώσεις στη ταχύτητά του, παρά την αύξηση των παρελκομένων του πλοίου (εγκατάσταση κελύφους ηχοβολιστικών κλπ).

5. Μετρήσεις κραδασμών

Κατά τη διάρκεια του δοκιμαστικού ταξιδιού της Τετάρτης 5/1/2022 εκτελέστηκαν μετρήσεις κραδασμών στους χώρους του πλοίου οι οποίοι ενδιαφέρουν για την εκτίμηση του επιπέδου ανέσεως των ερευνητών και του πληρώματος του πλοίου. Οι μετρήσεις έγιναν με καταγραφές των γραμμικών επιταχύνσεων στις τρείς διευθύνσεις xyz, με τη χρήση επιταχυνσιομέτρου τριών αξόνων και κατάλληλου ενισχυτή. Για την οδήγηση των μετρήσεων και την αποθήκευση των καταγραφών χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή κάρτας δειγματοληψίας και φορητός ΗΥ. Η εικόνα και ο πίνακας που ακολουθεί συνοψίζουν τον εξοπλισμό κραδασμών:

Πίνακας 6: Εξοπλισμός μετρήσεων κραδασμών	
Επιταχυνσιόμετρο	Kistler 8692C5 triaxial accelerometer
Ενισχυτής-διαμορφωτής	Kistler 5134 power supply and conditioner
Ψηφιακή δειγματοληψία	National Instruments DAQCard-Al-16E-4
Καταγραφικό	Toshiba Tecra A4 φορητός υπολογιστής
Λογισμικό μετρήσεων	National instrument NI DAQ subroutines



Εικ. 11: Σύστημα ελέγχου, ψηφιοποίησης και συλλογής μετρήσεων.

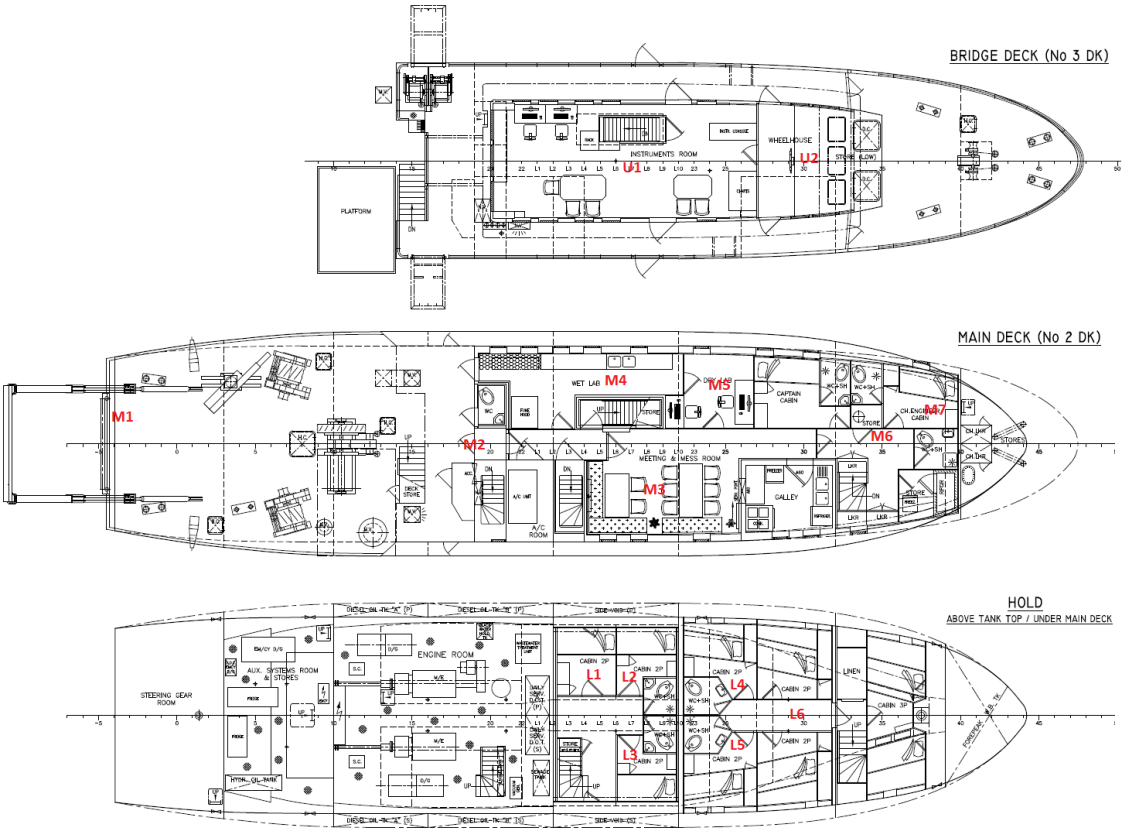
5.1 Θέσεις μετρήσεων

Τα σημεία μέτρησης κραδασμών κατανεμήθηκαν στους χώρους εργασίας και ενδιαίτησης του πλοίου, όπως σημειώνονται στα επόμενα σχέδια. Για λόγους αναφοράς ελήφθησαν μετρήσεις και στο πρυμναίο άκρο του κυρίου καταστρώματος.

