



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

*ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ (TRIM) ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ
ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΠΛΟΙΩΝ*

ΙΑΚΩΒΑΤΟΣ ΜΑΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Γ. ΤΖΑΜΠΡΑΣ



ΑΘΗΝΑ 2011



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

*ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ (TRIM) ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ
ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΠΛΟΙΩΝ*

ΙΑΚΩΒΑΤΟΣ ΜΑΡΙΟΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθ. Γ. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ

Καθ. Γ. ΠΟΛΙΤΗΣ

Καθ. Γ. ΤΖΑΜΠΡΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο “Επίδραση της Διαγωγής (Trim) στην αντίσταση διαφόρων μοντέλων και πλοίων” εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2010-2011 στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών στη σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου της Αθήνας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη της επίδρασης της διαγωγής στην αντίσταση μοντέλων και πλοίων, διαφόρων τύπων και μορφών. Στη σημερινή εποχή, είναι ανάγλυφη η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από του πλοιοκτήτες. Για το σκοπό αυτό διερευνώνται διάφοροι τρόποι για την ικανοποίηση αυτής της ανάγκης. Ένας από τους τρόπους που θα μπορούσαν να συντελέσουν σε αυτό, είναι η πλευση του πλοίου υπό μία βέλτιστη κατάσταση διαγωγής στην οποία θα βελτιστοποιείται η ολική αντίσταση του πλοίου στην αντίστοιχη ταχύτητα.

Για την μελέτη αυτή, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά πειραμάτων ρυμούλκησης προτύπων πλοίων σε ήρεμο νερό. Τα πειράματα έγιναν στην πειραματική δεξαμενή του εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (ΕΝΘΥ) του Ε.Μ.Π. και αφορούσαν σε διάφορους τύπους πλοίων και συγκεκριμένα ένα παραδοσιακό σκάφος, ένα semi – swath, ένα bulk carrier, ένα διπλέλικο E/O, ένα μονέλικο E/O και ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος. Σε αυτά μετρήθηκε η ολική αντίσταση, η διαγωγή και η παράλληλη βύθιση σε διάφορα βυθίσματα, καταστάσεις διαγωγής και ταχύτητες προκειμένου να εξετάσουμε την επίδραση των διαφόρων καταστάσεων στην ολική αντίσταση και κατ’έπекταση στην ισχύ ρυμούλκησης. Επιπλέον, στα πλαίσια των πειραμάτων αυτών, πραγματοποιήθηκαν και πειράματα δειγματοληψίας της μορφής της ελεύθερης επιφάνειας (Wavecuts) καθώς και ένας περιορισμένος αριθμός πειραμάτων αυτοπρόωσης για το παραδοσιακό σκάφος.

Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται περιγραφή των πειραμάτων, που διεξήχθησαν καθώς και των μεθόδων ανάλυσής τους. Ακολουθεί παράθεση των αποτελεσμάτων κάθε μοντέλου και σχολιασμός τους ενώ στο τέλος γίνεται μία συνοψη των τελικών συμπερασμάτων.

ABSTRACT

The purpose of this thesis , is to study the effect of trim on various models's and ships's resistance. In our times, the ship owners search for ways to save energy and reduce fuel consumption. One of these ways could be the optimization of the ship's position in water (trimming), in order to reduce the total resistance in the current speed.

For this reason, a series of experiments for models in calm water, were carried out. The experiments were conducted in the towing tank of the Department of Hydrodynamics, for various models of ships, and in particular for a traditional boat, a semi-swath, a bulk carrier, two passenger ships and a sailing boat. In these experiments we measured the resistance, the pitch and the heave, in various drafts, trims and velocities, in order to examine the effect of trim on the resistance of models and on the Effective Horse Power of the real ships. In addition to the above, wavecuts and self propulsion experiments were conducted for the traditional boat.

During the thesis, there is description and analysis of the experiments that were conducted. Moreover, we present the results along with some comments and in the end we summarize some of the conclusions.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Υπόθεση Froude.....	1
Μέθοδος πρόβλεψης Ολικής Αντίστασης Πλοίου.....	4
Πειραματική Διαδικασία.....	6
Πειραματική Δεξαμενή.....	6
Πειράματα Αντίστασης.....	8
Συναρτήσεις Μεταφοράς.....	10
Διεξαγωγή πειραμάτων Wavecuts.....	11
Πειράματα Αυτοπρόωσης.....	14
Αποτελέσματα Πειραμάτων Αντίστασης.....	16
Αποτελέσματα Πειραμάτων Wavecuts.....	17
Αποτελέσματα Πειραμάτων Αυτοπρόωσης.....	17
Επιδράσεις της Διαγωγής (Trim).....	19
Ανάλυση Παλαιότερων Πειραμάτων.....	20
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	22
1 ^ο Μοντέλο – E/O ROPAX.....	23
1 ^η κατάσταση δοκιμών – T = 4.0 m.....	25
2 ^η κατάσταση δοκιμών – T = 4.5 m.....	38
3 ^η κατάσταση δοκιμών – T = 5.5 m.....	51
Συμπεράσματα – Σχόλια.....	64
2 ^ο Μοντέλο – BULK CARRIER HURON.....	68
1 ^η κατάσταση δοκιμών – T = 7.25 m.....	70
2 ^η κατάσταση δοκιμών – T = 10.15 m.....	83
Συμπεράσματα – Σχόλια.....	96
3 ^ο Μοντέλο – E/O NAVIGATOR.....	97
Κατάσταση δοκιμών – T = 3.15 m.....	98
Συμπεράσματα – Σχόλια.....	111
4 ^ο Μοντέλο – E/O Semi-Swath.....	113
Κατάσταση δοκιμών – T = 3.30 m.....	114

Συμπεράσματα – Σχόλια.....	138
5 ^ο Μοντέλο – ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ ΣΚΑΦΟΣ «ΠΕΡΑΜΑ».....	140
Κατάσταση δοκιμών Αντίστασης – $T = 2.20$ m.....	141
Συμπεράσματα – Σχόλια.....	154
Αποτελέσματα Αυτοπρόωσης.....	154
Αποτελέσματα Wavecuts	155
6 ^ο Μοντέλο – Ιστιοπλοϊκό.....	159
Κατάσταση δοκιμών – $T = 0.25$ m.....	159
Συμπεράσματα – Σχόλια.....	172
Γενικές Παρατηρήσεις.....	173
Ευχαριστίες.....	174
Βιβλιογραφία.....	175

Εισαγωγή

Ένα πλοίο διαφέρει από οποιαδήποτε άλλη μεγάλη μηχανική κατασκευή καθώς, θα πρέπει να σχεδιαστεί για να κινηθεί αποτελεσματικά διαμέσω του νερού με ελάχιστη εξωτερική δύναμη. Η δύναμη αυτή, που απαιτείται για να ρυμουλκήσει το πλοίο σε ήρεμο νερό και με μία συγκεκριμένη και σταθερή ταχύτητα, ονομάζεται αντίσταση.

Γιατί όμως η αντίσταση ενός πλοίου είναι τόσο σημαντική; Η απάντηση έγκειται στη γνώση ότι το πλοίο είναι συνήθως ένα μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος μεταφορών. Για να είναι αποτελεσματικό το σύστημα αυτό των μεταφορών, απαιτείται από το πλοίο ή πλοία που το αποτελούν να λειτουργούν σε μία συγκεκριμένη βέλτιστη ταχύτητα. Οι πλοιοκτήτες απαιτούν από τους μελετητές ναυπηγούς, να σχεδιάσουν το πλοίο κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται αυτή η ταχύτητα. Ένας τρόπος για να εξασφαλιστεί αυτό είναι η εγκατάσταση ενός πολύ ισχυρού κινητήρα στο υπό μελέτη πλοίο, έτσι ώστε για όλες τις πιθανές τιμές της αντίστασης, το πλοίο να είναι σε θέση να κινείται με τη βέλτιστη ταχύτητα.

Αυτή η λύση είναι προφανώς δεν είναι η καλύτερη. Η εγκατάσταση ενός κινητήρα που είναι πιο ισχυρός από ό, τι χρειάζεται, οδηγεί σε υψηλότερο κόστος κατασκευής, υψηλότερο κόστος λειτουργίας και υψηλότερο κόστος συντήρησης. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα, το εν προκειμένω σχέδιο να μην γίνει αποδεκτό από τον πλοιοκτήτη. Για την ελαχιστοποίηση του κόστους στη συγκεκριμένη ταχύτητα, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την αντίστοιχη τιμή της αντίστασης. Με αυτό τον τρόπο, μέσω του τύπου $P = F \cdot V$ μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ισχύ και κατ'επέκταση να προσδιορίσουμε τον κινητήρα που θα εγκατασταθεί.

Υπόθεση Froude

Η αντίσταση ενός πλοίου, μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κύριες συνιστώσες: την αντίσταση τριβής και την υπόλοιπη αντίσταση. Η αντίσταση τριβής, είναι η συνιστώσα της αντίστασης που προκύπτει από ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των εφαπτομενικών τάσεων (τάσεις συνεκτικότητας και προβολή κατά τη διεύθυνση της ροής. Η υπόλοιπη αντίσταση είναι η συνιστώσα της αντίστασης που

παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των κάθετων τάσεων (δυνάμεις πίεσης) και προβολή κατά τη διεύθυνση της ροής.

Ο William Froude ήταν ο πρώτος που διαπίστωσε ότι η υπόλοιπη αντίσταση ενός μοντέλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της υπόλοιπης αντίστασης του αντίστοιχου πραγματικού πλοίου, στηριζόμενος στην αρχή της ομοιότητας που αναπτύχθηκε από το Νεύτωνα. Η αντίσταση τριβής ωστόσο, ακολουθεί τους δικούς της νόμους και δεν μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω. Ο Froude μελέτησε την αντίσταση τριβής ρυμουλκούμενων επίπεδων πλακών, προκειμένου να προσδιορίσει εμπειρικά τις σχέσεις μεταξύ της αντίστασης τριβής, μήκους, επιφάνειας και ταχύτητας. Αυτό που διαπίστωσε ήταν ότι η διαφορά μεταξύ του συντελεστή ολικής αντίστασης και συντελεστή αντίστασης τριβής επίπεδης πλάκας, είναι περίπου σταθερή, δηλαδή ανεξάρτητη του αριθμού Reynolds για γεωμετρικά όμοια μοντέλα του πλοίου τα οποία βρίσκονται στον ίδιο αριθμό Froude.

Ας εξετάσουμε όμως πιο αναλυτικά το φαινόμενο της αντίστασης ρυμούλκησης πλοίου επιφάνειας. Με τη βοήθεια της διαστατικής ανάλυσης διαπιστώνουμε ότι ο συντελεστής ολικής αντίστασης C_T που ορίζεται:

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot WS \cdot V^2}$$

Εξαρτάται από τρεις αδιάστατους όρους:

$$C_T = f\left(\frac{V \cdot L}{\nu}, \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}, \frac{p}{\rho \cdot V^2}\right)$$

Όπου:

- R_T : η ολική αντίσταση του πλοίου
- P : η πυκνότητα του μέσου (νερού)
- WS : η βρεχόμενη επιφάνεια
- V : η ταχύτητα του πλοίου
- L : το μήκος του πλοίου
- N : η κινηματική συνεκτικότητα του μέσου (νερού)
- p : η πίεση του νερού

ενώ οι αδιάστατοι όροι, είναι:

- $\frac{V \cdot L}{\nu}$: αριθμός Reynolds (Re)
- $\frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$: αριθμός Froude (Fr)
- $\frac{P}{\rho \cdot V^2}$: αδιάστατη πίεση

Για να εξασφαλιστεί πλήρης ομοιότητα συνθηκών ροής μοντέλου (m) και πλοίου (s) πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα και οι δύο ισότητες:

$$Fr_m = Fr_s$$

$$Re_m = Re_s$$

Αυτό στην πράξη αποδεικνύεται αδύνατο για τους συνήθως μεγάλους λόγους $\lambda = L_s/L_m$ και για πραγματικά ρευστά. Έτσι, στο σημείο αυτό, ο Froude, με βάση τις παρατηρήσεις του, διατύπωσε την υπόθεση ότι:

$$C_T(Re,Fr) = C_F(Re) + C_R(Fr)$$

Όπου:

- C_T : ο συντελεστής ολικής αντίστασης
- C_F : ο συντελεστής αντίστασης τριβής
- C_R : ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης

Η προηγούμενη εξίσωση συντελεστών εκφράζει ότι η ολική αντίσταση ενός πλοίου που εξαρτάται από τους αριθμούς Re και Fr μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες: την αντίσταση τριβής που εξαρτάται αποκλειστικά από τον αριθμό Re και την υπόλοιπη αντίσταση που εξαρτάται αποκλειστικά από τον αριθμό Fr.

Η υπόθεση του Froude σήμερα εξηγείται με την παρατήρηση ότι είναι ακριβές να δεχθούμε ότι:

$$C_T(Re,Fr) = C_F(Re) + C_R(Re,Fr)$$

Που ουσιαστικά σημαίνει ότι η προσέγγιση είναι:

$$C_R(\text{Re}, \text{Fr}) = C_R(\text{Fr})$$

Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ρεαλιστικό δεδομένου ότι κύρια συνιστώσα της υπόλοιπης αντίστασης είναι η αντίσταση κυματισμού, R_w , η οποία εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τον αριθμό Froude.

Μέθοδος πρόβλεψης Ολικής Αντίστασης Πλοίου

Η υπόθεση Froude είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη της παρακάτω μεθόδου πρόβλεψης ολικής αντίστασης ενός πλοίου (s) μέσω δοκιμών σε ένα γεωμετρικά όμοια μοντέλο του (m) :

1. Κατασκευής μοντέλου σε κλίμακα $\lambda = L_s/L_m$ και μέτρηση της αντίστασής του σε περιοχή ταχυτήτων τέτοια ώστε $\text{Fr}_m = \text{Fr}_s$, που σε ταχύτητες σημαίνει:

$$V_m = V_s \cdot \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

2. Μέτρηση της ολικής αντίστασης R_{Tm} του μοντέλου και εύρεση του συντελεστή ολικής αντίστασης του μοντέλου C_{Tm} , σύμφωνα με την παρακάτω αδιαστατοποίηση:

$$C_{Tm} = \frac{R_{Tm}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_{fw} \cdot WS_m \cdot V_m^2}$$

3. Υπολογισμός του συντελεστή αντίστασης τριβής του μοντέλου κατά I.T.T.C με βάση τη σχέση για επίπεδη πλάκα:

$$C_{Fm} = \frac{0.075}{(\log_{10} \text{Re}_m - 2)^2}$$

Όπου: $Re_m = \frac{V_m \cdot L_m}{\nu_m}$, ο αριθμός Reynolds για το μοντέλο

4. Εύρεση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης ο οποίος σύμφωνα με τα προαναφερθέντα είναι κοινός για το μοντέλο και το πλοίο για τον ίδιο αριθμό Froude από την σχέση:

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

5. Υπολογισμός του συντελεστή αντίστασης τριβής του πλοίου κατά I.T.T.C. :

$$C_{Fs} = \frac{0.075}{(\log_{10} Re_s - 2)^2}$$

Όπου: $Re_s = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu_s}$, ο αριθμός Reynolds για το πραγματικό πλοίο

6. Υπολογισμός του συντελεστή ολικής αντίστασης του πλοίου από την σχέση:

$$C_{Ts} = (C_{Fs} + C_A) + C_{RS}$$

Όπου:

- $C_{RS} = C_{RM}$, σύμφωνα με την υπόθεση Froude
- $C_A = 0.0004$, διορθωτικός συντελεστής συσχέτισης

7. Εύρεση της ολικής αντίστασης του πλοίου από την σχέση

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot WS \cdot V^2 \cdot C_T$$

8. Υπολογισμός της ισχύος ρυμούλκησης EHP από την σχέση :

$$EHP = \frac{V_S \cdot R_T}{75}$$

Όπου:

- EHP : η ισχύς ρυμούλκησης του πλοίου, σε PS
- VS : η ταχύτητα του πλοίου , σε kn
- RT : η ολική αντίσταση του πλοίου , σε Kp

Πειραματική Διαδικασία

Ως γνωστόν, ο θεωρητικός υπολογισμός της αντίστασης ενός πλοίου καθίσταται εξαιρετικά δυσχερής και ως εκ τούτου αυτή ευρέως προσδιορίζεται μέσω πειραμάτων. Είναι προφανές ότι εξίσου οικονομικά δυσχερής καθίσταται και η διεξαγωγή πειραμάτων σε φυσική κλίμακα. Καταλήγουμε λοιπόν στην λύση διεξαγωγής πειραμάτων προτύπων σε ειδικές δεξαμενές ρυμούλκησης.

Η διεξαγωγή πειραμάτων μοντέλων πλοίων αποτελεί αξιόπιστη και οικονομική μέθοδο διερεύνησης αφού καθίσταται ευχερής και γρήγορη η διαφοροποίηση των υδροδυναμικών παραμέτρων, η επίδραση των οποίων διερευνάται.

Πειραματική Δεξαμενή

Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στη δεξαμενή της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής.

Πρόκειται για δεξαμενή μήκους 100 m, πλάτους 4.6m και βάθους 3m. Η Πειραματική αυτή Δεξαμενή είναι εξοπλισμένη με φορείο δοκιμών και με σύστημα παραγωγής και αποσβέσεως κυματισμών (το οποίο δε χρησιμοποιήθηκε, καθότι πρόκειται για πείραμα σε ήρεμο νερό). Για τη παρακολούθηση των πειραμάτων, υπάρχουν κατά μήκος της μιας πλευράς της δεξαμενής 18m ειδικών παραθύρων ύψους 1m.

Στη μια άκρη της δεξαμενής υπάρχει το σύστημα παραγωγής κυματισμών, το οποίο αποτελείται πτερύγιο ανοξείδωτου χάλυβα (πλάτος 4.6mm και ύψος 2m) εδρασμένο σε βάθρο χάλυβα ύψους 1.30m από τον πυθμένα της δεξαμενής. Το

περυγίο κινείται μέσω υδραυλικού συστήματος ισχύος 15KW. Το νερό από την πίσω πλευρά του περυγίου αντλείται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Στο άλλο άκρο της δεξαμενής έχει κατασκευαστεί ειδική ημιπερατή ακτή συνολικού μήκους 11.1m για την απόσβεση των προσπιπτόντων κυματισμών, που πετυχαίνει μέσο συντελεστή απόσβεσης 95%.

Το φορείο έχει βάρος 5.5 tons και κινείται πάνω σε σιδηροτροχιές κατά μήκος της δεξαμενής με μέγιστη ταχύτητα 5.5m/s ή 10.5 knots. Το φορείο δοκιμών οδηγείται από ειδικό χειριστήριο και διαθέτει γέφυρα προσδέσεως των προτύπων και γέφυρα παρακολούθησης των πειραμάτων. Στο πίσω μέρος του φορείου υπάρχει σύστημα αναρτήσεως για τη βαθμονόμηση μεγάλων οργάνων μέτρησης ταχύτητας νερού. Πάνω στο φορείο τοποθετείται όλος ο αναγκαίος εξοπλισμός για τη διεξαγωγή των διαφόρων πειραμάτων. Η ταχύτητα του φορείου μετριέται με ειδικό τροχό με φωτοηλεκτρικό σύστημα με ακρίβεια 0.1mm/s .



Εικόνα 1 : Πειραματική Δεξαμενή

Το φορείο κινείται στην περιοχή των χαμηλών ταχυτήτων (μέχρι 0.5m/s) με ειδικό ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος, που τροφοδοτείται με ανορθωμένη από

το δίκτυο τάση. Για μεγαλύτερες ταχύτητες, υπάρχουν τέσσερις κινητήρες συνεχούς ρεύματος που τροφοδοτούνται από σύστημα 51KW μέσω εναέριων ροηφόρων αγωγών.

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων αντίστασης, το μοντέλο συνδέεται με το φορείο μέσω του δυναμόμετρου. Η ώση στο μοντέλο μεταφερόταν από το δυναμόμετρο το οποίο στερεωνόταν στο μέσο του πλάτους κατά το εγκάρσιο (CL) και στην θέση του διαμήκου κέντρου άντωσης (LCB) κατά το διάμηκες. Η τελευταία αυτή θέση, επιλέχθηκε με βάση την πείρα του εργαστηρίου, τόσο γιατί βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφη με το κέντρο βάρους του πλοίου (LCG), όσο και γιατί, για συνήθεις μορφές πλοίων, βρίσκεται κοντά στο κέντρο πλευστότητας, γύρω από το οποίο γίνονται οι περιστροφές, σύμφωνα με την θεωρία μικρών μεταβολών.

Ανάμεσα στο πρυμναίο όργανο στήριξης και το δυναμόμετρο υπάρχει το φρένο, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη συγκράτηση του μοντέλου όταν αυτό είναι ακίνητο.

Τέλος, στο πίσω μέρος του φορείου ακολουθεί ένας μηχανισμός βίαιης απόσβεσης υψηλών κυματισμών που δημιουργεί το πρότυπο και δεν αποσβαίνονται γρήγορα από μόνοι τους (σιδερώστρα). Η απόσβεση αυτή επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση της σιδερώστρας επαπτομενικά της επιφάνειας του νερού κατά την επιστροφή του φορείου στη θέση εκκίνησης. Επίσης ένας άλλος τρόπος απόσβεσης των κυματισμών ήταν η τοποθέτηση στα άκρα και κατά μήκος της δεξαμενής, φελλών απόσβεσης.

Τα μετρητικά συστήματα επί του φορείου είναι πλήρως αυτοματοποιημένα με χρήση H/Y, ο οποίος κάνει στη συνέχεια και την ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων. Η πειραματική δεξαμενή διαθέτει όλα τα όργανα που απαιτούνται για τη μέτρηση των μεγεθών που μας ενδιαφέρουν (δυνάμεις, ροπές, κινήσεις, ταχύτητες ρευστού, πιέσεις ρευστού) καθώς και πλήρες σύστημα βιντεοσκοπήσεως των πειραμάτων.

Πειράματα Αντίστασης

Για να δούμε την επίδραση της διαγωγής στην αντίσταση διαφόρων μορφών σκαφών, πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης σε έξι διαφορετικά μοντέλα τα οποία ήταν τα εξής:

- Ένα διπλέλικο Επιβατηγό/Οχηματαγωγό τύπου ROPAX
- Ένα Bulk Carrier
- Ένα μονέλικο Επιβατηγό/Οχηματαγωγό σκάφος
- Ένα παραδοσιακό σκάφος τύπου Περάματος
- Ένα δίγαστρο σκάφος
- Ένα Ιστιοπλοϊκό

Αφού επιλέχθηκαν τα μοντέλα στα οποία θα γίνουν τα πειράματα, ακολούθησε η διαδικασία της προετοιμασίας τους για τα πειράματα.

Αρχικά, για κάθε μοντέλο κατασκευάζαμε το υδροστατικό διάγραμμα κάθε κατάστασης (ισοβύθιστης, έμπρορης διαγωγής, κ.ο.κ.). Από αυτό παίρναμε τις τιμές για τα εκάστοτε βυθίσματα, τα οποία και χαράσσαμε με την βοήθεια του χαράκτη πάνω στο μοντέλο σε τρία σημεία: σε ένα νομέα στον πλώρη, στο μέσο νομέα καθώς και σε ένα νομέα στην πρύμνη. Επιπλέον, χαράσσαμε και στο εσωτερικό του μοντέλου το κέντρο άντωσης της εκάστοτε κατάστασης, αφού εκεί – για τους λόγους όπου ήδη έχουμε αναφέρει θα τοποθετούνταν το πέλμα του δυναμόμετρου.

Στη συνέχεια ακολούθησε ο ερματισμός του μοντέλου. Από τα υδροστατικά στοιχεία, είχαμε δεδομένο το απαιτούμενο εκτόπισμα της κάθε κατάστασης. Μετρούσαμε το βάρος του μοντέλου με τη βοήθεια ηλεκτρονικής ζυγαριάς, και στη συνέχεια, υπολογίζαμε από τη διαφορά μεταξύ τους, αλλά και του δυναμόμετρου (καθώς επειδή το πέλμα του δυναμομέτρου ακουμπάει πάνω στο μοντέλο, ασκεί δύναμη σε αυτή ίση με 7.350 kg), τον ακριβή αριθμό των κιλών που απαιτούνταν να προσθέσουμε κάθε φορά για να φτάσουμε στο επιθυμητό εκτόπισμα.

Το μοντέλο ήταν έτοιμο να τοποθετηθεί στη δεξαμενή και να δεθεί στο δυναμόμετρο. Το δυναμόμετρο αποτελείται από ένα σταθερό και ένα κινητό στέλεχος. Διαθέτει τρεις άξονες βαθμούς ελευθερίας (κίνηση κατά το διάμηκες, κίνηση κατά το κατακόρυφο και περιστροφή περί τον κατακόρυφο άξονα). Διαθέτει τρεις αισθητήρες οι οποίοι μετρούν τα μεγέθη της αντίστασης, της γωνίας διαγωγής (pitch) και της ανύψωσης ή βύθισης (heave). Πριν από την έναρξη των μετρήσεων ήταν απαραίτητη κάθε φορά η βαθμονόμηση των οργάνων μετρήσεως:

- Βαθμονόμηση του οργάνου της αντίστασης (resistance). Κάθε μέρα πριν από την έναρξη των πειραμάτων πραγματοποιούνταν βαθμονόμηση του οργάνου

της αντίστασης. Πάνω στο δυναμόμετρο μέτρησης, υπάρχει ένας ειδικά διαμορφωμένος πρόβολος, στην άκρη του οποίου τοποθετείται μία βάση. Στην βάση αυτή τοποθετούνται διάφορα βάρη. Για κάθε διαφορετικό βάρος που τοποθετούσαμε (καθώς και για την κατάσταση που ο πρόβολος παρέμενε χωρίς βάρη) εκτελούσαμε μετρήσεις του φορτίου που δεχόταν το δυναμόμετρο, με την βοήθεια του υπολογιστή. Με βάση τις μετρήσεις αυτές κατασκευαζόταν η συνάρτηση μεταφοράς, το αποτέλεσμα της οποίας ήταν γραμμικό.

- Βαθμονόμηση του οργάνου της γωνίας διαγωγής (pitch). Κάθε μέρα πριν από την έναρξη των πειραμάτων πραγματοποιούνταν βαθμονόμηση του οργάνου της γωνίας διαγωγής. Για το σκοπό αυτό, το δυναμόμετρο, ανυψώνονταν στον αέρα με τη βοήθεια γερανού προκειμένου να έχουμε εύκολη πρόσβαση στο κάτω τμήμα του, μέσω του οποίου γίνεται και η βαθμονόμηση. Στη συνέχεια, τοποθετούσαμε πάνω στο τμήμα αυτό του δυναμομέτρου, μία διαμόρφωση που έμοιαζε με πόδι. Στη συνέχεια κατεβάζαμε το πέλμα του δυναμομέτρου, ώστε να ακουμπάει πάνω στη βάση του ποδιού. Ανάμεσα τους τοποθετούσαμε σφήνες διαφορετικών γωνιών, οπότε για διάφορες τιμές των γωνιών των σφηνών λαμβάναμε μετρήσεις από το όργανο. Και σε αυτή την περίπτωση το αποτέλεσμα των μετρήσεων ήταν γραμμικό.
 - Βαθμονόμηση του οργάνου της γωνίας ανύψωσης (heave). Κάθε μέρα πριν από την έναρξη των πειραμάτων πραγματοποιούνταν βαθμονόμηση του οργάνου της ανύψωσης της κατακόρυφης κίνησης (heave). Για το σκοπό αυτό, δέναμε το δυναμόμετρο στο μοντέλο. Στη συνέχεια, με σημείο αναφοράς το ύψος στο οποίο έχει δεθεί στο μοντέλο, ανεβοκατεβάζαμε το στέλεχος του δυναμομέτρου λαμβάνοντας μετρήσεις για τις διάφορες ανυψώσεις και βυθίσεις του στελέχους, και από αυτές κατασκευάζαμε τη συνάρτηση μεταφοράς, το αποτέλεσμα της οποίας ήταν γραμμικό.
- Με το πέρας των βαθμονομήσεων μπορούσαμε να ξεκινήσουμε τα πειράματα.

Συναρτήσεις Μεταφοράς

Όπως αναφέρθηκε, πάνω στο φορείο υπάρχουν μετρητικά συστήματα, τα οποία κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, λαμβάνουν μετρήσεις για διάφορα μεγέθη,

όπως της αντίστασης ρυμούλκησης (resistance), της γωνίας διαγωγής (pitch) και της ανύψωσης (heave) του προτύπου. Οι μετρήσεις αυτές οι οποίες είναι σε Volts ανάγονται στις φυσικές μονάδες μέτρησης των μετρούμενων μεγεθών που είναι σε Kp, μοίρες και cm αντίστοιχα, με την βοήθεια μια συνάρτησης μεταφοράς, η οποία προκύπτει από τη διαδικασία της βαθμονόμησης ή «καλιμπραρίσματος» του οργάνου και προηγείται του πειράματος.

Κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης, από γνωστά ζεύγη τιμών (x,y), όπου x οι μετρήσεις σε Volts των γνωστών y φυσικών μεγεθών, προκύπτουν οι τρεις συναρτήσεις μεταφοράς που είναι γραμμικές, δηλαδή της μορφής:

$$y = a \cdot x + b$$

Κατά τη διάρκεια της κύριας πειραματικής διαδικασίας, πριν από κάθε «τρέξιμο», λαμβάνεται μηδενική μέτρηση x_0 σε κατάσταση ακινησίας για κάθε μετρούμενο μέγεθος. Κατά το τρέξιμο μετράται τιμή x_1 , οπότε το ζητούμενο φυσικό μέγεθος προκύπτει από:

$$y = y - y_0 = [a \cdot x_1 + b] - [a \cdot x_0 + b] = a (x_1 - x_0)$$

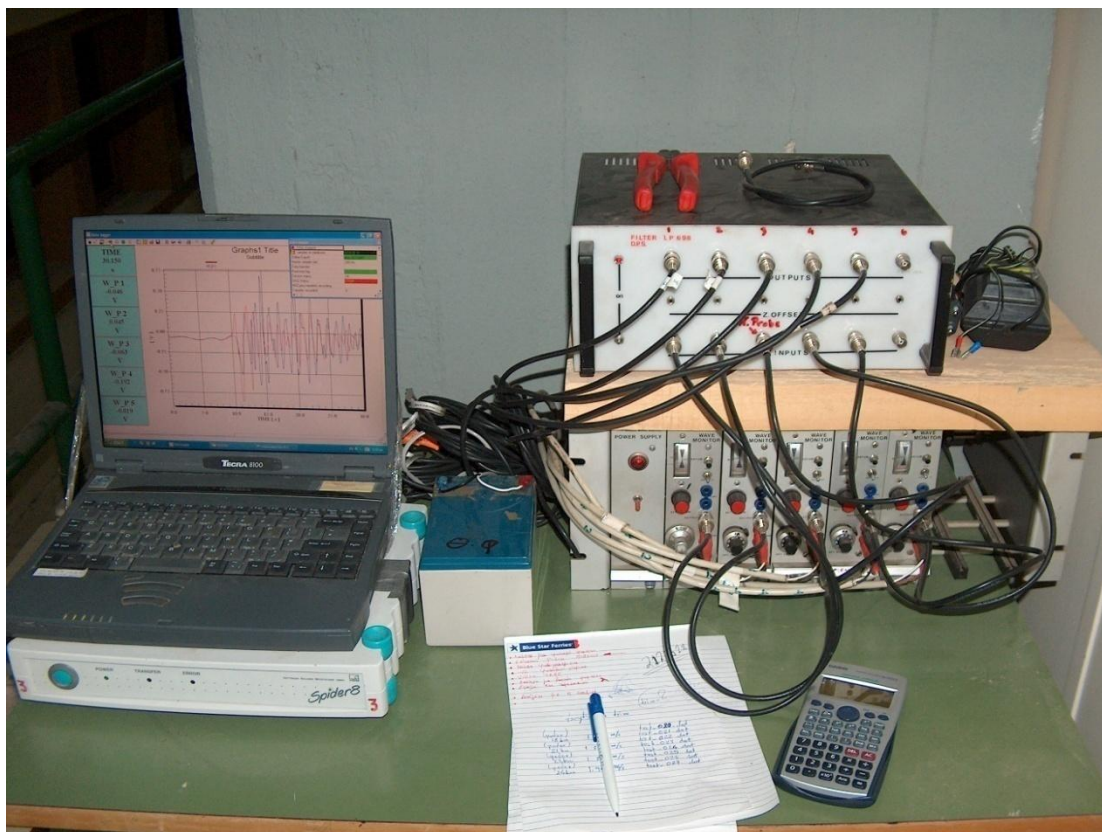
Η εξαγωγή και χρήση της συνάρτησης μεταφοράς για τον υπολογισμό της τελικής τιμής της μέτρησης γίνεται αφενός για να ληφθούν υπόψη διαταραχές που επηρεάζουν το σύστημα μέτρησης – όπως η συχνότητα και η τάση του δικτύου τροφοδοσίας ρεύματος, η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας των οργάνων κλπ. – και αφετέρου η μετατροπή των τιμών από μονάδες ρεύματος σε μονάδες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Διεξαγωγή πειραμάτων Wavecuts

Για τα μοντέλα NAVIGATOR και ΠΕΡΑΜΑ πραγματοποιήθηκαν πειράματα μέτρησης των κυματομορφών (wavecuts) που παράγουν σε διάφορες καταστάσεις και ταχύτητες.

Για την μέτρηση των τομών της ελεύθερης επιφάνειας (wavecuts) χρησιμοποιήθηκε ένας σταθερός οριζόντιος πρόβολος, κάθετος στην πλευρά της

δεξαμενής, άρα και στην διεύθυνση κίνησης του μοντέλου. Ο πρόβολος στερεώθηκε στην εσωτερική πλευρά της δεξαμενής με τρόπο που του εξασφάλιζε σταθερότητα και ταυτόχρονα δεν εμπόδιζε την διέλευση του φορείου. Στο πάνω μέρος του προβόλου ήταν τοποθετημένα ένας αριθμημένος κανόνας και η ράβδος στερέωσης των μετρητικών ύψους κύματος (wave probes).

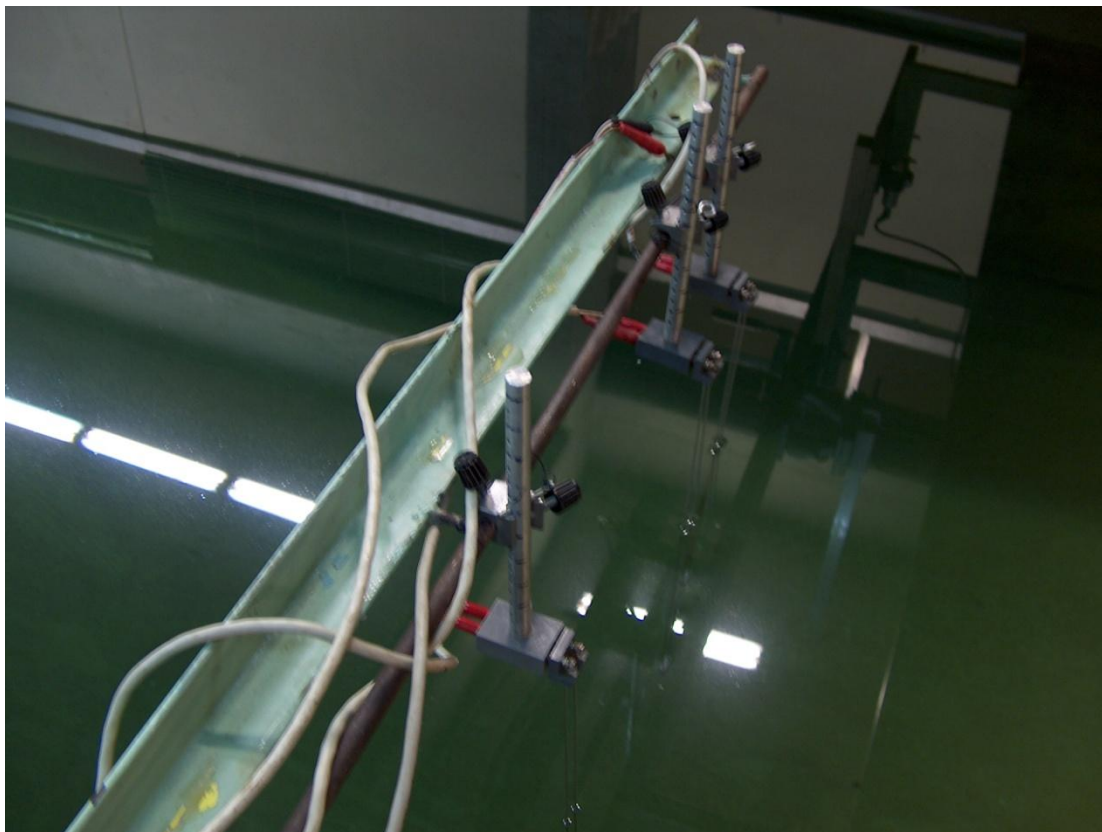


Εικόνα 2 : Εξοπλισμός Διεξαγωγής Πειραμάτων Wavecuts

Τα όργανα μέτρησης της ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου αντίστασης (resistance type wave probe). Το καθένα από αυτά αποτελείται από δύο παράλληλα τοποθετημένα λεπτά σύρματα. Το μήκος τους είναι 40cm και η μεταξύ τους απόσταση 6mm. Τα σύρματα ενώνονται στο κάτω άκρο τους ώστε να δημιουργούν ένα κλειστό κύκλωμα. Το πάνω μέρος τους τοποθετείται σε ειδική βάση που είναι αναρτημένη στο πρόβολο, έτσι ώστε το probe να είναι μισοβυθισμένο και κάθετο στην ελεύθερη επιφάνεια. Για τις μετρήσεις τοποθετήθηκαν τρία waveprobes σε αποστάσεις, ανάλογες των διαστάσεων του μοντέλου, και μετρούμενες από το μέγιστο πλάτος του μοντέλου, σχήμα 31.

Η λειτουργία του οργάνου βασίζεται στη διαφορά αντίστασης ενός γυμνού σύρματος όταν αυτό βρίσκεται στον αέρα και όταν είναι βυθισμένο στο νερό. Καθώς

διέρχεται ένα κύμα από το wavergrobe, μεταβάλλεται η αναλογία του ελεύθερου προς το βυθισμένο μήκος του. Η αναλογία αυτή, λόγω της σταθερής τάσης, οδηγεί σε αλλαγή της έντασης του ρεύματος, η οποία μέσω κατάλληλης βαθμονόμησης μεταφράζεται σε ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας.



Εικόνα 3 : Πρόβολος με τοποθετημένα τα Wave Probes

Πολύ σημαντική για την ακρίβεια των μετρήσεων ήταν η διαδικασία βαθμονόμησης, η οποία αποσκοπεί στην εξαγωγή μιας γραμμικής σχέσης μεταξύ έντασης ρεύματος και βυθισμένου μήκους. Λόγω της μεγάλης ευαισθησίας του οργάνου στις περιβαλλοντολογικές αλλαγές, έπρεπε μερικές φορές να γίνεται ακόμα και δύο φορές την ίδια μέρα. Για τους ίδιους λόγους πριν από κάθε μέτρηση λαμβανόταν μία μηδενική μέτρηση (μέτρηση θορύβου), ο μέσος όρος της οποίας αφαιρούνταν από την κανονική μέτρηση που ακολουθούσε. Επίσης, ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε και στις ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των probes, για να μην επάγει το μαγνητικό πεδίο του ενός, ρεύμα στο άλλο.

Μετρήσεις έγιναν για τρεις διαφορετικές αποστάσεις από τον διαμήκη άξονα του μοντέλου. Το δε σήμα από τα τρία wavergrobes μεταφέρονταν μέσω καλωδίων στη βάση μέτρησης που βρισκόταν παραπλεύρως της δεξαμενής σε σταθερό σημείο.

Εκεί ενισχυόταν, φιλτράρονταν για υψίσυχο θόρυβο, ψηφιοποιούνταν και τελικά κατέληγε σε ένα φορητό υπολογιστή όπου καταγράφονταν. Για την ψηφιοποίηση χρησιμοποιήθηκε σταθερή συχνότητα δειγματοληψίας 200 Hz.

Πειράματα Αυτοπρόωσης

Για τα πειράματα της αυτοπρόωσης το μοντέλο εφοδιάζεται με κατάλληλο άξονα και έλικα. Η κίνηση στην έλικα δίνεται από ηλεκτρικό κινητήρα που εγκαθίσταται μέσα στο μοντέλο. Μεταξύ της έλικας και του κινητήρα τοποθετείται δυναμόμετρο, το οποίο μετράει την ώση, την ροπή και τις στροφές της έλικας.



Εικόνα 4 : Εσωτερικό μοντέλου με τον εξοπλισμό της αυτοπρόωσης

Το μοντέλο προσδένεται στο δυναμόμετρο του φορείου, όπως και στα πειράματα αντίστασης. Ωστόσο στην περίπτωση αυτή, το δυναμόμετρο μετρά τη διαφορά ώσης της έλικας και αντίστασης του μοντέλου, το οποίο κινείται και εδώ με σταθερή ταχύτητα. Η διαφορά αυτή μπορεί να είναι θετική, μηδέν ή αρνητική

ανάλογα με τις στροφές της έλικας και την αντίσταση του μοντέλου που εξαρτάται προφανώς, κάθε φορά από την ταχύτητα του μοντέλου.



Εικόνα 5: Δυναμόμετρο Πειραμάτων Αυτοπρόωσης

Πριν από τα πειράματα αυτά πραγματοποιείται βαθμονόμηση των δυναμόμετρων – αυτού στο οποίο δένεται το μοντέλο και αυτού που βρίσκεται μέσα στο μοντέλο και παρεμβάλλεται μεταξύ του κινητήρα και του άξονα - . Η βαθμονόμηση του εσωτερικού δυναμομέτρου πραγματοποιείται πριν από την τοποθέτησή του στο μοντέλο. Συγκεκριμένα γίνεται εξαγωγή των συναρτήσεων μεταφοράς για την ώση και την ροπή. Το δυναμόμετρο τοποθετείται καταλλήλως (κατακόρυφα για την ώση και οριζόντια για την ροπή) σε μία ειδικά διαμορφωμένη βάση, όπου με την εφαρμογή φορτίων λαμβάνονται οι μετρήσεις από τις οποίες κατασκευάζονται οι συναρτήσεις μεταφοράς (γραμμική σχέση).

Έχοντας ολοκληρώσει τις βαθμονομήσεις των δύο δυναμόμετρων, τοποθετούμε το μοντέλο στη δεξαμενή, και το δένουμε στο δυναμόμετρο του φορείου. Στη συνέχεια, το πείραμα εκτελείται σε κάθε ταχύτητα του μοντέλου, σε διαφορετικούς αριθμούς στροφών της έλικας. Όπως προαναφέρθηκε, το δυναμόμετρο

μετράει τώρα διαφορά ώσης της έλικας και της αντίστασης του μοντέλου. Στόχος ήταν να βρεθεί το σημείο στο οποίο η διαφορά αυτή γίνεται μηδέν (σημείο αυτοπρόωσης του μοντέλου).

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Αποτελέσματα Πειραμάτων Αντίστασης

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων λήφθηκαν μετρήσεις της αντίστασης, της γωνίας διαγωγής και της ανύψωσης του μοντέλου σε διάφορες ταχύτητες. Με βάση την τιμή για την αντίσταση και την αντίστοιχη ταχύτητα έγινε προεκβολή του αποτελέσματος στην φυσική κλίμακα του πλοίου, μέσω της μεθόδου Froude και της χρήσης του προγράμματος RESOUT. Με βάση τα αποτελέσματα από την εκτέλεση του προγράμματος RESOUT σχεδιάστηκαν τα εξής διαγράμματα:

- Διάγραμμα Ολικής Αντίστασης Μοντέλου – Αριθμού Froude
- Διάγραμμα Συντελεστή Υπόλοιπης Αντίστασης Μοντέλου – Αριθμού Froude
- Διάγραμμα Συντελεστή Ολικής Αντίστασης Μοντέλου – Αριθμού Froude
- Διάγραμμα Συντελεστή Υπόλοιπης Αντίστασης – Αριθμού Froude
- Διάγραμμα ποσοστιαίας διαφοράς μεταξύ της αντίστασης κάθε κατάστασης σε διαγωγή και της ισοβύθιστης κατάστασης, προς την αντίσταση της ισοβύθιστης κατάστασης.
- Διάγραμμα Ολικής Αντίστασης Πλοίου – Αριθμού Froude
- Διάγραμμα EHP Πλοίου – Αριθμού Froude
- Διάγραμμα ποσοστιαίας διαφοράς μεταξύ της EHP κάθε κατάστασης σε διαγωγή και της ισοβύθιστης κατάστασης, προς την EHP της ισοβύθιστης κατάστασης.

Επιπλέον έγιναν διαγράμματα με βάση τα άλλα δύο μεγέθη που μετρήθηκαν:

- Διάγραμμα Γωνίας Δυναμικής Διαγωγής - Αριθμού Froude
- Διάγραμμα Γωνίας Ολικής Διαγωγής - Αριθμού Froude
- Διάγραμμα Ανύψωσης - Αριθμού Froude

Αποτελέσματα Πειραμάτων Wavecuts

Στα πειράματα των Wavecuts, όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκαν τρία wave probes, δηλαδή λαμβάνονταν μετρήσεις για τρεις διαφορετικές εγκάρσιες αποστάσεις από τον διαμήκη άξονα του μοντέλου. Οι αποστάσεις αυτές ήταν σταθερές για τις διάφορες ταχύτητες, αλλά άλλαζαν από μοντέλο σε μοντέλο. Το δε μήκος καταγραφής ήταν τέτοιο ώστε να μην έχουν προλάβει να επιστρέψουν ανακλάσεις των κυματισμών από τα τοιχώματα.

Τα αρχεία με τις τιμές που προκύπτουν από τα πειράματα περιλαμβάνουν τρεις στήλες. Η πρώτη αποτελεί την χρονική ιστορία του πειράματος, και οι υπόλοιπες τρεις αντιπροσωπεύουν μετρήσεις των κάθετων διαταραχών της ελεύθερης επιφάνειας που αντιστοιχούν στα τρία Wave Probes, που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις. Με βάση αυτές τις τιμές γίνεται η παραγωγή των κυματομορφών για κάθε Probe. Ο άξονας αντιπροσωπεύει μήκος, και προκύπτει από πολλαπλασιασμό της χρονικής ιστορίας με την ταχύτητα στην οποία πραγματοποιήθηκε η μέτρηση. Ο άξονας y, αντιπροσωπεύει τις κάθετες μετατοπίσεις της επιφάνειας του νερού και προκύπτει ως εξής: κατά τη διάρκεια των πειραμάτων – όπως και σε όλα τα πειράματα- λαμβάνουμε μία μέτρηση σε κατάσταση ηρεμίας. Στη συνέχεια πραγματοποιούμε την μέτρηση, στην επιθυμητή ταχύτητα. Αφαιρώντας από τις αντίστοιχες τιμές του πειράματος (για κάθε probe) τις τιμές που αντιστοιχούν στην κατάσταση ηρεμίας – για κάθε χρονική στιγμή – προκύπτουν οι πραγματικές τιμές των κάθετων μετατοπίσεων. Τέλος, οι διαφορές που προκύπτουν, τις μετατρέπουμε με τη βοήθεια των συναρτήσεων μεταφοράς από μονάδες ρεύματος σε μονάδες μήκους, προκειμένου να κατασκευάσουμε τα διαγράμματα των κυματομορφών.

Αποτελέσματα Πειραμάτων Αυτοπρόωσης

Τα πειράματα της αυτοπρόωσης πραγματοποιήθηκαν σε μοντέλο που ανήκει στο παραδοσιακό σκάφος «ΠΕΡΑΜΑ». Για κάθε ταχύτητα υπολογίστηκαν το σημείο αυτοπρόωσης του μοντέλου, ενώ λήφθηκαν και 4 μετρήσεις γύρω από αυτό (δύο στα θετικά του άξονα διαφορά αντίστασης – ώσης και δύο στα αρνητικά) (ώστε να είναι πλήρης η καμπύλη. Με βάση τα σημεία αυτά προέκυψαν για κάθε ταχύτητα, οι χαρακτηριστικές $F - n_M$, $T_M - n_M$.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων αφορούσε την εύρεση των συντελεστών μείωσης ώσης t και συντελεστή ομόρρου w , για την κατάσταση της αυτοπρόωσης του

μοντέλου. Με βάση το σημείο αυτοπρώησης του μοντέλου, και συγκεκριμένα τον αριθμό στροφών, υπολογίστηκε από το διάγραμμα T_M-n_M , η αντίστοιχη ώση.

Με βάση την ώση, τις στροφές αλλά και τα στοιχεία από την τοποθετημένη έλικα υπολογίσαμε τον συντελεστή ώσης του μοντέλου $K_{T,M}$:

$$K_{T,M} = \frac{T_{M,F}}{\rho_M \cdot n_{M,F}^2 \cdot D_M^4}$$

Με βάση την τιμή αυτή και δεδομένου ότι η έλικα ανήκει στη σειρά ελίκων της Wageningen, υπολογίστηκαν από τα διαγράμματα της η τιμής του συντελεστή προχώρησης J_o . Έχοντας πλέον όλα τα στοιχεία υπολογίσαμε τους ζητούμενους συντελεστές από τις παρακάτω σχέσεις:

$$V_o = J_o \cdot n_m \cdot D_m$$

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

$$w = 1 - \frac{V_o}{V}$$

Επιδράσεις της Διαγωγής (Trim)

Ένας από τους παράγοντες που επιδρούν στην αντίσταση του πλοίου είναι η διαγωγή, δηλαδή η κλίση που αποκτά κάτω από διάφορες συνθήκες, ως προς το διάμηκες επίπεδο αναφοράς.

Γνωρίζουμε ότι λόγω της διαφοράς στην κατανομή της δυναμικής πίεσης στη γάστρα του πλοίου σε διαφορετικές ταχύτητες, αυτό θα αποκτήσει την λεγόμενη δυναμική διαγωγή (running trim). Σε χαμηλές ταχύτητες υπάρχει μια γενική παράλληλη βύθιση και μια ελαφριά προωαία διαγωγή σε σχέση με την κατάσταση ηρεμίας. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα η κίνηση της πλώρης αναστρέφεται και περίπου σε $Fr = 0.30$ η πλώρη ξεκινά να ανυψώνεται, η πρύμνη βυθίζεται περισσότερο και το πλοίο αποκτά μια πρυμναία διαγωγή.

Στον συνήθη τύπο εμπορικού πλοίου, η πρόσθετη πρυμναία διαγωγή στην κατάσταση ηρεμίας οδηγεί σε μία αύξηση της αντίστασης στις χαμηλές ταχύτητες και μια μείωση στις υψηλές. Σε χαμηλές ταχύτητες το αυξημένο πρυμναίο βύθισμα κάνει το βυθισμένο τμήμα της πρύμνης πιο γεμάτο, με αποτέλεσμα μια αύξηση στις αντιστάσεις μορφής (πιθανή αποκόλληση), ενώ σε υψηλές ταχύτητες αυτό αντισταθμίζεται λόγω της μείωσης της αντίστασης κυματισμού που οφείλεται στο γεγονός ότι όταν υπάρχει έμπρυμνη διαγωγή η ίσαλος στο προωαίο τμήμα είναι πιο λεπτόγραμμη.

Στην κατάσταση ερματισμού είναι συνήθως απαραίτητο να υπάρχει αξιόλογη πρυμναία διαγωγή προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκής βύθιση της έλικας και αυτό θα έχει ανάλογες επιδράσεις με αυτές που αναφέρθηκαν προηγουμένως – υψηλότερη αντίσταση σε χαμηλές ταχύτητες και χαμηλότερη σε υψηλές - . για κάθε πλοίο που ενδέχεται να περάσει μεγάλο μέρος της ζωής του σε κατάσταση ερματισμού γίνονται συνήθως πειράματα με μοντέλο για να διερευνηθούν αυτές οι επιδράσεις.

Ανάλυση Παλαιότερων Πειραμάτων

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε αναζήτηση στη βιβλιοθήκη των reports του εργαστηρίου, παλαιών πειραμάτων στα οποία είχαν πραγματοποιηθεί πειράματα αντίστασης στην ισοβύθιστη κατάσταση και σε καταστάσεις διαγωγών και τα οποία ήταν συγκρίσιμα. Από την ανάλυση και τη σύγκριση των καταστάσεων μεταξύ τους προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Στα Ε/Ο τα οποία διαθέτουν βολβό, η έμπρυμη διαγωγή επιδρά αρνητικά στην αντίσταση κυματισμού και κατ'επέκταση στην ολική αντίσταση, πιθανότατα λόγω παρουσίας του βολβού κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού (καθώς και βύθισης του καθρέπτη σε όσα από τα μοντέλα διαθέτουν). Να σημειωθεί ότι η σχεδίαση του βολβού γίνεται κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να λειτουργεί σε συγκεκριμένες συνθήκες (βύθισμα). Από την άλλη σε μοντέλο που δεν διαθέτει βολβό, η έμπρυμη διαγωγή επέδρασε θετικά, πιθανότατα επειδή η διαγωγή κατέστησε την ισάλο επιφάνεια πιο λεπτόγραμμη, και κατά συνέπεια οδηγεί σε λιγότερο έντονες κυματώσεις τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο της ισάλου (χαμηλότερο C_p).
- Στα σκάφη που λειτουργούν σε αριθμούς Fr της τάξης 0.3 – 1.2 παρατηρήθηκαν τα εξής. Γενικά παρατηρείται αυξημένη αντίσταση κυματισμού στην περίπτωση της έμπρυμνης κατάστασης σε σχέση με τις δύο άλλες καταστάσεις. Ειδικότερα στην κατάσταση της έμπρυμνης διαγωγής, η ολική αντίσταση παρουσιάζεται μεγαλύτερη από αυτήν της ισοβύθιστης κατάσταση ενώ καθώς αυξάνεται ο αριθμός Froude, η διαφορά αυτή μειώνεται τείνοντας είτε προς το μηδέν, είτε προς τα θετικά. Δηλαδή η έμπρυμη διαγωγή αρχίζει και επιδρά θετικά στην ολική αντίσταση. Σε κάθε περίπτωση το σημείο αυτό είναι εκείνο στο οποίο η αντίσταση κυματισμού γίνεται η σημαντικότερη συνιστώσα της ολικής αντίστασης. Από την άλλη, για την κατάσταση της έμπρωρης διαγωγής, παρατηρούμε ότι αρχικά η αντίσταση παρουσιάζεται μειωμένη σε σχέση με την ισοβύθιστη κατάσταση. Στη συνέχεια, καθώς αυξάνεται ο αριθμός Froude η αντίσταση στην κατάσταση έμπρωρης διαγωγής γίνεται μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της

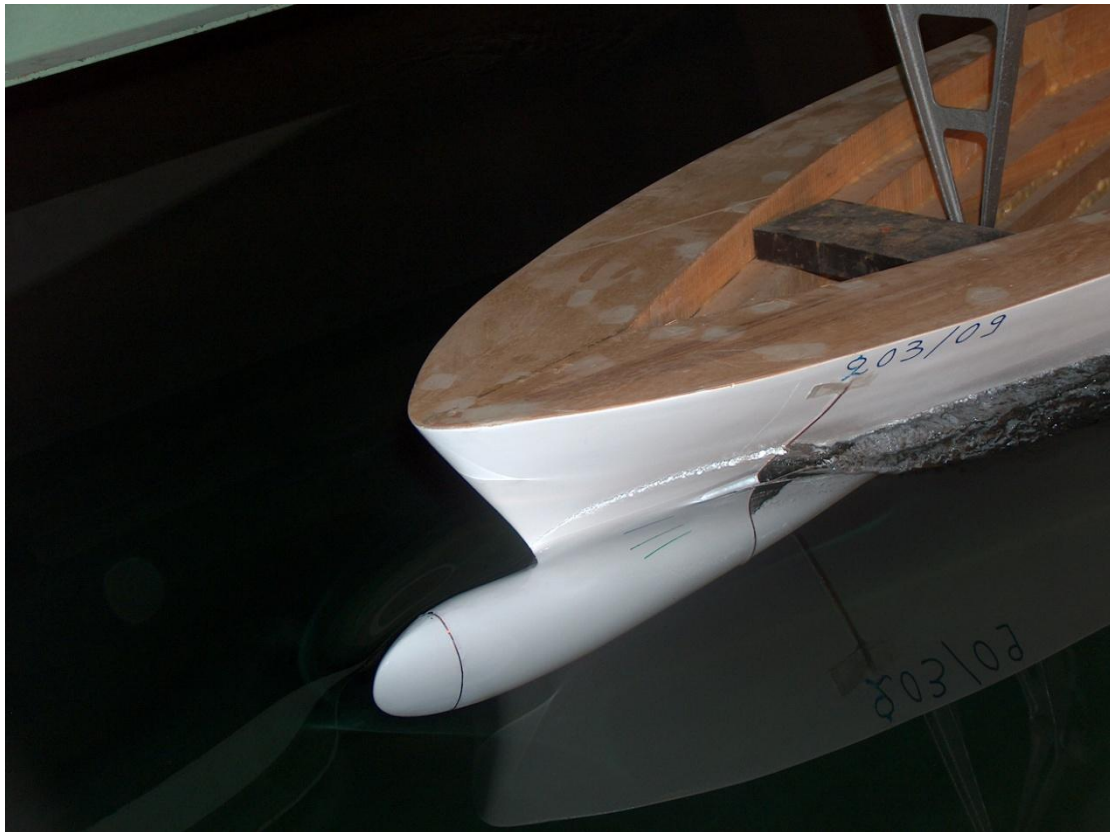
ισοβύθιστης κατάστασης, γεγονός που οφείλεται στο ότι η αντίσταση κυματισμού αυξάνεται σημαντικά σαν ποσοστό της ολικής αντίστασης.

- Να σημειωθεί ότι σε κάποια σκάφη η έμπρομη διαγωγή λειτούργησε θετικά σχεδόν σε όλο το εύρος των αριθμών Froude. Θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι μία ελαφριά έμπρομη διαγωγή στην στατική κατάσταση, σε συνδυασμό με την σημαντική έμπρυμνη διαγωγή που αποκτούν τα σκάφη που λειτουργούν σε αριθμούς Froude 0.5-1.2, προσδίδουν σε αυτά, καλύτερη υδροδυναμική θέση (από άποψη ισάλου πλευσεως και ισάλου επιφάνειας).

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

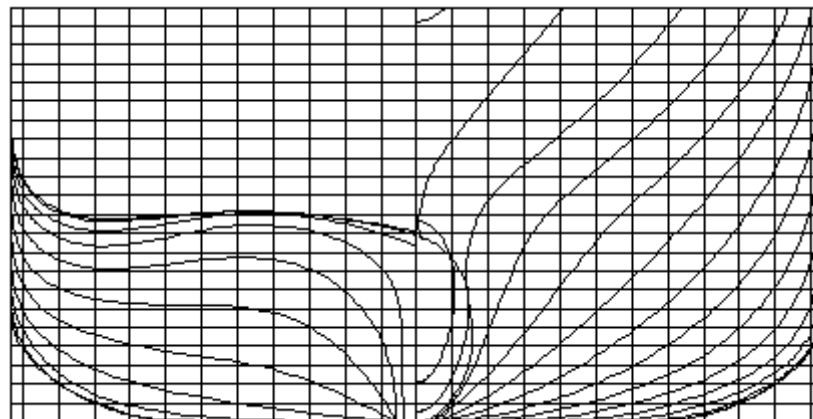
1^ο Μοντέλο – Ε/Ο ROPAX

Η πρώτη γάστρα που δοκιμάστηκε, ανήκει σε ένα διπλέλικο ταχύπλοο ΕΓ/ΟΓ πλοίο το οποίο έχει μια ιδιαίτερη πρύμνη που καταλήγει καθρέφτη, ενώ διαθέτει και βολβό. Το μήκος του μοντέλου αυτού ήταν 4.0m και η κλίμακα 1/35. Για το μοντέλο, αυτό έγιναν δοκιμές σε 3 διαφορετικά βυθίσματα. Σε κάθε βύθισμα έγιναν πέντε καταστάσεις (η ισοβύθιστη, δύο εμπρυμνες και δύο εμπρωρες) και για κάθε κατάσταση έγιναν πειράματα σε 6 ταχύτητες. Στόχος ήταν να διερευνηθεί η συμπεριφορά του σκάφους σε μεγάλες διαγωγές. Στη συνέχεια παρατίθενται το σχέδιο γραμμών καθώς και τα αποτελέσματα των πειραμάτων.



Εικόνα: Το μοντέλο του Rorax σε μία από τις καταστάσεις που εξετάστηκε

Σχέδιο Γραμμών

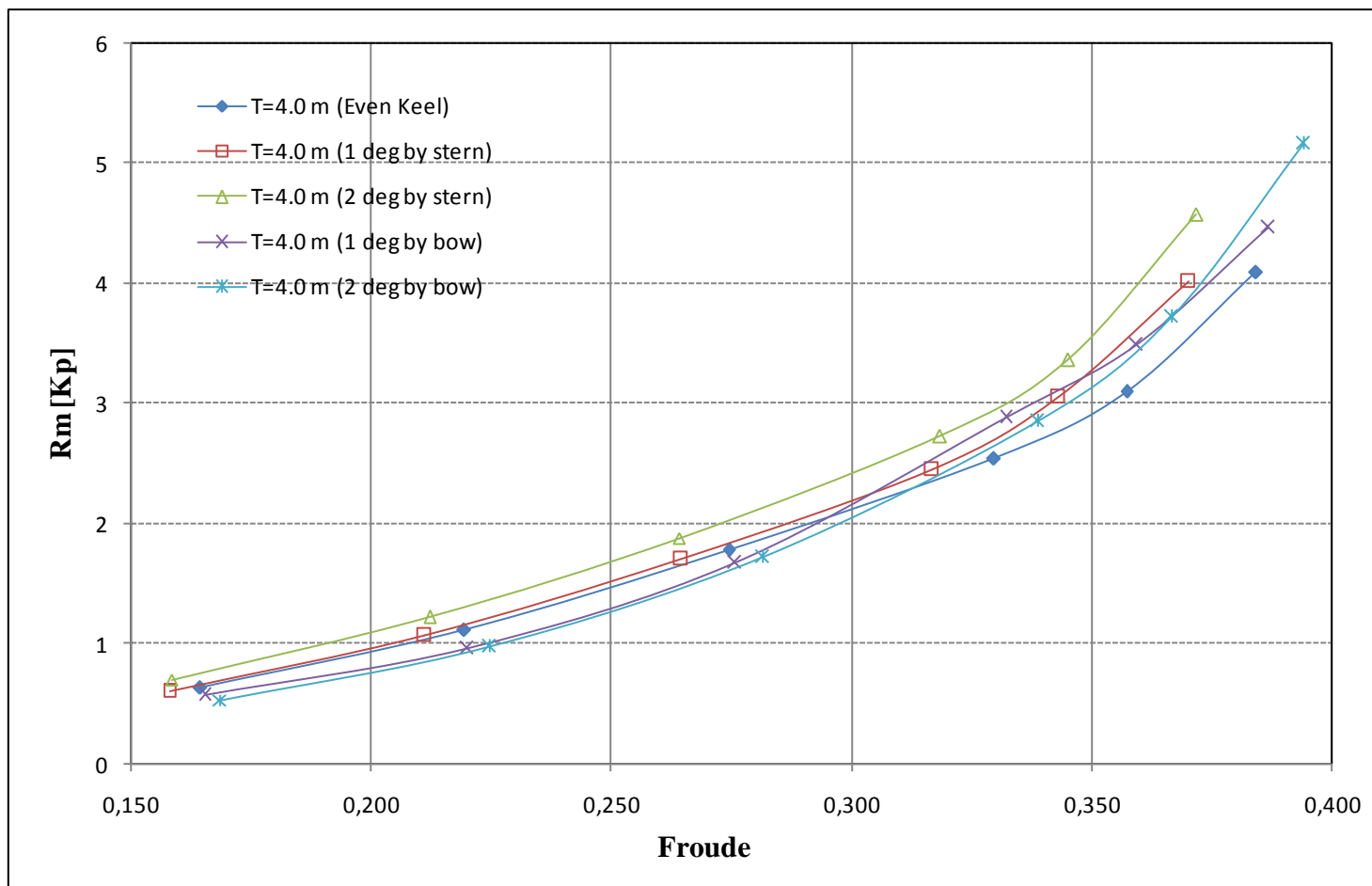


1^η κατάσταση δοκιμών – T = 4.0 m

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το μοντέλο

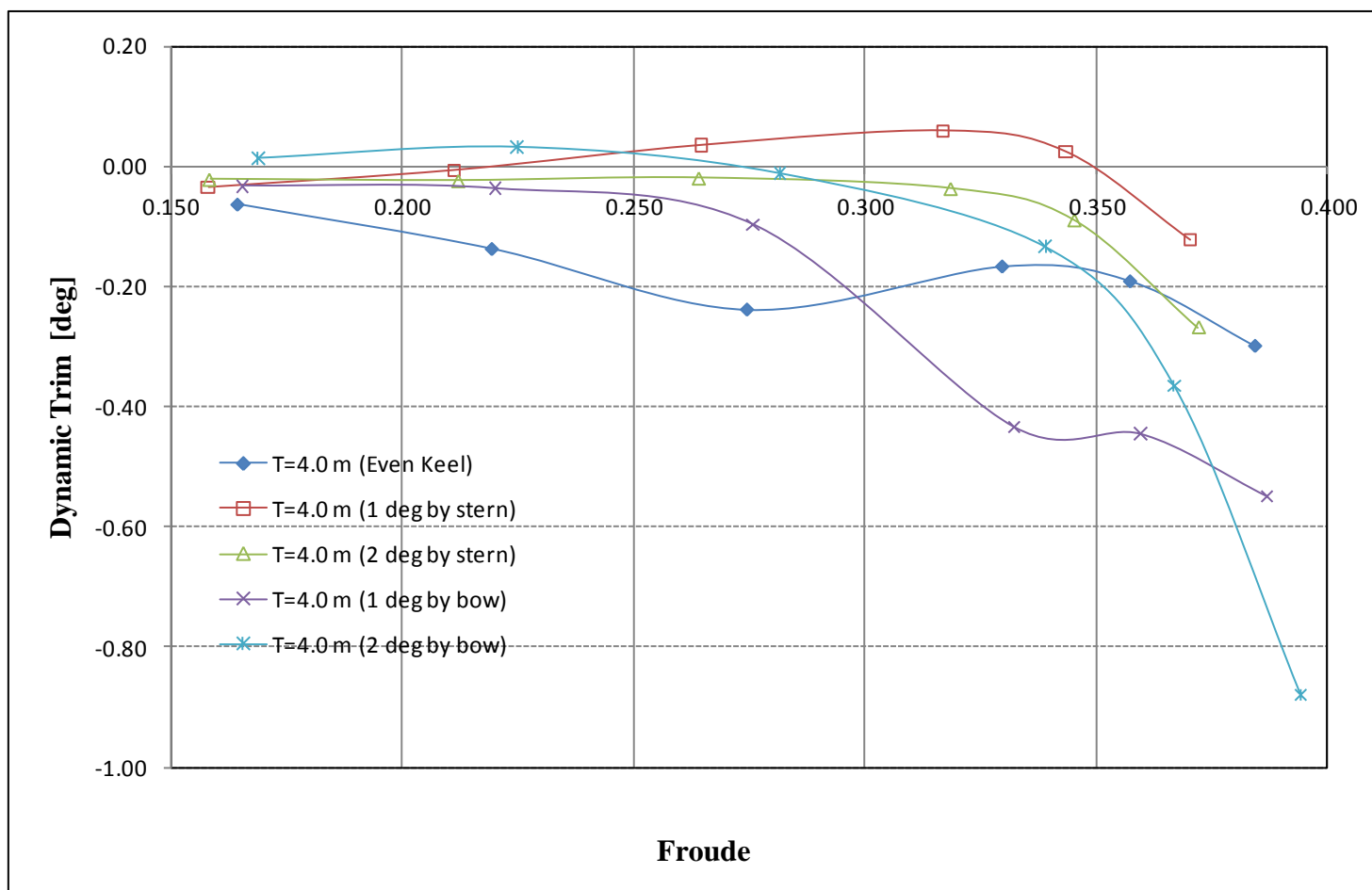
Χαρακτηριστικά Μοντέλου	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών				
			A1	A2	A3	A4	A5
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	4.084	4.413	4.374	4.037	3.879
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	4.084	4.423	4.423	4.056	4.040
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	0.646	0.646	0.646	0.646	0.646
Μέσο βύθισμα	T_M	m	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114
Trim	t	deg	0.000	-1.000	-2.000	1.000	2.000
Εκτόπισμα	Δ	mt	155.48	161.07	177.42	153.01	153.34
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	2.244	2.359	2.602	2.207	2.209
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.514	0.493	0.548	0.509	0.512
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.682	0.677	0.767	0.688	0.687
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.579	0.556	0.617	0.574	0.577

Διάγραμμα Αντίστασης για το μοντέλο



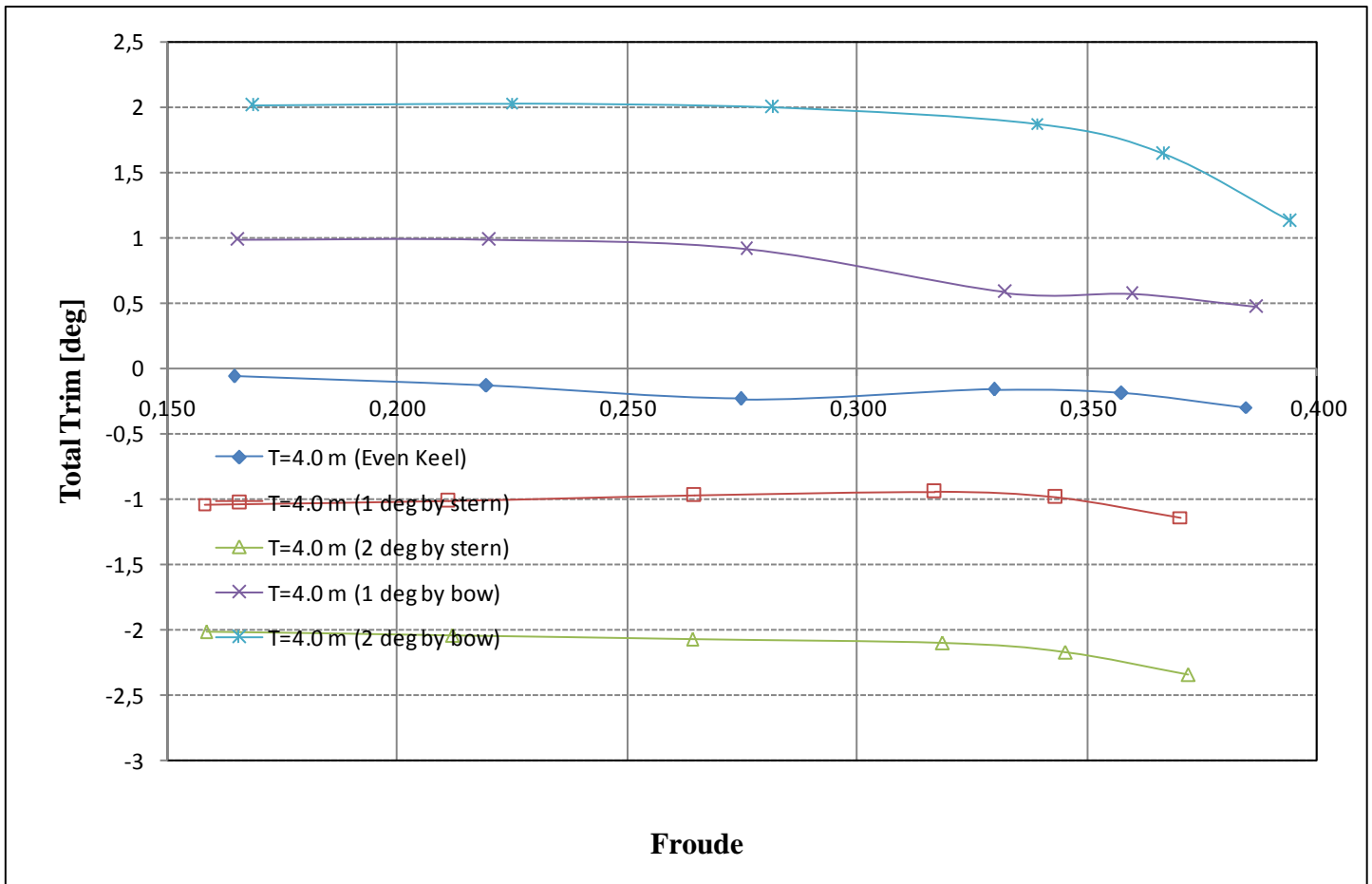
Αριθμός Froude					Αντίσταση [kp]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.158	0.165	0.169	0,630	0,582	0,590	0,569	0,533
0.219	0.211	0.212	0.220	0.225	1,108	1,044	0,989	0,966	0,976
0.275	0.265	0.264	0.276	0.282	1,778	1,675	1,445	1,699	1,731
0.330	0.317	0.318	0.332	0.339	2,546	2,418	2,192	2,894	2,881
0.357	0.343	0.345	0.360	0.367	3,099	3,020	2,703	3,517	3,777
0.384	0.370	0.372	0.387	0.394	4,092	3,951	3,838	4,489	5,197

Διάγραμμα Dynamic Trim για το μοντέλο



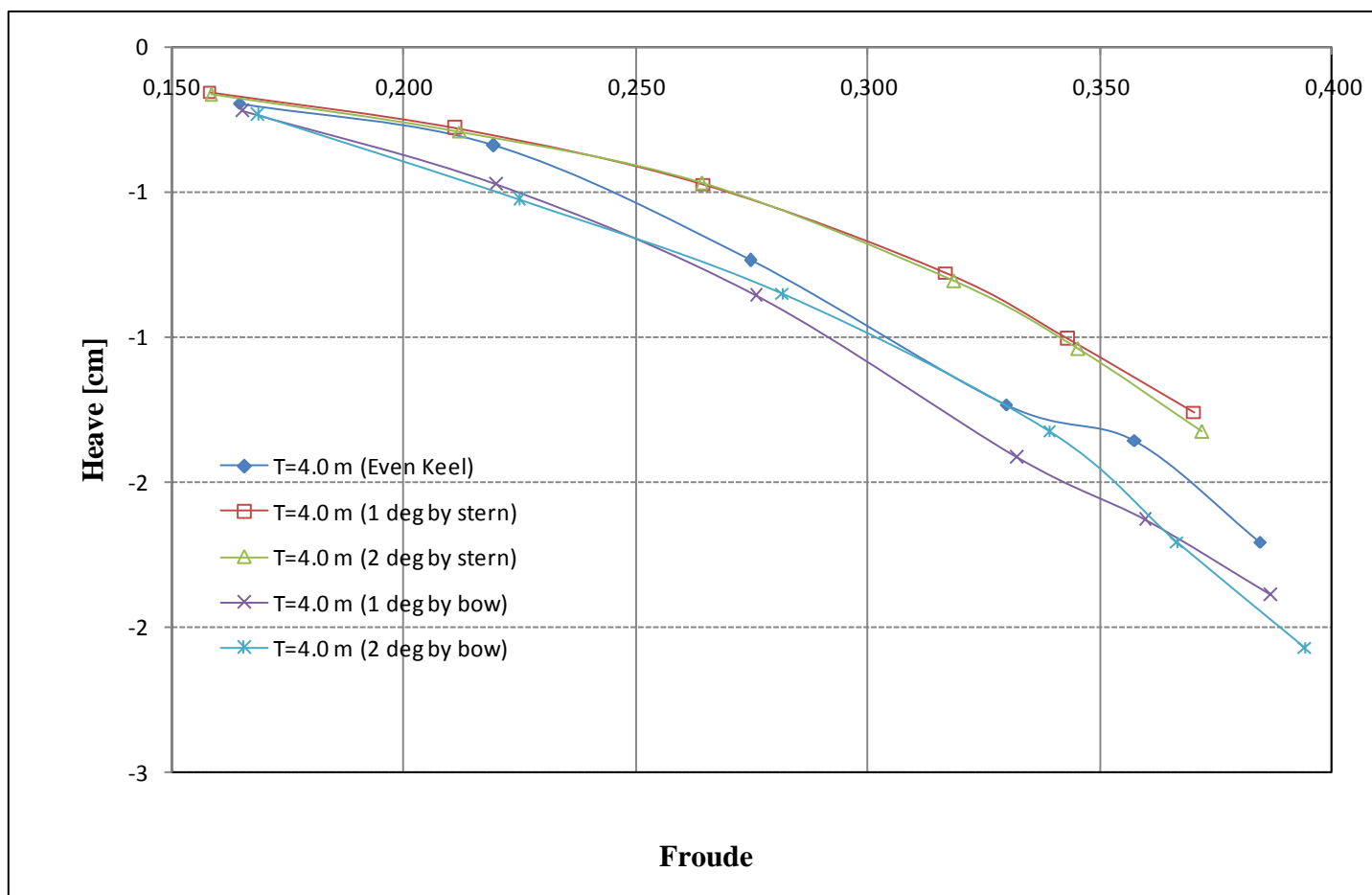
Αριθμός Froude					Dynamic Trim [deg]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.158	0.165	0.169	-0.063	-0.035	-0.022	-0.032	0.014
0.219	0.211	0.212	0.220	0.225	-0.138	-0.007	-0.024	-0.037	0.032
0.275	0.265	0.264	0.276	0.282	-0.239	0.035	-0.020	-0.097	-0.012
0.330	0.317	0.318	0.332	0.339	-0.167	0.059	-0.037	-0.434	-0.134
0.357	0.343	0.345	0.360	0.367	-0.192	0.024	-0.090	-0.446	-0.365
0.384	0.370	0.372	0.387	0.394	-0.300	-0.122	-0.269	-0.550	-0.880

Διάγραμμα Total Trim για το μοντέλο



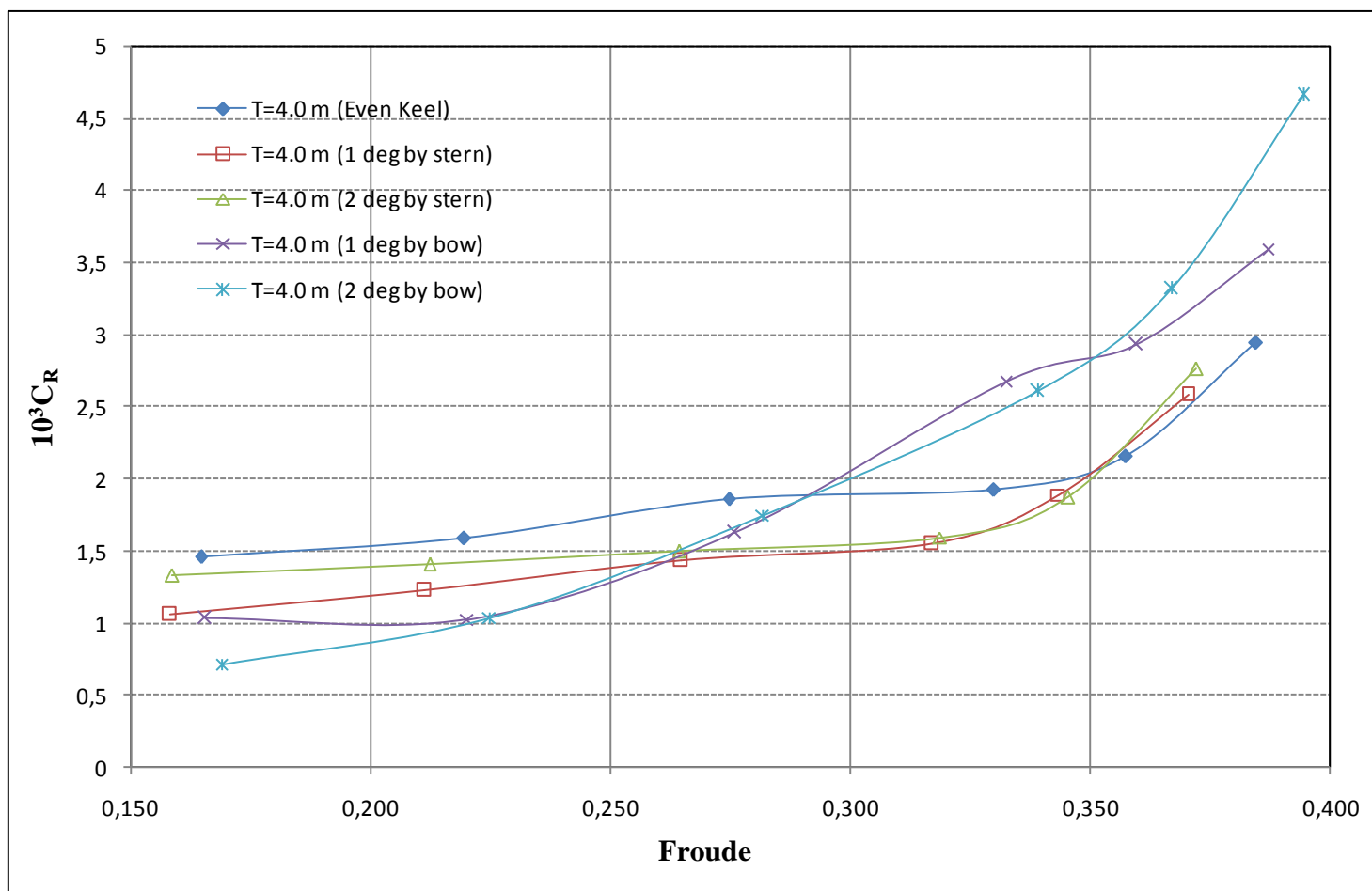
Αριθμός Froude					Total Trim [deg]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.158	0.165	0.169	-0.063	-1.044	-2.026	0.978	2.008
0.219	0.211	0.212	0.220	0.225	-0.138	-1.018	-2.048	0.978	2.027
0.275	0.265	0.264	0.276	0.282	-0.239	-0.979	-2.080	0.906	1.992
0.330	0.317	0.318	0.332	0.339	-0.167	-0.955	-2.109	0.574	1.869
0.357	0.343	0.345	0.360	0.367	-0.192	-0.998	-2.176	0.567	1.636
0.384	0.370	0.372	0.387	0.394	-0.300	-1.143	-2.356	0.463	1.121

Διάγραμμα Heave για το μοντέλο



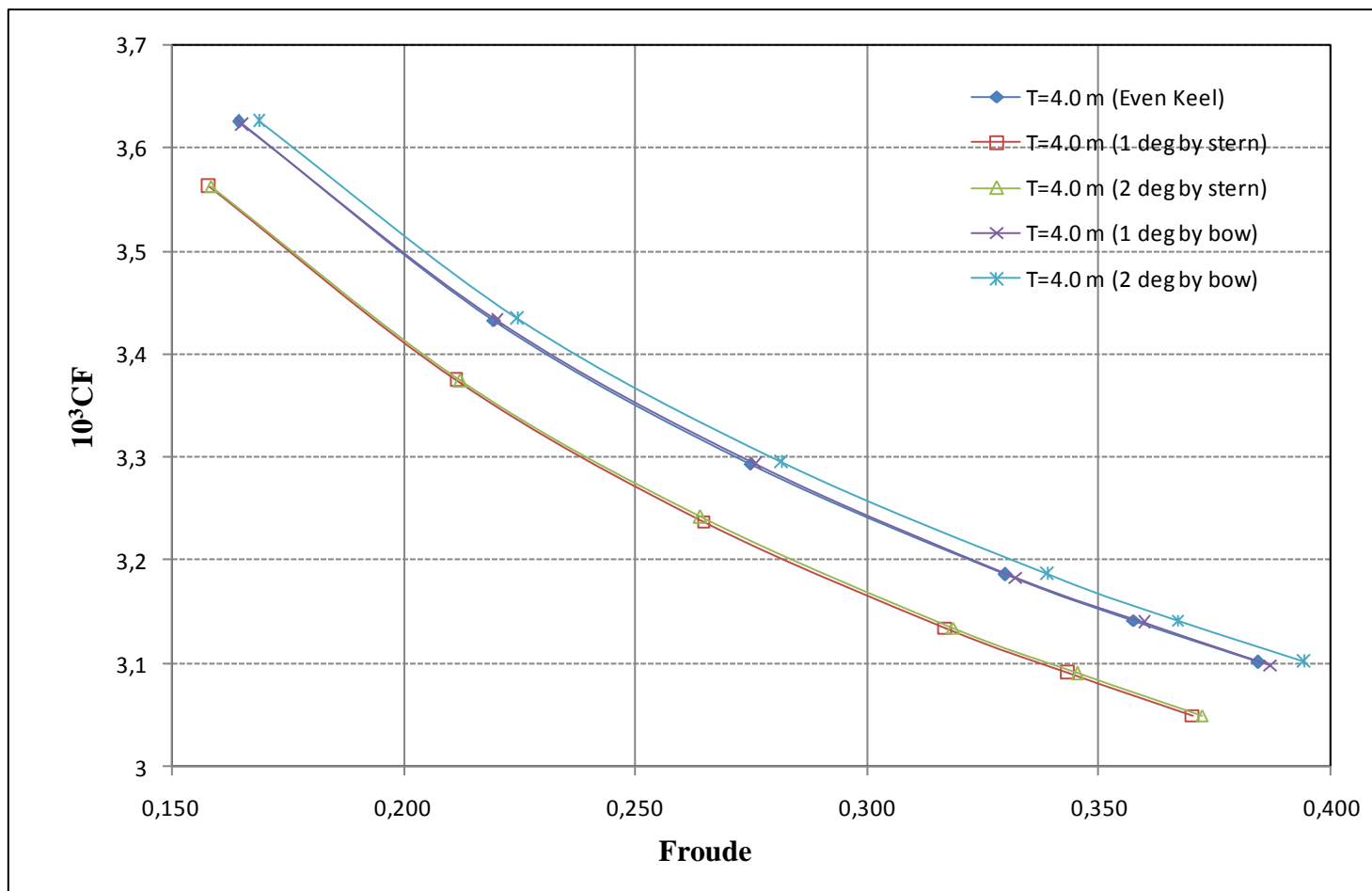
Αριθμός Froude					Heave [cm]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.158	0.165	0.169	-0.196	-0.155	-0.164	-0.223	-0.237
0.219	0.211	0.212	0.220	0.225	-0.341	-0.282	-0.291	-0.478	-0.528
0.275	0.265	0.264	0.276	0.282	-0.737	-0.473	-0.469	-0.860	-0.851
0.330	0.317	0.318	0.332	0.339	-1.234	-0.778	-0.810	-1.420	-1.325
0.357	0.343	0.345	0.360	0.367	-1.357	-1.011	-1.042	-1.634	-1.707
0.384	0.370	0.372	0.387	0.394	-1.707	-1.261	-1.329	-1.894	-2.071

Διάγραμμα Συντελεστή C_R για το Μοντέλο



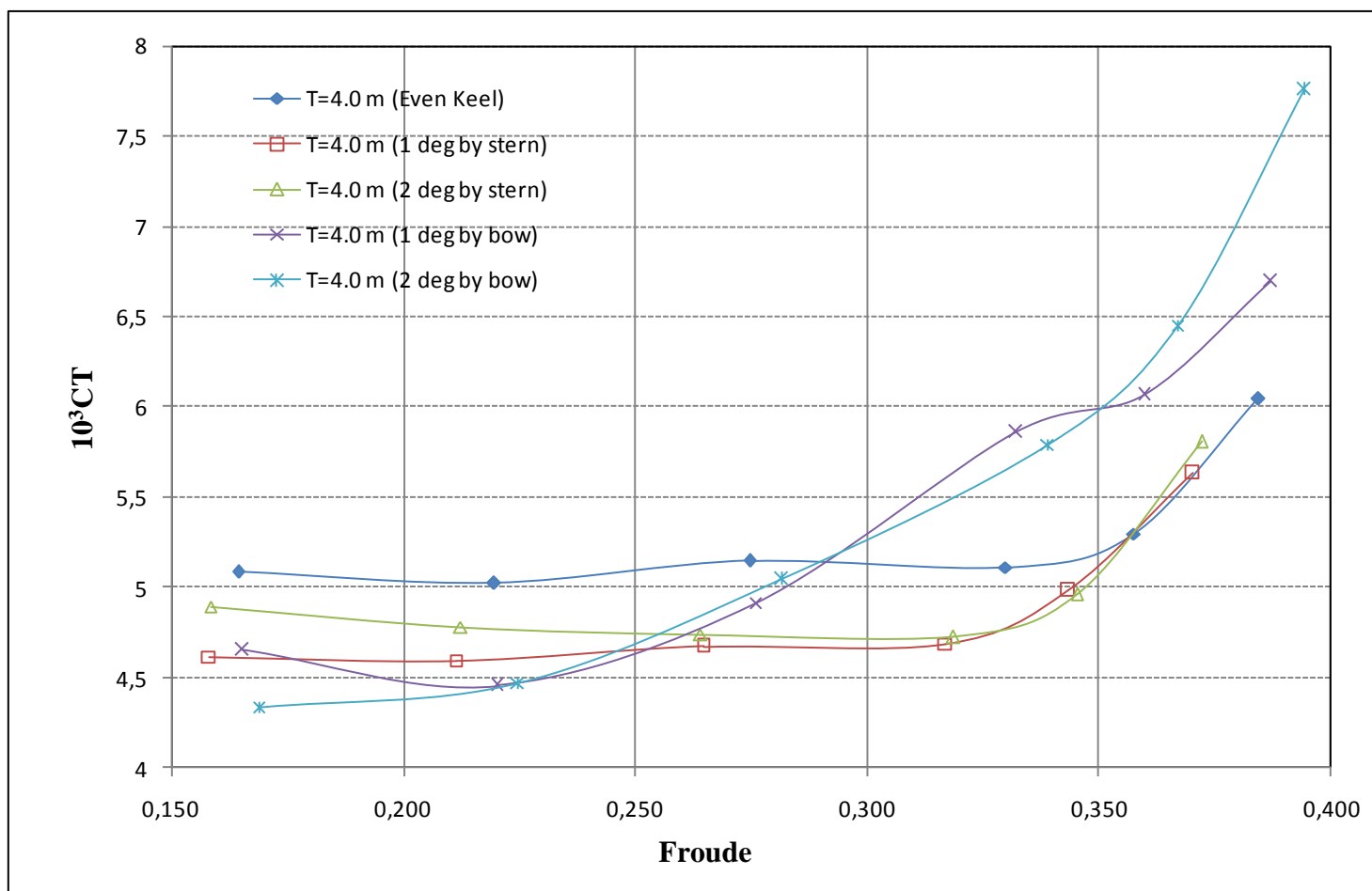
Αριθμός Froude					Συντελεστής C_R				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.158	0.165	0.169	1,460	0,916	0,568	1,048	0,746
0.219	0.211	0.212	0.220	0.225	1,590	1,122	0,488	1,046	1,074
0.275	0.265	0.264	0.276	0.282	1,854	1,360	0,400	1,721	1,803
0.330	0.317	0.318	0.332	0.339	1,925	1,493	0,665	2,703	2,669
0.357	0.343	0.345	0.360	0.367	2,156	1,833	0,898	2,968	3,412
0.384	0.370	0.372	0.387	0.394	2,945	2,490	1,825	3,635	4,706

Διάγραμμα Συντελεστή C_F για το Μοντέλο



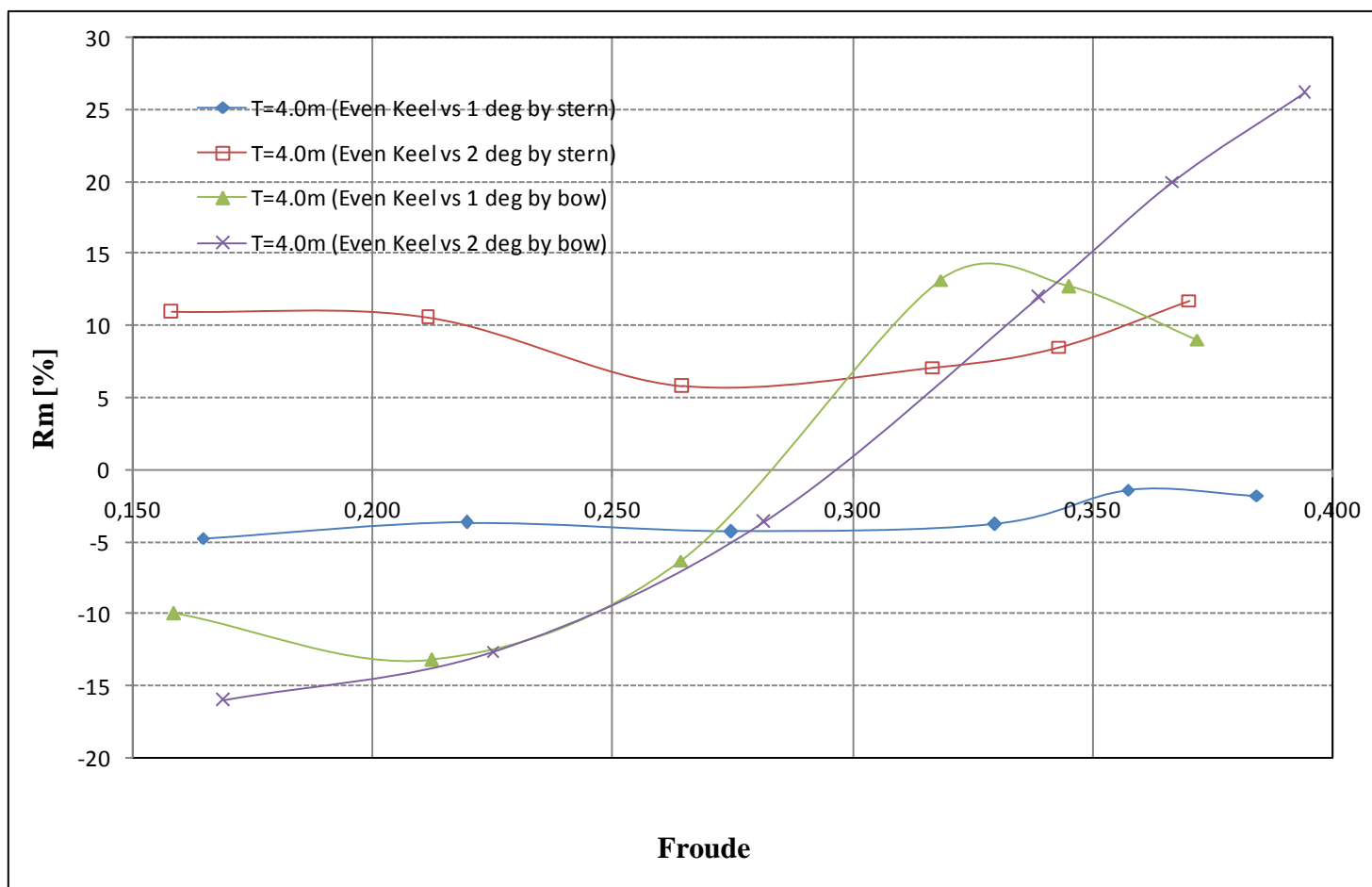
Αριθμός Froude					Συντελεστής C_F				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.158	0.165	0.169	3,625	3,562	3,563	3,622	3,625
0.219	0.211	0.212	0.220	0.225	3,433	3,374	3,374	3,432	3,434
0.275	0.265	0.264	0.276	0.282	3,294	3,238	3,242	3,293	3,295
0.330	0.317	0.318	0.332	0.339	3,187	3,135	3,135	3,184	3,186
0.357	0.343	0.345	0.360	0.367	3,142	3,091	3,091	3,139	3,142
0.384	0.370	0.372	0.387	0.394	3,102	3,050	3,050	3,099	3,102

Διάγραμμα Συντελεστή C_T για το Μοντέλο



Αριθμός Froude					Συντελεστής C_T				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.158	0.165	0.169	5,085	4,477	4,894	4,67	4,370
0.219	0.211	0.212	0.220	0.225	5,023	4,496	4,783	4,479	4,508
0.275	0.265	0.264	0.276	0.282	5,148	4,598	4,741	5,014	5,098
0.330	0.317	0.318	0.332	0.339	5,113	4,628	4,728	5,887	5,855
0.357	0.343	0.345	0.360	0.367	5,297	4,924	4,964	6,108	6,553
0.384	0.370	0.372	0.387	0.394	6,046	5,540	5,809	6,733	7,808

Διάγραμμα Διαφορών Αντίστασης για το μοντέλο

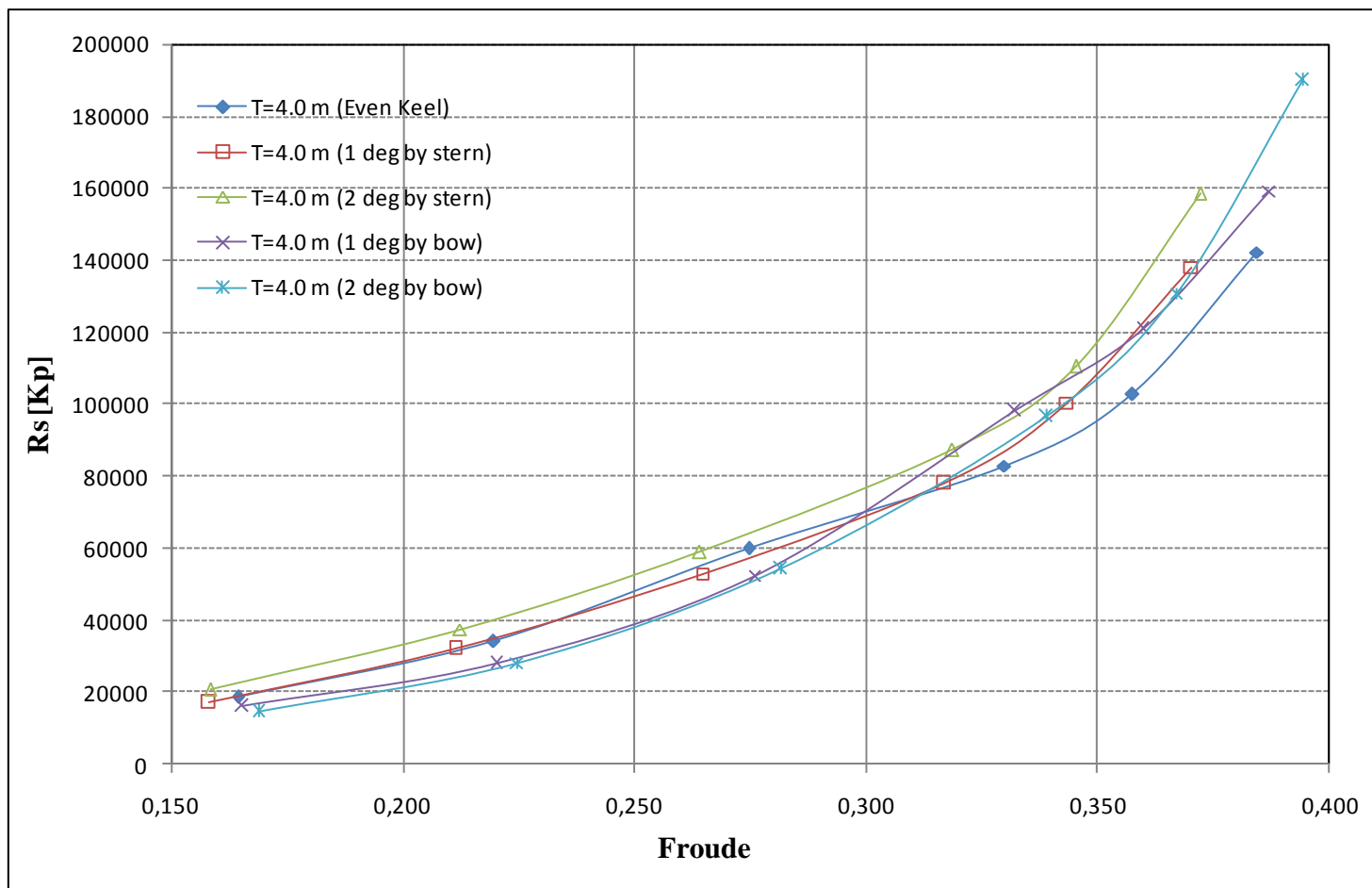


Αριθμός Froude					Διαφορές Αντίστασης			
A1	A2	A3	A4	A5	A2-A1	A3-A1	A4-A1	A5-A1
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow				
0.164	0.158	0.158	0.165	0.169	-7,55	-6,31	-9,76	-15,44
0.219	0.211	0.212	0.220	0.225	-5,77	-10,78	-12,82	-11,93
0.275	0.265	0.264	0.276	0.282	-5,78	-18,71	-4,42	-2,66
0.330	0.317	0.318	0.332	0.339	-5,03	-13,89	13,65	13,16
0.357	0.343	0.345	0.360	0.367	-2,55	-12,78	13,50	21,87
0.384	0.370	0.372	0.387	0.394	-3,44	-6,21	9,70	27,01

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το πραγματικό

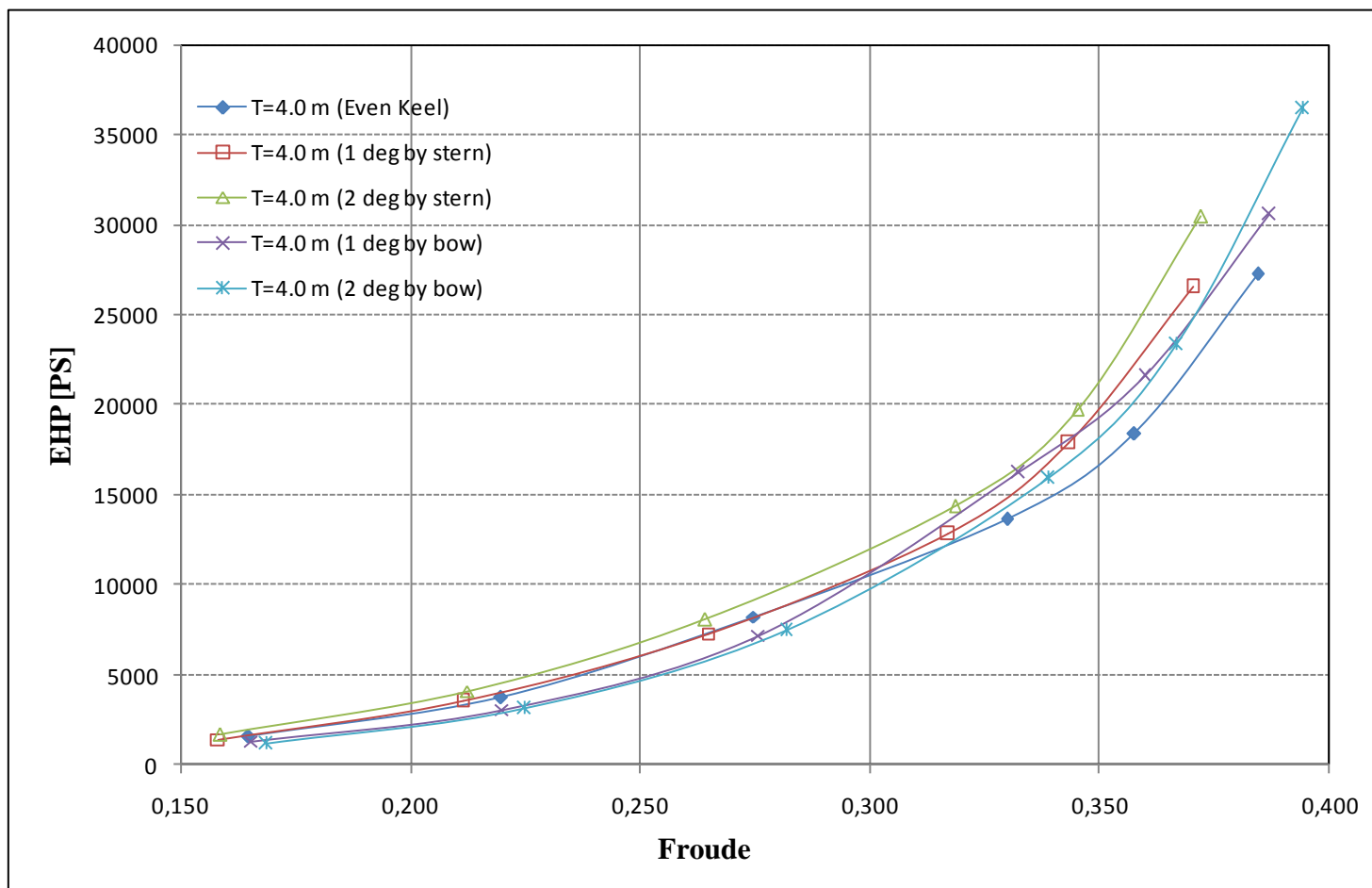
Χαρακτηριστικά Σκάφους	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών				
			A1	A2	A3	A4	A5
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	142.940	154.455	153.090	141.295	135.765
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	142.940	154.805	154.805	141.960	141.400
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	22.600	22.600	22.600	22.600	22.600
Μέσο βύθισμα	T_M	m	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Trim	trim	deg	0.000	-1.000	-2.000	1.000	2.000
Εκτόπισμα	Δ	mt	6832.86	7078.52	7797.05	6724.31	6738.81
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	2748.90	2889.78	3187.45	2703.58	2706.03
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.514	0.493	0.548	0.509	0.512
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.682	0.677	0.767	0.688	0.687
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.579	0.556	0.617	0.574	0.577

Διάγραμμα Αντίστασης για το πραγματικό



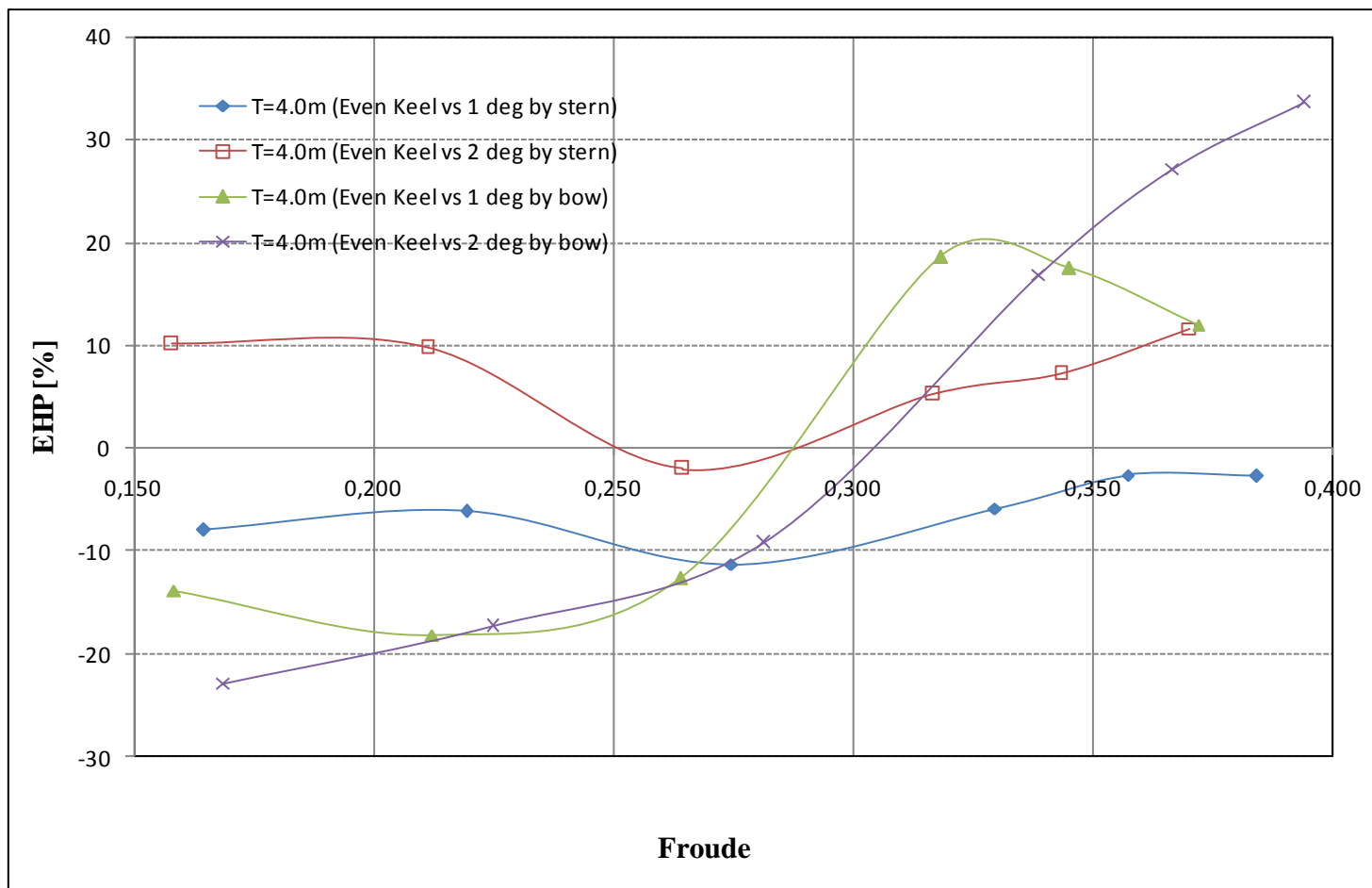
Αριθμός Froude					Αντίσταση [kp]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.158	0.165	0.169	18811	16532	20779	16296	14693
0.219	0.211	0.212	0.220	0.225	34203	31071	37506	28303	28678
0.275	0.265	0.264	0.276	0.282	59927	51893	58971	53902	55246
0.330	0.317	0.318	0.332	0.339	82929	76749	87267	98717	98085
0.357	0.343	0.345	0.360	0.367	102986	98904	110486	122008	133384
0.384	0.370	0.372	0.387	0.394	142276	135219	158584	160434	191599

Διάγραμμα EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude					EHP [PS]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.158	0.165	0.169	1545	1356	1701	1338	1207
0.219	0.211	0.212	0.220	0.225	3747	3407	4112	3092	3138
0.275	0.265	0.264	0.276	0.282	8216	7127	8047	7381	7570
0.330	0.317	0.318	0.332	0.339	13652	12623	14359	16282	16178
0.357	0.343	0.345	0.360	0.367	18376	17624	19705	21779	23810
0.384	0.370	0.372	0.387	0.394	27305	25983	30485	30815	36756

Διάγραμμα Διαφορών EHP για το πραγματικό



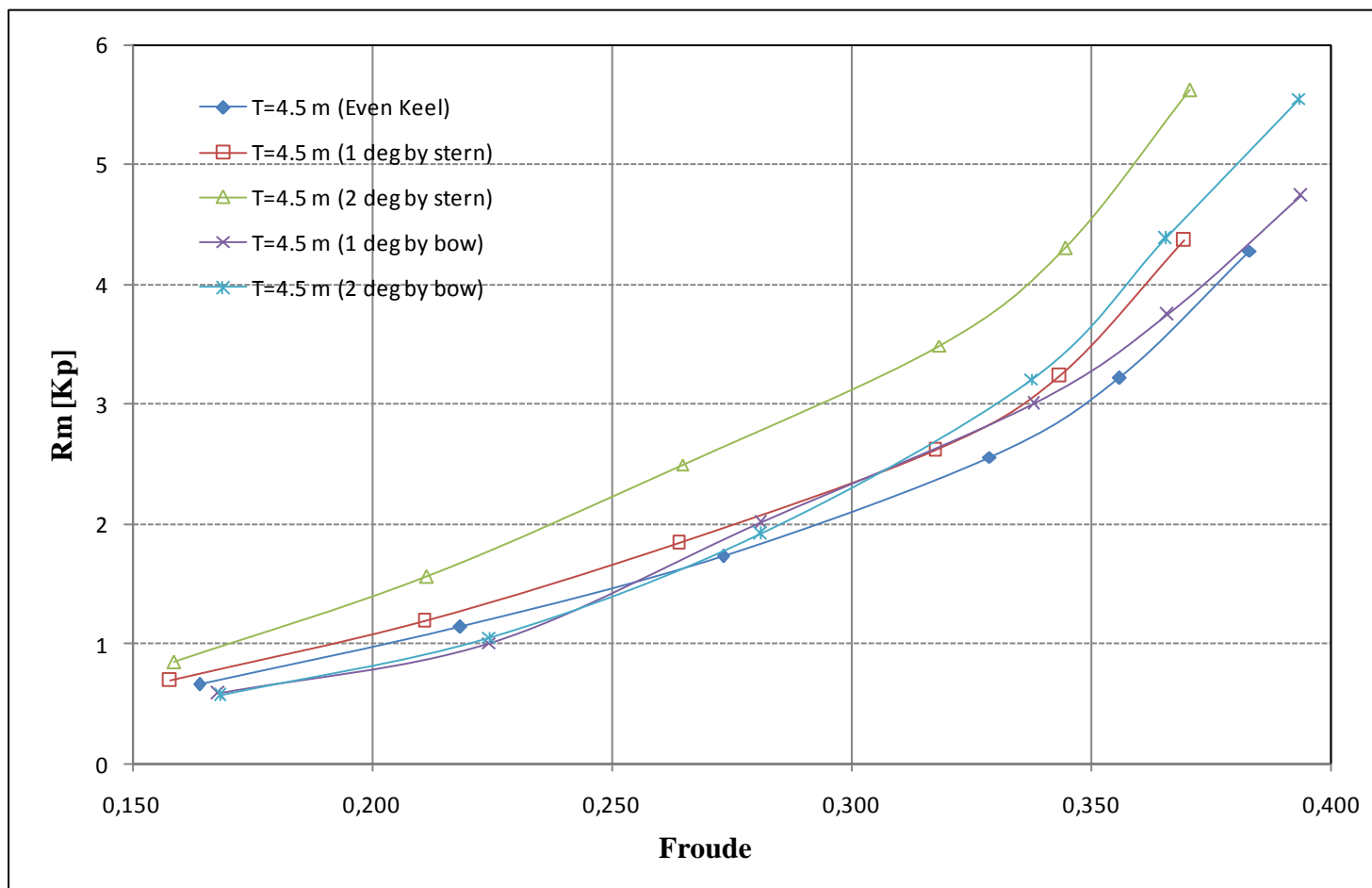
Αριθμός Froude					Διαφορές Ισχύος			
A1	A2	A3	A4	A5	A2-A1	A3-A1	A4-A1	A5-A1
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0.164	0.158	0.158	0.165	0.169	-12,20	10,14	-13,37	-21,89
0.219	0.211	0.212	0.220	0.225	-9,09	9,74	-17,49	-16,27
0.275	0.265	0.264	0.276	0.282	-13,26	-2,05	-10,16	-7,86
0.330	0.317	0.318	0.332	0.339	-7,54	5,18	19,27	18,50
0.357	0.343	0.345	0.360	0.367	-4,09	7,24	18,52	29,57
0.384	0.370	0.372	0.387	0.394	-4,84	11,65	12,86	34,61

2^η κατάσταση δοκιμών – T = 4.5 m

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το μοντέλο

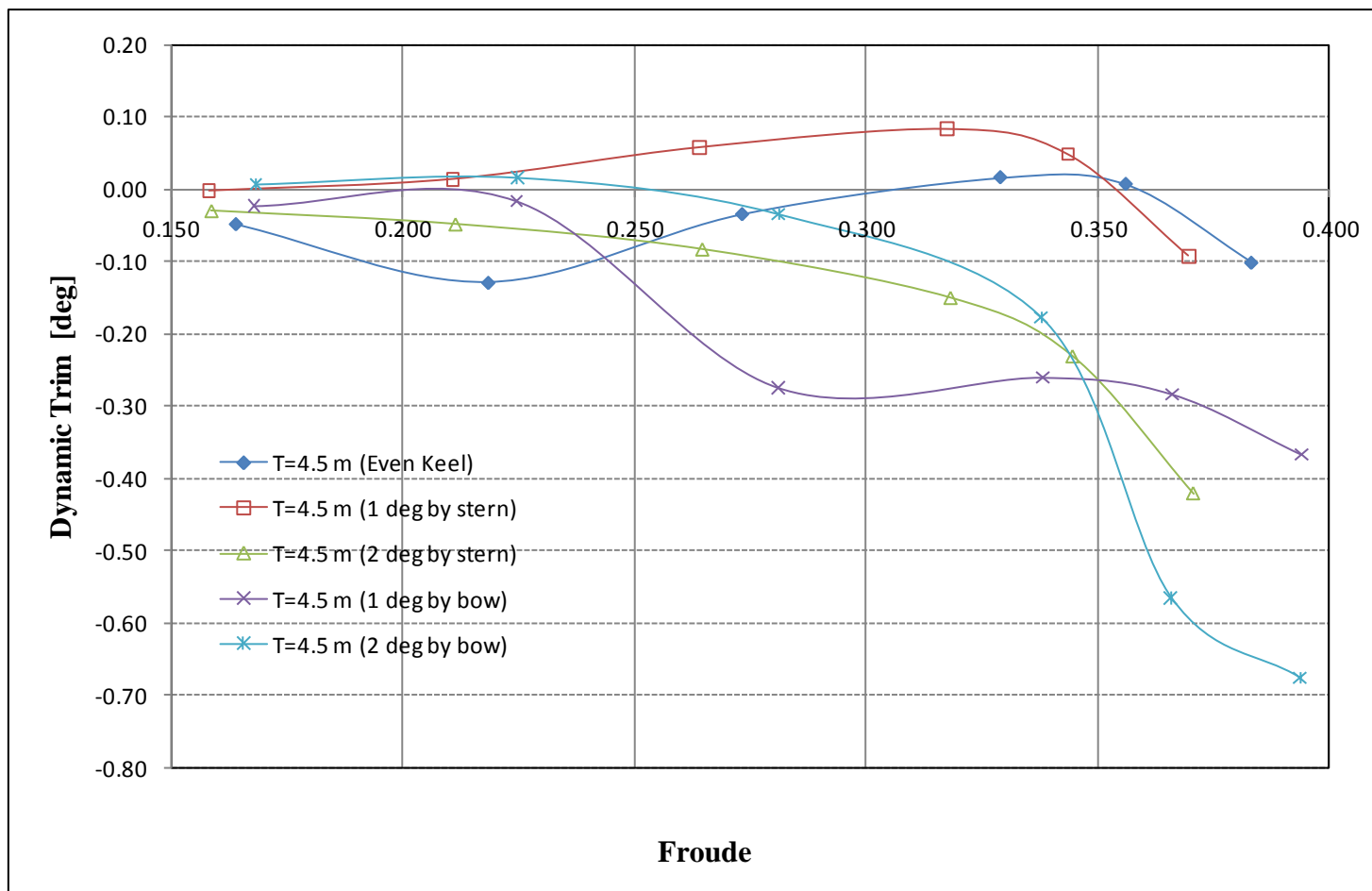
Χαρακτηριστικά Μοντέλου	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών				
			A1	A2	A3	A4	A5
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	4.111	4.419	4.395	3.894	3.895
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	4.113	4.423	4.424	4.064	4.047
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	0.646	0.646	0.646	0.646	0.646
Μέσο βύθισμα	T_M	m	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129
Trim	t	deg	0.000	-1.000	-2.000	1.000	2.000
Εκτόπισμα	Δ	mt	181.75	190.31	208.69	178.64	178.42
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	2.426	2.694	2.742	2.39	2.346
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.530	0.517	0.571	0.527	0.529
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.712	0.761	0.779	0.727	0.710
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.589	0.574	0.634	0.586	0.611

Διάγραμμα Αντίστασης για το μοντέλο



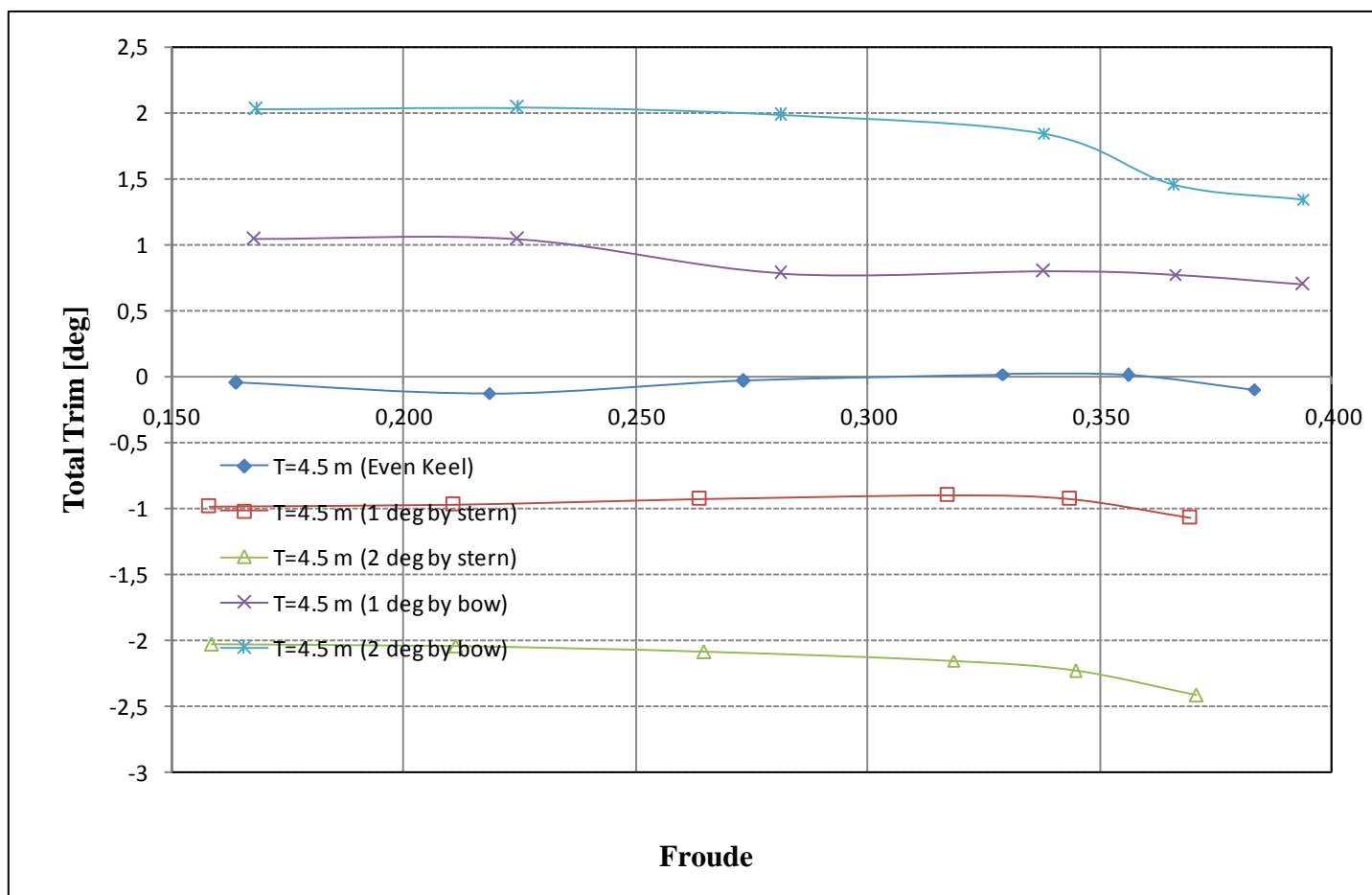
Αριθμός Froude					Αντίσταση [kp]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.159	0.168	0.168	0,660	0,665	0,720	0,586	0,579
0.218	0.211	0.211	0.225	0.225	1,140	1,152	1,272	1,021	1,074
0.273	0.264	0.265	0.281	0.281	1,734	1,801	1,967	2,019	1,949
0.329	0.317	0.318	0.338	0.338	2,562	2,564	2,833	3,023	3,279
0.356	0.344	0.345	0.366	0.366	3,225	3,185	3,494	3,767	4,441
0.383	0.370	0.371	0.394	0.394	4,283	4,265	4,718	4,792	5,611

Διάγραμμα Dynamic Trim για το μοντέλο



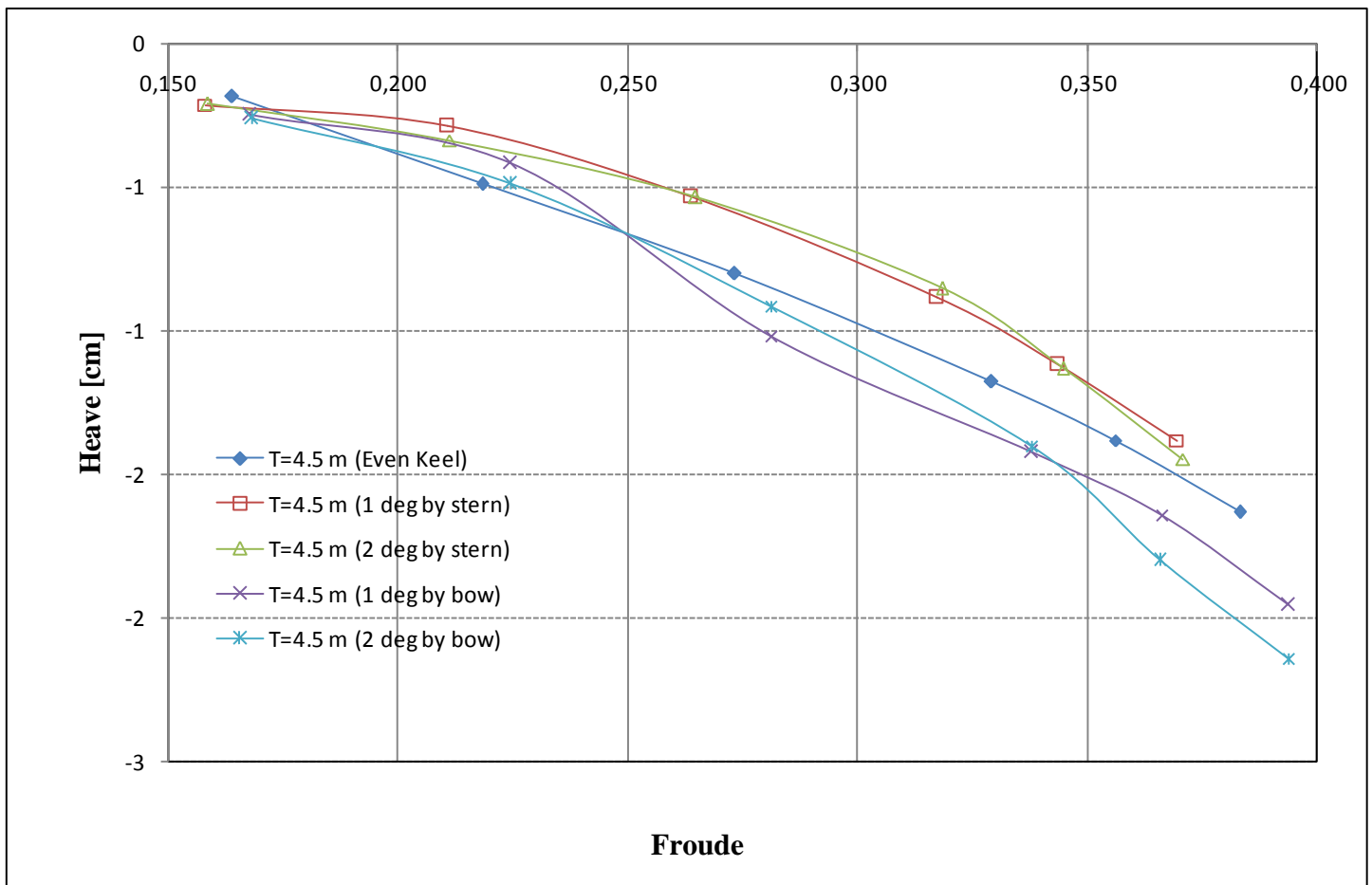
Αριθμός Froude					Dynamic Trim [deg]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.159	0.168	0.168	-0.049	-0.002	-0.030	-0.023	0.007
0.218	0.211	0.211	0.225	0.225	-0.129	0.014	-0.049	-0.016	0.016
0.273	0.264	0.265	0.281	0.281	-0.035	0.058	-0.083	-0.275	-0.035
0.329	0.317	0.318	0.338	0.338	0.016	0.083	-0.150	-0.261	-0.178
0.356	0.344	0.345	0.366	0.366	0.007	0.049	-0.231	-0.284	-0.566
0.383	0.370	0.371	0.394	0.394	-0.102	-0.092	-0.421	-0.367	-0.677

Διάγραμμα Total Trim για το μοντέλο



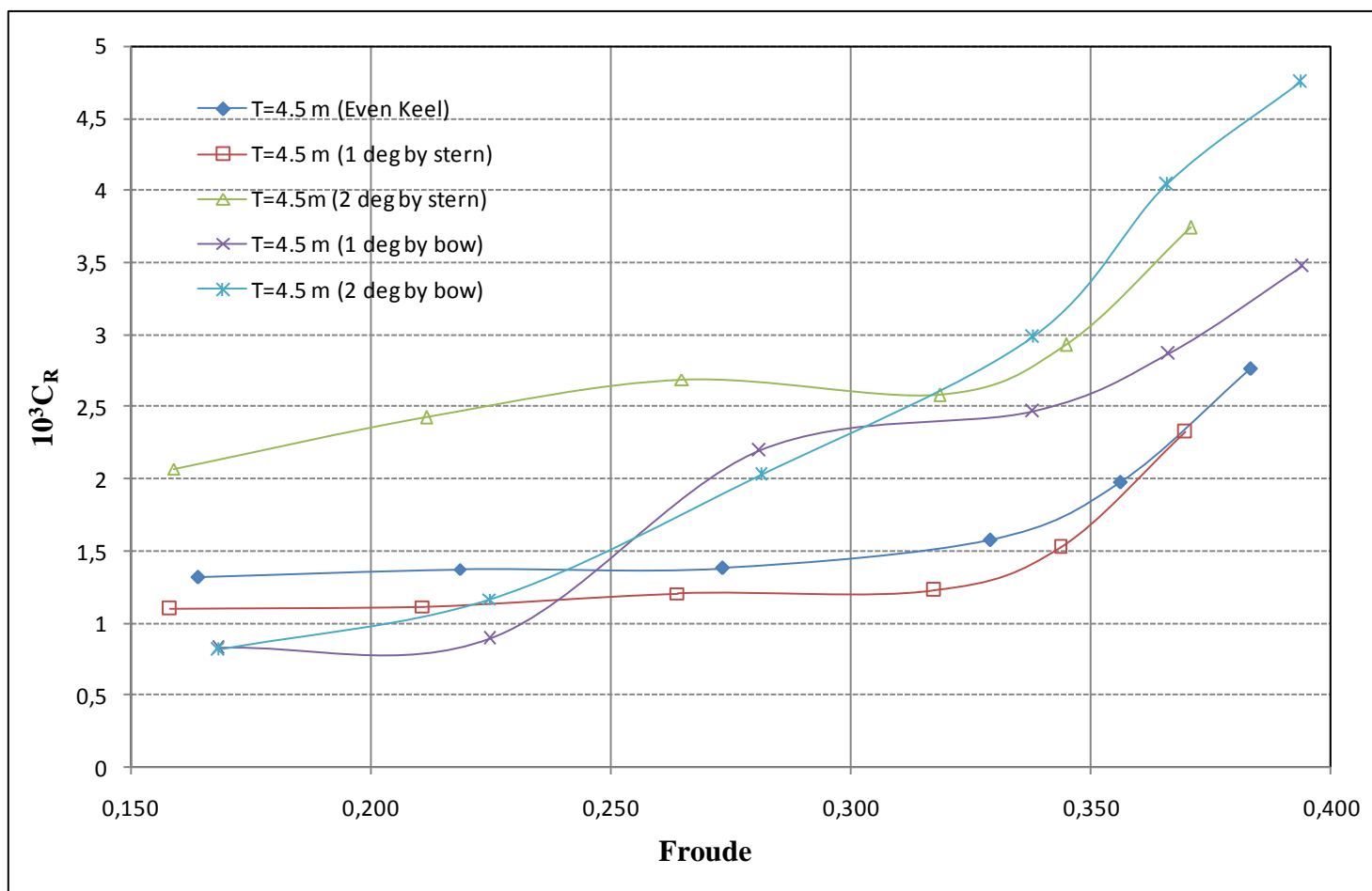
Αριθμός Froude					Total Trim [deg]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.159	0.168	0.168	-0.049	-0.993	-2.032	1.034	2.025
0.218	0.211	0.211	0.225	0.225	-0.129	-0.976	-2.053	1.031	2.036
0.273	0.264	0.265	0.281	0.281	-0.035	-0.939	-2.090	0.777	1.983
0.329	0.317	0.318	0.338	0.338	0.016	-0.907	-2.157	0.796	1.842
0.356	0.344	0.345	0.366	0.366	0.007	-0.937	-2.238	0.773	1.456
0.383	0.370	0.371	0.394	0.394	-0.102	-1.080	-2.425	0.690	1.341

Διάγραμμα Heave για το μοντέλο



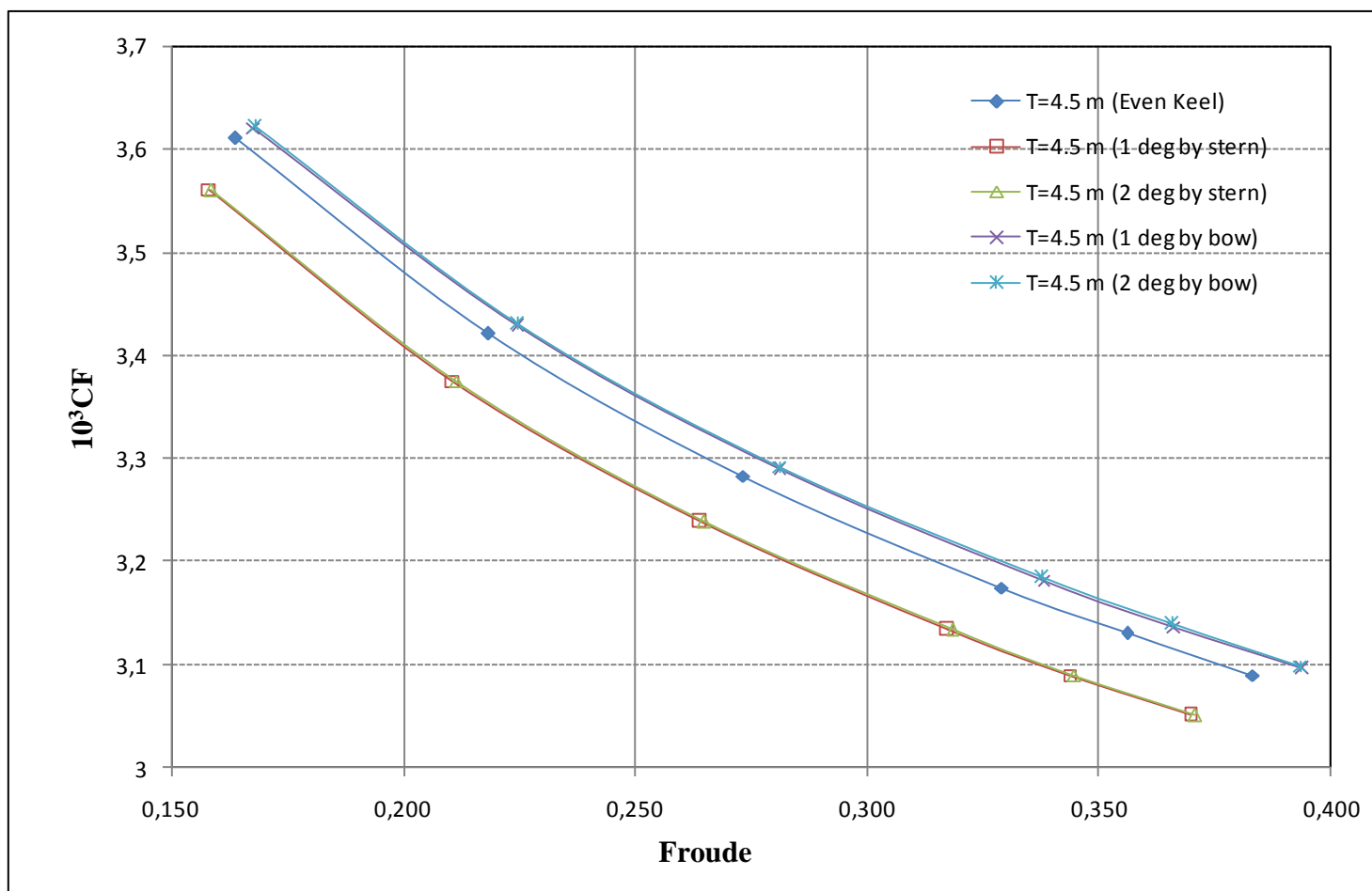
Αριθμός Froude					Heave [cm]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.159	0.168	0.168	-0.196	-0.155	-0.164	-0.223	-0.237
0.218	0.211	0.211	0.225	0.225	-0.341	-0.282	-0.291	-0.478	-0.528
0.273	0.264	0.265	0.281	0.281	-0.737	-0.473	-0.469	-0.860	-0.851
0.329	0.317	0.318	0.338	0.338	-1.234	-0.778	-0.810	-1.420	-1.325
0.356	0.344	0.345	0.366	0.366	-1.357	-1.011	-1.042	-1.634	-1.707
0.383	0.370	0.371	0.394	0.394	-1.707	-1.261	-1.329	-1.894	-2.071

Διάγραμμα Συντελεστή C_R



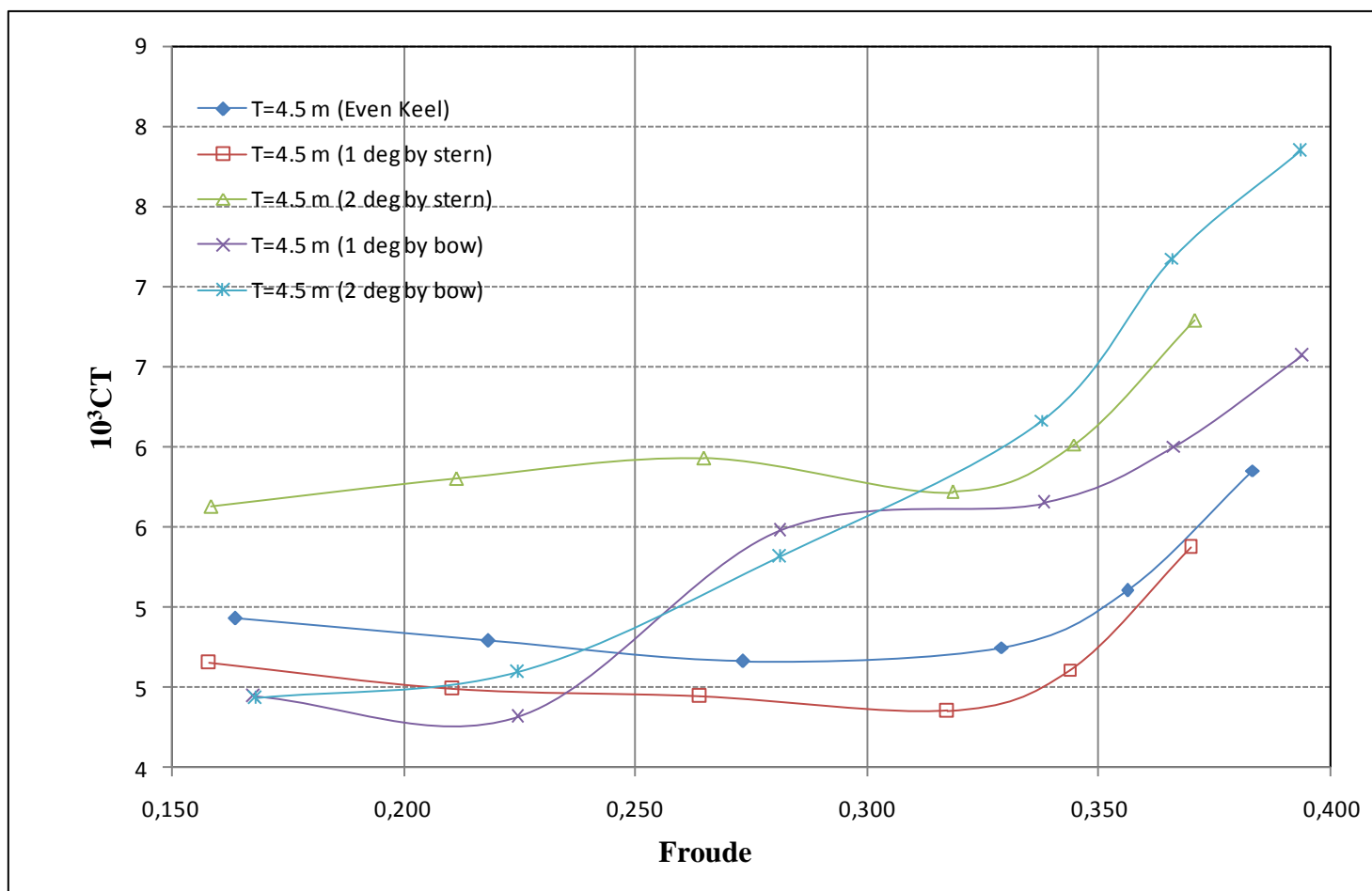
Αριθμός Froude					Συντελεστής C_R				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.159	0.168	0.168	1,317	0,910	1,187	0,846	0,857
0.218	0.211	0.211	0.225	0.225	1,374	0,982	1,352	0,925	1,227
0.273	0.264	0.265	0.281	0.281	1,378	1,105	1,422	2,206	2,107
0.329	0.317	0.318	0.338	0.338	1,575	1,143	1,509	2,507	3,108
0.356	0.344	0.345	0.366	0.366	1,974	1,445	1,794	2,904	4,129
0.383	0.370	0.371	0.394	0.394	2,764	2,194	2,650	3,541	4,832

Διάγραμμα Συντελεστή C_F



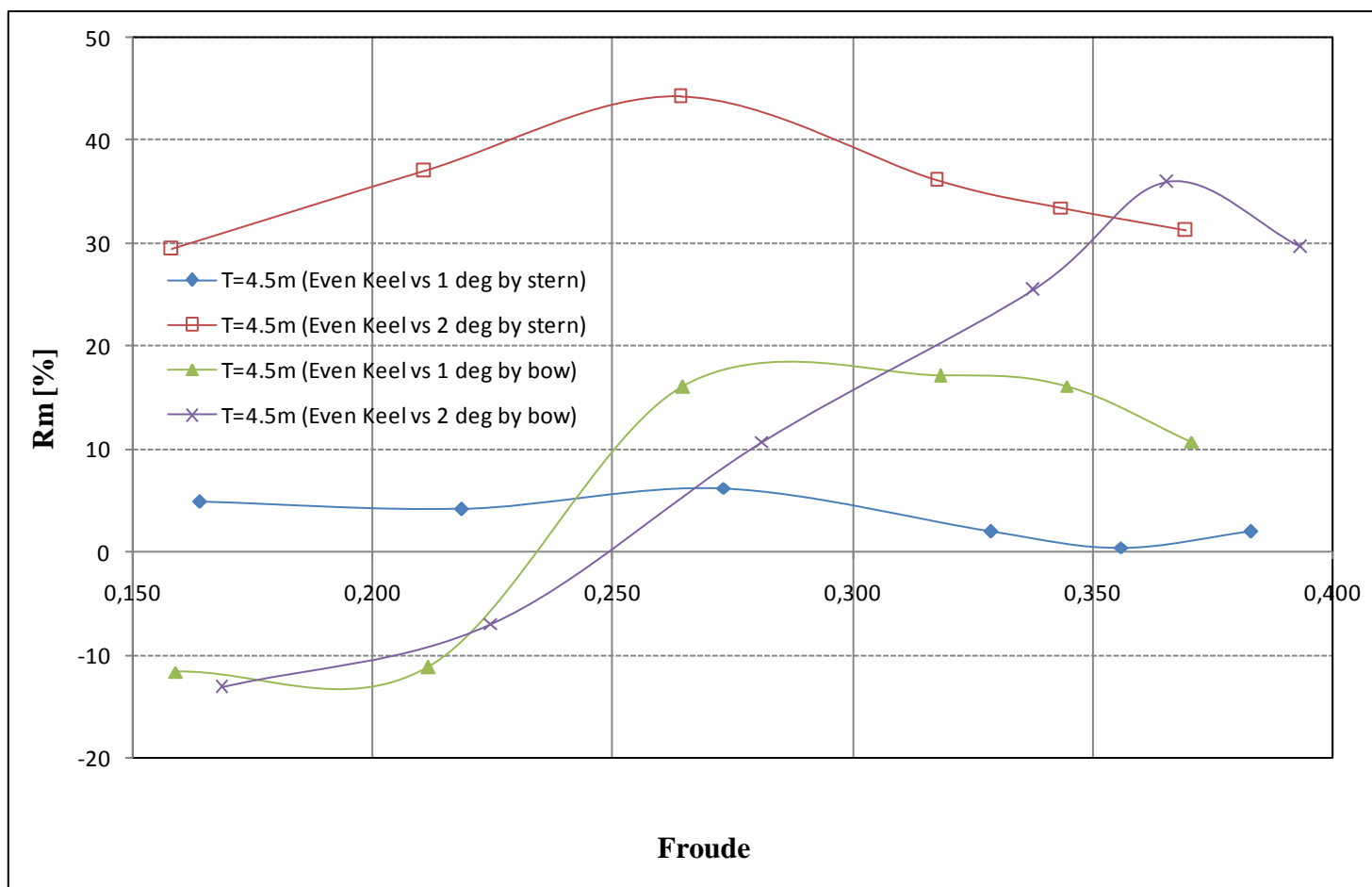
Αριθμός Froude					Συντελεστής C_F				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.159	0.168	0.168	3,611	3,561	3,560	3,621	3,622
0.218	0.211	0.211	0.225	0.225	3,421	3,375	3,375	3,428	3,430
0.273	0.264	0.265	0.281	0.281	3,283	3,239	3,239	3,29	3,292
0.329	0.317	0.318	0.338	0.338	3,175	3,134	3,134	3,182	3,185
0.356	0.344	0.345	0.366	0.366	3,131	3,090	3,090	3,137	3,140
0.383	0.370	0.371	0.394	0.394	3,09	3,051	3,051	3,096	3,099

Διάγραμμα Συντελεστή C_T



Αριθμός Froude					Συντελεστής C_T				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.159	0.168	0.168	4,928	4,471	4,747	4,467	4,479
0.218	0.211	0.211	0.225	0.225	4,795	4,357	4,726	4,353	4,658
0.273	0.264	0.265	0.281	0.281	4,661	4,344	4,662	5,496	5,399
0.329	0.317	0.318	0.338	0.338	4,750	4,277	4,643	5,689	6,293
0.356	0.344	0.345	0.366	0.366	5,104	4,535	4,884	6,041	7,269
0.383	0.370	0.371	0.394	0.394	5,854	5,245	5,701	6,638	7,931

Διάγραμμα Διαφορών Αντίστασης για το μοντέλο

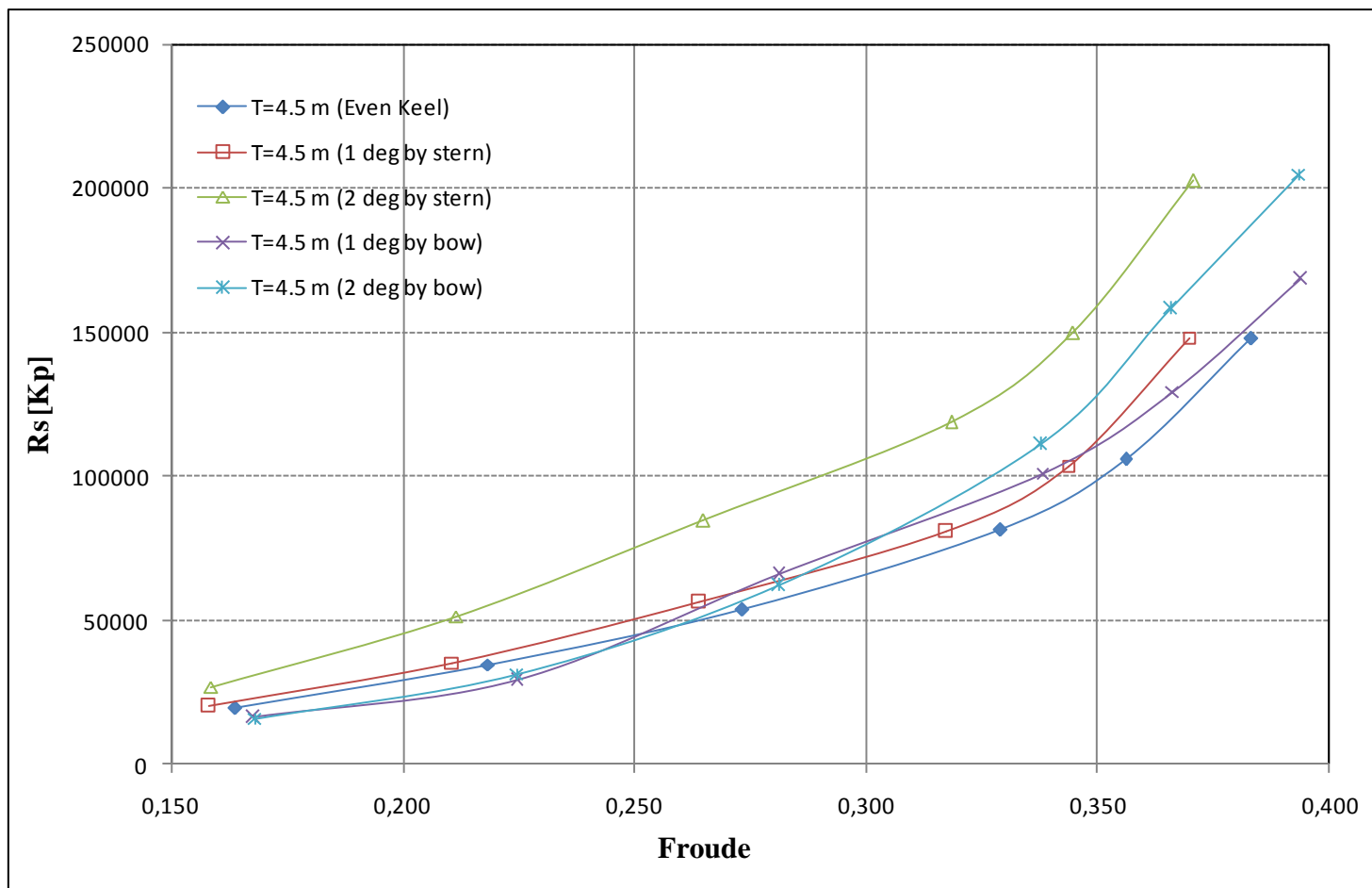


Αριθμός Froude					Διαφορές Αντίστασης			
A1	A2	A3	A4	A5	A2-A1	A3-A1	A4-A1	A5-A1
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0.164	0.158	0.159	0.168	0.168	0,77	9,16	-11,18	-12,34
0.218	0.211	0.211	0.225	0.225	1,04	11,55	-10,42	-5,75
0.273	0.264	0.265	0.281	0.281	3,86	13,44	16,44	12,42
0.329	0.317	0.318	0.338	0.338	0,06	10,56	17,99	27,99
0.356	0.344	0.345	0.366	0.366	-1,24	8,35	16,81	37,70
0.383	0.370	0.371	0.394	0.394	-0,42	10,16	11,88	31,01

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το πραγματικό

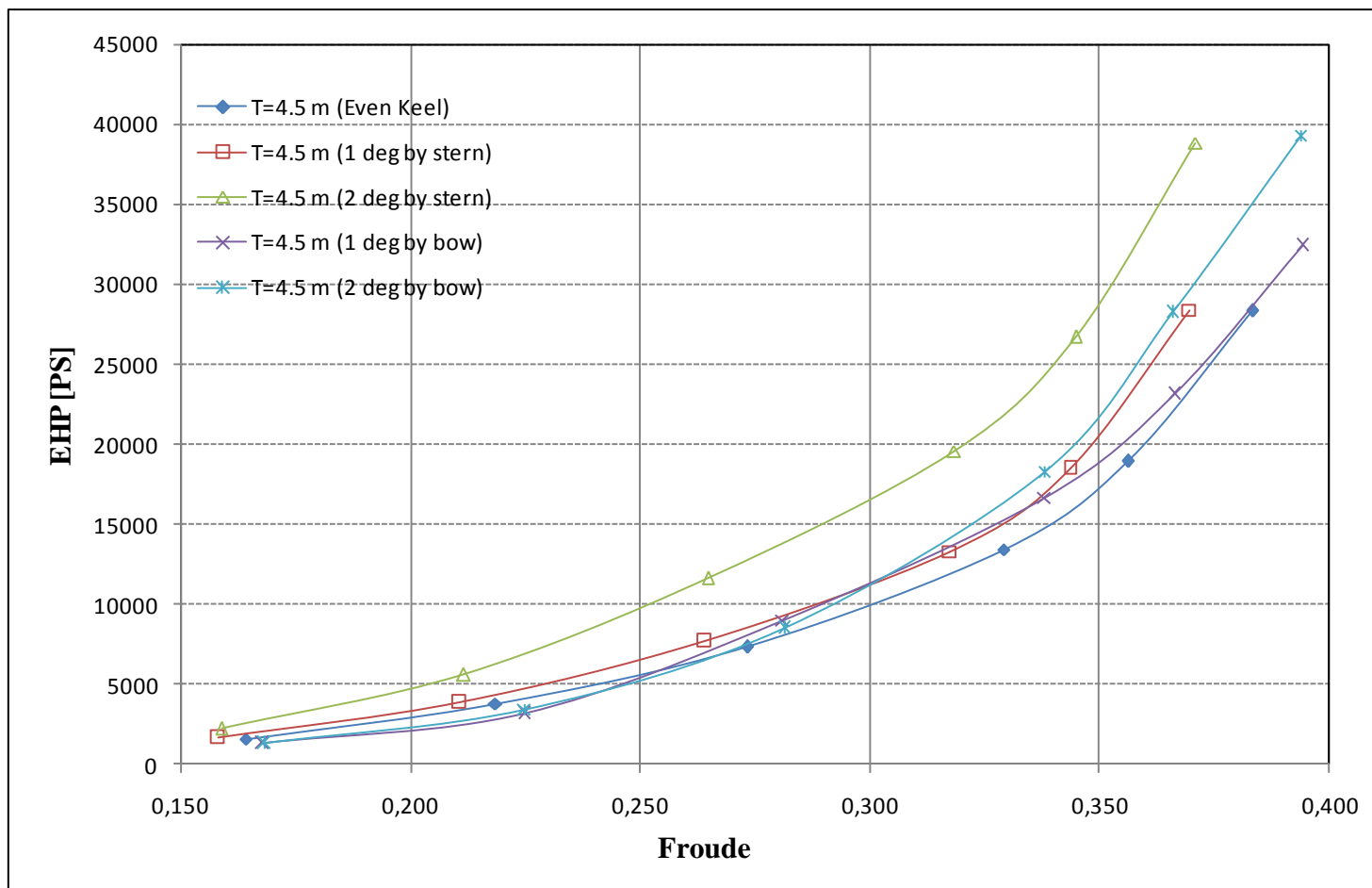
Χαρακτηριστικά Σκάφους	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών				
			A1	A2	A3	A4	A5
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	143.885	154.665	153.825	136.290	136.325
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	143.955	154.805	154.840	142.240	141.645
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	22.600	22.600	22.600	22.600	22.600
Μέσο βύθισμα	T_M	m	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500
Trim	trim	deg					
Εκτόπισμα	Δ	mt	106.62	118.39	120.50	7850.67	7841.00
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	2971.85	3300.15	3358.95	2927.75	2873.85
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.530	0.517	0.571	0.527	0.529
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.712	0.761	0.779	0.727	0.710
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.589	0.574	0.634	0.586	0.611

Διάγραμμα Αντίστασης για το πραγματικό



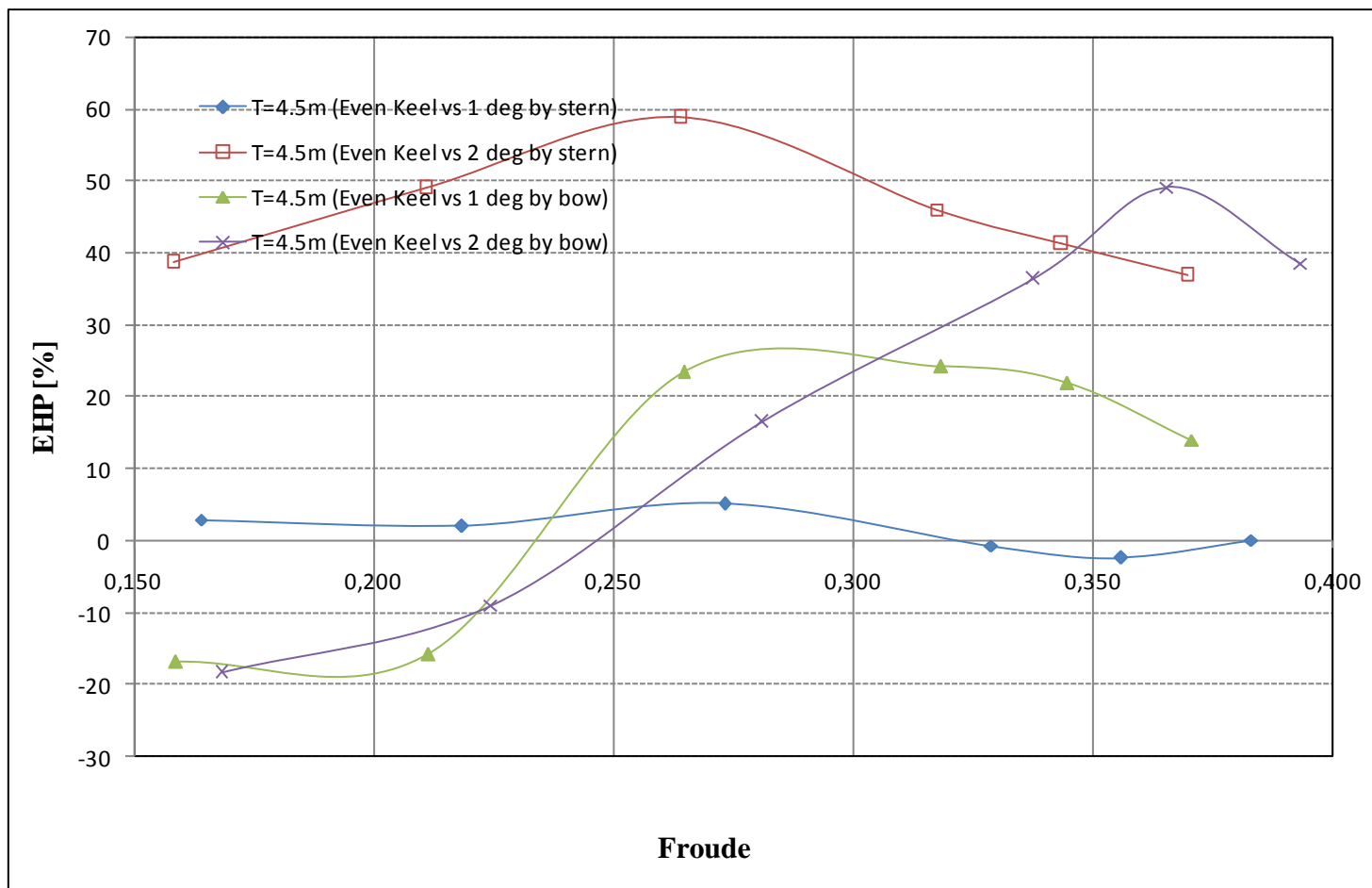
Αριθμός Froude					Αντίσταση [kp]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.159	0.168	0.168	19485	20066	26995	16250	15941
0.218	0.211	0.211	0.225	0.225	34596	35294	51500	29119	31478
0.273	0.264	0.265	0.281	0.281	53514	56217	84828	66010	62283
0.329	0.317	0.318	0.338	0.338	81476	80890	118934	101201	111134
0.356	0.344	0.345	0.366	0.366	106145	103624	149870	129389	158268
0.383	0.370	0.371	0.394	0.394	147952	148097	202513	168607	205008

Διάγραμμα EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude					EHP [PS]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.164	0.158	0.159	0.168	0.168	1600	1550	1734	1341	1329
0.218	0.211	0.211	0.225	0.225	3785	3696	4241	3232	3517
0.273	0.264	0.265	0.281	0.281	7324	7460	8401	9081	8714
0.329	0.317	0.318	0.338	0.338	13426	12995	14847	16828	18768
0.356	0.344	0.345	0.366	0.366	18931	18065	20372	23270	28659
0.383	0.370	0.371	0.394	0.394	28395	27572	31250	32800	39835

Διάγραμμα Διαφορών ΕΗΡ για το πραγματικό



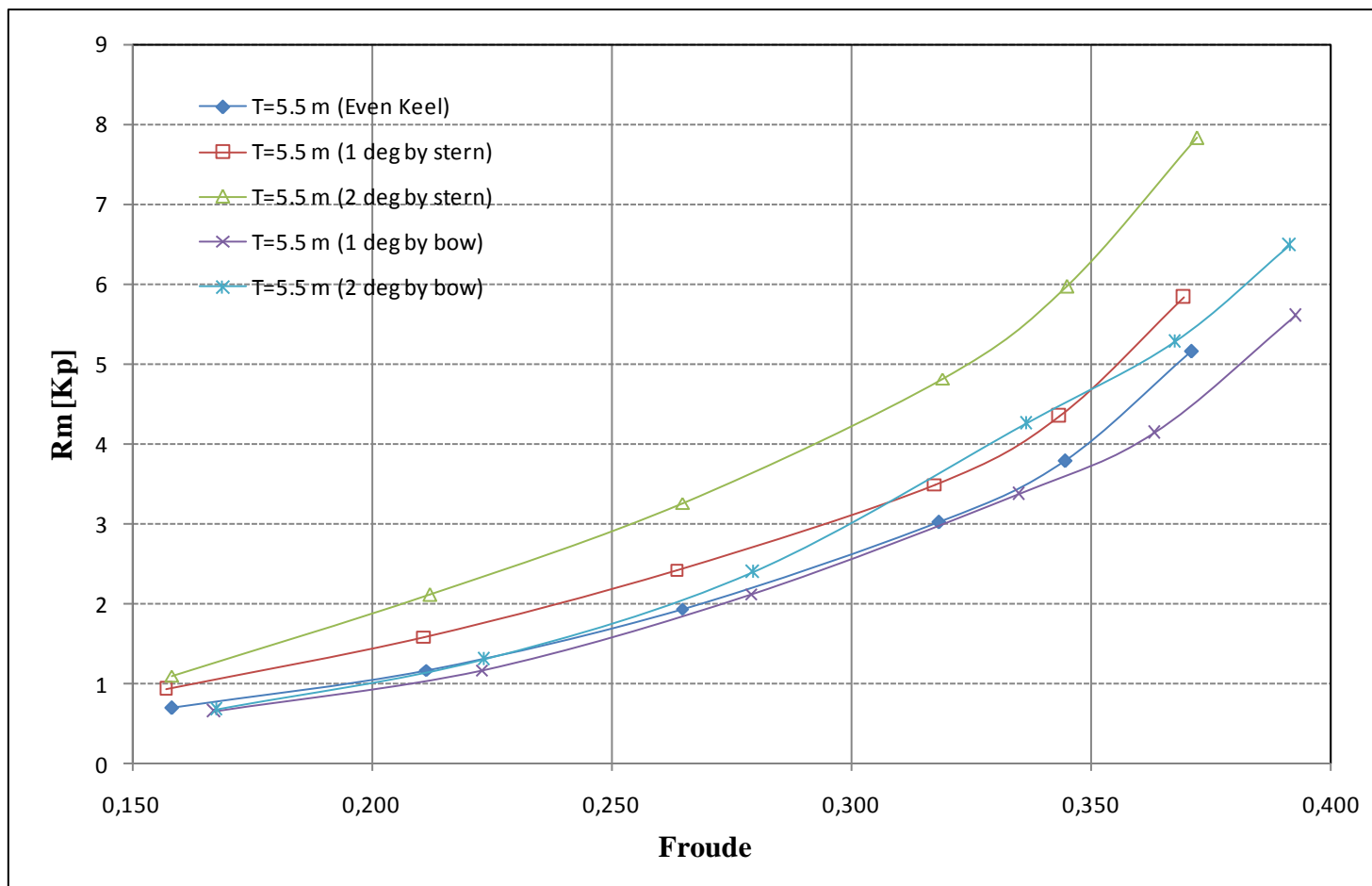
Αριθμός Froude					Διαφορές Ισχύος			
A1	A2	A3	A4	A5	A2-A1	A3-A1	A4-A1	A5-A1
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0.164	0.158	0.159	0.168	0.168	2.98	38.68	-16.84	-18.27
0.218	0.211	0.211	0.225	0.225	2.09	48.97	-15.77	-8.88
0.273	0.264	0.265	0.281	0.281	5.23	58.79	23.49	16.59
0.329	0.317	0.318	0.338	0.338	-0.67	46.04	24.21	36.34
0.356	0.344	0.345	0.366	0.366	-2.33	41.32	22.01	49.11
0.383	0.370	0.371	0.394	0.394	0.14	36.93	14.05	38.56

3^η κατάσταση δοκιμών – T = 5.5 m

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το μοντέλο

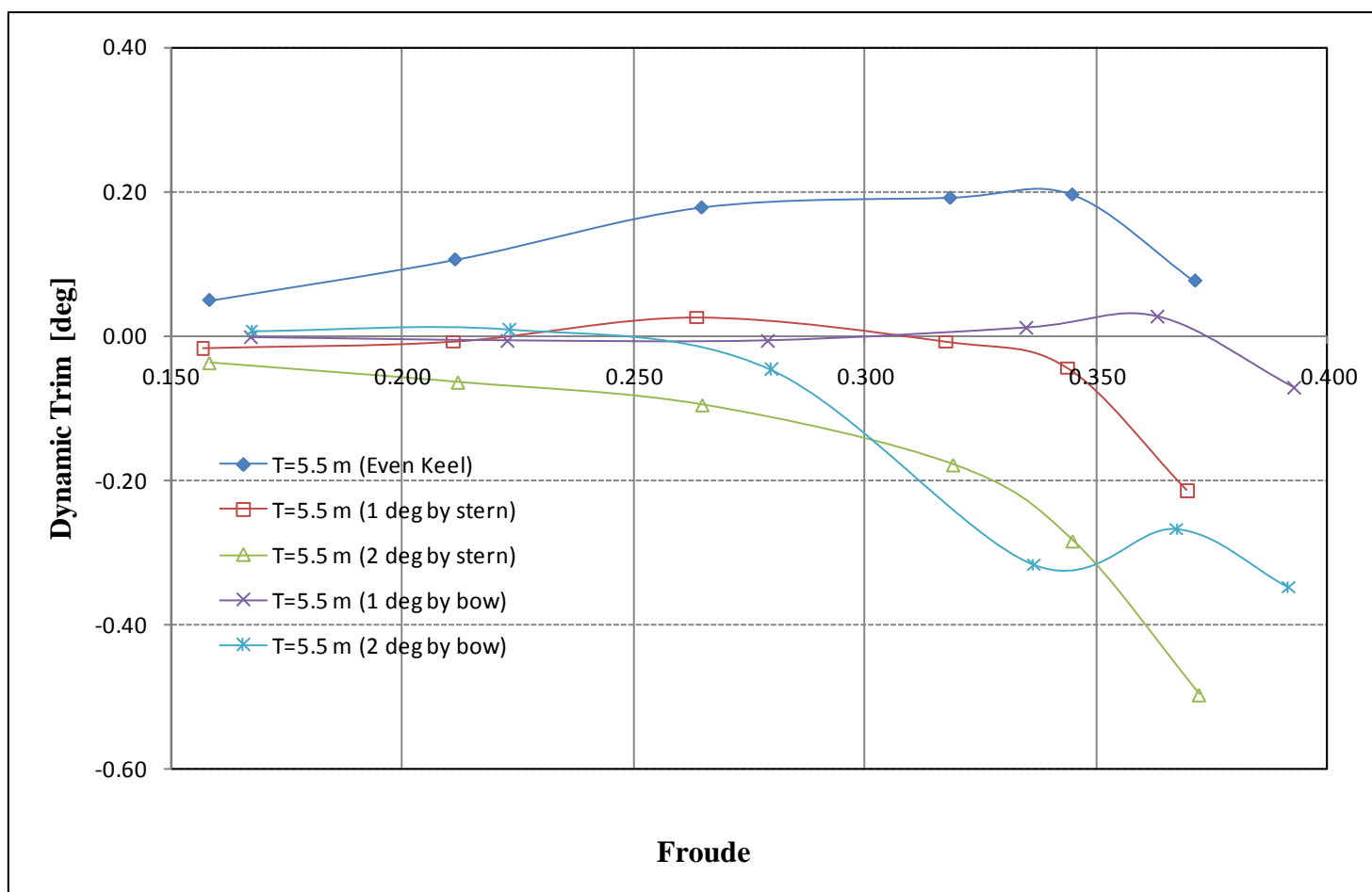
Χαρακτηριστικά Μοντέλου	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών				
			A1	A2	A3	A4	A5
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	4.39	4.423	4.374	3.943	3.93
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	4.423	4.423	4.423	4.100	4.061
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	0.646	0.646	0.646	0.646	0.646
Μέσο βύθισμα	T_M	m	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157
Trim	t	deg	0.000	-1.000	-2.000	1.000	2.000
Εκτόπισμα	Δ	mt	238.85	254.87	272.83	232.74	232.09
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	2.899	3.015	3.013	2.705	2.671
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.530	0.556	0.607	0.509	0.561
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.756	0.803	0.797	0.688	0.772
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.918	0.617	0.661	0.574	0.611

Διάγραμμα Αντίστασης για το μοντέλο



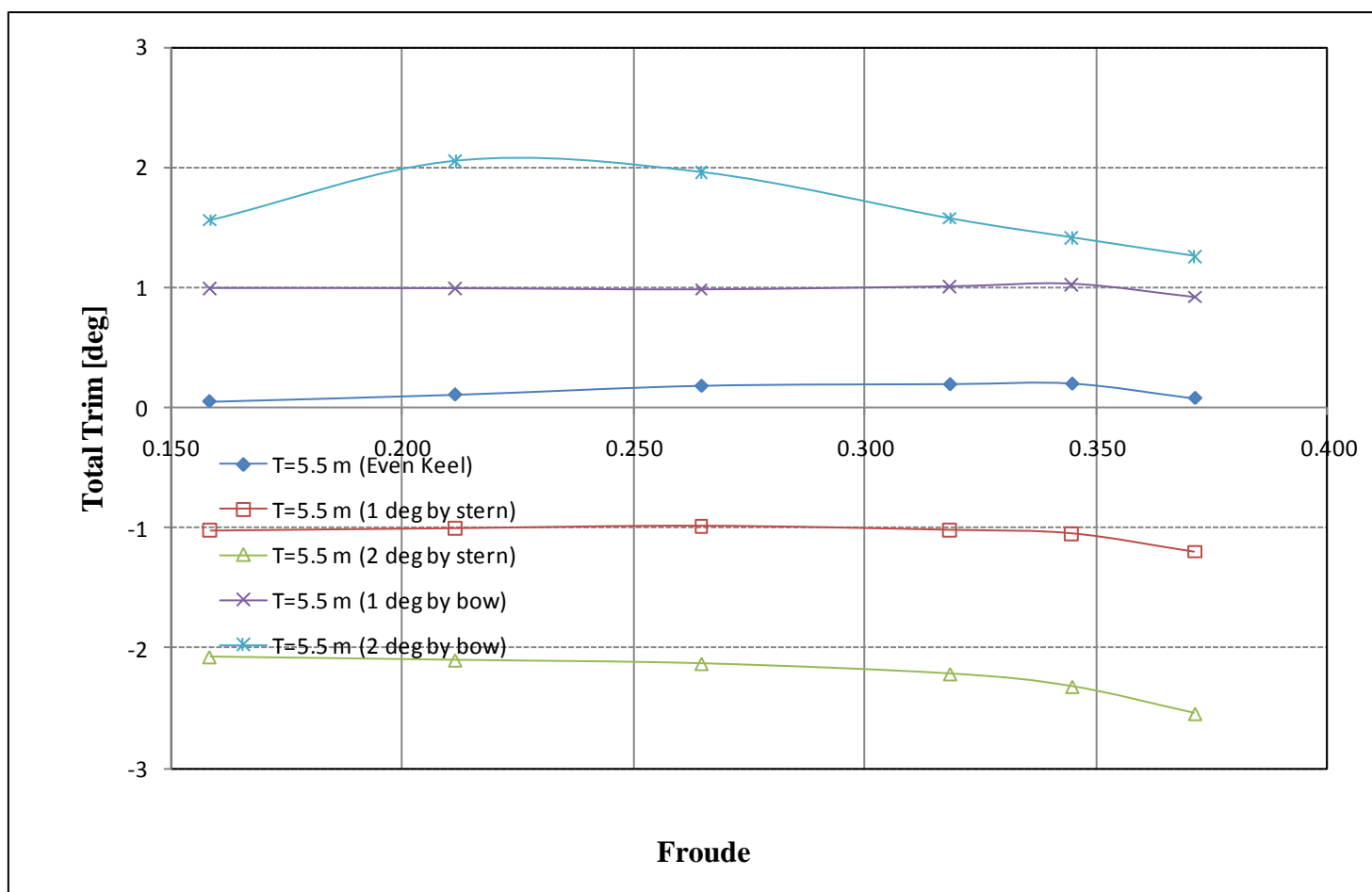
Αριθμός Froude					Αντίσταση [kp]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.158	0.157	0.158	0.167	0.167	0,693	0,864	0,969	0,645	0,674
0.212	0.211	0.212	0.223	0.223	1,170	1,487	1,820	1,190	1,321
0.265	0.264	0.265	0.279	0.280	1,938	2,280	2,860	2,132	2,454
0.318	0.318	0.319	0.335	0.336	3,013	3,273	4,113	3,407	4,380
0.345	0.344	0.345	0.363	0.367	3,788	4,068	5,088	4,171	5,379
0.371	0.370	0.372	0.393	0.392	5,151	5,468	6,657	5,691	6,605

Διάγραμμα Dynamic Trim για το μοντέλο



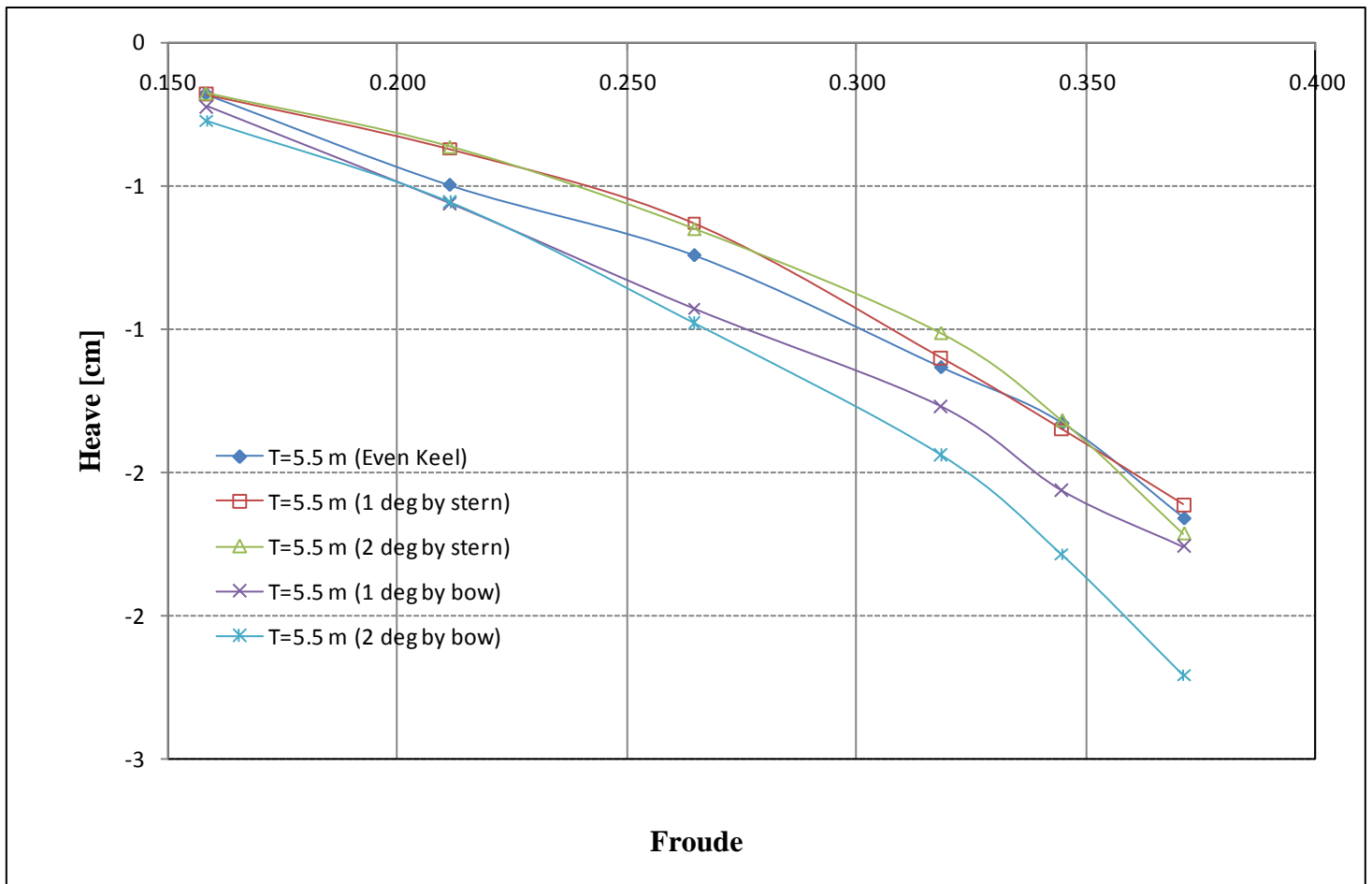
Αριθμός Froude					Dynamic Trim [deg]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.158	0.157	0.158	0.167	0.167	0.050	-0.018	-0.038	-0.002	0.007
0.212	0.211	0.212	0.223	0.223	0.106	-0.009	-0.065	-0.007	0.009
0.265	0.264	0.265	0.279	0.280	0.178	0.025	-0.096	-0.007	-0.047
0.318	0.318	0.319	0.335	0.336	0.192	-0.009	-0.179	0.011	-0.318
0.345	0.344	0.345	0.363	0.367	0.196	-0.045	-0.285	0.027	-0.268
0.371	0.370	0.372	0.393	0.392	0.077	-0.215	-0.498	-0.072	-0.349

Διάγραμμα Total Trim για το μοντέλο



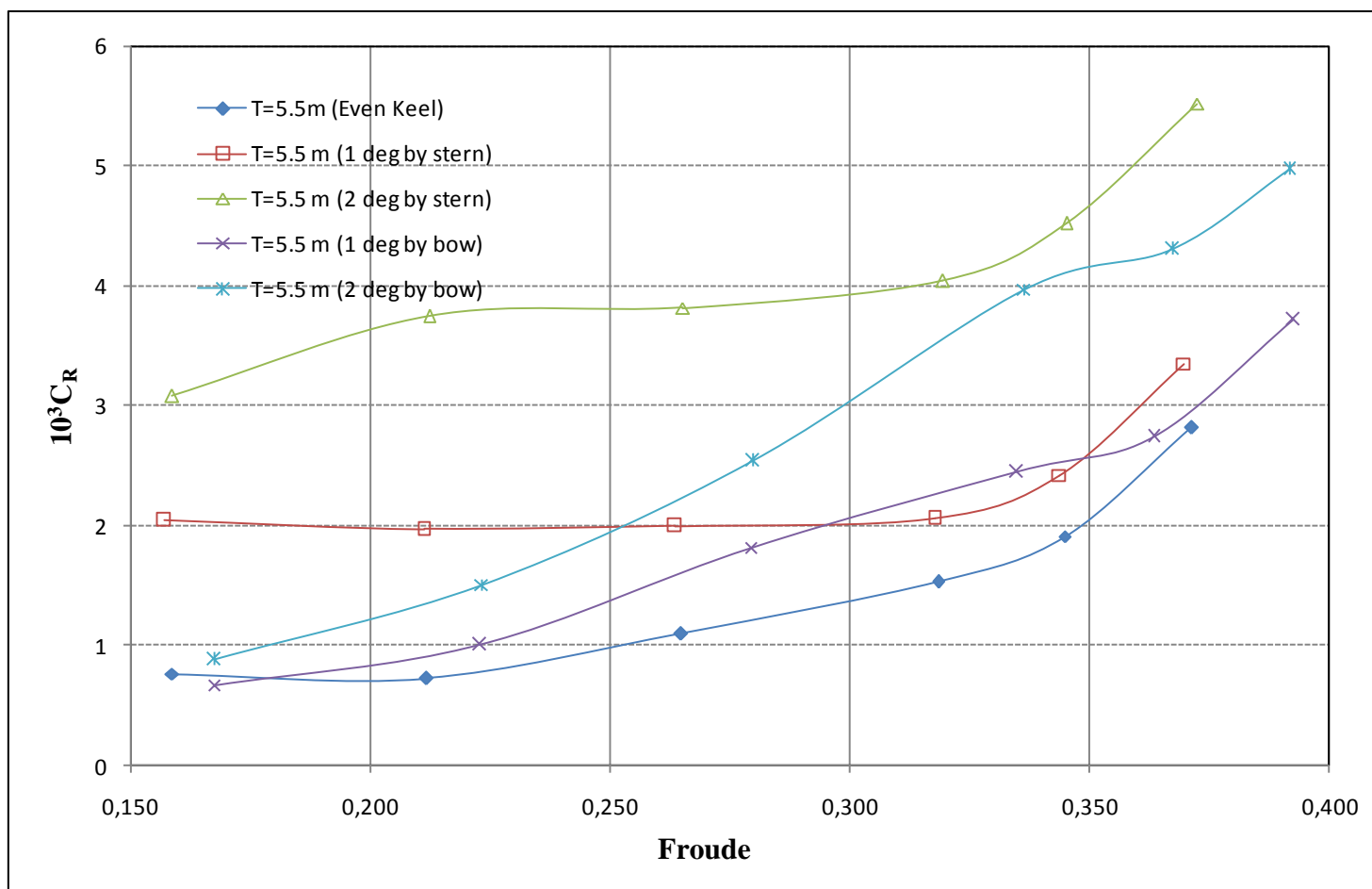
Αριθμός Froude					Total Trim [deg]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.158	0.157	0.158	0.167	0.167	0.050	-1.023	-2.075	0.993	1.559
0.212	0.211	0.212	0.223	0.223	0.106	-1.003	-2.102	0.991	2.053
0.265	0.264	0.265	0.279	0.280	0.178	-0.983	-2.131	0.982	1.959
0.318	0.318	0.319	0.335	0.336	0.192	-1.017	-2.216	1.006	1.574
0.345	0.344	0.345	0.363	0.367	0.196	-1.046	-2.321	1.026	1.416
0.371	0.370	0.372	0.393	0.392	0.077	-1.198	-2.546	0.921	1.261

Διάγραμμα Heave για το μοντέλο



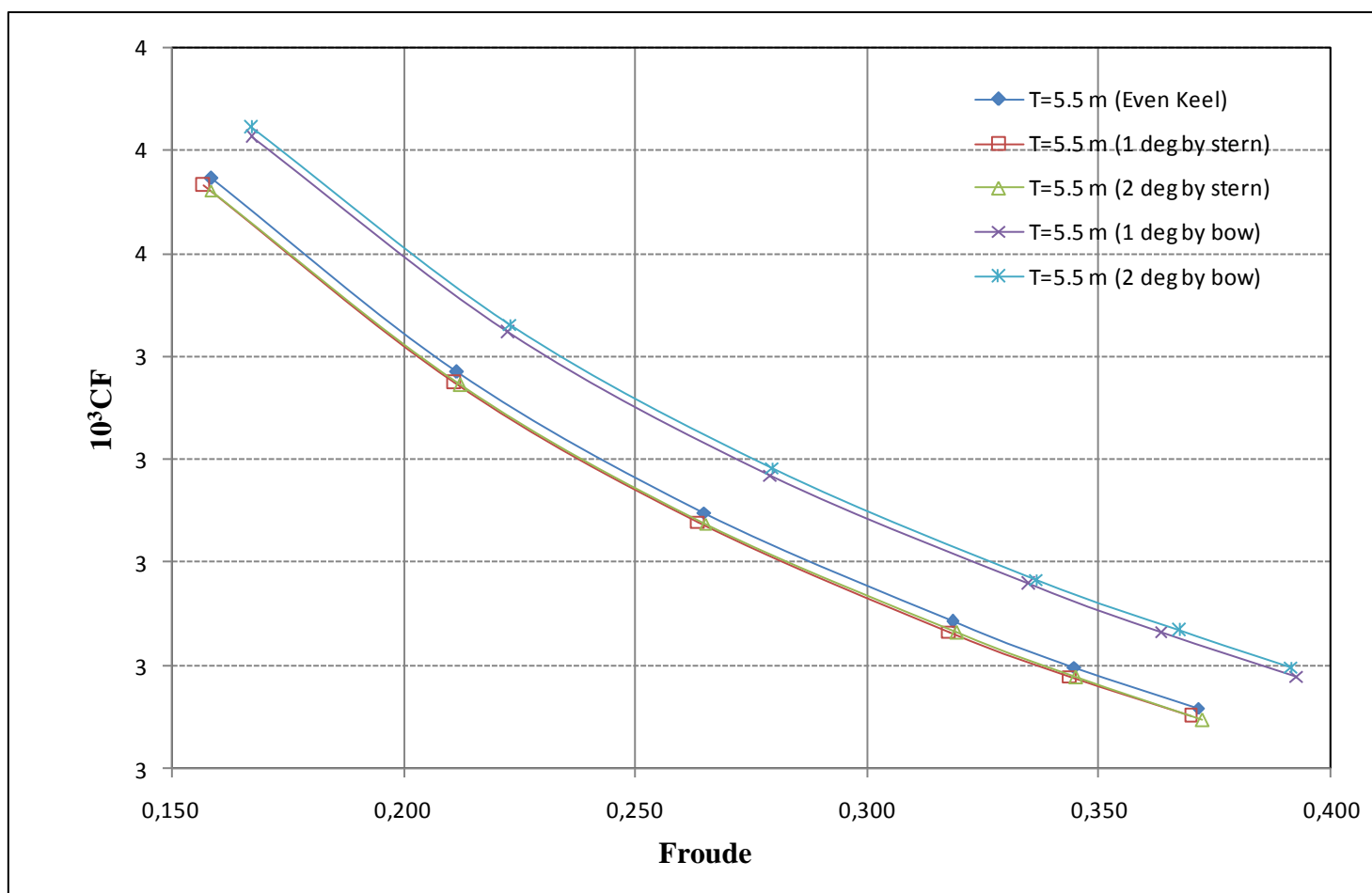
Αριθμός Froude					Heave [cm]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.158	0.157	0.158	0.167	0.167	0.050	-1.023	-2.075	0.993	1.559
0.212	0.211	0.212	0.223	0.223	0.106	-1.003	-2.102	0.991	2.053
0.265	0.264	0.265	0.279	0.280	0.178	-0.983	-2.131	0.982	1.959
0.318	0.318	0.319	0.335	0.336	0.192	-1.017	-2.216	1.006	1.574
0.345	0.344	0.345	0.363	0.367	0.196	-1.046	-2.321	1.026	1.416
0.371	0.370	0.372	0.393	0.392	0.077	-1.198	-2.546	0.921	1.261

Διάγραμμα Συντελεστή C_R για το μοντέλο



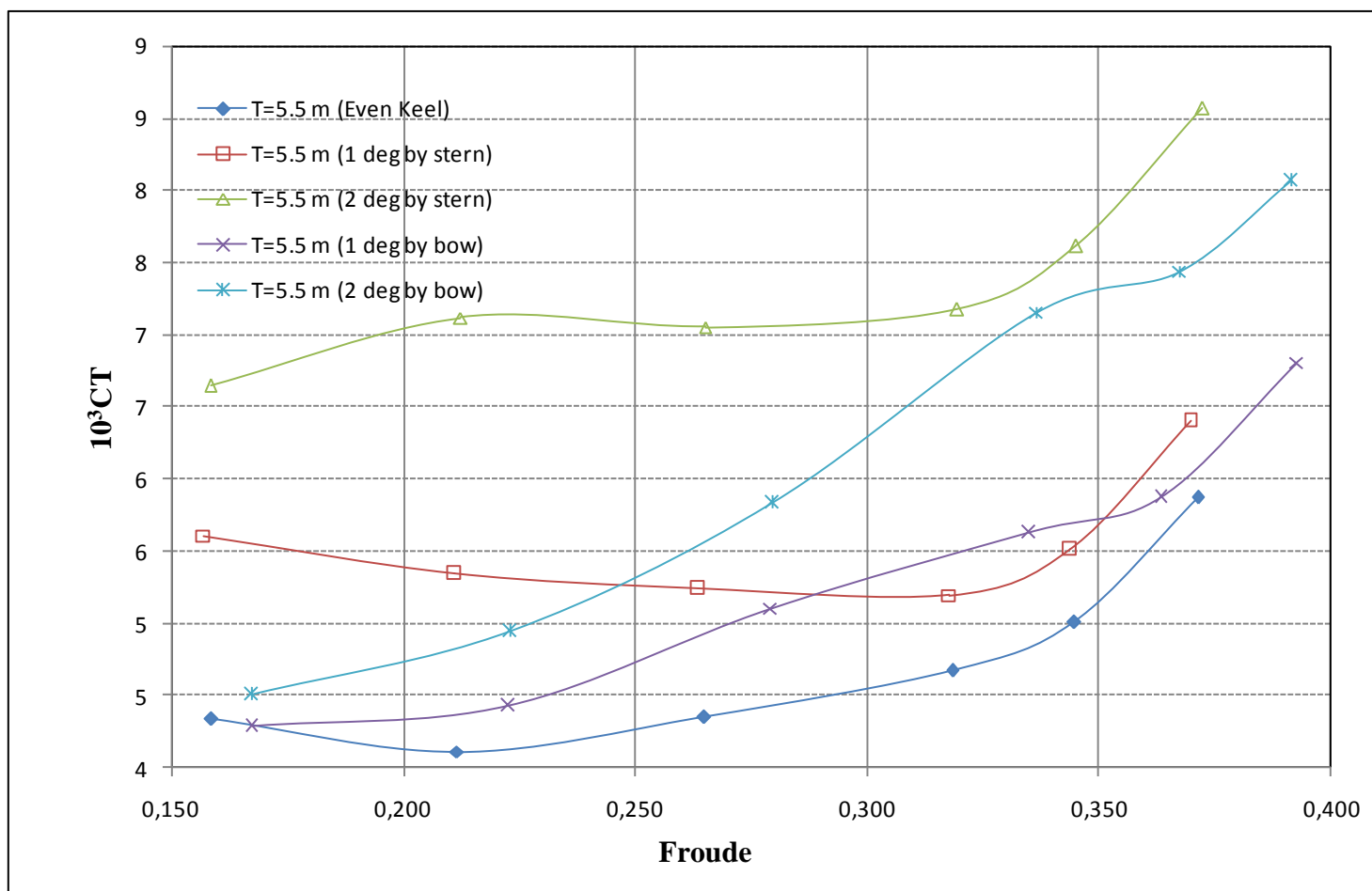
Αριθμός Froude					Συντελεστής C_R				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.158	0.157	0.158	0.167	0.167	0,765	1,696	2,298	0,714	0,958
0.212	0.211	0.212	0.223	0.223	0,727	1,637	2,765	1,072	1,622
0.265	0.264	0.265	0.279	0.280	1,100	1,686	2,944	1,849	2,685
0.318	0.318	0.319	0.335	0.336	1,531	1,735	2,996	2,520	4,192
0.345	0.344	0.345	0.363	0.367	1,913	2,077	3,4	2,798	4,463
0.371	0.370	0.372	0.393	0.392	2,818	2,953	4,242	3,835	5,114

Διάγραμμα Συντελεστή C_F για το μοντέλο



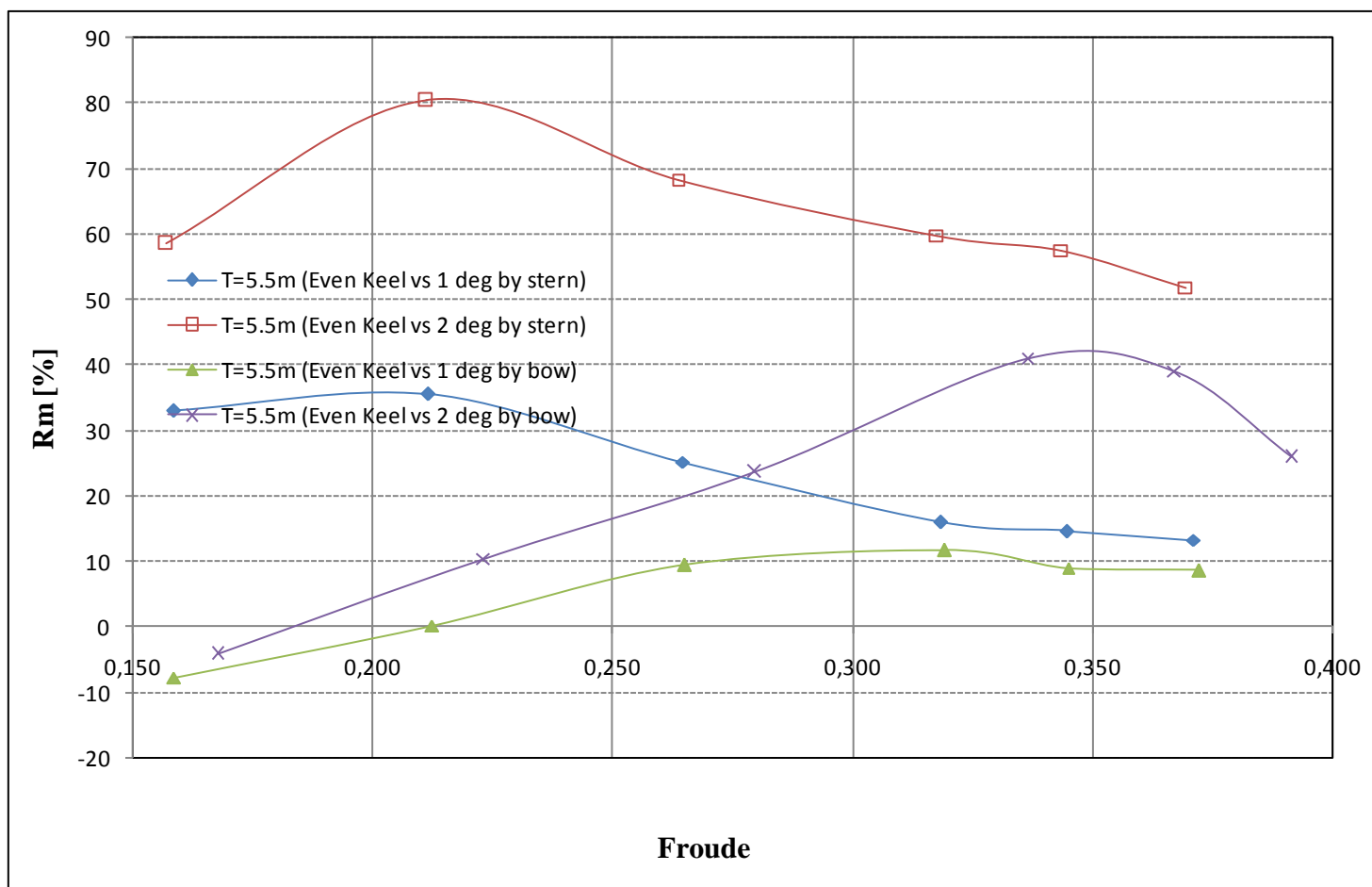
Αριθμός Froude					Συντελεστής C_F				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.158	0.157	0.158	0.167	0.167	3,573	3,566	3,561	3,613	3,622
0.212	0.211	0.212	0.223	0.223	3,385	3,374	3,372	3,423	3,431
0.265	0.264	0.265	0.279	0.280	3,249	3,240	3,238	3,285	3,292
0.318	0.318	0.319	0.335	0.336	3,143	3,133	3,132	3,179	3,184
0.345	0.344	0.345	0.363	0.367	3,099	3,090	3,089	3,133	3,134
0.371	0.370	0.372	0.393	0.392	3,059	3,051	3,048	3,090	3,099

Διάγραμμα Συντελεστή C_T για το μοντέλο



Αριθμός Froude					Συντελεστής C_T				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.158	0.157	0.158	0.167	0.167	4,338	5,261	5,859	4,327	4,579
0.212	0.211	0.212	0.223	0.223	4,112	5,011	6,137	4,495	5,054
0.265	0.264	0.265	0.279	0.280	4,349	4,925	6,183	5,134	5,977
0.318	0.318	0.319	0.335	0.336	4,674	4,869	6,129	5,698	7,376
0.345	0.344	0.345	0.363	0.367	5,012	5,167	6,490	5,931	7,597
0.371	0.370	0.372	0.393	0.392	5,877	6,004	7,291	6,925	8,213

Διάγραμμα Διαφορών Αντίστασης για το μοντέλο

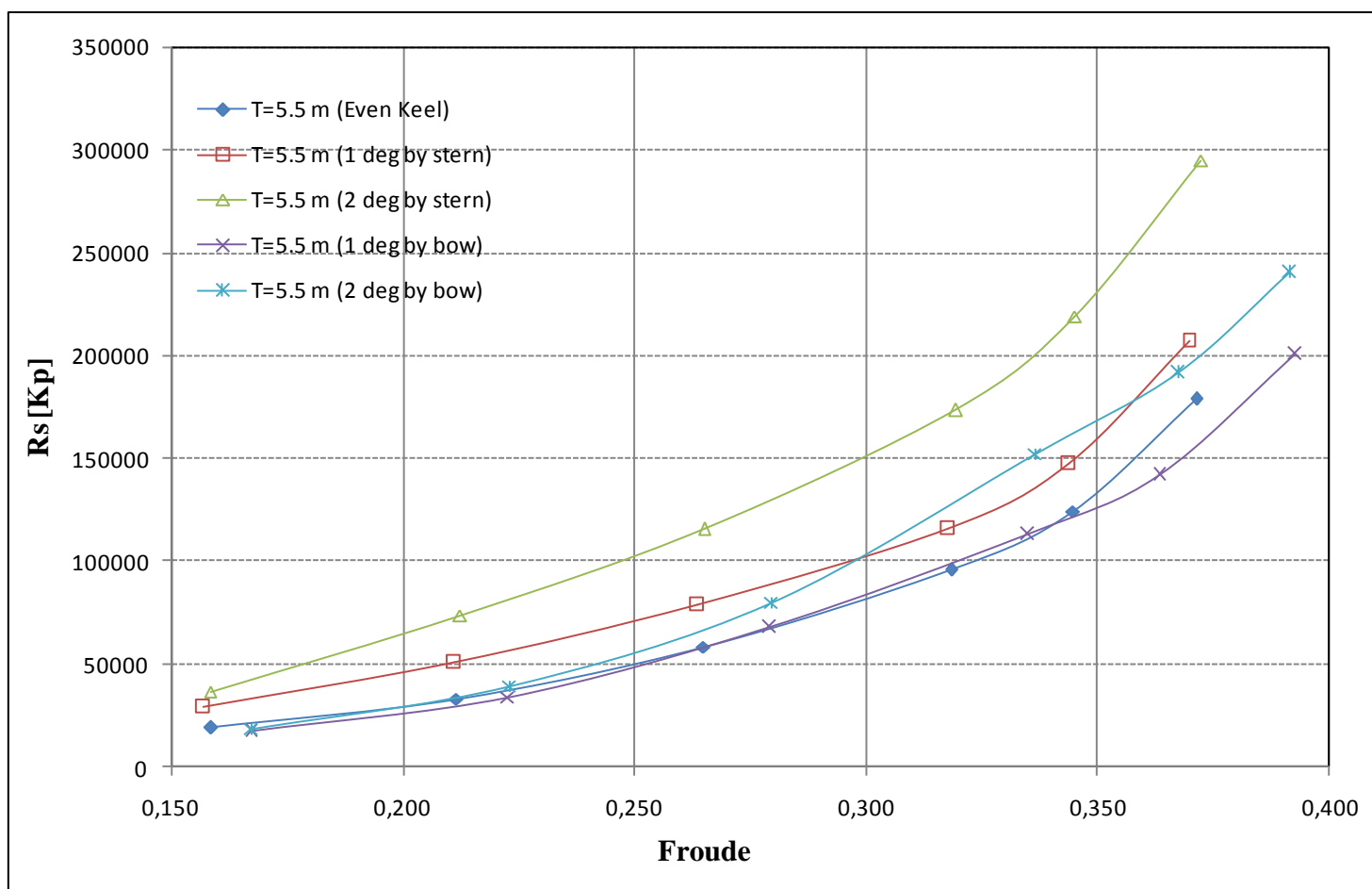


Αριθμός Froude					Αντίσταση [kp]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.158	0.157	0.158	0.167	0.167	37,78	61,50	-7,92	-0,82	37,78
0.212	0.211	0.212	0.223	0.223	40,18	84,55	5,70	23,55	40,18
0.265	0.264	0.265	0.279	0.280	24,34	68,16	17,10	41,71	24,34
0.318	0.318	0.319	0.335	0.336	10,61	49,33	20,32	65,18	10,61
0.345	0.344	0.345	0.363	0.367	8,75	44,98	15,40	57,85	8,75
0.371	0.370	0.372	0.393	0.392	6,96	36,20	14,60	37,51	6,96

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το πραγματικό

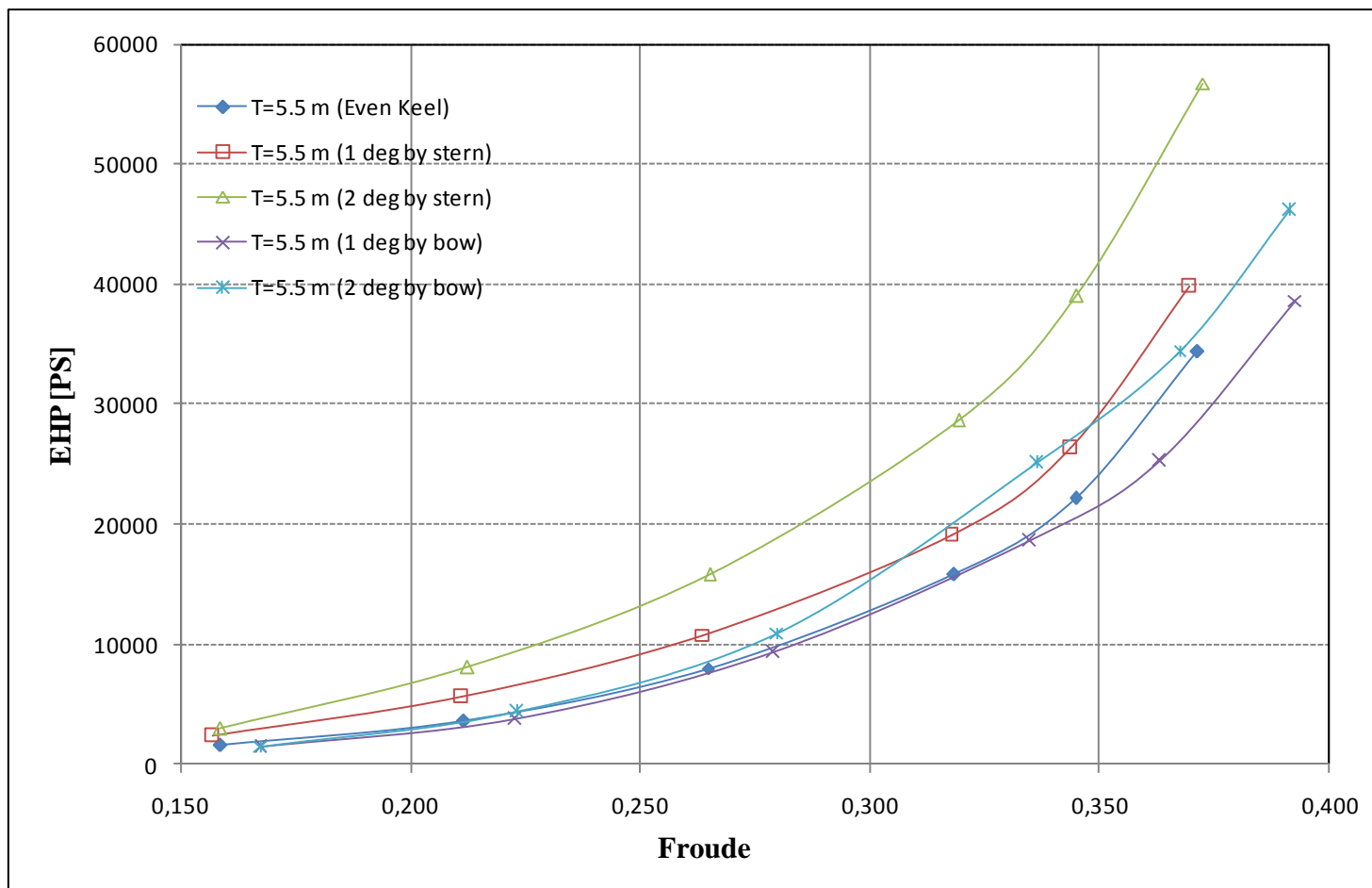
Χαρακτηριστικά Σκάφους	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών				
			A1	A2	A3	A4	A5
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	153.650	154.805	153.090	138.005	137.550
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	154.805	154.805	154.805	143.500	142.135
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	22.600	22.600	22.600	22.600	22.600
Μέσο βύθισμα	T_M	m	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Trim	trim	deg					
Εκτόπισμα	Δ	mt	127.40	132.50	132.41	10228.20	10199.63
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	3551.28	3693.38	3690.93	3313.63	3271.98
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.530	0.556	0.607	0.509	0.561
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.756	0.803	0.797	0.688	0.772
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.918	0.617	0.661	0.574	0.611

Διάγραμμα Αντίστασης για το πραγματικό



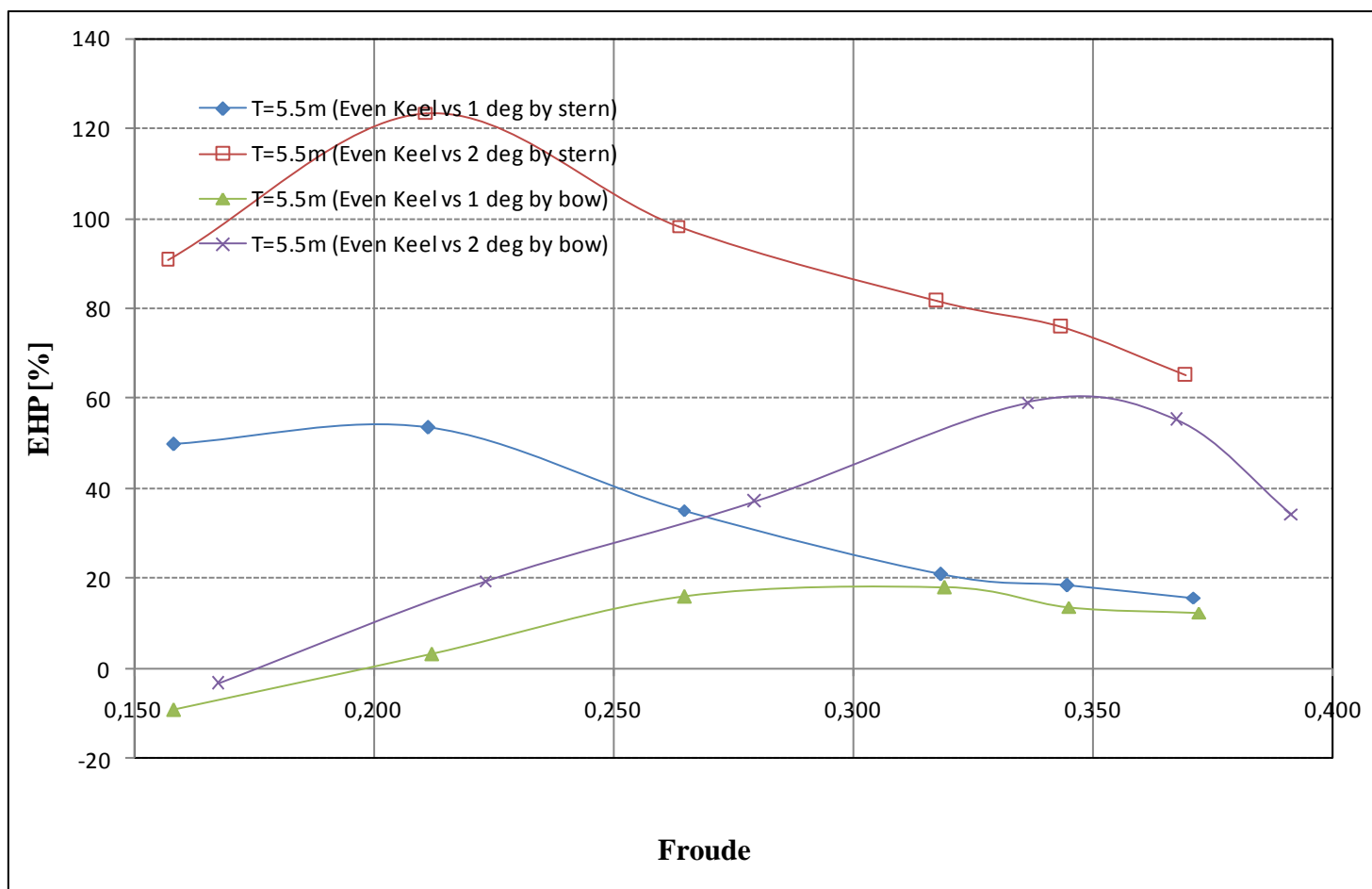
Αριθμός Froude					Αντίσταση [kp]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.158	0.157	0.158	0.167	0.167	19257	26532	31100	17732	19100
0.212	0.211	0.212	0.223	0.223	33123	46433	61127	35010	40925
0.265	0.264	0.265	0.279	0.280	58381	72590	98174	68362	82729
0.318	0.318	0.319	0.335	0.336	95754	105913	142994	115213	158171
0.345	0.344	0.345	0.363	0.367	124514	135410	180525	143693	196550
0.371	0.370	0.372	0.393	0.392	178824	191270	243567	204939	245906

Διάγραμμα EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude					EHP [PS]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow
0.158	0.157	0.158	0.167	0.167	1580	2164	2546	1455	1567
0.212	0.211	0.212	0.223	0.223	3627	5091	6702	3828	4474
0.265	0.264	0.265	0.279	0.280	7999	9940	13444	9361	11335
0.318	0.318	0.319	0.335	0.336	15779	17478	23585	18931	26064
0.345	0.344	0.345	0.363	0.367	22217	24182	32182	25605	35365
0.371	0.370	0.372	0.393	0.392	34362	36738	46860	39477	47155

Διάγραμμα Διαφορών EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude					Διαφορές Ισχύος			
A1	A2	A3	A4	A5	A2-A1	A3-A1	A4-A1	A5-A1
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=2.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	t=2.0 deg by bow				
0.158	0.157	0.158	0.167	0.167	36,98	61,19	-7,92	-0,82
0.212	0.211	0.212	0.223	0.223	40,39	84,81	5,54	23,38
0.265	0.264	0.265	0.279	0.280	24,27	68,06	17,03	41,71
0.318	0.318	0.319	0.335	0.336	10,77	49,48	19,98	65,18
0.345	0.344	0.345	0.363	0.367	8,85	44,86	15,25	59,18
0.371	0.370	0.372	0.393	0.392	6,92	36,37	14,89	37,23

Συμπεράσματα – Σχόλια

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων αξίζει να σημειωθεί ότι τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε πολλές διαφορετικές καταστάσεις κατά τις οποίες παρατηρούνταν βύθιση ή μη του βολβού και βύθιση ή μη της πρύμνης, ή και τα δύο. Οι διαφορετικές συνθήκες που συναντήθηκαν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Κατάσταση	Πρύμνη (βύθιση καθρέπτη)	Πλώρη (βύθιση βολβού)
Even Keel - T=4.0 m	Όχι	Όχι
1 deg by stern - T=4.0 m	Ναι	Όχι
2 deg by stern - T=4.0 m	Ναι	Όχι
1 deg by bow - T=4.0 m	Όχι	Όχι
2 deg by bow - T=4.0 m	Όχι	Ναι
Even Keel - T=4.5 m	Όχι	Όχι
1 deg by stern - T=4.5 m	Ναι	Όχι
2 deg by stern - T=4.5 m	Ναι	Όχι
1 deg by bow - T=4.5 m	Όχι	Ναι
2 deg by bow - T=4.5 m	Όχι	Ναι
Even Keel - T=5.5 m	Ναι	Όχι
1 deg by stern - T=5.5 m	Ναι	Όχι
2 deg by stern - T=5.5 m	Ναι	Όχι
1 deg by bow - T=5.5 m	Όχι	Ναι
2 deg by bow - T=5.5 m	Όχι	Ναι

Σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα από τα πειράματα αλλά και από τα παραπάνω δεδομένα έχουμε να πούμε τα εξής

Για το βύθισμα $T = 4.0 \text{ m}$, παρατηρούμε ότι η αντίσταση για $Fr \leq 0.28$ εμφανίζεται μικρότερη στις εμπροχές καταστάσεις από ότι στην ισοβύθιστη και στις έμπρυμνες. Αυτό οφείλεται ίσως στο γεγονός ότι στις δύο αυτές εμπροχές καταστάσεις έχουμε αφενός μείωση της βρεχόμενης επιφάνειας που συνεπάγεται μείωση της αντίστασης τριβής, η οποία είναι κυρίαρχη στις χαμηλές ταχύτητες και αφετέρου βύθιση του βολβού – καλύτερη λειτουργία του – και ανάδυση του καθρέπτη – η βύθιση του οποίου συμβάλλει αρνητικά στην αντίσταση λόγω πιθανής αποκόλλησης της ροής - . Για $Fr \geq 0.28$ η αντίσταση στις εμπροχές καταστάσεις αυξάνει ραγδαία γεγονός που οφείλεται στην αύξηση της αντίστασης κυματισμού –

όπως φαίνεται και από το διάγραμμα υπόλοιπης αντίστασης. Αυτό πιθανώς οφείλεται αφενός στο μικρότερο μήκος ισάλου πλεύσεως στις έμπρωρες καταστάσεις και αφετέρου στο γεγονός ότι η σημαντική δυναμική διαγωγή που εμφανίζεται τείνει να κάνει την ίσαλο πλεύσης λιγότερο λεπτόγραμμη από ότι στην κατάσταση ηρεμίας – αύξηση της αντίστασης μορφής - και οδηγεί σε ανάδυση του βολβού – αρνητική επίδραση στην αντίσταση - . Όσον αφορά τις έμπρυμνες καταστάσεις παρατηρούμε ότι για δύο μοίρες η αντίσταση αυξάνεται ραγδαία. Από την άλλη για την μία μοίρα έμπρυμνη διαγωγή, παρατηρούμε ευνοϊκή επίδραση απέναντι στην αντίσταση (μειωμένη υπόλοιπη αντίσταση).

Για το βύθισμα $T = 4.5 \text{ m}$, παρατηρούμε ότι οι έμπρωρες καταστάσεις παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά, αλλά για $Fr \leq 0.22$. Ωστόσο καθώς, ο αριθμός Froude αυξάνεται, η αντίσταση αυξάνεται συνεχώς και γίνεται μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της ισοβύθιστης κατάστασης. Επιπλέον και σε αυτή την κατάσταση η έμπρυμνη διαγωγή των δύο μοιρών εμφανίζει την χειρότερη συμπεριφορά δεδομένου ότι έχουμε βύθιση του καθρέπτη και ανάδυση του βολβού. Τέλος η κατάσταση με έμπρυμνη διαγωγή μία μοίρα, παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση από την ισοβύθιστη σε σχέση με το προηγούμενο βύθισμα.

Για το βύθισμα $T = 5,5 \text{ m}$, παρατηρούμε την ίδια εναλλαγή στα αποτελέσματα αλλά για $Fr \leq 0.20$. Αρχικά οι έμπρωρες εμφανίζουν καλύτερη συμπεριφορά από την ισοβύθιστη αλλά αργότερα τα πράγματα αντιστρέφονται. Αυτό πιθανώς οφείλεται σε παρουσία του βολβού πολύ κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια, και σε κατάσταση που δεν αντιστοιχεί σε αυτή για την οποία έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί. Επιπλέον σε αυτή την κατάσταση εκτός από τις έμπρυμνες, και η ισοβύθιστη παρουσιάζει βύθιση του καθρέπτη και ανάδυση του βολβού.

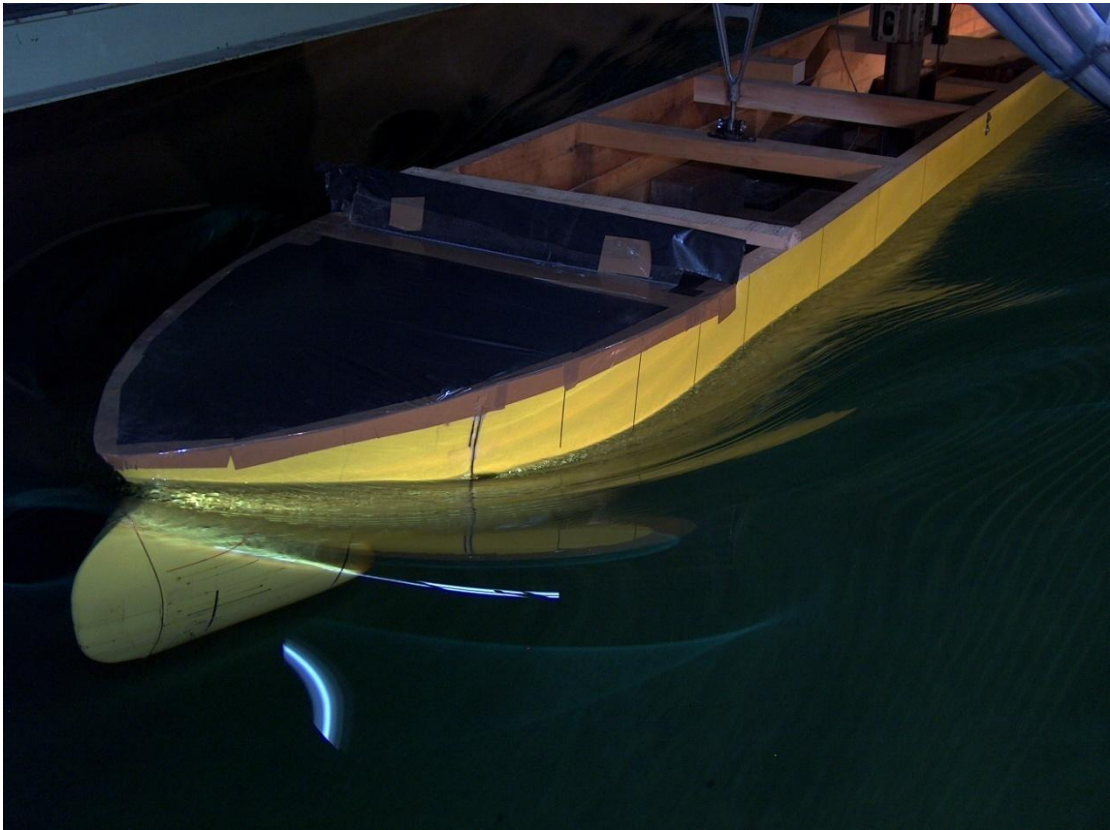
Γενικά αξίζει να σημειωθούν τα εξής.

- Για τους χαμηλούς αριθμούς Froude, όπου η αντίσταση τριβής είναι σημαντική, οι έμπρωρες καταστάσεις παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά, λόγω μικρότερης βρεχόμενης επιφάνειας αλλά και επειδή παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση του εκτοπίσματος στην πλώρη, λόγω του βυθισμένου βολβού.. Στους υψηλότερους αριθμούς Froude, όπου κυριαρχεί η αντίσταση κυματισμού, η ισοβύθιστη κατάσταση παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά σε σχέση με τις έμπρωρες, λόγω μεγαλύτερης ισάλου.

- Η βύθιση της πρύμνης καθρέπτη επιδρά αρνητικά στην αντίσταση κυματισμού λόγω πιθανής αποκόλλησης.
- Η αντίσταση πιθανώς να επηρεάζεται αρνητικά και να αυξάνεται λόγω της παράλληλης βύθισης στις μεγάλες ταχύτητες.
- Η ανάδυση του βολβού οδηγεί σε σημαντική αύξηση στην αντίσταση κυματισμού.
- Στην περίπτωση των έμπρυμων καταστάσεων των δύο μοιρών έχουμε ανάδυση τμήματος της πλώρης, γεγονός που κάνει την ίσαλο μπροστά και πίσξ λιγότερο λεπτόγραμμο, οπότε οδηγεί σε αύξηση της αντίστασης (μορφή).
- Η δυναμική διαγωγή είναι έμπρυμη στις περισσότερες περιπτώσεις και στις μεγαλύτερες ταχύτητες αποκτά μεγάλες τιμές, αλλάζοντας τη μορφή της ισάλου πλεύσης και κάνοντάς την λιγότερο λεπτόγραμμη, οδηγώντας σε μικρότερη αντίσταση κυματισμού.
- Η αύξηση του εκτοπίσματος από την μία κατάσταση στην άλλη προκαλεί μείωση στις τιμές της δυναμικής διαγωγής.
- Για τις περισσότερες περιπτώσεις, τα βυθίσματα ήταν τέτοια που θα οδηγούσαν σε ανάδυση της έλικας (σε περίπτωση που υπήρχε). Αυτό όμως που μας ενδιαφέρει είναι κυρίως η επίδραση λόγω των μεταβολών της μορφής της γάστρας.
- Στις μεγάλες ταχύτητες οι τιμές της αντίστασης για τις έμπρωρες καταστάσεις παρουσιάζονται υψηλές, πιθανότατα επειδή η μύτη του μοντέλου ερχόταν πολύ κοντά στην επιφάνεια του νερού.
- Η λειτουργία του βολβού σε καταστάσεις για τις οποίες δεν έχει σχεδιαστεί, όπως ανάδυση του, επηρεάζει σημαντικά την αντίσταση.

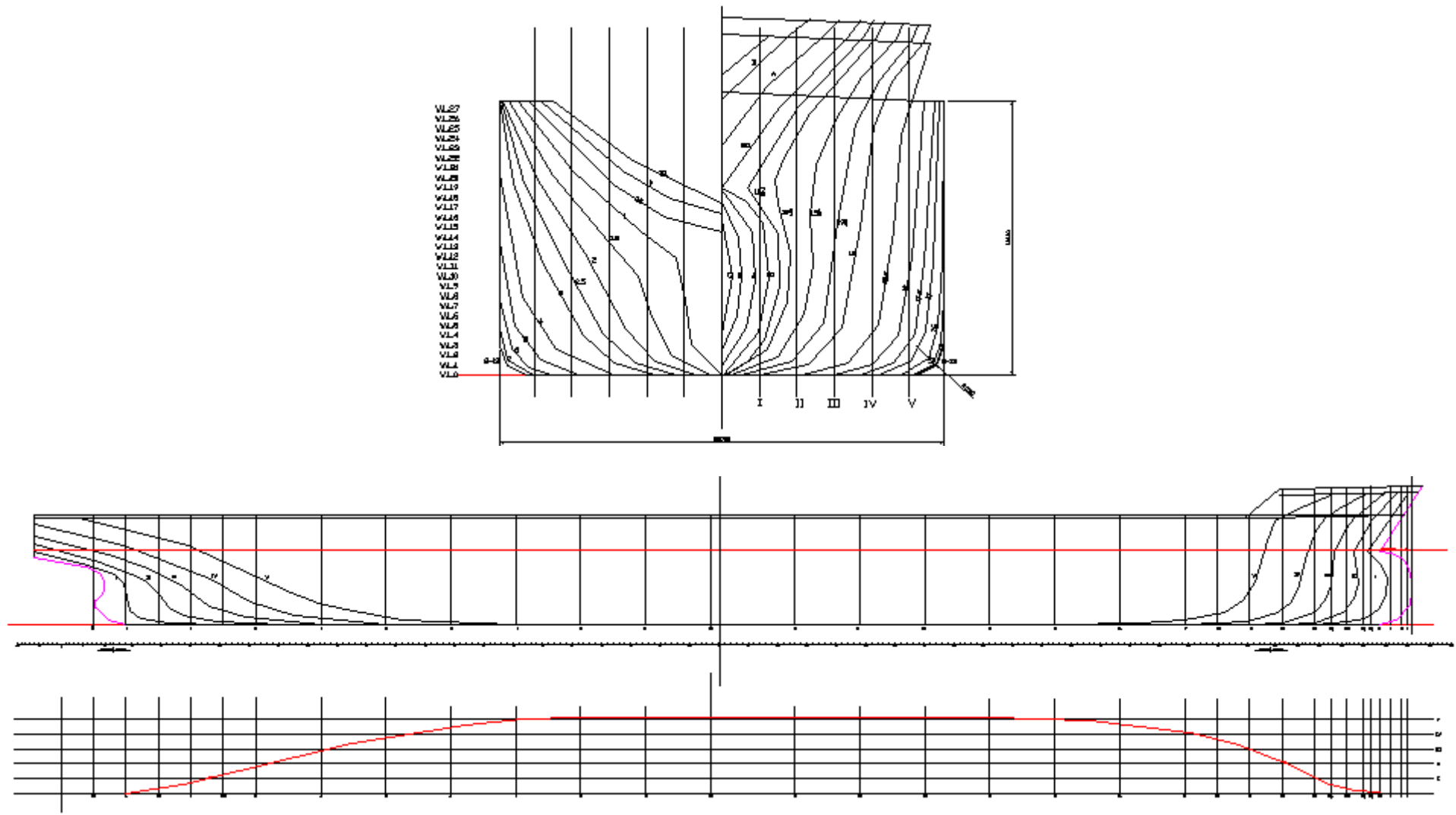
2^ο Μοντέλο – BULK CARRIER HURON

Η δεύτερη γάστρα που δοκιμάστηκε, ανήκει σε ένα bulk carrier. Το μήκος του μοντέλου αυτού ήταν 5.11 m και η κλίμακα 1/35. Για το μοντέλο, αυτό έγιναν δοκιμές σε 2 διαφορετικά βυθίσματα που αντιστοιχούσαν σε δύο καταστάσεις φόρτωσης: στην Full Load και στην Heavy Ballast . Στην Heavy Ballast έγιναν 4 καταστάσεις (η ισοβύθιστη, μία έμπρυμη και δύο έμπρωρες) και για κάθε κατάσταση έγιναν πειράματα σε 6 ταχύτητες. Στόχος ήταν να διερευνηθεί η συμπεριφορά του σκάφους σε διαγωγές σε σχέση με την ισοβύθιστη κατάσταση. Στη συνέχεια παρατίθενται το σχέδιο νομέων και τα αποτελέσματα των πειραμάτων.



Εικόνα : το Μοντέλο του Bulk Carrier κατά τη διάρκεια των πειραμάτων

Επίδραση της Διαγωγής (Trim) στην Αντίσταση Διαφόρων Μοντέλων και Πλοίων

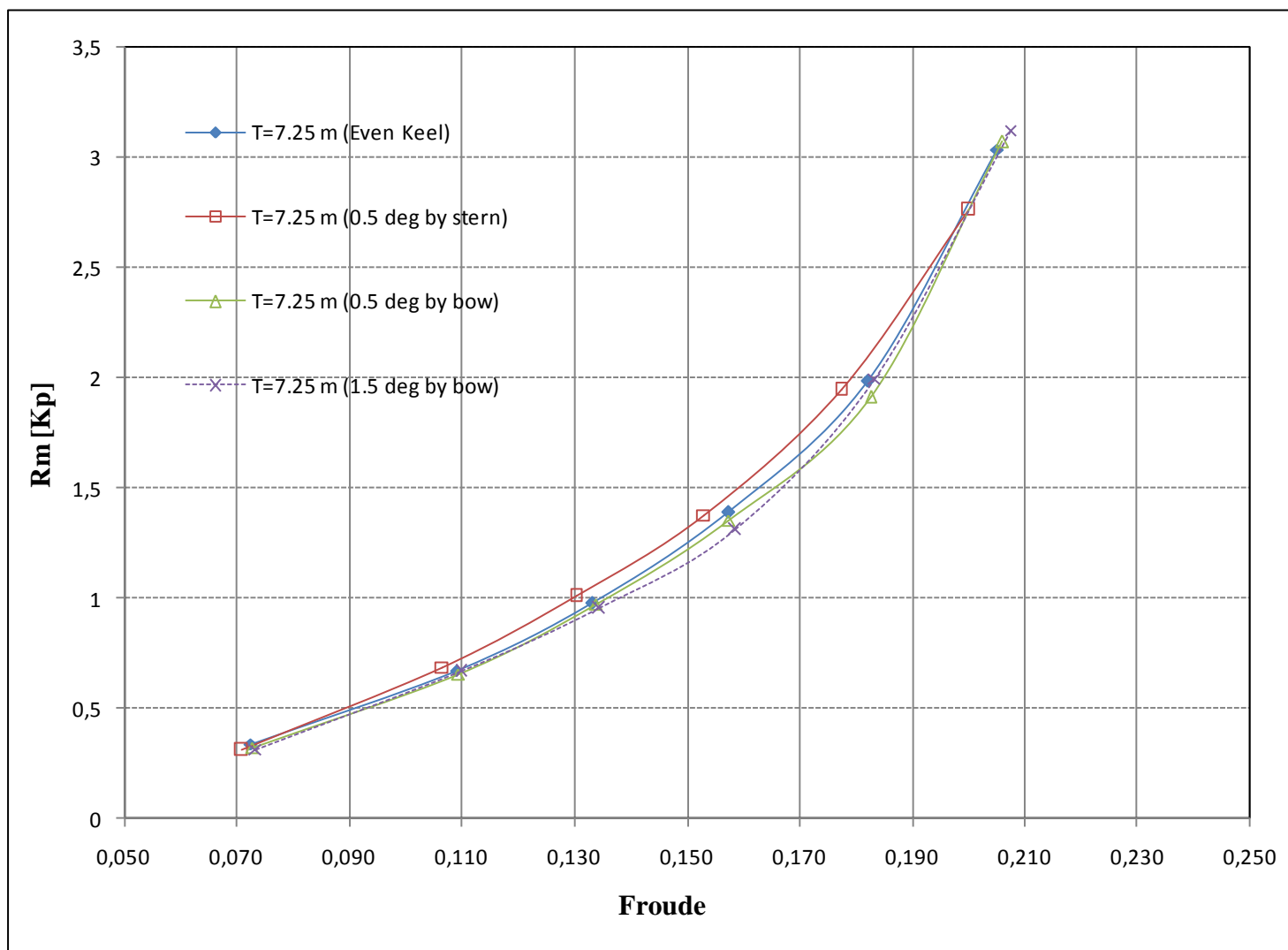


1^η κατάσταση δοκιμών – T = 7.25 m

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το μοντέλο

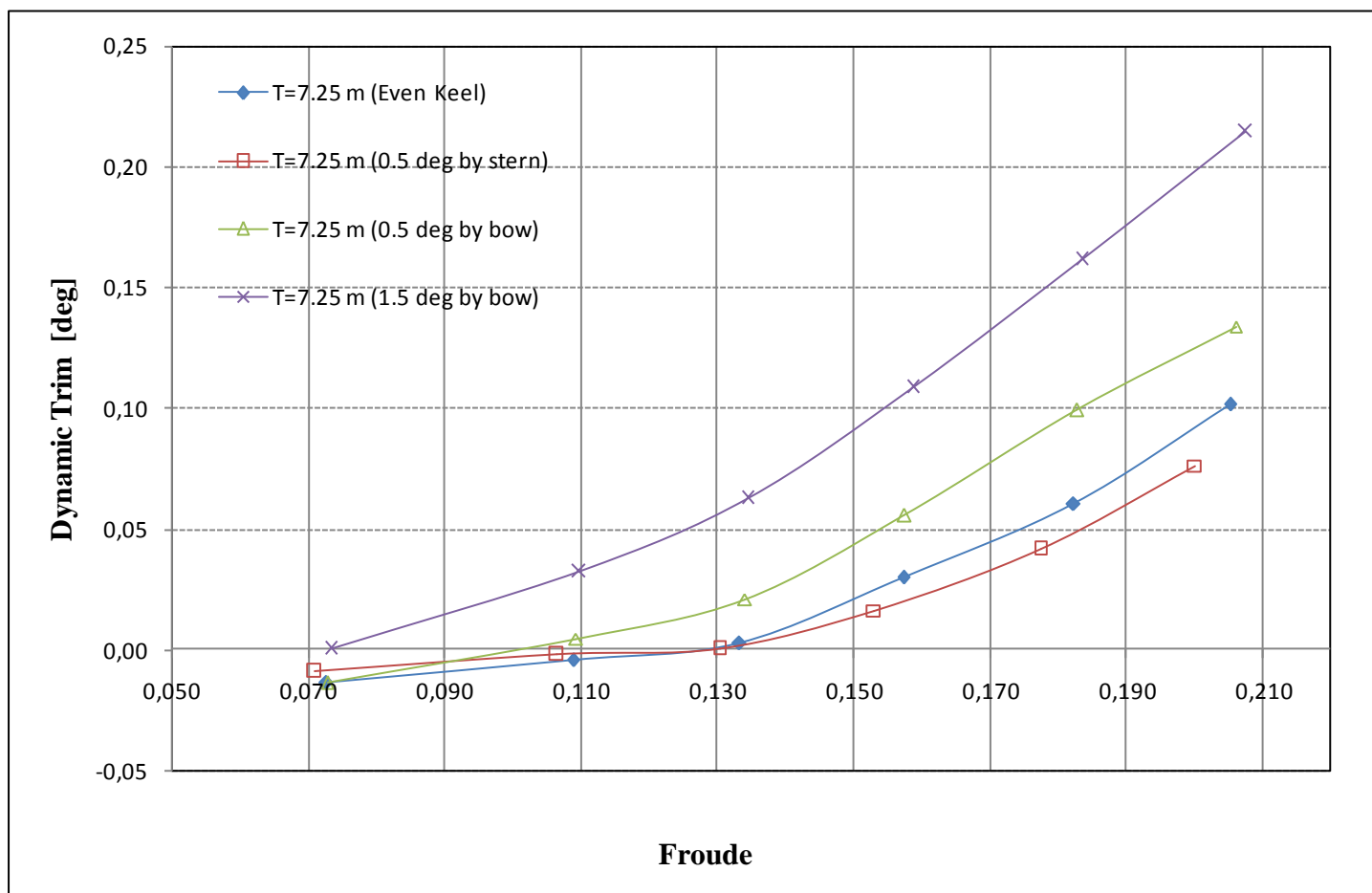
Χαρακτηριστικά Μοντέλου	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών			
			A1	A2	A3	A4
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	5.11	5.362	5.082	5.024
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	5.116	5.361	5.096	5.09
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	0.677	0.677	0.677	0.677
Μέσο βύθισμα	T_M	m	0.207	0.207	0.207	0.207
Trim	t	deg	0.000	-0.500	0.500	1.500
Εκτόπισμα	Δ	mt	589.42	556.84	592.46	599.32
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	4.669	4.677	4.676	4.696
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.820	0.808	0.824	0.834
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.872	0.872	0.872	0.872
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.825	0.813	0.829	0.839

Διάγραμμα Αντίστασης για το μοντέλο



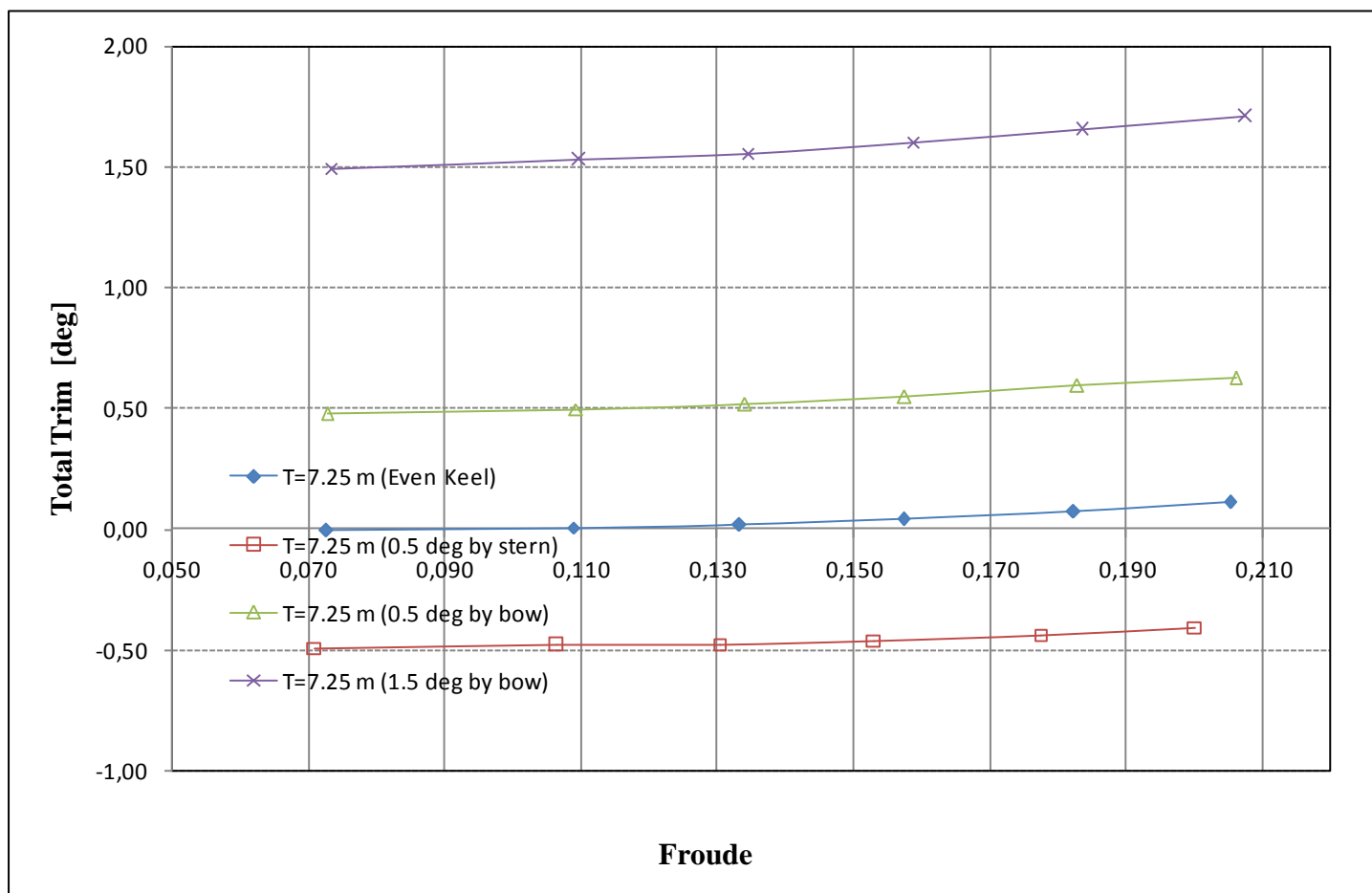
Αριθμός Froude				Αντίσταση [kp]			
A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow
0.073	0.071	0.073	0.073	0.338	0.309	0.324	0.314
0.109	0.107	0.109	0.110	0.673	0.689	0.657	0.668
0.133	0.130	0.134	0.134	0.979	1.011	0.973	0.955
0.157	0.153	0.157	0.159	1.391	1.378	1.354	1.309
0.182	0.177	0.183	0.183	1.984	1.947	1.915	1.997
0.205	0.200	0.206	0.208	3.037	2.763	3.072	3.125

Διάγραμμα Dynamic Trim για το μοντέλο



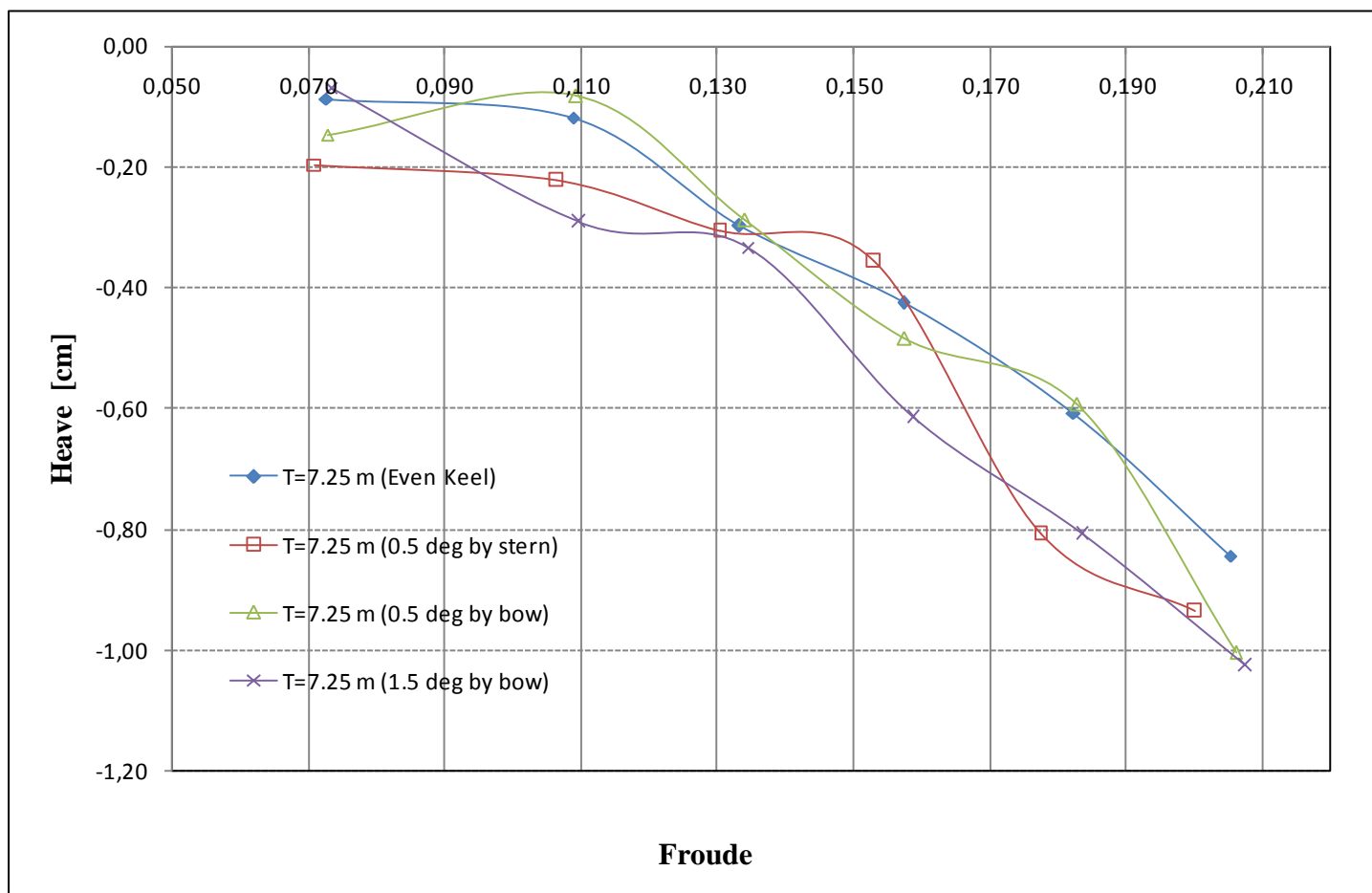
Αριθμός Froude				Dynamic Trim [deg]			
A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow
0.073	0.071	0.073	0.073	-0.014	-0.009	-0.014	0.000
0.109	0.107	0.109	0.110	-0.005	-0.002	0.005	0.032
0.133	0.130	0.134	0.134	0.002	0.000	0.021	0.062
0.157	0.153	0.157	0.159	0.030	0.016	0.055	0.109
0.182	0.177	0.183	0.183	0.060	0.042	0.099	0.162
0.205	0.200	0.206	0.208	0.102	0.076	0.134	0.215

Διάγραμμα Total Trim για το μοντέλο



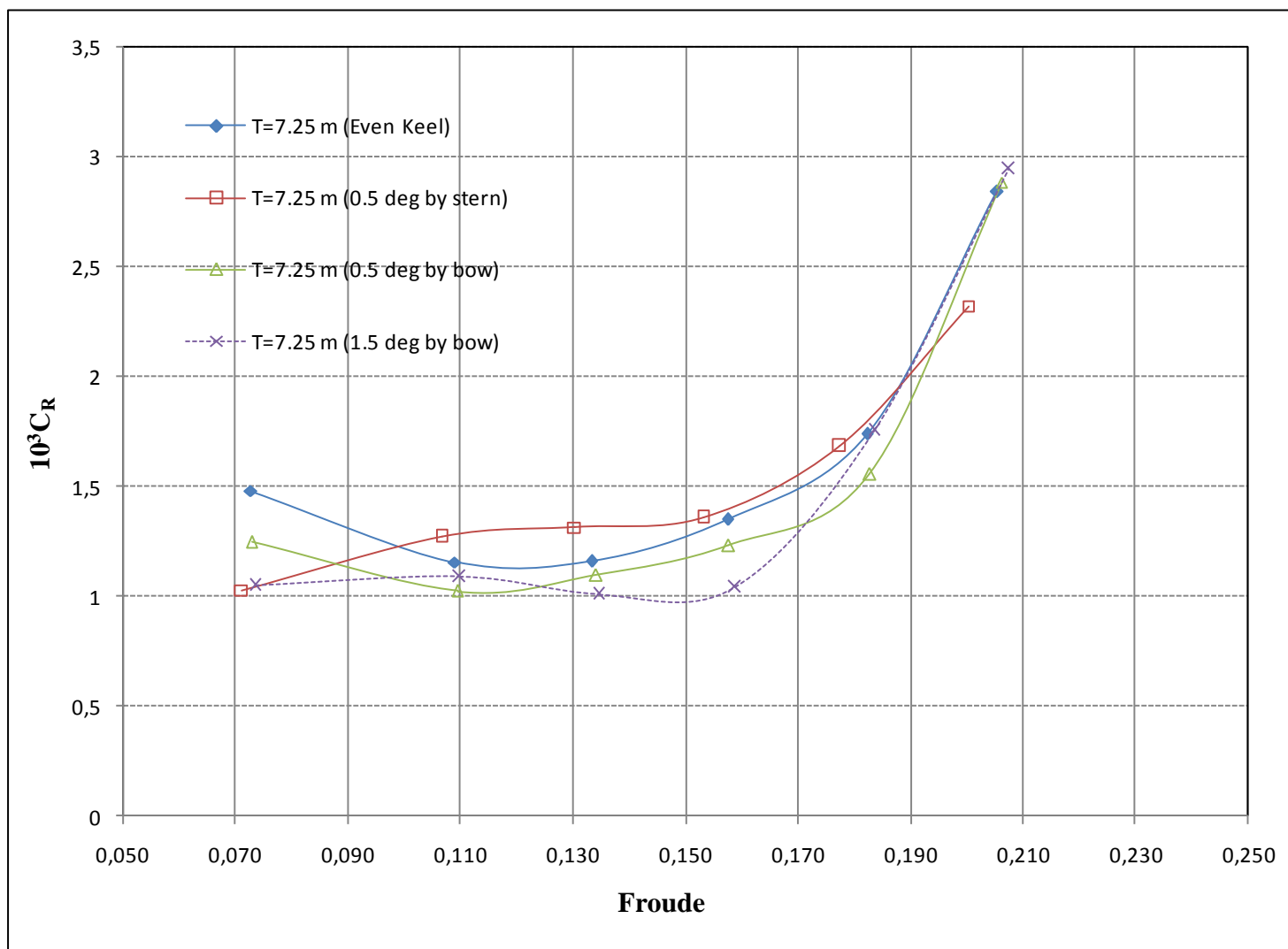
Αριθμός Froude				Total Trim [deg]			
A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow
0.073	0.071	0.073	0.073	-0.006	-0.493	0.479	1.494
0.109	0.107	0.109	0.110	0.005	-0.484	0.497	1.527
0.133	0.130	0.134	0.134	0.015	-0.479	0.513	1.557
0.157	0.153	0.157	0.159	0.042	-0.463	0.548	1.603
0.182	0.177	0.183	0.183	0.070	-0.440	0.592	1.656
0.205	0.200	0.206	0.208	0.109	-0.408	0.626	1.709

Διάγραμμα Heave για το μοντέλο



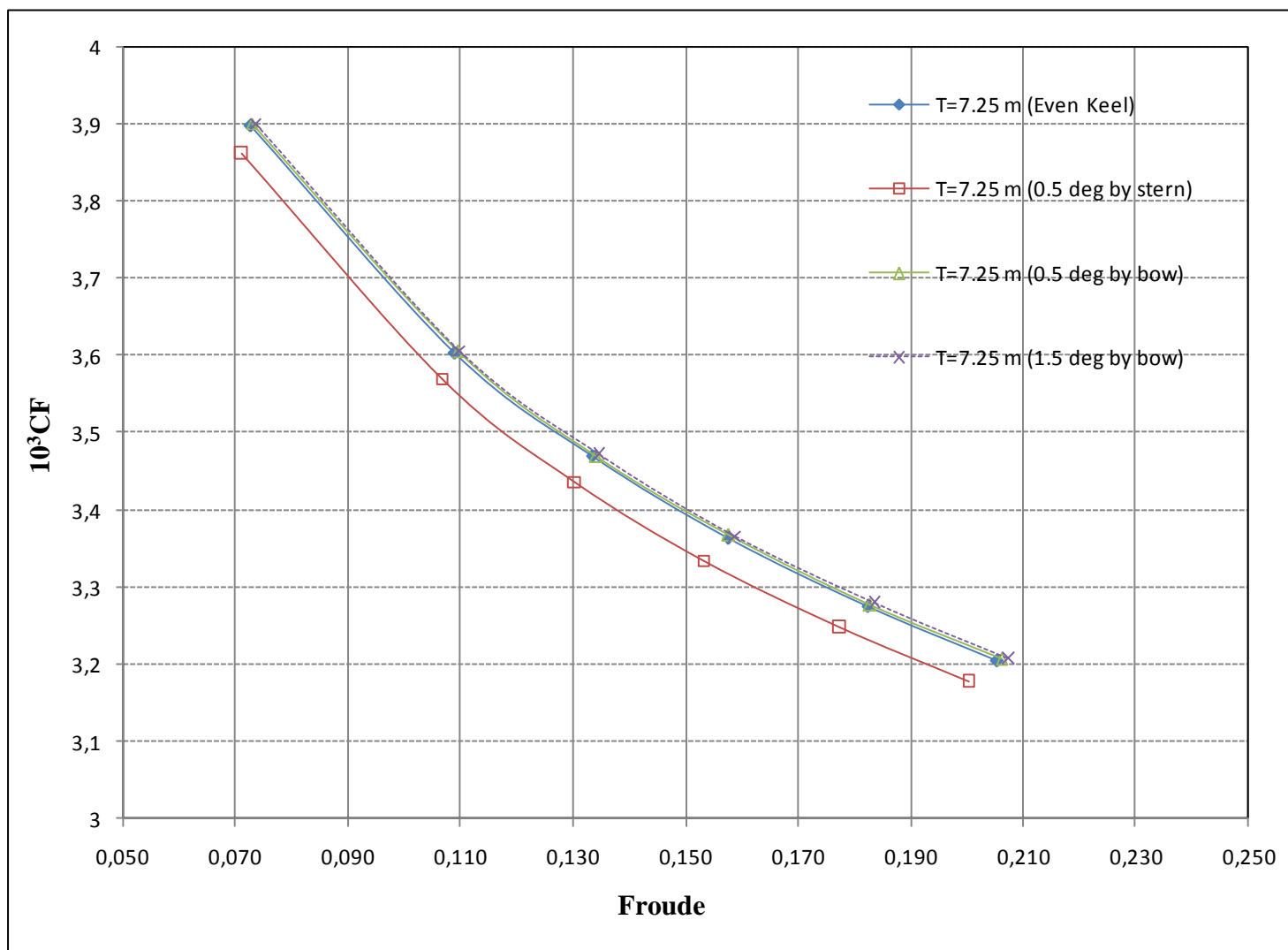
Αριθμός Froude				Heave [cm]			
A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow
0.073	0.071	0.073	0.073	-0.087	-0.196	-0.146	-0.069
0.109	0.107	0.109	0.110	-0.119	-0.224	-0.082	-0.292
0.133	0.130	0.134	0.134	-0.297	-0.306	-0.288	-0.333
0.157	0.153	0.157	0.159	-0.425	-0.356	-0.484	-0.617
0.182	0.177	0.183	0.183	-0.608	-0.809	-0.594	-0.809
0.205	0.200	0.206	0.208	-0.845	-0.937	-1.005	-1.028

Διάγραμμα Συντελεστή C_R για το μοντέλο



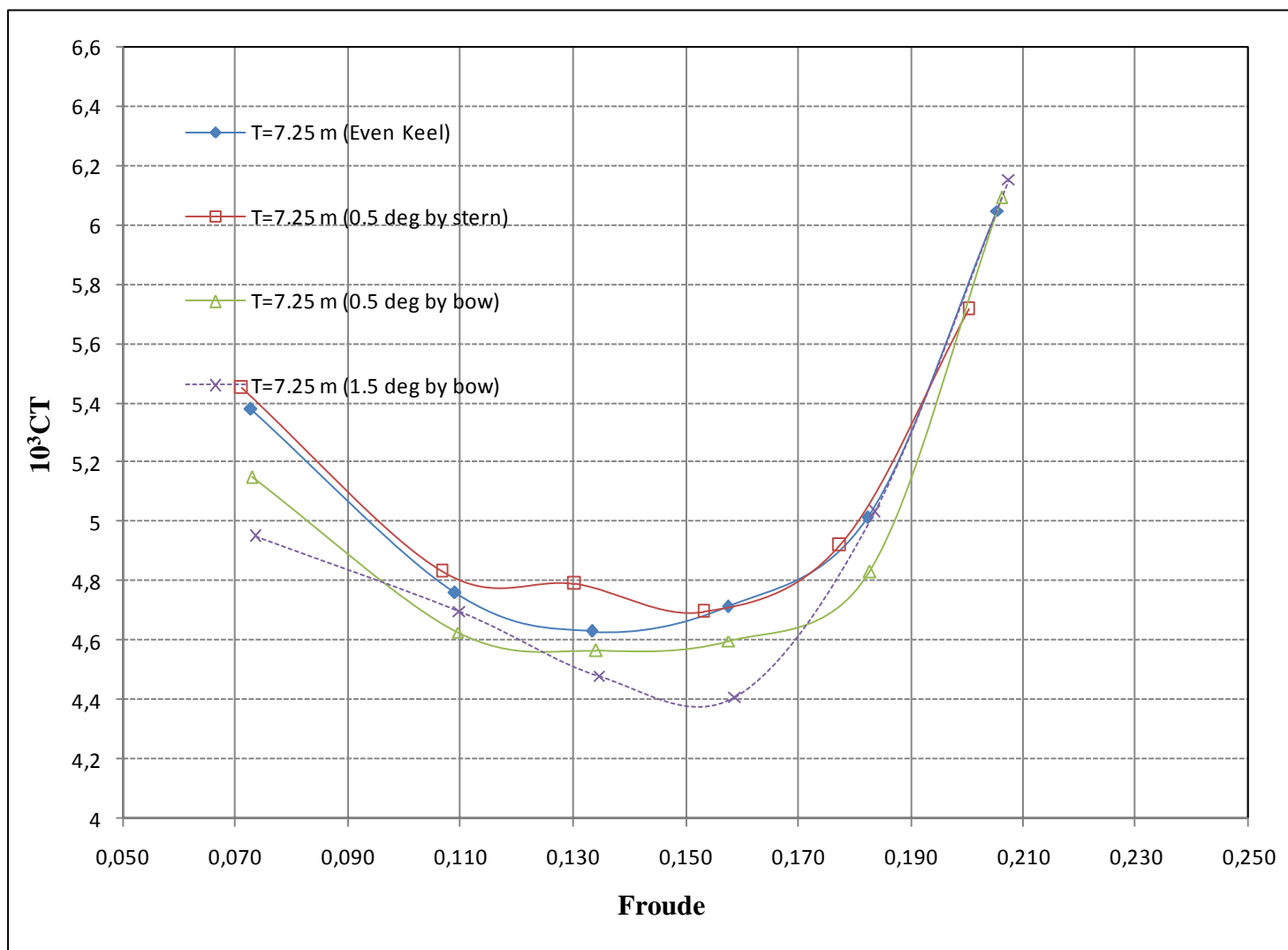
Αριθμός Froude				Διαφορές Αντίστασης			
A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow
0.073	0.071	0.073	0.073	1.482	1.03	1.249	1.05
0.109	0.107	0.109	0.110	1.158	1.272	1.024	1.092
0.133	0.130	0.134	0.134	1.161	1.316	1.096	1.01
0.157	0.153	0.157	0.159	1.351	1.359	1.231	1.044
0.182	0.177	0.183	0.183	1.74	1.687	1.556	1.755
0.205	0.200	0.206	0.208	2.845	2.324	2.888	2.949

Διάγραμμα Συντελεστή C_F για το μοντέλο



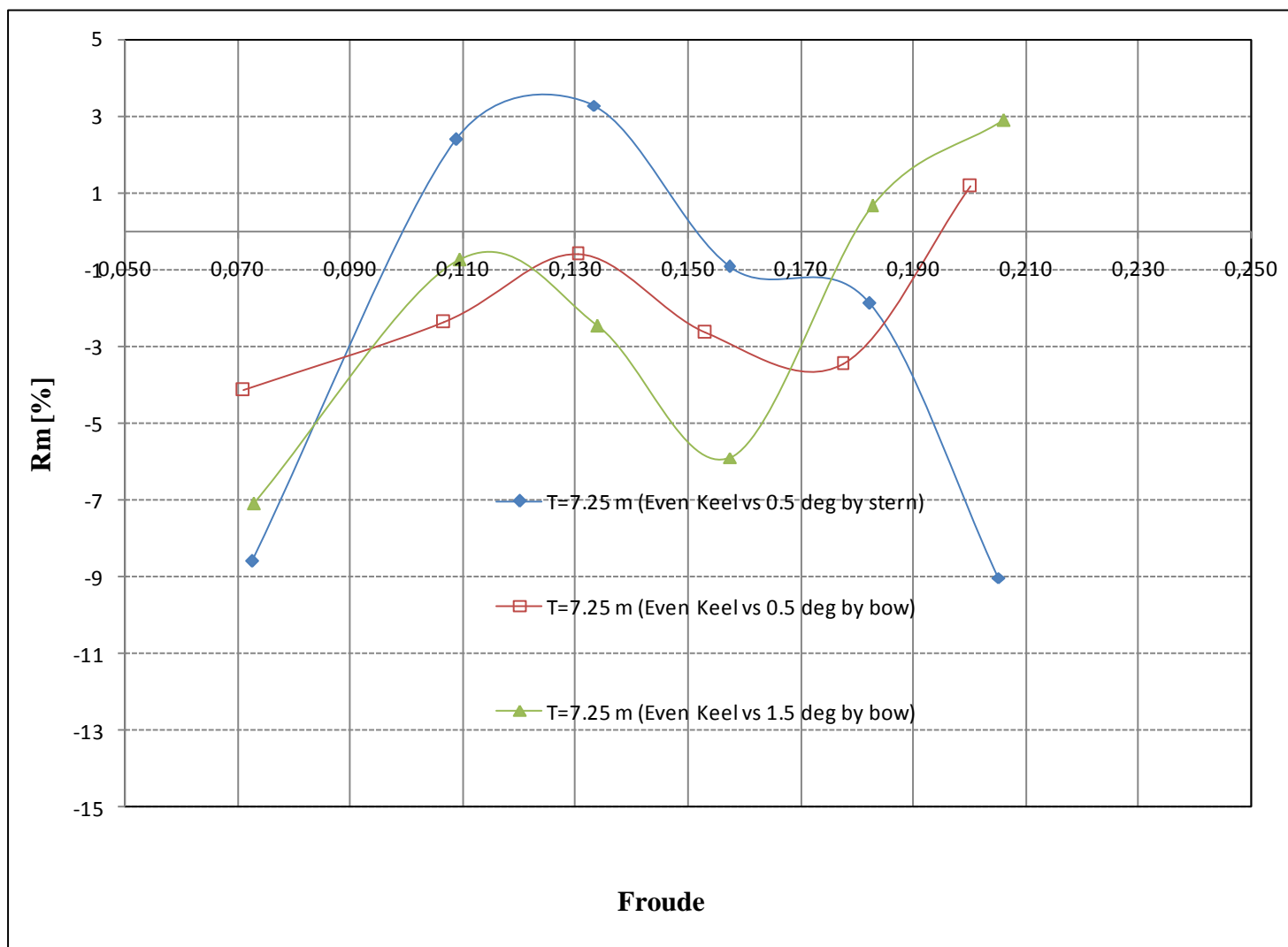
Αριθμός Froude				Διαφορές Αντίστασης			
A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow
0.073	0.071	0.073	0.073	3,899	3,863	3,902	3,902
0.109	0.107	0.109	0.110	3,604	3,571	3,606	3,607
0.133	0.130	0.134	0.134	3,47	3,437	3,47	3,472
0.157	0.153	0.157	0.159	3,364	3,335	3,368	3,367
0.182	0.177	0.183	0.183	3,275	3,248	3,277	3,279
0.205	0.200	0.206	0.208	3,205	3,178	3,207	3,207

Διάγραμμα Συντελεστή C_T για το μοντέλο



Αριθμός Froude				Διαφορές Αντίστασης			
A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow
0.073	0.071	0.073	0.073	5,381	5,451	5,151	4,951
0.109	0.107	0.109	0.110	4,762	4,833	4,63	4,699
0.133	0.130	0.134	0.134	4,631	4,791	4,566	4,482
0.157	0.153	0.157	0.159	4,715	4,698	4,599	4,411
0.182	0.177	0.183	0.183	5,015	4,920	4,833	5,034
0.205	0.200	0.206	0.208	6,051	5,718	6,094	6,156

Διάγραμμα Διαφορών Αντίστασης για το μοντέλο

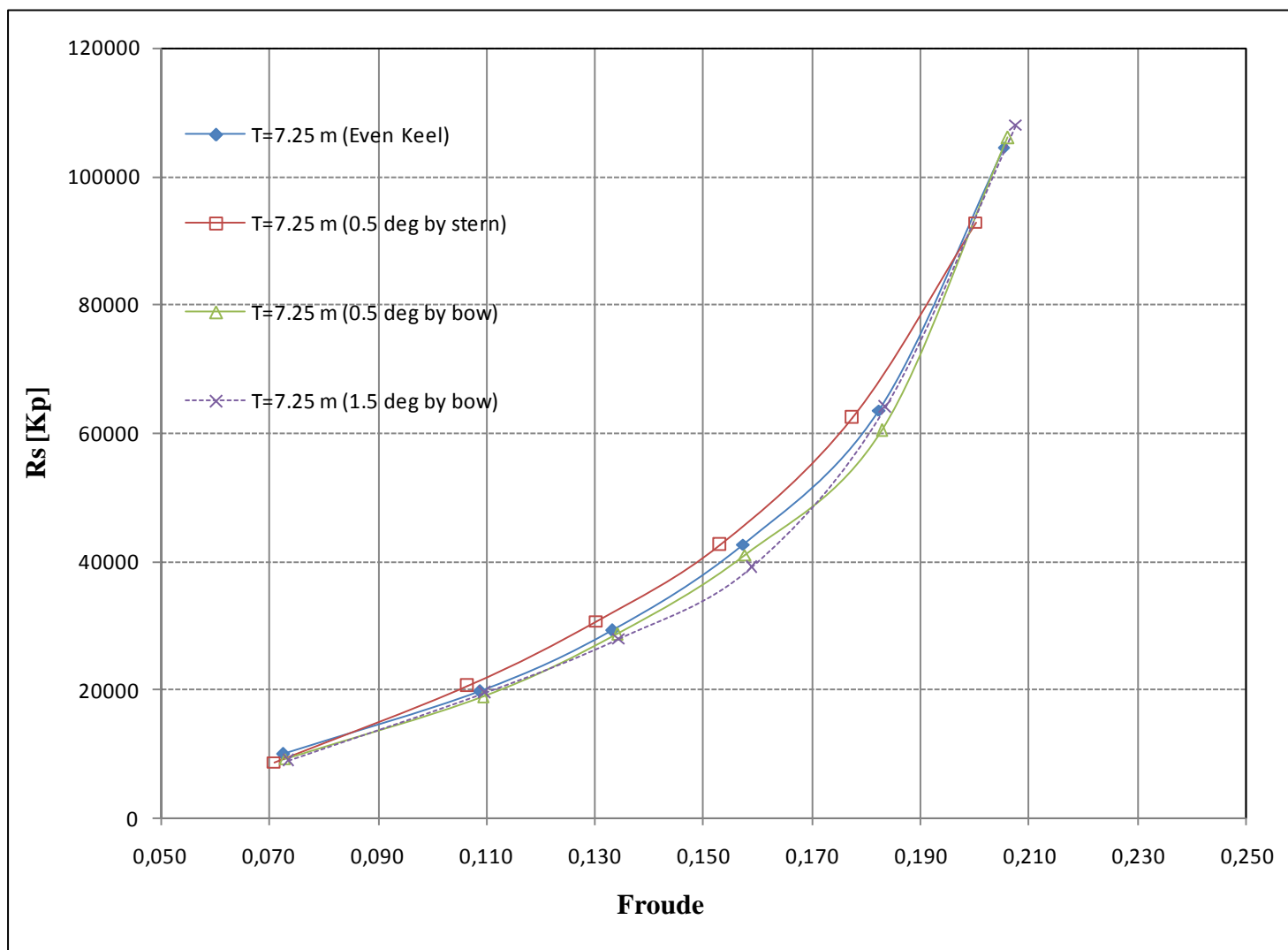


Αριθμός Froude				Διαφορές Αντίστασης		
A1	A2	A3	A4	A2-A1	A3-A1	A4-A1
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow			
0.073	0.071	0.073	0.073	-8.58	-4.14	-7.10
0.109	0.107	0.109	0.110	2.38	-2.38	-0.74
0.133	0.130	0.134	0.134	3.27	-0.61	-2.45
0.157	0.153	0.157	0.159	-0.93	-2.66	-5.90
0.182	0.177	0.183	0.183	-1.86	-3.48	0.66
0.205	0.200	0.206	0.208	-9.02	1.15	2.90

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το πραγματικό

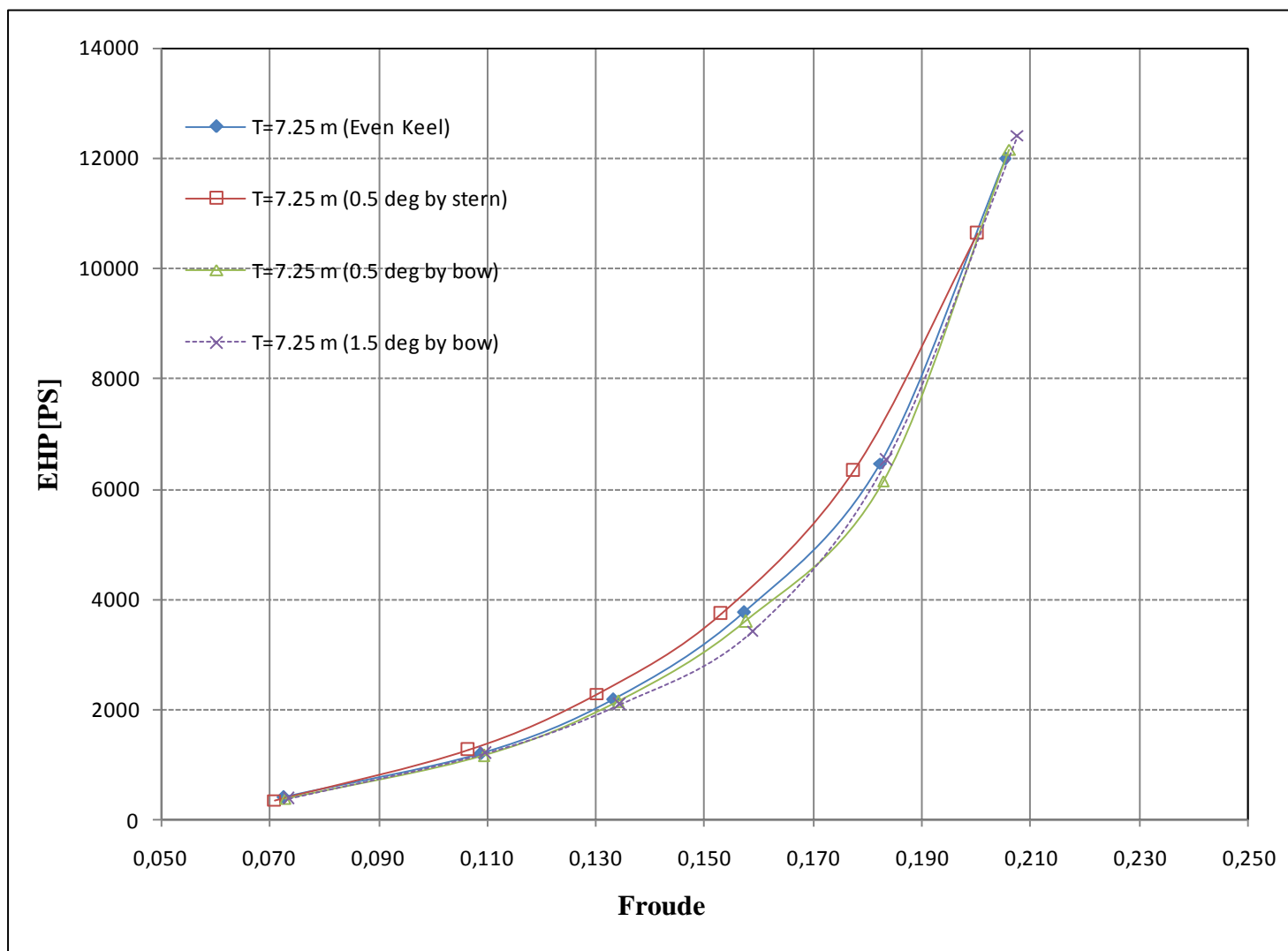
Χαρακτηριστικά Σκάφους	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών			
			A1	A2	A3	A4
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	178.850	187.670	177.870	175.840
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	179.060	187.635	178.360	178.150
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	23.695	23.695	23.695	23.695
Μέσο βύθισμα	T_M	m	3.150	3.150	3.150	3.150
Trim	trim	deg	0.000	-0.500	0.500	1.500
Εκτόπισμα	Δ	mt	25903	24471	26037	26338
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	5719.53	5729.33	5728.10	5752.60
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.820	0.820	0.820	0.820
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.872	0.872	0.872	0.872
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.825	0.825	0.825	0.825

Διάγραμμα Αντίστασης για το πραγματικό



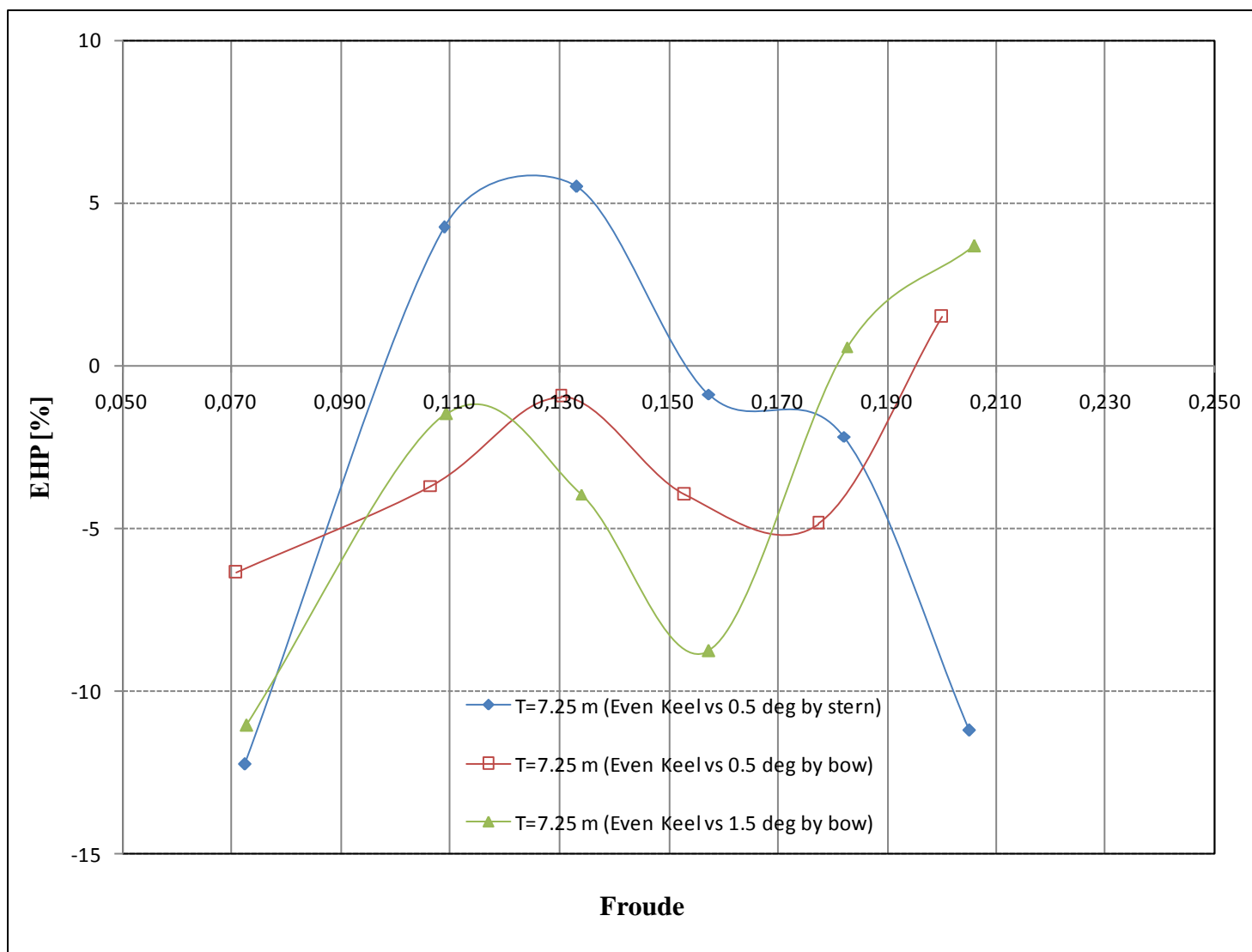
Αριθμός Froude				Αντίσταση [kp]			
A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow
0.073	0.071	0.073	0.073	9883	8652	9253	8772
0.109	0.107	0.109	0.110	19685	20469	18931	19391
0.133	0.130	0.134	0.134	29100	30631	28722	27914
0.157	0.153	0.157	0.159	42653	42421	41031	38905
0.182	0.177	0.183	0.183	63496	62251	60394	63957
0.205	0.200	0.206	0.208	104512	92835	105907	108035

Διάγραμμα EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude				EHP [PS]			
A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow
0.073	0.071	0.073	0.073	401	351	375	356
0.109	0.107	0.109	0.110	1197	1248	1153	1179
0.133	0.130	0.134	0.134	2165	2283	2143	2079
0.157	0.153	0.157	0.159	3748	3714	3599	3419
0.182	0.177	0.183	0.183	6461	6320	6145	6498
0.205	0.200	0.206	0.208	11979	10633	12155	12416

Διάγραμμα Διαφορών EHP για το πραγματικό



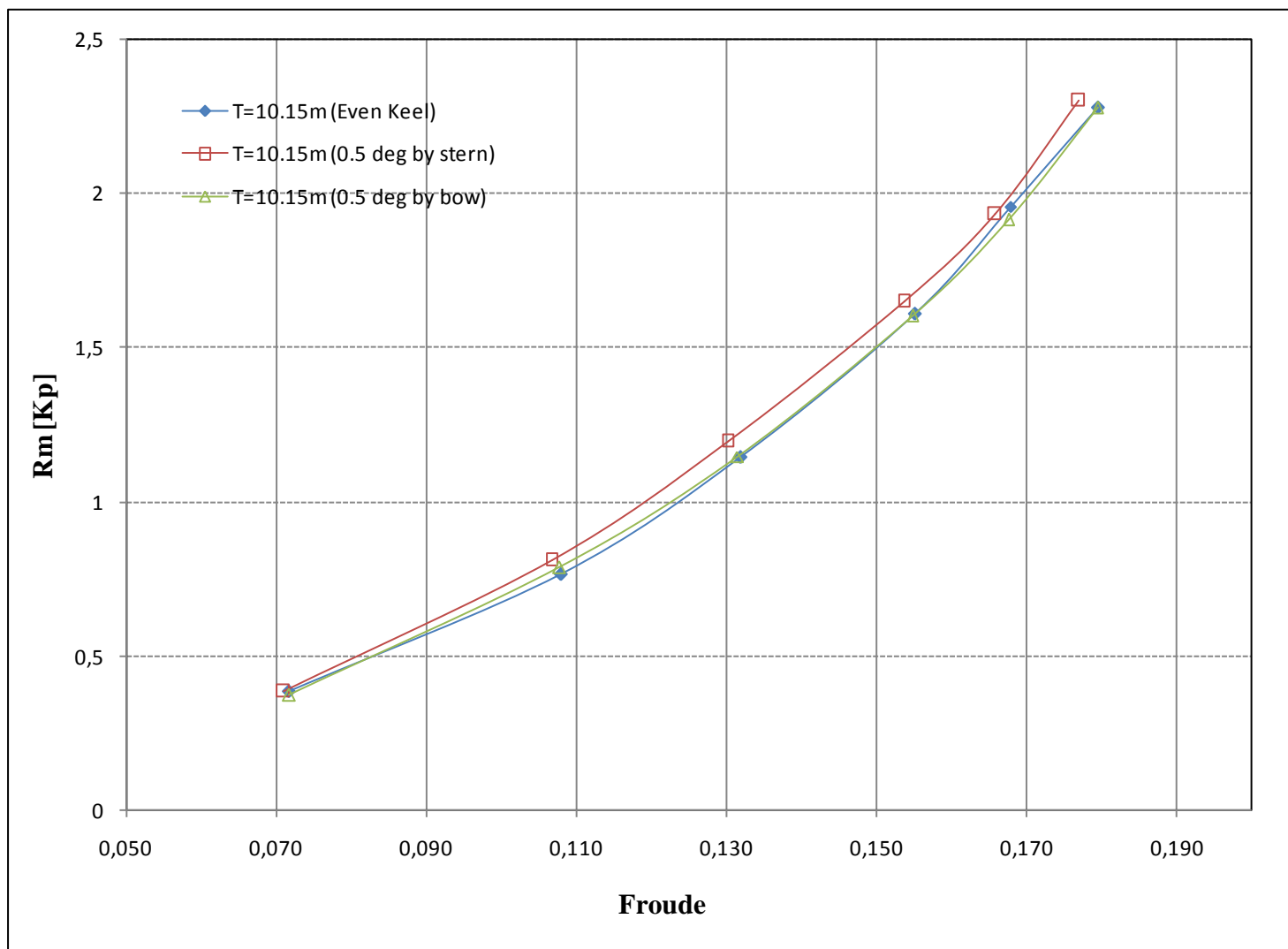
Αριθμός Froude				Διαφορές Ισχύος		
A1	A2	A3	A4	A2-A1	A3-A1	A4-A1
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.5 deg by bow			
0.073	0.071	0.073	0.073	-12.29	-6.37	-11.07
0.109	0.107	0.109	0.110	4.25	-3.71	-1.49
0.133	0.130	0.134	0.134	5.48	-0.98	-3.97
0.157	0.153	0.157	0.159	-0.90	-3.98	-8.79
0.182	0.177	0.183	0.183	-2.19	-4.89	0.57
0.205	0.200	0.206	0.208	-11.23	1.47	3.66

2^η κατάσταση δοκιμών – T = 10.15 m

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το μοντέλο

Χαρακτηριστικά Μοντέλου	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών		
			B1	B2	B3
Μήκος Ισάλου	L _{WL}	m	5.237	5.352	5.251
Μήκος με βολβό	L _{BULB}	m	5.362	5.364	5.361
Πλάτος Ισάλου	B _{WL}	m	0.677	0.677	0.677
Μέσο βύθισμα	T _M	m	0.29	0.29	0.29
Trim	t	deg	0.000	-0.500	0.500
Εκτόπισμα	Δ	mt	846	847	846
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	5.620	5.634	5.600
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.820		
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.872		
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.825		

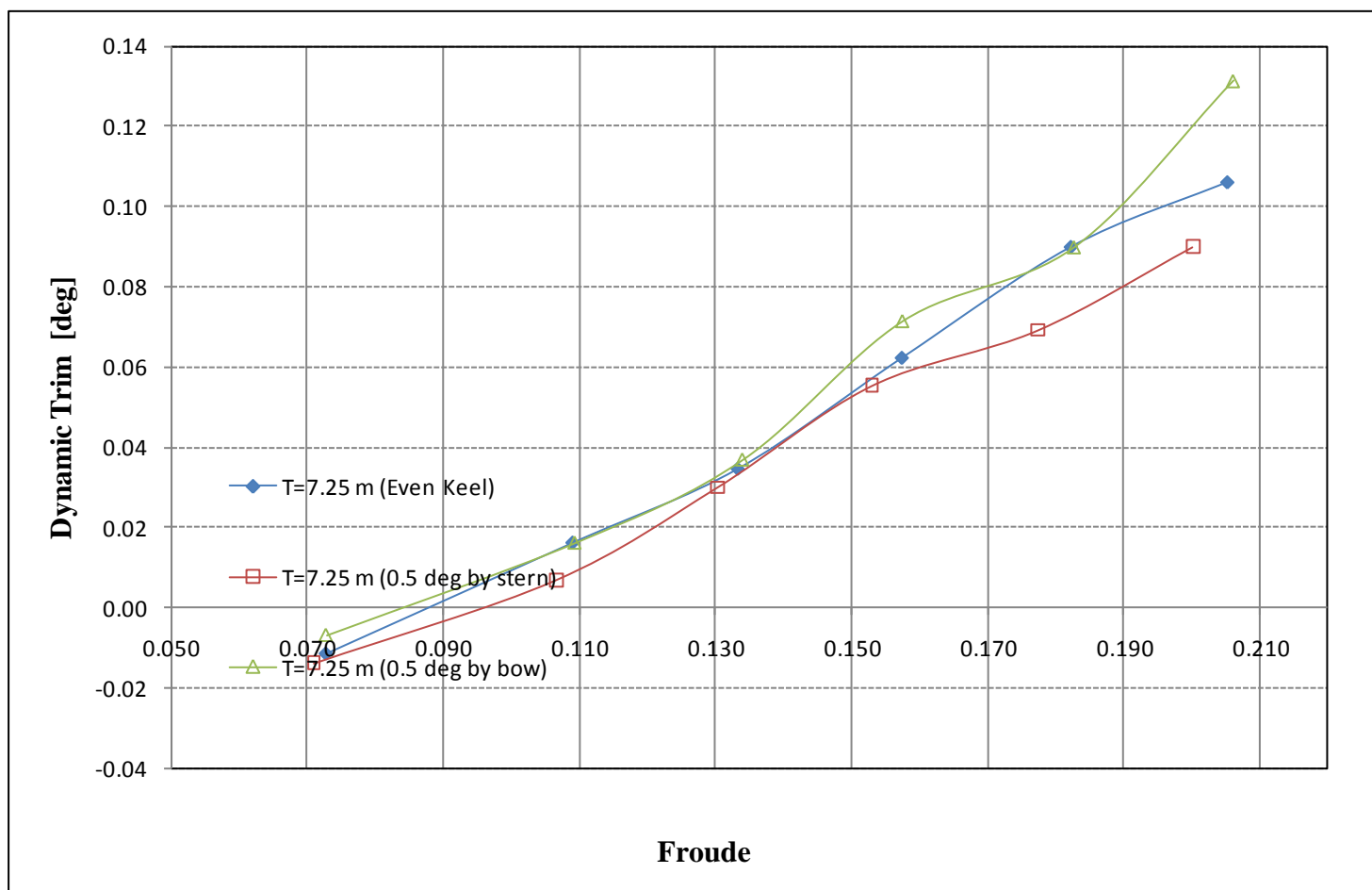
Διάγραμμα Αντίστασης για το μοντέλο



Αριθμός Froude			Αντίσταση [kP]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow
0.072	0.071	0.072	0.382	0.385	0.372
0.108	0.107	0.108	0.765	0.81	0.786
0.132	0.130	0.131	1.142	1.193	1.147
0.155	0.154	0.155	1.607	1.647	1.602
0.168	0.166	0.168	1.958	1.931	1.915

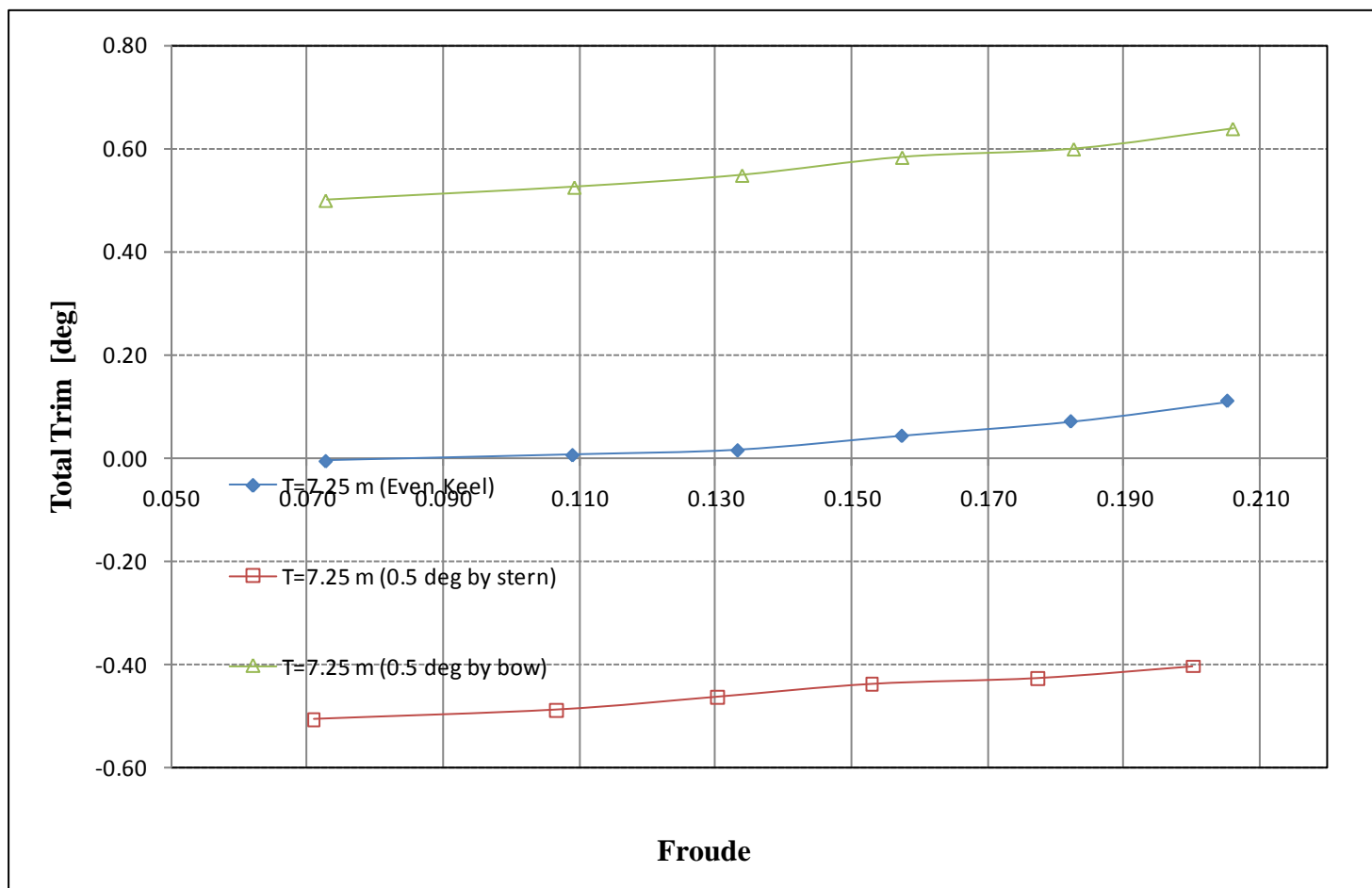
0.180	0.177	0.179	2.279	2.3	2.276
-------	-------	-------	-------	-----	-------

Διάγραμμα Dynamic Trim για το μοντέλο



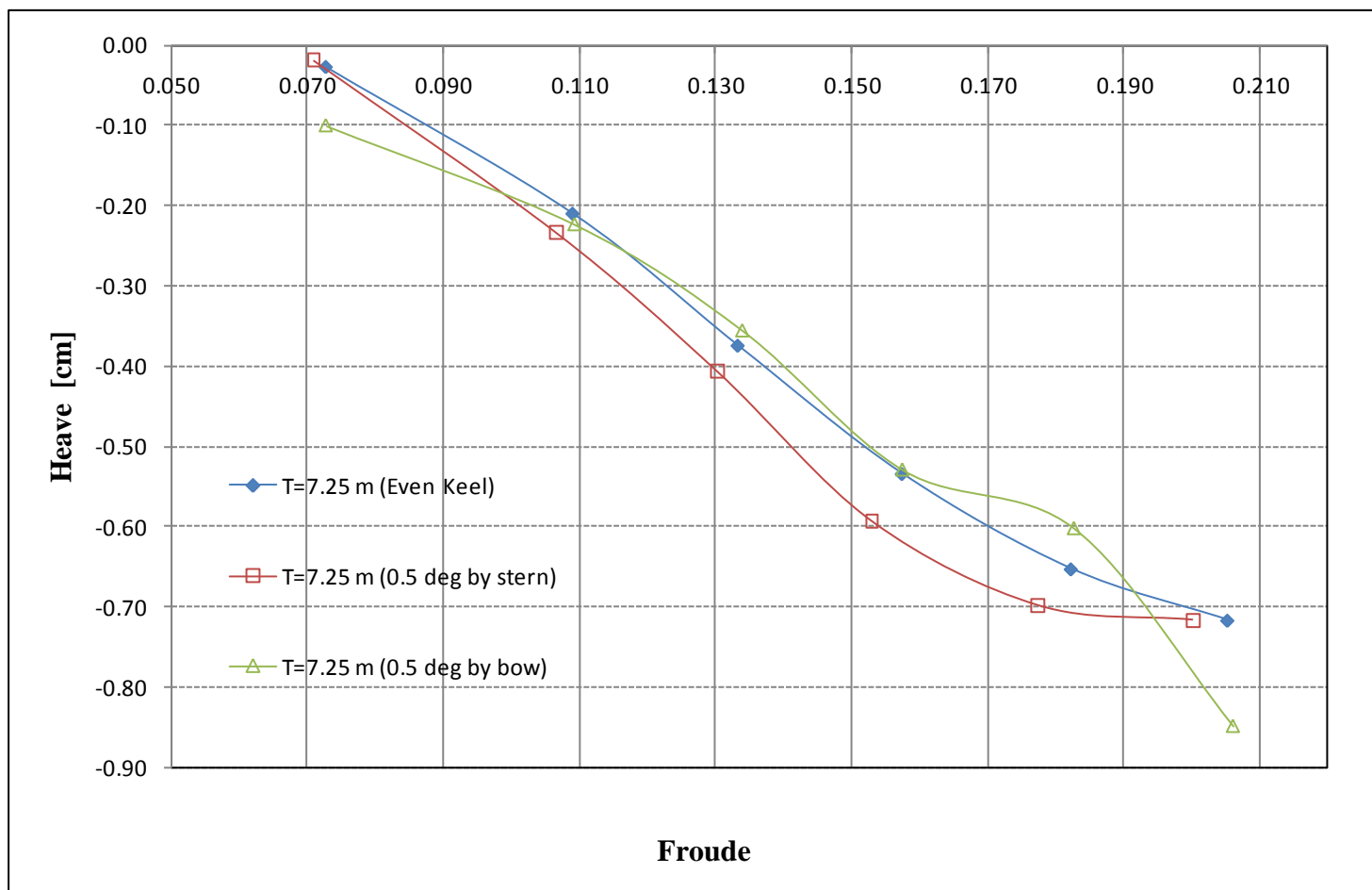
Αριθμός Froude			Dynamic Trim [deg]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow
0.072	0.071	0.072	-0.012	-0.014	-0.007
0.108	0.107	0.108	0.016	0.007	0.016
0.132	0.130	0.131	0.035	0.030	0.037
0.155	0.154	0.155	0.062	0.055	0.072
0.168	0.166	0.168	0.090	0.069	0.090
0.180	0.177	0.179	0.106	0.090	0.131

Διάγραμμα Total Trim για το μοντέλο



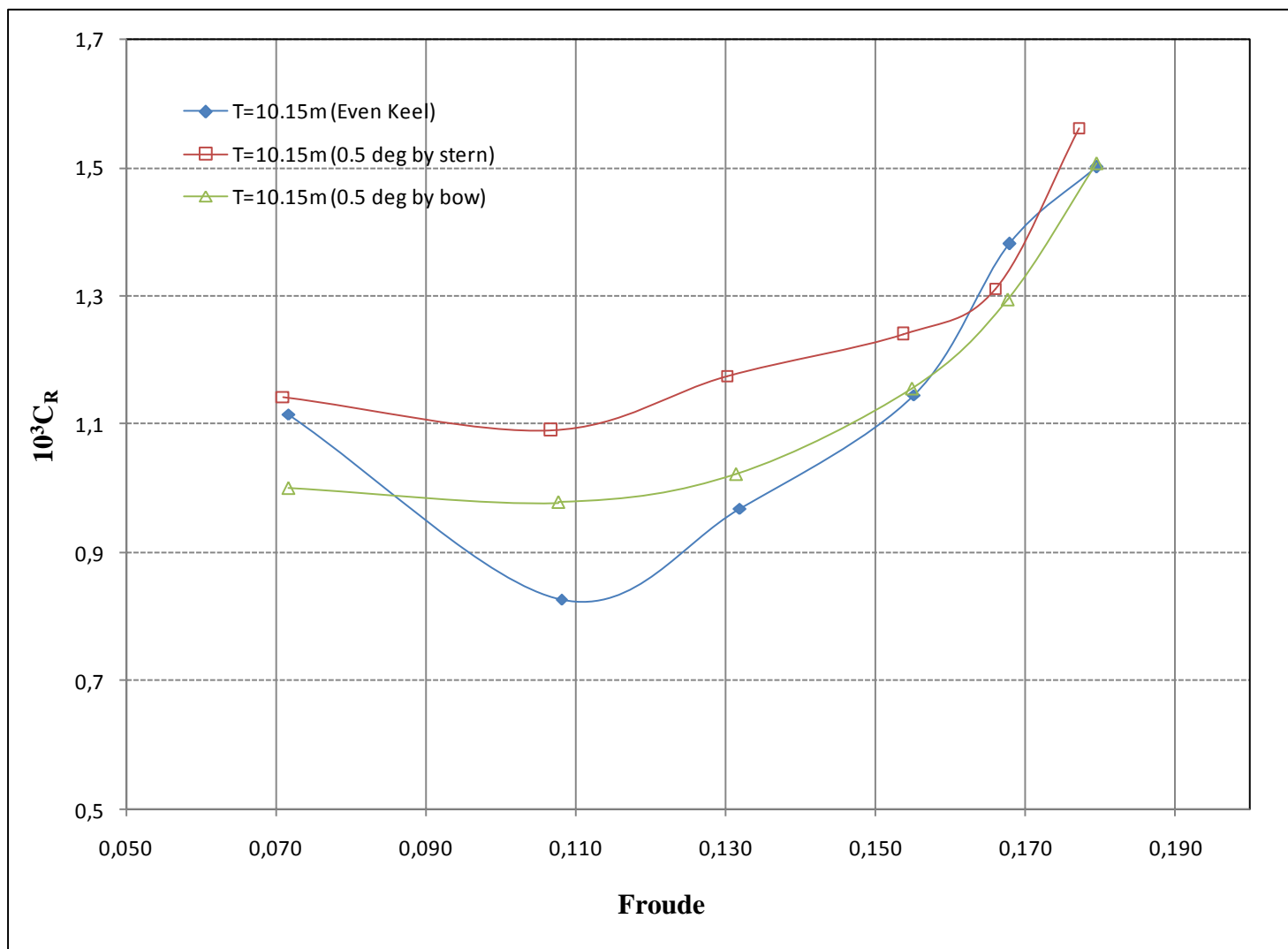
Αριθμός Froude			Total Trim [deg]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow
0.072	0.071	0.072	-0.006	-0.509	0.499
0.108	0.107	0.108	0.005	-0.490	0.525
0.132	0.130	0.131	0.015	-0.465	0.548
0.155	0.154	0.155	0.042	-0.439	0.582
0.168	0.166	0.168	0.070	-0.428	0.599
0.180	0.177	0.179	0.109	-0.405	0.638

Διάγραμμα Heave για το μοντέλο



Αριθμός Froude			Heave [cm]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow
0.072	0.071	0.072	-0.027	-0.018	-0.101
0.108	0.107	0.108	-0.210	-0.233	-0.224
0.132	0.130	0.131	-0.375	-0.407	-0.356
0.155	0.154	0.155	-0.534	-0.594	-0.530
0.168	0.166	0.168	-0.653	-0.699	-0.603
0.180	0.177	0.179	-0.717	-0.717	-0.850

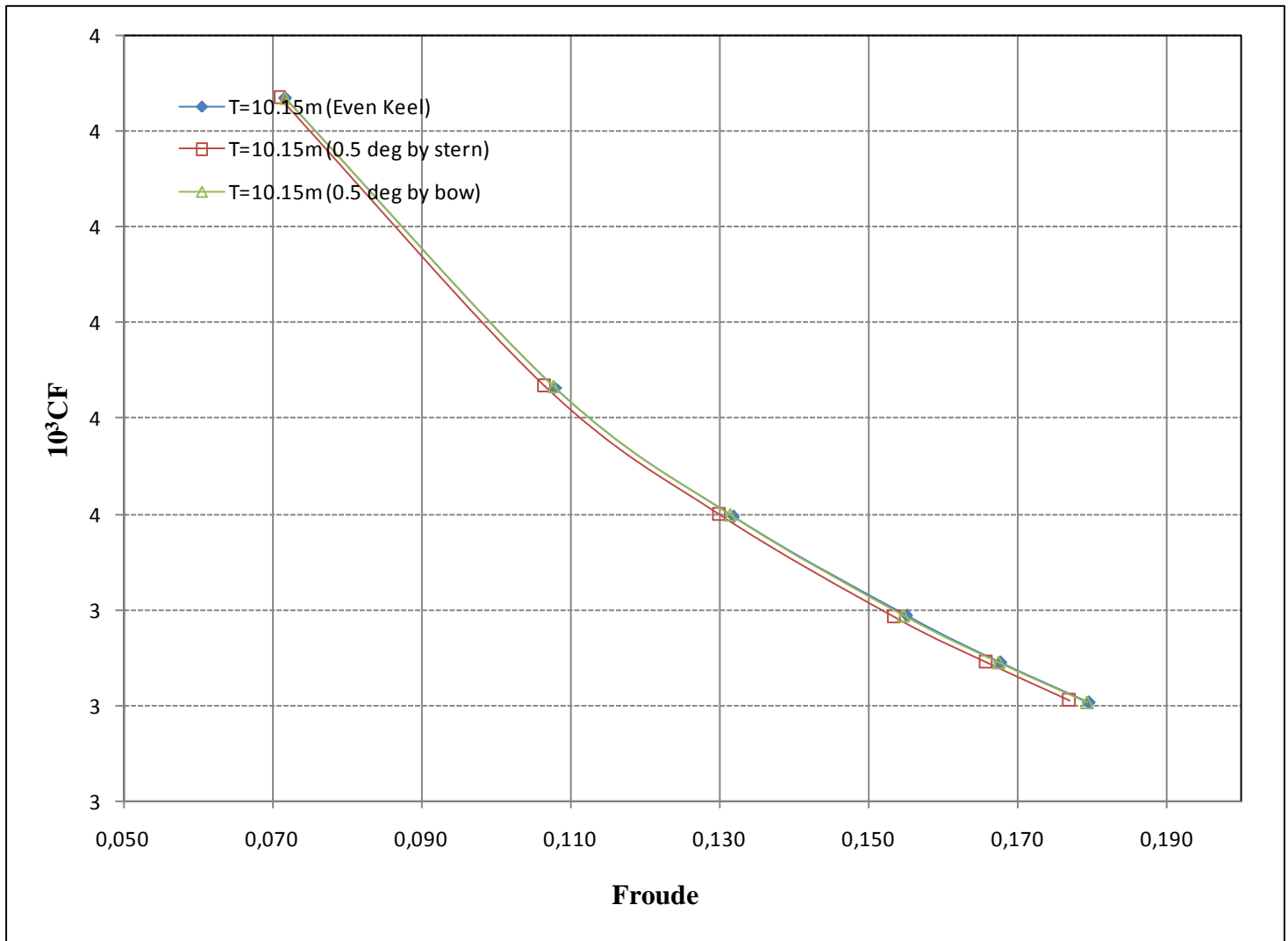
Διάγραμμα Συντελεστή C_R για το μοντέλο



Αριθμός Froude			Συντελεστής C_R		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow
0.072	1.116	1.143	1.001	-0.018	-0.101
0.108	0.828	1.09	0.978	-0.233	-0.224
0.132	0.969	1.176	1.022	-0.407	-0.356
0.155	1.146	1.24	1.156	-0.594	-0.530
0.168	1.381	1.312	1.294	-0.699	-0.603

0.180	1.502	1.563	1.506	-0.717	-0.850
-------	-------	-------	-------	--------	--------

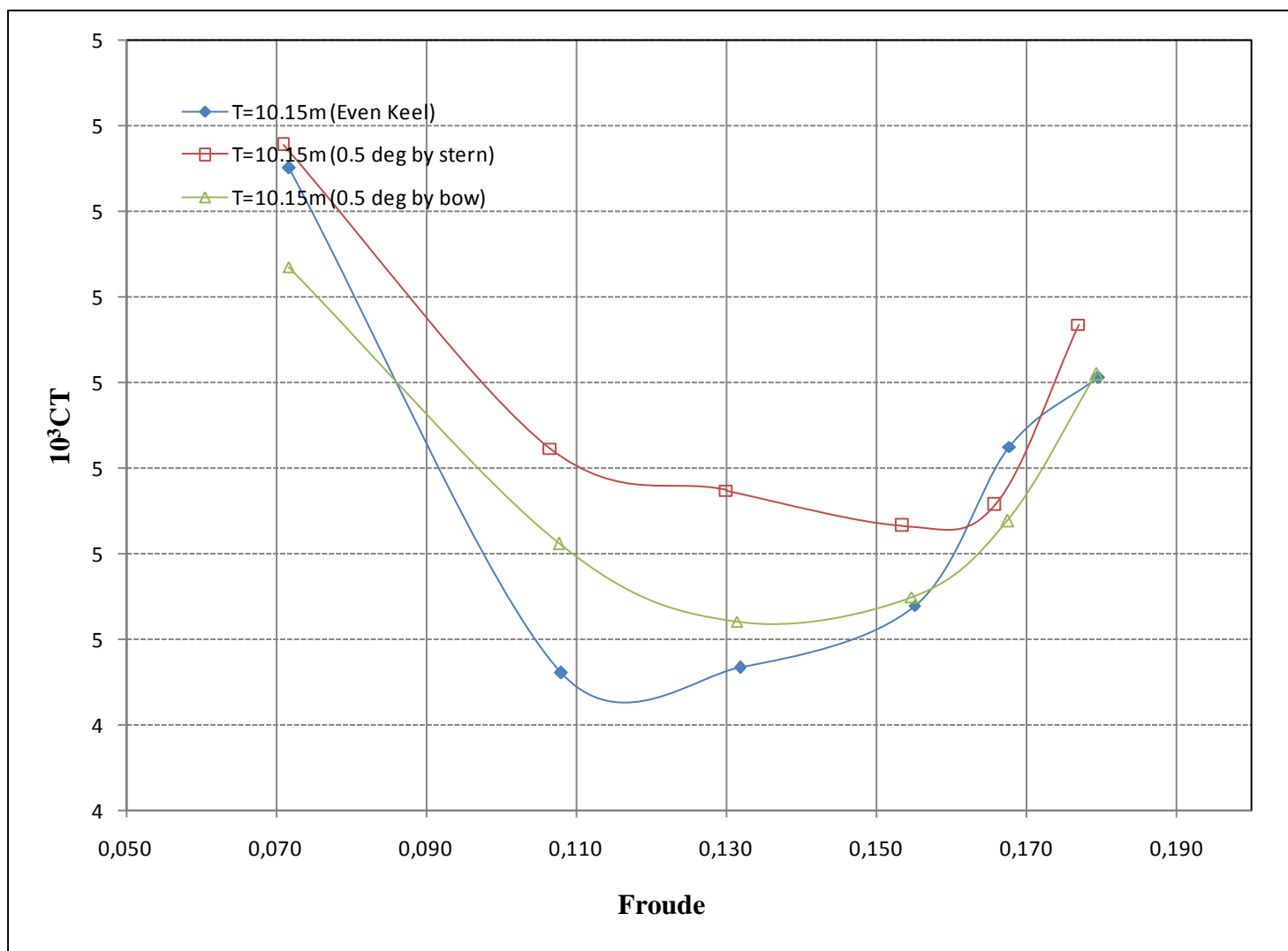
Διάγραμμα Συντελεστή C_F για το μοντέλο



Αριθμός Froude			Συντελεστής C_T		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow
0.072	1.116	1.143	3,934	3,934	3,934
0.108	0.828	1.09	3,632	3,633	3,633
0.132	0.969	1.176	3,497	3,499	3,499
0.155	1.146	1.24	3,393	3,392	3,394
0.168	1.381	1.312	3,344	3,345	3,344

0.180	1.502	1.563	3,303	3,305	3,303
-------	-------	-------	-------	-------	-------

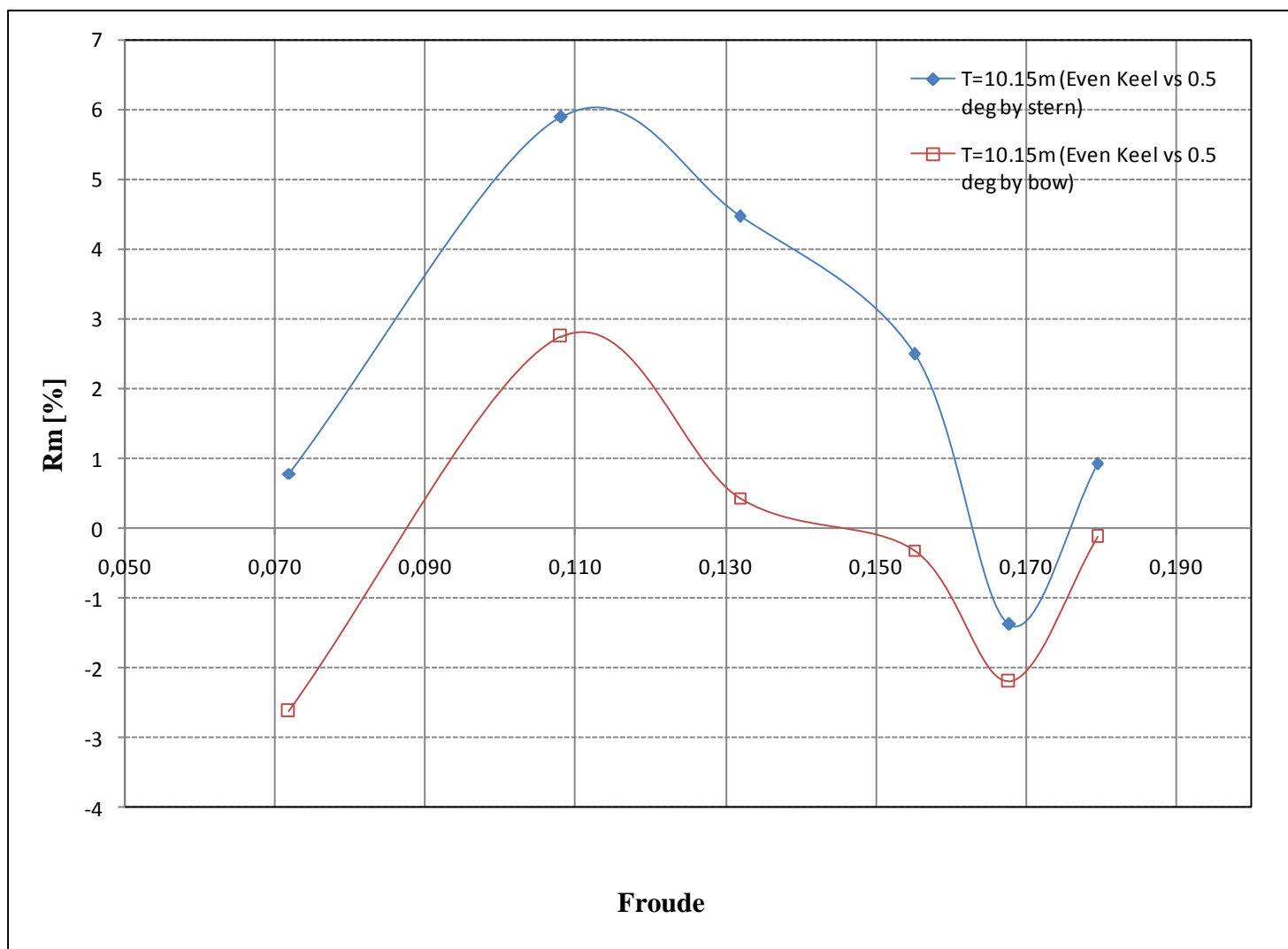
Διάγραμμα Συντελεστή C_T για το μοντέλο



Αριθμός Froude			Συντελεστής C_T		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow
0.072	1.116	1.143	5,050	5,077	4,935
0.108	0.828	1.09	4,460	4,723	4,611
0.132	0.969	1.176	4,466	4,674	4,521
0.155	1.146	1.24	4,539	4,632	4,549
0.168	1.381	1.312	4,725	4,656	4,638

0.180	1.502	1.563	4,806	4,868	4,809
-------	-------	-------	-------	-------	-------

Διάγραμμα Διαφορών Αντίστασης για το μοντέλο



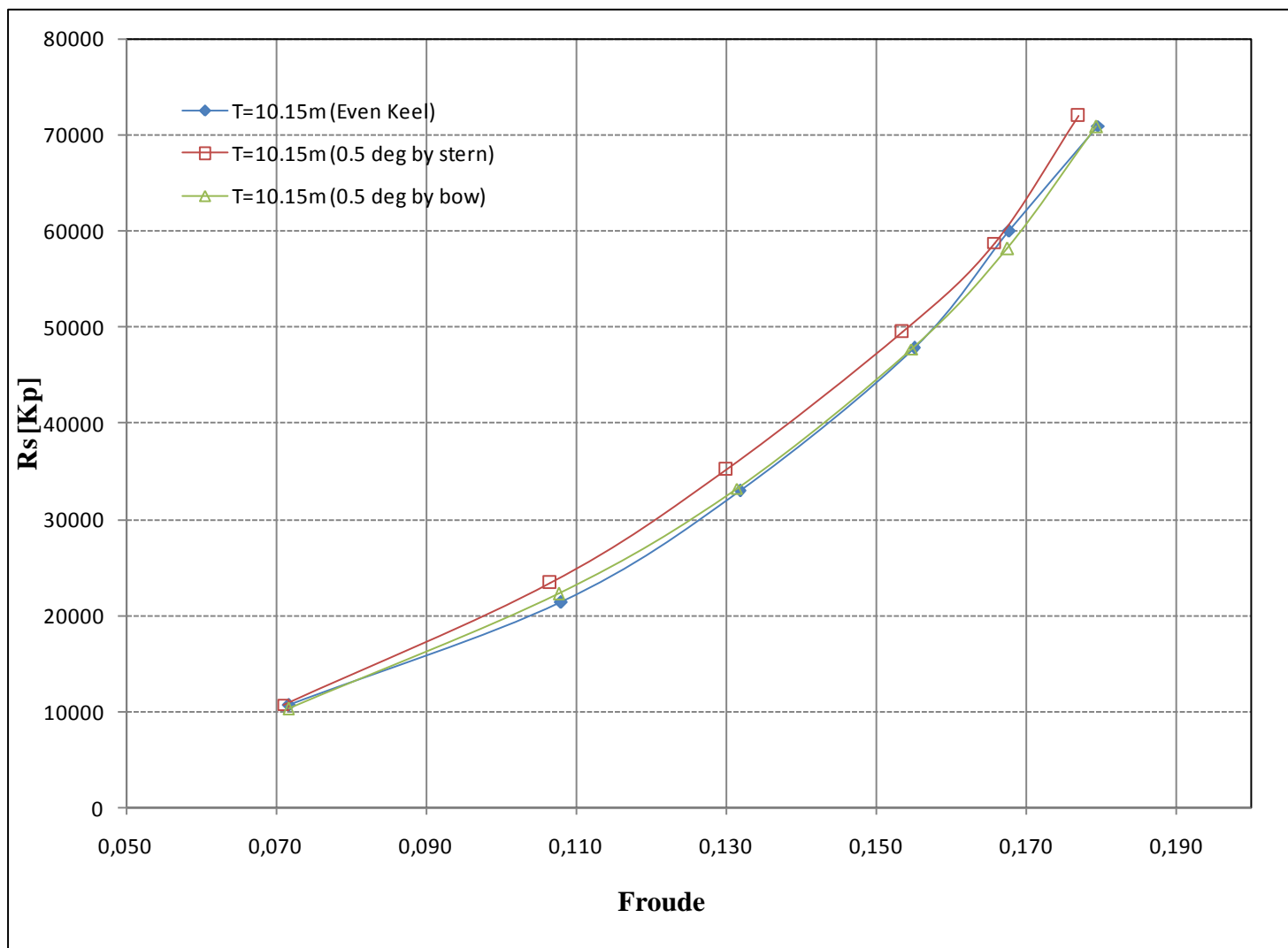
Αριθμός Froude			Διαφορές Αντίστασης	
B1	B2	B3	B2-B1	B3-B1
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow		
0.072	0.071	0.072	0.79	-2.62
0.108	0.107	0.108	5.88	2.75
0.132	0.130	0.131	4.47	0.44
0.155	0.154	0.155	2.49	-0.31
0.168	0.166	0.168	-1.38	-2.20

0.180	0.177	0.179	0.92	-0.13
-------	-------	-------	------	-------

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το πραγματικό

Χαρακτηριστικά Σκάφους	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών		
			B1	B2	B3
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	183.295	187.320	183.785
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	187.670	187.740	187.635
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	23.695	23.695	23.695
Μέσο βύθισμα	T_M	m	10.150	10.150	10.150
Trim	t	deg	0.0000	-0.5000	-1.0000
Εκτόπισμα	Δ	mt	37177	37213	37175
Βρεχόμενη επιφάνεια	$W.S.$	m ²	6885	6902	6860
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.820	0.000	0.000
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.872	0.000	0.000
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.825	0.000	0.000

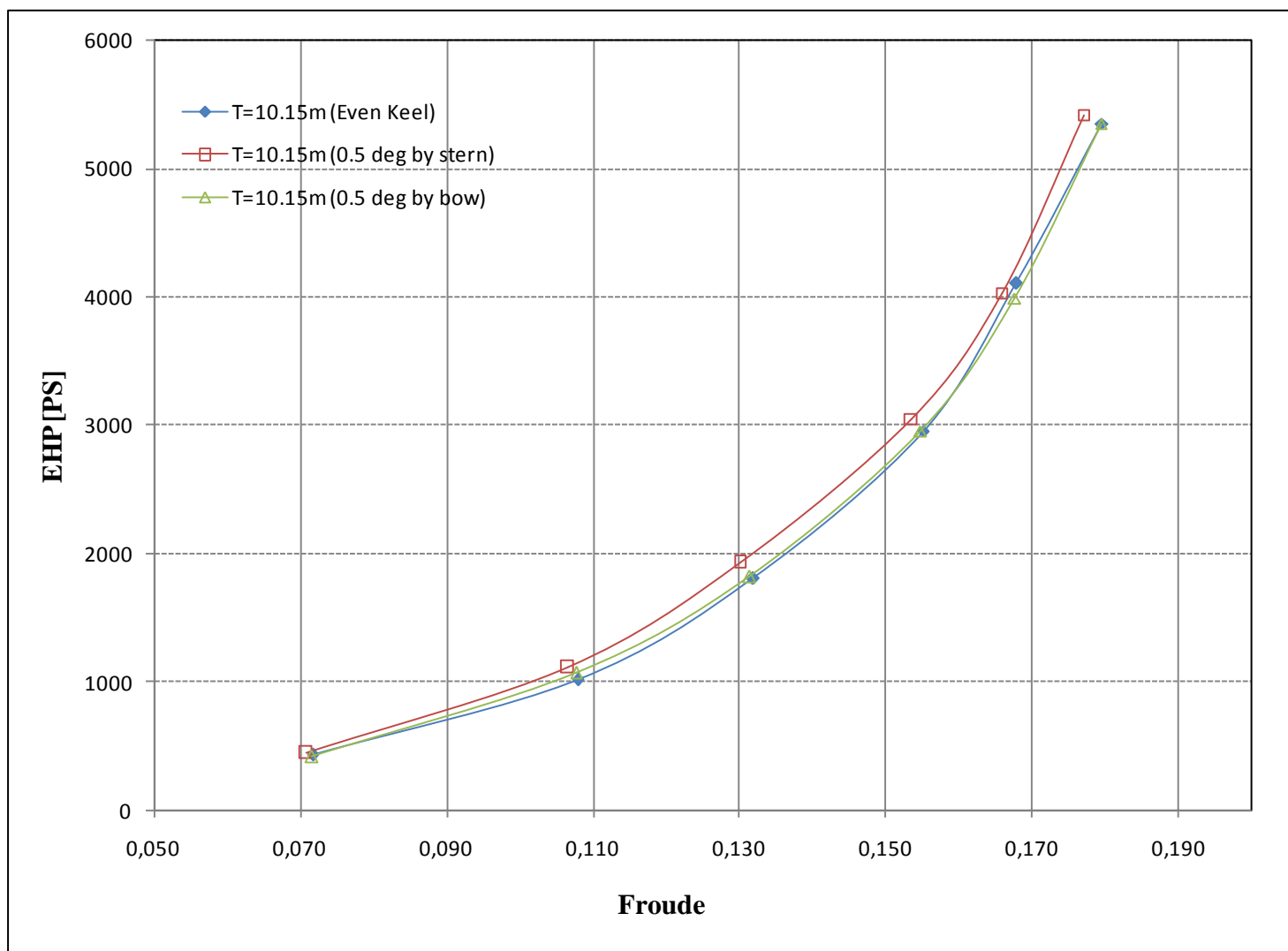
Διάγραμμα Αντίστασης για το πραγματικό



Αριθμός Froude			Αντίσταση [kp]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow
0.072	0.072	0.073	10642	10760	10224
0.085	0.084	0.085	21307	23286	22302
0.097	0.096	0.097	32905	35171	33248
0.109	0.108	0.109	47835	49506	47730
0.121	0.120	0.121	60004	58791	58204

0.133	0.132	0.133	70946	71957	70879
-------	-------	-------	-------	-------	-------

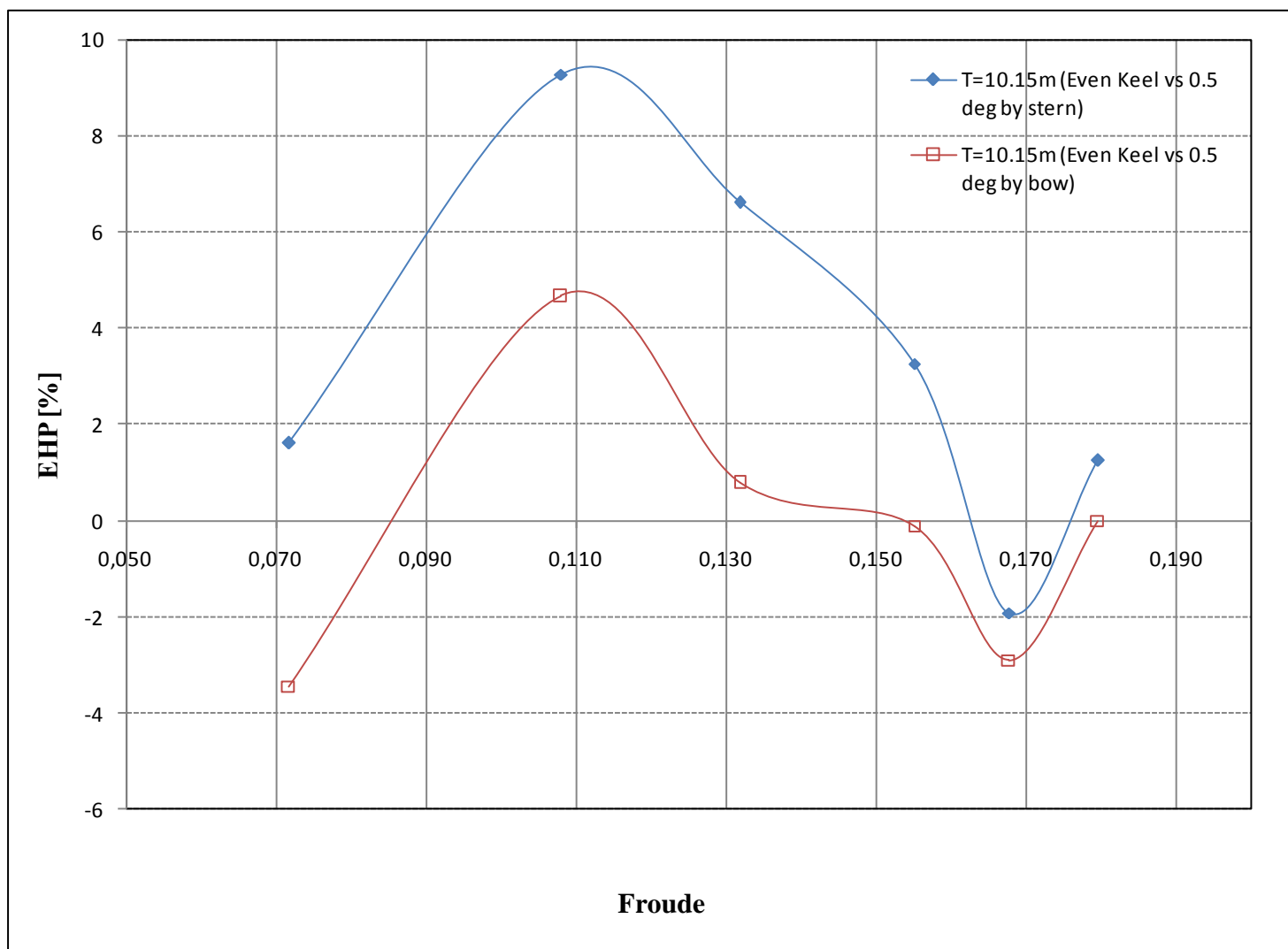
Διάγραμμα EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude			EHP [PS]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow
0.072	0.072	0.073	435	442	420
0.085	0.084	0.085	1020	1115	1068
0.097	0.096	0.097	1805	1925	1820
0.109	0.108	0.109	2956	3053	2953
0.121	0.120	0.121	4107	4028	3988

0.133	0.132	0.133	5353	5419	5352
-------	-------	-------	------	------	------

Διάγραμμα Διαφορών EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude			Διαφορές Ισχύος	
B1	B2	B3	B2-B1	B3-B1
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow		
0.072	0.072	0.073	1.62	-3.44
0.085	0.084	0.085	9.29	4.67
0.097	0.096	0.097	6.62	0.79
0.109	0.108	0.109	3.26	-0.11
0.121	0.120	0.121	-1.92	-2.90

0.133	0.132	0.133	1.24	0.00
-------	-------	-------	------	------

Συμπεράσματα – Σχόλια

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων αξίζει να σημειωθεί ότι τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές καταστάσεις κατά τις οποίες παρατηρούνταν βύθιση ή μη του βολβού και βύθιση ή μη της πρύμνης, ή και τα δύο. Οι διαφορετικές συνθήκες που συναντήθηκαν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Κατάσταση	Πρύμνη (βύθιση καθρέπτη)	Πλώρη (βύθιση βολβού)
Even Keel - T=7.25 m	Όχι	Όχι
0.5 deg by stern - T=7.25 m	Ναι	Όχι
0.5 deg by bow - T=7.25 m	Όχι	Όχι
1.5 deg by bow - T=7.25 m	Όχι	Όχι
Even Keel - T=10.15 m	Ναι	Ναι
0.5 deg by stern - T=10.15 m	Ναι	Όχι
0.5 deg by bow - T=10.15 m	Όχι	Ναι

Σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα από τα πειράματα αλλά και από τα παραπάνω δεδομένα έχουμε να πούμε τα εξής

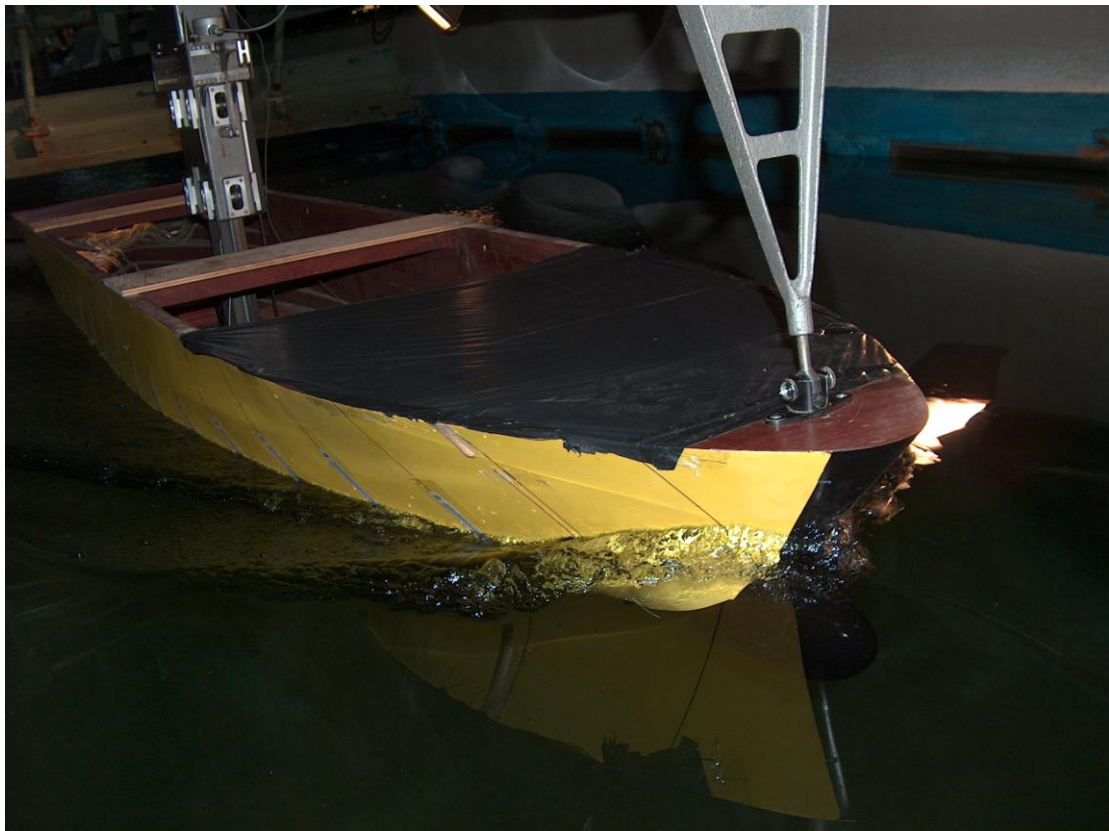
- Για βύθισμα $T = 7.25$ m, παρατηρούμε ότι η αντίσταση εμφανίζεται μικρότερη στις εμπρόσρες καταστάσεις από ότι στην ισοβύθιστη και στις έμπρυμνες. Αυτό οφείλεται ίσως στο γεγονός ότι στις δύο αυτές εμπρόσρες καταστάσεις έχουμε αφενός μείωση της βρεχόμενης επιφάνειας που συνεπάγεται μείωση της αντίστασης τριβής, η οποία είναι κυρίαρχη στις χαμηλές ταχύτητες και αφετέρου βύθιση του βολβού – καλύτερη λειτουργία του – και ανάδυση του καθρέπτη – η βύθιση του οποίου συμβάλλει αρνητικά στην αντίσταση λόγω πιθανής αποκόλλησης της ροής - .
- Στις εμπρόσρες καταστάσεις έχουμε αύξηση του μήκους της ισάλου πλεύσεως, που συνεπάγεται μείωση της αντίστασης κυματισμού στους μεγάλους αριθμούς Froude. Από την άλλη, στην έμπρυμνη κατάσταση έχουμε μείωση του μήκους της ισάλου που συνεπάγεται αύξηση της αντίστασης κυματισμού.
- Επειδή το μοντέλο είναι πλοίο το οποίο λειτουργεί σε χαμηλούς αριθμούς Froude, όπου η αντίσταση τριβής είναι η σημαντικότερη συνιστώσα της

ολικής αντίστασης (αποτελεί ποσοστό 70-75%), τυχόν αυξομειώσεις στην αντίσταση κυματισμού, όπως συμβαίνει στην μέγιστη ταχύτητα, δεν αλλάζουν το αποτέλεσμα στην ολική αντίσταση.

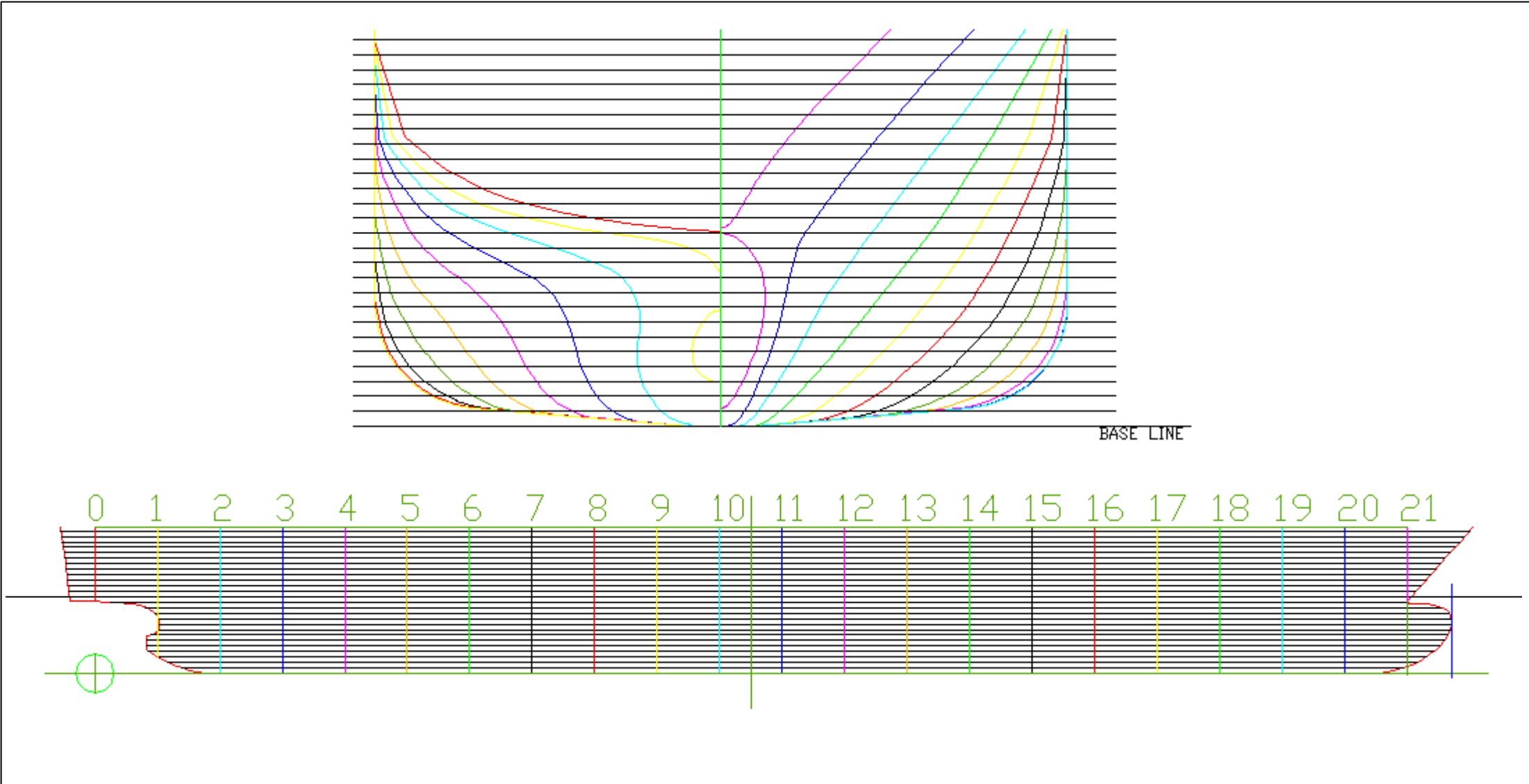
- Η δυναμική διαγωγή που αποκτά το μοντέλο στις διάφορες καταστάσεις είναι μικρή, συνεπώς δεν επηρεάζει την αντίσταση του μοντέλου.
- Η αντίσταση πιθανώς να επηρεάζεται αρνητικά και να αυξάνεται λόγω της παράλληλης βύθισης στις μεγάλες ταχύτητες.
- Για $T = 10,25$ η έμπρομη κατάσταση παρουσιάζεται καλύτερη από τις υπόλοιπες – παρότι η ισοβύθιστη παρουσιάζει γενικά μικρότερη αντίσταση κυματισμού.
- Σε αρκετές από τις καταστάσεις θα είχαμε ανάδυση της έλικας (αν είχαμε τοποθετήσει. Ωστόσο αυτό που μας ενδιαφέρει είναι να ελέγξουμε την επίδραση στην αντίσταση σε σχέση με την μορφή της γάστρας.
- Η βύθιση του πρωραίου τμήματος στις έμπρομες καταστάσεις, οδηγεί σε συγκέντρωση εκτοπίσματος στο μπροστινό τμήμα, οδηγώντας σε μία μορφή που παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά ως προς αντίσταση. Αυτό βέβαια ισχύει στο χαμηλότερο εκτόπισμα, όπου η ισοβύθιστη κατάσταση παρουσιάζει αυξημένη αντίσταση σε σχέση με τις έμπρομες λόγω ανάδυσης του βολβού.

3^ο Μοντέλο – E/O NAVIGATOR

Η τρίτη γάστρα που δοκιμάστηκε, ανήκει σε ένα μονέλικο E/O με βολβό και πρύμνη καθρέπτη. Το μήκος του μοντέλου αυτού ήταν 3.677 m και η κλίμακα 1/15. Για το μοντέλο, αυτό έγιναν δοκιμές σε 1 στην ισοβύθιστη κατάσταση, σε δύο έμπρυμνες και δύο έμπρωρες, και για κάθε κατάσταση έγιναν πειράματα σε 6 ταχύτητες. Στόχος ήταν να διερευνηθεί η συμπεριφορά του σκάφους σε διαγωγές σε σχέση με την ισοβύθιστη κατάσταση. Στη συνέχεια παρατίθενται το σχέδιο νομέων, και τα αποτελέσματα των πειραμάτων.



Επίδραση της Διαγωγής (Trim) στην Αντίσταση Διαφόρων Μοντέλων και Πλοίων

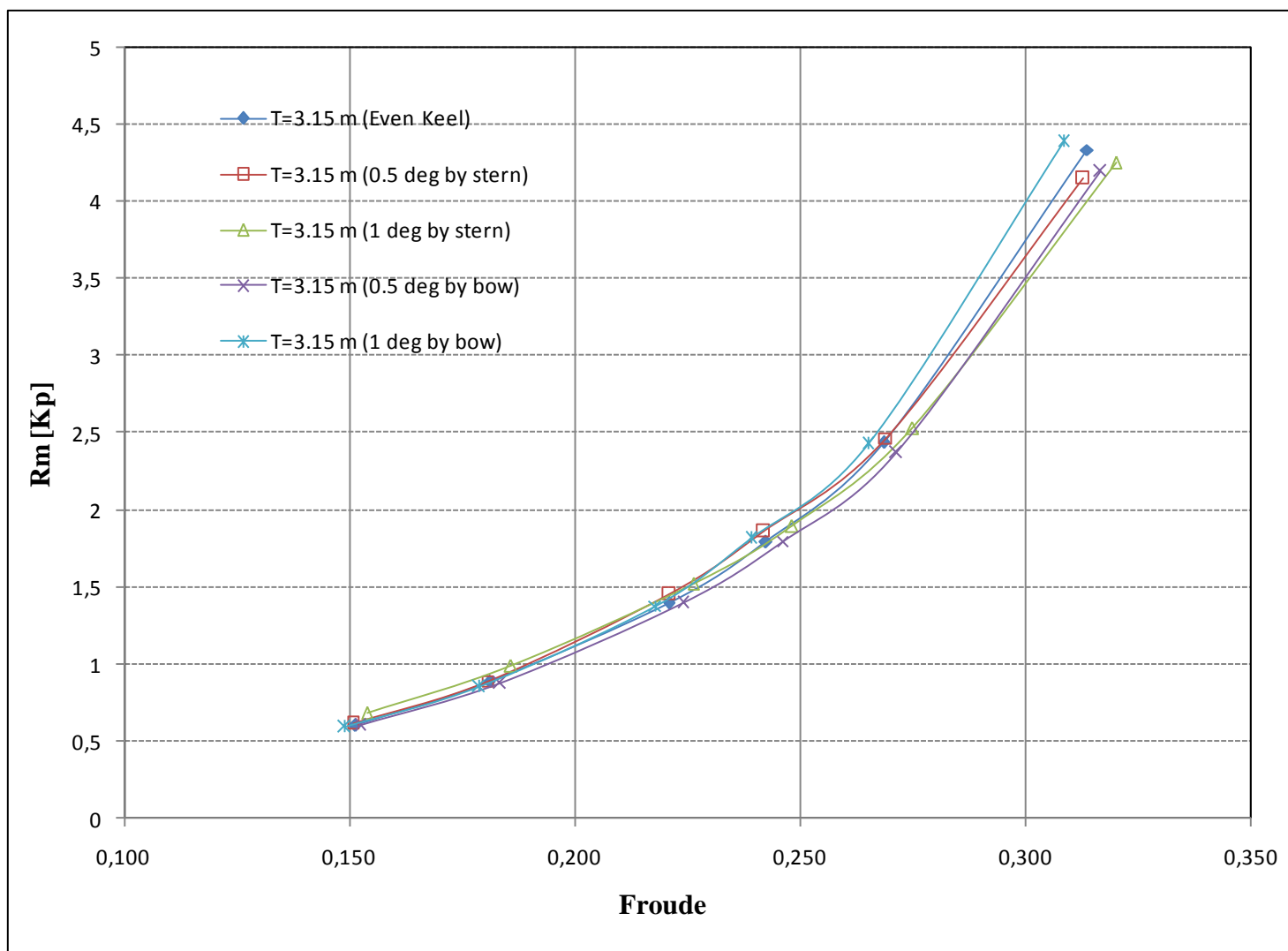


Κατάσταση δοκιμών – T = 3.15 m

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το μοντέλο

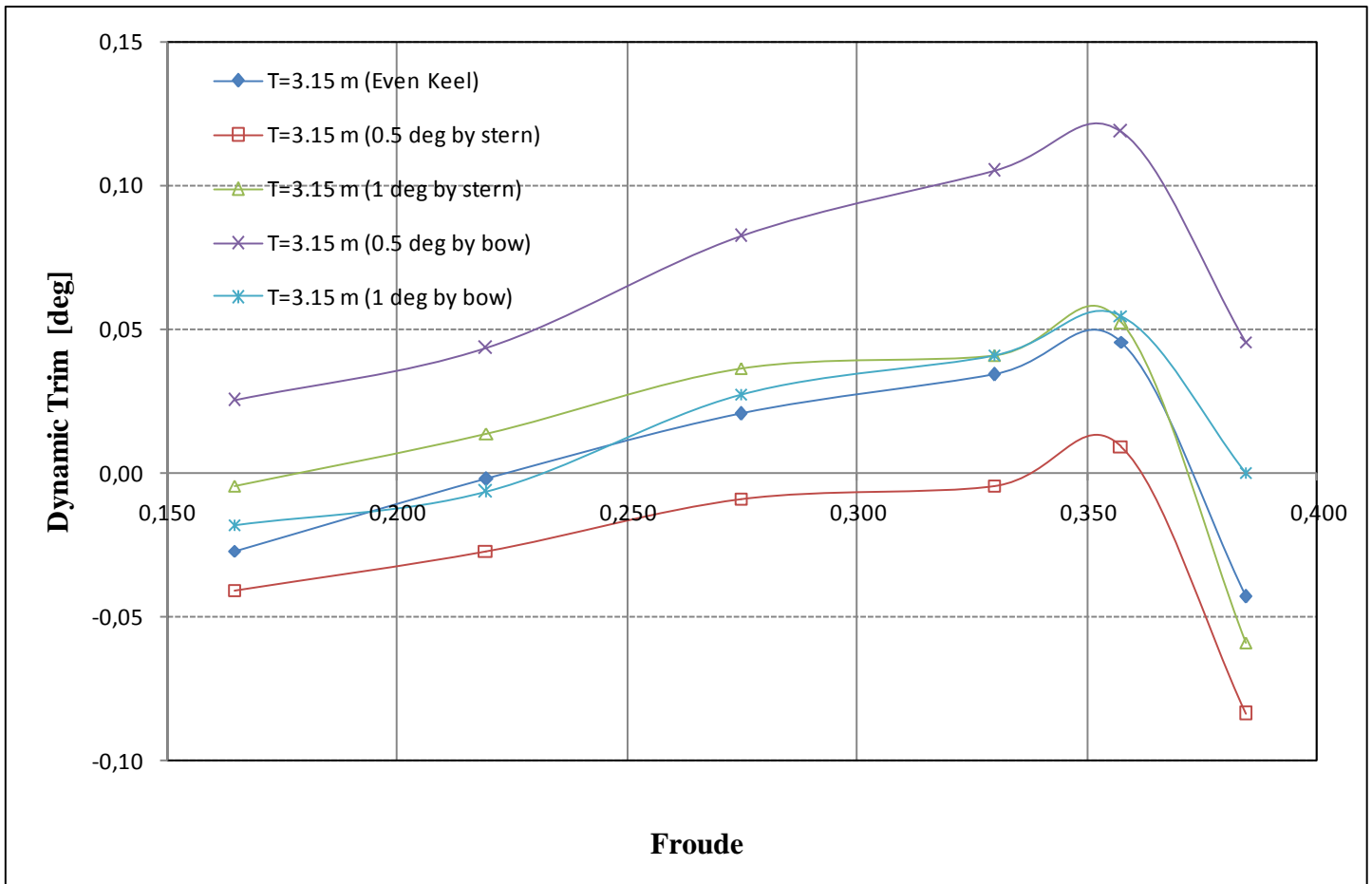
Χαρακτηριστικά Μοντέλου	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών				
			A1	A2	A3	A4	A5
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	3.677	3.670	3.500	3.573	3.77
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	3.788	3.790	3.582	3.670	3.792
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	0.700	0.700	0.700	0.700	0.7
Μέσο βύθισμα	T_M	m	0.210	0.210	0.210	0.210	0.21
Trim	t	deg	0.000	-0.500	-1.000	0.500	1.000
Εκτόπισμα	Δ	mt	328.12	332.23	336.87	325.30	323.61
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	2.956	2.988	3.085	2.886	2.853
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.589	0.596	0.605	0.599	0.615
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.803	0.814	0.841	0.793	0.809
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.646	0.654	0.663	0.657	0.674

Διάγραμμα Αντίστασης για το μοντέλο



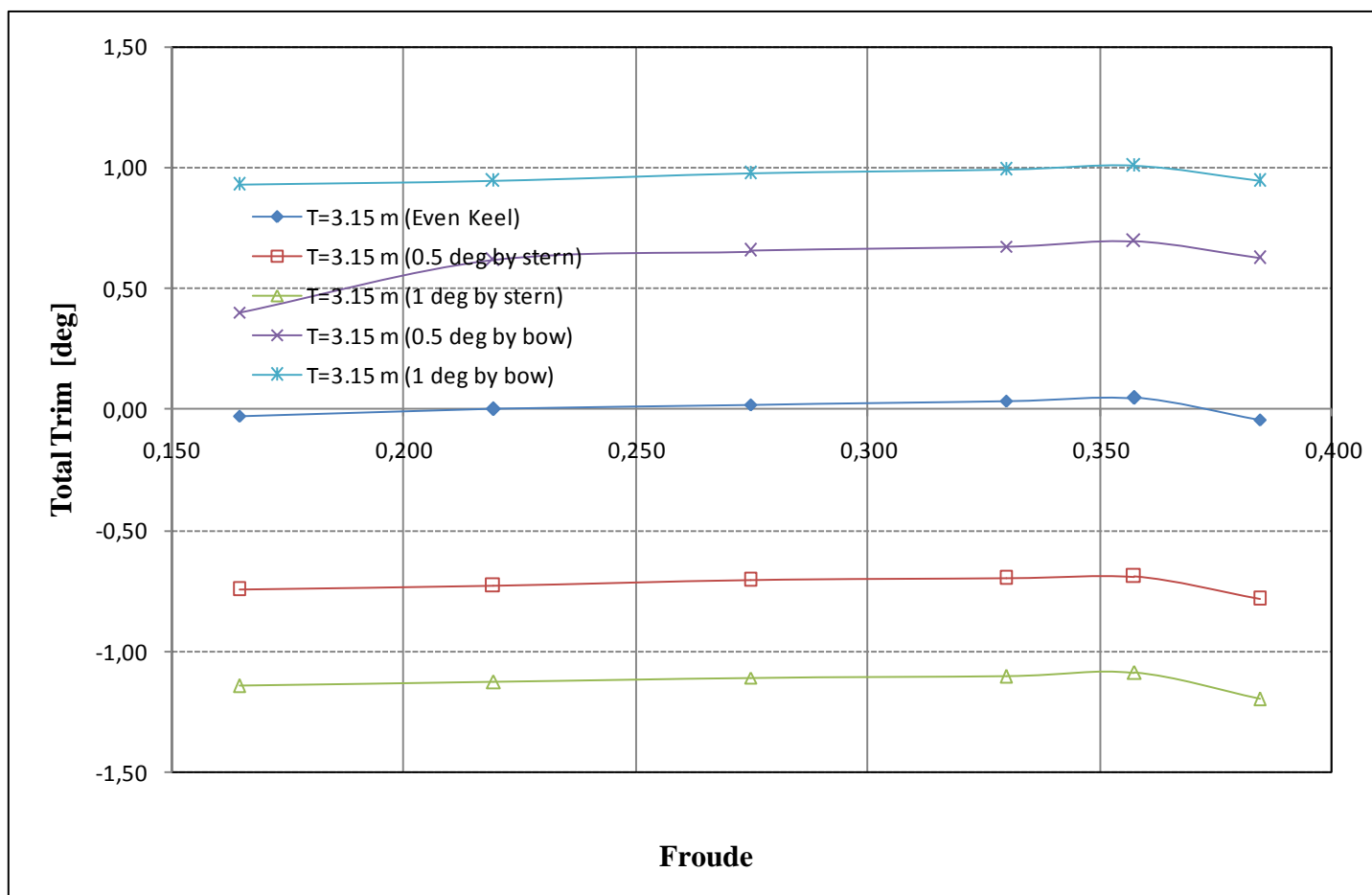
Αριθμός Froude					Αντίσταση [kp]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow
0.151	0.151	0.154	0.152	0.149	0.602	0.616	0.684	0.600	0.594
0.181	0.181	0.186	0.184	0.179	0.883	0.892	0.987	0.878	0.856
0.221	0.221	0.226	0.224	0.218	1.395	1.457	1.520	1.398	1.381
0.242	0.242	0.248	0.246	0.239	1.791	1.860	1.899	1.799	1.816
0.269	0.269	0.275	0.271	0.265	2.441	2.468	2.531	2.372	2.426
0.314	0.313	0.320	0.317	0.308	4.340	4.153	4.255	4.200	4.391

Διάγραμμα Dynamic Trim για το μοντέλο



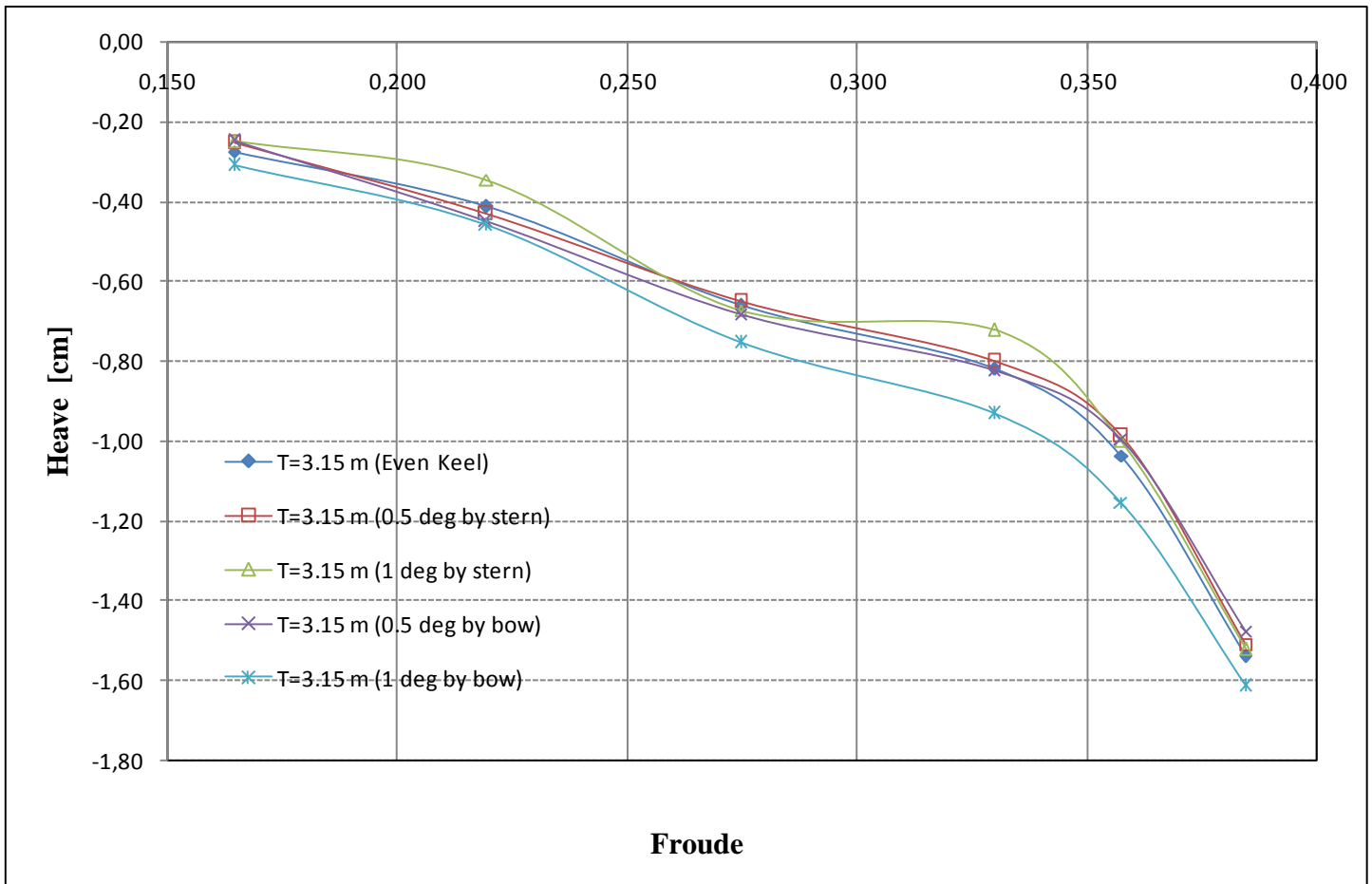
Αριθμός Froude					Dynamic Trim [deg]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow
0.151	0.151	0.154	0.152	0.149	-0.027	-0.041	-0.005	0.025	-0.018
0.181	0.181	0.186	0.184	0.179	-0.002	-0.027	0.014	0.043	-0.007
0.221	0.221	0.226	0.224	0.218	0.020	-0.009	0.036	0.082	0.027
0.242	0.242	0.248	0.246	0.239	0.034	-0.005	0.041	0.105	0.041
0.269	0.269	0.275	0.271	0.265	0.045	0.009	0.052	0.118	0.055
0.314	0.313	0.320	0.317	0.308	-0.043	-0.084	-0.059	0.046	0.000

Διάγραμμα Total Trim για το μοντέλο



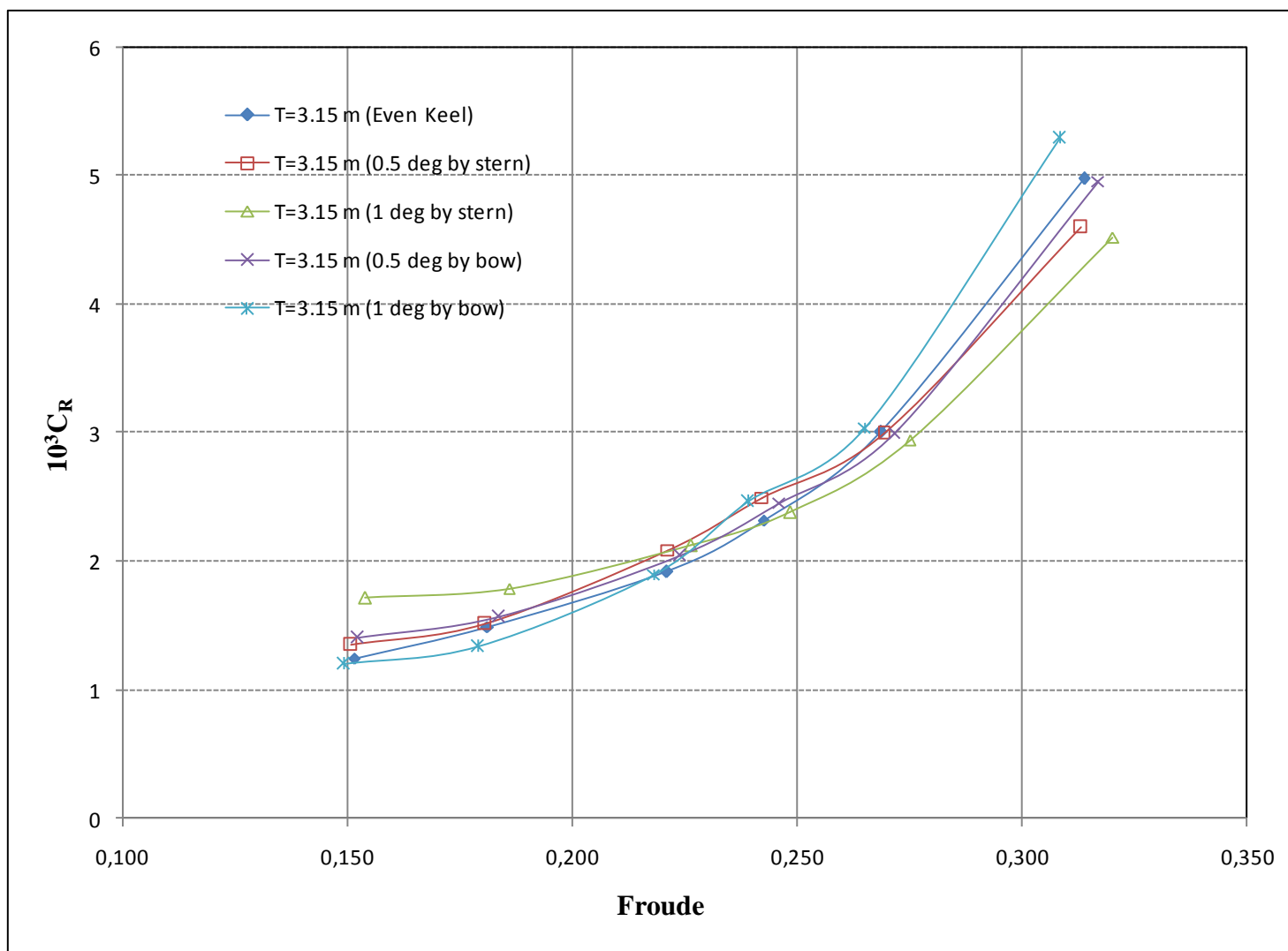
Αριθμός Froude					Dynamic Trim [deg]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow
0.151	0.151	0.154	0.152	0.149	-0.027	-0.751	-1.148	0.400	0.930
0.181	0.181	0.186	0.184	0.179	-0.002	-0.735	-1.132	0.616	0.943
0.221	0.221	0.226	0.224	0.218	0.020	-0.710	-1.111	0.653	0.973
0.242	0.242	0.248	0.246	0.239	0.034	-0.703	-1.105	0.673	0.989
0.269	0.269	0.275	0.271	0.265	0.045	-0.696	-1.093	0.692	1.007
0.314	0.313	0.320	0.317	0.308	-0.043	-0.789	-1.200	0.621	0.943

Διάγραμμα Heave για το μοντέλο



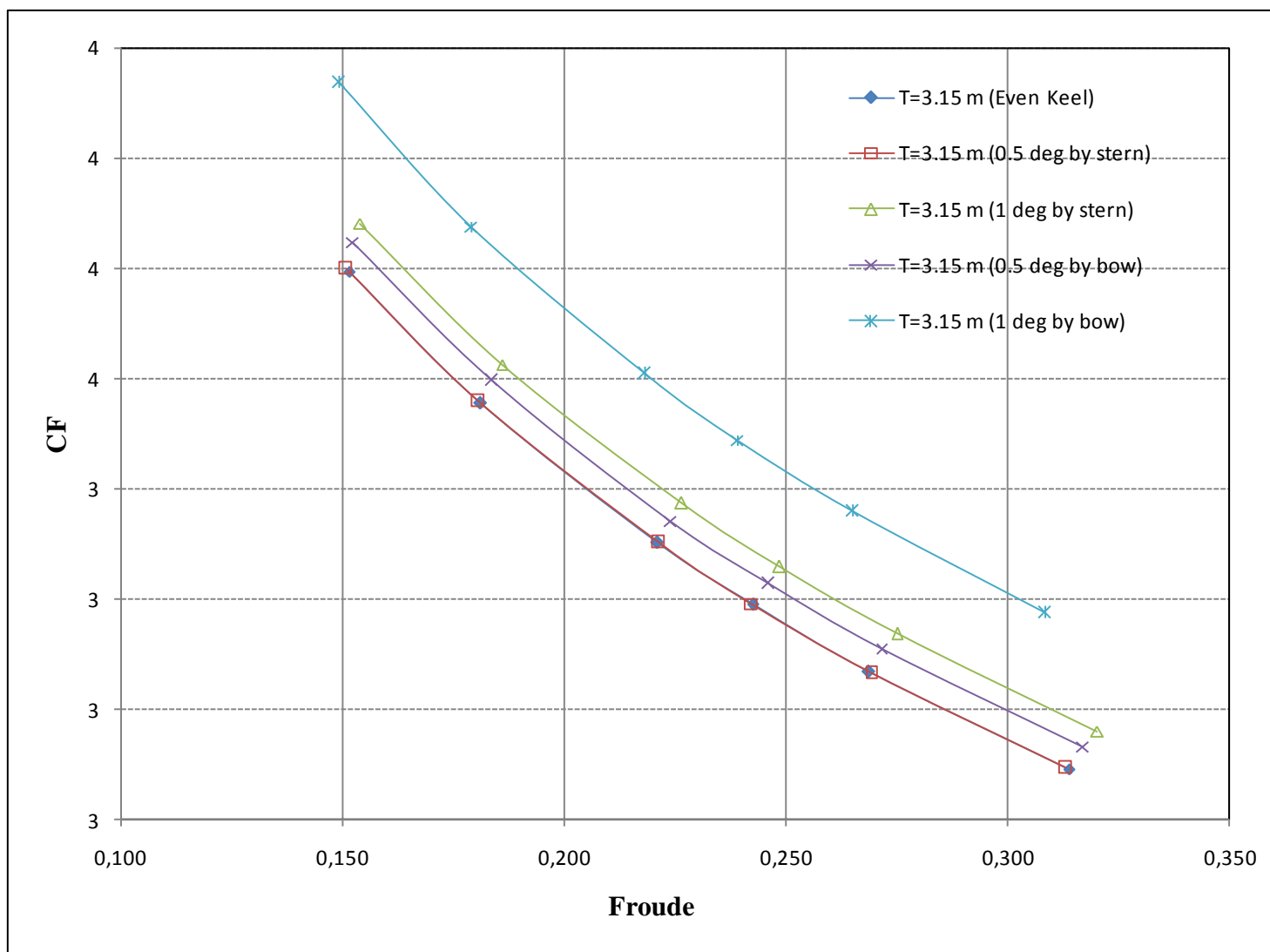
Αριθμός Froude					Heave [cm]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow
0.151	0.151	0.154	0.152	0.149	-0.276	-0.255	-0.250	-0.250	-0.309
0.181	0.181	0.186	0.184	0.179	-0.412	-0.433	-0.345	-0.450	-0.459
0.221	0.221	0.226	0.224	0.218	-0.662	-0.652	-0.673	-0.682	-0.755
0.242	0.242	0.248	0.246	0.239	-0.820	-0.803	-0.723	-0.823	-0.933
0.269	0.269	0.275	0.271	0.265	-1.038	-0.990	-1.000	-0.996	-1.155
0.314	0.313	0.320	0.317	0.308	-1.541	-1.510	-1.523	-1.477	-1.615

Διάγραμμα Συντελεστή C_R για το μοντέλο



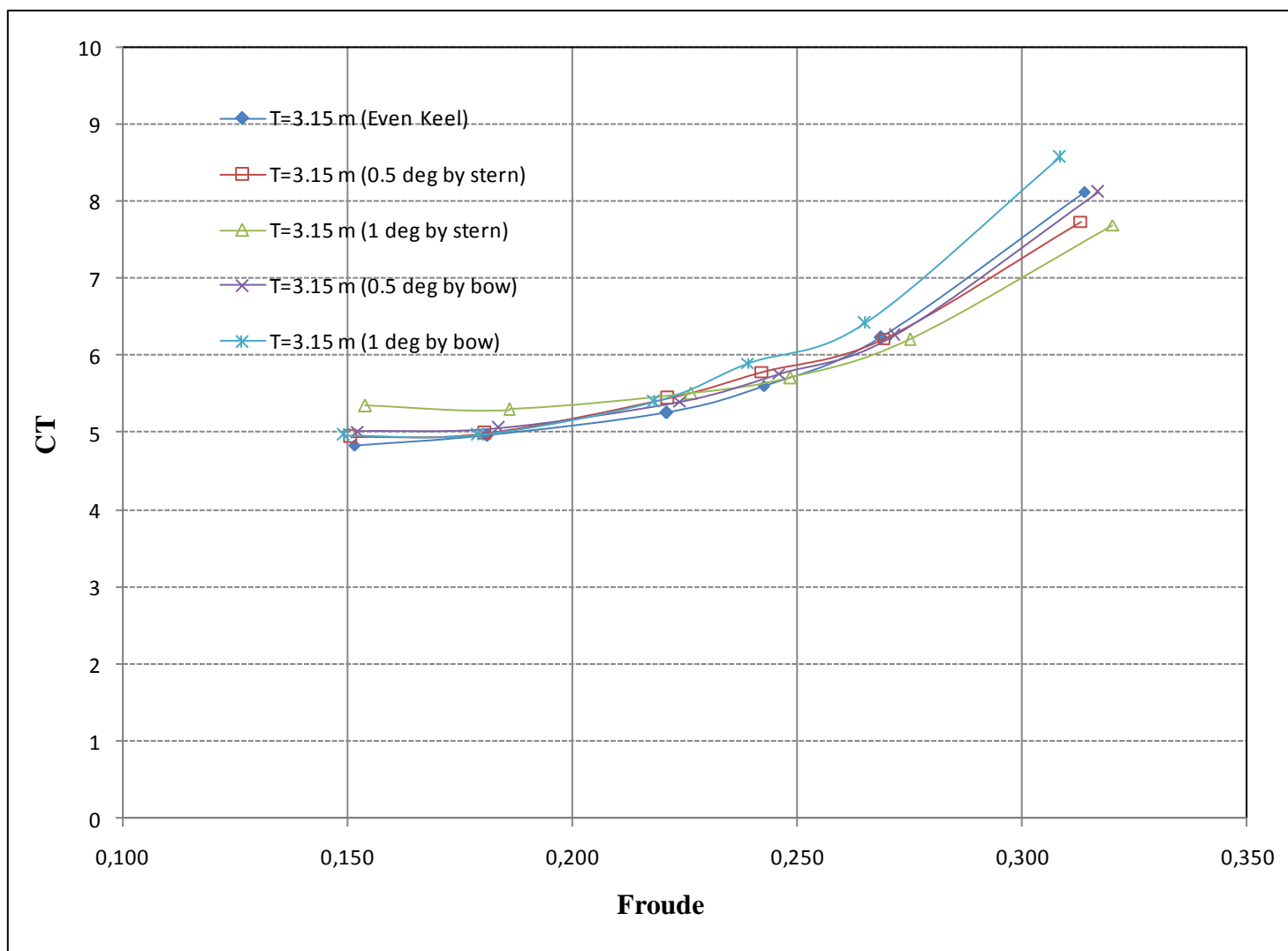
Αριθμός Froude					Συντελεστής C_R				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow
0.151	0.151	0.154	0.152	0.149	1.250	1.350	1.718	1.401	1.200
0.181	0.181	0.186	0.184	0.179	1.494	1.517	1.792	1.565	1.337
0.221	0.221	0.226	0.224	0.218	1.918	2.094	2.124	2.046	1.900
0.242	0.242	0.248	0.246	0.239	2.325	2.502	2.388	2.460	2.466
0.269	0.269	0.275	0.271	0.265	3.007	2.994	2.948	3.003	3.044
0.314	0.313	0.320	0.317	0.308	4.988	4.602	4.527	4.965	5.297

Διάγραμμα Συντελεστή C_F για το μοντέλο



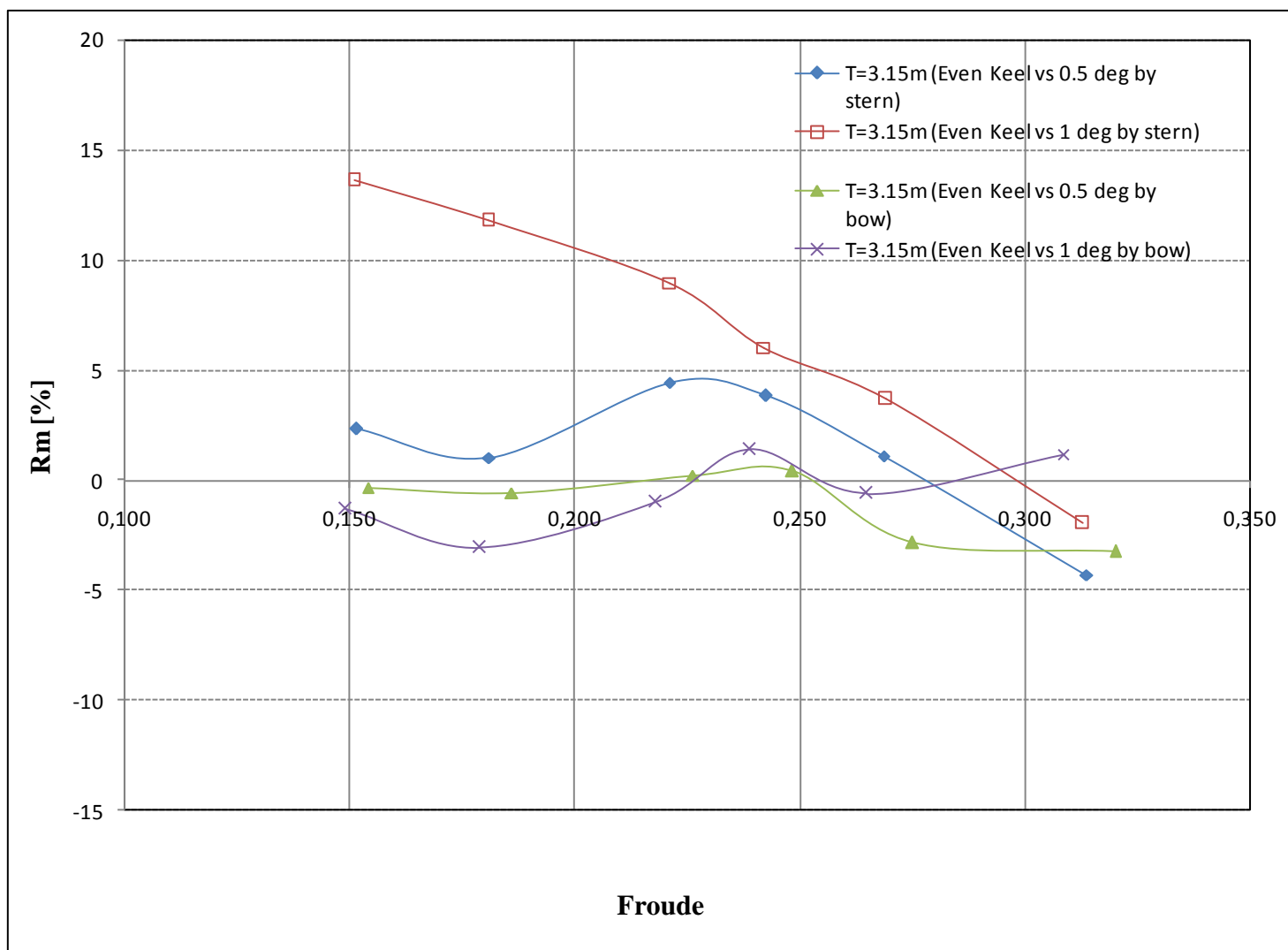
Αριθμός Froude					Συντελεστής C_F				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow
0.151	0.151	0.154	0.152	0.149	3,597	3,600	3,641	3,624	3,768
0.181	0.181	0.186	0.184	0.179	3,478	3,479	3,513	3,498	3,638
0.221	0.221	0.226	0.224	0.218	3,351	3,351	3,387	3,371	3,504
0.242	0.242	0.248	0.246	0.239	3,295	3,296	3,329	3,314	3,444
0.269	0.269	0.275	0.271	0.265	3,234	3,233	3,268	3,255	3,379
0.314	0.313	0.320	0.317	0.308	3,146	3,147	3,180	3,166	3,287

Διάγραμμα Συντελεστής C_T για το μοντέλο



Αριθμός Froude					Συντελεστής C_T				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow
0.151	0.151	0.154	0.152	0.149	4,847	4,950	5,359	5,025	4,968
0.181	0.181	0.186	0.184	0.179	4,972	4,996	5,305	5,063	4,975
0.221	0.221	0.226	0.224	0.218	5,269	5,445	5,511	5,417	5,404
0.242	0.242	0.248	0.246	0.239	5,620	5,798	5,717	5,774	5,910
0.269	0.269	0.275	0.271	0.265	6,241	6,227	6,216	6,258	6,423
0.314	0.313	0.320	0.317	0.308	8,134	7,749	7,707	8,131	8,584

Διάγραμμα Διαφορών Αντίστασης για το μοντέλο

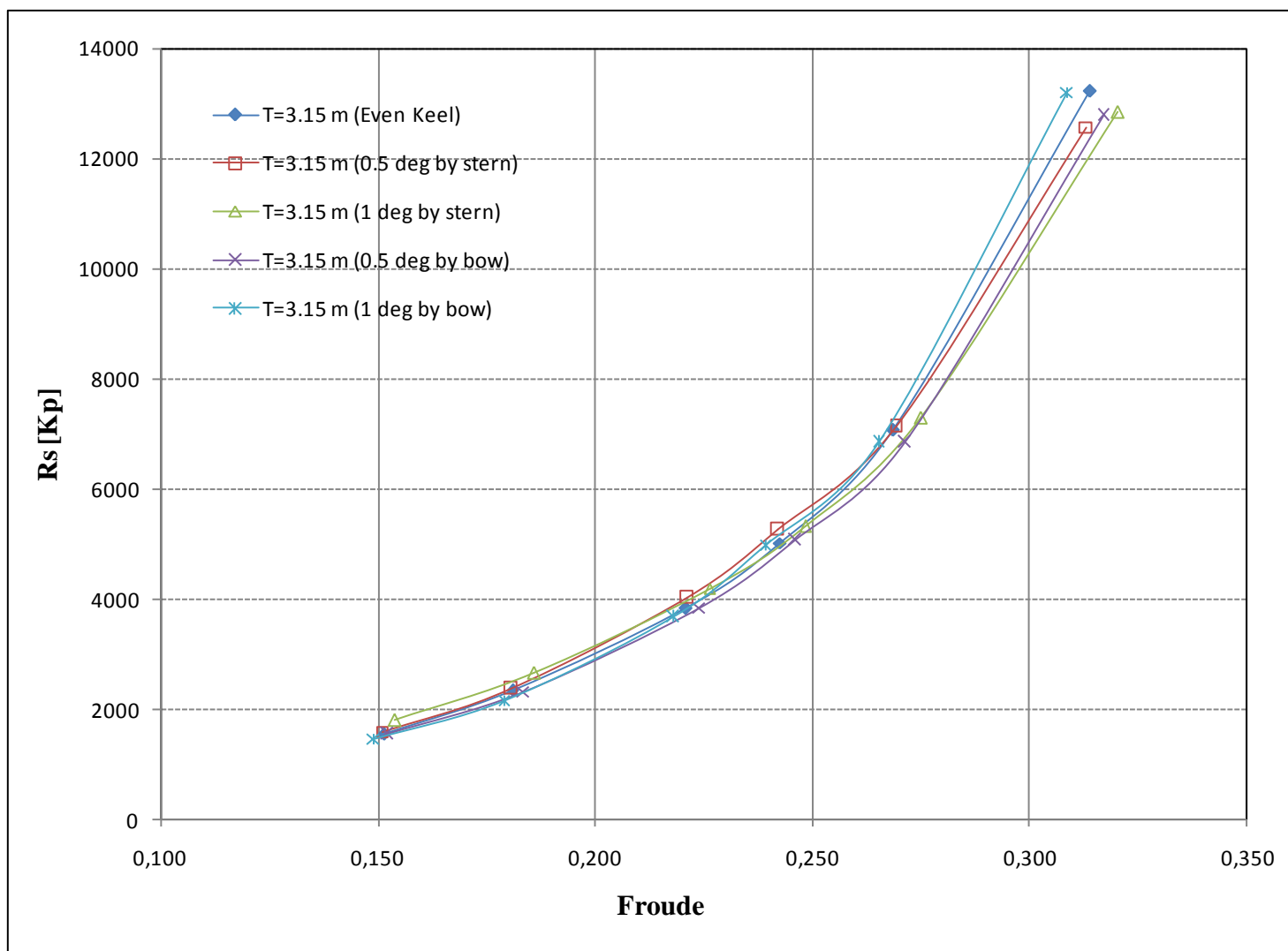


Αριθμός Froude					Διαφορές Αντίστασης			
A1	A2	A3	A4	A5	A2-A1	A3-A1	A4-A1	A5-A1
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow				
0.151	0.151	0.154	0.152	0.149	2.33	13.62	-0.33	-1.33
0.181	0.181	0.186	0.184	0.179	1.02	11.78	-0.57	-3.06
0.221	0.221	0.226	0.224	0.218	4.44	8.96	0.22	-1.00
0.242	0.242	0.248	0.246	0.239	3.85	6.03	0.45	1.40
0.269	0.269	0.275	0.271	0.265	1.11	3.69	-2.83	-0.61
0.314	0.313	0.320	0.317	0.308	-4.31	-1.96	-3.23	1.18

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το πραγματικό

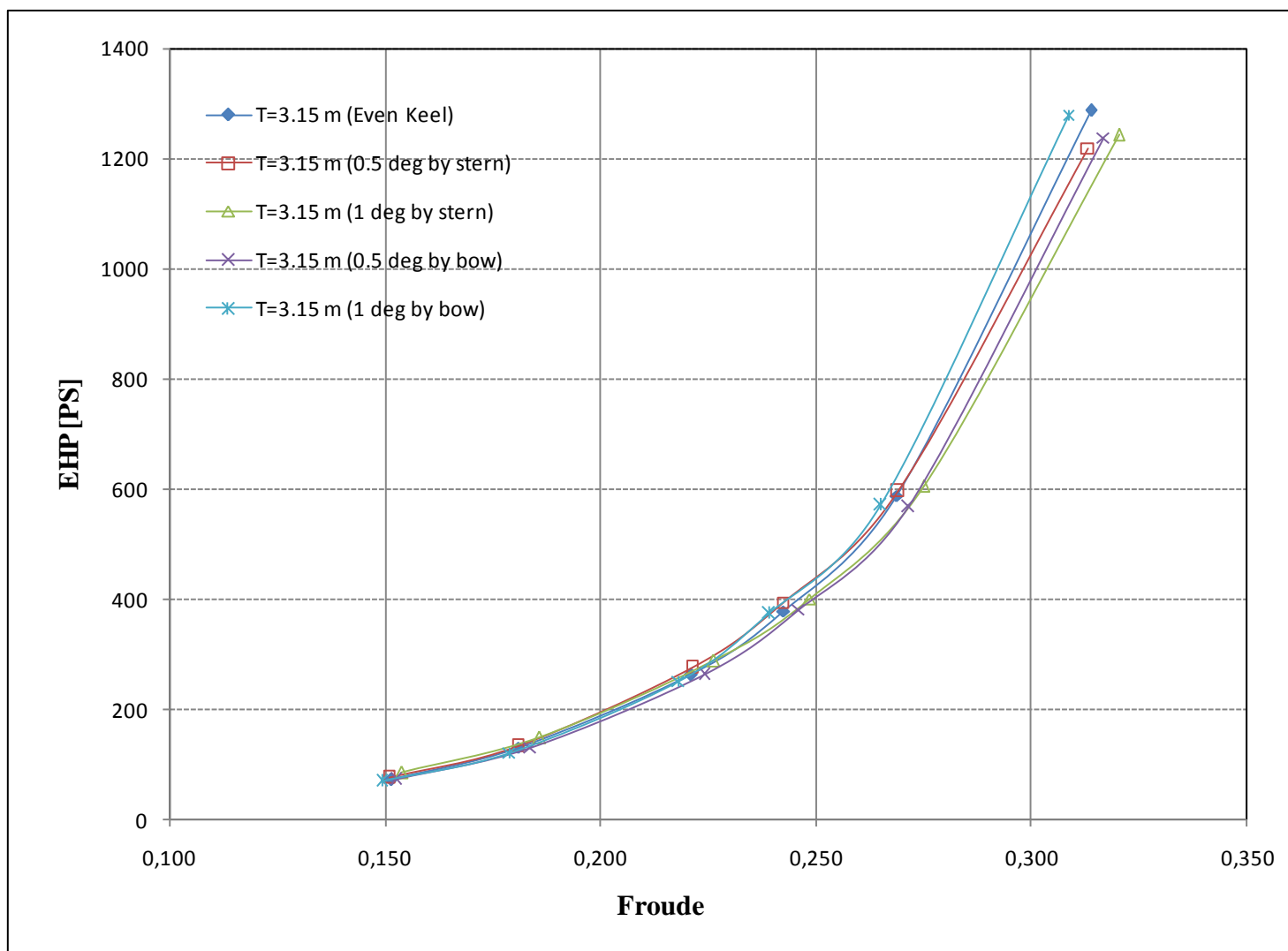
Χαρακτηριστικά Σκάφους	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών				
			A1	A2	A3	A4	A5
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	55.155	55.050	52.500	53.595	56.550
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	56.820	56.850	53.730	55.050	56.880
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500
Μέσο βύθισμα	T_M	m	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150
Trim	trim	deg					
Εκτόπισμα	Δ	mt	1135.09	1149.31	1165.36	1125.33	1119.49
Βρεγόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	665.10	672.30	694.13	649.4	641.9
Συντελεστής Γάστρας	CB		0.589	0.596	0.605	0.599	0.615
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0.803	0.814	0.841	0.793	0.809
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0.646	0.654	0.663	0.657	0.674

Διάγραμμα Αντίστασης για το πραγματικό



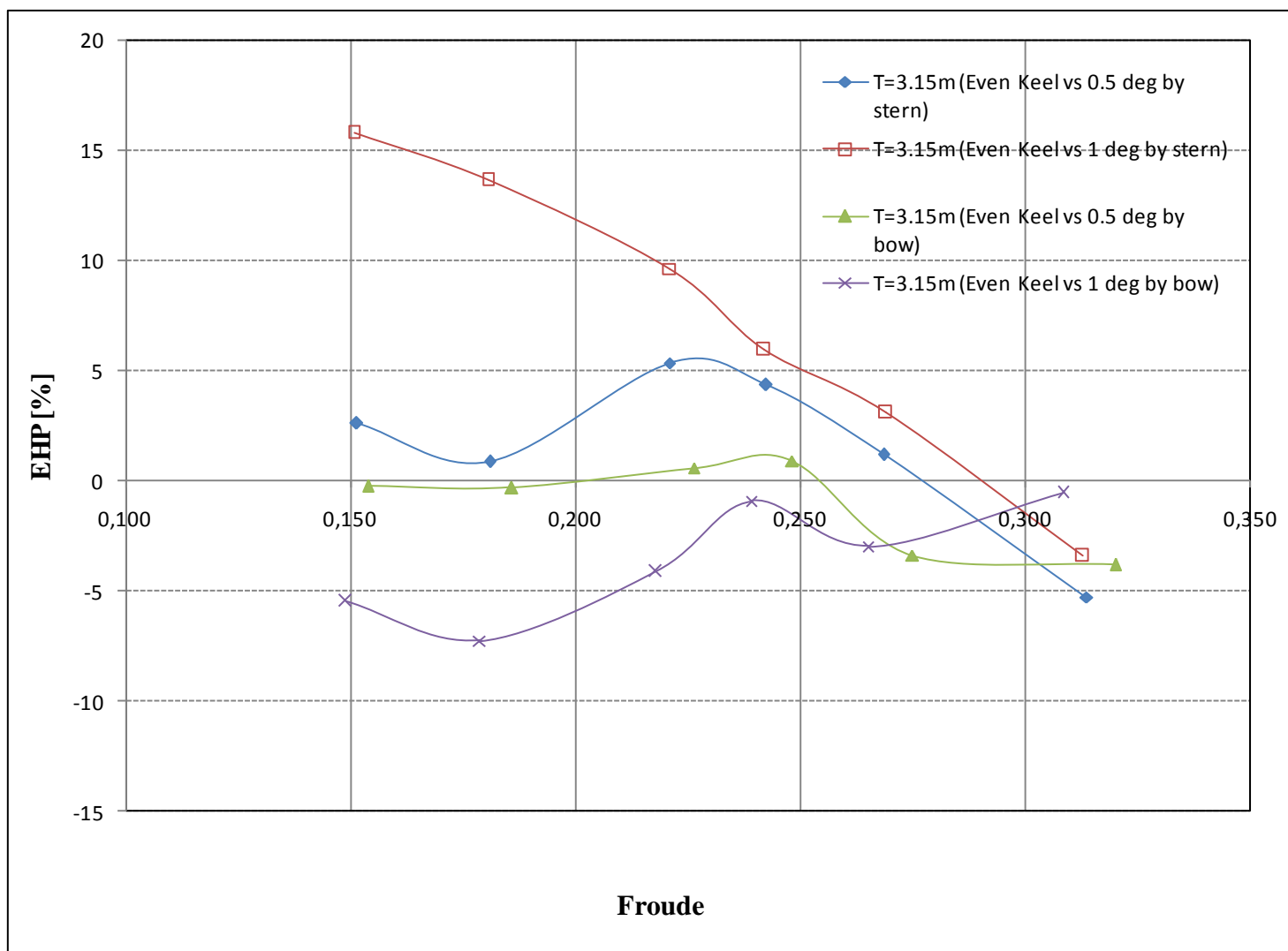
Αριθμός Froude					Αντίσταση [kp]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow
0.151	0.151	0.154	0.152	0.149	1545	1592	1803	1553	1464
0.181	0.181	0.186	0.184	0.179	2331	2358	2644	2324	2160
0.221	0.221	0.226	0.224	0.218	3818	4022	4189	3843	3663
0.242	0.242	0.248	0.246	0.239	5021	5252	5322	5063	4982
0.269	0.269	0.275	0.271	0.265	7054	7129	7280	6842	6848
0.314	0.313	0.320	0.317	0.308	13225	12566	12828	12776	13205

Διάγραμμα EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude					EHP [PS]				
A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow
0.151	0.151	0.154	0.152	0.149	73	74	84	72	69
0.181	0.181	0.186	0.184	0.179	131	132	149	130	121
0.221	0.221	0.226	0.224	0.218	262	276	287	263	251
0.242	0.242	0.248	0.246	0.239	378	394	400	381	374
0.269	0.269	0.275	0.271	0.265	588	595	606	568	570
0.314	0.313	0.320	0.317	0.308	1287	1219	1243	1238	1279

Διάγραμμα Διαφορών EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude					Διαφορές Ισχύος			
A1	A2	A3	A4	A5	A2-A1	A3-A1	A4-A1	A5-A1
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=1.0 deg by stern	t=0.5 deg by bow	t=1.0 deg by bow				
0.151	0.151	0.154	0.152	0.149	2.59	15.80	-0.26	-5.45
0.181	0.181	0.186	0.184	0.179	0.88	13.64	-0.30	-7.25
0.221	0.221	0.226	0.224	0.218	5.34	9.63	0.58	-4.13
0.242	0.242	0.248	0.246	0.239	4.39	5.92	0.91	-0.91
0.269	0.269	0.275	0.271	0.265	1.19	3.08	-3.37	-2.98
0.314	0.313	0.320	0.317	0.308	-5.29	-3.41	-3.81	-0.58

Συμπεράσματα – Σχόλια

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων αξίζει να σημειωθεί ότι τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε πολλές διαφορετικές καταστάσεις κατά τις οποίες παρατηρούνταν βύθιση ή μη του βολβού και βύθιση ή μη της πρύμνης, ή και τα δύο. Οι διαφορετικές συνθήκες που συναντήθηκαν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Κατάσταση	Πρύμνη (βύθιση καθρέπτη)	Πλώρη (βύθιση βολβού)
Even Keel - T=3.15 m	Ναι	Ναι
0.5 deg by stern - T=3.15 m	Ναι	Ναι
1.0 deg by stern - T=3.15 m	Ναι	Όχι
0.5 deg by bow - T=3.15 m	Όχι	Ναι
1.0 deg by bow - T=3.15 m	Όχι	Ναι

Σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα από τα πειράματα αλλά και από τα παραπάνω δεδομένα έχουμε να πούμε τα εξής

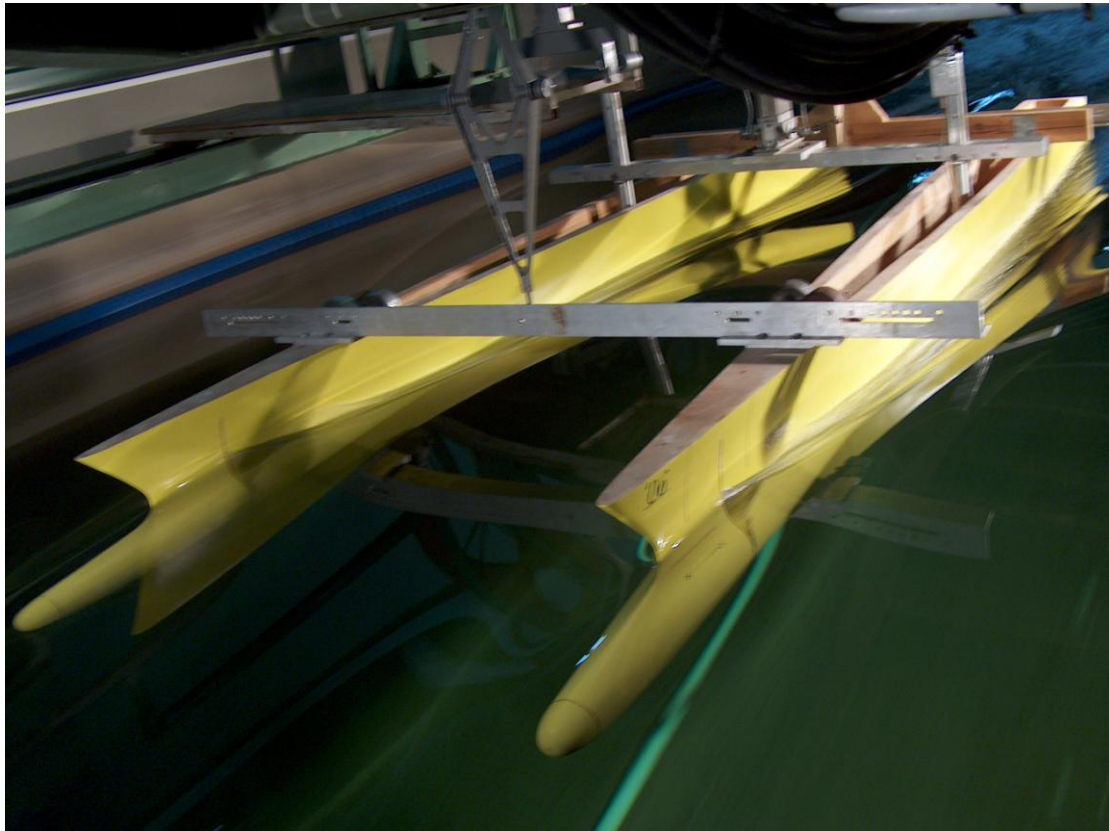
Γενικά αξίζει να σημειωθούν τα εξής.

- Η δυναμική διαγωγή του μοντέλου δεν είναι σημαντική ώστε να επηρεάσει τη μορφή της ισάλου κατά τη διάρκεια της μέτρησης.
- Η ανάδυση του βολβού οδηγεί σε σημαντική αύξηση στην αντίσταση κυματισμού.
- Η κατάσταση της έμπρυμνης διαγωγής της 1 μοίρας παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές από όλες τις αντιστάσεις. Όπως φαίνεται και από το συντελεστή ισάλου επιφάνειας, ο οποίος αυξάνει σημαντικά στην περίπτωση αυτή αφού το μοντέλο γίνεται λιγότερο λεπτόγραμμο και κατά συνέπεια αυξάνεται η αντίσταση κυματισμού.
- Οι έμπρωρες καταστάσεις παρουσιάζονται γενικά καλύτερες από την ισοβύθιστη. Εκτός από την ανάδυση του καθρέπτη, η έμπρομη διαγωγή, οδηγεί σε συγκέντρωση εκτοπίσματος στο τμήμα της πλώρης, οδηγώντας σε ένα σχήμα το οποίο παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά από ένα που έχει καταμερισμένο το εκτόπισμά του σε όλο το μήκος του.

- Η λειτουργία του βολβού σε συνθήκες , για τις οποίες δεν έχει σχεδιαστεί, επιδρά αρνητικά στην αντίσταση.
- Στις μεγάλες ταχύτητες, στην έμπρυμνη κατάσταση των 0.5 μοιρών, η ολική αντίσταση μειώνεται σε σχέση με την ισοβύθιστη κατάσταση. Παρότι στις χαμηλές έχουμε αύξηση της αντίστασης μορφής (λόγω αποκόλλησης), στις υψηλότερες ταχύτητες, αυτή η αύξηση αντισταθμίζεται από την μείωση της αντίστασης κυματισμού.

4^ο Μοντέλο – E/O Semi-Swath

Η τέταρτη γάστρα που δοκιμάστηκε, ανήκει σε ένα δίγαστρο E/O με βολβό και πρύμνη καθρέπτη. Για το μοντέλο, αυτό έγιναν δοκιμές σε 1 βύθισμα στην ισοβύθιστη κατάσταση και σε δύο εμπρυμνες διαγωγές, και για κάθε κατάσταση έγιναν πειράματα σε 15 ταχύτητες. Στόχος ήταν να διερευνηθεί η συμπεριφορά του σκάφους σε διαγωγές σε σχέση με την ισοβύθιστη κατάσταση. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα των πειραμάτων.



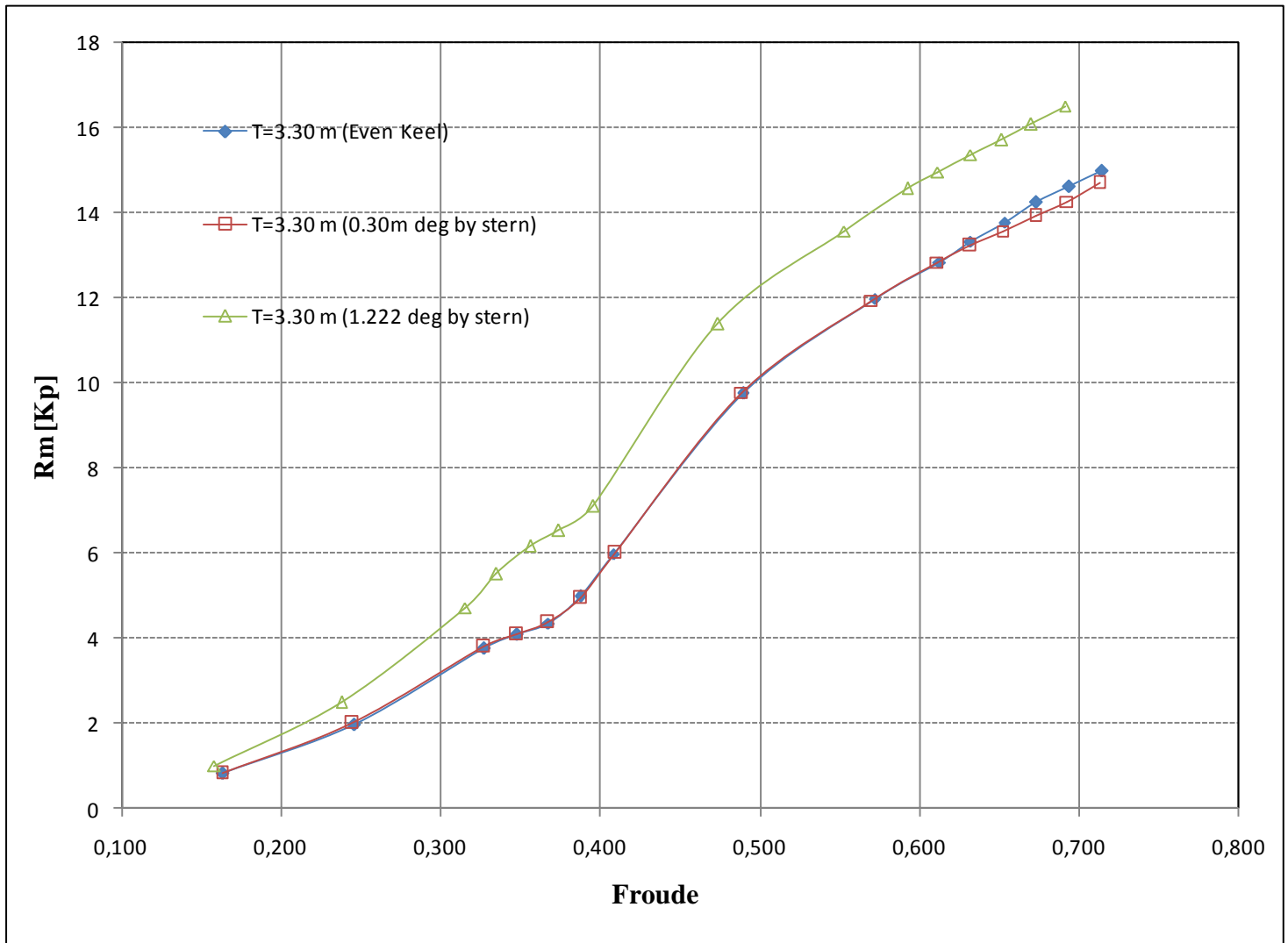
Εικόνα : Το μοντέλο του Semi Swath κατά τη διάρκεια των πειραμάτων

Κατάσταση δοκιμών – T = 3.30 m

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το μοντέλο

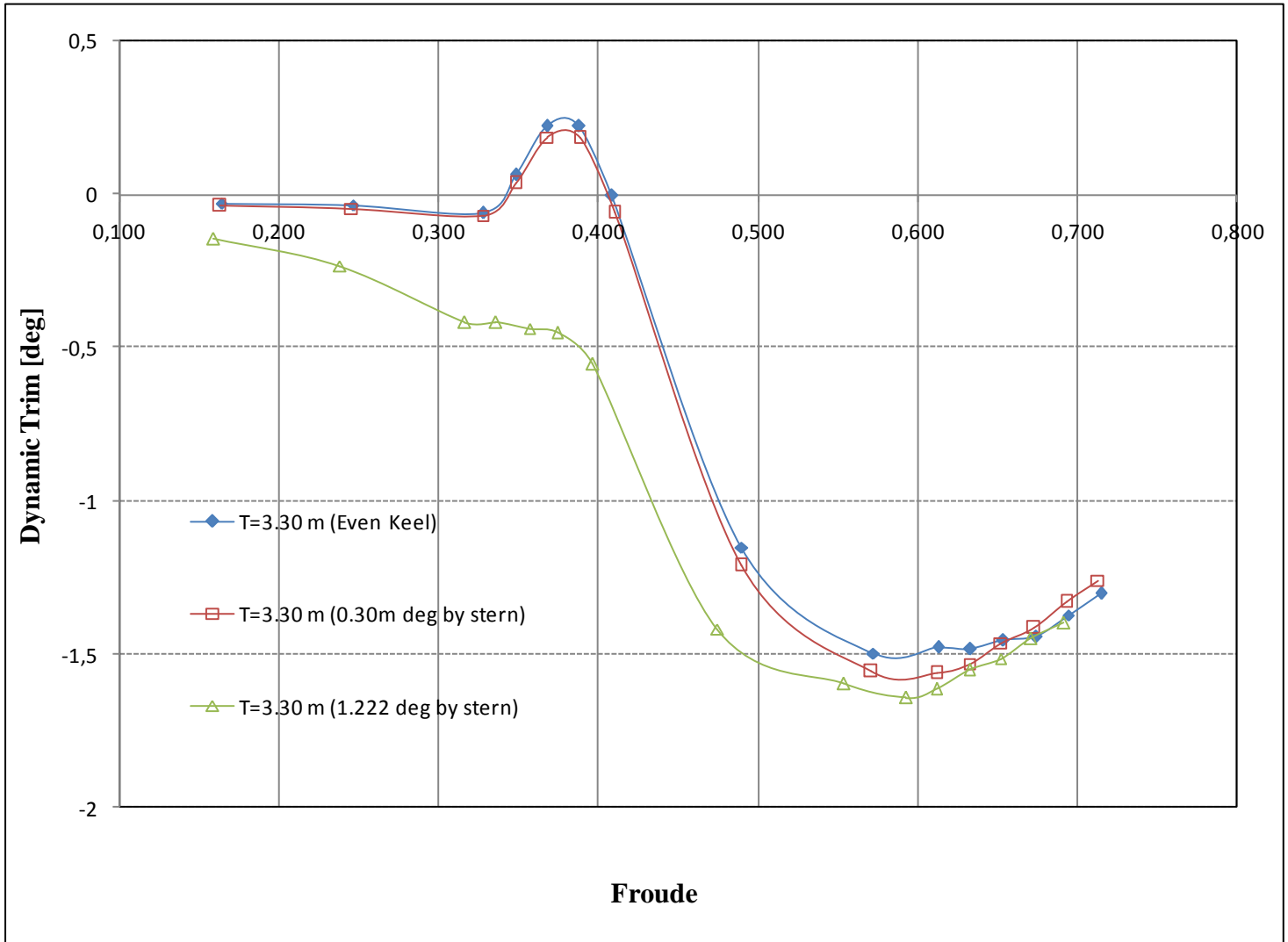
Χαρακτηριστικά Μοντέλου	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών		
			A1	A2	A3
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	3,698	3,713	3,950
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	4,040	4,040	4,040
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	0,458	0,469	0,462
Μέσο βύθισμα	T_M	m	0,189	0,189	0,189
Trim	t	deg	0,000	-0,30m	-1,222
Εκτόπισμα	Δ	mt	187,864	187,864	187,864
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	3,409	3,402	3,272
Συντελεστής Γάστρας	CB				
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP				
Πρισματικός Συντελεστής	CP				

Διάγραμμα Αντίστασης για το μοντέλο



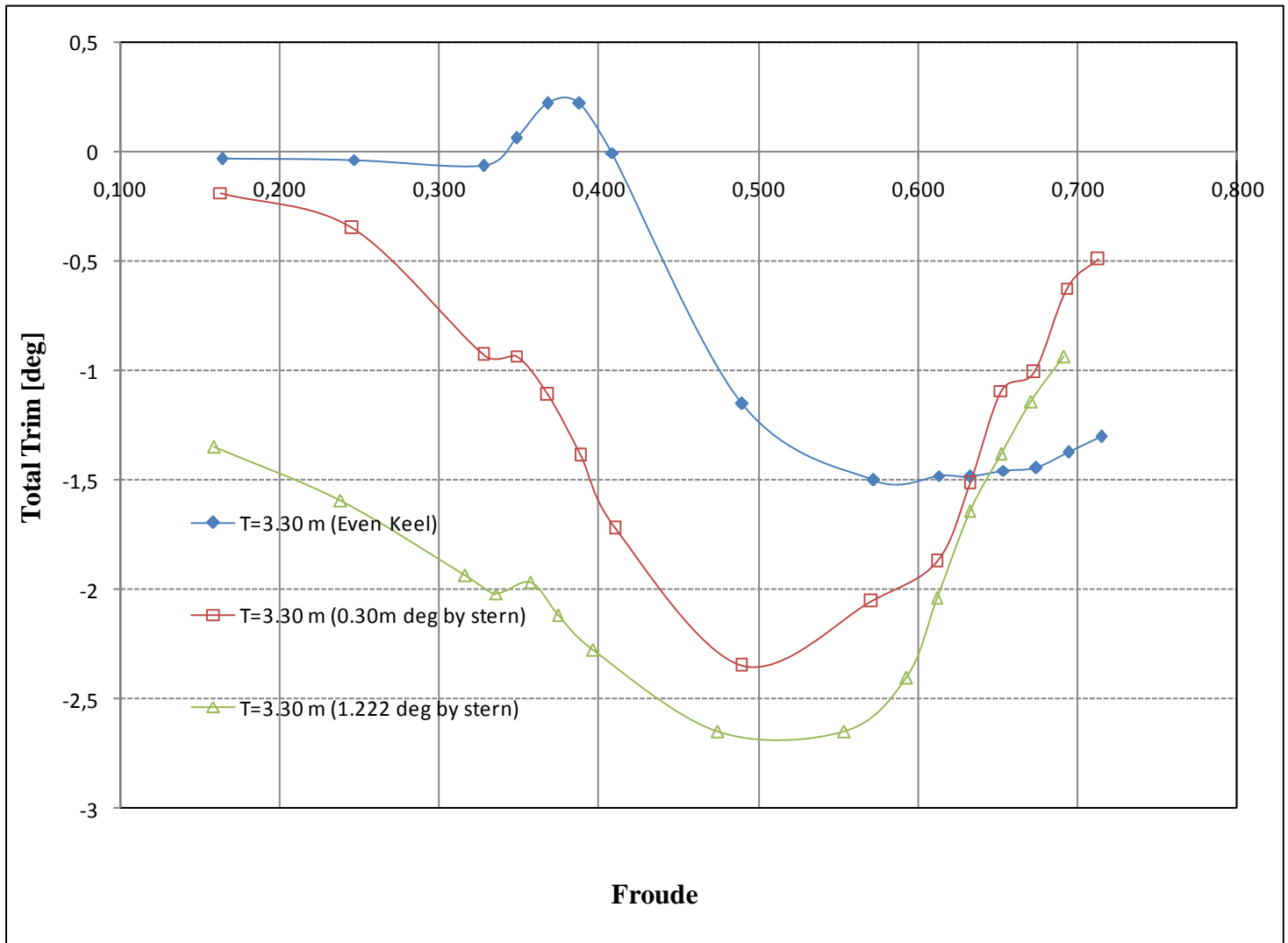
Αριθμός Froude			Αντίσταση [kp]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern	Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern
0,164	0,163	0,158	0,832	0,831	1,004
0,246	0,245	0,238	1,979	1,995	2,504
0,327	0,327	0,316	3,762	3,795	4,729
0,348	0,348	0,335	4,096	4,095	5,533
0,367	0,368	0,356	4,362	4,364	6,165
0,388	0,388	0,374	4,976	4,94	6,529
0,408	0,410	0,396	5,993	6,005	7,105
0,490	0,489	0,474	9,779	9,784	11,406
0,572	0,571	0,553	11,989	11,952	13,586
0,613	0,611	0,593	12,845	12,846	14,582
0,633	0,632	0,612	13,337	13,245	14,972
0,653	0,652	0,632	13,794	13,58	15,376
0,674	0,673	0,652	14,256	13,930	15,716
0,694	0,693	0,671	14,636	14,275	16,087
0,714	0,713	0,691	14,992	14,706	16,517

Διάγραμμα Dynamic Trim για το μοντέλο



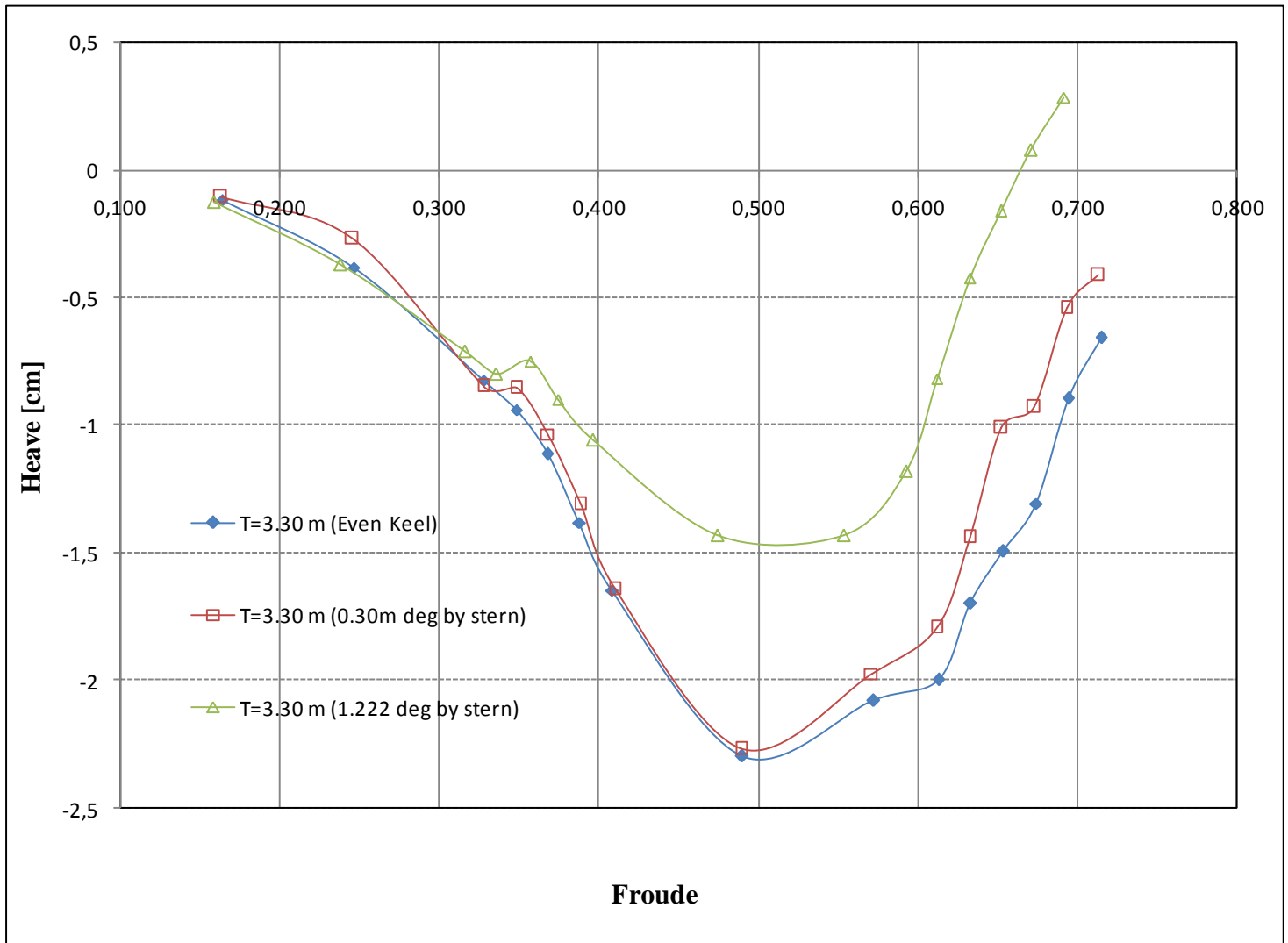
Αριθμός Froude			Dynamic Trim [deg]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern	Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern
0,164	0,164	0,164	-0,029	-0,037	-0,146
0,246	0,246	0,246	-0,034	-0,045	-0,233
0,327	0,327	0,327	-0,061	-0,068	-0,415
0,348	0,348	0,348	0,066	0,037	-0,415
0,367	0,367	0,367	0,225	0,188	-0,437
0,388	0,388	0,388	0,225	0,185	-0,450
0,408	0,408	0,408	-0,003	-0,058	-0,553
0,490	0,490	0,490	-1,151	-1,212	-1,418
0,572	0,572	0,572	-1,497	-1,558	-1,598
0,613	0,613	0,613	-1,479	-1,564	-1,643
0,633	0,633	0,633	-1,482	-1,532	-1,614
0,653	0,653	0,653	-1,455	-1,463	-1,550
0,674	0,674	0,674	-1,442	-1,415	-1,513
0,694	0,694	0,694	-1,373	-1,328	-1,450
0,714	0,714	0,714	-1,302	-1,259	-1,397

Διάγραμμα Total Trim για το μοντέλο



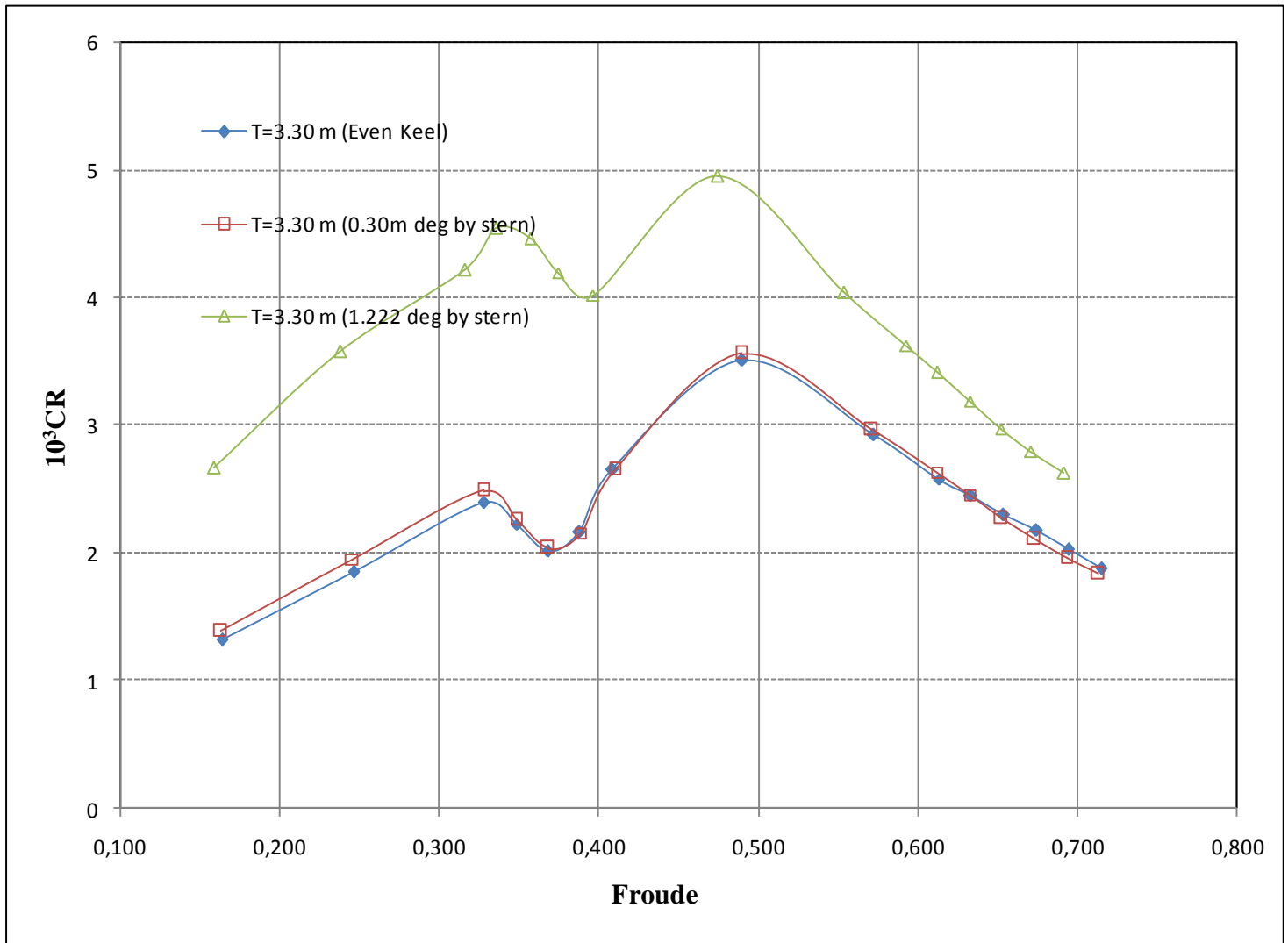
Αριθμός Froude			Total Trim [deg]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern	Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern
0,164	0,164	0,164	-0,029	-0,185	-1,345
0,246	0,246	0,246	-0,034	-0,348	-1,591
0,327	0,327	0,327	-0,061	-0,925	-1,932
0,348	0,348	0,348	0,066	-0,930	-2,019
0,367	0,367	0,367	0,225	-1,112	-1,968
0,388	0,388	0,388	0,225	-1,389	-2,119
0,408	0,408	0,408	-0,003	-1,721	-2,278
0,490	0,490	0,490	-1,151	-2,348	-2,651
0,572	0,572	0,572	-1,497	-2,052	-2,651
0,613	0,613	0,613	-1,479	-1,871	-2,401
0,633	0,633	0,633	-1,482	-1,516	-2,037
0,653	0,653	0,653	-1,455	-1,089	-1,641
0,674	0,674	0,674	-1,442	-1,007	-1,381
0,694	0,694	0,694	-1,373	-0,621	-1,140
0,714	0,714	0,714	-1,302	-0,489	-0,935

Διάγραμμα Heave για το μοντέλο



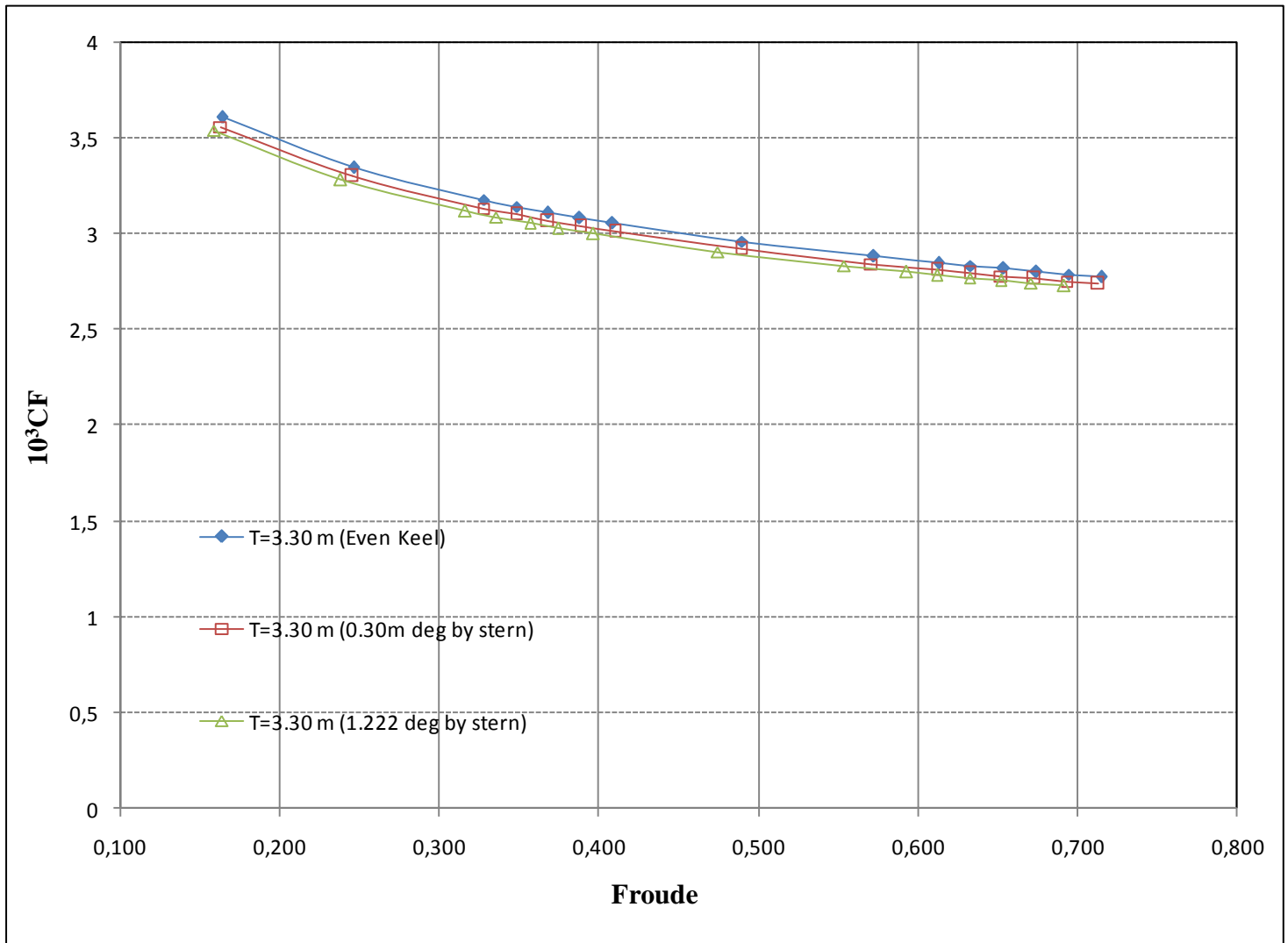
Αριθμός Froude			Heave [cm]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern	Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern
0,164	0,164	0,164	-0,114	-0,105	-0,1229
0,246	0,246	0,246	-0,379	-0,268	-0,3687
0,327	0,327	0,327	-0,822	-0,845	-0,7101
0,348	0,348	0,348	-0,936	-0,850	-0,7965
0,367	0,367	0,367	-1,110	-1,032	-0,7465
0,388	0,388	0,388	-1,380	-1,309	-0,8967
0,408	0,408	0,408	-1,645	-1,641	-1,056
0,490	0,490	0,490	-2,293	-2,268	-1,4292
0,572	0,572	0,572	-2,078	-1,972	-1,4292
0,613	0,613	0,613	-1,996	-1,791	-1,1789
0,633	0,633	0,633	-1,697	-1,436	-0,8147
0,653	0,653	0,653	-1,494	-1,009	-0,4188
0,674	0,674	0,674	-1,303	-0,927	-0,1593
0,694	0,694	0,694	-0,892	-0,541	0,08193
0,714	0,714	0,714	-0,656	-0,409	0,28675

Διάγραμμα Συντελεστή C_R για το μοντέλο



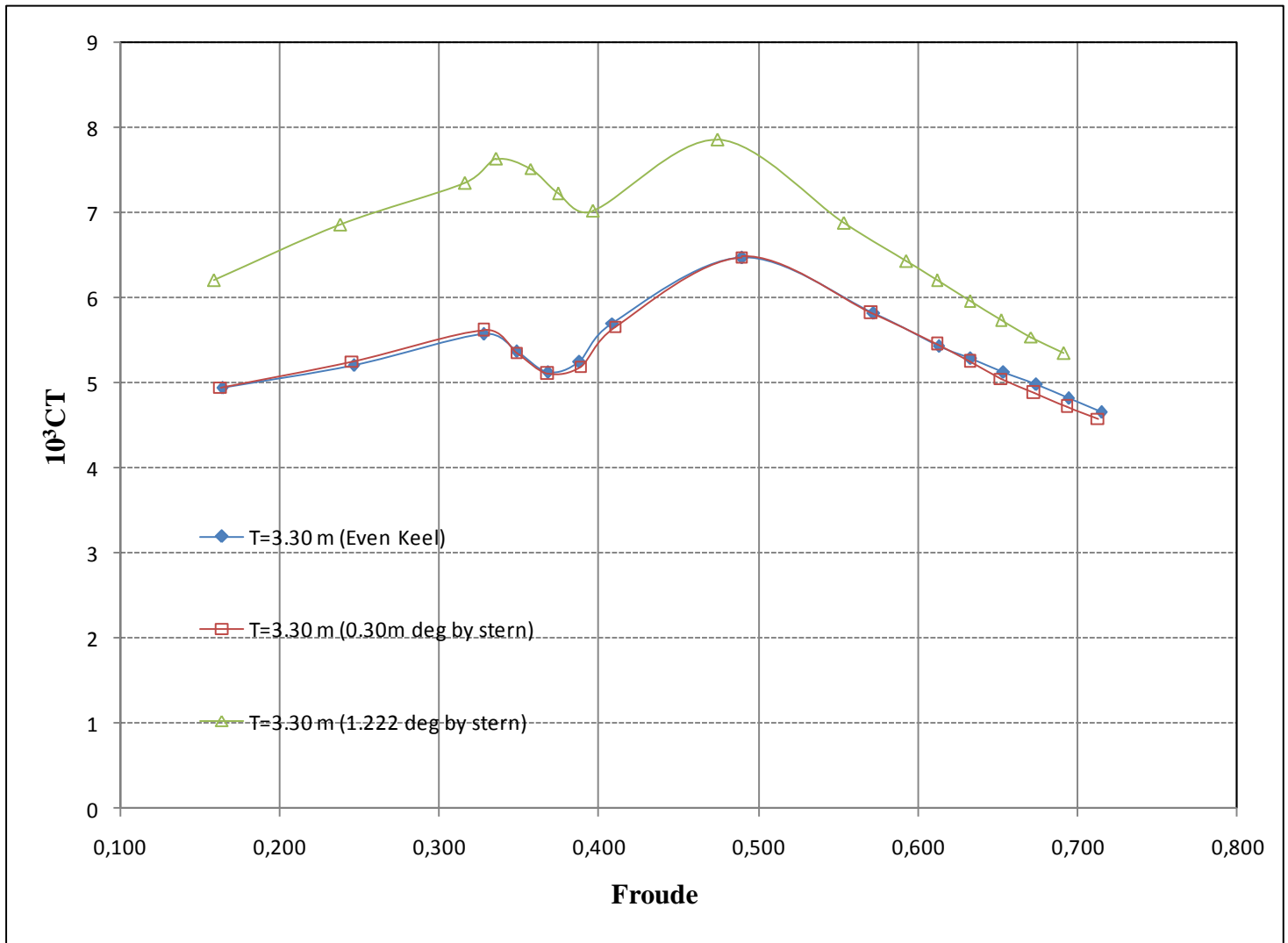
Αριθμός Froude			Συντελεστής C_R		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern	Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern
0,164	0,164	0,164	1,324	1,394	2,669
0,246	0,246	0,246	1,854	1,957	3,578
0,327	0,327	0,327	2,397	2,489	4,223
0,348	0,348	0,348	2,229	2,261	4,545
0,367	0,367	0,367	2,014	2,042	4,467
0,388	0,388	0,388	2,17	2,159	4,202
0,408	0,408	0,408	2,654	2,657	4,025
0,490	0,490	0,490	3,513	3,565	4,955
0,572	0,572	0,572	2,933	2,972	4,043
0,613	0,613	0,613	2,582	2,634	3,629
0,633	0,633	0,633	2,455	2,457	3,416
0,653	0,653	0,653	2,307	2,273	3,194
0,674	0,674	0,674	2,182	2,108	2,978
0,694	0,694	0,694	2,034	1,958	2,800
0,714	0,714	0,714	1,884	1,842	2,625

Διάγραμμα Συντελεστή C_F για το μοντέλο



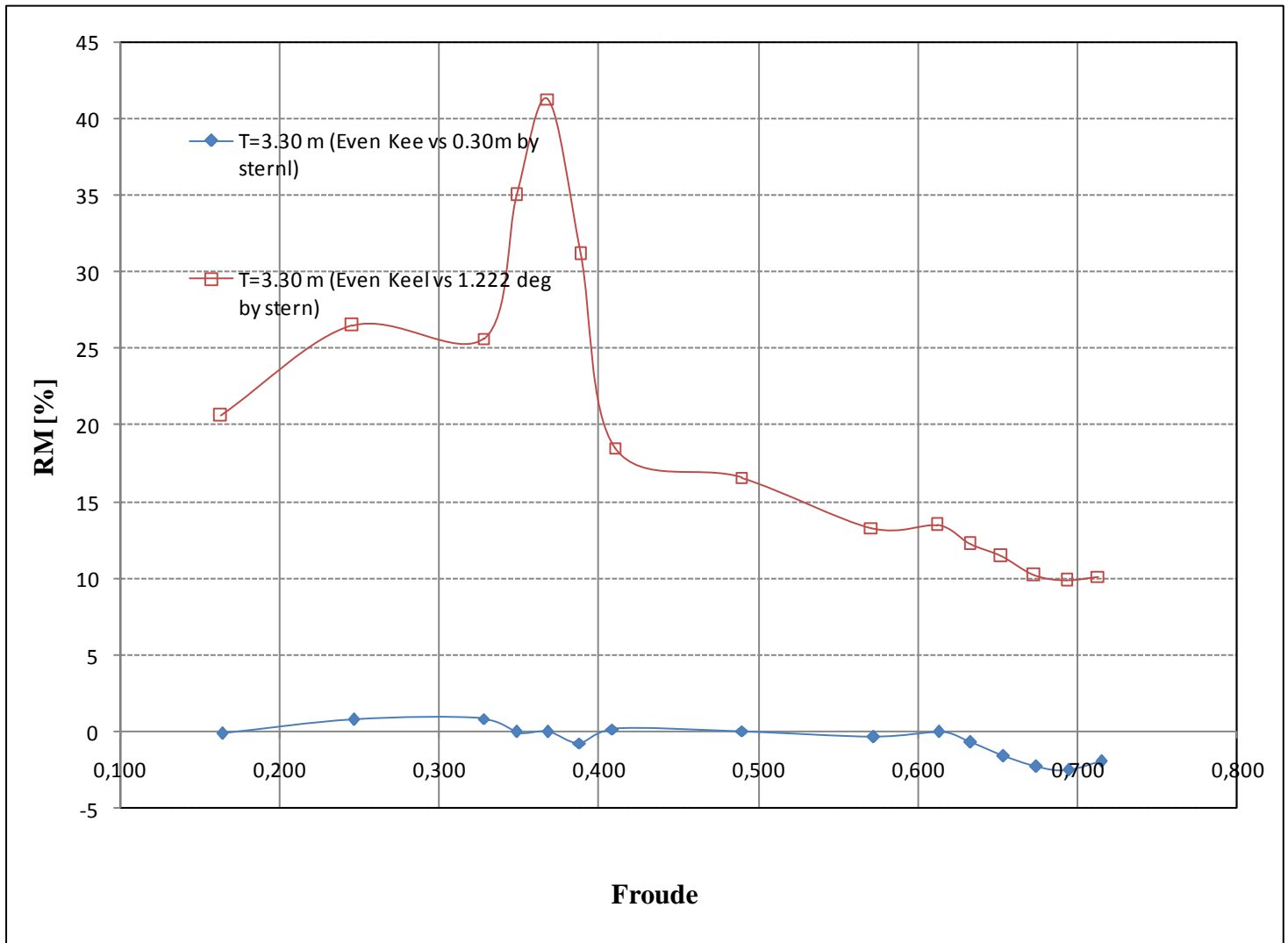
Αριθμός Froude			Συντελεστής C_T		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern	Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern
0,164	0,164	0,164	3,615	3,563	3,546
0,246	0,246	0,246	3,35	3,303	3,288
0,327	0,327	0,327	3,181	3,136	3,124
0,348	0,348	0,348	3,146	3,102	3,092
0,367	0,367	0,367	3,116	3,071	3,059
0,388	0,388	0,388	3,086	3,043	3,033
0,408	0,408	0,408	3,059	3,014	3,003
0,490	0,490	0,490	2,963	2,923	2,911
0,572	0,572	0,572	2,885	2,847	2,836
0,613	0,613	0,613	2,852	2,814	2,803
0,633	0,633	0,633	2,836	2,799	2,788
0,653	0,653	0,653	2,821	2,784	2,773
0,674	0,674	0,674	2,807	2,770	2,759
0,694	0,694	0,694	2,793	2,756	2,746
0,714	0,714	0,714	2,779	2,743	2,732

Διάγραμμα Συντελεστή C_T για το μοντέλο



Αριθμός Froude			Συντελεστής C _T		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern	Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern
0,164	0,164	0,164	4,939	4,956	6,215
0,246	0,246	0,246	5,204	5,26	6,866
0,327	0,327	0,327	5,578	5,624	7,348
0,348	0,348	0,348	5,375	5,363	7,637
0,367	0,367	0,367	5,13	5,114	7,526
0,388	0,388	0,388	5,257	5,201	7,235
0,408	0,408	0,408	5,713	5,67	7,028
0,490	0,490	0,490	6,477	6,488	7,866
0,572	0,572	0,572	5,818	5,819	6,879
0,613	0,613	0,613	5,434	5,448	6,432
0,633	0,633	0,633	5,292	5,256	6,204
0,653	0,653	0,653	5,128	5,057	5,967
0,674	0,674	0,674	4,989	4,878	5,737
0,694	0,694	0,694	4,827	4,714	5,545
0,714	0,714	0,714	4,664	4,585	5,357

Διάγραμμα Διαφορών Αντίστασης για το μοντέλο

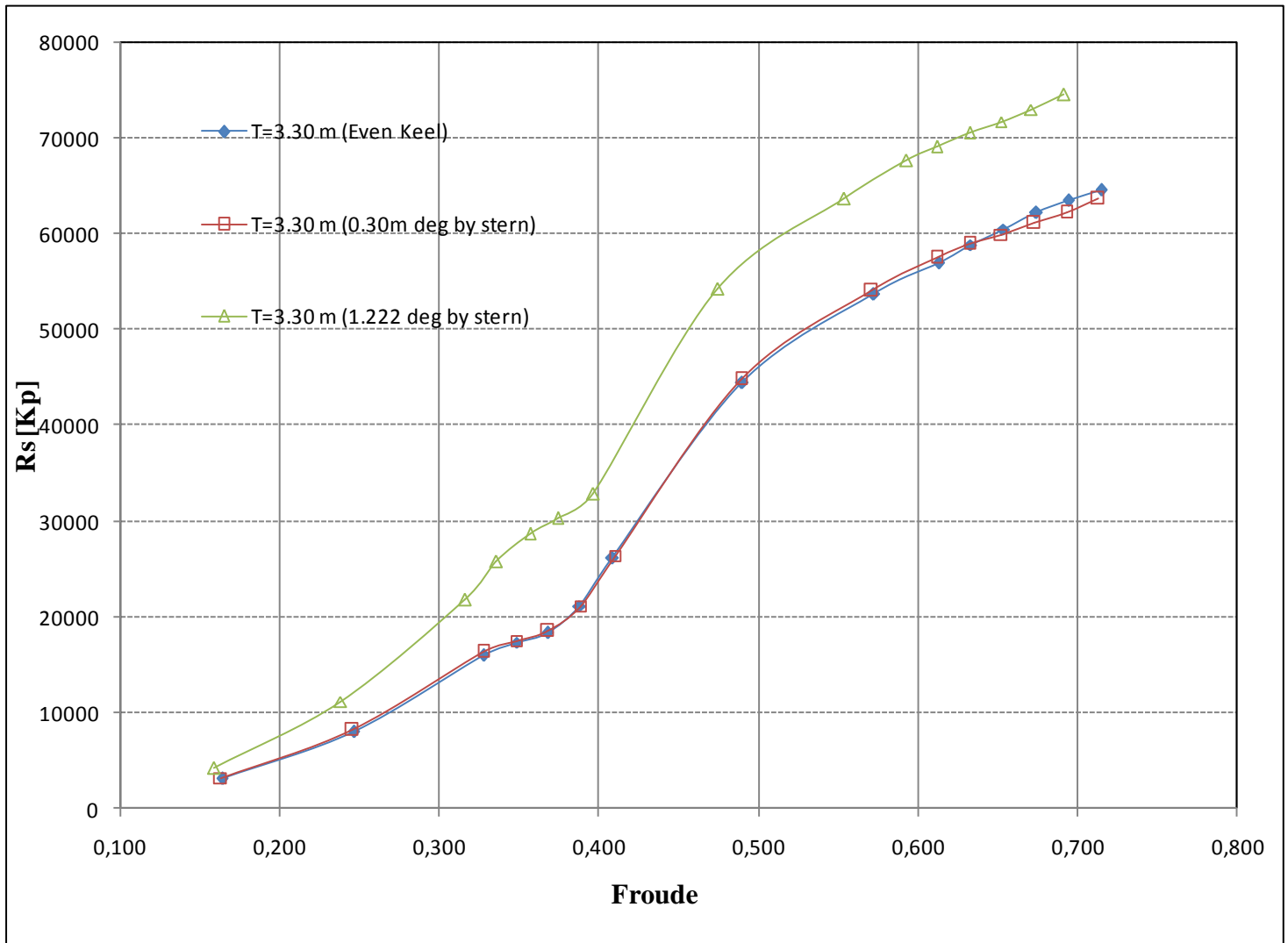


Αριθμός Froude			Διαφορές Αντίστασης	
B1	B2	B3	B2-B1	B3-B1
Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern		
0,164	0,164	0,164	-0,12	20,67
0,246	0,246	0,246	0,81	26,53
0,327	0,327	0,327	0,88	25,70
0,348	0,348	0,348	-0,02	35,08
0,367	0,367	0,367	0,05	41,33
0,388	0,388	0,388	-0,72	31,21
0,408	0,408	0,408	0,20	18,55
0,490	0,490	0,490	0,05	16,64
0,572	0,572	0,572	-0,31	13,32
0,613	0,613	0,613	0,01	13,52
0,633	0,633	0,633	-0,69	12,26
0,653	0,653	0,653	-1,55	11,47
0,674	0,674	0,674	-2,29	10,24
0,694	0,694	0,694	-2,47	9,91
0,714	0,714	0,714	-1,91	10,17

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το πραγματικό

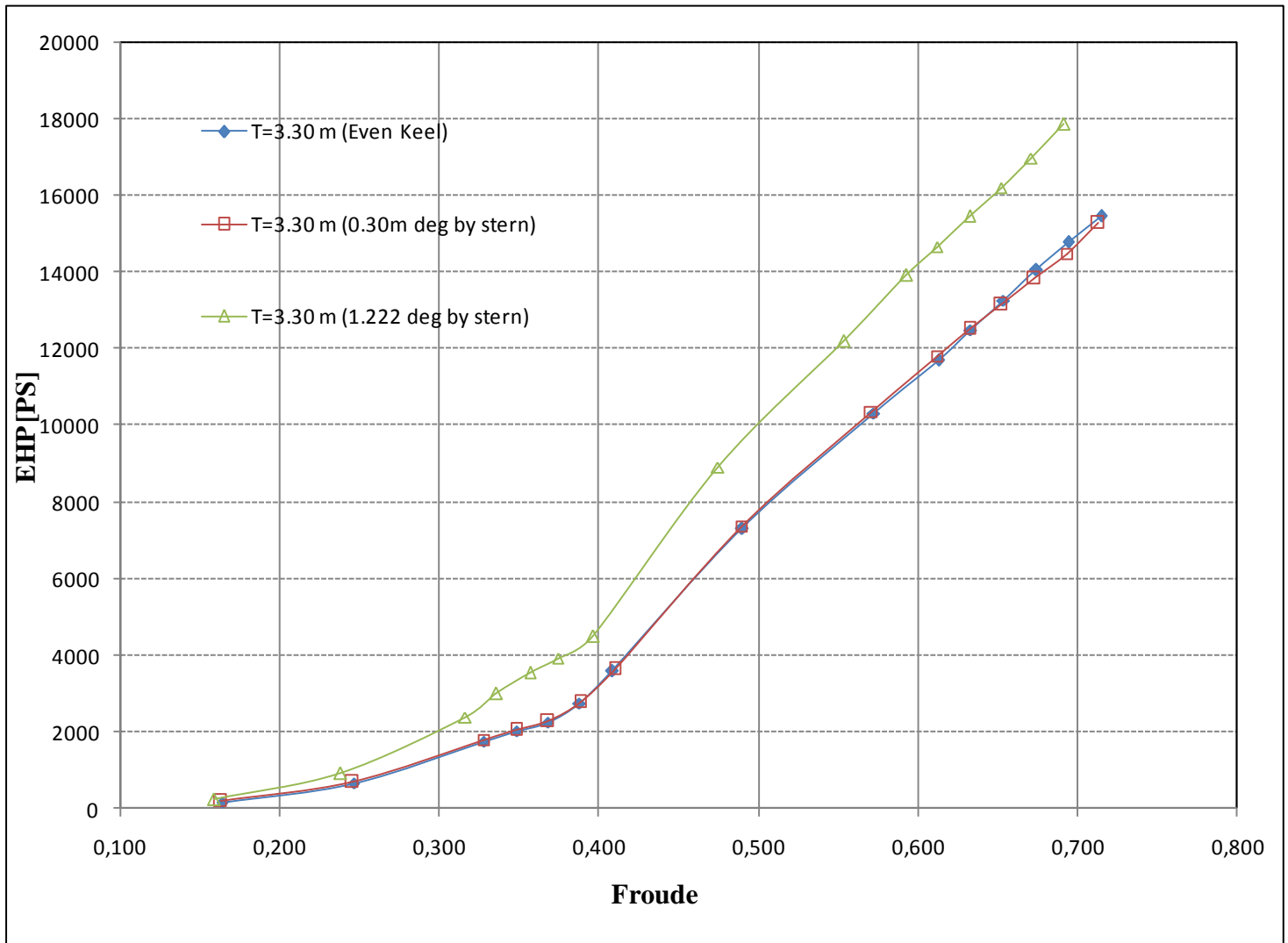
Χαρακτηριστικά Σκάφους	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών		
			B1	B2	B3
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	64,568	64,830	68,968
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	70,540	70,540	70,540
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	7,997	8,189	8,067
Μέσο βύθισμα	T_M	m	3,300	3,300	3,300
Trim	t	deg	0,0000	0,30m	1,2220
Εκτόπισμα	Δ	mt	1025,00	1025,00	1025,00
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	1039,28	1037,14	997,51
Συντελεστής Γάστρας	CB		0,000	0,000	0,000
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0,000	0,000	0,000
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0,000	0,000	0,000

Διάγραμμα Αντίστασης για το πραγματικό



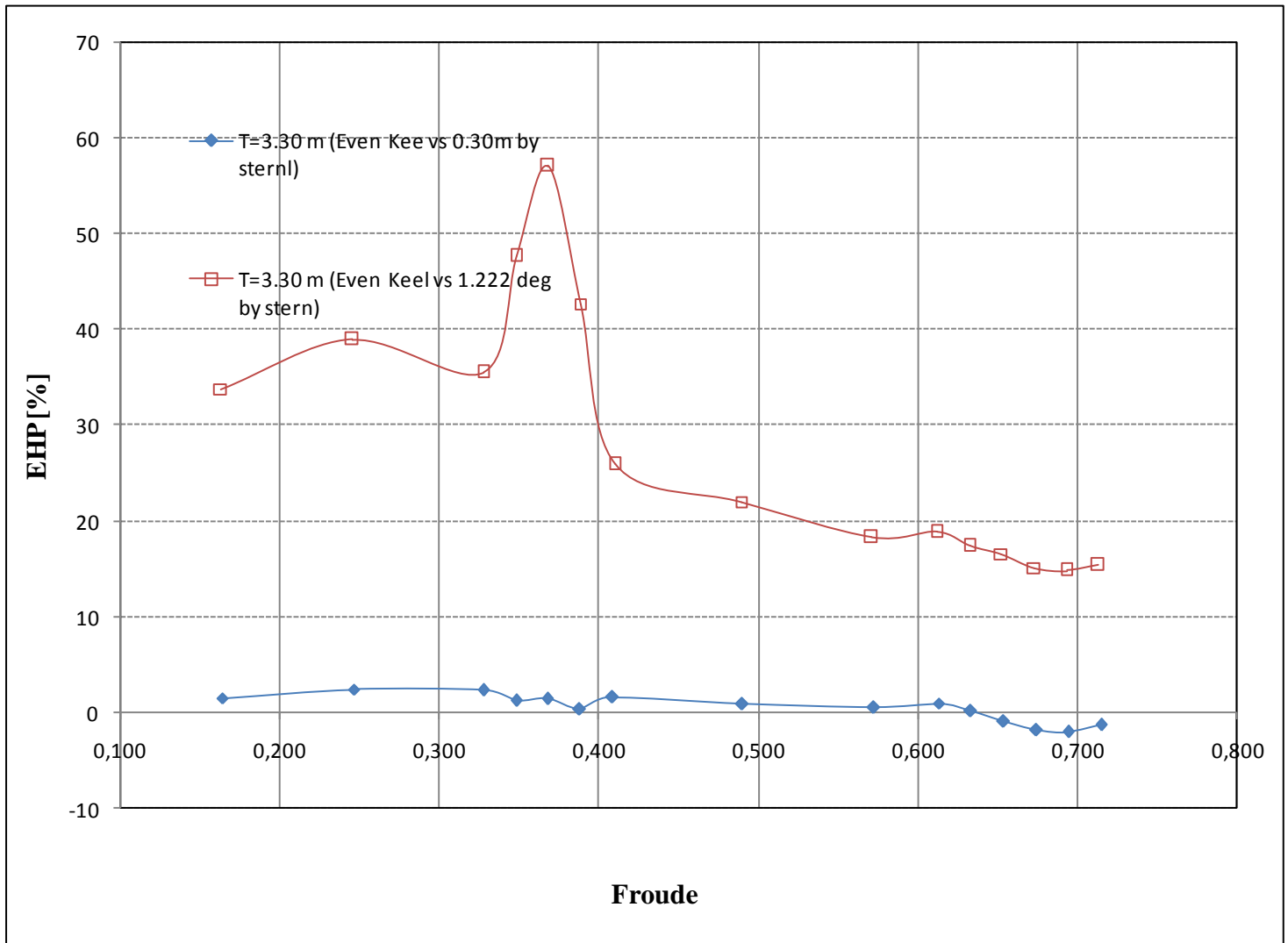
Αριθμός Froude			Αντίσταση [kp]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern	Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern
0,164	0,164	0,164	3162	3214	4233
0,246	0,246	0,246	8044	8244	11185
0,327	0,327	0,327	16046	16401	21801
0,348	0,348	0,348	17369	17548	25774
0,367	0,367	0,367	18321	18528	28731
0,388	0,388	0,388	21150	21169	30282
0,408	0,408	0,408	26171	26442	32872
0,490	0,490	0,490	44498	44896	54282
0,572	0,572	0,572	53795	54094	63684
0,613	0,613	0,613	56973	57535	67761
0,633	0,633	0,633	58902	58952	69215
0,653	0,653	0,653	60579	60010	70669
0,674	0,674	0,674	62299	61132	71783
0,694	0,694	0,694	63543	62222	73077
0,714	0,714	0,714	64622	63762	74608

Διάγραμμα EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude			EHP [PS]		
B1	B2	B3	B1	B2	B3
Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern	Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern
0,164	0,164	0,164	174	176	232
0,246	0,246	0,246	663	680	922
0,327	0,327	0,327	1762	1804	2388
0,348	0,348	0,348	2027	2053	2995
0,367	0,367	0,367	2259	2292	3550
0,388	0,388	0,388	2751	2762	3928
0,408	0,408	0,408	3584	3643	4513
0,490	0,490	0,490	7311	7381	8925
0,572	0,572	0,572	10325	10380	12220
0,613	0,613	0,613	11713	11828	13931
0,633	0,633	0,633	12503	12530	14681
0,653	0,653	0,653	13284	13166	15489
0,674	0,674	0,674	14082	13831	16221
0,694	0,694	0,694	14795	14497	16994
0,714	0,714	0,714	15492	15290	17886

Διάγραμμα Διαφορών EHP για το πραγματικό



Επίδραση της Διαγωγής (Trim) στην Αντίσταση Διαφόρων Μοντέλων και Πλοίων

Αριθμός Froude			Διαφορές Ισχύος	
B1	B2	B3	B2-B1	B3-B1
Even Keel	t=0.30 m by stern	t=1.222 deg by stern		
0,164	0,164	0,164	1,54	33,87
0,246	0,246	0,246	2,49	39,05
0,327	0,327	0,327	2,37	35,52
0,348	0,348	0,348	1,27	47,75
0,367	0,367	0,367	1,45	57,17
0,388	0,388	0,388	0,39	42,75
0,408	0,408	0,408	1,65	25,91
0,490	0,490	0,490	0,96	22,07
0,572	0,572	0,572	0,53	18,35
0,613	0,613	0,613	0,99	18,94
0,633	0,633	0,633	0,22	17,42
0,653	0,653	0,653	-0,89	16,60
0,674	0,674	0,674	-1,78	15,19
0,694	0,694	0,694	-2,01	14,87
0,714	0,714	0,714	-1,31	15,45

Συμπεράσματα – Σχόλια

Γενικά μπορούν να παρατηρηθούν τα εξής:

- Η μικρή έμπρυμνη διαγωγή που δοκιμάστηκε σύμφωνα με τα διαγράμματα παρουσιάζει την εξής συμπεριφορά: Στις χαμηλές ταχύτητες ($Fr < 0.30$) η ολική της αντίσταση παρουσιάζεται ελάχιστα μικρότερη της ισοβύθιστης κατάστασης, καθώς στην περίπτωση αυτή όπου δεν έχει αρχίσει η διαδικασία πλαναρίσματος και οι τιμές δυναμικής διαγωγής είναι χαμηλές, η ύπαρξη αρχικής διαγωγής λειτουργεί ανασταλτικά ως προς την αντίσταση. Για $Fr > 0.30$, όπου το σκάφος αρχίζει να πλανάει, η αντίσταση κυματισμού της ισοβύθιστης κατάστασης παρουσιάζεται κατά τι μικρότερη από την αντίστοιχη της έμπρυμνης διαγωγής. Τέλος για $Fr > 0.65$ παρατηρούμε ότι η αντίσταση της έμπρυμνης διαγωγής μειώνεται σε σχέση με την αντίσταση της ισοβύθιστης κατάστασης. Η ίδια εικόνα υπάρχει και στην αντίσταση κυματισμού, που σε συνδυασμό με την μικρότερη βρεχόμενη επιφάνεια οδηγούν σε αυτό το αποτέλεσμα.
- Κάνοντας σύγκριση των τελικών διαγωγών της ισοβύθιστης κατάστασης και της κατάστασης σε μικρή έμπρυμνη διαγωγή παρατηρούμε ότι στις μεγάλες ταχύτητες, παρατηρούμε ότι η συνολική διαγωγή της αρχικά έμπρυμνης κατάστασης είναι ελαφρά μικρότερη. Η διαφορά αυτή στην τελική θέση, έχει σαν αποτέλεσμα, στην έμπρυμνη κατάσταση και στις ταχύτητες αυτές η αντίσταση κυματισμού και κατά συνέπεια και η ολική αντίσταση να παρουσιάζονται μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές της ισοβύθιστης κατάστασης (καλύτερη υδροδυναμική θέση).
- Η μεγάλη έμπρυμνη διαγωγή που δοκιμάστηκε επιδρά αρνητικά στην αντίσταση σε όλο το εύρος των ταχυτήτων. Η ανάδυση των βολβών που παρατηρείται στην στατική κατάσταση αυξάνεται ακόμα περισσότερο, όταν στην στατική, προστεθεί και η δυναμική διαγωγή. Επιπλέον, η μεγάλη έμπρυμνη διαγωγή συνεπάγεται βύθιση του πίσω τμήματος του μοντέλου και κατά συνέπεια οδηγεί σε αύξηση του όγκου κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας – αύξηση αντίστασης κυματισμού. Έτσι παρατηρούμε αυξήσεις στην αντίσταση της τάξης του 40-50%, ενώ οι καμπύλες της ολικής αντίστασης και της ισχύος παρουσιάζονται αισθητά μετατοπισμένες σε σχέση

με αυτές που αντιστοιχούν στην ισοβύθιστη κατάσταση και την κατάσταση της μικρής διαγωγής.

- Η έμπρυμνη διαγωγή είναι επιθυμητή προκειμένου το σκάφος να μπορεί πλανάρει και να έχει μικρότερη βρεχόμενη επιφάνεια και κατά συνέπεια μικρότερη αντίσταση τριβής και αντίσταση κυματισμού. Ωστόσο, αν η διαγωγή αυτή γίνει υπερβολικά μεγάλη, τότε μειώνεται το ποσοστό της υδροδυναμικής άνωσης σε σχέση με την οπισθέλκουσα δύναμη αυξάνοντας σημαντικά την αντίσταση. Έτσι είναι επιθυμητή μία βέλτιστη έμπρυμνη διαγωγή που να ικανοποιεί καλύτερα τα δύο κριτήρια. Η μικρή έμπρυμνη διαγωγή είναι πιο κοντά στην βέλτιστη.

5^ο Μοντέλο – ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ ΣΚΑΦΟΣ «ΠΕΡΑΜΑ»

Η πέμπτη γάστρα που δοκιμάστηκε, ανήκει σε ένα παραδοσιακό σκάφος τύπου Περάματος. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του σκάφους αυτού είναι ότι είναι οξύπρυμο και οξύπρωο. Στο μοντέλο αυτό πραγματοποιήθηκαν οι εξής δοκιμές:

- Δοκιμές αντίστασης σε ένα βύθισμα, στην ισοβύθιστη κατάσταση και σε μία έμπρυμνη διαγωγή.
- Δοκιμές αυτοπρόωσης, στην ισοβύθιστη κατάσταση και σε μία έμπρυμνη διαγωγή για δύο ταχύτητες.
- Δοκιμές Wavecuts, σε δύο καταστάσεις (ισοβύθιστη κατάσταση και κατάσταση έμπρυμνης διαγωγής) για την αντίσταση και την αυτοπρόωση.



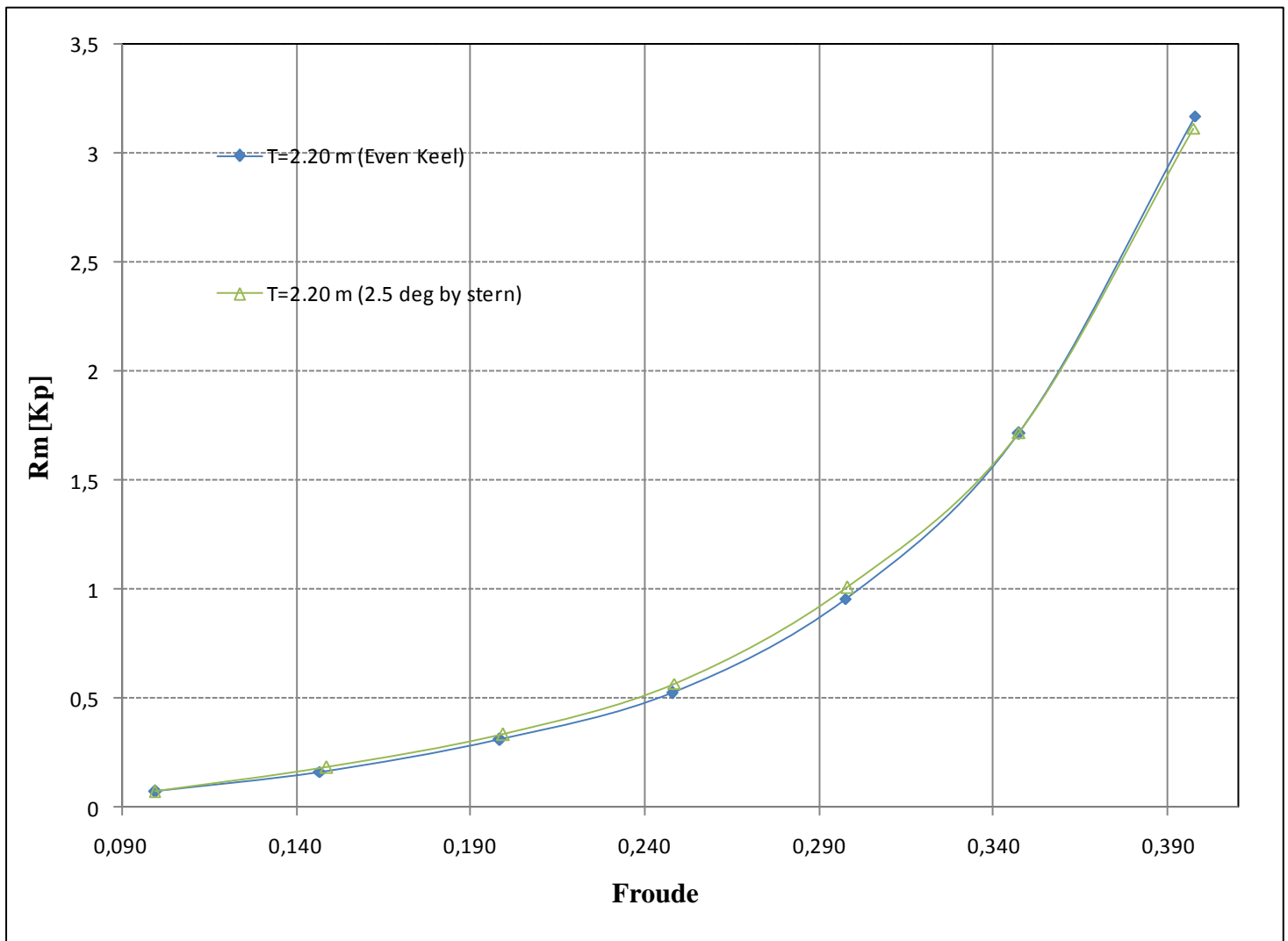
Εικόνα: Το παραδοσιακό σκάφος στα πειράματα αντίστασης

Κατάσταση δοκιμών Αντίστασης – $T = 2.20$ m

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το μοντέλο

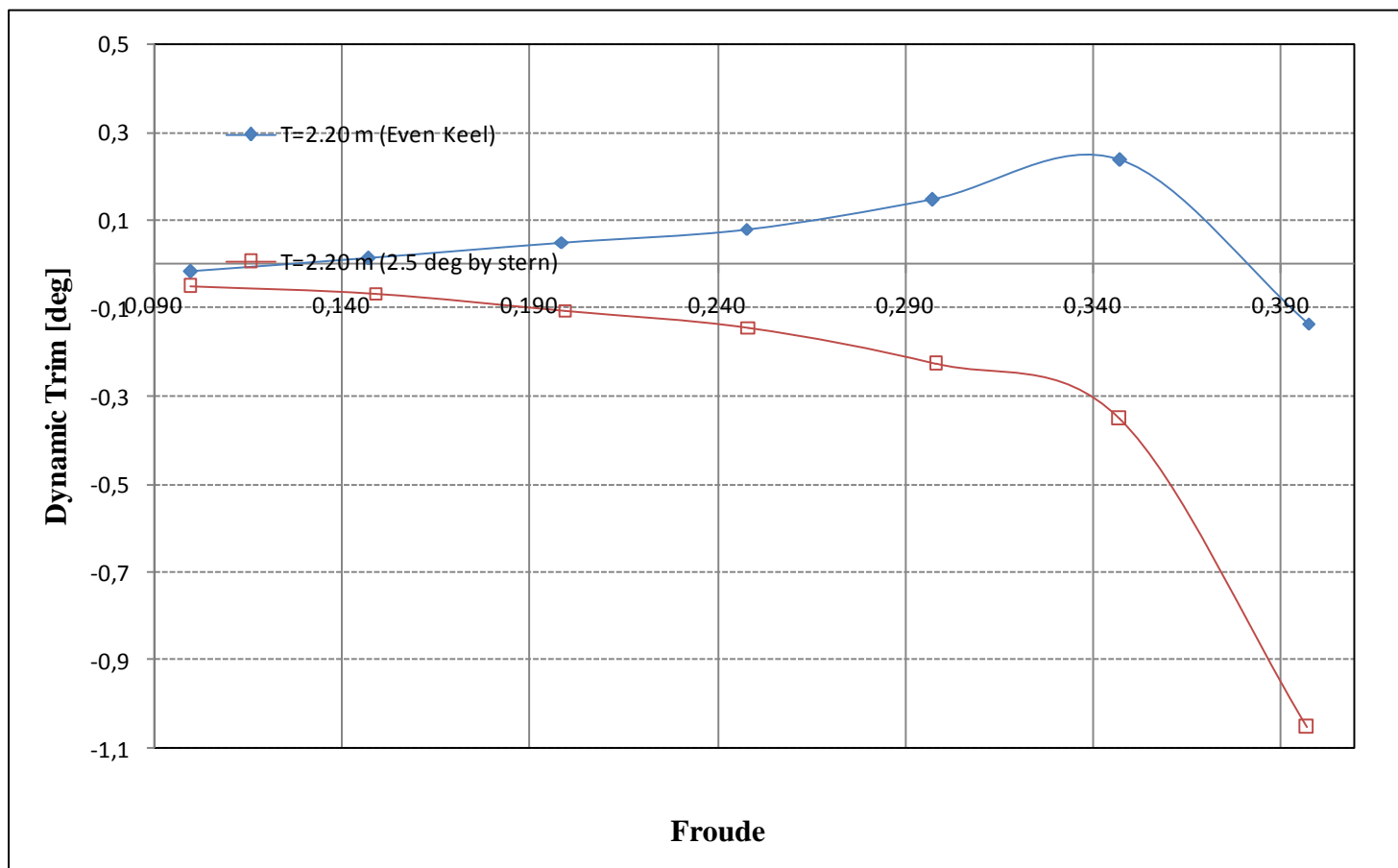
Χαρακτηριστικά Μοντέλου	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών	
			A1	A2
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	1,933	1,930
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	0,000	0,000
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	0,061	0,061
Μέσο βύθισμα	T_M	m	0,220	0,220
Trim	t	deg	0,000	-2,500
Εκτόπισμα	Δ	mt	102,15	101,570
Βρεχόμενη επιφάνεια	$W.S.$	m^2	1,252	1,249
Συντελεστής Γάστρας	CB		0,394	0,396
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0,711	0,709
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0,658	0,658

Διάγραμμα Αντίστασης για το μοντέλο



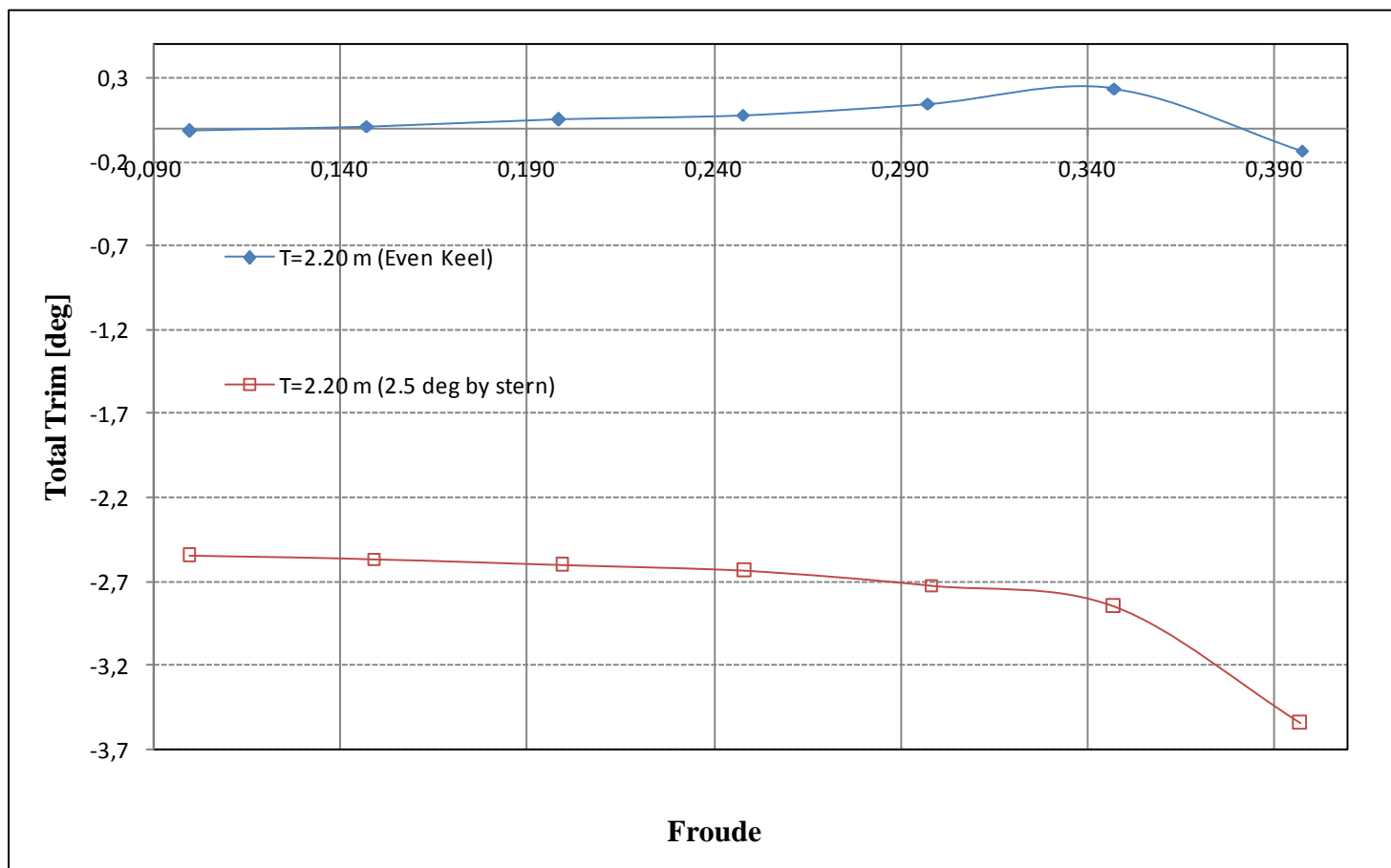
Αριθμός Froude		Αντίσταση [kp]	
A1	A2	A1	A2
Even Keel	t=2.5 deg by stern	Even Keel	t=2.5 deg by stern
0,100	0,100	0,072	0,074
0,147	0,149	0,165	0,183
0,198	0,199	0,313	0,337
0,248	0,248	0,528	0,568
0,297	0,298	0,958	1,011
0,347	0,347	1,714	1,72
0,398	0,397	3,173	3,117

Διάγραμμα Dynamic Trim για το μοντέλο



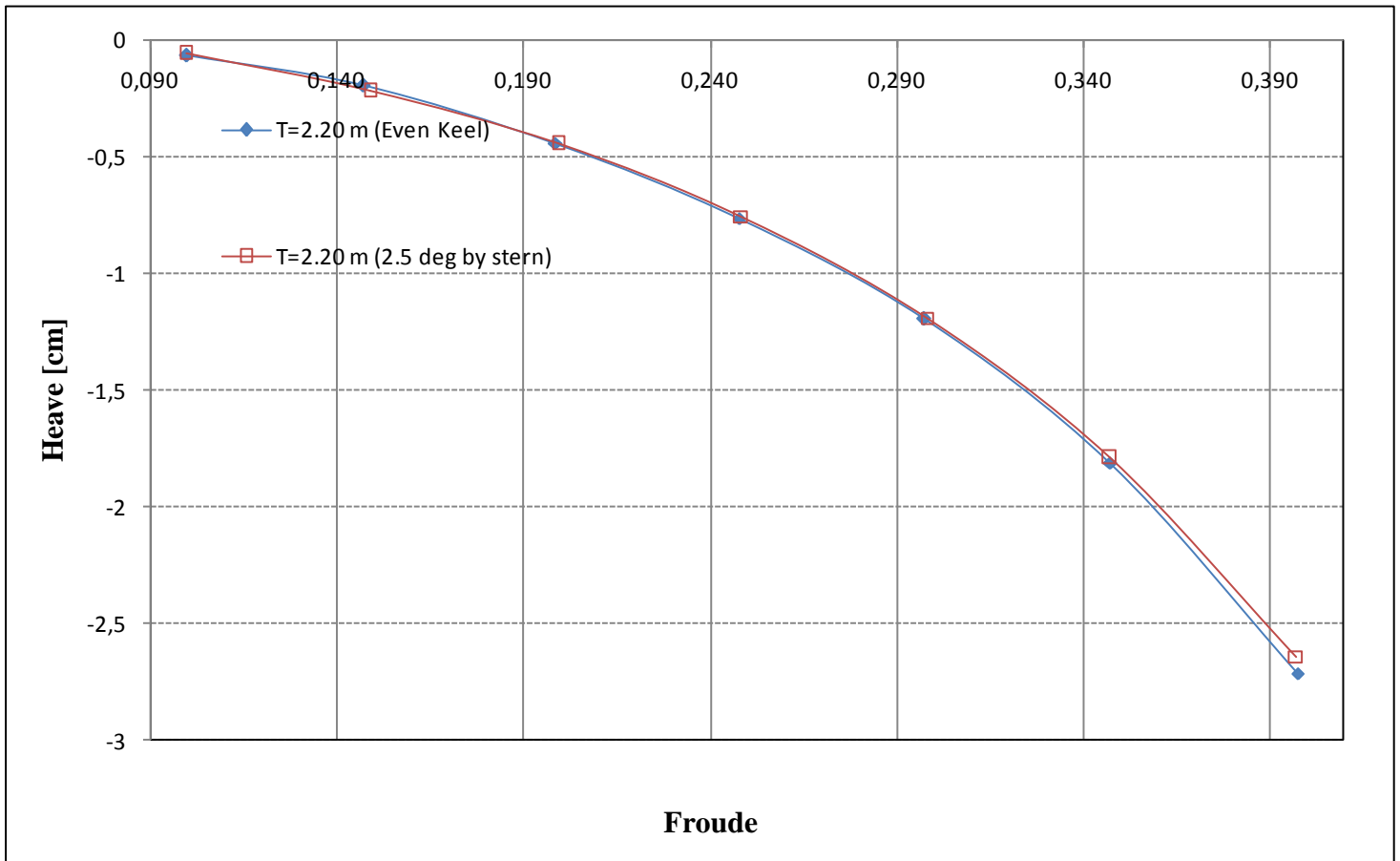
Αριθμός Froude		Dynamic Trim [deg]	
A1	A2	A1	A2
Even Keel	t=2.5 deg by stern	Even Keel	t=2.5 deg by stern
0,100	0,100	-0,016	-0,050
0,147	0,149	0,014	-0,066
0,198	0,199	0,050	-0,105
0,248	0,248	0,080	-0,144
0,297	0,298	0,148	-0,226
0,347	0,347	0,237	-0,352
0,398	0,397	-0,135	-1,053

Διάγραμμα Total Trim για το μοντέλο



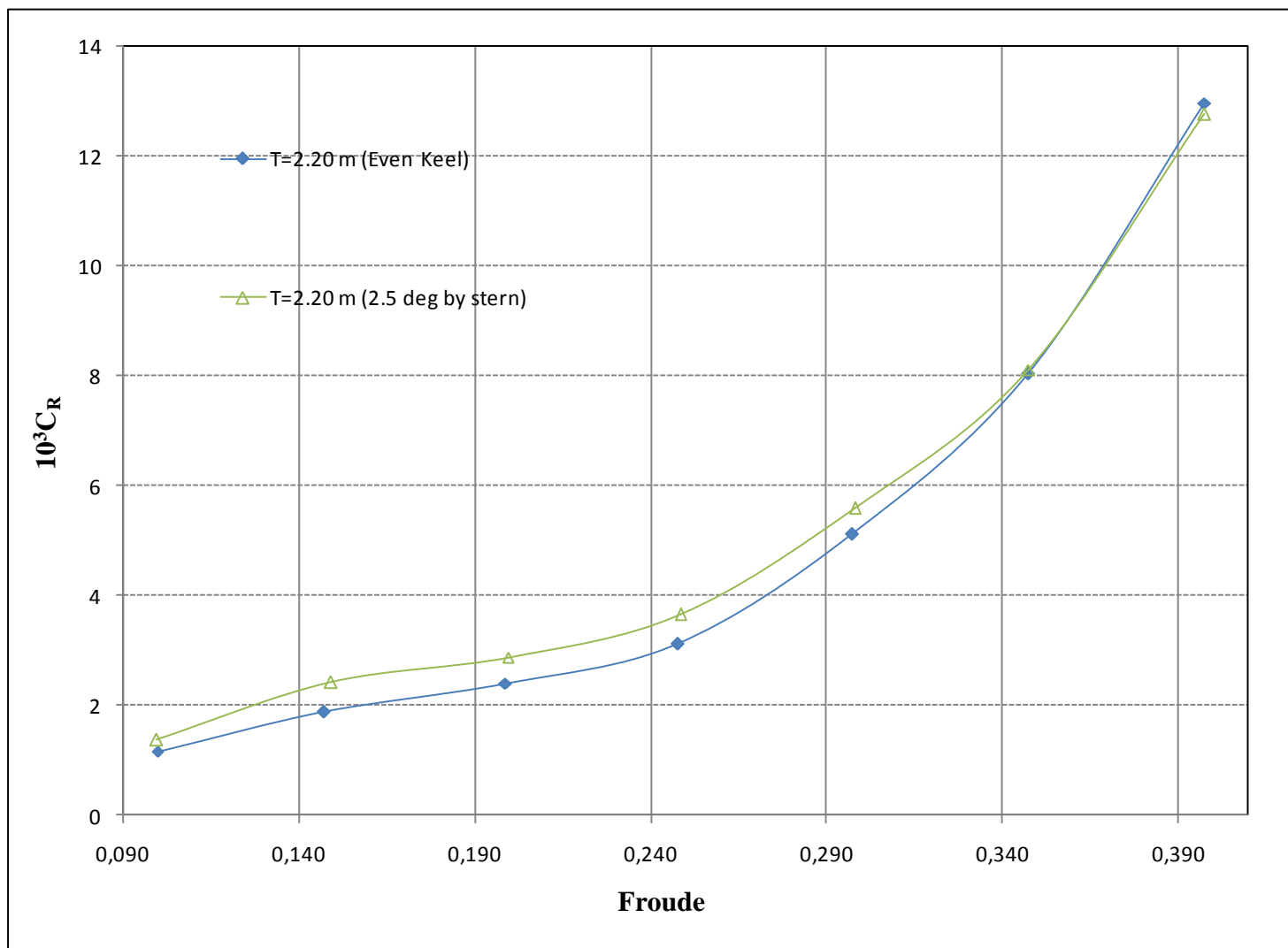
Αριθμός Froude		Total Trim [deg]	
A1	A2	A1	A2
Even Keel	t=2.5 deg by stern	Even Keel	t=2.5 deg by stern
0,100	0,100	-0,016	-2,550
0,147	0,149	0,014	-2,566
0,198	0,199	0,050	-2,605
0,248	0,248	0,080	-2,644
0,297	0,298	0,148	-2,726
0,347	0,347	0,237	-2,852
0,398	0,397	-0,135	-3,553

Διάγραμμα Heave για το μοντέλο



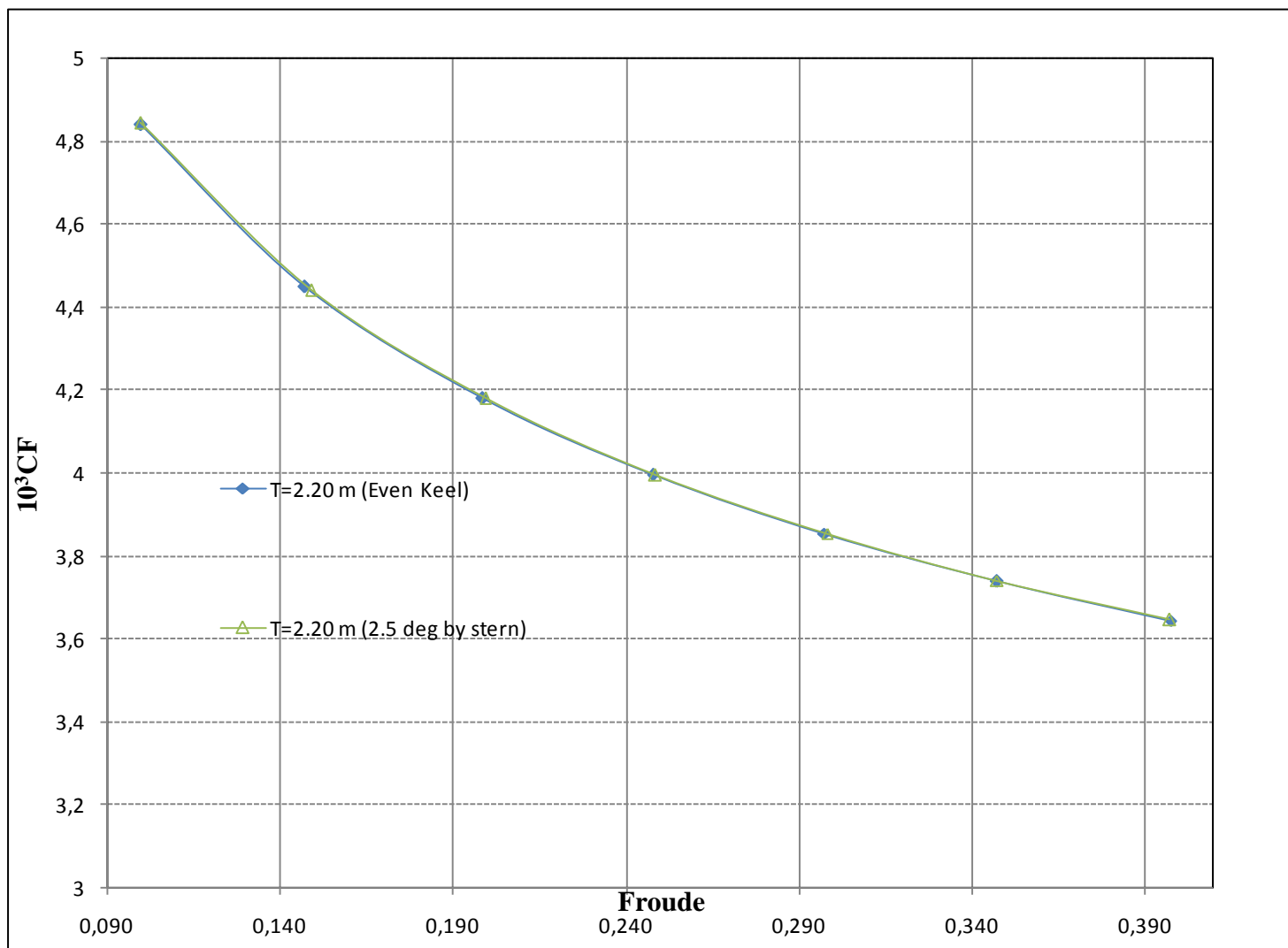
Αριθμός Froude		Heave [cm]	
A1	A2	A1	A2
Even Keel	t=2.5 deg by stern	Even Keel	t=2.5 deg by stern
0,100	0,100	-0,068	-0,059
0,147	0,149	-0,195	-0,218
0,198	0,199	-0,441	-0,445
0,248	0,248	-0,763	-0,754
0,297	0,298	-1,195	-1,190
0,347	0,347	-1,812	-1,790
0,398	0,397	-2,716	-2,643

Διάγραμμα Συντελεστή C_R για το μοντέλο



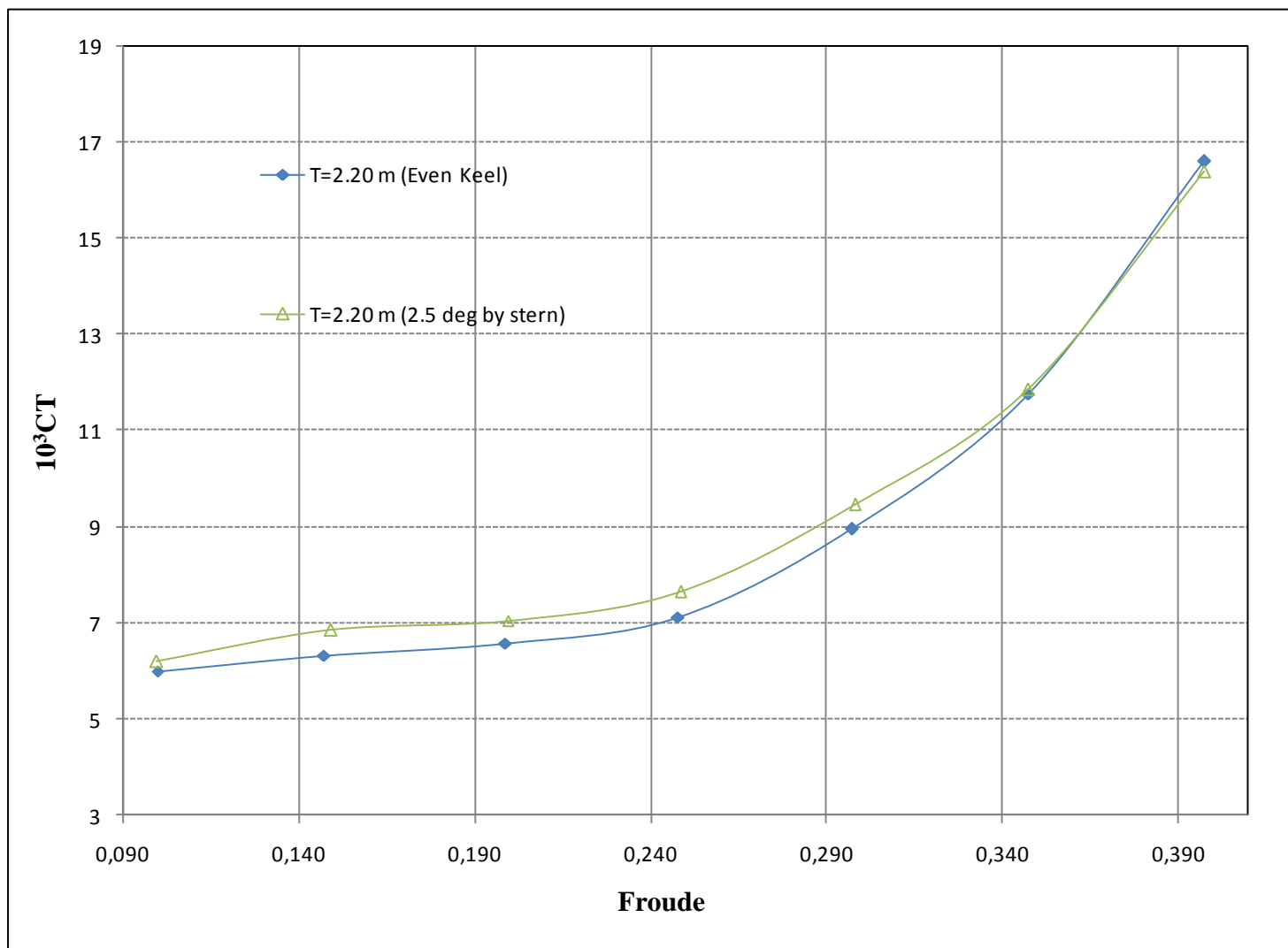
Αριθμός Froude		Συντελεστής C_R	
A1	A2	A1	A2
Even Keel	t=2.5 deg by stern	Even Keel	t=2.5 deg by stern
0,100	0,100	1,162	1,368
0,147	0,149	1,874	2,419
0,198	0,199	2,402	2,877
0,248	0,248	3,124	3,653
0,347	0,347	5,114	5,604
0,398	0,397	8,031	8,115
0,398	0,397	12,982	12,764

Διάγραμμα Συντελεστή C_F για το μοντέλο



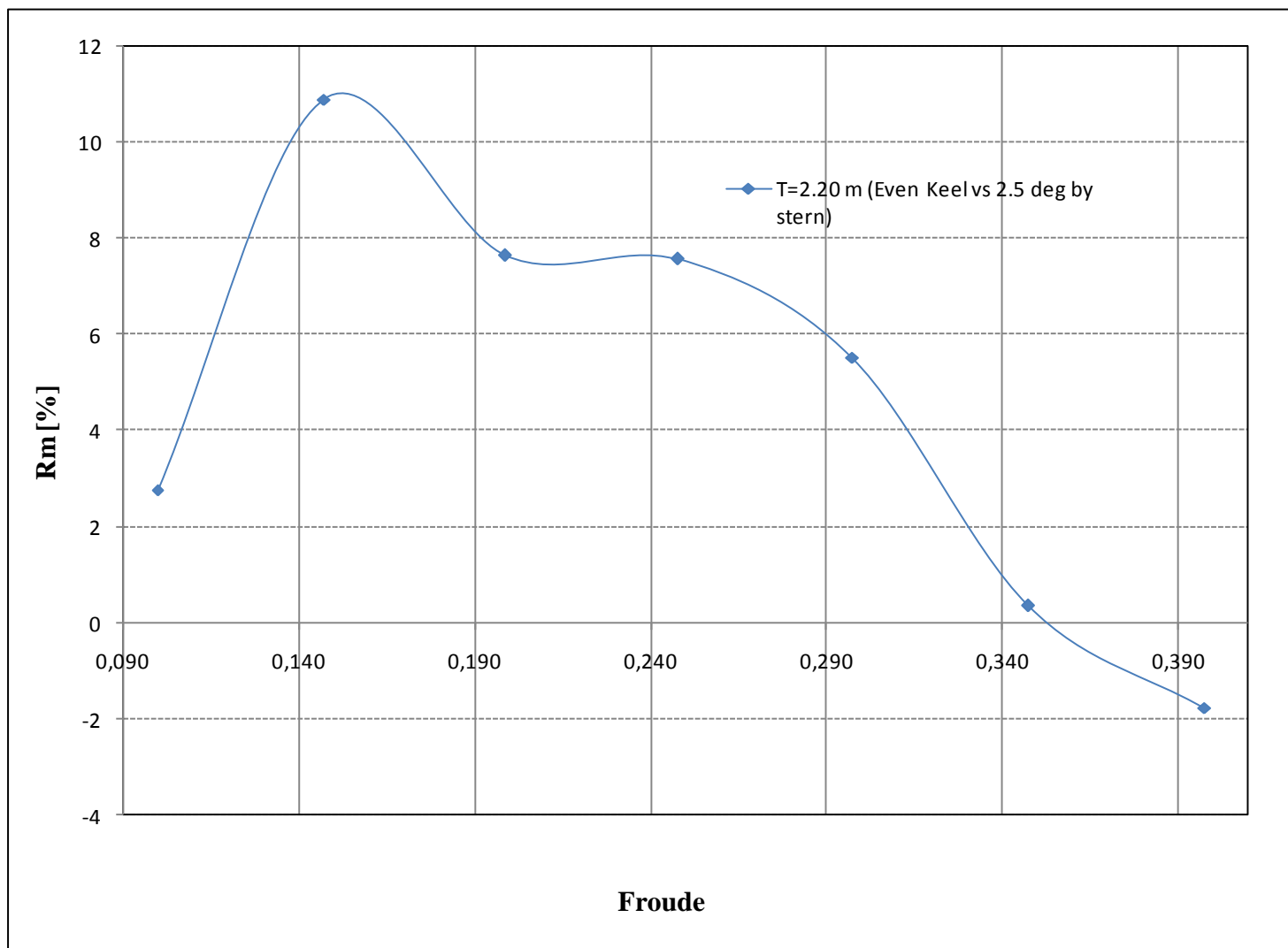
Αριθμός Froude		Συντελεστής C_F	
A1	A2	A1	A2
Even Keel	t=2.5 deg by stern	Even Keel	t=2.5 deg by stern
0,100	0,100	4,840	4,844
0,147	0,149	4,450	4,440
0,198	0,199	4,180	4,179
0,248	0,248	3,996	3,996
0,297	0,298	3,854	3,854
0,347	0,347	3,739	3,741
0,398	0,397	3,643	3,645

Διάγραμμα Συντελεστή C_T για το μοντέλο



Αριθμός Froude		Συντελεστής C_T	
A1	A2	A1	A2
Even Keel	t=2.5 deg by stern	Even Keel	t=2.5 deg by stern
0,100	0,100	6,001	6,211
0,147	0,149	6,324	6,858
0,198	0,199	6,583	7,055
0,248	0,248	7,12	7,649
0,297	0,298	8,968	9,458
0,347	0,347	11,77	11,856
0,398	0,397	16,625	16,409

Διάγραμμα Διαφορών Αντίστασης για το μοντέλο

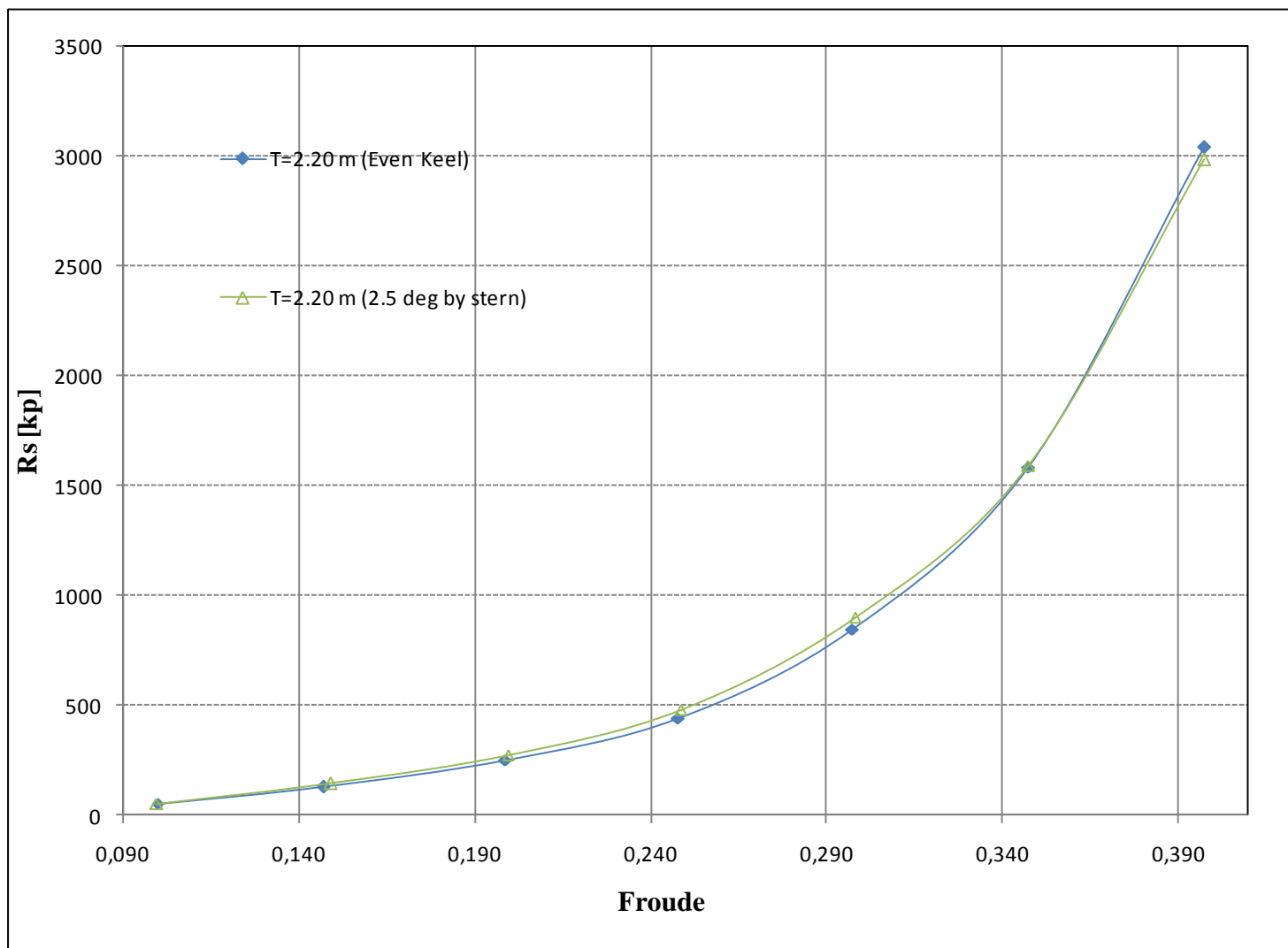


Αριθμός Froude		Διαφορές Αντίστασης
A1	A2	A2-A1
Even Keel	t=2.5 deg by stern	
0,100	0,100	2,78
0,147	0,149	10,91
0,198	0,199	7,67
0,248	0,248	7,58
0,297	0,298	5,53
0,347	0,347	0,35
0,398	0,397	-1,76

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το πραγματικό

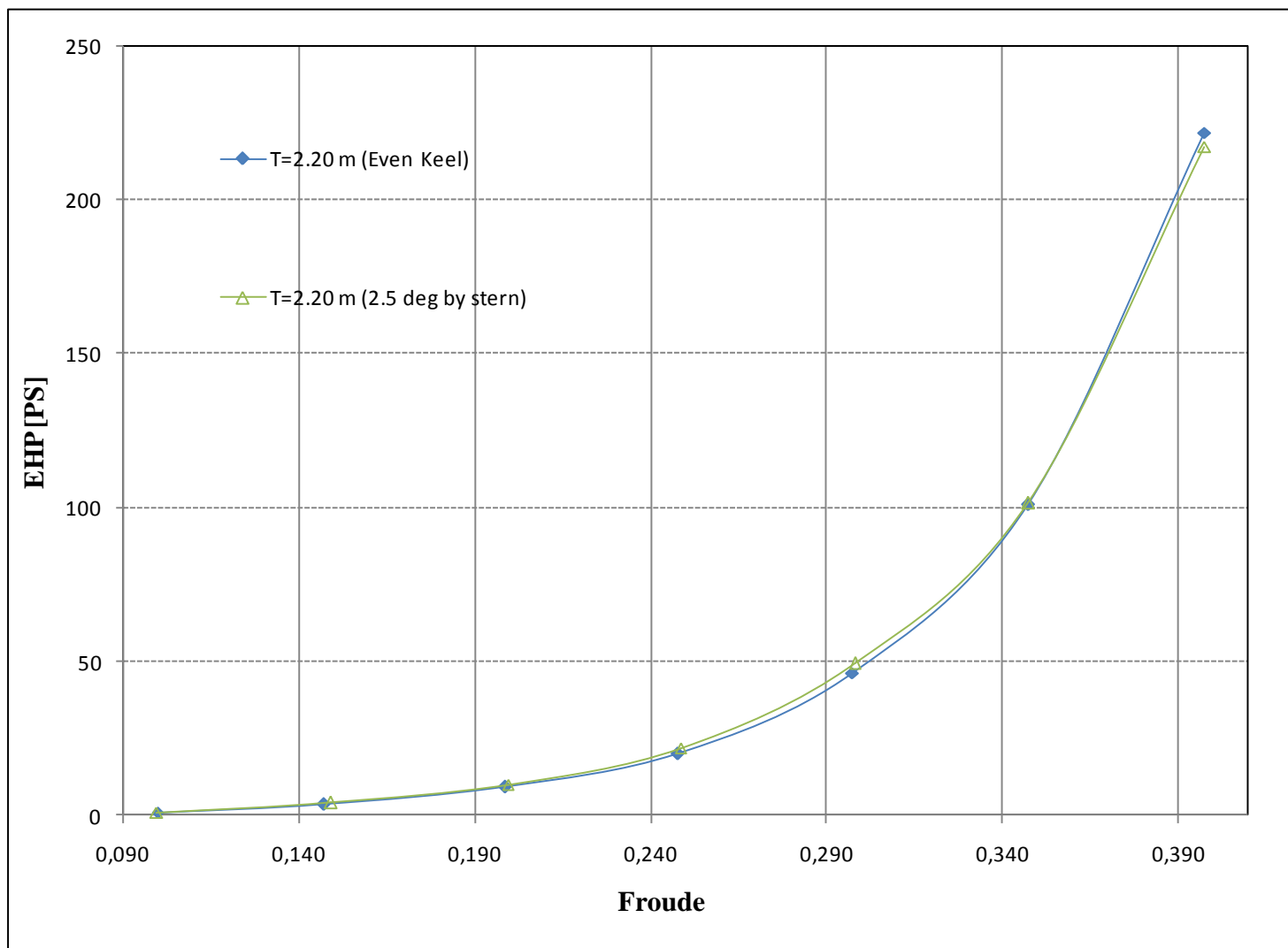
Χαρακτηριστικά Σκάφους	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών	
			A1	A2
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	19,330	19,300
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	0,000	0,000
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	0,610	0,610
Μέσο βύθισμα	T_M	m	2,200	2,200
Trim	trim	deg	0,0000	-2,5000
Εκτόπισμα	Δ	mt	104,70	104,11
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	125,20	124,90
Συντελεστής Γάστρας	CB		0,394	0,396
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0,711	0,709
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0,658	0,658

Διάγραμμα Αντίστασης για το πραγματικό



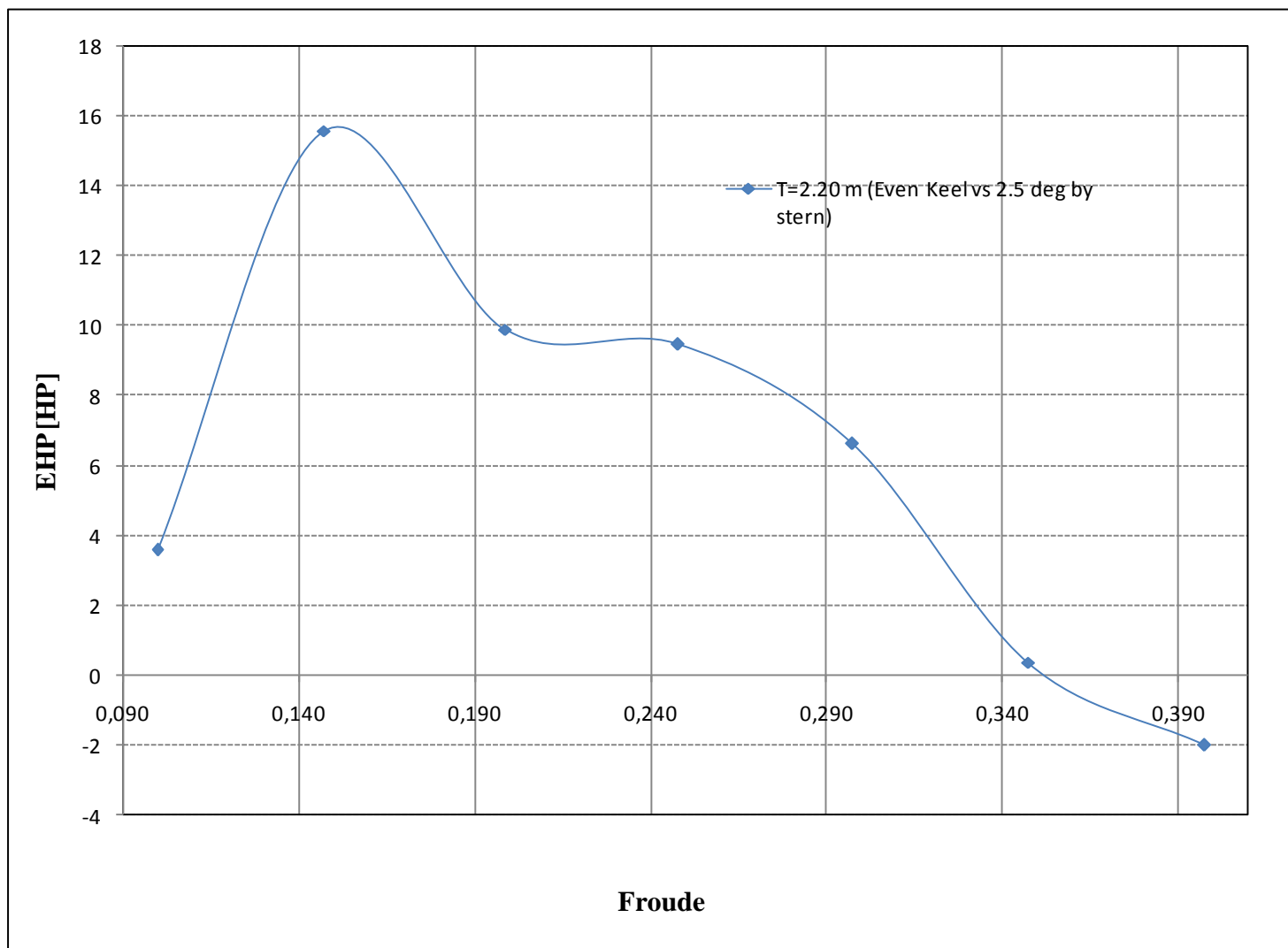
Αριθμός Froude		Αντίσταση [kP]	
A1	A2	A1	A2
Even Keel	t=2.5 deg by stern	Even Keel	t=2.5 deg by stern
0,100	0,100	52	54
0,147	0,149	127	145
0,198	0,199	252	276
0,248	0,248	442	483
0,297	0,298	848	903
0,347	0,347	1586	1593
0,398	0,397	3042	2985

Διάγραμμα EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude		EHP [PS]	
A1	A2	A1	A2
Even Keel	t=2.5 deg by stern	Even Keel	t=2.5 deg by stern
0,100	0,100	1,162	1,368
0,147	0,149	1,874	2,419
0,198	0,199	2,402	2,877
0,248	0,248	3,124	3,653
0,297	0,298	5,114	5,604
0,347	0,347	8,031	8,115
0,398	0,397	12,982	12,764

Διάγραμμα Διαφορών EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude		Διαφορές Ισχύος
A1	A2	A2-A1
Even Keel	t=2.5 deg by stern	
0,100	0,100	3,61
0,147	0,149	15,60
0,198	0,199	9,90
0,248	0,248	9,48
0,347	0,347	6,65
0,398	0,397	0,37
0,398	0,397	-1,99

Συμπεράσματα – Σχόλια

- Η υπόλοιπη αντίσταση στην κατάσταση της έμπρυμνης διαγωγής παρουσιάζεται αυξημένη σε σχέση με την ισοβύθιστη κατάσταση στις χαμηλές ταχύτητες. Αυτό, πιθανότατα να οφείλεται στην αποκόλληση της ροής που παρουσιάζεται στην πρύμνη και η οποία είναι πιο έντονη στην έμπρυμνη διαγωγή Αυτό συνεπάγεται αντίστοιχα κι μεγαλύτερη ολική αντίσταση.
- Καθώς ο αριθμός Froude αυξάνεται τα πράγματα τείνουν να αντιστραφούν. Μάλιστα αυτό συμβάνει όταν το μοντέλο αρχίζει και αποκτά μεγάλη δυναμική διαγωγή, οπότε και η συνολική του διαγωγή γίνεται μεγαλύτερη. Πιθανότατα, η αντίσταση κυματισμού - που γίνεται σημαντική συνιστώσα της συνολικής αντίστασης – της έμπρυμνης κατάστασης γίνεται μικρότερη από την αντίστοιχη της ισοβύθιστης, αντισταθμίζοντας την αύξηση στην αντίσταση λόγω αποκόλλησης της ροής.

Αποτελέσματα Αυτοπρόωσης

Ύστερα από την ανάλυση των πειραμάτων της αυτοπρόωσης, τα οποία πραγματοποιήθηκαν για βύθισμα $T = 0.220$ m, σε δύο διαφορετικές καταστάσεις διαγωγής, και για δύο ταχύτητες, προέκυψε ο παρακάτω πίνακας αποτελεσμάτων για την κατάσταση της αυτοπρόωσης του μοντέλου:

Κατάσταση	Ταχύτητα Μοντέλου V_m [m/s]	Στροφές n_M [rpm]	Αντίσταση Γυμνής Γάστρας R_o [kp]	Ωση T [kp]	Συντ. Μείωσης Ωσης t	Συντ. Ομόρρου w
Even Keel	1.081	481	0,528	0,797	0,34	0,353
Even Keel	1.508	799	1,714	2,530	0,32	0,294
2.5 deg by stern	1.081	511	0,568	0,887	0,36	0,313
2.5 deg by stern	1.508	824	1,720	2,894	0,41	0,330

Να σημειωθεί εδώ ότι η ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε στην κλίμακα του μοντέλου και όχι στην κλίμακα του πλοίου. Αυτό έγινε επειδή στα πειράματα αντίστασης του μοντέλου παρατηρούνταν αποκόλληση της ροής, κάτι που δεν συμβαίνει στην πραγματική κλίμακα

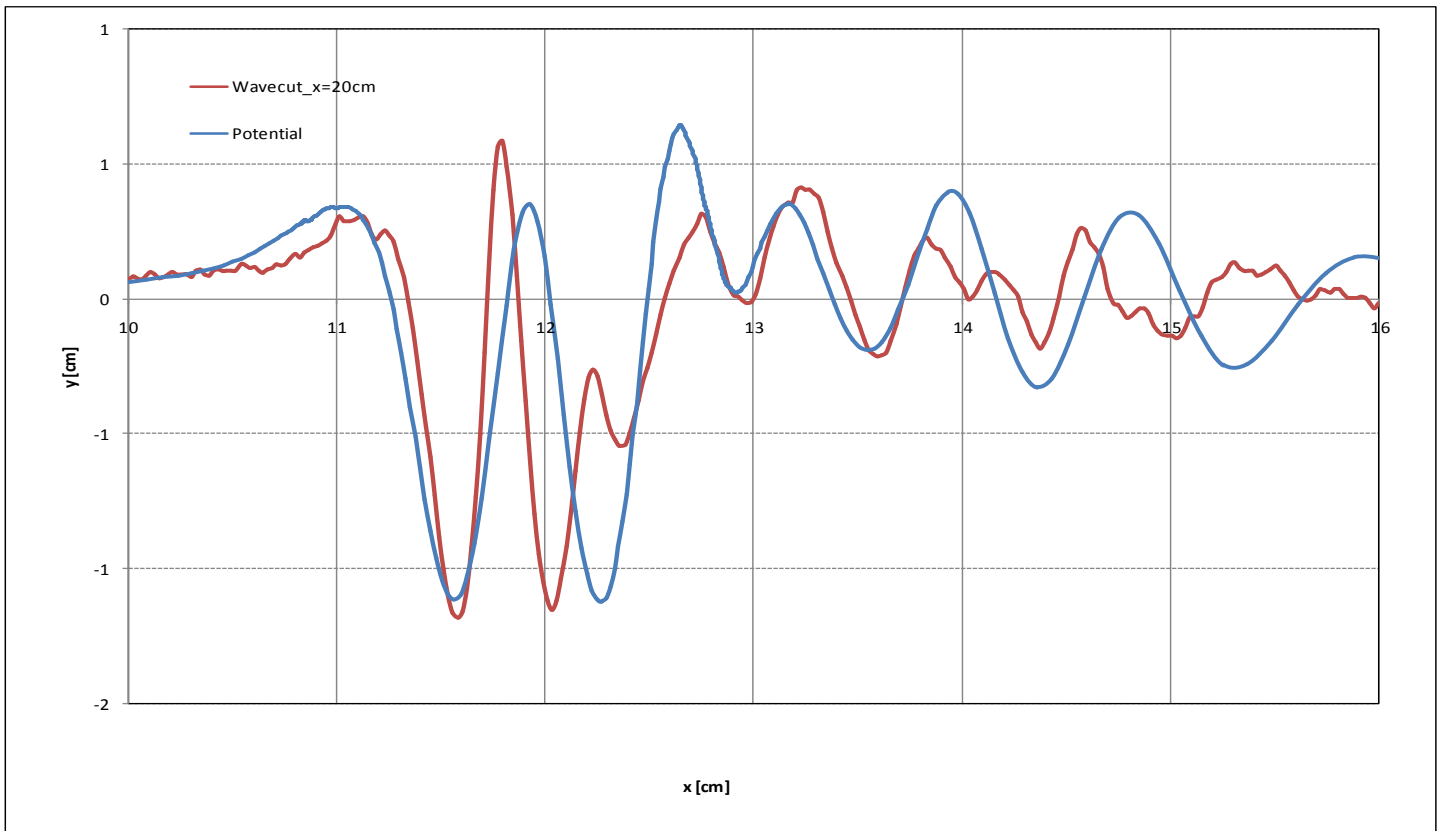
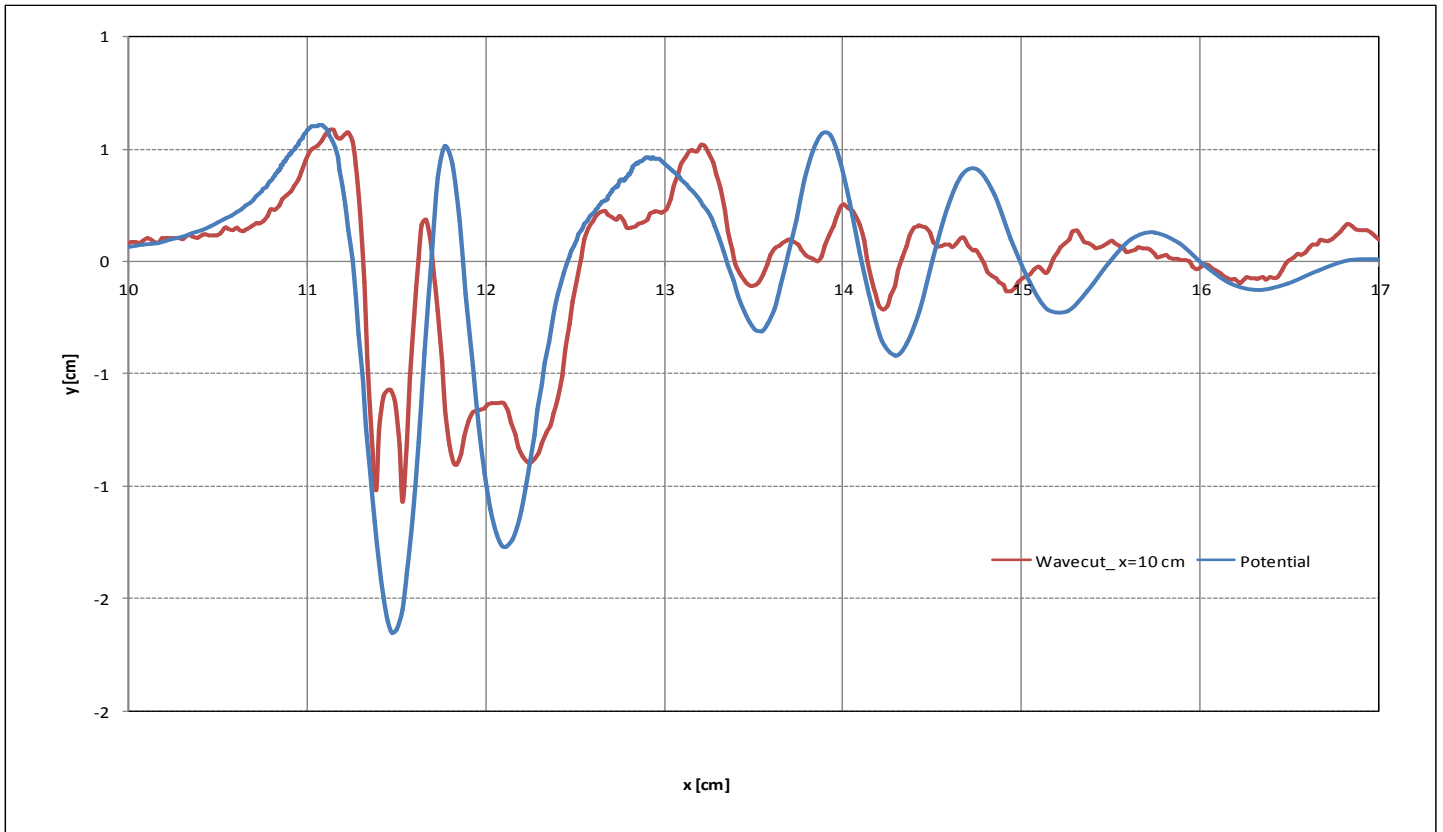
Όσον αφορά τα αποτελέσματα, παρατηρείται μία αύξηση στον συντελεστή μείωσης ώσης από την ισοβύθιστη κατάσταση στην κατάσταση έμπρυμνης διαγωγής. Αυτό είναι λογικό αν λάβει κανείς υπόψη του ότι:

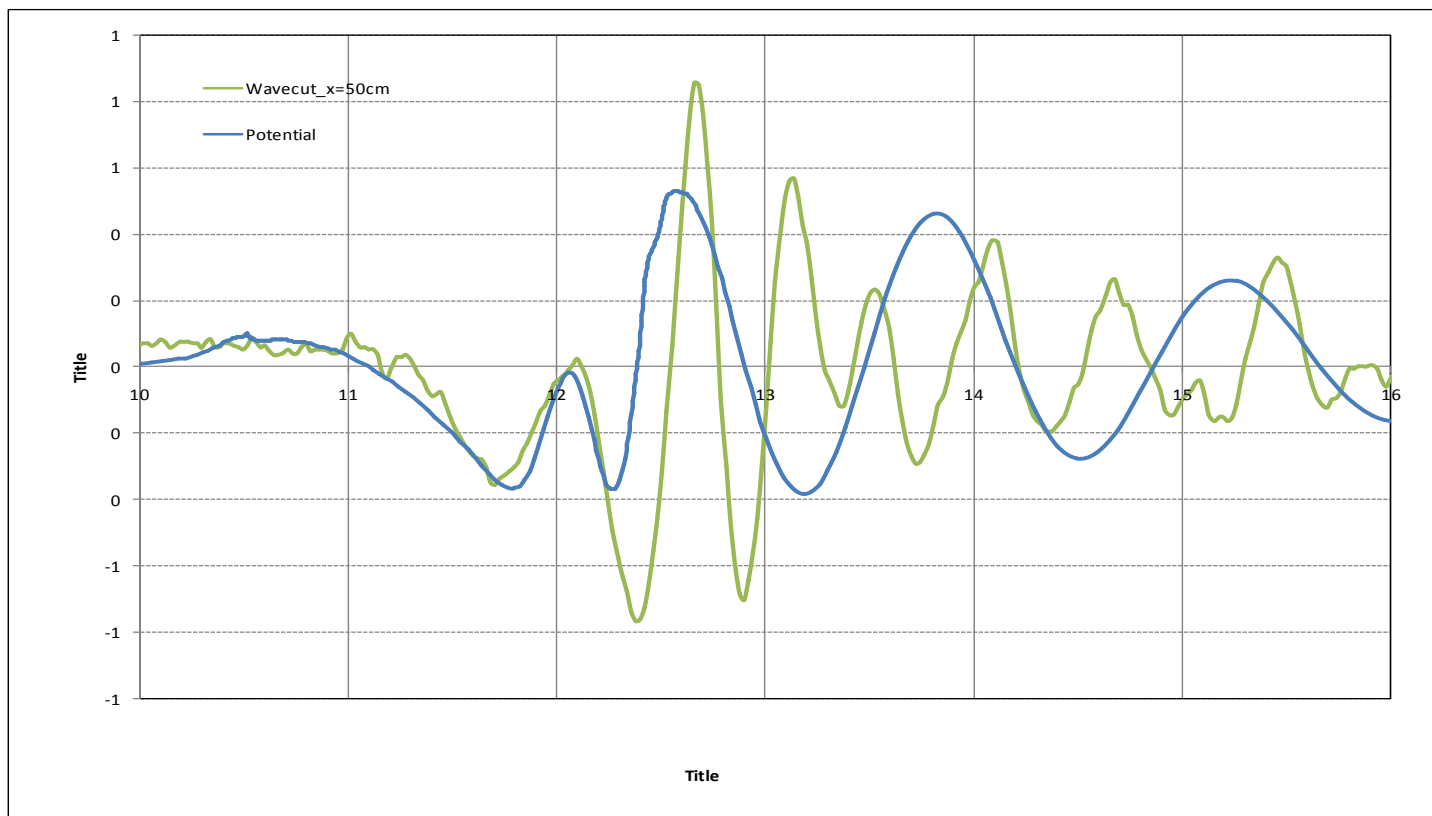
- Στην κατάσταση της έμπρυμνης διαγωγής, αυξάνεται η περιοχή αποκόλλησης της ροής, με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερη απαίτηση σε ώση. Το γεγονός αυτό ενισχύεται και από την μεγαλύτερη έμπρυμνη διαγωγή που παρουσιάζεται σε σχέση με τα πειράματα αντίστασης σε γυμνή γάστρα.
- Αύξηση της διαγώνιας συνισταμένης της ώσης (και κατ'επέκταση του συντελεστή t) λόγω της μεγάλης έμπρυμνης διαγωγής.

Αποτελέσματα Wavecuts

Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά, οι κυματομορφές που λήφθησαν στην ταχύτητα $V = 1.081$ m/s, στην ισοβύθιστη κατάσταση σε συνδυασμό με τις κυματομορφές που προέκυψαν, ύστερα από την εκτέλεση του κώδικα δυναμικής ροής στις γραμμές του συγκεκριμένου μοντέλου. Για το σκοπό αυτό, δεδομένου ότι τα σχέδια του σκάφους δεν ήταν διαθέσιμα σε ηλεκτρονική μορφή, έγινε σχεδίαση των γραμμών και της επιφάνειας του σκάφους στο σχεδιαστικό πακέτο Rhinoceros. Στα αποτελέσματα παρατηρείται, ότι ο κώδικας δυναμικής ροής προσπαθεί να «συλλάβει» την κυματομορφή. Ωστόσο σε ορισμένα σημεία αυτό δεν συμβαίνει καθώς παρατηρούνται μικρές κορυφές οι οποίες πιθανότατα να οφείλονται σε θραύση του κύματος, που παρατηρήθηκε και κατά την εκτέλεση των πειραμάτων

Επίδραση της Διαγωγής (Trim) στην Αντίσταση Διαφόρων Μοντέλων και Πλοίων





6^ο Μοντέλο – Ιστιοπλοϊκό

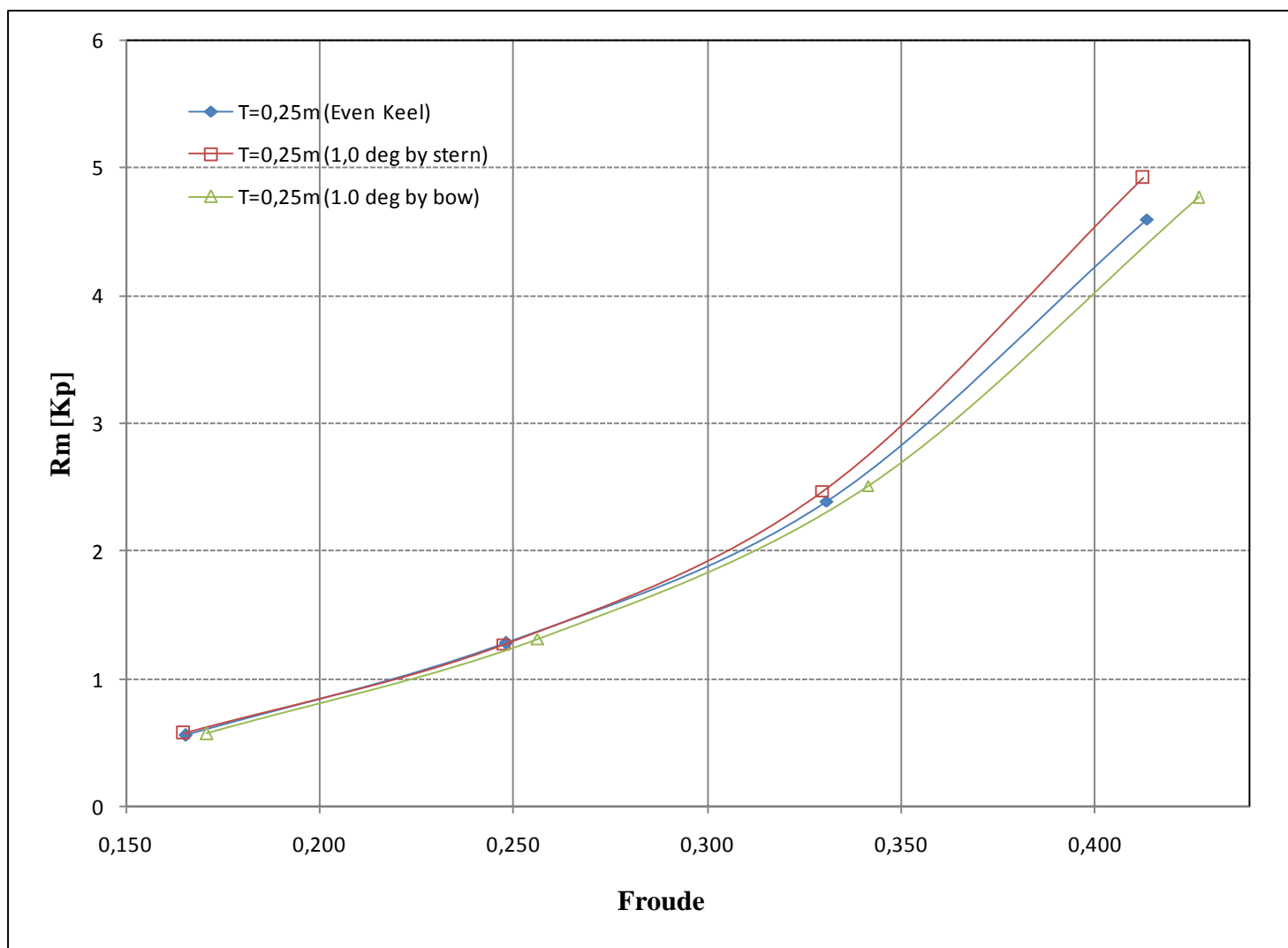
Το έκτο μοντέλο, στο οποίο πραγματοποιήθηκαν πειράματα ανήκε σε ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος. Για το σκάφος αυτό πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις (ισοβύθιστη, έμπρυμνη και έμπρωρη), σε 4 ταχύτητες. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των πειραμάτων.

Κατάσταση δοκιμών – $T = 0,25 \text{ m}$

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το μοντέλο

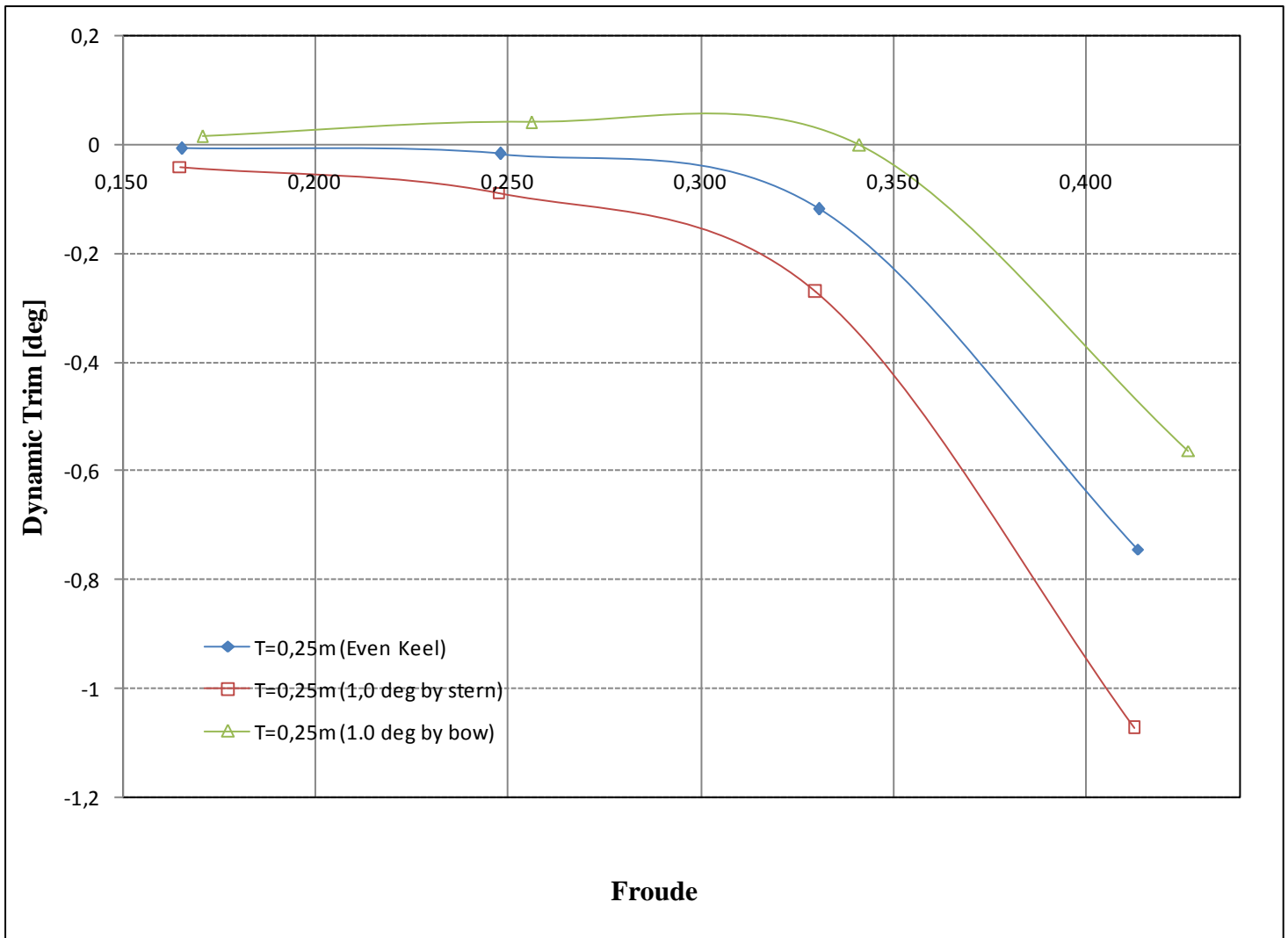
Χαρακτηριστικά Μοντέλου	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών		
			A1	A2	A3
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	3,727	3,744	3,498
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	3,727	3,744	3,498
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	0,373	0,373	0,373
Μέσο βύθισμα	T_M	m	0,063	0,063	0,063
Trim	t	deg	0,000	-1,000	1,000
Εκτόπισμα	Δ	mt	103	103	103
Βρεχόμενη επιφάνεια	$W.S.$	m^2	1,844	1,877	1,804

Διάγραμμα Αντίστασης για το μοντέλο



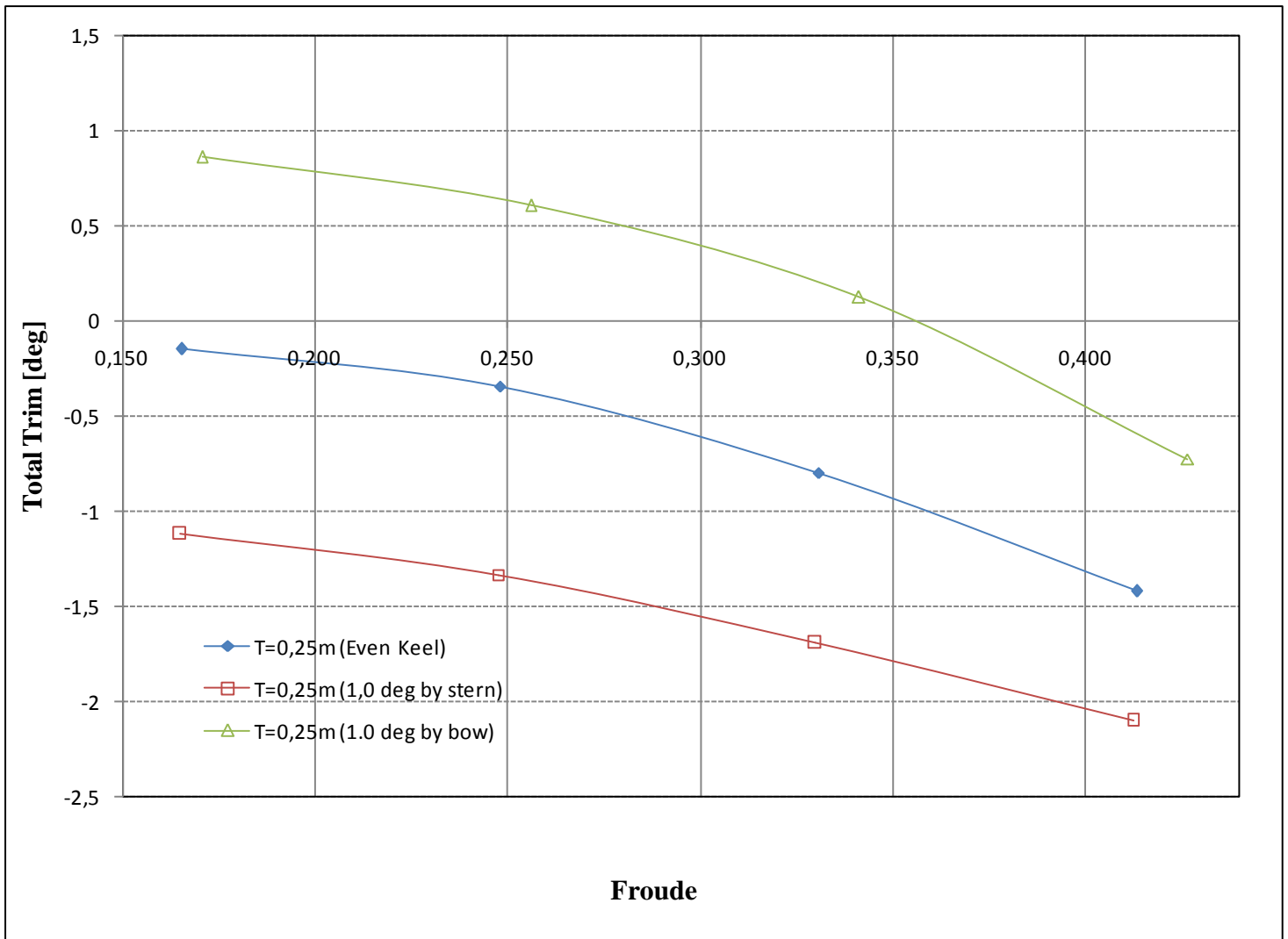
Αριθμός Froude			Αντίσταση [kp]		
A1	A2	A3	A1	A2	A3
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0,165	0,165	0,171	0,559	0,570	0,567
0,248	0,248	0,256	1,281	1,273	1,313
0,331	0,330	0,341	2,391	2,471	2,511
0,413	0,413	0,427	4,600	4,917	4,766

Διάγραμμα Dynamic Trim για το μοντέλο



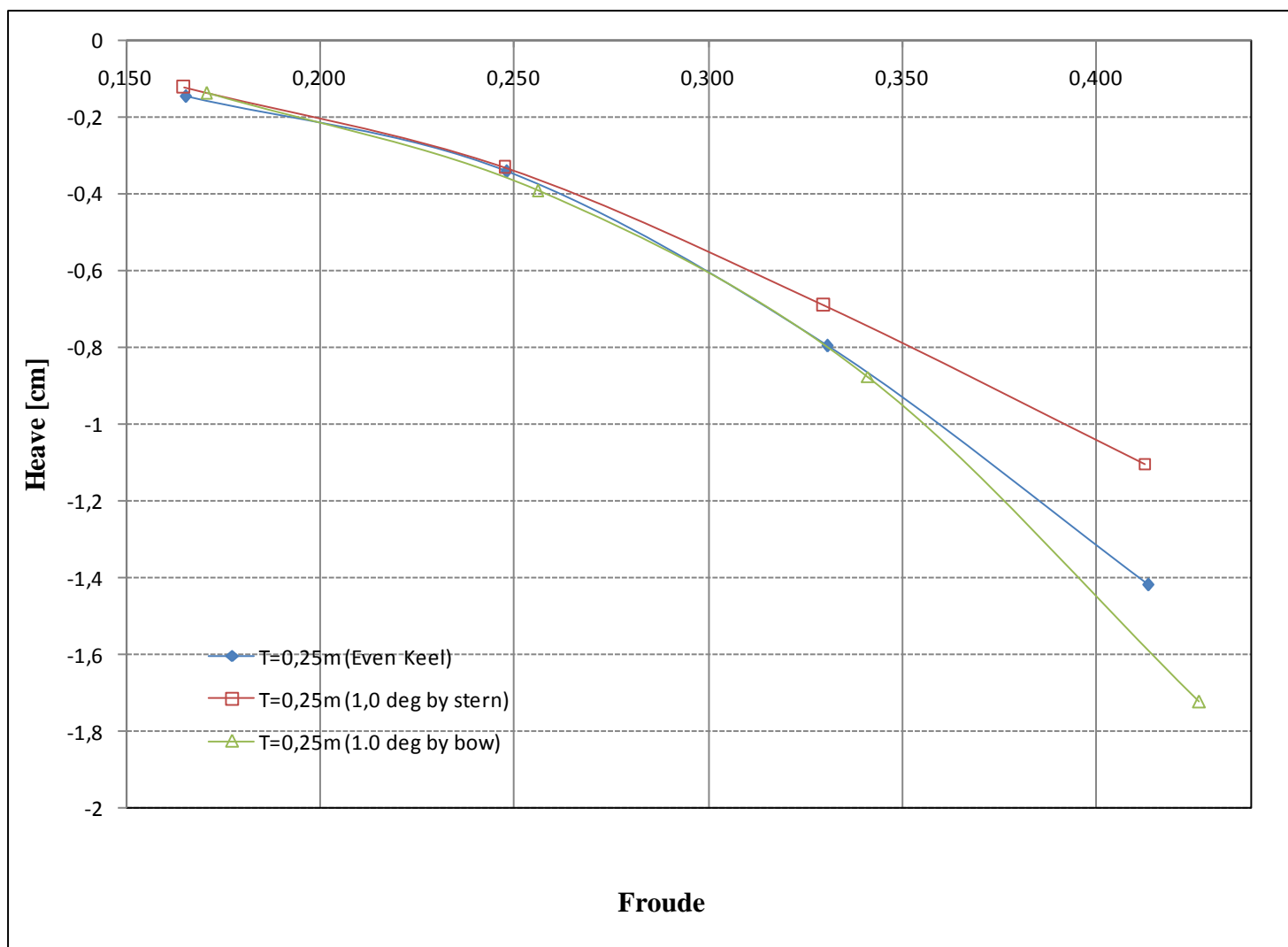
Αριθμός Froude			Dynamic Trim [deg]		
A1	A2	A3	A1	A2	A3
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0,165	0,165	0,171	-0,007	-0,041	0,014
0,248	0,248	0,256	-0,018	-0,089	0,041
0,331	0,330	0,341	-0,118	-0,271	-0,002
0,413	0,413	0,427	-0,745	-1,072	-0,562

Διάγραμμα Total Trim για το μοντέλο



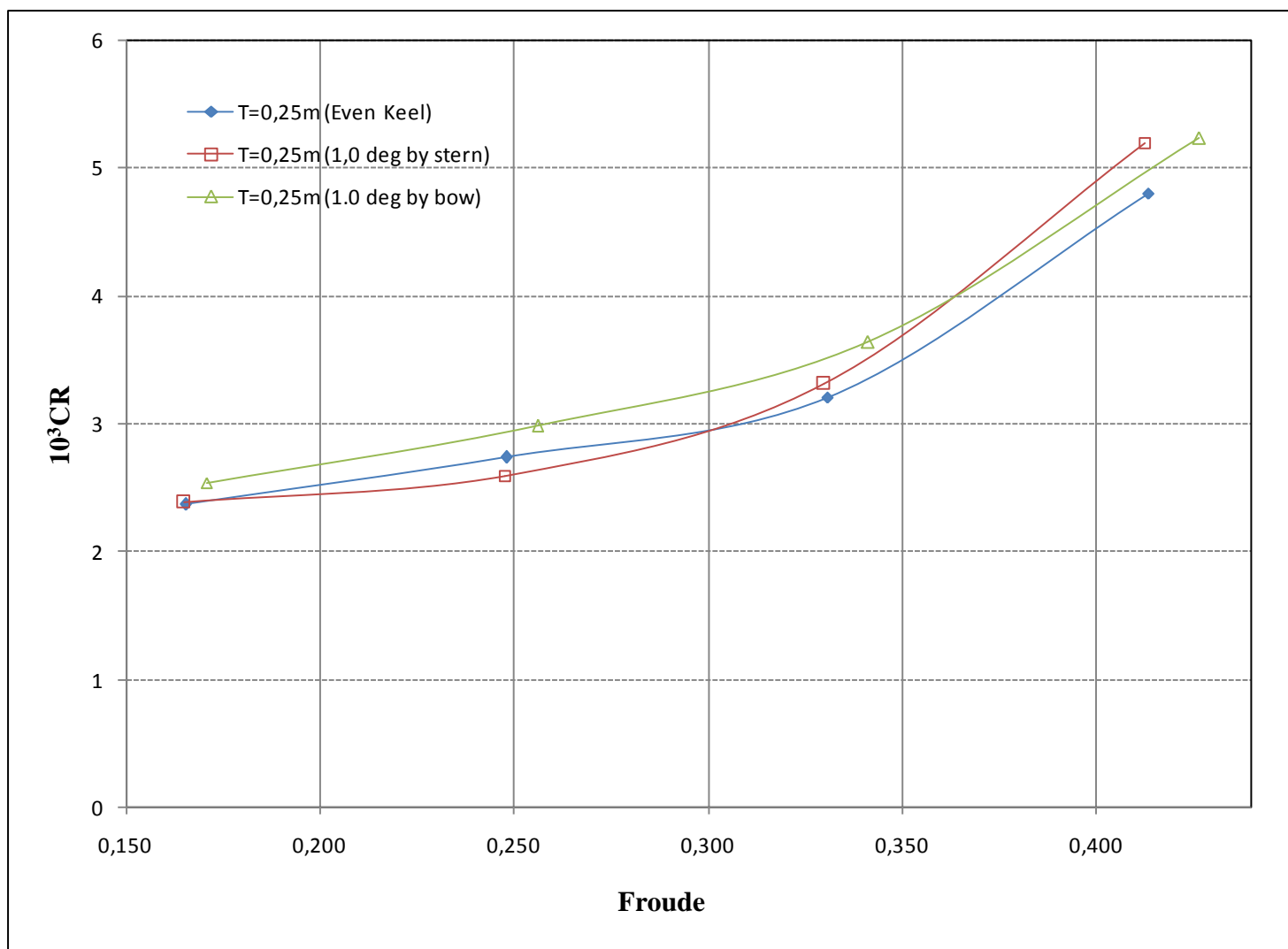
Αριθμός Froude			Total Trim [deg]		
A1	A2	A3	A1	A2	A3
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0,165	0,165	0,171	-0,146	-1,123	0,863
0,248	0,248	0,256	-0,342	-1,333	0,608
0,331	0,330	0,341	-0,798	-1,693	0,124
0,413	0,413	0,427	-1,418	-2,104	-0,724

Διάγραμμα Heave για το μοντέλο



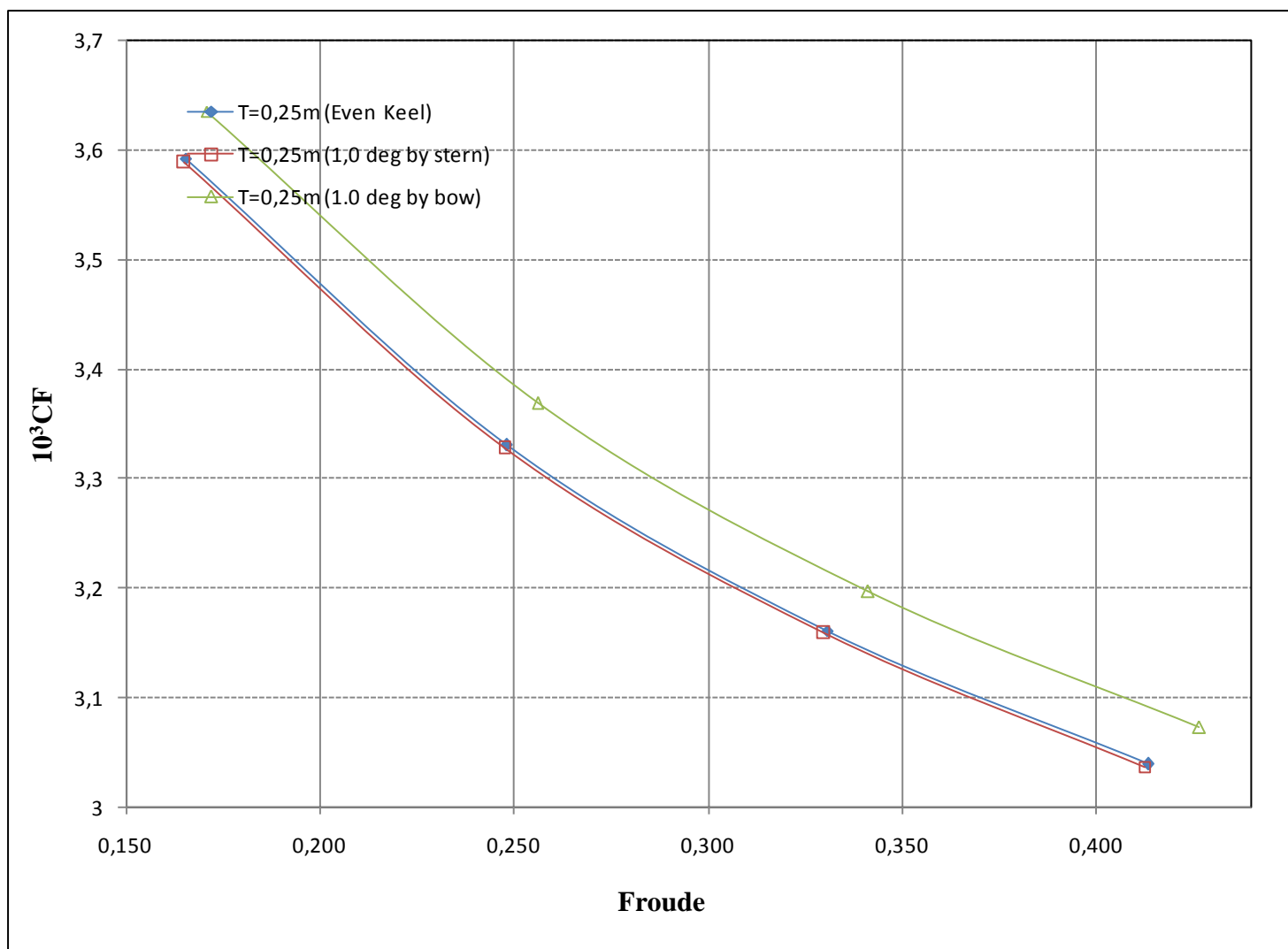
Αριθμός Froude			Heave [cm]		
A1	A2	A3	A1	A2	A3
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0,165	0,165	0,171	-0,146	-0,123	-0,137
0,248	0,248	0,256	-0,342	-0,333	-0,392
0,331	0,330	0,341	-0,798	-0,693	-0,876
0,413	0,413	0,427	-1,418	-1,104	-1,724

Διάγραμμα Συντελεστή C_R για το μοντέλο



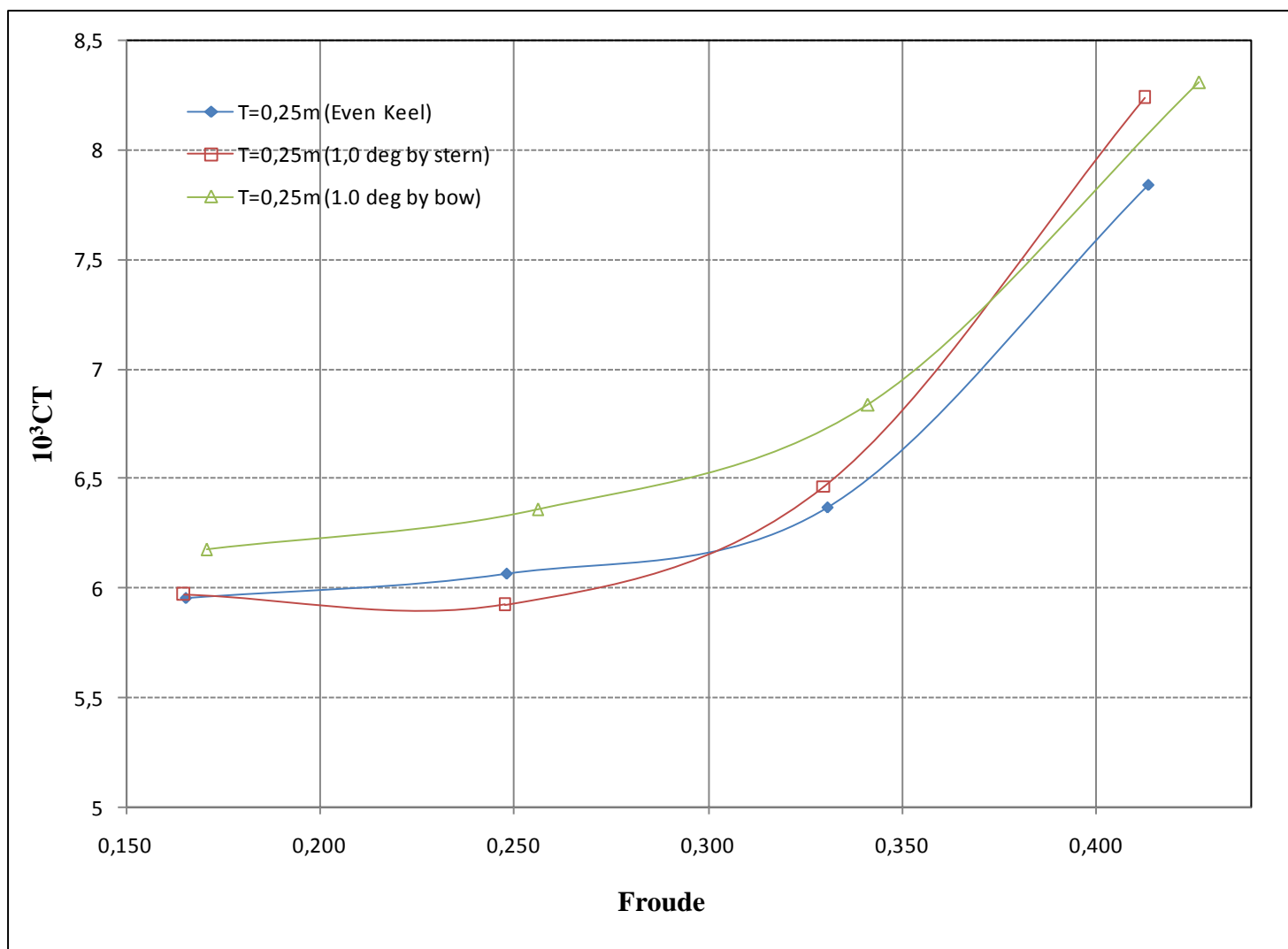
Αριθμός Froude			Συντελεστής C_R		
A1	A2	A3	A1	A2	A3
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0,165	0,165	0,171	2,365	2,379	2,541
0,248	0,248	0,256	2,737	2,596	2,987
0,331	0,330	0,341	3,209	3,308	3,640
0,413	0,413	0,427	4,804	5,199	5,233

Διάγραμμα Συντελεστή C_F για το μοντέλο



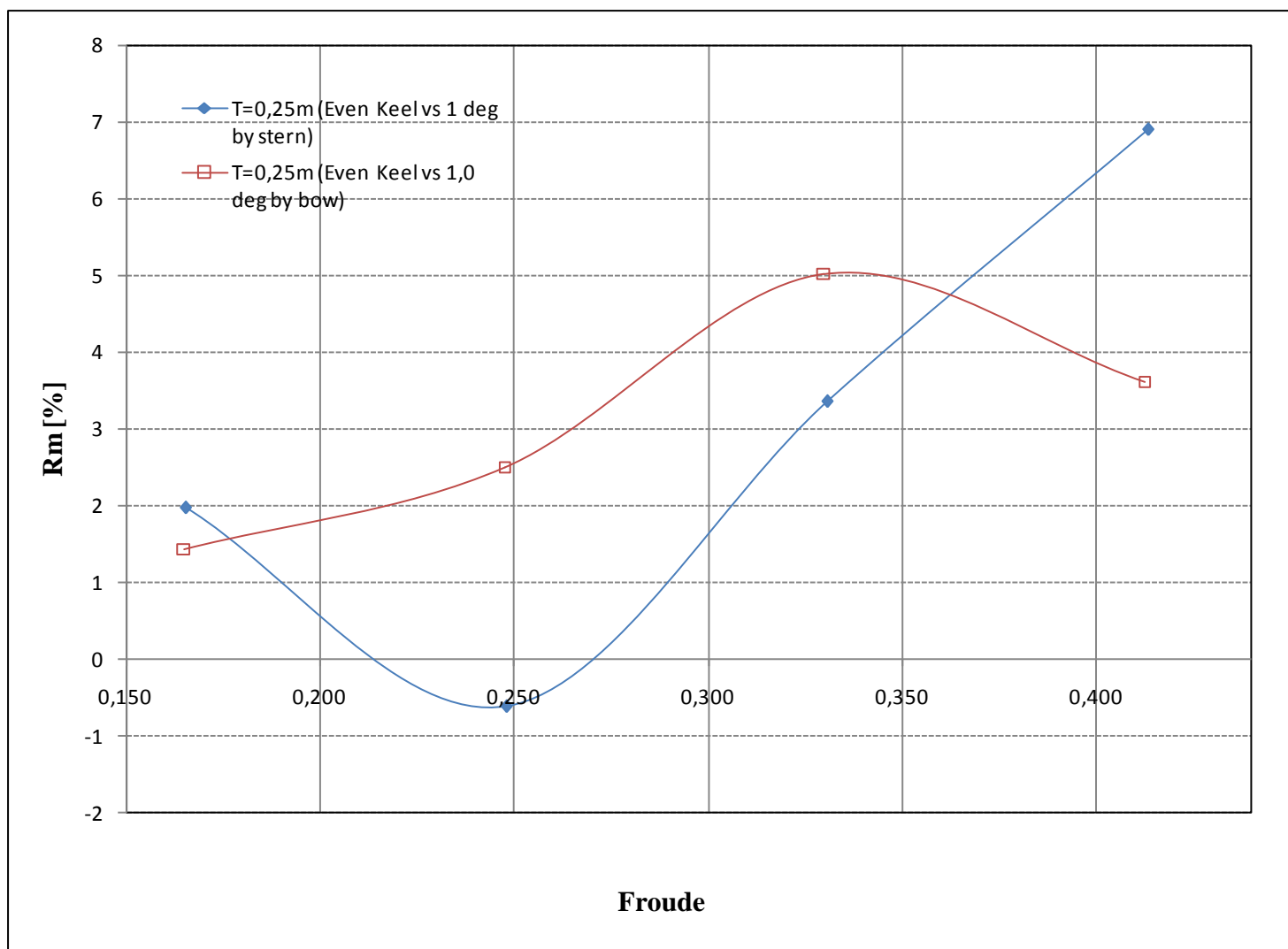
Αριθμός Froude			Συντελεστής C_F		
A1	A2	A3	A1	A2	A3
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0,165	0,165	0,171	3,592	3,588	3,635
0,248	0,248	0,256	3,33	3,327	3,369
0,331	0,330	0,341	3,161	3,159	3,197
0,413	0,413	0,427	3,039	3,037	3,073

Διάγραμμα Συντελεστή C_T για το μοντέλο



Αριθμός Froude			Συντελεστής C_T		
A1	A2	A3	A1	A2	A3
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0,165	0,165	0,171	5,957	5,967	6,176
0,248	0,248	0,256	6,067	5,923	6,356
0,331	0,330	0,341	6,370	6,467	6,838
0,413	0,413	0,427	7,843	8,236	8,306

Διάγραμμα Διαφορών Αντίστασης για το μοντέλο

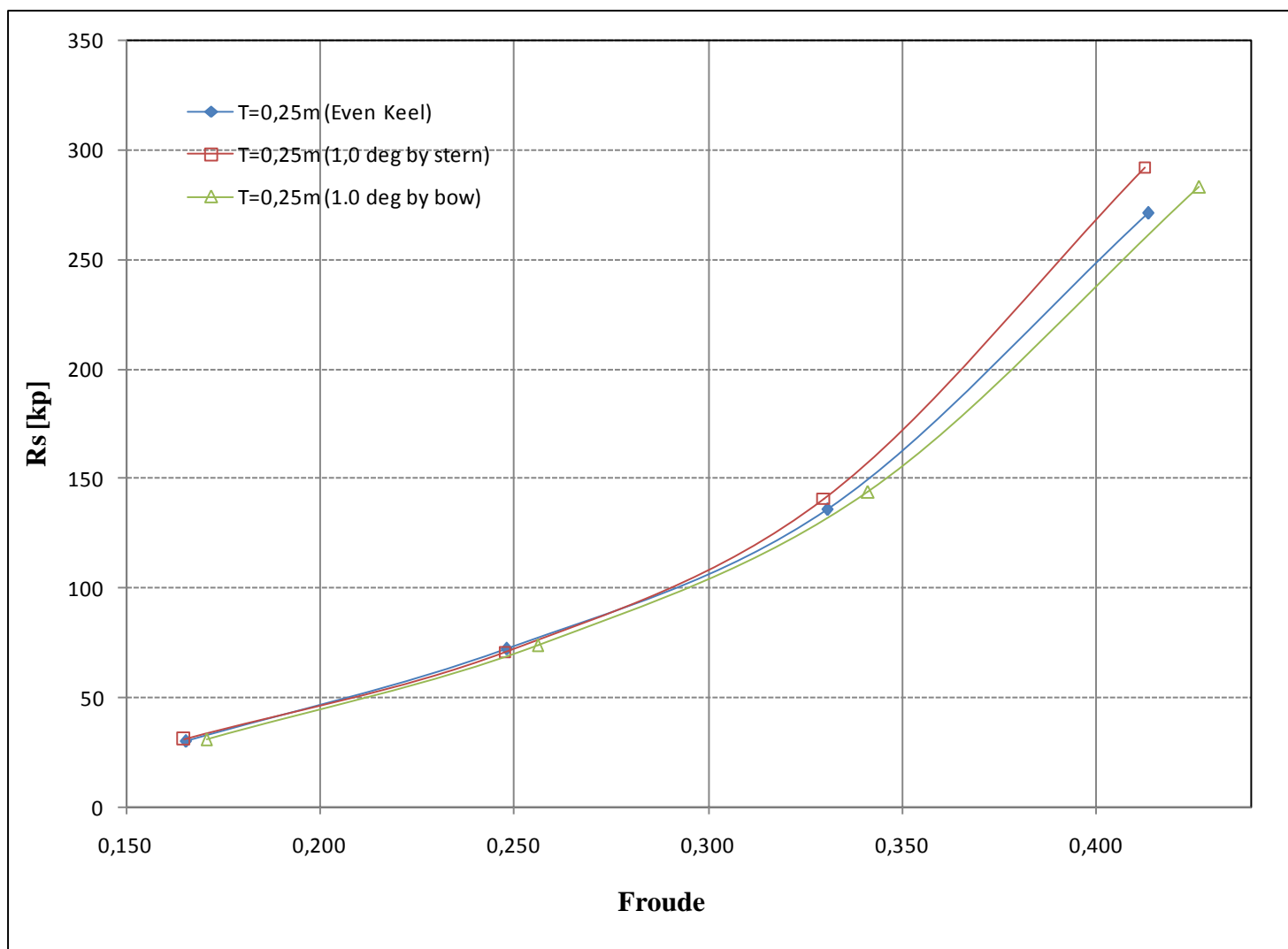


Αριθμός Froude			Διαφορές Αντίστασης	
A1	A2	A3	A2-A1	A3-A1
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow		
0,165	0,165	0,171	1,97	1,43
0,248	0,248	0,256	-0,62	2,50
0,331	0,330	0,341	3,35	5,02
0,413	0,413	0,427	6,89	3,61

Στοιχεία και αποτελέσματα δοκιμών για το πραγματικό

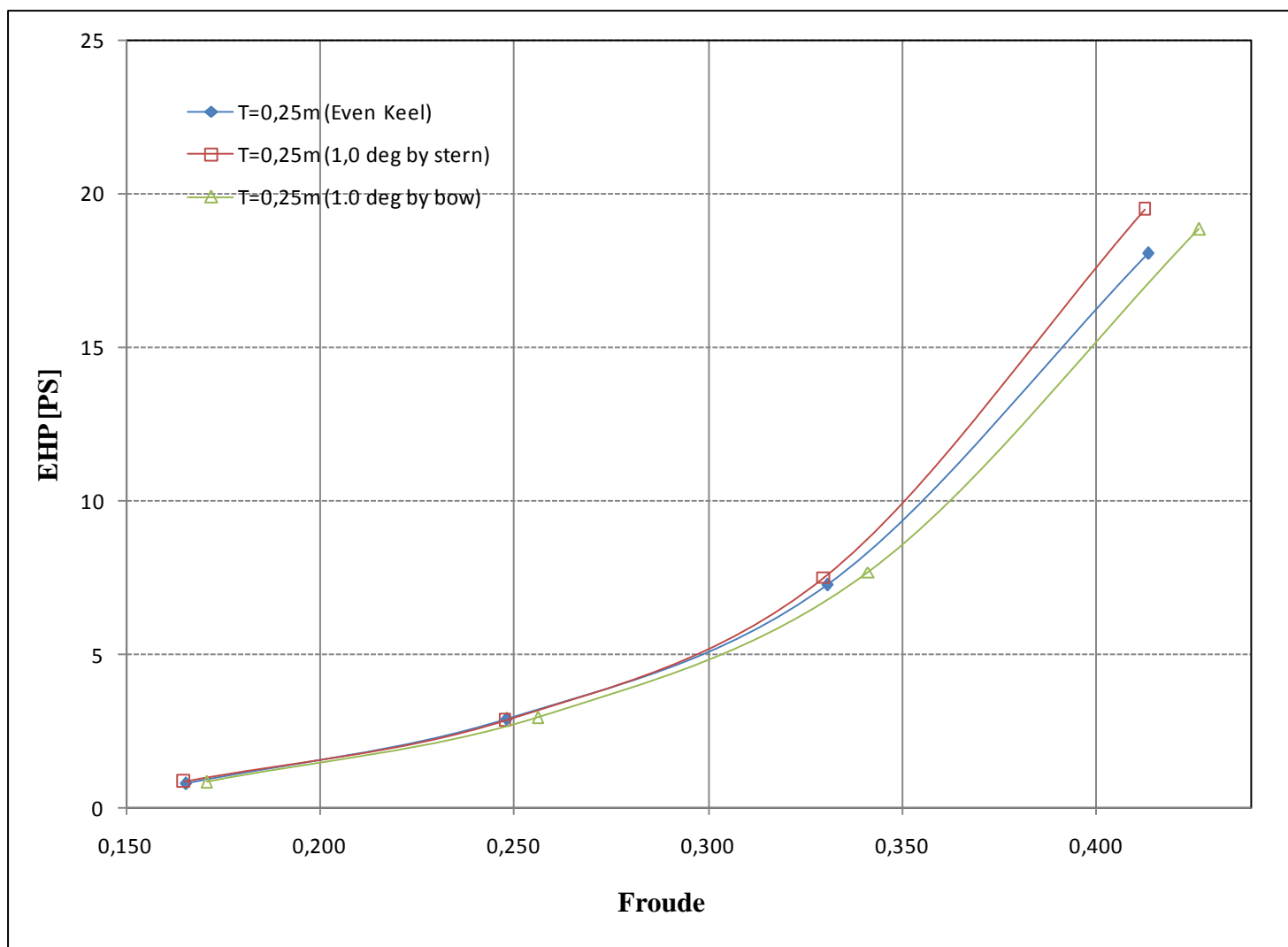
Χαρακτηριστικά Σκάφους	Σύμβολο		Καταστάσεις δοκιμών		
			A1	A2	A3
Μήκος Ισάλου	L_{WL}	m	14,908	14,976	13,992
Μήκος με βολβό	L_{BULB}	m	14,908	14,976	13,992
Πλάτος Ισάλου	B_{WL}	m	1,492	1,492	1,492
Μέσο βύθισμα	T_M	m	0,252	0,252	0,252
Trim	t	deg	0,0000	-1,0000	1,0000
Εκτόπισμα	Δ	mt			
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²			

Διάγραμμα Αντίστασης για το πραγματικό



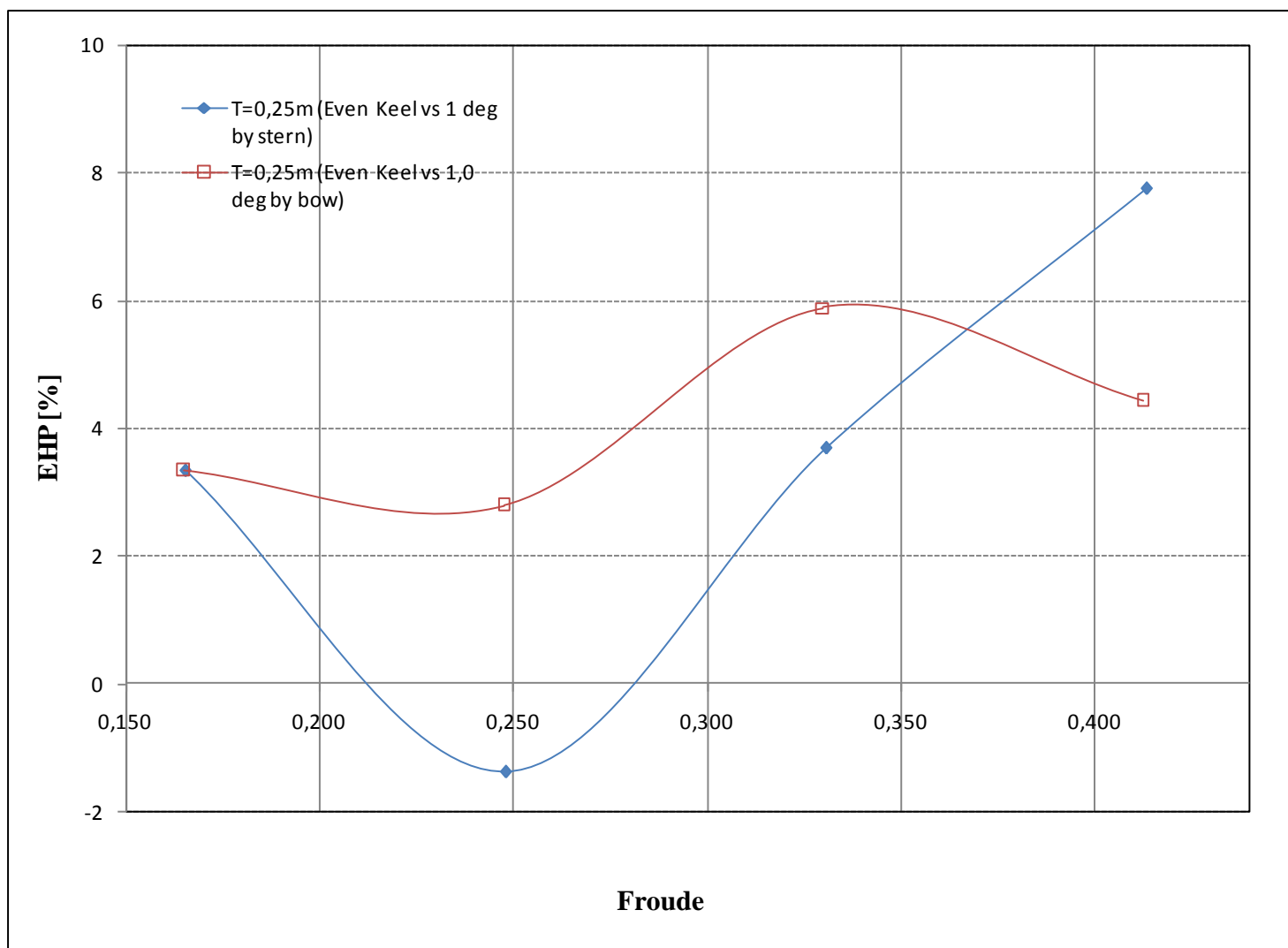
Αριθμός Froude			Αντίσταση [kN]		
A1	A2	A3	A1	A2	A3
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0,165	0,165	0,171	30	31	31
0,248	0,248	0,256	72	71	74
0,331	0,330	0,341	136	141	144
0,413	0,413	0,427	271	292	283

Διάγραμμα EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude			EHP [PS]		
A1	A2	A3	A1	A2	A3
Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow	Even Keel	t=1.0 deg by stern	t=1.0 deg by bow
0,165	0,165	0,171	30	31	31
0,248	0,248	0,256	72	71	74
0,331	0,330	0,341	136	141	144
0,413	0,413	0,427	271	292	283

Διάγραμμα Διαφορών EHP για το πραγματικό



Αριθμός Froude			Διαφορές Ισχύος	
A1	A2	A3	A2-A1	A3-A1
Even Keel	t=0.5 deg by stern	t=0.5 deg by bow		
0,165	0,165	0,171	3,33	3,33
0,248	0,248	0,256	-1,39	2,78
0,331	0,330	0,341	3,68	5,88
0,413	0,413	0,427	7,75	4,43

Συμπεράσματα – Σχόλια

Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε, ότι η μεν έμπρυμνη διαγωγή επιδρά αρνητική στην αντίσταση σε σχέση με την ισοβύθιστη κατάσταση, ενώ η μεν έμπρωρη επιδρά θετικά. Δεδομένου ότι στα ιστιοπλοϊκά σκάφη, η αντίσταση τριβής είναι σημαντική συνιστώσα της ολικής αντίστασης και ότι στην έμπρωρη κατάσταση έχουμε την μικρότερη βρεχόμενη επιφάνεια, η αντίστοιχη τριβής – και κατ' επέκταση η υπόλοιπη αντίσταση) - παρουσιάζεται μικρότερη ως προς τις δύο άλλες καταστάσεις.

Γενικές Παρατηρήσεις

Ο σκοπός της εργασίας ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της διαγωγής στην αντίσταση διαφόρων τύπων πλοίων. Παρ' ότι δεν μπορούν να εξαχθούν συνολικά συμπεράσματα, είναι σκόπιμο να γίνουν ορισμένες γενικές παρατηρήσεις. Ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, το βύθισμα και την ταχύτητα, φαίνεται πώς η διαγωγή (έμπρυμη και έμπρωρη), μπορεί να έχει τόσο θετική όσο και αρνητική επίδραση σε σχέση με την ισοβύθιστη κατάσταση. Μάλιστα παρατηρούμε ότι οι έμπρωρες διαγωγές στην πλειοψηφία τους, επιδρούν θετικά σε χαμηλές ταχύτητες ενώ για τις έμπρυμες δεν μπορεί να γίνει παρόμοια γενίκευση λόγω μεγάλης διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων. Επομένως, θα μπορούσαμε δυνητικά να καθορίσουμε τη βέλτιστη κατάσταση πλευσης για κάθε τύπο πλοίου όσον αφορά την αντίσταση, μια πρόταση βελτιστοποίησης όχι στο πρώιμο στάδιο του σχεδιασμού αλλά στην καθεαυτή λειτουργία των πλοίων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η δημιουργία της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την βοήθεια, καθοδήγηση και υποστήριξη κάποιων ανθρώπων, η προσφορά των οποίων ήταν καταλυτική στην εκτέλεση του μεγάλου όγκου των πειραμάτων αλλά και στη συγγραφή της εργασίας. Για το λόγο αυτό νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω:

- Τον καθηγητή μου Κύριο Τζαμπίρα για την αμέριστη βοήθεια του και συμπαράσταση καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης
- Το προσωπικό της πειραματικής δεξαμενής και ιδιαίτερα τους κυρίους Φ. Κασάπη, Δ. Συνετό και Γ. Τραχανά για την προετοιμασία και τη διεξαγωγή των πειραμάτων
- Όλους τους συναδέλφους και φίλους στο εργαστήριο για την βοήθεια τους
- Την οικογένεια μου, που με στήριξε με κάθε τρόπο, σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Βιβλιογραφία

- [1] ΠΟΛΙΤΗΣ Γ.Κ. , ΣΚΑΜΝΕΛΗΣ Φ.Α., Σημειώσεις Αντίστασης Πλοίου, 2^η Έκδοση, 2007
- [2] ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Α.Δ. , Μελέτη Πλοίου – Μεθοδολογία Προμελέτης, Τόμος Α΄, Εκδόσεις Συμεών
- [3] SV. AA. HARVALD, Resistance and Propulsion of Ships, John Wiley & Sons
- [4] HAROLD E. SAUNDERS, Hydrodynamics In Ship Design, Volume I & II., The society of Naval Architects and Marine Engineers, 1957
- [5] Υδροδυναμική Πλοίου (Αντίσταση – Πρόωση) – Στοιχεία για Υπολογισμούς, ΑΘΗΝΑ, 1982
- [6] ΠΟΛΙΤΗΣ Γ.Κ. , Πρόωση Πλοίου, 2^η Έκδοση, 2007