Πίνακας 7: Σημεία μέτρησης επιπέδου κραδασμών		
Θέση	*Νομέας*	*Χώρος*
ΚΥΡΙΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		
M1	Fr. -4	Πρυμναίο άκρο Main deck
M2	Fr. 19	Είσοδος διαδρόμου
M3	Fr. L8	Τραπεζαρία
M4	Fr. L6	Wet Lab
M5	Fr. 26	Dry Lab
M6	Fr. 34	Καμπίνα κυβερνήτη-διάδρομος
M7	Fr. 38	Καμπίνα Α’ μηχανικού
ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		
L1	Fr. L4	Καμπίνα ερευνητών PORT
L2	Fr. L8	Καμπίνα ερευνητών STRBD
L3	Fr. L8	Καμπίνα ερευνητών PORT
L4	Fr. 25	Καμπίνα πληρώματος PORT
L5	Fr. 25	Καμπίνα πληρώματος STRBD
L6	Fr. 30	Διάδρομος
ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΓΕΦΥΡΑΣ		
U1	Fr. L7	Χώρος Χαρτών
U2	Fr. 28	Οιακιστήριο

Οι μετρήσεις κραδασμών παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 8. Με βάση τα διεθνώς προτεινόμενα όρια [1], συμπεραίνεται ότι τα μετρημένα επίπεδα ευρίσκονται στο εύρος των συνήθως απαντώμενων επιπέδων κραδασμών στα πλοία του είδους και συνεπώς κρίνονται αποδεκτά.

Ειδικότερα, τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατέδειξαν χαμηλά επίπεδα κραδασμών σε όλους τους εσωτερικούς χώρους ενδιαίτησης και εργασίας, με μόνη περίπτωση σχετικά αυξημένων δονήσεων στις ενδιαιτήσεις του κατωτέρω καταστρώματος, στο νέο τμήμα, λόγω της γειτνίασης με το μηχανοστάσιο του πλοίου, χωρίς όμως και στη περίπτωση αυτή να αναμένονται προβλήματα λόγω κραδασμών για το επίπεδο ανέσεως του πληρώματος και των επιβατών. Τέλος, σχετικά αυξημένα επίπεδα κραδασμών στους ελεύθερους χώρους παρατηρήθηκαν στο πρυμναίο άκρο του κυρίου (ανοικτού) καταστρώματος, όπως αναμένονταν, λόγω της γειτνίασης με τις έλικες του σκάφους. Και στην περίπτωση αυτή σημειώνεται ότι δεν αναμένονται προβλήματα στη γενικότερη λειτουργία του πλοίου.



Εικ. 12: Θέσεις μετρήσεων κραδασμών.

Πίνακας 8: Μετρήσεις επιπέδου κραδασμών						
Σταθμισμένες RMS τιμές στο εύρος 1-80Hz Επιταχύνσεις (mm/s^2) και Ταχύτητες (mm/s)						
	X		Y		Z	
Θέση	Acc.	Vel.	Acc.	Vel.	Acc.	Vel.
M1	48.0	0.6	60.0	1.4	162.6	2.2
M2	78.0	1.1	54.2	0.8	76.8	1.2
M3	16.3	0.3	23.4	0.6	66.7	1.1
M4	24.4	0.3	31.5	0.6	43.7	0.6
M5	13.6	0.4	22.0	0.6	41.1	0.8
M6	35.2	1.9	13.3	0.4	29.8	0.6
M7	49.4	2.8	16.1	0.5	54.4	1.0
L1	80.6	3.7	40.9	0.5	53.7	0.6
L2	58.9	3.1	26.6	0.5	21.4	0.4
L3	76.7	4.3	25.5	0.6	29.2	0.5
L4	51.8	2.5	23.7	0.6	28.1	0.6
L5	44.5	2.3	25.2	1.0	36.6	1.1
L6	48.0	2.7	51.1	0.7	28.1	0.6
U1	36.1	1.8	18.9	0.5	41.2	0.9
U2	53.6	2.9	18.3	0.5	22.5	0.6

6. Συμπεράσματα

Σχετικά με την εξέταση της απόδοσης ναυσιπλοΐας του πλοίου εγκαταστάθηκε στα πλαίσια του Έργου ειδικός εξοπλισμός στους προωστήριους άξονες, για την μέτρηση ισχύος-στροφών με παράλληλη καταγραφή της ταχύτητας του πλοίου από το στίγμα του εξοπλισμού ναυσιπλοίας του σκάφους (speed over ground). Κατά τη διάρκεια δοκιμαστικού πλού εκτελέστηκαν δοκιμές ταχύτητας τόσο στις μέγιστες στροφές της προωστήριας εγκατάστασης όσο και στην ταχύτητα υπηρεσίας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών ανέδειξαν την βελτιωμένη απόδοση του πλοίου και ειδικότερα την αύξηση της ταχύτητας στο επίπεδο του 21%, στο επίπεδο των δύο κόμβων, με συνεπαγόμενη μείωση της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου λόγω της αντίστοιχης ελάττωσης των χρόνων ταξιδιού. Επίσης, οι μετρημένες ταχύτητες συγκρίθηκαν με τις προβλέψεις των προηγούμενων αναλύσεων και πειράματα επί του πλοίου έδωσαν χρήσιμα στοιχεία για την περαιτέρω ανάπτυξη των αριθμητικών μεθόδων.

Κατά τη διάρκεια του δοκιμαστικού ταξιδιού διεξήχθησαν μετρήσεις κραδασμών στους χώρους του πλοίου, τόσο στο κατώτερο όσο και στα ανώτερα καταστρώματα. Εξετάστηκαν οι χώροι ενδιαίτησης, οι χώροι εργαστηρίου στο κύριο κατάστρωμα και οι χώροι ναυσιπλοΐας και εργαστηρίου στο ανώτερο κατάστρωμα. Οι καταγραφές αφορούσαν το επίπεδο κραδασμών στην κατακόρυφη, εγκάρσια και διαμήκη διεύθυνση με μετρήσεις των δονήσεων του κύτους, λόγω της λειτουργίας των ελίκων και των βοηθητικών μηχανημάτων. Τα ειδικότερα αποτελέσματα των μετρήσεων κατέδειξαν χαμηλά επίπεδα κραδασμών σε όλους τους εσωτερικούς χώρους ενδιαίτησης και εργασίας, με μόνη περίπτωση σχετικά αυξημένων δονήσεων στις ενδιαιτήσεις του κατωτέρω καταστρώματος, στο νέο τμήμα, λόγω της γειτνίασης με το μηχανοστάσιο του πλοίου, χωρίς όμως και στη περίπτωση αυτή να αναμένονται προβλήματα λόγω κραδασμών για το επίπεδο ανέσεως του πληρώματος και των επιβατών. Τέλος, σχετικά αυξημένα επίπεδα κραδασμών στους ελεύθερους χώρους παρατηρήθηκαν στο πρυμναίο άκρο του κυρίου (ανοικτού) καταστρώματος, όπως αναμένονταν, λόγω της γειτνίασης με τις έλικες του σκάφους. Και στην περίπτωση αυτή σημειώνεται ότι δεν αναμένονται προβλήματα στη γενικότερη λειτουργία του πλοίου.

Τέλος, σημειώνεται ότι διαπιστώθηκε μια ανομοιομορφία λειτουργίας των δύο κύριων μηχανών του πλοίου, με αυξημένη φόρτιση της ΔΕ μηχανής σε επίπεδο 17%, στα 1526 RMP (425 RPM άξονα). Η ανομοιομορφία αυτή φαίνεται να σχετίζεται με τον μηχανισμό ελέγχου του βήματος των ελίκων (pitch control) καθώς παρατηρήθηκαν δυσλειτουργίες στον χειρισμό του συστήματος από το πλήρωμα, ενώ ήταν σε εξέλιξη κατά τη διάρκεια του δοκιμαστικού ταξιδιού εργασίες ρύθμισης από ειδικό συνεργείο. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα παραπάνω δεν εμπίπτουν στο εύρος των εργασιών του έργου REPHIL, αλλά σημειώνονται γενικότερα, προς ενημέρωση και μελλοντική αντιμετώπιση του θέματος.

7. Αναφορές

[1] ISO 6954 INTERNATIONAL STANDARD, Mechanical vibration — Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships.