

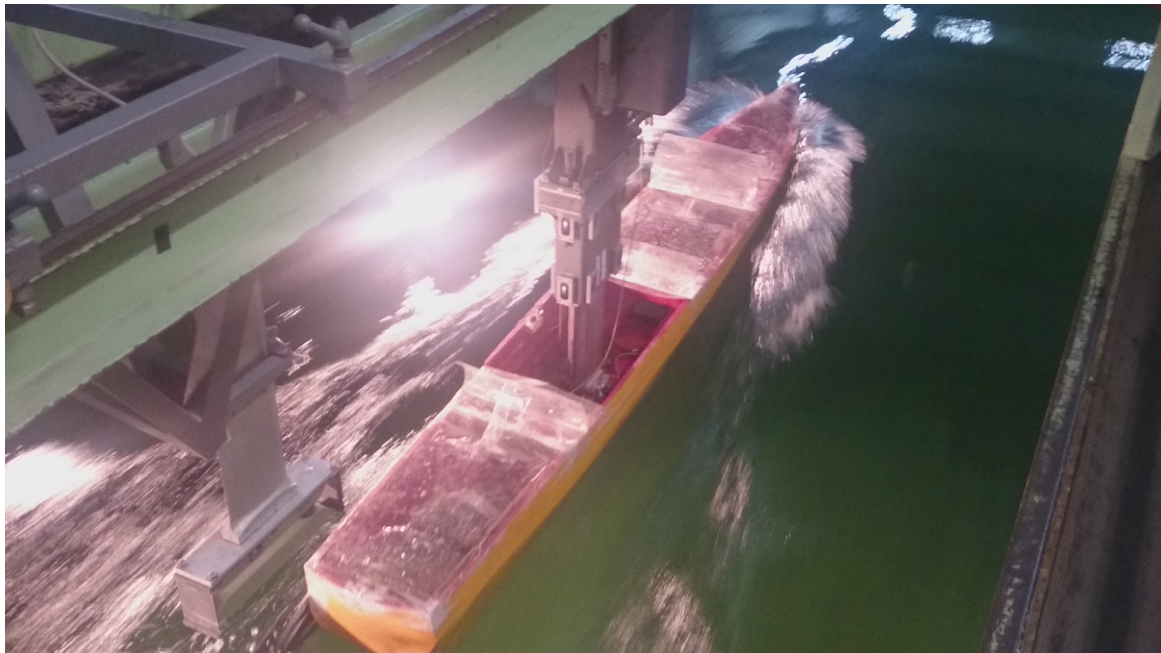


**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ: "ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ
ΕΠΙΣΤΗΜΗ"**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΥΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΑΧΥΠΛΟΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΜΕ ΔΙΠΛΗ
ΑΚΜΗ ΚΑΙ $L/B=7$ ΣΕ ΤΥΧΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ***



ΧΟΥΝΤΑΛΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

**Επίβλεψη:
ΓΡΗΓΟΡΗΣ ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**

ΑΘΗΝΑ 2016

Στην οικογένειά μου

Στους φίλους μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Από την θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν στην πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας, ξεκινώντας από τον υπεύθυνο καθηγητή μου κ. Γρηγόριο Γρηγορόπουλο, καθηγητή του τομέα Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (ΕΝΘΥ) της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τον ευχαριστώ ιδιαίτερα για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση του θέματος και τις χρήσιμες συμβουλές και την καθοδήγησή του σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στα μέλη του εργαστηρίου κύριο Τραχανά Ιωάννη, μέλος Ε.Τ.Ε.Π. της σχολής Ν.Μ.Μ. του Ε.Μ.Π., τον κύριο Κασάπη Φώτη, μέλος Ε.ΔΙ.Π. της σχολής Ν.Μ.Μ. του Ε.Μ.Π. και τον κύριο Λιαροκάπη Δημήτριο, μέλος Ε.Τ.Ε.Π. της σχολής Ν.Μ.Μ. του Ε.Μ.Π. για την βοήθειά τους, όχι μόνο στο εργαστήριο αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου και την πολύ καλή συνεργασία μας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους μου για την ψυχολογική και όχι μόνο βοήθεια που μου έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για την υποστήριξη που μου προσφέρει σε όλα τα βήματά μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

| | | |
|----------|---|------------|
| 1 | ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ..... | 1.1 |
| 1.1 | ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΣΕΩΝ | 1.1 |
| 1.2 | ΘΕΩΡΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ..... | 1.2 |
| 1.2.1 | ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ – REGULAR WAVES | 1.3 |
| 1.2.2 | ΤΥΧΑΙΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ – RANDOM WAVES | 1.3 |
| 1.3 | ΘΕΩΡΙΑ ΛΩΡΙΔΩΝ | 1.8 |
| 1.4 | ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ – ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ..... | 1.11 |
| 2 | ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΚΑΦΩΝ Ε.Μ.Π..... | 2.1 |
| 2.1 | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ | 2.1 |
| 2.2 | ΣΕΙΡΑ Ε.Μ.Π. - ΝΤΥΑ | 2.2 |
| 3 | ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ..... | 3.1 |
| 3.1 | ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ – ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ. 3.1 | |
| 3.2 | ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΩΝ | 3.5 |
| 3.3 | ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΡΟΤΥΠΟΥ | 3.7 |
| 3.4 | ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ – ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΤΗΡΑ | 3.12 |
| 4 | ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ | 4.1 |
| 4.1 | ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ | 4.1 |
| 4.2 | ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ | 4.2 |
| 4.3 | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΣΕ ΤΥΧΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ | 4.3 |
| 4.3.1 | ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ – ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ | 4.3 |
| 4.3.1.1 | Αποτελέσματα πειραμάτων για ταχύτητα $F_n = 0.34$ | 4.4 |
| 4.3.1.2 | Αποτελέσματα πειραμάτων για ταχύτητα $F_n = 0.68$ | 4.18 |

| | | |
|------------|--|-------------|
| 4.3.2 | ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΩΝ RMS ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ..... | 4.32 |
| 4.3.2.1 | Διαγράμματα των RMS τιμών για ταχύτητα $F_n = 0.34$ | 4.33 |
| 4.3.2.2 | Διαγράμματα των RMS τιμών για ταχύτητα $F_n = 0.68$ | 4.35 |
| 4.3.3 | ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ..... | 4.37 |
| 4.4 | ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ RMS ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (ADDED RESISTANCE) ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΥΟ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ | 4.40 |
| 5 | ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 116/96 ΜΕ $L/B=7$ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 097/94 ΜΕ $L/B=5.5$ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΤΟΥ Ε.Μ.Π. ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ $C_{dl}=4.23$ | 5.1 |
| 5.1 | ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ RMS ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ | 5.2 |
| 5.2 | ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ – ADDED RESISTANCE | 5.8 |
| 5.3 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ | 5.11 |
| 6 | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 6.1 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αγορά της ακτοπλοΐας ανέκαθεν είχε ως στόχο την εξέλιξη των πλοίων σε δύο βασικούς τομείς, την ταχύτητα και την άνεση των επιβατών. Ο μεγάλος ανταγωνισμός που υπάρχει στις διάφορες ακτοπλοϊκές γραμμές οδήγησε σε σχεδιάσεις ταχύπλοων σκαφών με στόχο την επίτευξη όσο το δυνατόν πιο υψηλών ταχυτήτων σε ήρεμο νερό, το οποίο όμως οδηγεί συνήθως σε μέτρια συμπεριφορά σε κυματισμούς και σε μη ευχάριστο ταξίδι για τους επιβάτες.

Έτσι λοιπόν καθίσταται σαφές ότι ένας σύγχρονος μελετητής ναυπηγός θα πρέπει κατά τη σχεδίαση ενός ταχύπλοου σκάφους να μελετήσει και τη δυναμική συμπεριφορά αυτού σε κυματισμούς όσο το δυνατόν νωρίτερα τόσο προς όφελος των επιβατών και του πληρώματος όσο και προς όφελος του εκάστοτε φορτίου αφού μια υδροδυναμικά σωστή σχεδίαση σημαίνει και μικρότερη καταπόνηση αυτού σε κύματα και ανάγκη μικρότερης αντοχής στη μέση τομή.

Η προαναφερθείσα δυναμική συμπεριφορά ενός πλοίου σε θαλάσσιους κυματισμούς αναφέρεται με τον όρο *seakeeping* στην αγγλική ορολογία και εξετάζει την ικανότητα ενός πλοίου να πλέει με άνεση και χωρίς ιδιαίτερη καταπόνηση στο θαλάσσιο περιβάλλον με κυματισμούς και συνίσταται στην ανάλυση των χαρακτηριστικών κινήσεων και της πρόσθετης αντίστασης σε κυματισμούς.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζουμε τη δυναμική συμπεριφορά ενός προτύπου ταχύπλοου σκάφους γάστρας διπλής ακμής της συστηματικής σειράς του Ε.Μ.Π. – NTUA που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (ΕΝΘΥ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εργασία εντάσσεται στη μακρόχρονη προσπάθεια του ΕΝΘΥ να δημιουργήσει μία βάση δεδομένων της συστηματικής σειράς, στην οποία ο μελετητής θα μπορεί να ανατρέξει ώστε να υπολογίσει μέσα από τα αδιάστατα πειραματικά αποτελέσματα πρόσθετης αντίστασης και δυναμικής συμπεριφοράς τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς ομοίων με τη σειρά σκαφών. Μελετήθηκε το πρότυπο NTUA-116/96, με λόγο $L/B = 7$, συντελεστή εκτοπίσματος $C_{dl} = 4.23$ και μηδενική γωνία διαγωγής, σε ταχύτητες με αριθμό Froude $F_n = 0.34$ και 0.68 .

Στην εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε επτά καταστάσεις θάλασσας. Δίνονται τα φάσματα κυματισμού – αποκρίσεων για κάθε μία από τις θάλασσες, στις δύο ταχύτητες. Οι αποκρίσεις περιλαμβάνουν την κατακόρυφη επιτάχυν-

ση σε τρεις θέσεις επί του προτύπου (πλώρη, κέντρο βάρους, πρύμνη), την κατακόρυφη κίνηση (Heave) και τον προνευτασμό (Pitch). Οι δυναμικές αποκρίσεις παρουσιάζονται υπό μορφή RMS τιμών, ενώ η πρόσθετη αντίσταση δίνεται σε μέση τιμή.

Στο τέλος, συγκρίνονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη με εκείνα προηγούμενης μελέτης επί του μοντέλου 097/94 της συστηματικής σειράς του NTUA το οποίο έχει ως κύρια χαρακτηριστικά $L/B=5.5$, ίδιο συντελεστή φόρτωσης ($C_{d1} = 4.23$) και μηδενική γωνία διαγωγής και είχε μελετηθεί για αντίστοιχες καταστάσεις θάλασσας και ταχύτητες εκφρασμένες μέσω του αριθμού Froude ώστε να εξάγουμε συγκριτικά συμπεράσματα.

1

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1.1 ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΣΕΩΝ

Η δυναμική συμπεριφορά των ταχύπλοων σκαφών σε κυματισμούς αποτελεί ένα αρκετά σύνθετο και πολύπλοκο φαινόμενο και αυτό γιατί το σκάφος έχει 6 βαθμούς ελευθερίας κινήσεων με αποτέλεσμα οι διεγείρουσες δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό λόγω των κυματισμών να το εξαναγκάζουν σε πολλά είδη κινήσεων ταυτόχρονα. Η κίνηση κάθε πλοίου χαρακτηρίζεται από τρεις μεταφορικές κινήσεις κατά μήκος των αξόνων x , y , z και τρεις περιστροφικές περί τους άξονες (Εικόνα 1.1). Οι βαθμοί ελευθερίας αυτοί παρουσιάζονται στην συνέχεια:

Μεταφορικές:

ξ_1 : Διαμήκης οριζόντια ταλάντωση (Surge)

ξ_2 : Εγκάρσια οριζόντια ταλάντωση (Sway)

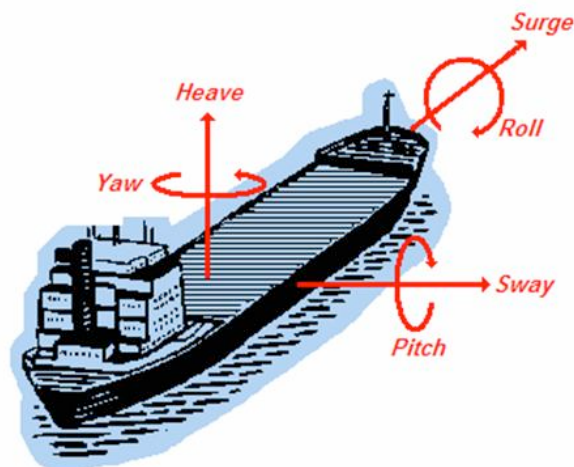
ξ_3 : Κατακόρυφη ταλάντωση (Heave)

Περιστροφικές:

ξ_4 : Ταλάντωση περί τον διαμήκη άξονα – Διατοιχισμός (Roll)

ξ_5 : Ταλάντωση περί τον εγκάρσιο άξονα – Προνευτασμός (Pitch)

ξ_6 : Ταλάντωση περί τον κατακόρυφο άξονα (Yaw)



Εικόνα 1.1: Βαθμοί ελευθερίας σκάφους.

Οι παραπάνω κινήσεις είναι στην πραγματικότητα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Οπότε οι διεγείρουσες δυνάμεις που ασκούνται στο σκάφος από προσπίπτοντες κοιματισμούς δημιουργούν αποκρίσεις σύνθετης φύσεως. Οι κινήσεις που εξετάζονται κατά την πλεύση σε μετωπικούς κυματισμούς για την αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός σκάφους είναι η κατακόρυφη ταλάντωση (Heave) και η ταλάντωση περί τον εγκάρσιο άξονα – προνευτασμός (Pitch). Αυτό γιατί οι τιμές των κινήσεων αυτών επιδρούν σημαντικά τόσο στις κατακόρυφες επιταχύνσεις κατά μήκος του πλοίου όσο και σε τυχαία συμβάντα, όπως φαινόμενα σφυρόκρουσης, ανάδυση έλικας, κακή πηδαλιουχία, διαβροχή καταστρώματος, μετακίνηση φορτίου, τα οποία με την σειρά τους επηρεάζουν την άνεση των επιβατών και την λειτουργικότητα του πλοίου.

1.2 ΘΕΩΡΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Οι κυματισμοί στην επιφάνεια της θάλασσας δημιουργούνται από τον άνεμο. Η φύση των κυματισμών (μέγεθος, διεύθυνση μετάδοσης, ενεργειακή στάθμη) εξαρτώνται κυρίως από τρεις παράγοντες:

- Ταχύτητα ανέμου (wind speed)
- Χρονικό διάστημα πνοής (wind duration)
- Έκταση θαλάσσιας επιφάνειας επί της οποίας αναπτύσσονται (wave fetch)

Ο μηχανισμός δημιουργίας θαλάσσιων κυμάτων είναι εξαιρετικά πολύπλοκος. Υπάρχει άπειρη ποικιλία ως προς το είδος των κυματισμών, ενώ κάθε προσπάθεια καταγραφής τους αποκαλύπτει ακανόνιστη αλληλουχία κορυφών και κοιλάδων σε διάφορες διευθύνσεις με τυχαία εξέλιξη στο πεδίο του χρόνου. Συνεπώς, η ακριβής περιγραφή ενεργειακού φάσματος δεδομένης θαλάσσιας περιοχής είναι εξαιρετικά δύσκολη.

Για το λόγο αυτό, ο μόνος τρόπος μιας ολοκληρωμένης στατιστικής ανάλυσης των κυματικών διεγέρσεων είναι τα πιθανοθεωρητικά μοντέλα στοχαστικών διαδικασιών. Έτσι είμαστε σε θέση να περιγράψουμε και να αναλύσουμε με ακρίβεια μια δεδομένη κατάσταση θάλασσας.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στα δύο κύρια είδη κυματισμών.

1.2.1 ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ – REGULAR WAVES

Η μορφή τους είναι απλή ημιτονοειδής ή συνημιτονοειδής. Ένας αρμονικός κυματισμός μπορεί να περιγραφεί από την περίοδο T , την συχνότητα f , το μήκος κύματος λ και το ύψος κύματος H . Με τη βοήθεια της εξίσωσης διασποράς βρίσκουμε ότι η συχνότητα δίνεται από τη Σχέση 1.1:

$$f = \sqrt{\frac{g}{2\pi\lambda}} \text{ (Hz)} \quad \text{Σχέση 1.1}$$

όπου ισχύει η γνωστή σχέση $T=1/f$ (sec).

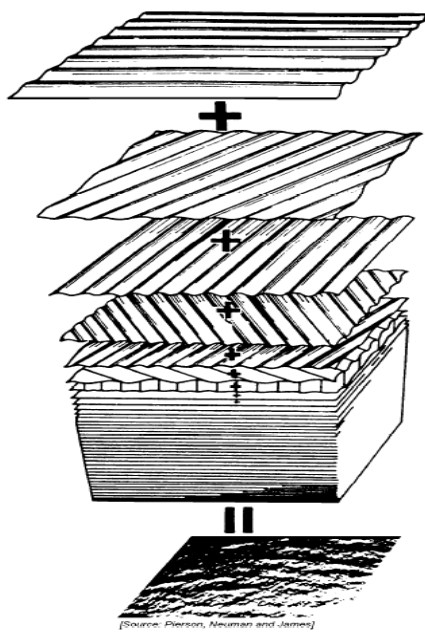
1.2.2 ΤΥΧΑΙΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ – RANDOM WAVES

Ο άνεμος κατά το χρονικό διάστημα που φυσάει πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας μεταφέρει στο νερό ένα μέρος από την ενέργειά του. Η μεταφορά της ενέργειας αυτής γίνεται μέσω συνεκτικών δυνάμεων και δυνάμεων κάθετης πίεσης στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο ρευστών και έχει σαν συνέπεια την δημιουργία επιφανειακών κυματισμών στο νερό. Σε αντίθεση με την εύκολη περιγραφή ενός απλού κύματος βαρύτητας, η μορφή της επιφάνειας των κυμάτων ανέμου δεν παρουσιάζει καμία κανονικότητα, αλλά μεταβάλλεται συνεχώς τοπικά και χρονικά, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να περιγράψουμε με τις συνηθισμένες αναλυτικές και προσδιοριστικές μεθόδους τα κύματα ανέμου. Συναρτήσεις του χρόνου που παρουσιάζουν την παραπάνω έλλειψη κάθε κανονικότητας στη μορφή τους, τις ονομάζουμε στοχαστικές διαδικασίες. Η βασική έννοια μιας στοχαστικής διαδικασίας είναι ότι πρέπει να περιγραφεί όχι μόνο η χρονική ιστορία ενός δείγματός της, αλλά όλη η οικογένεια ή ολότητα των χρονικών ιστοριών των πιθανών πειραμάτων που χαρακτηρίζουν την στοχαστική διαδικασία.

Για την μελέτη λοιπόν τυχαίων κυματισμών χρησιμοποιούνται στοχαστικές μέθοδοι. Η ανύψωση της θαλάσσιας επιφάνειας απεικονίζεται με τη βοήθεια του μοντέλου των Longuet – Higgins. Σύμφωνα με αυτό, το σύνθετο κυματικό προφίλ (Σχήμα 1.2) προκύπτει από την επαλληλία ημιτονικών κυμάτων πλήθους i της μορφής (βλ. Σχέση 1.2):

$$X(t) = X_i \cos(\omega_i t + \Phi_i) \quad \text{Σχέση 1.2}$$

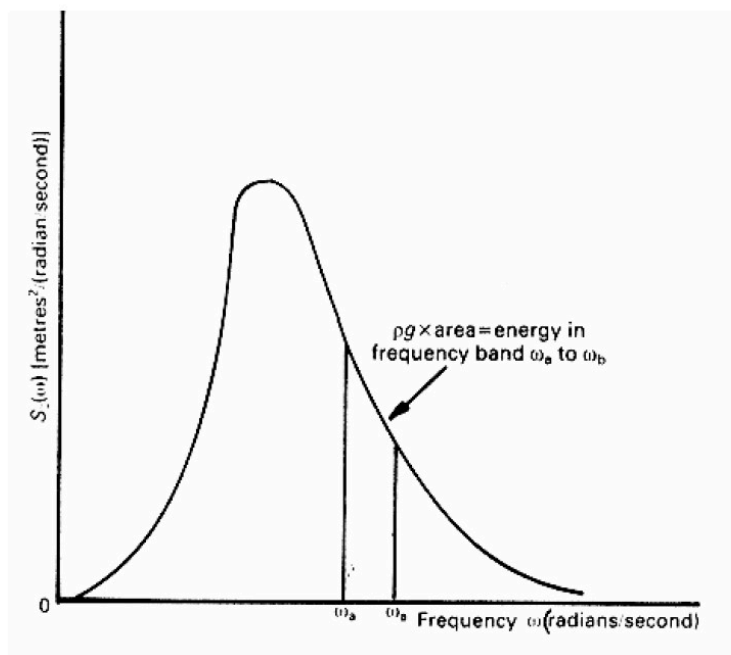
Η κεντρική ιδέα αυτού του μοντέλου είναι ότι η ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας μπορεί να θεωρηθεί ότι παράγεται από την υπέρθεση άπειρων απλών μικρών κυμάτων βαρύτητας το καθένα από τα οποία έχει σταθερό πλάτος ταλάντωσης, μια σταθερή συχνότητα και ένα σταθερό κυματικό αριθμό αλλά διαφορετική γωνία φάσης (βλ. Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2: Περιγραφή προφίλ τυχαίων κυματισμών με επαλληλία ημιτονικών κυμάτων.

Η πιθανοθεωρητική δομή του κυματικού πεδίου που αναφέραμε προηγουμένως περιγράφεται πλήρως μέσω του κατευθυντικού φάσματος $S(\omega, \theta)$, (ω =κυκλική συχνότητα, θ =κατεύθυνση μετάδοσης). Μέσω του φάσματος αυτού μπορούν να εκφραστούν τα στοχαστικά μεγέθη του κυματισμού. Η τυπική μορφή ενός φάσματος θάλασσας φαίνεται στην Εικόνα 1.3 και μπορεί να περιγραφεί από την Σχέση 1.3:

$$S(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \theta) d\omega d\theta \quad \text{\underline{Σχέση 1.3}}$$



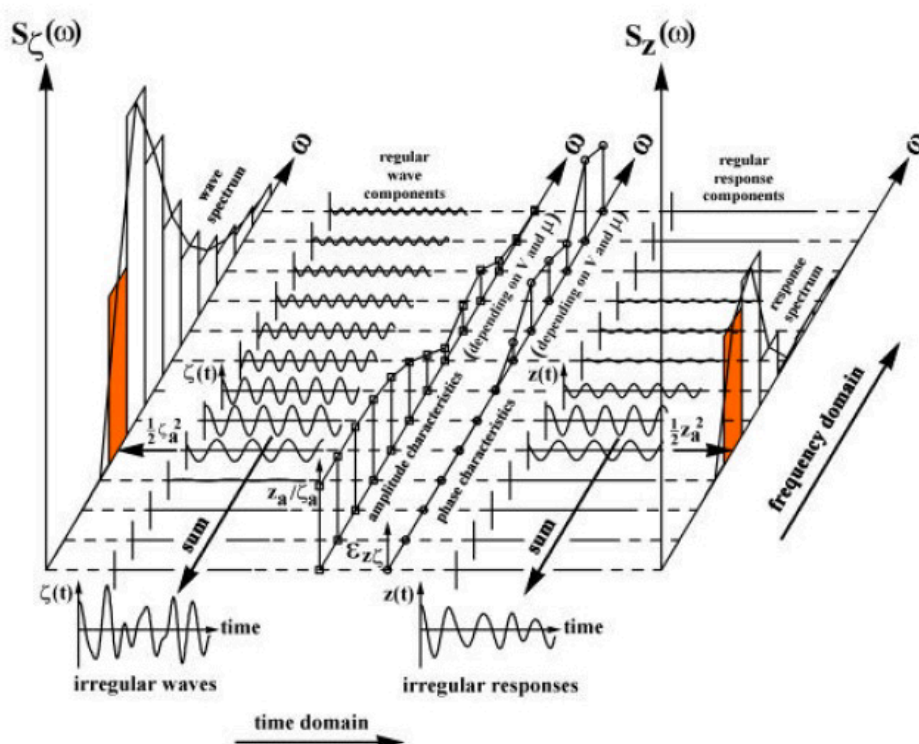
Εικόνα 1.3: Συνάρτηση φάσματος $S(\omega)$.

Η καμπύλη της συνάρτησης συχνότητας φάσματος ανεβαίνει απότομα από τις μικρές τιμές της κυκλικής συχνότητας μέχρι ένα μέγιστο, που λέγεται κορυφή του φάσματος (spectral peak). Η συχνότητα που αντιστοιχεί στην κορυφή του φάσματος λέγεται κυκλική συχνότητα κορυφής (spectral peak frequency). Μετά την κορυφή, η καμπύλη πέφτει ομαλά και καταλήγει στην ουρά του φάσματος που έχει τις μικρές τιμές $S(\omega)$ για μεγάλες τιμές της συχνότητας. Αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα των θαλάσσιων κυμάτων ανέμου, ότι τα φάσματά τους στην αδιάστατη μορφή ταυτίζονται. Οπότε, αν γνωρίζουμε τα μεγέθη ω_p και $S(\omega)$ και την αδιάστατη μορφή της καμπύλης φασματικής πυκνότητας, ξέρουμε και το φάσμα κάθε κατάστασης θάλασσας (sea state).

Η συνάρτηση $S(\omega)$ εξαρτάται από την χρονική διάρκεια πνοής του ανέμου για την οποία διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

- *Πλήρως ανεπτυγμένες θάλασσες:* Όταν ο άνεμος έχει πνέψει σταθερός και ανεμπόδιστος για μακρύ χρονικό διάστημα και θεωρούμε ότι έχουμε φτάσει σε μία κατάσταση ισορροπίας.
- *Ανεπτυσσόμενες θάλασσες:* Όταν ο άνεμος έχει πνέψει για σχετικά μικρό διάστημα και δεν έχει έρθει ακόμα κατάσταση ισορροπίας.
- *Αποσβενόμενες θάλασσες:* Όταν έχει παύσει ή έχει περιοριστεί η ταχύτητα του ανέμου οπότε η ενέργεια των κυμάτων καταστρέφεται βαθμιαία λόγω των συνεκτικών δυνάμεων.

Στην Εικόνα 1.4 παριστάνεται γραφικά ο τρόπος με τον οποίο το φάσμα $S(\omega)$ περιγράφει την κατανομή ενέργειας στις επιμέρους αρμονικές.



Εικόνα 1.4: Παραγωγή φάσματος $S(\omega)$ τυχαίου κυματισμού μέσω αρμονικών συνιστωσών.

Τα πειράματα που διεξήχθησαν στη δεξαμενή του Εργαστηρίου Υδροδυναμικής αφορούσαν τυχαίους κυματισμούς σε πλήρως ανεπτυγμένες θάλασσες. Για την κατάσταση τέτοιων θαλάσσιων κυματισμών πλήρως ανεπτυγμένης θάλασσας έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα, τα πιο γνωστά από τα οποία αυτό των Pierson – Moskowitz και αυτό του Bretschneider. Τα φάσματα των κυμάτων που παράχθηκαν από τον κυματιστήρα είχαν δημιουργηθεί με τη χρήση της συνάρτησης πυκνότητας φάσματος του Bretschneider, που είναι διπαραμετρικό φάσμα για ανοιχτές θάλασσες οποιουδήποτε βαθμού ανάπτυξης. Το φάσμα αυτό λέγεται διπαραμετρικό διότι ορίζεται με την βοήθεια δύο παραμέτρων: της συχνότητας κορυφής ω_p και του σημαντικού ύψους κύματος $H_{1/3}$ και δίνεται από την Σχέση 1.4:

$$S(\omega) = \left\{ \frac{5}{16} \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^5 \frac{(H_{1/3})^2}{\omega_p} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^4 \right] \right\} \quad \text{Σχέση 1.4}$$

Τα κυριότερα στατιστικά μεγέθη ενός κυματικού φάσματος είναι τα παρακάτω:

➤ **Το σημαντικό ύψος κύματος $H_{1/3} = H_s$**

Το σημαντικό ύψος κύματος ορίζεται ως εξής: Υποθέτουμε ότι σε μια χρονική καταγραφή θαλασσίου περιβάλλοντος προκύπτουν N φαινόμενα ύψη κύματος. Αν τα διατάξουμε κατά σειρά από το μικρότερο στο μεγαλύτερο και πάρουμε τη μέση τιμή του $1/3$ των υψηλότερων, προκύπτει το σημαντικό ύψος κύματος.

$$H_{1/3} = H_s = 4\sqrt{m_0} \quad \text{Σχέση 1.5}$$

➤ **Μέσο ύψος κύματος**

$$\bar{H} = 2.5\sqrt{m_0} \quad \text{Σχέση 1.6}$$

➤ **Μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης**

$$T_{02} = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad \text{Σχέση 1.7}$$

➤ **Μέση περίοδος κορυφών**

$$T_{24} = 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{m_4}} \quad \text{Σχέση 1.8}$$

Οι ποσότητες m_0 , m_2 , m_4 ονμάζονται φασματικές ροπές και προκύπτουν από την Σχέση 1.9:

$$m_n = \int_0^\infty \omega^n S(\omega) d\omega \quad \text{Σχέση 1.9}$$

Για $n=0$ έχουμε τη μηδενική ροπή m_0 , δηλαδή το εμβαδόν κάτω από την $S(\omega)$ είναι η διακύμανση σ^2 των κυματισμών:

$$m_0 = \int_0^\infty S(\omega) d\omega = \sigma^2 \quad \text{Σχέση 1.10}$$

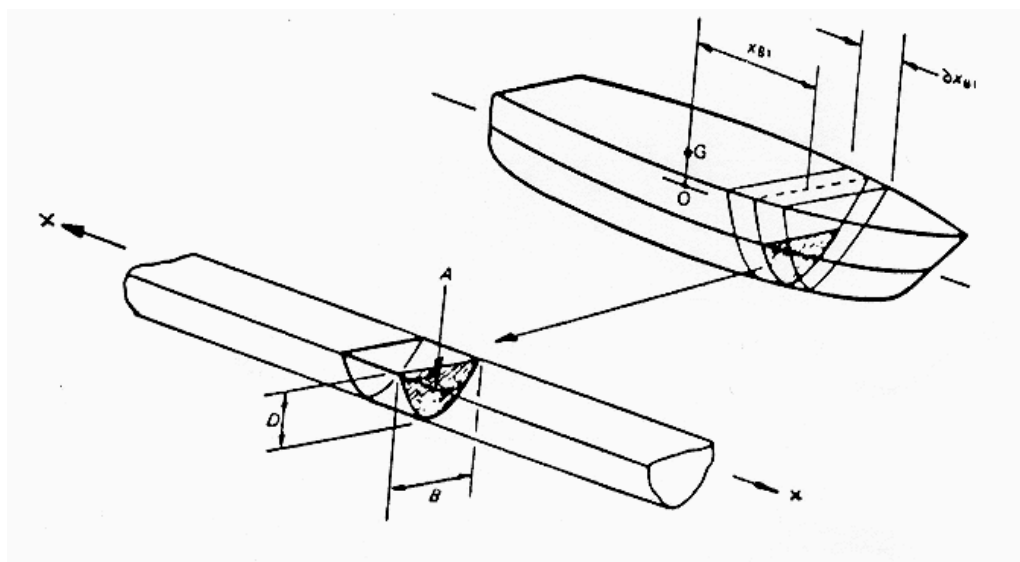
όπου σ_χ είναι η τυπική απόκλιση ή αλλιώς η ρίζα της μέσης τετραγωνικής τιμής του φάσματος (*root mean square - rms*). Συνεπώς η μέση τετραγωνική τιμή (rms^2) ισούται με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη της φασματικής συνάρτησης.

$$\sigma_\chi = rms = \sqrt{m_0} \quad \text{Σχέση 1.11}$$

Η συχνότητα που αντιστοιχεί στην υψηλότερη φασματική τιμή (συχνότητα κορυφής f_p ή ω_p), είναι η συχνότητα όπου η διέγερση – απόκριση αποδίδει – απορροφά την περισσότερη ενέργεια.

1.3 ΘΕΩΡΙΑ ΛΩΡΙΔΩΝ

Η θεωρία λωρίδων (*strip theory*) αναπτύχθηκε από τον *Korvin – Kroukonsky* και αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες αναλυτικές μεθόδους αποκρίσεων σε κυματισμούς. Η θεωρία λωρίδων αναπαριστά την τρισδιάστατη βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας ως σειρά διδιάστατων εγκάρσιων τομών ή λωρίδων μικρού μήκους Δx_{B1} . Κάθε λωρίδα θεωρούμε ότι αποτελεί τμήμα αντίστοιχου ιδεατού πρίσματος και αποτελεί στην ουσία διάστημα μεταξύ νομέων. Σύμφωνα με αυτήν οι συνολικές αναπτυσσόμενες υδροδυναμικές δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο πλοίο παράγονται αν, αφού χωρίσει κανείς το πλοίο σε λωρίδες, ολοκληρώσει κατά μήκος του πλοίου τις συνολικές υδροδυναμικές δυνάμεις που αναπτύσσονται σε κάθε λωρίδα (νομέα) του πλοίου, παραλείποντας όμως τις αλληλεπιδράσεις της ροής μεταξύ των διαφόρων λωρίδων. Δηλαδή γίνεται ολοκλήρωση κατά μήκος του πλοίου των διαφόρων υδροδυναμικών μεγεθών που προκύπτουν από τη λύση διδιάστατων προβλημάτων.



Εικόνα 1.5: Θεωρία λωρίδων, αναπαράσταση υφάλων τομής γάστρας από κύλινδρο απείρου μήκους.

Η θεωρία λωρίδων βασίζεται στις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Το σκάφος είναι λεπτόγραμμο (slender) με μεγάλη ακαμψία (rigid body)
2. Η ταχύτητα είναι σχετικά μικρή και δεν υπάρχει σημαντική άνωση ολίσθησης
3. Οι κινήσεις του πλοίου είναι μικρές
4. Οι τομές του πλοίου καταλήγουν σε κατακόρυφες πλευρές
5. Οι κυματισμοί θεωρούνται ότι διαδίδονται σε βαθύ νερό
6. Η παρουσία της γάστρας δεν επηρεάζει τους κυματισμούς (υπόθεση *Froude – Kriloff*)

Η θεωρία λωρίδων εφαρμόζεται με ικανοποιητική ακρίβεια για συμβατικά πλοία. Όσον αφορά τα ταχύπλοα σκάφη, η εφαρμογή της θα πρέπει να λαμβάνει οπωσδήποτε υπόψιν τα παρακάτω:

1. Η μορφή των νομέων σε μικρά ταχύπλοα μεταβάλλεται γρήγορα κατά μήκος του σκάφους, ενώ η θεωρία λωρίδων θεωρεί ότι κάθε τμήμα του πλοίου συμπεριφέρεται σαν τμήμα ενός πρίσματος απείρου μήκους (διδιάστατο πρόβλημα).
2. Η πρύμνη “καθρέφτης” των ταχυπλόων σκαφών εισάγει σημαντικές αλλοιώσεις στα αποτελέσματα της θεωρίας λωρίδων.
3. Οι μορφές Lewis αναπαριστούν ικανοποιητικά τους νομείς με στρογγυλό πυθμένα αλλά όχι νομείς με ακμές.
4. Στα ταχύπλοα σκάφη στις ταχύτητες ολίσθησης έχουμε ανάπτυξη σημαντικής υδροδυναμικής άνωσης, η οποία στην θεωρία λωρίδων δεν λαμβάνεται υπόψιν.
5. Η αρχή της γραμμικής υπέρθεσης εφαρμόζεται με δυσκολία στα σκάφη αυτά. Η έξοδος της πλώρας των ταχύπλοων από το νερό κατά την πλεύση σε κυματισμούς (ως τυχαίο συμβάν) καθιστά επισφαλή την υπόθεση γραμμικής υπέρθεσης.

Σε κάθε περίπτωση, η θεωρία λωρίδων μπορεί με τις κατάλληλες διορθώσεις να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα για οποιονδήποτε τύπο σκάφους. Έτσι επεκτείνεται το πεδίο εφαρμογής της παρά τις περιοριστικές προϋποθέσεις που διατυπώθηκαν προηγουμένως.

Ο τρόπος εφαρμογής της θεωρίας λωρίδων διακρίνεται σε τρία στάδια:

1. Αρχικά, γίνεται διαίρεση του πλοίου σε 20 έως 40 λωρίδες – εγκάρσιους νομείς ανάλογα με το μήκος του πλοίου έτσι ώστε αυτές να έχουν μικρό μήκος και αμέσως μετά γίνεται υπολογισμός των υδροδυναμικών συντελεστών για την κάθε μία ξεχωριστά.
2. Έπειτα, γίνεται ολοκλήρωση των υδροδυναμικών συντελεστών που υπολογίστηκαν προηγουμένως κατά μήκος του πλοίου και υπολογισμός των συντελεστών στις εξισώσεις αποκρίσεις.
3. Τέλος, γίνεται επίλυση των εξισώσεων που έχουν καταστρωθεί για την θεωρία λωρίδων.

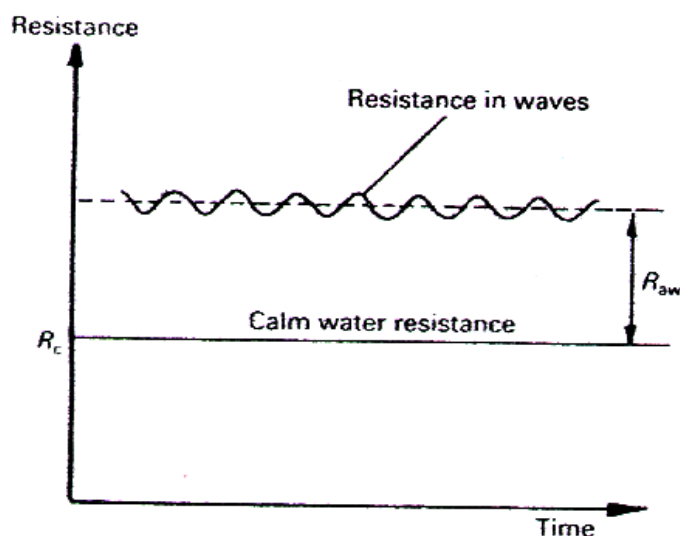
Όπως είναι φυσικό τα αποτελέσματα που παίρνει κανείς εφαρμόζοντας τη θεωρία αυτή είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα όσο μικρότερος είναι ο λόγος της εγκάρσιας προς την διαμήκη διάσταση του πλοίου, δηλαδή οι λόγοι B/L , T/L και όσο πιο μικροί είναι οι ρυθμοί μεταβολής των υδροδυναμικών μεγεθών κατά μήκος του πλοίου.

Επομένως, η θεωρία λωρίδων μπορεί να εφαρμοστεί με ικανοποιητική ακρίβεια για τα πλοία εκτοπίσματος καθώς και για τα σκάφη ημιεκτοπίσματος στα οποία μπορούν να εφαρμοστούν χωρίς μεγάλο σφάλμα οι παραδοχές της θεωρίας των λωρίδων.

Όσον αφορά τις ολισθάκατους έχει αποδειχθεί ότι για ταχύτητες πριν την ολίσθηση ($F_n < 0.5$) τα αποτελέσματα που δίνει η θεωρία των λωρίδων είναι ικανοποιητικά ενώ για τις πιο υψηλές ταχύτητες στις οποίες υπάρχει ολίσθηση οι αριθμητικές προβλέψεις της μεθόδου είναι υπερβολικά συντηρητικές (φθάνουν και ως διπλάσιες των πειραματικών) άρα ουσιαστικά δεν ισχύουν. Γι αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη η πρόβλεψη της υδροδυναμικής συμπεριφοράς ταχύπλοων σκαφών μέσω πειραματικής διερεύνησης με χρήση μοντέλων των πλοίων υπό κλίμακα, όπως και στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

1.4 ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ – ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Η ολική αντίσταση του σκάφους κατά την πλεύση σε κυματισμούς (*Εικόνα 1.6*) αποτελείται από δύο συνιστώσες: την αντίσταση σε ήρεμο νερό (calm water resistance) και την πρόσθετη αντίσταση σε κυματισμούς (added wave resistance). Σε μετωπικούς κυματισμούς η μέση τιμή της αντίστασης είναι μεγαλύτερη από αυτή σε ήρεμο νερό και η διαφορά μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση των κυμάτων.



Εικόνα 1.6: Αντίσταση σε κυματισμούς.

Στην περίπτωση ταχύπλων σκαφών η πρόσθετη αντίσταση έχει την τάση να μειώνεται στις μεγάλες ταχύτητες και σε μικρά μήκη κύματος, που το σκάφος ολισθαίνει οπότε κυριαρχούν οι ανωστικές δυνάμεις με αποτέλεσμα αυτό να βρίσκεται κατά πολύ εκτός από το νερό. Συνεπώς η βρεχόμενη επιφάνεια που συναντά κυματισμούς μειώνεται με αποτέλεσμα να μειώνεται παράλληλα και η αντίσταση λόγω συνεκτικότητας και πιέσεων.

Οπότε, η μετρούμενη πρόσθετη αντίσταση σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει από την *Σχέση 1.12*:

$$R_{aw} = R_w - R_{sw} \quad \text{Σχέση 1.12}$$

όπου,

R_w : η αντίσταση σε κυματισμούς

R_{sw} : η αντίσταση σε ήρεμο νερό

R_{aw} : η πρόσθετη αντίσταση

2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΤΑΧΥΠΛΩΩΝ ΣΚΑΦΩΝ Ε.Μ.Π.

2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Ως *συστηματική σειρά* καλείται μία συγκεκριμένη οικογένεια γαστρών με ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Στις σειρές αυτές έχουν γίνει όλα τα απαραίτητα πειράματα συμπεριφοράς τόσο για την μέτρηση των αποκρίσεων σε συγκεκριμένες καταστάσεις θάλασσας όσο και για την μέτρηση της αντίστασης σε ήρεμο νερό. Στόχος είναι η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων επί της υδροδυναμικής συμπεριφοράς, έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται έτοιμα αποτελέσματα *seakeeping* κατά την προκαταρκτική σχεδίαση σκαφών με ίδια ή παρόμοια γάστρα. Ακόμα είναι δυνατόν να ελεγχθεί αν μία δεδομένη γάστρα είναι κατάλληλη για συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

Οι συστηματικές σειρές ταχυπλόων σκαφών που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα αφορούν γάστρες μορφής V και χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Γάστρες στρογγυλού πυθμένα (rounded bilge)
- Γάστρες απλής ακμής (single chine)
- Γάστρες διπλής ακμής (double chine)

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι σειρές:

- Η συστηματική σειρά NPL (National Physical Laboratory)
- Η συστηματική σειρά 63 Clement & Blount
- Η συστηματική σειρά SSPA κυρίως για μικρά πολεμικά σκάφη

Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι σειρές:

- Η συστηματική σειρά 62 των Clement & Blount
- Η συστηματική σειρά Keuning & Gerritsma

Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν οι σειρές:

- Η συστηματική σειρά του Savitsky
- Η συστηματική σειρά του NTUA

2.2 ΣΕΙΡΑ Ε.Μ.Π. - ΝΤΥΑ

Η συστηματική σειρά *NTUA* που αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου εμπνεύστηκε ύστερα από πρόταση του *Savitsky, Roper* και *Bener* το 1972. Οι παραπάνω πρότειναν μία νέα σχεδίαση ολισθάκατου υψηλών ταχυτήτων με προοπτικές πολύ καλής συμπεριφοράς σε κυματισμούς. Κύρια χαρακτηριστικά της γάστρας αυτής ήταν:

- Διπλή ακμή
- Πλατύς πρυμναίος καθρέπτης
- Δίπλωμα της μορφής V των προωραίων νομέων
- Μεταβλητή επιφάνεια ολίσθησης της γάστρας
- Λεπτόγραμμη πλώρη

Τα υδροδυναμικά πλεονεκτήματα της σειράς αυτής αποτέλεσαν εφαλτήριο για την ανάπτυξη αντίστοιχης συστηματικής σειράς ταχυπλόων σκαφών από το Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Ε.Μ.Π. από τους καθηγητές Θ. Λουκάκη και Γ. Γρηγορόπουλο. Η σειρά δημιουργήθηκε ώστε να δώσει μία εύχρηστη βάση για τον σχεδιασμό μέσων και μεγάλων πλοίων ημικτοπίσματος. Χαρακτηριστικά της σειράς είναι η διπλή ακμή με μεγάλο – πλατύ καθρέπτη, μεγάλη γωνία ανύψωσης πυθμένα και πολύ καλά χαρακτηριστικά αντίστασης πριν την περιοχή της ολίσθησης με τις αντιδιαβροχικές λωρίδες να μην είναι απαραίτητες.

Ως κύρια παράμετρος ανάπτυξης της σειράς επιλέχθηκε ο λόγος μήκους προς πλάτος L/B , όπως συμβαίνει άλλωστε και με τις περισσότερες σειρές ταχυπλόων σκαφών, με κάτω όριο το 4.00 και άνω όριο το 7.00. Συνολικά κατασκευάστηκαν και δοκιμάζονται πέντε πρότυπα με $L/B = 4.00, 4.75, 5.50, 6.25$ και 7.00 .

Ως πατρικό σκάφος επιλέχθηκε το σκάφος με $L/B = 5.50$. Βάση αυτού προέκυψαν τα άλλα τέσσερα πρότυπα κρατώντας την μέση τομή αλλά αλλάζοντας κατάλληλα την ισαπόσταση των προωραίων – πρυμναίων νομέων για τα διάφορα L/B .

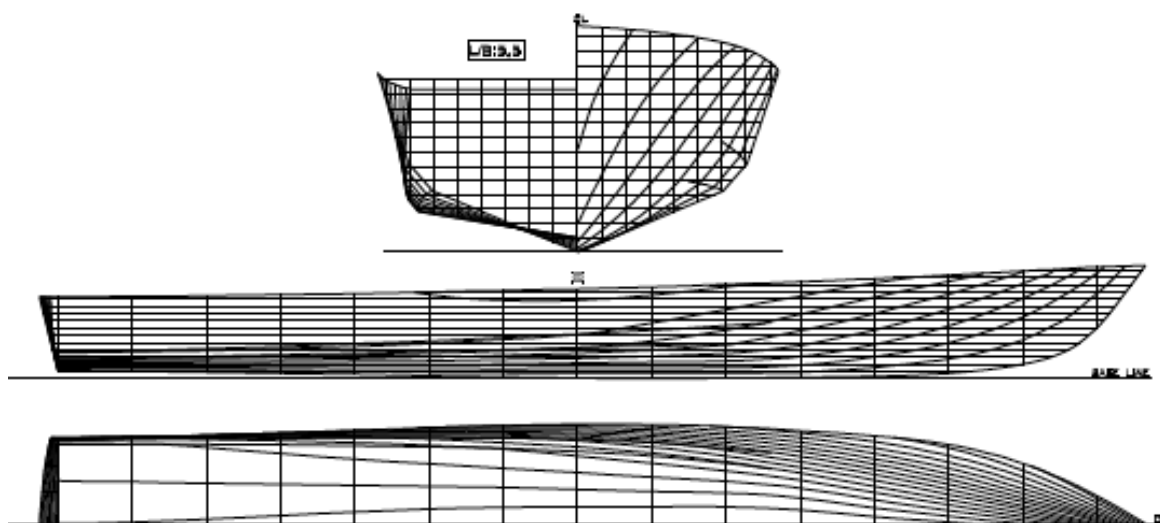
Η δεύτερη σημαντική παράμετρος της σειράς είναι ο συντελεστής εκτοπίσματος C_{dl} που δίνεται από την Σχέση 2.1 :

$$C_{dl} = \frac{\nabla}{(0.1L_{WL})^3} \quad \text{Σχέση 2.1}$$

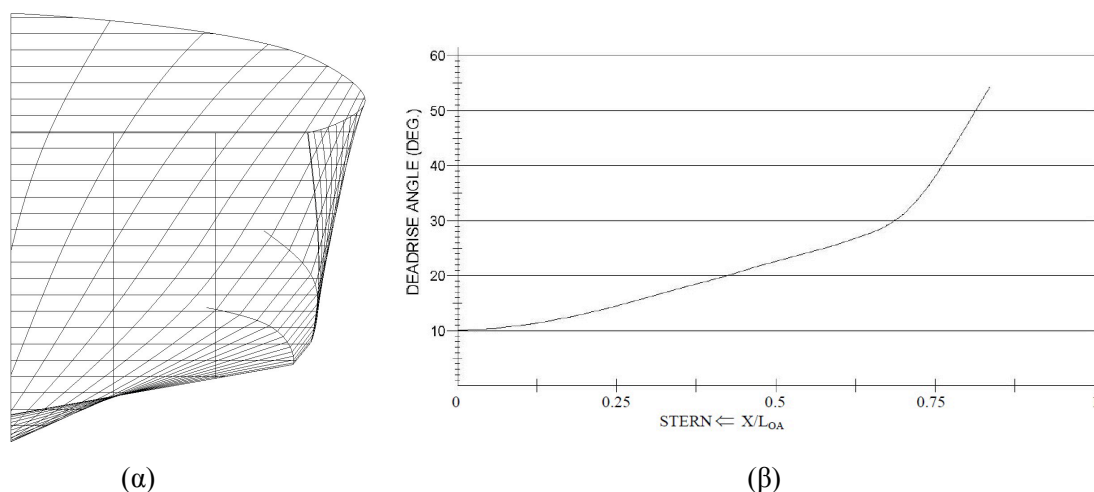
όπου, ∇ είναι ο όγκος εκτοπίσματος και L_{WL} το μήκος της ισάλου (και τα δύο σε κατάσταση ηρεμίας). Ο συντελεστής αυτός προσδιορίζει ουσιαστικά την κατάσταση

φόρτωσης των μοντέλων. Κάθε γάστρα της συστηματικής σειράς δοκιμάζεται σε έξι διαφορετικές συνθήκες φόρτωσης που αναλογούν σε τιμές $C_{dl} = 1.00, 1.61, 2.23, 3.00, 3.62, 4.23$. Με αυτό τον τρόπο μελετάμε μία μεγάλη γκάμα εκτοπισμάτων και καλύπτουμε ανάγκες και μεγάλων ταχύπλων σκαφών.

Το πατρικό σκάφος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.1, έχει δύο ακμές που εκτείνονται από τον καθρέπτη έως περίπου το 70% του μήκους στην πλώρη. Η γάστρα έχει πλατύ καθρέπτη και κοίλες πλευρές στην περιοχή της πλώρης καθώς και μεταβλητή γωνία ανύψωσης πυθμένα η οποία ξεκινάει από 10^0 στον καθρέπτη και φθάνει έως και 70^0 στην πλώρη (Εικόνα 2.2). Τα μοντέλα της σειράς προέκυψαν από το πατρικό κρατώντας την ίδια μορφή στη μέση τομή και μετατρέποντας κατάλληλα τα υπόλοιπα μεγέθη. Η σειρά είναι κατάλληλη για την προκαταρκτική σχεδίαση μονόγαστρων σκαφών σε κατάσταση *προ - ολίσθησης* που λειτουργούν σαν εμπορικά, όπως επιβατηγά, ΕΓ/ΟΓ, κρουαζιερόπλοια, πλοία αναψυχής ή πολεμικά πλοία που λειτουργούν σε μεγάλες ταχύτητες σχεδίασης.



Εικόνα 2.1: Σχέδιο γραμμών του πατρικού σκάφους $L/B = 5.5$ της συστηματικής σειράς NTUA.



Εικόνα 2.2: (α) Bodyplan σειράς NTUA όπου φαίνονται καθαρά οι δύο ακμές (chines), (β) Γωνία ανύψωσης πυθμένα (Deadrise Angle) συναρτήσει του λόγου μήκους θέσης γωνίας προς το ολικό μήκος x/L_{OA} .

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετήθηκε η δυναμική συμπεριφορά (seakeeping) του προτύπου NTUA – 116/96, με λόγο $L/B = 7.00$, συντελεστή εκτοπίσματος $C_{dl} = 4.23$ και μηδενική γωνία διαγωγής. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι για μικρούς συντελεστές εκτοπίσματος (χαμηλά C_{dl}), η εκτέλεση πειραμάτων στα μοντέλα της σειράς ήταν αδύνατη. Γι αυτό το λόγο, κάθε γάστρα της σειράς διαθέτει αντίστοιχο αντίγραφο σε μεγαλύτερη κλίμακα (5:3) και με αυτόν τον τρόπο εκτελούμε πειράματα για μικρούς συντελεστές φόρτωσης. Έπειτα τα αποτελέσματα μπορούν εύκολα να αναχθούν σε μικρότερες γάστρες. Το πρότυπο που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική είναι κλίμακας 1:50 (small). Τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη προτύπου παρουσιάζονται αναλυτικά στον *Πίνακα 2.1* που ακολουθεί:

| | |
|--------------------------------------|------------------------|
| Εκτόπισμα Δ | 96,134 kg |
| Ολικό μήκος L_{oa} | 2,917 m |
| Μήκος Βρεχώμενης επιφάνειας L_{wl} | 2,8338 m |
| Πλάτος B | 0,4162 m |
| Βύθισμα T | 0,152 m |
| Διαμήκης θέση κέντρου βάρους LCG | 0,30916 m |
| Βρεχώμενη επιφάνεια WS | 1,35476 m ² |
| Κατάσταση φόρτωσης C_{dl} | 4,23 |

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά μοντέλου της συστηματικής σειράς NTUA – 116/96.

Στον *Πίνακα 2.2* που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των προτύπων της σειράς διπλής ακμής του Ε.Μ.Π. – NTUA.

| L/B | 4.00-big (163/01) 3.820 m | 4.00-small (113/95) 2.292 m | 4.75-big (150/99A) 3.820 m | 4.75-small (154/99) 2.292 m | 5.50-big (118/96) 3.820 m | 5.50-small (097/94) 2.292 m | 6.25-big (164/01) 4.3417 | 6.25-small (146/98) 2.605 m | 7.00-big (166/01) 4.8617 | 7.00-small (116/96) 2.917 m |
|------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| | 3.392 1.323 | | 3.415 1.348 | | 3.430 1.365 | | 3.968 1.718 | | 4.457 2.083 | |
| 1.00 | 39.057 | | 39.781 | | 41.443 | | 63.100 | | 88.140 | |
| | -0.389 0.080 | | -0.436 0.077 | | -0.480 0.077 | | -0.515 0.088 | | -0.651 0.097 | |
| | 3.445 1.738 | | 3.468 1.696 | | 3.497 1.635 | | 4.029 2.022 | 2.418 0.728 | 4.530 2.453 | 2.718 0.883 |
| 1.61 | 66.097 | | 67.118 | | 69.103 | | 105.405 | 22.767 | 150.095 | 32.421 |
| | -0.461 0.099 | | -0.495 0.096 | | -0.511 0.097 | | -0.519 0.113 | -0.311 0.068 | -0.640 0.128 | -0.384 0.077 |
| | 3.480 2.004 | | 3.505 1.915 | 2.103 0.689 | 3.539 1.832 | 2.123 0.660 | 4.070 2.265 | 2.442 0.815 | | 2.731 0.988 |
| 2.23 | 93.890 | | 96.021 | 20.741 | 99.564 | 21.506 | 150.151 | 32.433 | | 45.436 |
| | -0.494 0.115 | | -0.511 0.114 | -0.307 0.068 | -0.490 0.117 | -0.294 0.070 | -0.500 0.137 | -0.300 0.082 | | -0.369 0.093 |
| | 3.514 2.244 | 2.109 0.808 | 3.539 2.117 | 2.124 0.763 | | 2.145 0.728 | 4.113 2.547 | 2.468 0.917 | | 2.7830 1.1304 |
| 3.00 | 130.436 | 28.174 | 133.078 | 28.745 | | 29.615 | 208.642 | 45.067 | | 64.618 |
| | -0.509 0.134 | -0.305 0.080 | -0.508 0.135 | -0.301 0.081 | | -0.297 0.083 | -0.472 0.165 | -0.283 0.099 | | -0.345 0.116 |
| | | 2.110 0.857 | | 2.137 0.812 | | 2.160 0.782 | | 2.482 0.996 | | 2.809 1.245 |
| 3.62 | | 33.993 | | 35.357 | | 36.513 | | 55.489 | | 80.344 |
| | | -0.307 0.087 | | -0.300 0.086 | | -0.288 0.095 | | -0.311 0.114 | | -0.327 0.135 |
| | | 2.123 0.903 | | 2.150 0.859 | | 2.175 0.834 | | 2.509 1.074 | | 2.834 1.355 |
| 4.23 | | 40.462 | | 42.039 | | 43.530 | | 66.752 | | 96.134 |
| | | -0.305 0.096 | | -0.294 0.100 | | -0.280 0.106 | | -0.297 0.129 | | -0.309 0.152 |

Σημείωση:

1. Κάθε κελί του πίνακα περιέχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του μοντέλου:

| | |
|----------------|----------------------|
| L_{WL} [m] | WS [m ²] |
| Δ [Kgr] | |
| LCG [m] | T [m] |

2. Η διαμήκης θέση LCG μετράται από το μέσο νομέα, θετικές τιμές πρόραθεν

Πίνακας 2.2: Τα χαρακτηριστικά των προτύπων της συστηματικής σειράς του Ε.Μ.Π. – ΝΤΥΑ.

3

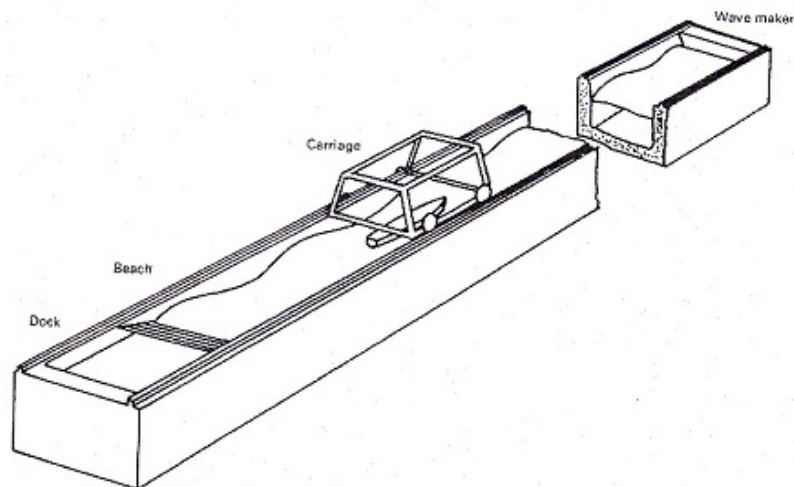
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ – ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Σκοπός της παρούσας πειραματικής διαδικασίας είναι η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς του προτύπου μοντέλου πλοίου (**116/96**, συστηματική σειρά *NTUA*) σε τυχαίους μετωπικούς κυματισμούς.

Το μοντέλο μελετάται σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης $C_{df}=4.23$, ρυμουλκούμενο από το φορείο της δεξαμενής σε δύο ταχύτητες που αντιστοιχούν σε αριθμό *Froude* 0.34 ($V_1=1.793$ m/s) και 0.68 ($V_2=3.5853$ m/s).

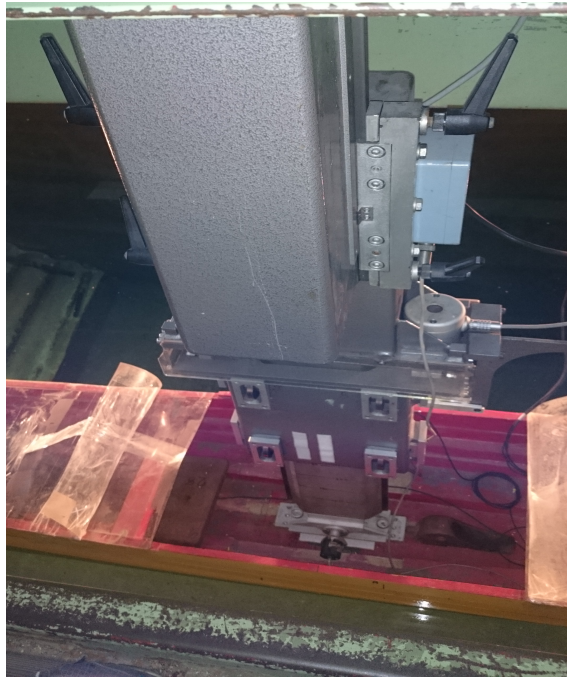
Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στη δεξαμενή του *Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής* της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του *ΕΜΠ*. Η δεξαμενή έχει ολικό μήκος 91 m, πλάτος 4.55 m και βάθος 3 m. Στο τέλος της δεξαμενής είναι τοποθετημένη γεννήτρια παραγωγής κυμάτων, η οποία μπορεί να δημιουργήσει πέρα από τυχαίους κυματισμούς και κανονικούς αρμονικούς κυματισμούς με μήκη από 0.5 m έως 13 m, μέγιστο πλάτος κύματος 35 cm και συχνότητες από 0.3 Hz έως και 1.4 Hz. Στην άλλη πλευρά της δεξαμενής είναι τοποθετημένος αποσβεστήρας των κυμάτων αυτών. Σχηματική διάταξη της πειραματικής δεξαμενής φαίνεται στην *Εικόνα 3.1*.



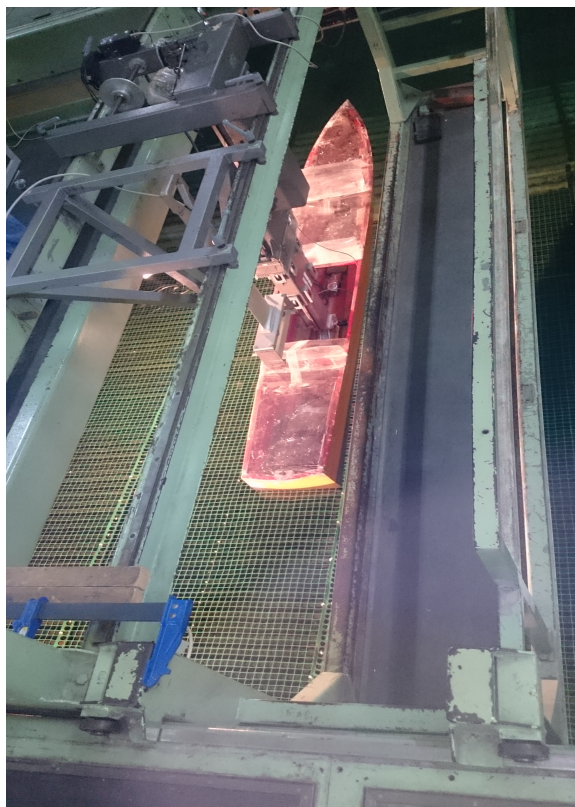
Εικόνα 3.1: Πειραματική δεξαμενή Ε.Ν.Θ.Υ. του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Το μοντέλο τοποθετείται σε κατάλληλο δυναμόμετρο (**R47**), το οποίο προσδένεται σε ειδική πλάκα στο κέντρο βάρους του μοντέλου (Εικόνα 3.2). Το δυναμόμετρο είναι πακτωμένο πάνω στο φορείο της δεξαμενής, στο οποίο βρίσκεται και όλος ο ηλεκτρονικός και ηλεκτρολογικός εξοπλισμός. Διαθέτει τρεις αισθητήρες με τους οποίους μετρώνται η αντίσταση και οι κινήσεις του μοντέλου. Η μέτρηση της αντίστασης πραγματοποιείται μέσω μίας γέφυρας Wheatstone, η οποία αποτελείται από τέσσερα strain gages που συνδέονται με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν κύκλωμα. Το σταθερό κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μέρος του δυναμόμετρου μπορεί να εκτελεί απειροστά μικρές κινήσεις ως προς το μόνιμα σταθερό μέρος του δυναμόμετρου κατά το διαμήκη άξονα της δεξαμενής που οφείλονται στην αντίσταση που συναντά το μοντέλο κατά τη κίνηση του στο νερό. Οι μικρές αυτές κινήσεις μεταφέρονται στον αισθητήρα και με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η μέτρηση της αντίστασης.

Η μέτρηση της ανύψωσης του κέντρου πρόσδεσης του σώματος πραγματοποιείται με τη χρήση ενός αισθητήρα (γραμμικού ποτενσιόμετρου), το οποίο είναι ένα αναλογικό ηλεκτρονικό εξάρτημα που χρησιμεύει στα κυκλώματα ως μεταβλητή αντίσταση. Συγκεκριμένα, το ποτενσιόμετρο λαμβάνοντας την σχετική κατακόρυφη κίνηση μεταξύ του κινούμενου μέρους του δυναμόμετρου και του σταθερού στα πειράματα μέρους του δυναμόμετρου μεταβάλλει την αντίσταση του με αποτέλεσμα και τη μεταβολή του διαρρέοντος σε αυτό ρεύματος. Η μεταβολή του ρεύματος στη συνέχεια μεταφράζεται σε μεταβολή τάσης. Σημειώνεται επίσης πως το εύρος της μετρούμενης τάσης κυμαίνεται από 0 έως 10 V. Το πόδι του δυναμομέτρου προσδένεται σε μία αλουμινένια πλάκα που έχει τοποθετηθεί στο μοντέλο, στο μέσο του πλάτους κατά το εγκάρσιο (**CL**) και στην θέση του διαμήκους κέντρου άντωσης (**LCB**) κατά το διάμηκες. Η θέση αυτή επιλέγεται στα πειράματα με όλα τα μοντέλα με στόχο τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους. Στην Εικόνα 3.2 που ακολουθεί φαίνεται η θέση πρόσδεσης του ποδιού του δυναμομέτρου στο μοντέλο.



(α)



(β)

Εικόνα 3.2: (α) Δυναμόμετρο R – 47 τοποθετημένο στο μοντέλο, (β) Το δυναμόμετρο R – 47 εδρασμένο στο φορείο που κινεί το μοντέλο.

Το φορείο είναι αναπόσπαστο κομμάτι της δεξαμενής και κινείται πάνω σε σιδηροτροχιές κατά μήκος της δεξαμενής με ταχύτητα έως και 5.5 m/s. Πάνω στο φορείο είναι τοποθετημένος ο μετρητικός εξοπλισμός όπως τα δυναμόμετρα πάνω στο οποίο δένεται το μοντέλο και ο Η/Υ ο οποίος ψηφιοποιεί τα αποτελέσματα των μετρητικών οργάνων. Στο πίσω μέρος του φορείου βρίσκεται τοποθετημένος ένας μηχανισμός απόσβεσης κυμάτων (*Εικόνα 3.3*). Η απόσβεση των κυμάτων επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση του παραπάνω μηχανισμού, εφαπτόμενα με την επιφάνεια του νερού κατά την επιστροφή του φορείου στην θέση εκκίνησης. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται σημαντικά ο χρόνος αναμονής ανάμεσα στις μετρήσεις.



Εικόνα 3.3: Μηχανισμός απόσβεσης κυμάτων.

Οι κατακόρυφες επιταχύνσεις του μοντέλου μετρώνται από τρία επιταχυνσιόμετρα (μάρκας Kistler) **3g** τοποθετημένα στην πλώρη **BOW ACC 1**, στο κέντρο βάρους **MIDDLE ACC 2** και στην πρύμνη **STERN ACC 3**.

Η μέτρηση του ύψους κύματος πραγματοποιήθηκε με την χρήση μετρητικού ύψους κύματος (*wave probe*) που αποτελεί μία από τις βασικές μετρητικές διατάξεις με την οποία διεξάγονται τα πειράματα καταγραφής της ελεύθερης επιφάνειας και δυναμικής συμπεριφοράς των κυμάτων που παράγονται από των κυματιστήρα. Το μετρητικό ύψους κύματος αποτελείται από δύο παράλληλα τοποθετημένα λεπτά σύρματα κάθετα στην επιφάνεια του νερού με μήκος 40cm. Τα σύρματα ενώνονται στο άνω άκρο τους μέσω ενός κυκλώματος ενώ στο κάτω άκρο τους υπάρχει ασυνέχεια (*Εικόνα 3.4*). Το κύκλωμα κλείνει μέσω της επιφάνειας του νερού. Δηλαδή τα δύο τμήματα του μεταλλικού στελέχους μπορούν να θεωρηθούν ως οπλισμοί πυκνωτή με το νερό σαν διηλεκτρικό

μέσο. Βυθίζοντας έτσι το όργανο στο νερό μεταβάλλεται το ποσοστό του βρεχόμενου σύρματος και του σύρματος που είναι πάνω από την επιφάνεια του νερού. Έτσι μεταβάλλεται η ολική αντίσταση του κυκλώματος και κατ' επέκταση η μετρούμενη τάση, η οποία μέσω κατάλληλης βαθμονόμησης μεταφράζεται σε ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας.



Εικόνα 3.4: Μεταλλικό στέλεχος ακίνητου αισθητήρα ανύψωσης κύματος, *wave tank probe*.

Το wave probe είναι τοποθετημένο ακίνητο στο τοιχίο της δεξαμενής σε κοντινή απόσταση από τον κυματιστήρα για την μέτρηση του παραγόμενου κύματος και λειτουργούν έως επαλήθευση μεταξύ του θεωρητικού (*input Bretschneider*) και του πραγματικά παραγόμενου κύματος (*output wave gen probe*).

3.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΩΝ

Η **βαθμονόμηση** των οργάνων αποτελεί θεμελιώδες κομμάτι της πειραματικής διαδικασίας. Σε γενικές γραμμές, οι φυσικές μεταβολές κάθε μετρούμενου μεγέθους που λαμβάνουν χώρα κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων γίνονται αντιληπτές από το αντίστοιχο όργανο ως μεταβολές ρεύματος που στη συνέχεια μεταφράζονται σε διαφορά τάσης και μετρούνται σε Volt. Είναι απαραίτητο να ελέγχεται έτσι η σωστή λειτουργία τους και να καταστρώνονται οι συναρτήσεις μεταφοράς για τη μετατροπή των Volts σε τιμές φυσικών μεγεθών (μετατόπιση, επιτάχυνση). Η διαδικασία βαθμονόμησης εκτελείται σε τακτά χρονικά διαστήματα για την καλύτερη αξιοπιστία των πειραμάτων, καθώς κάποιες από τις μετρούμενες ποσότητες είναι πιο ευαίσθητες στις μεταβολές του

περιβάλλοντος.

Μετά τον προσδιορισμό των εξισώσεων μεταφοράς, πριν την πραγματοποίηση κάθε σειράς μετρήσεων του μοντέλου στην δεξαμενή, λαμβανόταν μια μηδενική μέτρηση σε πλήρη κατάσταση ηρεμίας, ώστε να ληφθούν οι αποκρίσεις των αισθητήρων των οργάνων στην κατάσταση αυτή και στη συνέχεια εισάγονταν οι τιμές των Volt που λαμβάνονταν από τους αισθητήρες στις κατάλληλες εξισώσεις μεταφοράς ώστε να καταγραφούν οι μηδενικές φυσικές τιμές των μετρούμενων μεγεθών. Είναι αναγκαίος ο συνεχής έλεγχος των οργάνων για τη διασφάλιση της γραμμικότητας των μετρούμενων τιμών. Ακόμα πριν από την έναρξη των μετρήσεων στις επιθυμητές καταστάσεις θάλασσας γινόταν ένα πείραμα σε ήρεμο νερό για τον υπολογισμό της πρόσθετης αντίστασης.

- **ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΣΙΟΜΕΤΡΩΝ - ACCELEROMETER**

Η βαθμονόμηση τους έγινε μόνο μία φορά πριν από την τοποθέτησή τους στο μοντέλο καθώς πρόκειται για πολύ αξιόπιστα μετρητικά όργανα.

- **ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ - WAVE PROBE**

Η βαθμονόμηση του αισθητήρα ανύψωσης κύματος γινόταν κάθε μέρα πριν από την διεξαγωγή του προγραμματισμένου πειράματος και ενώ τον νερό της δεξαμενής ήταν ήρεμο.

- **ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ – RESISTANCE PROBE**

Η βαθμονόμηση του οργάνου της αντίστασης έγινε συνολικά τρεις φορές κατά την διάρκεια των πειραμάτων καθώς παρατηρήθηκε ότι οι μεταβολές στο όργανο κατά την διάρκεια των πειραμάτων ήταν αμελητέες.

- **ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ - HEAVE**

Η βαθμονόμηση του οργάνου της κατακόρυφης μετατόπισης έγινε συνολικά τρεις φορές κατά την διάρκεια των πειραμάτων καθώς παρατηρήθηκε ότι οι μεταβολές στο όργανο κατά την διάρκεια των πειραμάτων ήταν αμελητέες.

- ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ - RITCH

Το όργανο μετρήσεις του ritch είναι πολύ σταθερό και γι αυτόν τον λόγο έγινε βαθμονόμηση στην αρχή των πειραμάτων και έπειτα από την πρώτη σειρά μετρήσεων. Ακόμα έπειτα από το πέρας των πειραμάτων έγινε μία ακόμα βαθμονόμηση για να επαληθευθεί η συνάρτηση μεταφοράς.

3.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Τα βασικά στάδια της προετοιμασίας του προτύπου 116/96 για τα πειράματα της δυναμικής συμπεριφοράς (*seakeeping*) είναι τα εξής:

1. Επίτευξη του επιθυμητού εκτόπισματος για κατάσταση φόρτωσης $C_{dl}=4.23$
2. Εύρεση επιθυμητής διαγωγής (*trim*)
3. Προσδιορισμός ακτίνας αδράνειας και περιόδου ιδιοταλάντωσης
4. Έλεγχος ισάλου επιφάνειας
5. Υπολογισμός αποφόρτισης (*unloading*)

Τα κύρια χαρακτηριστικά του προτύπου 116/96 παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1:

| | |
|--------------------------------------|------------------------|
| Εκτόπισμα Δ | 96,134 kg |
| Ολικό μήκος L_{oa} | 2,917 m |
| Μήκος Βρεχώμενης επιφάνειας L_{wl} | 2,8338 m |
| Πλάτος B | 0,4162 m |
| Βύθισμα T | 0,152 m |
| Διαμήκης θέση κέντρου βάρους LCG | 0,30916 m |
| Βρεχώμενη επιφάνεια WS | 1,35476 m ² |
| Κατάσταση φόρτωσης C_{dl} | 4,23 |

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά προτύπου 116/96 – NTUA.

Η κλίμακα του μοντέλου (scale) είναι 1:50, οπότε η αναγωγή των διάφορων μεγεθών αφορά γάστρα μήκους $2,917 \cdot 50 = 145,85\text{m}$

Τα μεγέθη που εξετάζονται σε κλίμακα μοντέλου ανάγονται σε κλίμακα πλοίου πολλαπλασιάζοντας με τις τιμές της δεύτερης στήλης του Πίνακα 3.2, όπου K είναι η τιμή της κλίμακας.

| Μέγεθος | Πολλαπλασιασμός με: |
|------------|---------------------|
| Μήκος | K |
| Χρόνος | $K^{0.5}$ |
| Ταχύτητα | $K^{0.5}$ |
| Επιτάχυνση | 1 |
| Συχνότητα | $1/K^{0.5}$ |
| Μάζα | K^3 |

Πίνακας 3.2: Αναγωγή μεγεθών σε κλίμακα πλοίου.

1. ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ

Αρχικά έγινε επιλογή της κατάστασης φόρτωσης για την οποία πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα. Στην συνέχεια έγινε έλεγχος της ισάλου πλευσης η οποία ήταν ήδη χαραγμένη πάνω στο μοντέλο από προηγούμενα πειράματα.

Στην συνέχεια τοποθετήσαμε τα τρία επιταχυνσιόμετρα στο μοντέλο (αφού πρώτα τα είχαμε βαθμονομήσει) στην πλώρη στο κέντρο βάρους και στην πρύμνη. Έπειτα ζυγίσαμε το μοντέλο με στόχο την επίτευξη των κιλών στην επιθυμητή κατάσταση φόρτωσης λαμβάνοντας υπόψη το βάρος του δυναμομέτρου (7.360 kg) και το βάρος των καλωδίων και των καλυμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την αποφυγή εισόδου νερών κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων.

2. ΕΥΡΕΣΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ (trim)

Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν το μοντέλο που μελετήθηκε ήταν ισοβύθιστο (έχει μηδενική γωνία στατικής διαγωγής).

3. ΑΚΤΙΝΑ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ – ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΙΔΙΟΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ

Ο υπολογισμός της περιόδου ιδιοταλάντωσης του μοντέλου είναι ένδειξη σωστής κατανομής βαρών. Για να την προσδιορίσουμε δένουμε το μοντέλο σε ιμάντες τα οποία είναι προσαρμοσμένα σε δύο αιωρούμε στελέχη στο εργαστήριο.

Πρέπει μετά την φόρτωση του μοντέλου να ικανοποιείται η θεωρητικά υπολογιζόμενη περίοδος ιδιοταλάντωσης που δίνεται από την Σχέση 3.1:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{zz}}{\Delta \alpha^2 g}} \quad \text{Σχέση 3.1}$$

όπου:

I_{zz} : ροπή αδράνειας γύρω από τον άξονα zz

l : το μήκος ανακρέμασης από την κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους, ολικό μήκος μάντων – στελεχών (4.08m)

Δ : εκτόπισμα του μοντέλου – μάντων ανάρτησης

α : η ημιαπόσταση των στελεχών από το κέντρο βάρους του μοντέλου (0.75m)

g : επιτάχυνση της βαρύτητας

Σκοπός είναι να επιτύχουμε τέτοια κατανομή βαρών έτσι ώστε να έχουμε το επιθυμητό βύθισμα, διαγωγή και ίσαλο επιφάνεια και το μοντέλο να έχει την επιθυμητή ιδιοταλάντωση όπως αυτή υπολογίζεται από την παραπάνω σχέση. Αρχικά τοποθετήσαμε τα πρόσθετα βάρη συμμετρικά ως προς το κέντρο βάρους του μοντέλου.

Η ροπή αδράνειας δίνεται από την Σχέση 3.2:

$$I_{zz} = r_{zz}^2 \Delta \quad \text{Σχέση 3.2}$$

όπου:

r_{zz} : η ακτίνα αδρανείας

Έχει υπολογισθεί εμπειρικά μέσω όμοιων πλοίων ότι η ακτίνα αδρανείας είναι περίπου $0.25L_{WL}$. Οπότε η Σχέση 3.1 γίνεται:

$$T = \frac{2\pi r_{zz}}{\alpha} \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{Σχέση 3.3}$$

Οπότε για το μοντέλο NTUA 116/96 έχουμε:

$r_{zz}=0.70845$, $l=4.08m$, $\alpha=0.75m$, $g=9.81m/sec^2$

Άρα από την Σχέση 3.3 έχουμε την θεωρητική περίοδο ιδιοταλάντωσης: **$T_\theta = 3.789sec$** .

Για τον πειραματικό προσδιορισμό της ιδιοπεριόδου, εκτρέπουμε το μοντέλο από τη θέση ισορροπίας του και το αφήνουμε να εκτελέσει 10 ταλαντώσεις περί τον κατακόρυφο άξονα. Η μετρούμενη ιδιοπερίοδος θα πρέπει να έχει τιμή κοντά με την τη θεωρητική που υπολογίστηκε παραπάνω. Η χρονομέτρηση επαναλαμβάνεται κάποιες φορές ώστε το αποτέλεσμα να είναι αξιόπιστο και υπολογίζουμε την μέση τιμή των

μετρήσεων που πήραμε (μέση τιμή μεταξύ τριών διαδοχικών μετρήσεων). Έπειτα από κάθε μέτρηση σε περίπτωση που υπήρχε απόκλιση μεταξύ θεωρητικής και μετρούμενης τιμής έπρεπε να γίνουν μετακινήσεις των βαρών του μοντέλου και να επαναληφθεί η χρονομέτρηση. Οι μετακινήσεις γινόντουσαν συμμετρικά ως προς το κέντρο βάρους και σε περίπτωση που έπρεπε να αυξήσουμε την περίοδο ιδιοταλάντωσης τοποθετούσαμε τα βάρη σε μεγαλύτερη απόσταση και το αντίθετο στην περίπτωση που έπρεπε να μικρύνει η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης. Η μετακίνηση αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών να διατηρείται σταθερό. Εξυπακούεται ότι μετά από κάθε μετακίνηση βαρών θα πρέπει να ελέγχεται αν το σκάφος παραμένει σε ισοβύθιστη κατάσταση.

Προκύπτει ότι $T = 37,83/10 = 3,783$ sec περίπου, τιμή που είναι πολύ κοντά στην $T_0 = 3.789$ sec και κρίνεται ικανοποιητική.

4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΣΑΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η ίσαλος επιφάνεια υπήρχε ήδη χαραγμένη στο μοντέλο από προηγούμενα πειράματα.

5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ UNLOADING

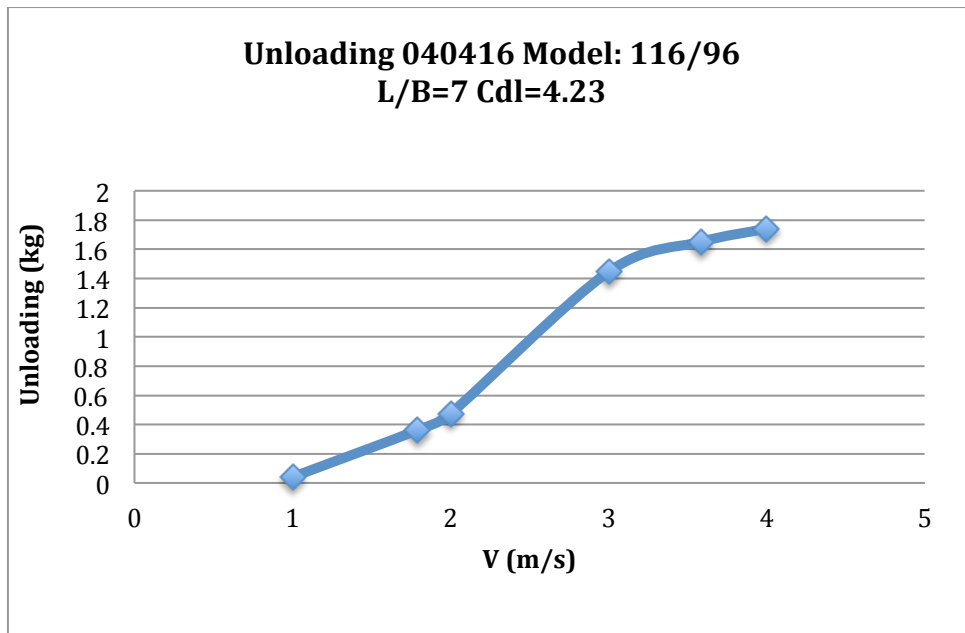
Σε ταχύπλοα σκάφη με συμβατικά συστήματα πρόωσης ο άξονας της έλικας βρίσκεται υπό κλίση. Στη περίπτωση του πειράματός μας δεχόμαστε μια τυπική κλίση της τάξης των $6,5^\circ$ ως προς το βασικό επίπεδο αναφοράς. Λόγω της κλίσης αυτής, η ώση που παρέχεται από την έλικα αποτελείται από δύο συνιστώσες: την οριζόντια T_H η οποία εξισορροπεί την αντίσταση R του σκάφους και την κατακόρυφη T_V . Λόγω της κατακόρυφης συνιστώσας το εκτόπισμα του σκάφους μειώνεται σε $\Delta' = \Delta - T_V$.

όπου:

$$T_V = T_H \tan(\tau - 6,5^\circ) = R \tan(\tau + 6,5^\circ) \quad \text{Σχέση 3.4}$$

με τ συμβολίζεται η διαγωγή (trim) που αποκτά το σκάφος σε διάφορες ταχύτητες και θεωρείται θετική όταν είναι έμπροση.

Για να υπολογίσουμε τις αποφορτίσεις του μοντέλου μας πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης σε ήρεμο νερό σε διάφορες ταχύτητες από τις οποίες προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.1: Καμπύλη αποφόρτισης για το μοντέλο 116/96 L/B=7.

Οπότε για τις δύο ταχύτητες των πειραμάτων έχουμε τον παρακάτω Πίνακα 3.3 με τις τιμές τις αποφόρτισης.

| Speed v (m/S) | Calm Water Resistance R (Kp) | Unloading (Kg) |
|---------------|------------------------------|----------------|
| 1,793 | 3,05787 | 0,363 |
| 3,585 | 10,34569 | 1,651 |

Πίνακας 3.3: Αποφόρτιση στις δύο ταχύτητες διεξαγωγής των πειραμάτων.

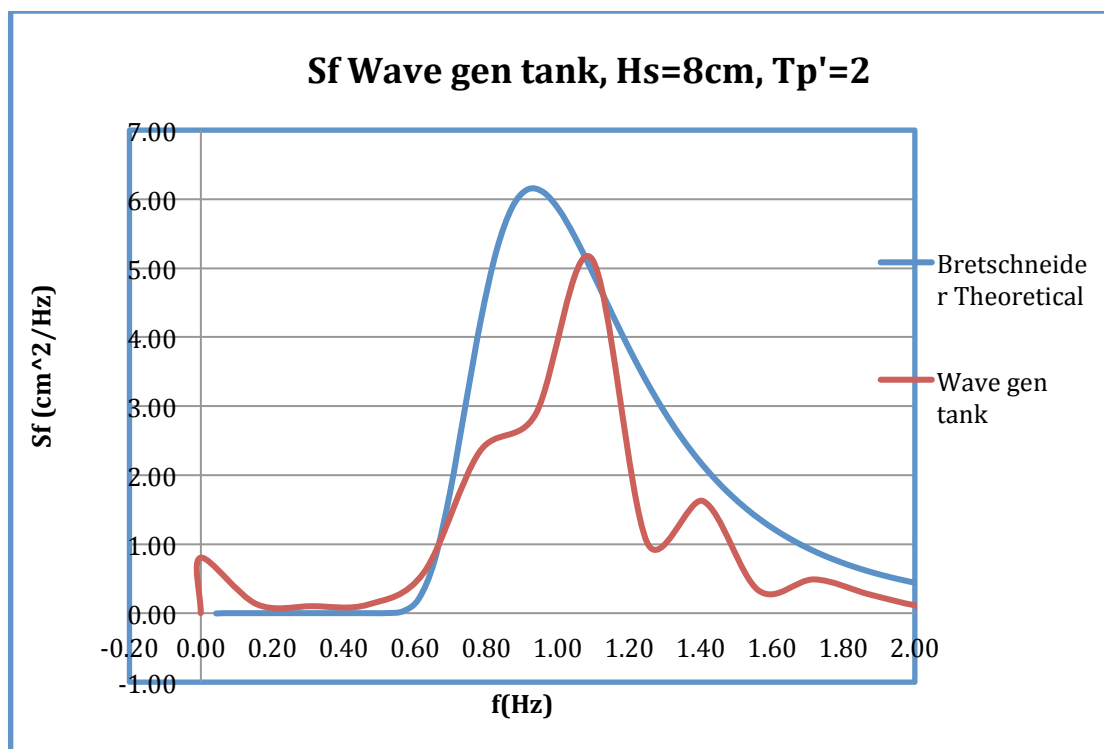
3.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ – ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΤΗΡΑ

Οι καταστάσεις θάλασσας που μελετήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 3.4 που ακολουθεί.

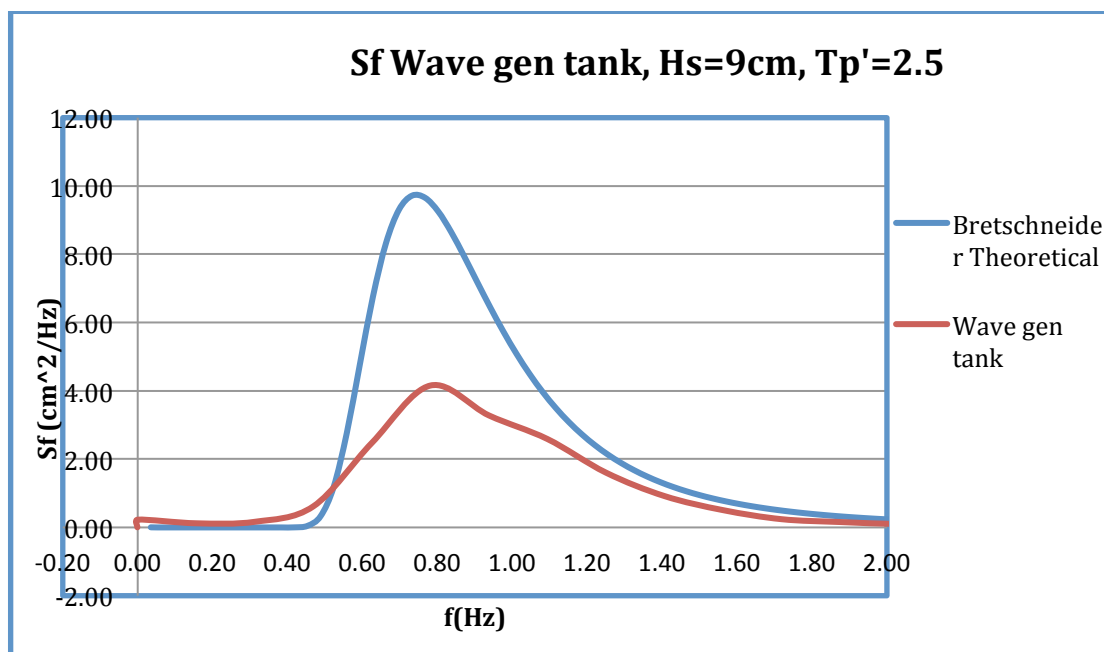
| Τρ' | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Τρship | 7,601 | 9,501 | 11,401 | 13,302 | 15,202 | 17,102 | 19,002 |
| Τρmodel | 1,075 | 1,344 | 1,612 | 1,881 | 2,150 | 2,419 | 2,687 |
| ωρ model | 5,842 | 4,674 | 3,895 | 3,338 | 2,921 | 2,597 | 2,337 |
| f model (Hz) | 0,930 | 0,744 | 0,620 | 0,532 | 0,465 | 0,413 | 0,372 |
| Hs model (m) | 0,08 | 0,09 | 0,1 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,16 |
| File Name | H08Tp20 | H09tp25 | H10Tp30 | H11Tp35 | H12Tp40 | H14Tp45 | H16Tp50 |
| Scale Factor | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Πίνακας 3.4: Καταστάσεις θάλασσας που μελετήθηκαν.

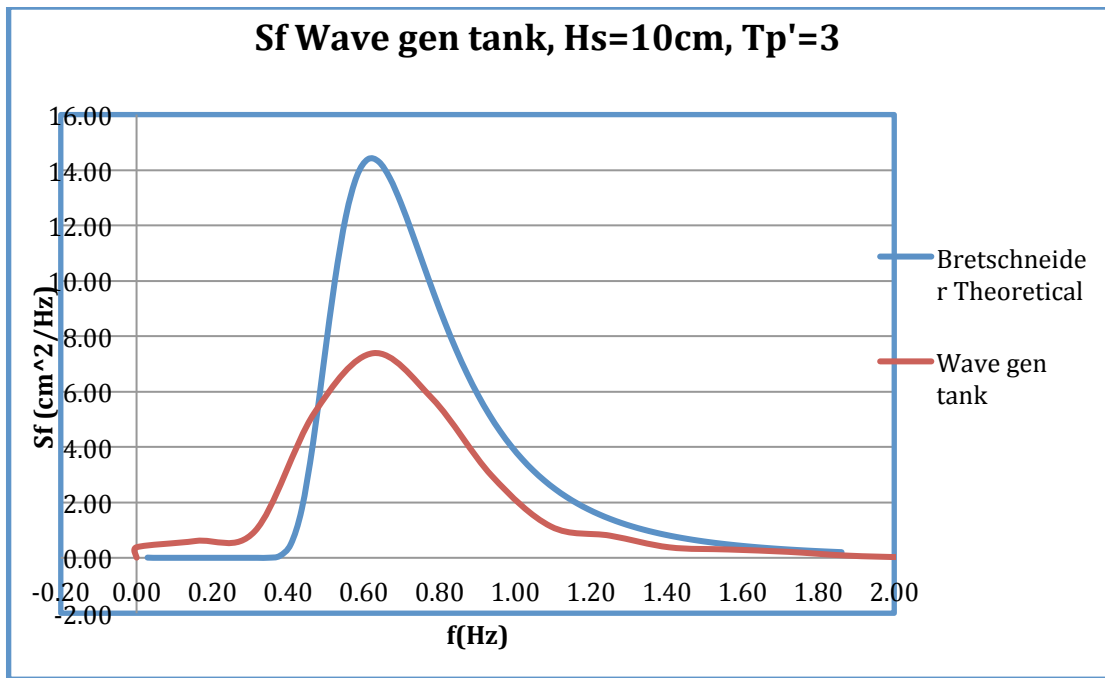
Αρχικά για την παραγωγή των επιθυμητών καταστάσεων θάλασσας χρησιμοποιήθηκε το υπάρχον πρόγραμμα **WG080411**. Πρέπει να σημειωθεί ότι προτού την έναρξη της παρούσας είχε γίνει συντήρηση της δεξαμενής χωρίς έπειτα να γίνει καινούργια βαθμονόμηση στον κυματιστήρα. Για την παραγωγή κάθε φάσματος πήραμε μετρήσεις των 600sec κάθε φορά. Ανάμεσα σε κάθε μέτρηση περιμέναμε περίπου μισή ώρα έτσι ώστε να μην έχει παραμένουσα ενέργεια το νερό της δεξαμενής. Έπειτα πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με στόχο την σύγκριση του θεωρητικού με το μετρούμενο κύμα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα Διαγράμματα 3.2 – 3.8 για τις επτά καταστάσεις θάλασσας.



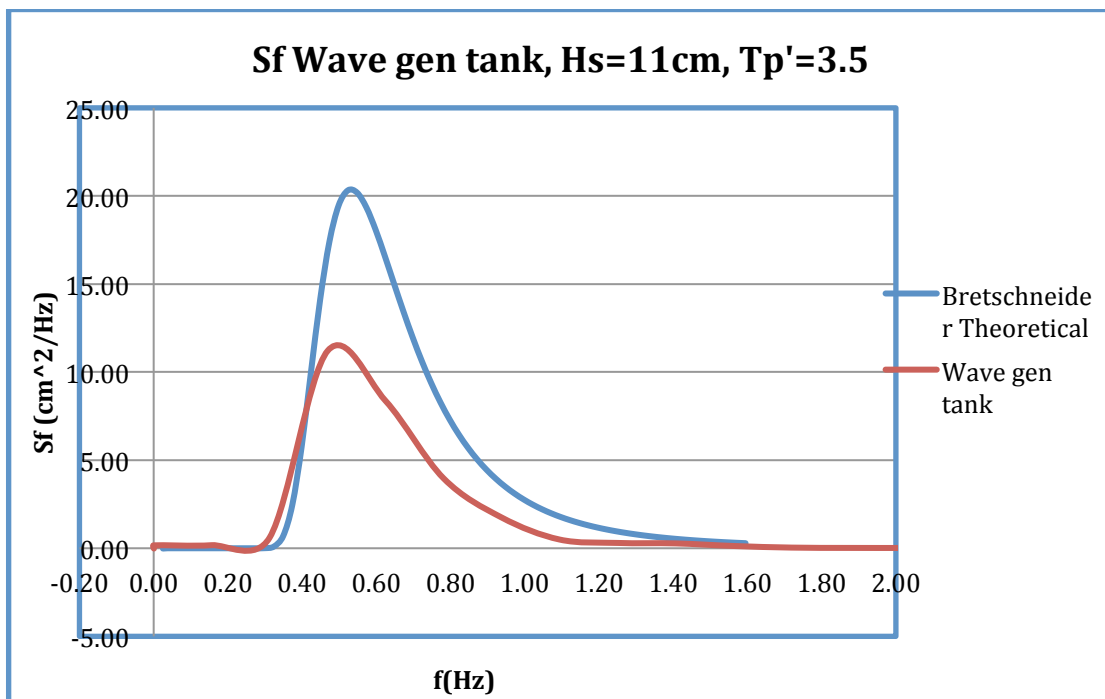
Διάγραμμα 3.2: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



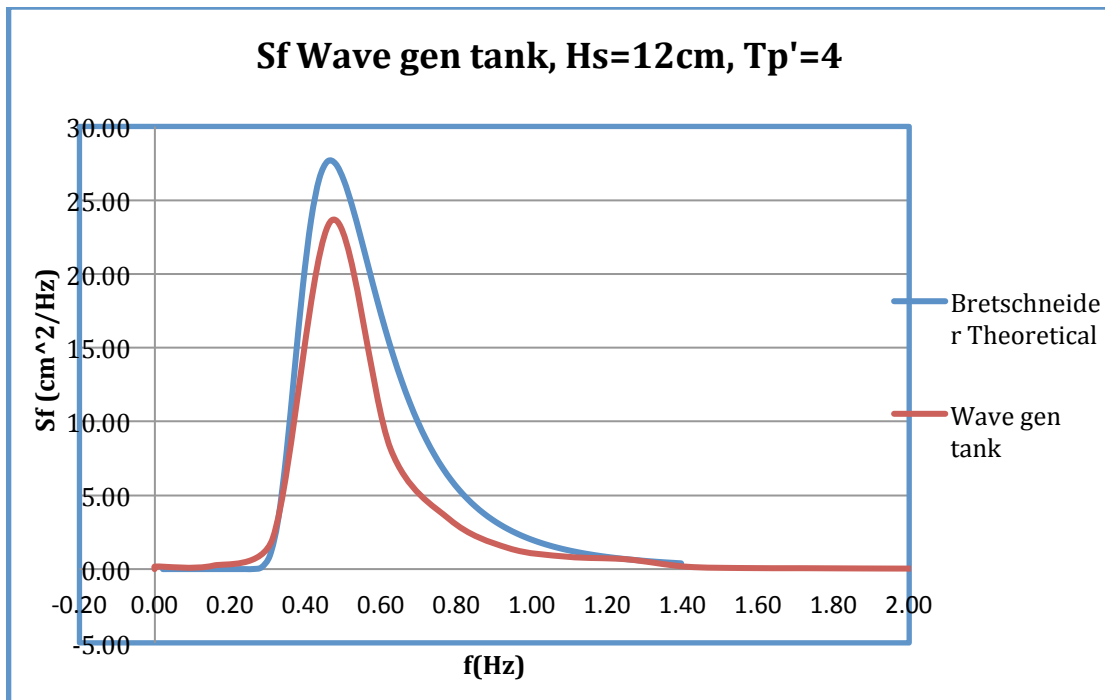
Διάγραμμα 3.3: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



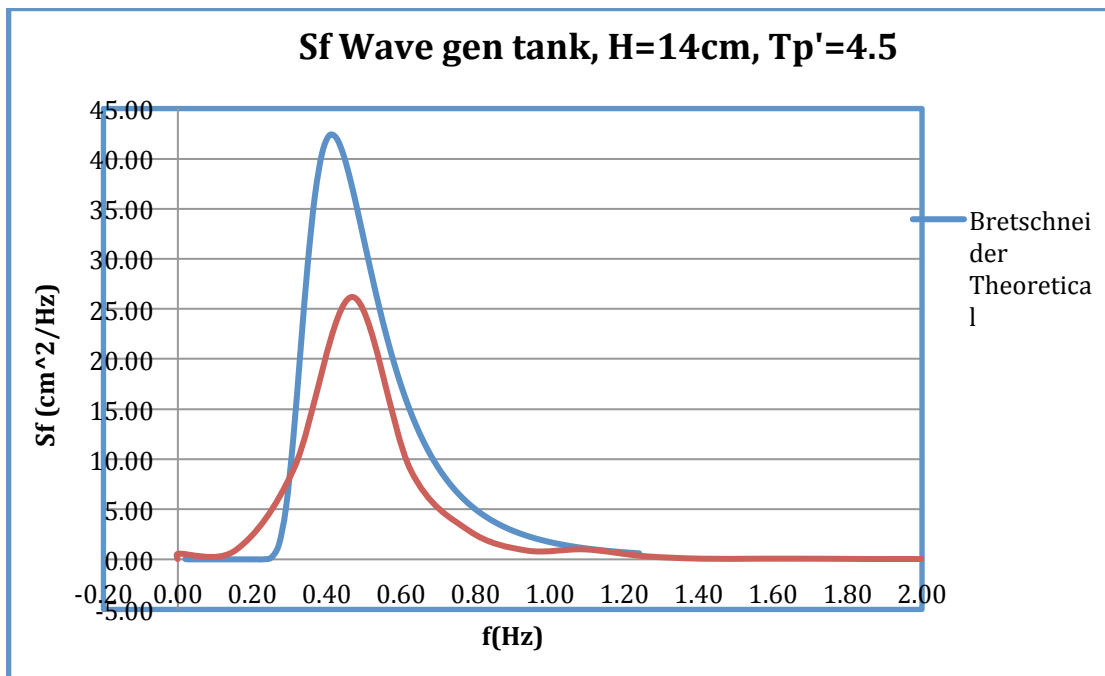
Διάγραμμα 3.4: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



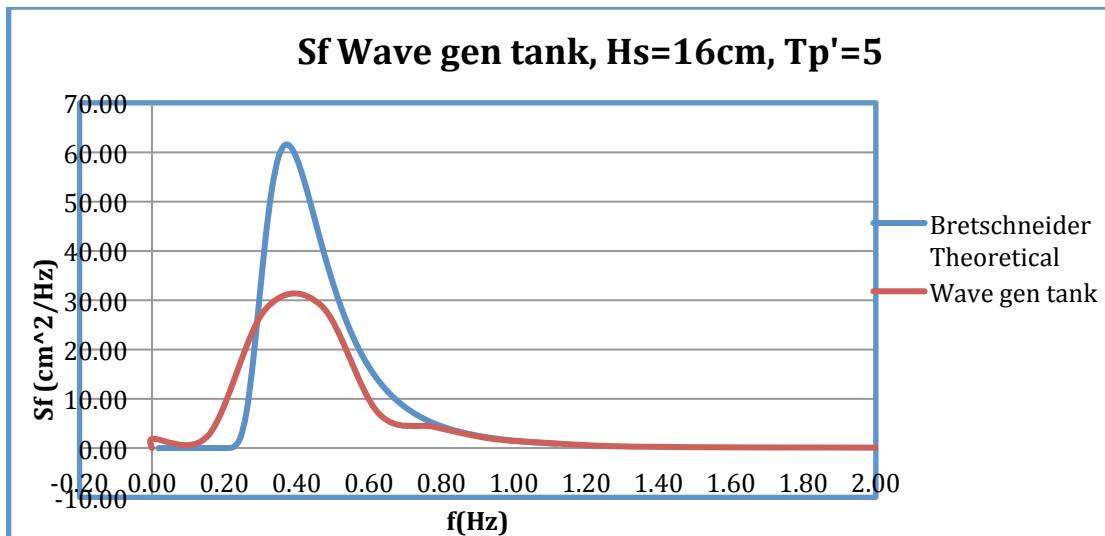
Διάγραμμα 3.5: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



Διάγραμμα 3.6: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



Διάγραμμα 3.7: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



Διάγραμμα 3.8: Θεωρητικό (*Bretschneider*) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (*Wave gen tank*).

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται όμως ότι δεν υπήρχε ταύτιση των θεωρητικών με τα πραγματικά κύματα που παρήγαγε ο κυματιστήρας. Έτσι κρίθηκε απαραίτητο να γίνει βαθμονόμηση για τους κυματισμούς που αφορούν τα πειράματα.

Για την βαθμονόμηση του προγράμματος έπρεπε να δημιουργήσουμε συνάρτηση μεταφοράς με την οποία γίνεται η μετατροπή του θεωρητικού φάσματος σε πραγματικό και η οποία στηρίζεται στο μοντέλο του *Bretschneider* το οποίο περιγράφει ανοιχτές θάλασσες οποιουδήποτε βαθμού ανάπτυξης και ορίζεται με την βοήθεια δύο παραμέτρων, της συχνότητας κορυφής ω_p και του σημαντικού ύψους κύματος H_s .

Έπρεπε δηλαδή στην συνάρτηση μεταφοράς του προγράμματος που είναι της μορφής $y = ax + b$ να διορθώσουμε τους συντελεστές a και b που αντιστοιχούν σε κάθε συχνότητα κορυφής φάσματος. Το πρόγραμμα παράγει φάσμα με εύρος συχνοτήτων από 0.0 Hz έως και 4.5 Hz με βήμα 0.1 Hz . Εμείς όμως διορθώσαμε τους συντελεστές στην περιοχή συχνοτήτων μεταξύ 0.3 Hz και 1.2 Hz που είναι και περιοχή συχνοτήτων κορυφής που μας ενδιαφέρει για τις 7 καταστάσεις θάλασσας που θα μελετήσουμε.

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για την διόρθωση των συντελεστών στην συνάρτηση του προγράμματος είναι η εξής:

Για κάθε συχνότητα κορυφής παρήγαμε και μετρήσαμε ημιτονικούς κυματισμούς συγκεκριμένου πλάτους μέσω του κυματιστήρα. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε κάθε φορά ήταν διάρκειας 33 sec . Έχει παρατηρηθεί ότι έπειτα από κάθε μέτρηση και μετά το πέρας περίπου μισής ώρας το νερό της δεξαμενής διατηρεί χαμηλή ενέργεια και πραγματοποιεί ταλάντωση με περίοδο 33 sec . Αυτός είναι και ο λόγος που οι μετρήσεις

που πήραμε ήταν διάρκειας 33sec. Συγκεκριμένα μετρήσαμε τα ακόλουθα ζεύγη τιμών όπως φαίνονται στον Πίνακα 3.5:

| Freq. (Hz) | Ampl. (cm) |
|------------|---------------|
| 0,3 | 4,00 |
| 0,4 | 4,00 |
| 0,5 | 4,00 |
| 0,6 | 3,00 |
| 0,7 | 3,00 |
| 0,8 | 3,00 |
| 0,9 | 3,00 |
| 1,0 | 2,00 |
| 1,1 | 1,50 |
| 1,2 | 2,00 |

Πίνακας 3.5: Ζεύγη τιμών ημιτονικών κυματισμών.

Στην συνέχεια για κάθε ημίτονο υπολογίσαμε την *rms* τιμή του παραγομένου κύματος και το πραγματικό πλάτος του ημιτονικού κυματισμού. Τα αποτελέσματα των τελικών μετρήσεων φαίνονται στον Πίνακα 3.6.

| HMITONA | RMS | ΠΛΑΤΟΣ (cm) |
|------------------|----------|----------------|
| 0.3Hz_4cm | 2,868501 | 4,056673 |
| 0.4Hz_4cm | 2,825543 | 3,995922 |
| 0.5Hz_4cm | 2,730043 | 3,860863 |
| 0.6Hz_3cm | 1,923914 | 2,720826 |
| 0.7Hz_3cm | 1,934317 | 2,735537 |
| 0.8Hz_3cm | 2,079647 | 2,941066 |
| 0.9Hz_3cm | 2,258014 | 3,193315 |
| 1.0Hz_2cm | 1,322117 | 1,869755 |
| 1.2Hz_2cm | 1,273432 | 1,800905 |

Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα μετρήσεων ημιτόνων.

Μετά μέσω ενός προγράμματος *excel* χρησιμοποιώντας τις τιμές αυτές υπολογίσαμε τις νέες διορθωμένες τιμές της συνάρτησης μεταφοράς για τις συγκεκριμένες συχνότητες κορυφής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7 και Πίνακα 3.8.

| Freq. [Hz] | Ampl. [cm] | rms wave | Ampl. 2 [cm] | Input/Measured |
|------------|------------|----------|--------------|----------------|
| 0,3 | 4,00 | 2,868501 | 4,06 | 0,986 |
| 0,4 | 4,00 | 2,825543 | 4,00 | 1,001 |
| 0,5 | 4,00 | 2,730043 | 3,86 | 1,036 |
| 0,6 | 3,00 | 1,923914 | 2,72 | 1,103 |
| 0,7 | 3,00 | 1,934317 | 2,74 | 1,097 |
| 0,8 | 3,00 | 2,079647 | 2,94 | 1,020 |
| 0,9 | 3,00 | 2,258014 | 3,19 | 0,939 |
| 1,0 | 2,00 | 1,322117 | 1,87 | 1,070 |
| 1,1 | 1,50 | 1,030 | 1,46 | 1,030 |
| 1,2 | 2,00 | 1,273432 | 1,80 | 1,111 |

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα μετρήσεων ημιτόνων.

Στην Πέμπτη στήλη του Πίνακα 3.7 φαίνεται ο λόγος του θεωρητικού πλάτους κύματος προς τον πραγματικό παραγόμενο πλάτος του κύματος.

| Freq. (Hz) | Jan 2011 - Water level at 2.805 m a.b. | March 2016 - Water level at 2.895 m a.b. |
|---------------|--|--|
| 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 0,1000 | 0,0348 | 0,0348 |
| 0,2000 | 0,0696 | 0,0696 |
| 0,3000 | 0,0980 | 0,0994 |
| 0,4000 | 0,1359 | 0,1357 |
| 0,5000 | 0,1641 | 0,1584 |
| 0,6000 | 0,1772 | 0,1607 |
| 0,7000 | 0,1671 | 0,1524 |

| | | |
|---------------|--------|--------|
| 0,8000 | 0,1567 | 0,1537 |
| 0,9000 | 0,1566 | 0,1666 |
| 1,0000 | 0,1543 | 0,1443 |
| 1,1000 | 0,1484 | 0,1441 |
| 1,2000 | 0,1375 | 0,1238 |

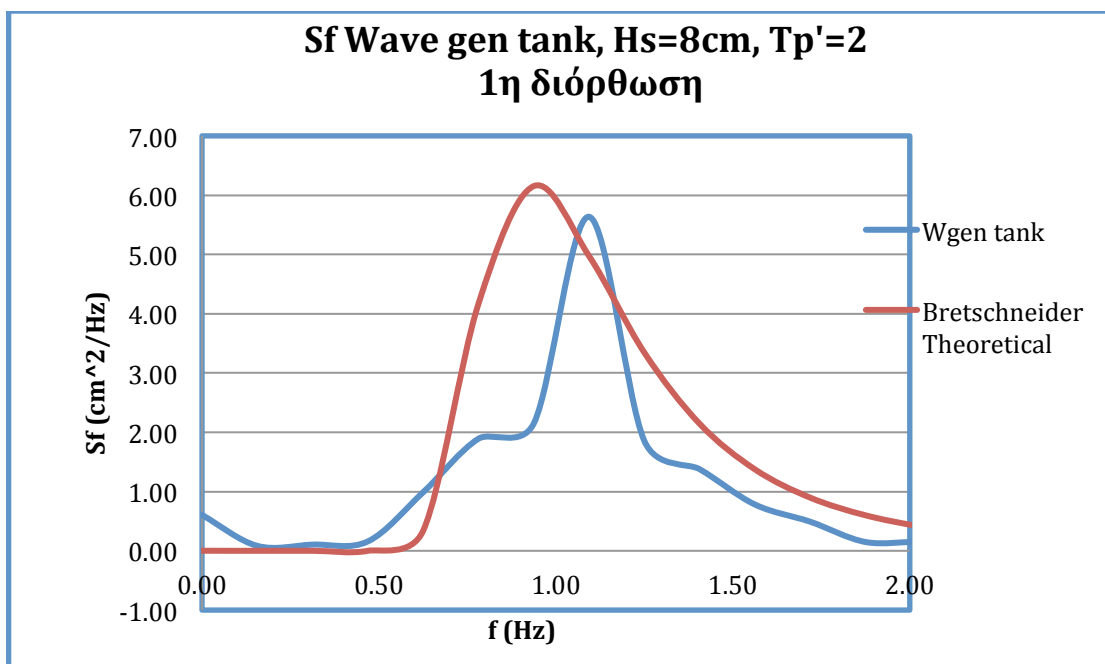
Πίνακας 3.8: Διορθωμένοι συντελεστές της συνάρτησης μεταφοράς του προγράμματος *WG080411*.

Στην Τρίτη στήλη του *Πίνακα 3.8* φαίνονται οι νέοι διορθωμένοι συντελεστές της συνάρτησης μεταφοράς οι οποίοι προέκυψαν διαιρώντας τους προηγούμενους συντελεστές με την πέμπτη στήλη του *Πίνακα 3.7*.

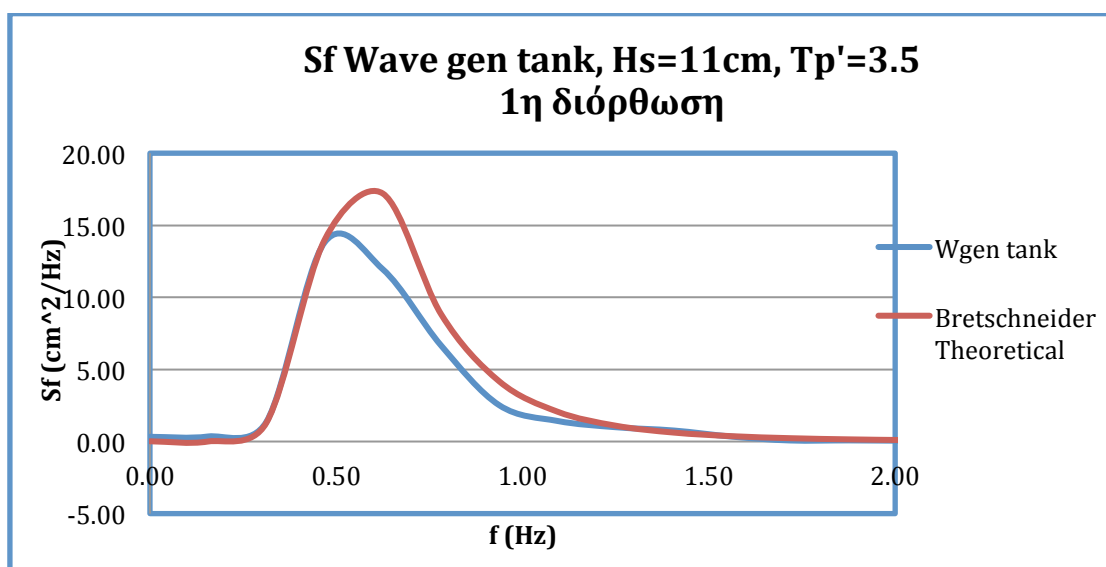
Την διαδικασία αυτή την επαναλάβαμε συνολικά τρεις φορές. Έπειτα από κάθε σειρά ημιτονικών κυματισμών διορθώναμε την συνάρτηση μεταφοράς του προγράμματος. Στην συνέχεια πραγματοποιούσαμε μετρήσεις τυχαίων κυματισμών για της εφτά καταστάσεις θάλασσας που θέλουμε. Στόχος μας ήταν να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερη ταύτιση μεταξύ θεωρητικού και πραγματικού κύματος.

Συνολικά δημιουργήσαμε τρία διαφορετικά προγράμματα κατά την διάρκεια των μετρήσεων των ημιτονικών κυματισμών. Η διαφορά μεταξύ των προγραμμάτων σχετίζεται με τα ζεύγη τιμών μεταξύ συχνότητας κορυφής και πλάτος κύματος. Αρχικά μετρήσαμε για κάθε συχνότητα κορυφής κύματος με μικρό πλάτος. Στην συνέχεια μετρήσαμε για κάθε συχνότητα κορυφής κύματα μεγάλου πλάτους. Όμως, για την πραγματοποίηση των μετρήσεων στα πλαίσια του πειράματος μας θεωρήσαμε καλό να μετρήσουμε ημιτονικούς κυματισμούς με ενδιάμεσες τιμές πλάτους (βλ. *Πίνακα 3.5*) που είναι πιο αντιπροσωπευτικές για μεγάλο εύρος κυματισμών.

Στα *Διαγράμματα 3.9 – 3.10* φαίνονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα για διάφορες καταστάσεις θάλασσας όπως αυτές προέκυψαν έπειτα από την πρώτη διόρθωση στην συνάρτηση μεταφοράς.

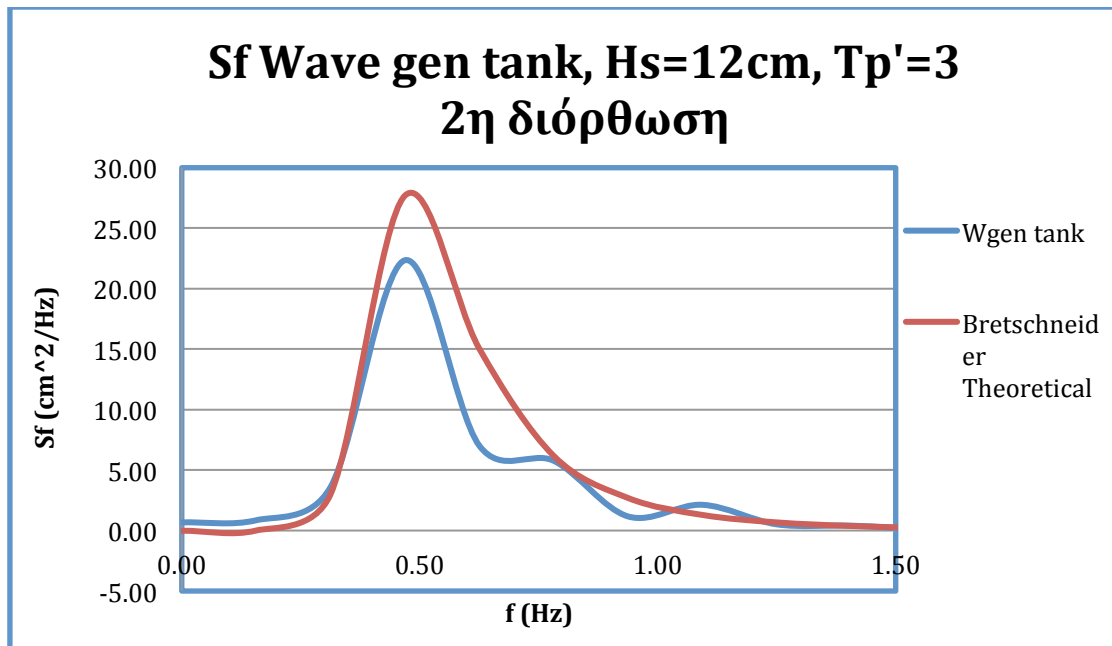


Διάγραμμα 3.9: Θεωρητικό (*Bretschneider*) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (*Wave gen tank*), 1^η διόρθωση συνάρτησης μεταφοράς.

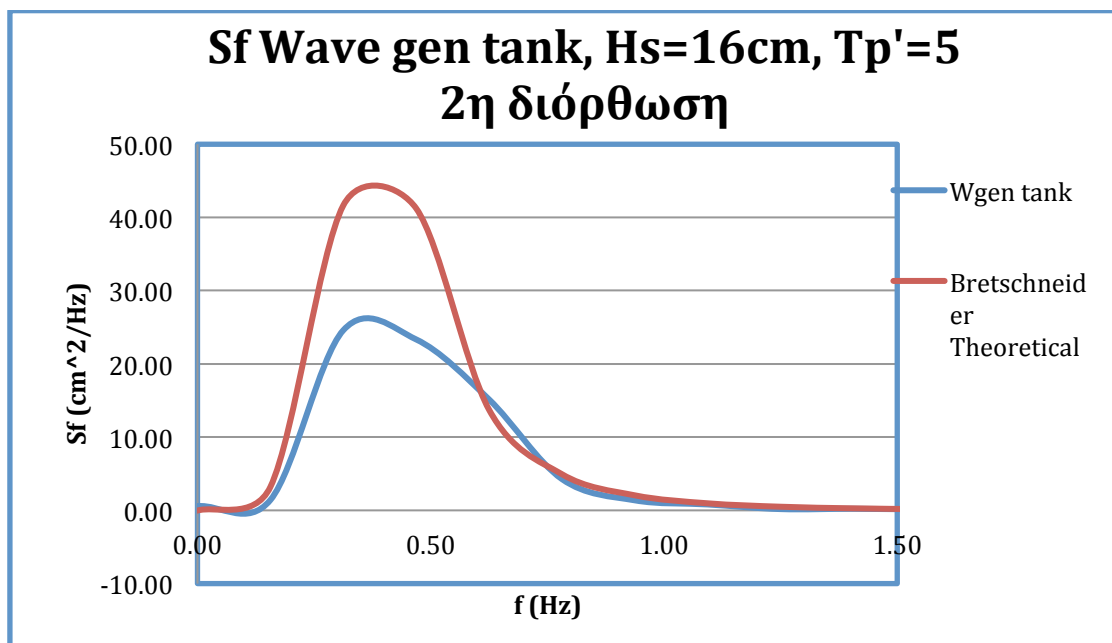


Διάγραμμα 3.10: Θεωρητικό (*Bretschneider*) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (*Wave gen tank*), 1^η διόρθωση συνάρτησης μεταφοράς.

Στα *Διαγράμματα 3.11 – 12* φαίνονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα για διάφορες καταστάσεις θάλασσας όπως αυτές προέκυψαν έπειτα από την δεύτερη διόρθωση στην συνάρτηση μεταφοράς.



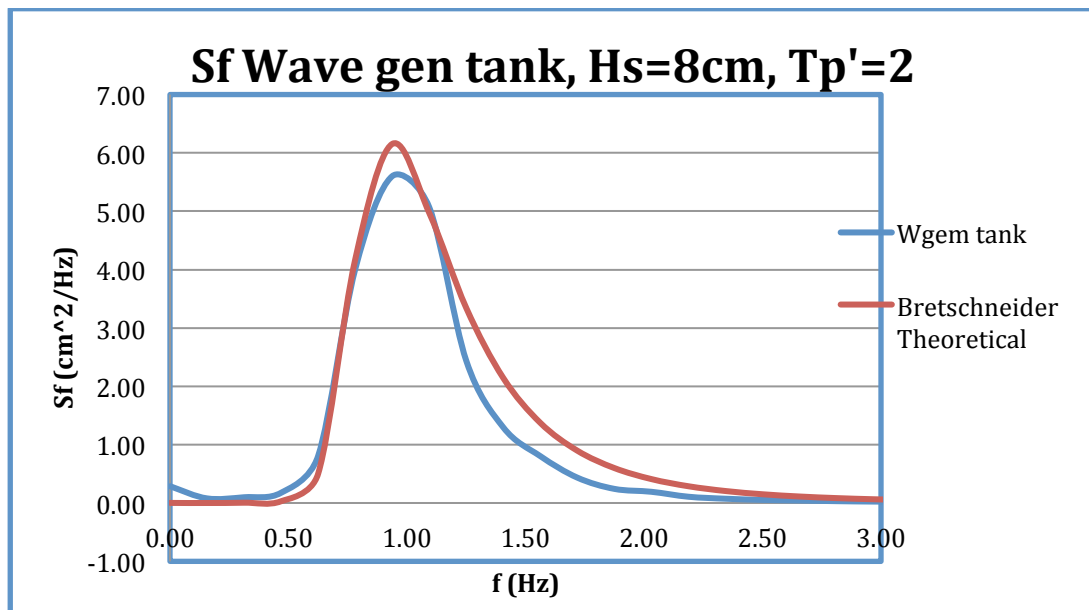
Διάγραμμα 3.11: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank), 2^η διόρθωση συνάρτησης μεταφοράς.



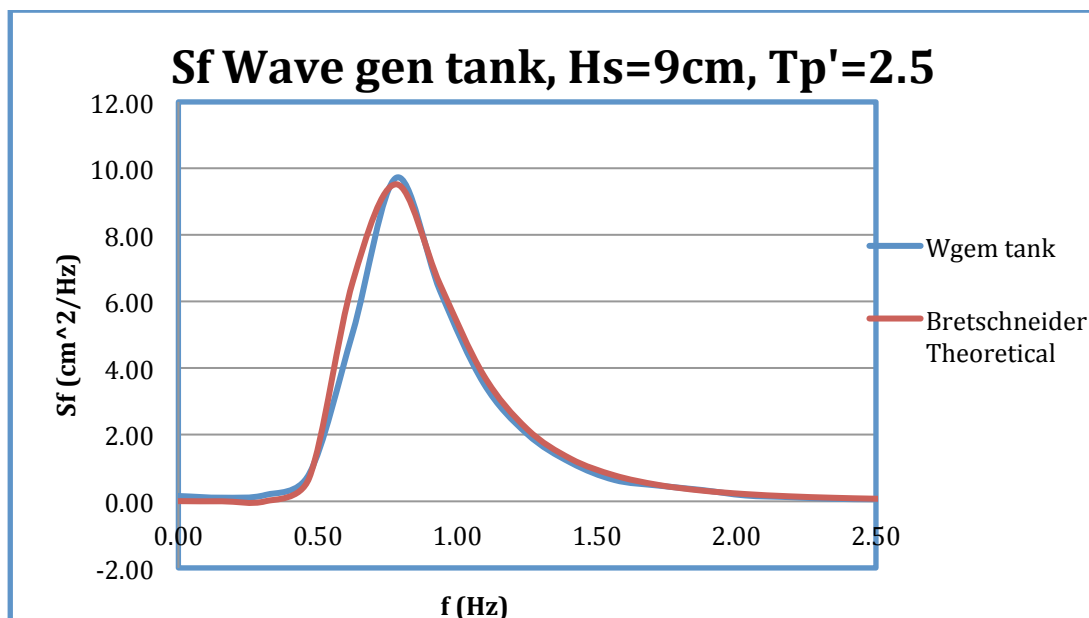
Διάγραμμα 3.12: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank), 2^η διόρθωση συνάρτησης μεταφοράς.

Έπειτα από σειρά μετρήσεων και διορθώσεων καταλήξαμε στην τελική μορφή του προγράμματος το οποίο μετονομάσαμε σε **WG210416** με το οποίο πήραμε τα φάσματα που φαίνονται στα Διαγράμματα 13 – 19 που ακολουθούν και αντιστοιχούν στις

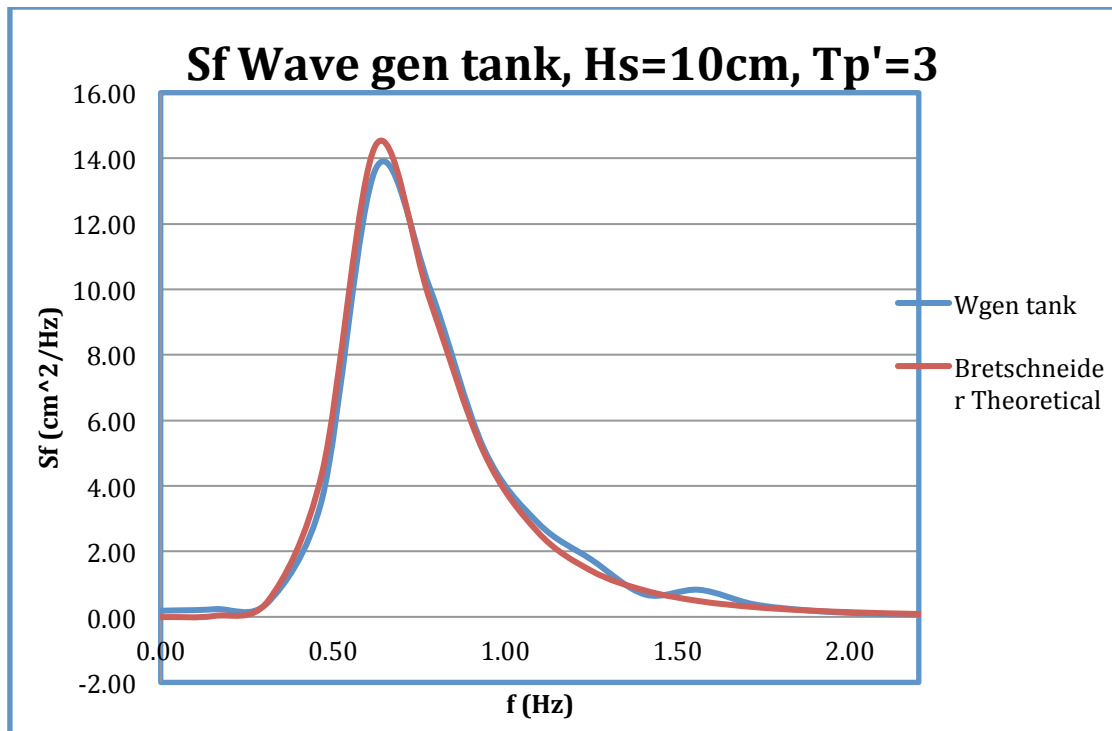
καταστάσεις θάλασσας στις οποίες θα μελετήσουμε το μοντέλο κατά την διαδικασία των πειραματικών μετρήσεων.



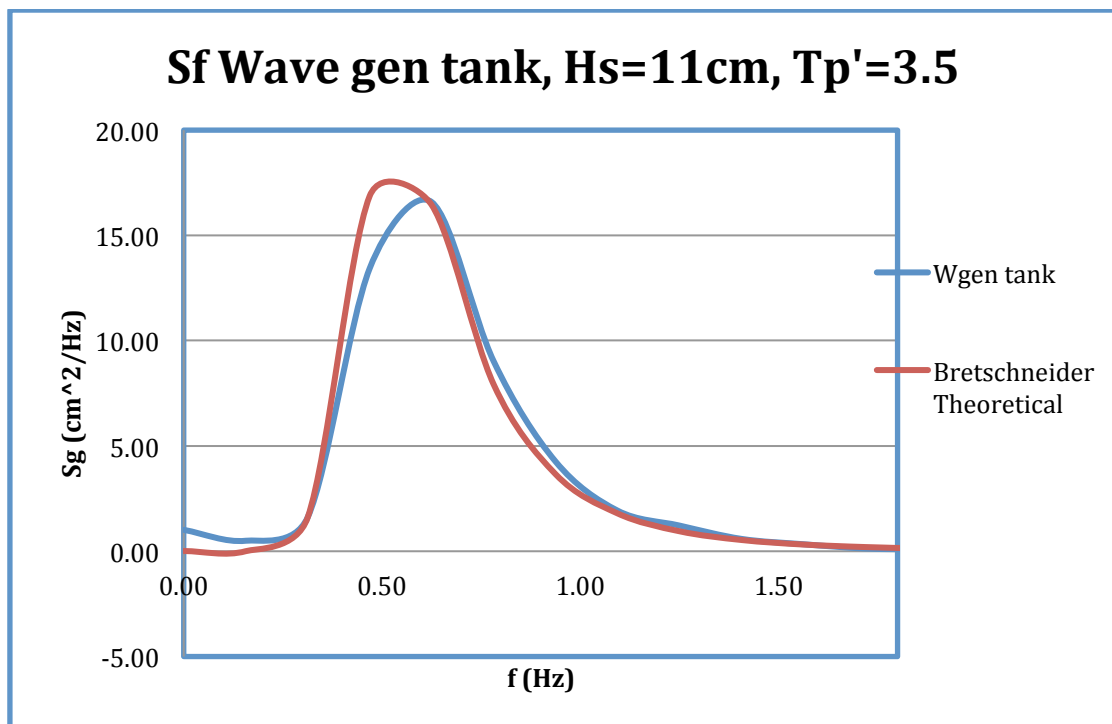
Διάγραμμα 3.13: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



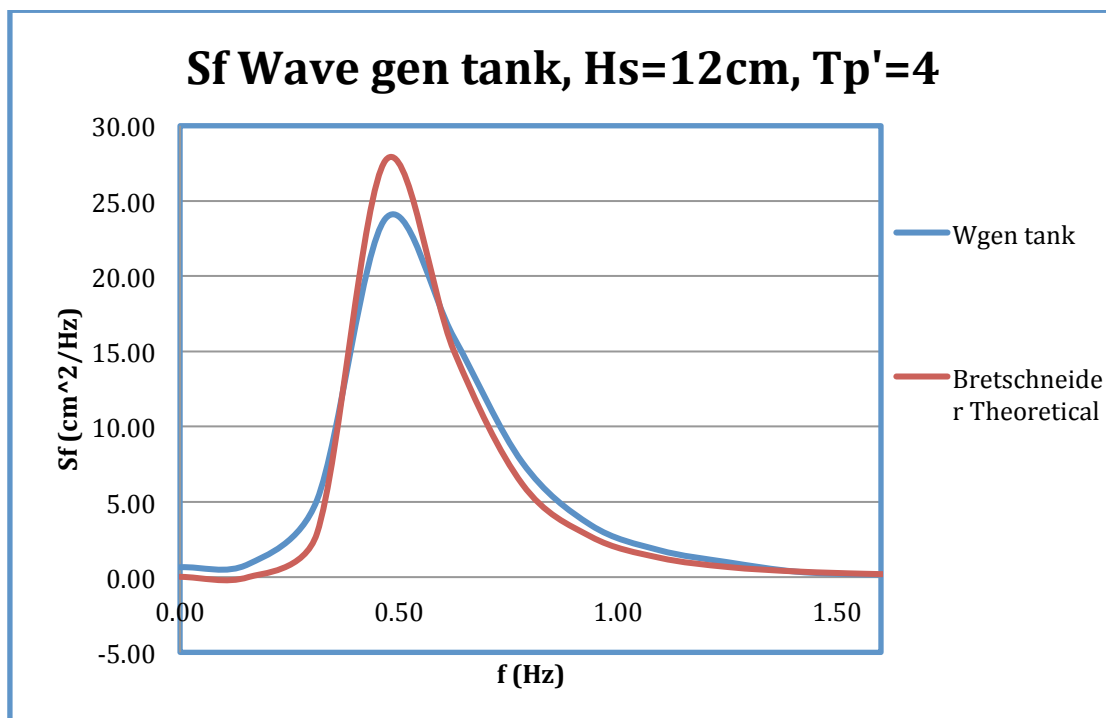
Διάγραμμα 3.14: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



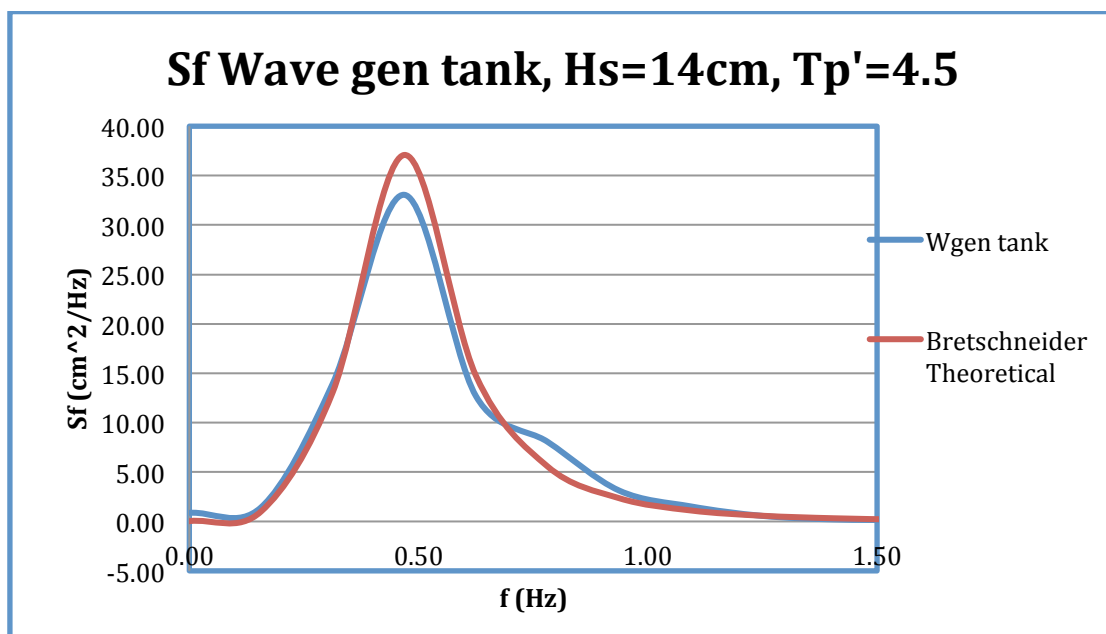
Διάγραμμα 3.15: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



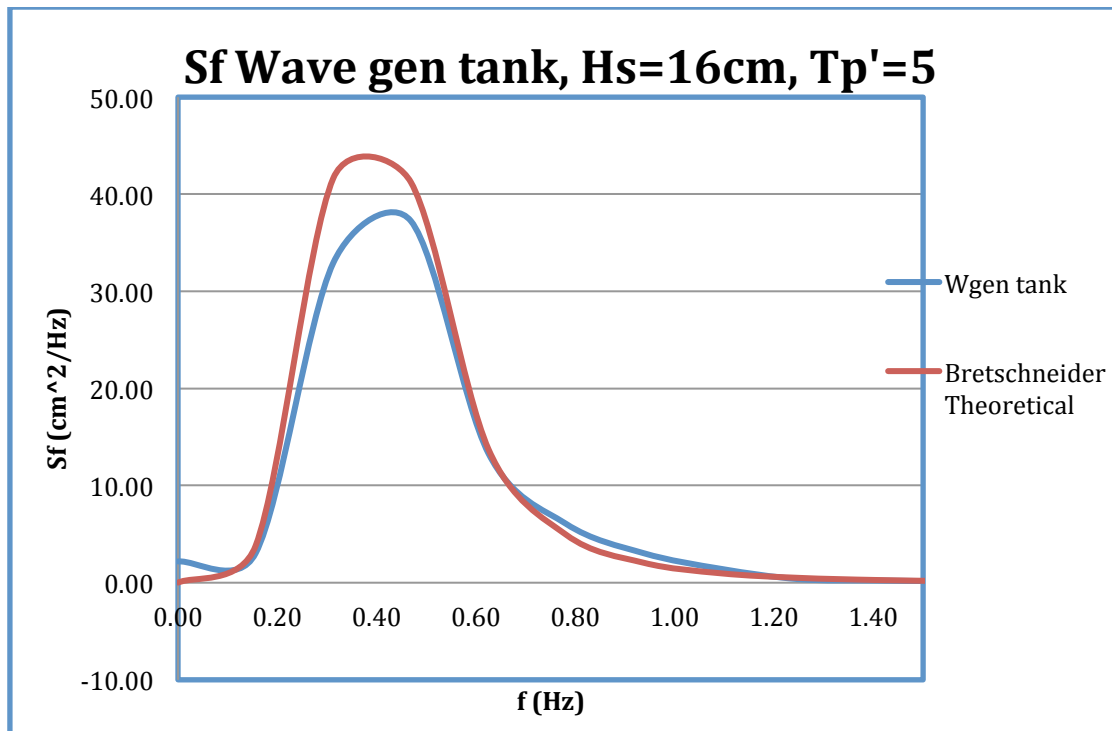
Διάγραμμα 3.16: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



Διάγραμμα 3.17: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



Διάγραμμα 3.18: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



Διάγραμμα 3.19: Θεωρητικό (*Bretschneider*) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (*Wave gen tank*).

Όπως εύκολα μπορούμε να παρατηρήσουμε από τα διαγράμματα των τελικών φασμάτων για τις καταστάσεις θάλασσας στις οποίες θα μελετήσουμε το μοντέλο υπάρχει σαφής βελτίωση στα παραγόμενα από την γεννήτρια κυμάτων φάσματα καθώς αυτά σε όλες τις περιπτώσεις ταυτίζονται σχεδόν απόλυτα με τα θεωρητικά φάσματα.

4

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

4.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής. Καθημερινά γινόταν έλεγχος του μοντέλου πριν από την τοποθέτηση του στο δυναμόμετρο για τυχόν ρωγμές. Έπειτα, γινόταν καθαρισμός του αισθητήρα ανύψωσης κύματος Wave probe και τοποθέτηση του. Στην συνέχεια, ξεκινούσε η βαθμονόμηση των οργάνων όπως αυτή αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα των βαθμονομήσεων καταγράφονταν σε ειδικό *Φύλλο Βαθμονομήσεων* του εργαστηρίου και υπολογιζόντουσαν οι συναρτήσεις μεταφοράς με την βοήθεια του προγράμματος *Microsoft EXCEL*. Ύστερα από το τέλος των βαθμονομήσεων τοποθετούσαμε το μοντέλο στο πόδι του δυναμομέτρου.

Μετά το τέλος των προκαταρκτικών διεγερσιών και των βαθμονομήσεων, ενεργοποιούσαμε στον υπολογιστή του κυματιστήρα μέσω του προγράμματος *WG210416* το επιθυμητό φάσμα δίνοντας ανάλογα με το φάσμα που θέλαμε να παράξουμε το ανάλογο όνομα του αρχείου όπως φαίνεται και στον *Πίνακα 3.4*. Ο χειρισμός του υπολογιστή του κυματιστήρα γινόταν με χρήση 'remote control' στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή του φορείου.

Όταν τα παραγόμενα κύματα έφταναν στο άλλο άκρο της δεξαμενής όπου βρισκόταν το φορείο με το μοντέλο, ξεκινούσαμε το φορείο και η μέτρηση ξεκινούσε μόλις είχε αναπτυχθεί η επιθυμητή ταχύτητα. Το τέλος της κάθε μέτρησης καθώς και η ακινητοποίηση του φορείου γινόταν αυτόματα.

Τόσο για την μικρή ταχύτητα $F_n = 0.34$ ($V_1 = 1.793$ m/s), όσο και για την μεγάλη ταχύτητα $F_n = 0.68$ ($V_2 = 3.5853$ m/s) μελετήθηκε χρονική ιστορία συνολικής διάρκειας 300 δευτερολέπτων (sec). Λόγω του περιορισμένου μήκους της δεξαμενής η χρονική ιστορία των 300 sec διασπάται για τις δύο ταχύτητες που έλαβαν μέρος σε επιμέρους μικρότερες. Συγκεκριμένα για τα πειράματα σε ταχύτητα $F_n = 0.34$ πραγματοποιήσαμε συνολικά 10 μετρήσεις (runs) των 30 sec η κάθε μία, ενώ για τα πειράματα σε ταχύτητα $F_n = 0.68$ πραγματοποιήσαμε συνολικά 25 μετρήσεις (runs) των 12 sec η κάθε μία.

Μετά το τέλος της κάθε μέτρησης ήταν υποχρεωτική η αναμονή 24 λεπτών (min) ούτως ώστε να ηρεμήσει το νερό της δεξαμενής.

Συνολικά χρειάστηκαν 7 ημέρες για τα πειράματα με την μικρή ταχύτητα και 14 ημέρες για τα πειράματα για την μεγάλη ταχύτητα.

Έπειτα από το τέλος κάθε σειράς μετρήσεων αποσυνδέαμε τα όργανα από το μοντέλο, το αποσυνδέαμε από το πόδι του δυναμομέτρου και το βγάσαμε από το νερό. Σε περίπτωση που στο μοντέλο είχαν εισχωρήσει νερά κατά την διάρκεια των πειραμάτων τα καθαρίζαμε ώστε να μην διαβρωθεί το μοντέλο αλλά και για να μην προκαλούν αλλοιώσεις στις μετρήσεις.

4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα πειραματικά αποτελέσματα καταγράφονται όπως έχουμε ήδη αναφέρει σε Volts σε αρχεία μορφής ‘.dat’ στον φάκελο Data του ηλεκτρονικού υπολογιστή του φορείου. Για την επεξεργασία των αρχείων αυτών έγινε ανάλυση κατά Fourier με την βοήθεια ειδικού κώδικα γραμμένου σε Fortran. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το αρχείο Fortran με ονομασία fft52.for. Το αρχείο αυτό μετατρέπει τα αποτελέσματα από Volts στις κατάλληλες μονάδες και με την εφαρμογή του μετασχηματισμού Fourier μας δίνει τα φάσματα των κυματισμών και των αποκρίσεων. Ακόμα, το πρόγραμμα δίνει για όλα τα μεγέθη τις μέσες τετραγωνικές τιμές των αποκρίσεων rms, καθώς και την μέση τιμή της ολικής αντίστασης.

Τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης εμφανίζονται σε δύο αρχεία:

- Αρχείο τύπου ‘.out’: Εμφανίζει τα φάσματα $S(f)$ – συναρτήσεως της συχνότητας f (Hz) των μεγεθών που μας ενδιαφέρουν εκτός της αντίστασης.
- Αρχείο τύπου ‘.rms’: Εμφανίζει τις μέσες τετραγωνικές τιμές των αποκρίσεων όλων των μεγεθών. Στο αρχείο αυτό αναγράφεται και η μέση τιμή της ολικής αντίστασης.

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος ζητούνται τα αρχεία έναρξης και λήξης (πχ. dat10 έως dat20). Με αυτόν τον τρόπο το πρόγραμμα ενώνει τα επί μέρους αρχεία ‘.dat’ ώστε να αναλυθεί η συνολική χρονική ιστορία των 300 sec. Μετά ακολουθεί ο προσδιορισμός των σημείων για την ανάλυση κάθε αρχείου (πχ 128, 256, 512) έτσι ώστε να γίνει ο μετασχηματισμός Fourier.

Στη συνέχεια τα αποτελέσματα επεξεργάζονται σε φύλλο εργασίας του Microsoft EXCEL και δημιουργούνται τα διαγράμματα από τα οποία εξάγονται τα συμπεράσματα για την δυναμική συμπεριφορά του μοντέλου.

4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΣΕ ΤΥΧΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

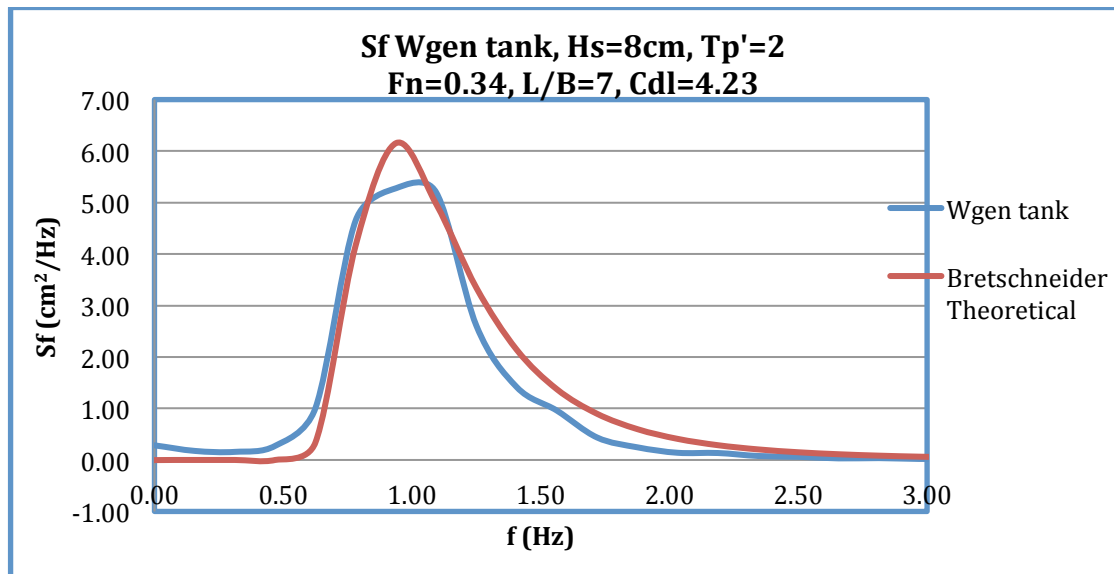
4.3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ – ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται για κάθε είδους τυχαίο κυματισμού και για κάθε ταχύτητα τα διαγράμματα των φασμάτων $S(f)$ συναρτήσει της συχνότητας f καθώς και τα αποτελέσματα των αποκρίσεων του μοντέλου για τις εφτά καταστάσεις θάλασσας που μελετήθηκαν και στις δύο ταχύτητες. Το φάσμα του κυματισμού αναφέρεται σε απόλυτο – ακίνητο σύστημα αναφοράς, ενώ τα φάσματα των αποκρίσεων σε σχετικό – κινούμενο γιατί οι αντίστοιχοι αισθητήρες βρίσκονται επί του κινούμενου φορείου.

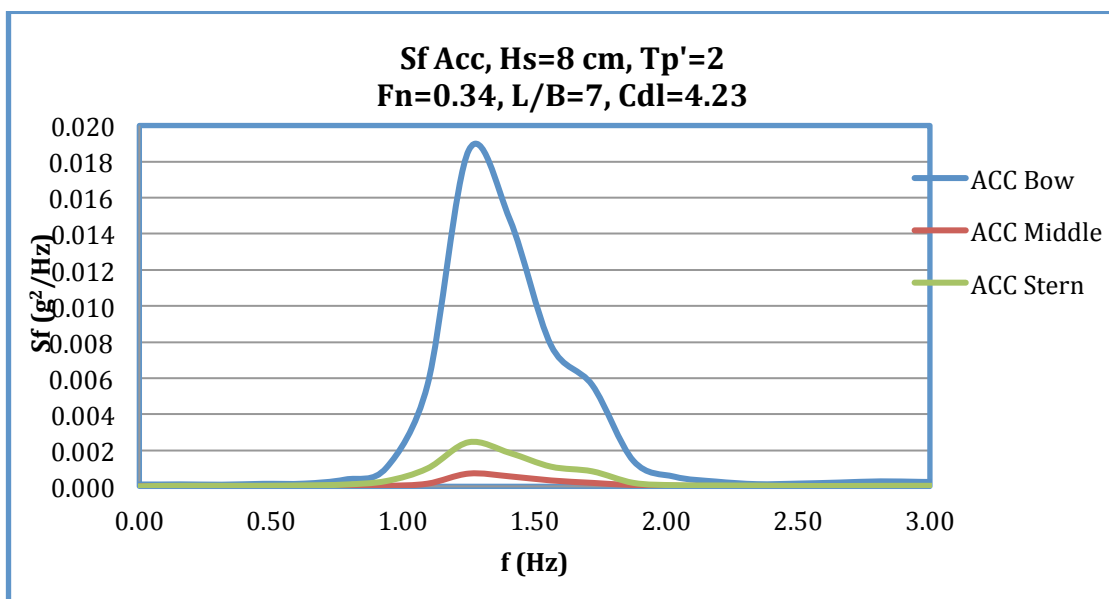
Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα εξής διαγράμματα:

- Φάσμα κύματος $S(f)$ (cm^2/Hz) συναρτήσει της συχνότητας f (Hz) μετρημένο από τον ακίνητο αισθητήρα ανύψωσης κύματος κοντά στον κυματιστήρα (Wave Probe) και το θεωρητικό φάσμα που έχει ζητηθεί να παραχθεί από τον κυματιστήρα σύμφωνα με την εξίσωση του Bretschneider.
- Φάσμα κατακόρυφων επιταχύνσεων $S(f)$ (g^2/Hz) συναρτήσει της συχνότητας f (Hz) σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου: στον πλώρη (bow), στο κέντρο βάρους – μέση (middle) και στην πρύμνη (stern).
- Φάσμα κατακόρυφης κίνησης (Heave) $S(f)$ (cm^2/Hz) συναρτήσει της συχνότητας f (Hz).
- Φάσμα προνευτασμού (Pitch) (deg^2/Hz) συναρτήσει της συχνότητας f (Hz).

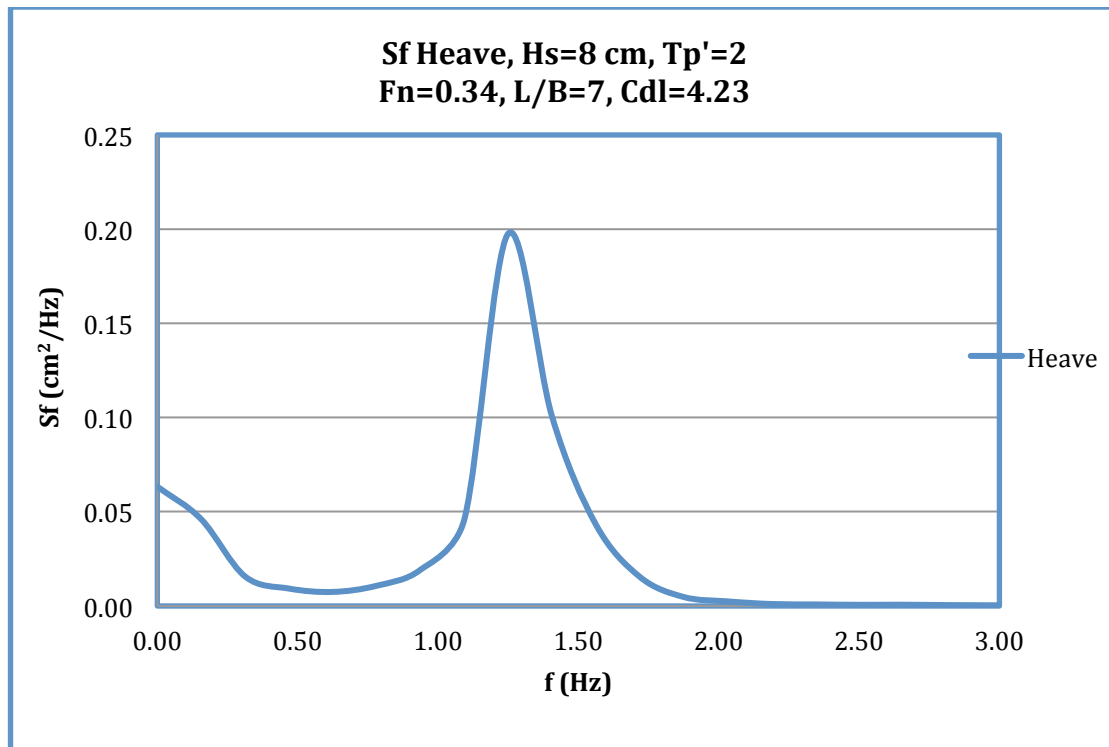
4.3.1.1 Αποτελέσματα πειραμάτων για ταχύτητα $F_n = 0.34$



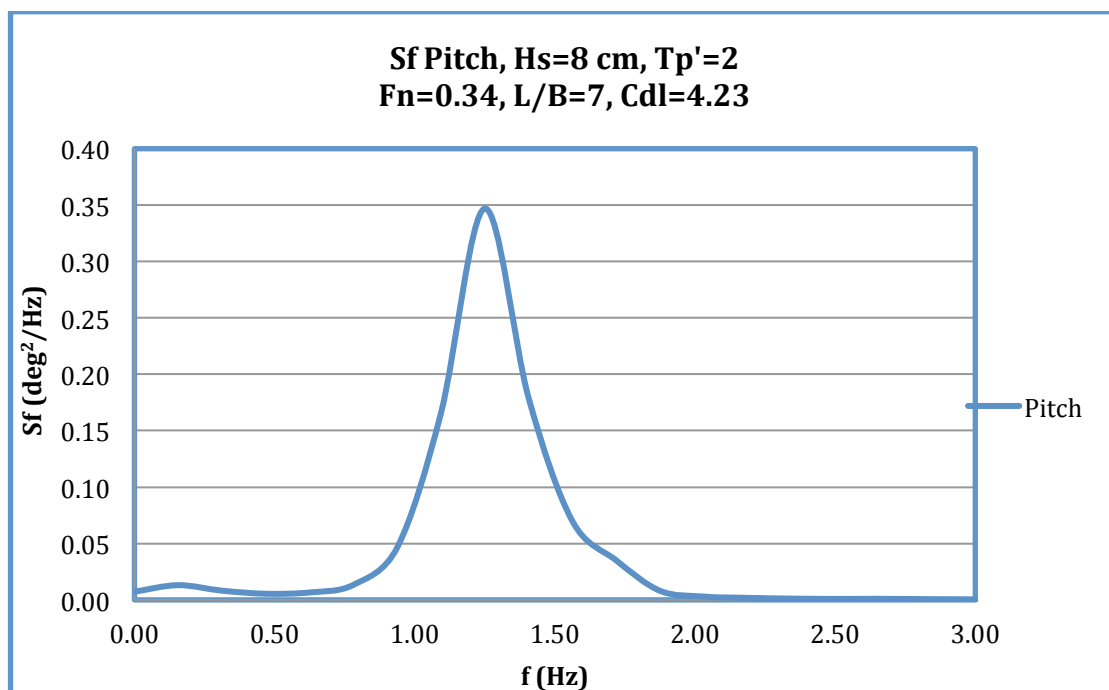
Διάγραμμα 4.1: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



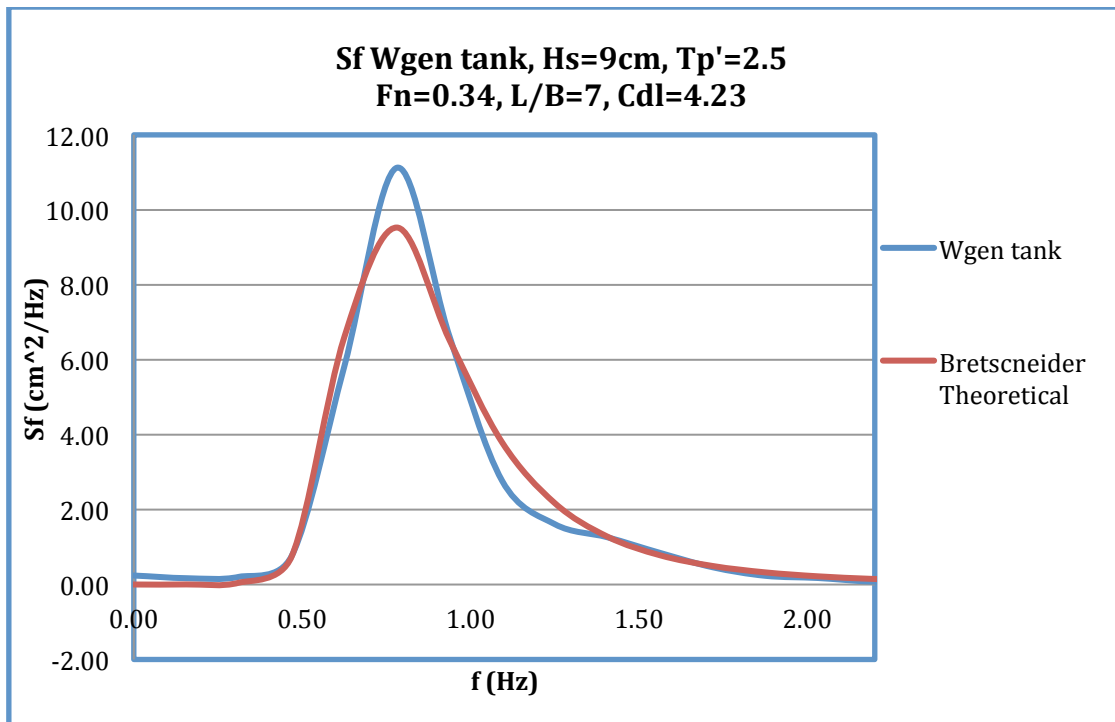
Διάγραμμα 4.2: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern).



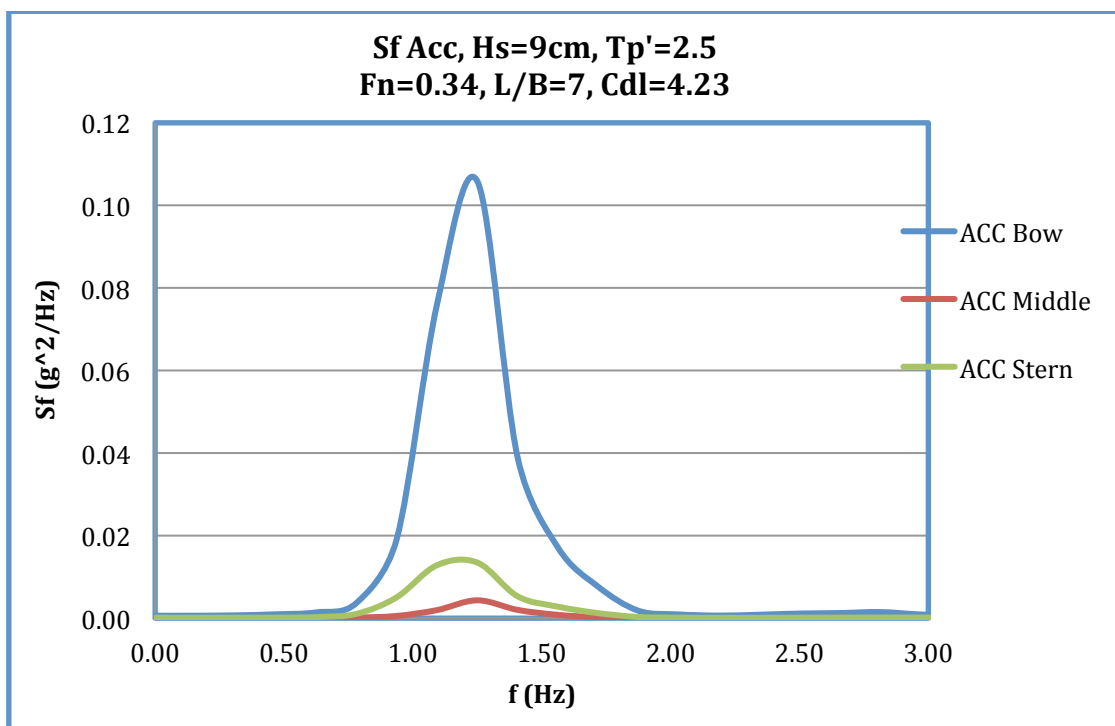
Διάγραμμα 4.3: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



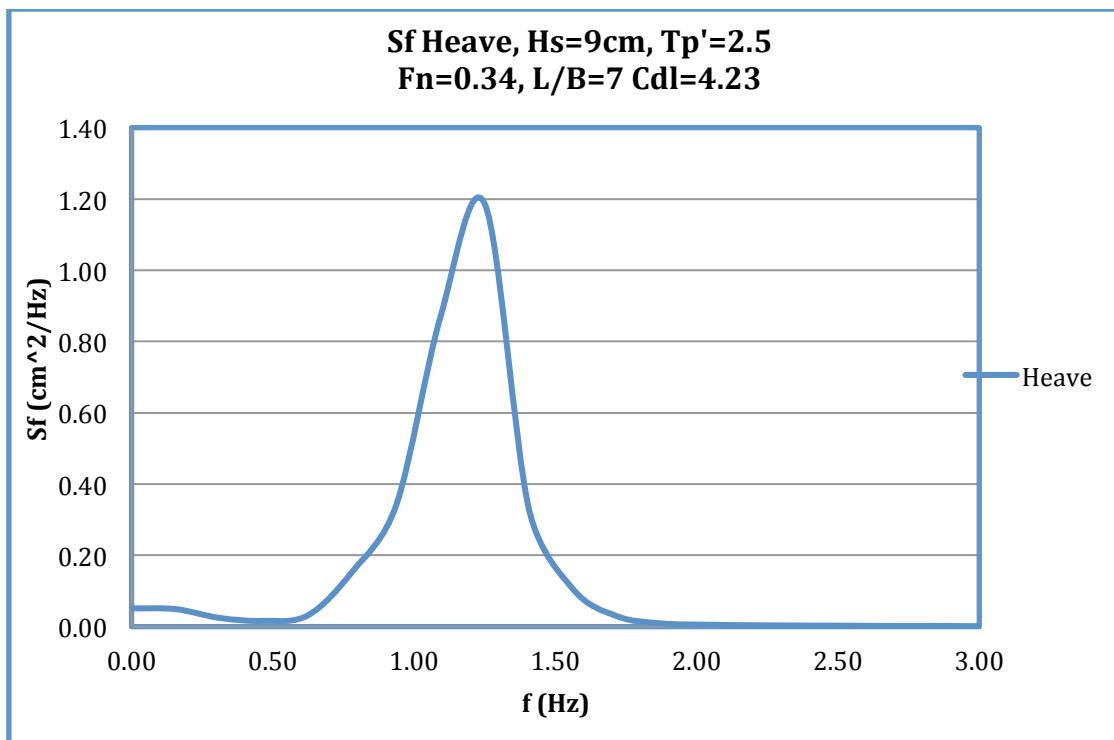
Διάγραμμα 4.4: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευσμού - Pitch.



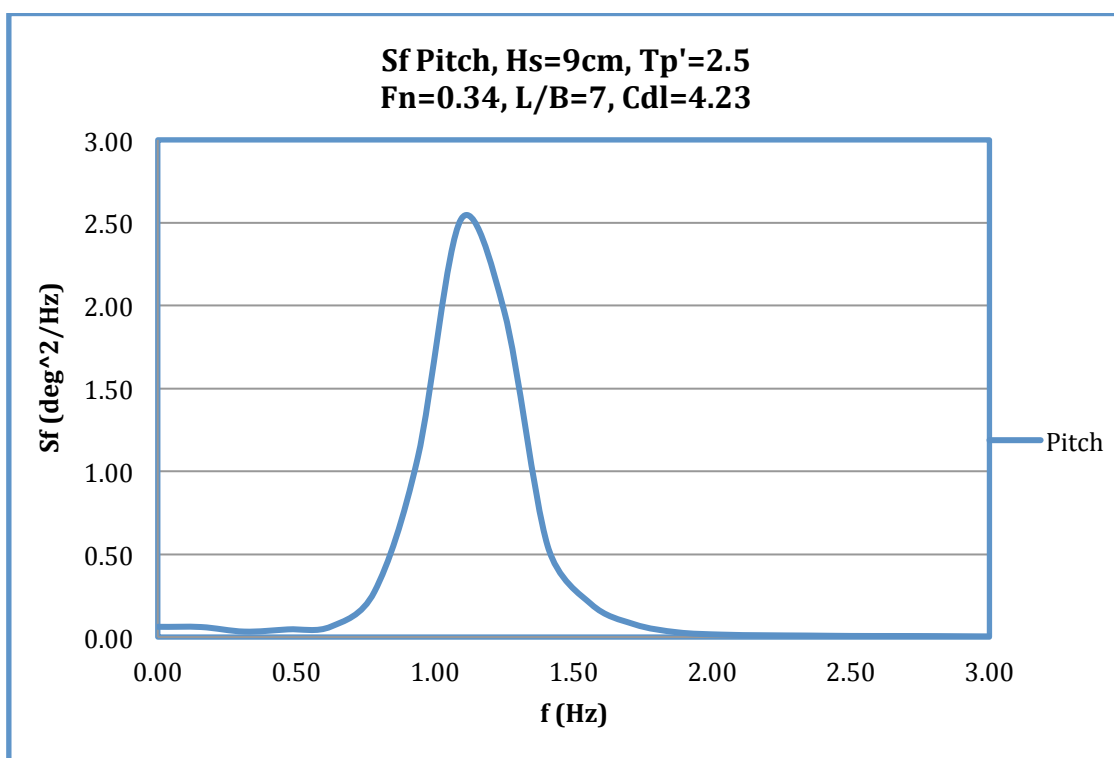
Διάγραμμα 4.5: Θεωρητικό (*Bretschneider*) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (*Wave gen tank*).



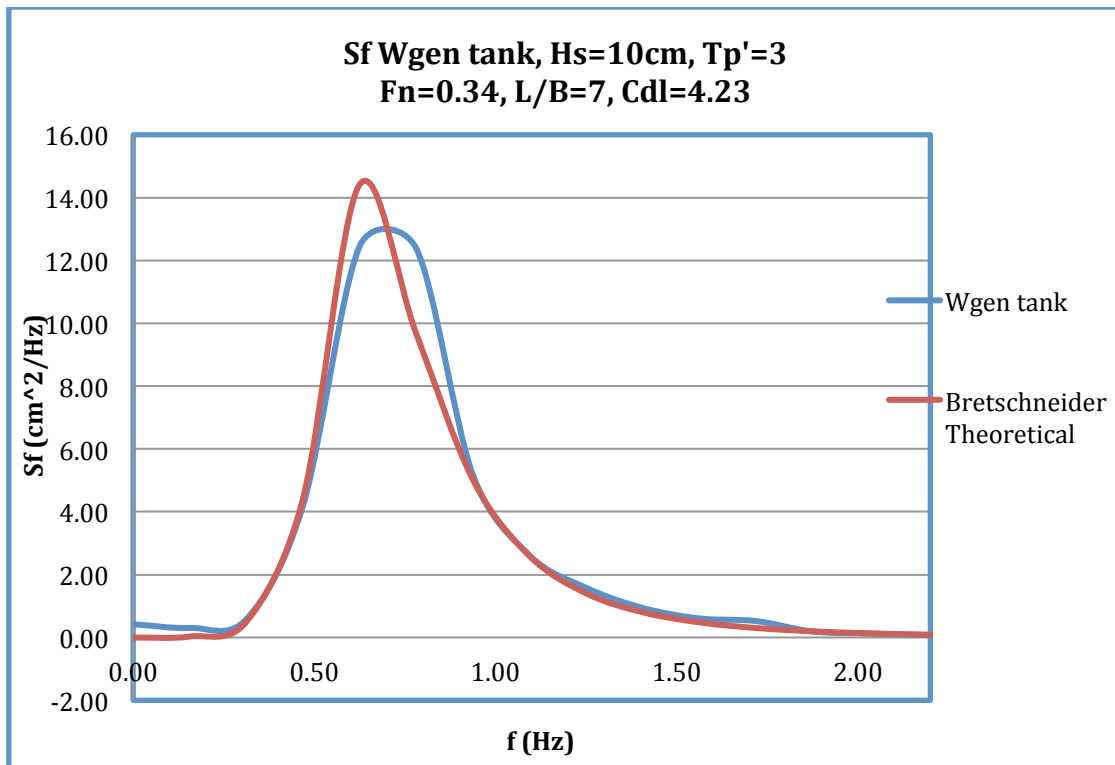
Διάγραμμα 4.6: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (*bow*), κέντρο βάρους (*middle*) και πρύμνη (*stern*).



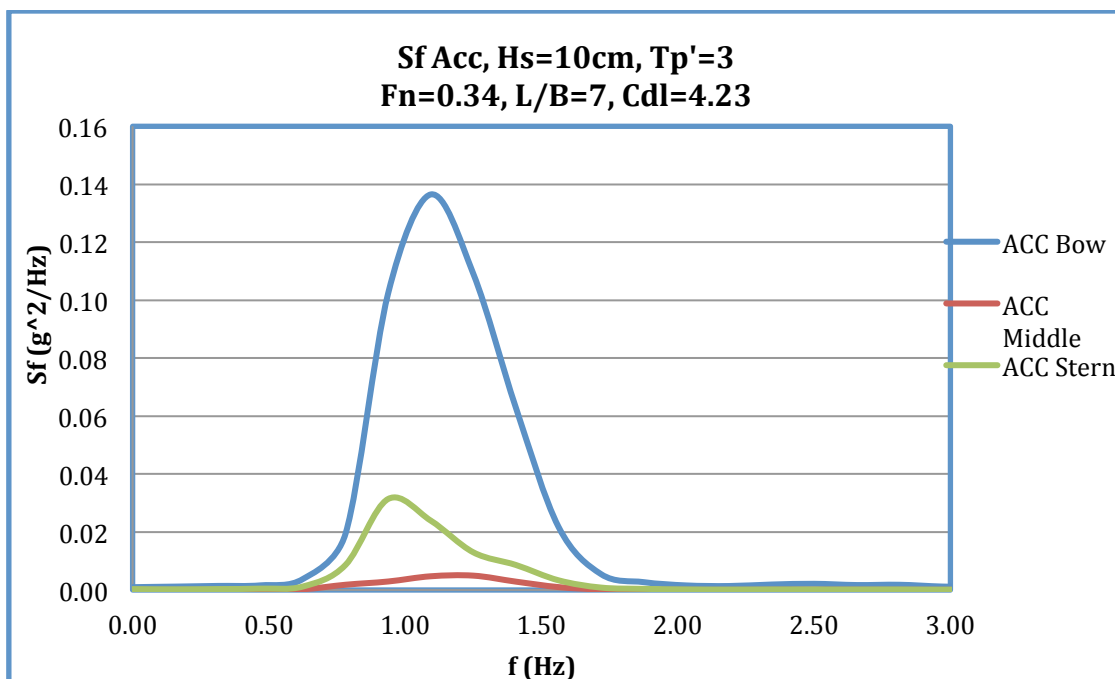
Διάγραμμα 4.7: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



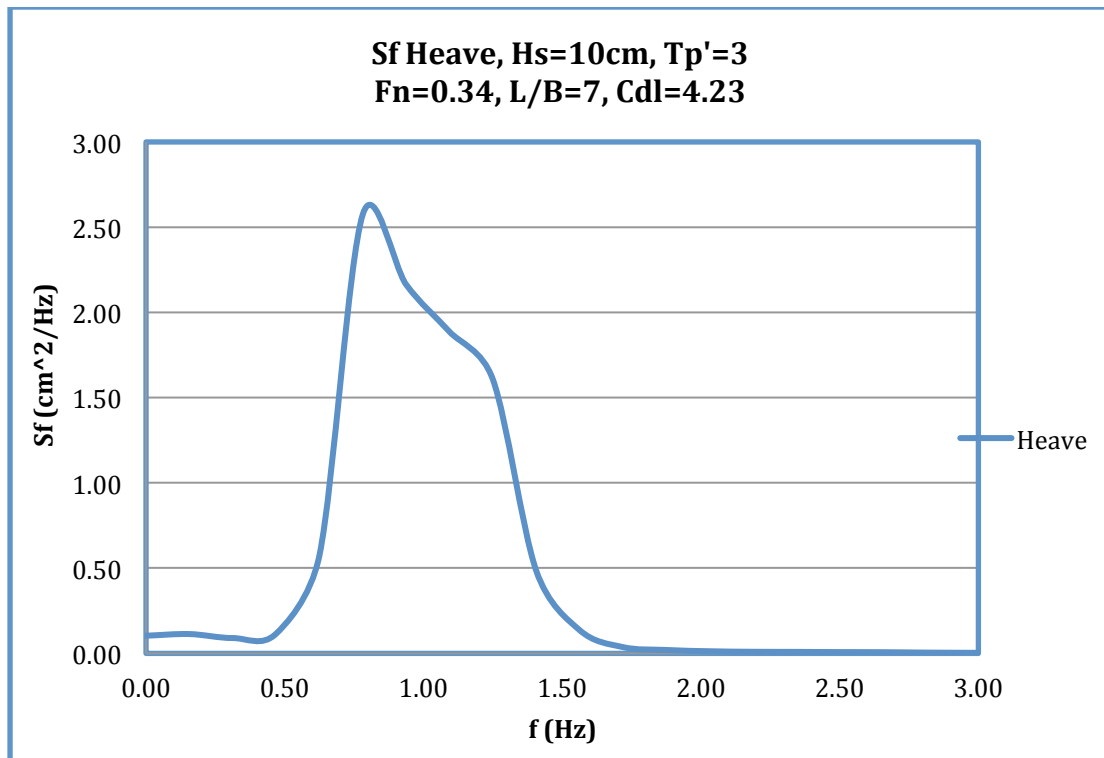
Διάγραμμα 4.8: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.



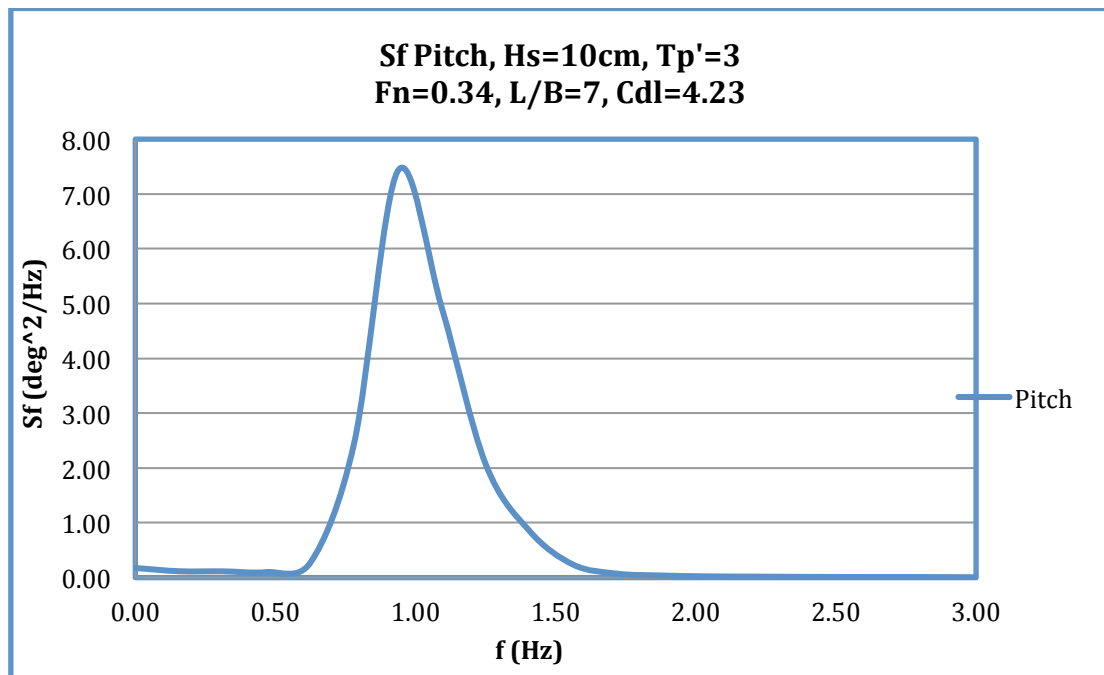
Διάγραμμα 4.9: Θεωρητικό (*Bretschneider*) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (*Wave gen tank*).



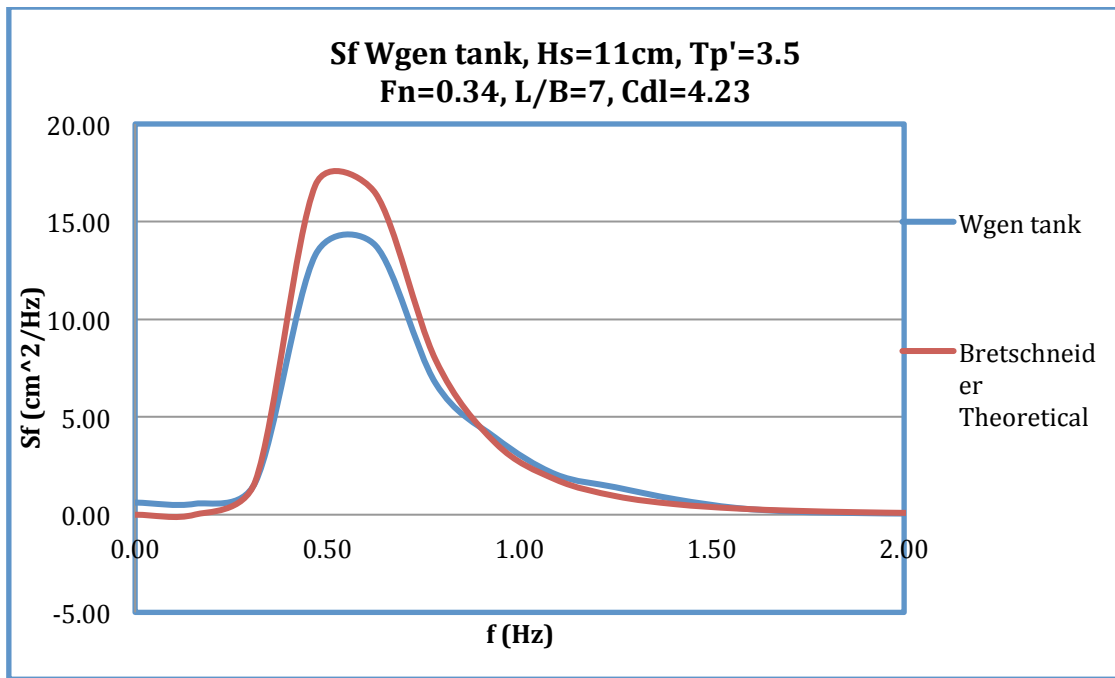
Διάγραμμα 4.10: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (*bow*), κέντρο βάρους (*middle*) και πρύμνη (*stern*).



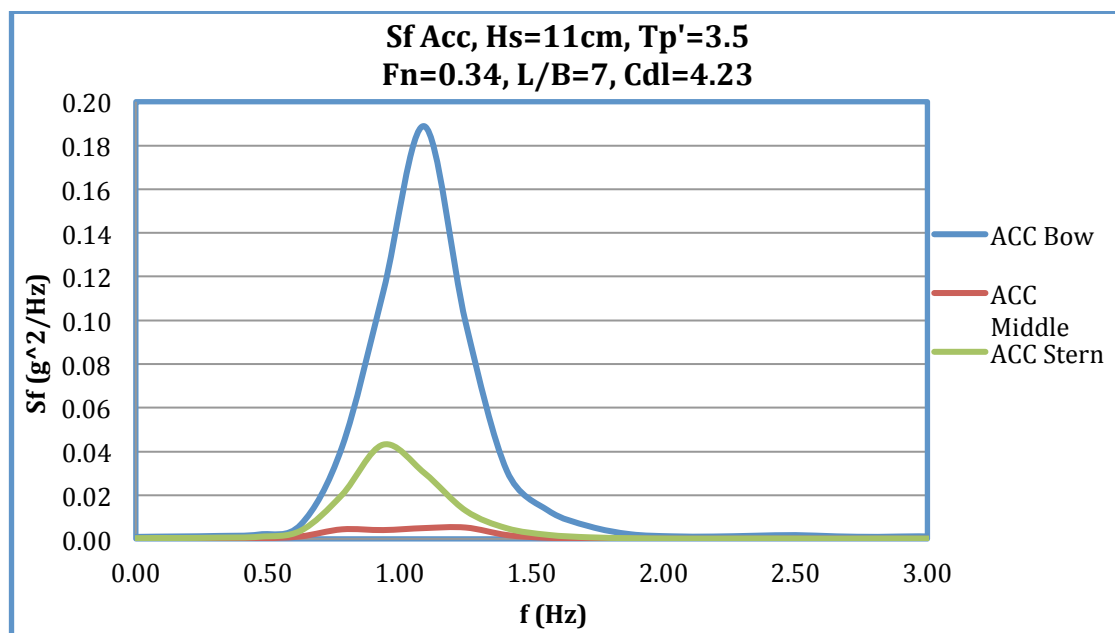
Διάγραμμα 4.11: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



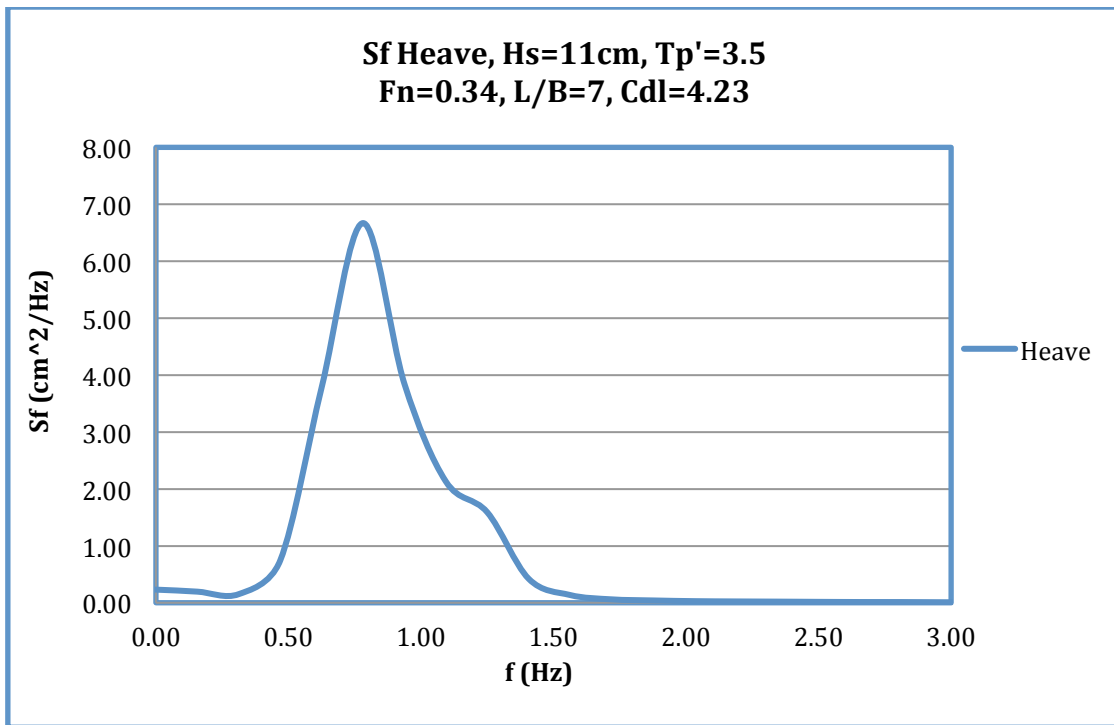
Διάγραμμα 4.12: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.



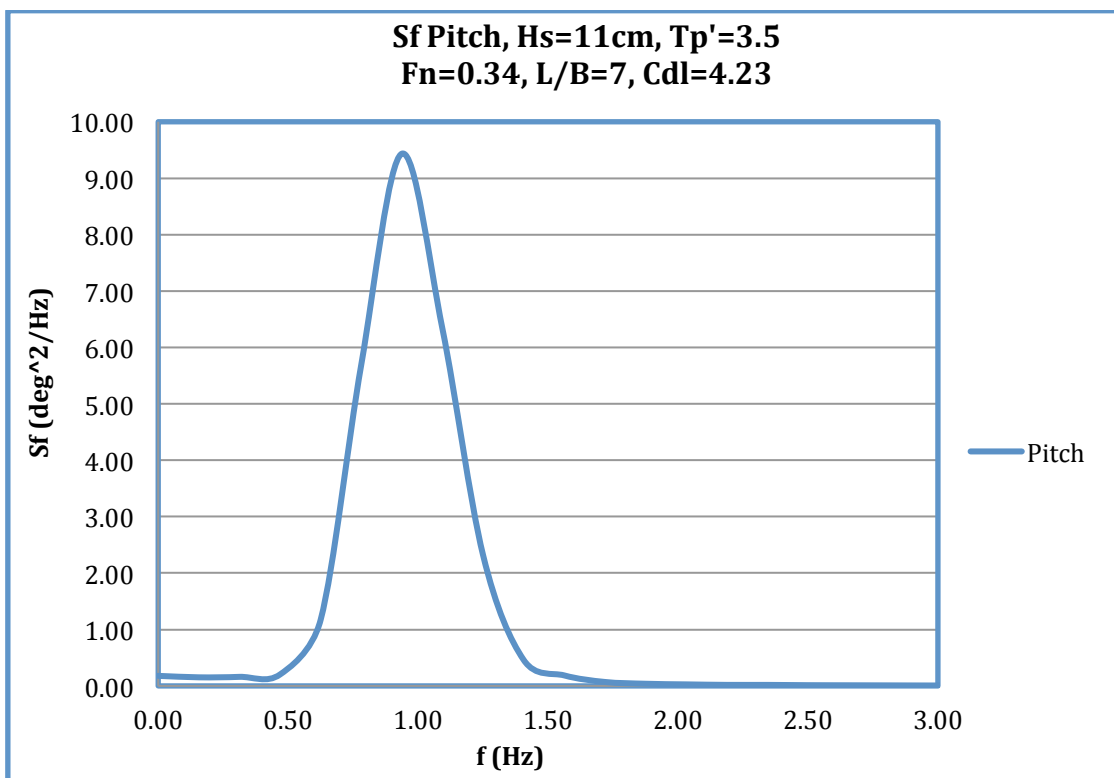
Διάγραμμα 4.13: Θεωρητικό (*Bretschneider*) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (*Wave gen tank*).



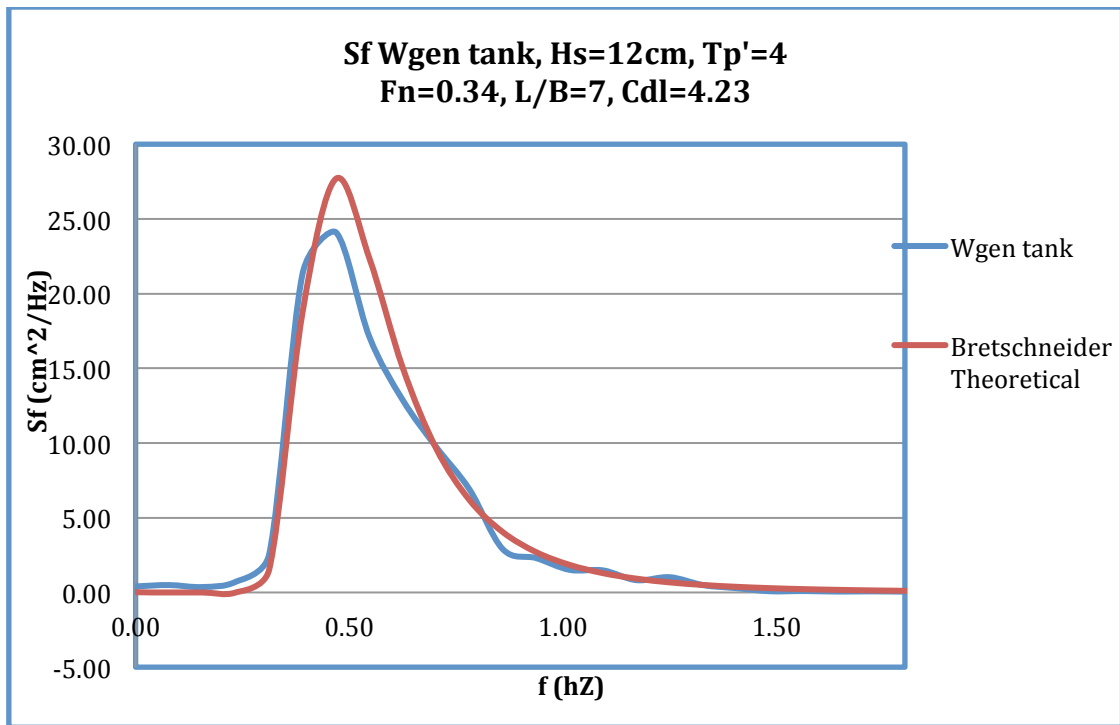
Διάγραμμα 4.14: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern).



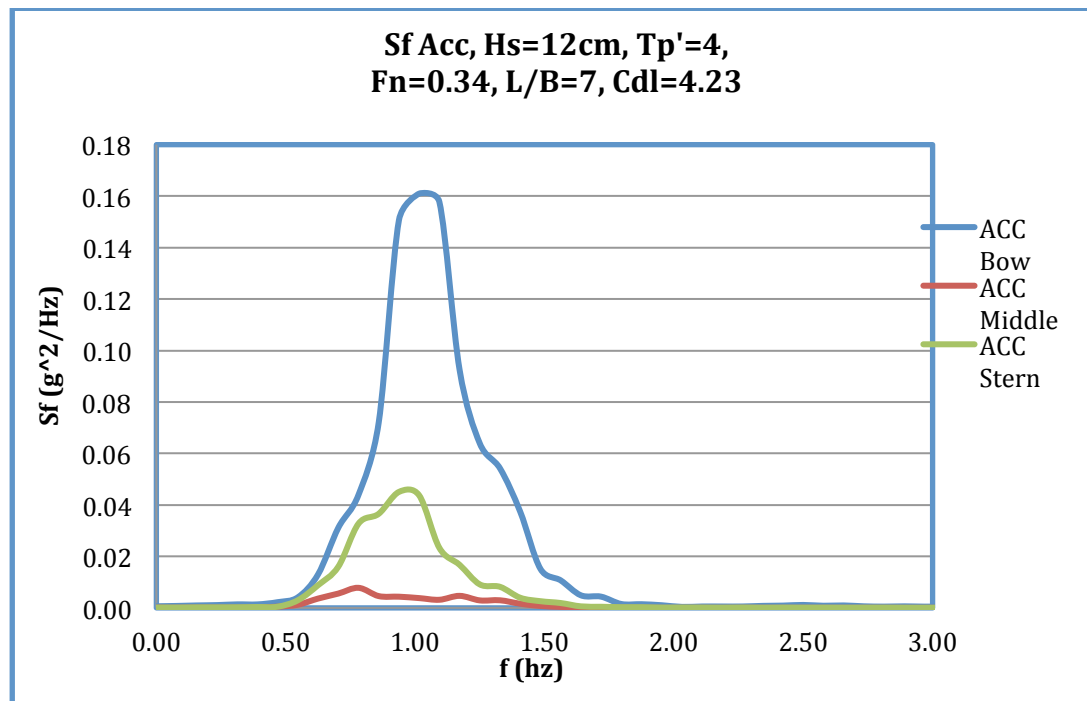
Διάγραμμα 4.15: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



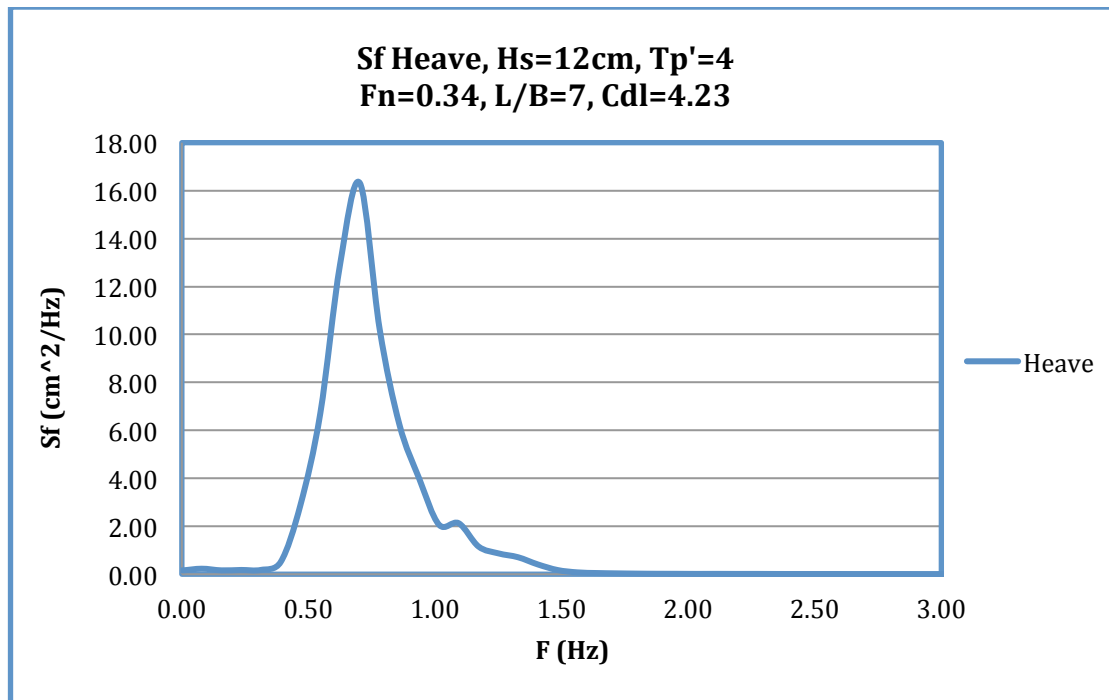
Διάγραμμα 4.16: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.



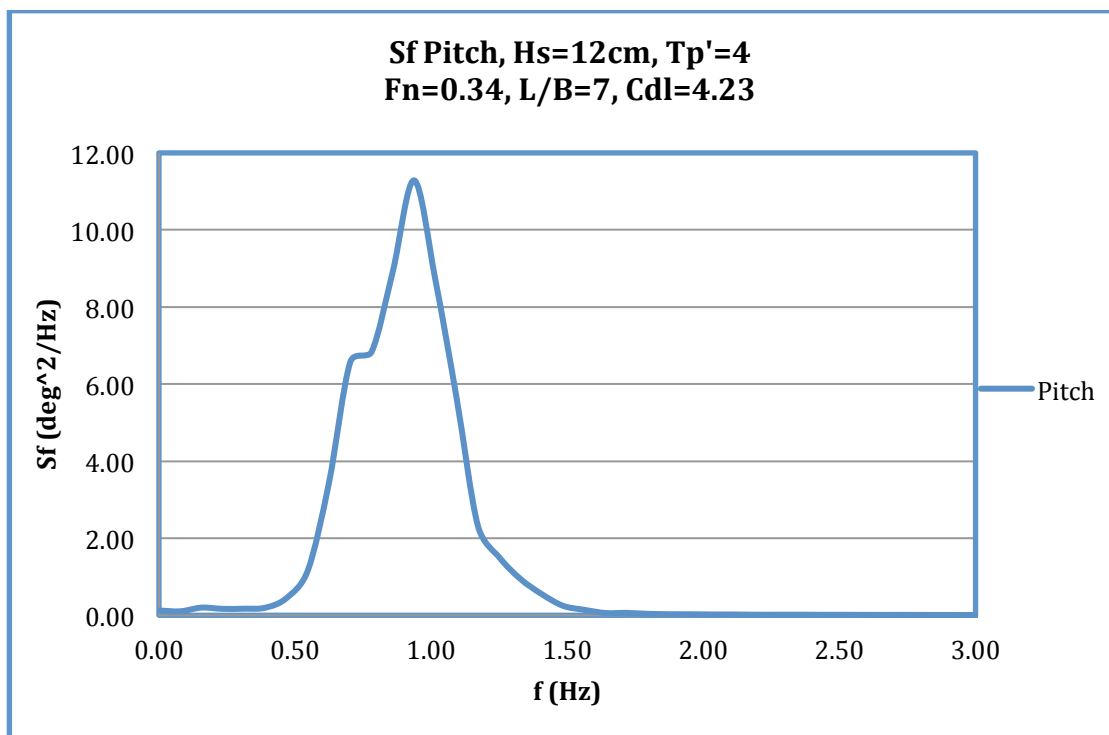
Διάγραμμα 4.17: Θεωρητικό (*Bretschneider*) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (*Wave gen tank*).



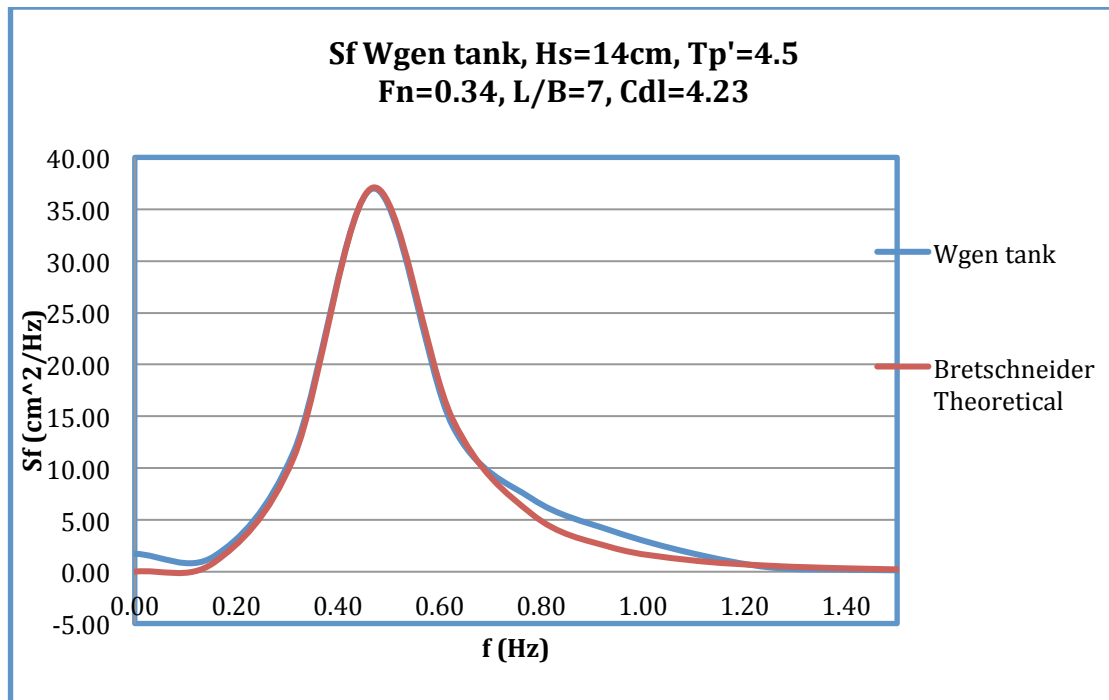
Διάγραμμα 4.18: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (*bow*), κέντρο βάρους (*middle*) και πρύμνη (*stern*).



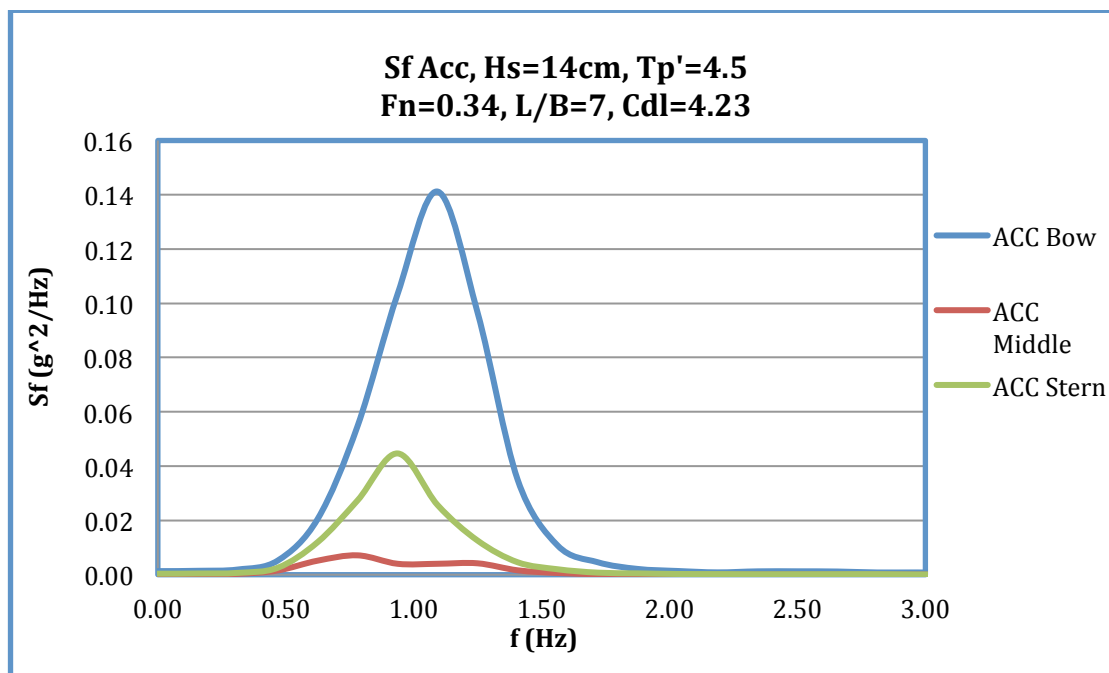
Διάγραμμα 4.19: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



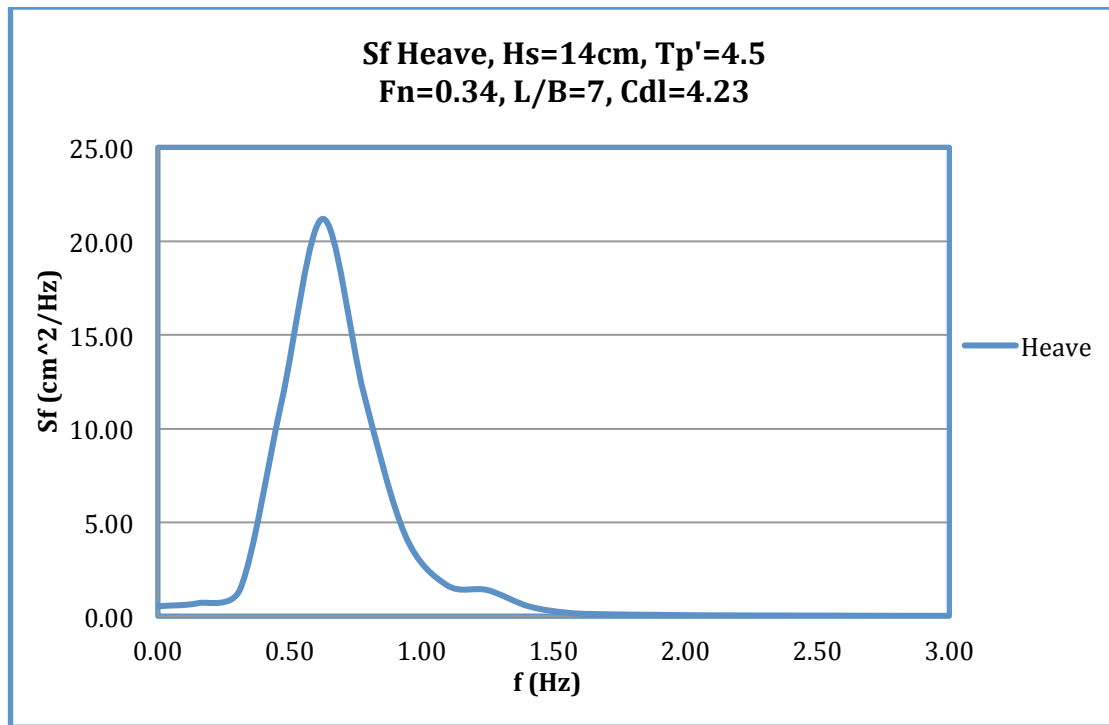
Διάγραμμα 4.20: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.



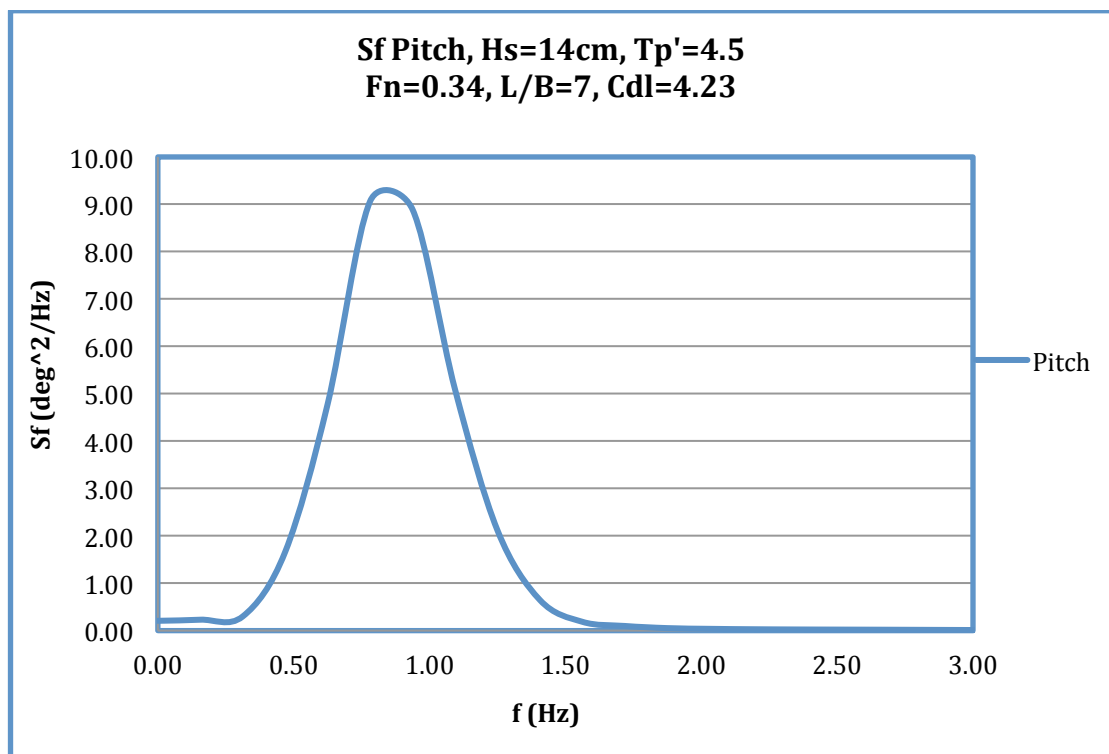
Διάγραμμα 4.21: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



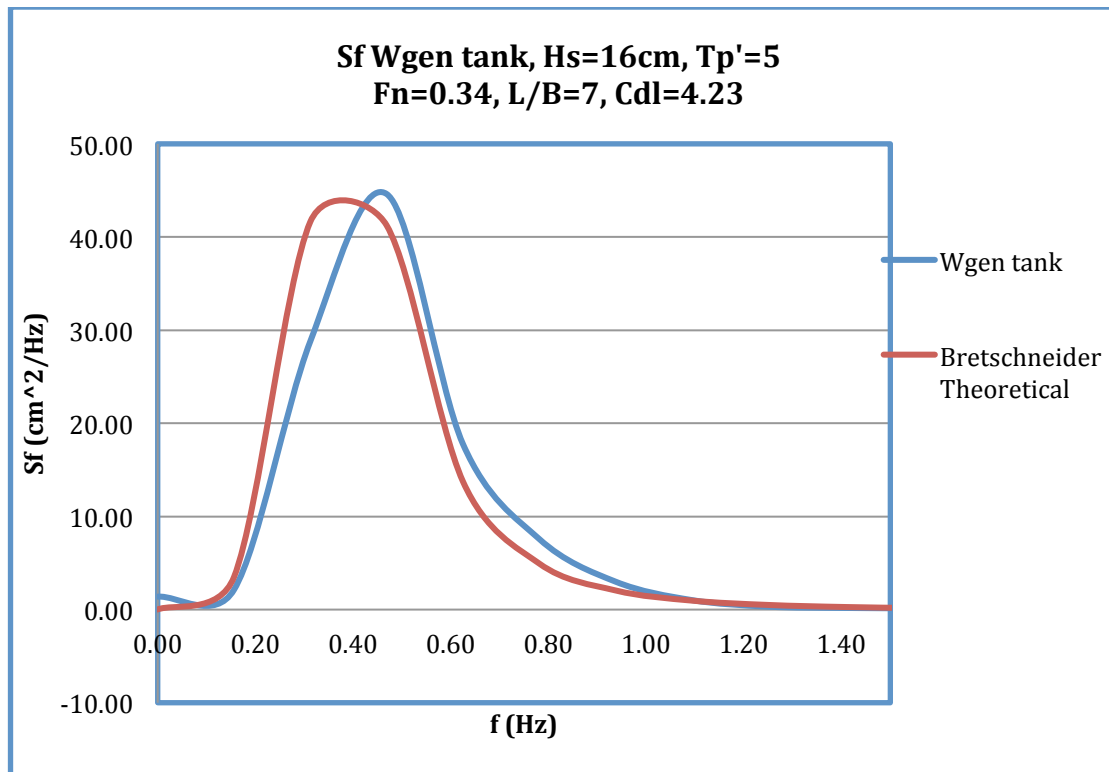
Διάγραμμα 4.22: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern).



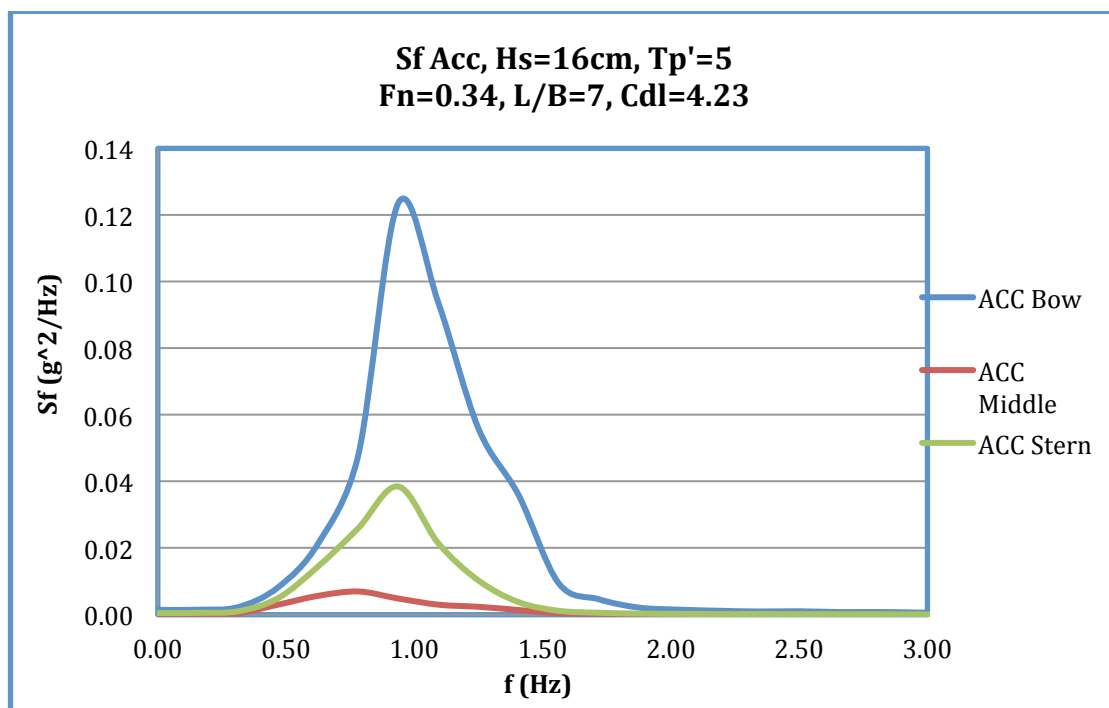
Διάγραμμα 4.23: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



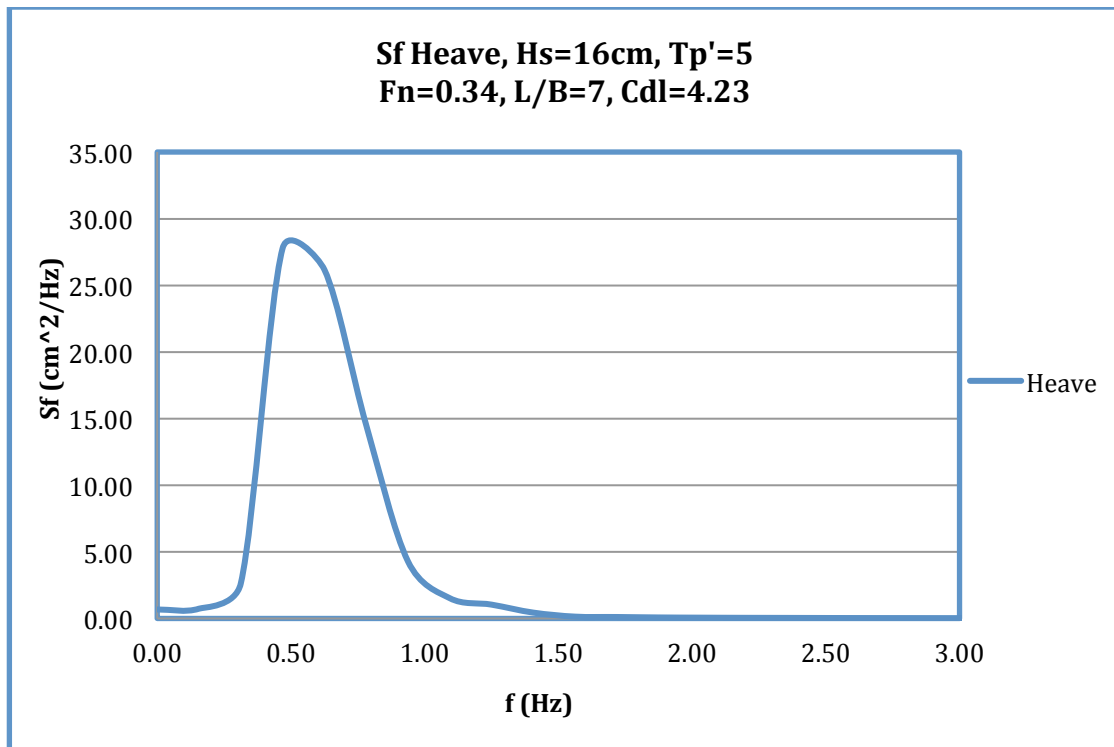
Διάγραμμα 4.24: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.



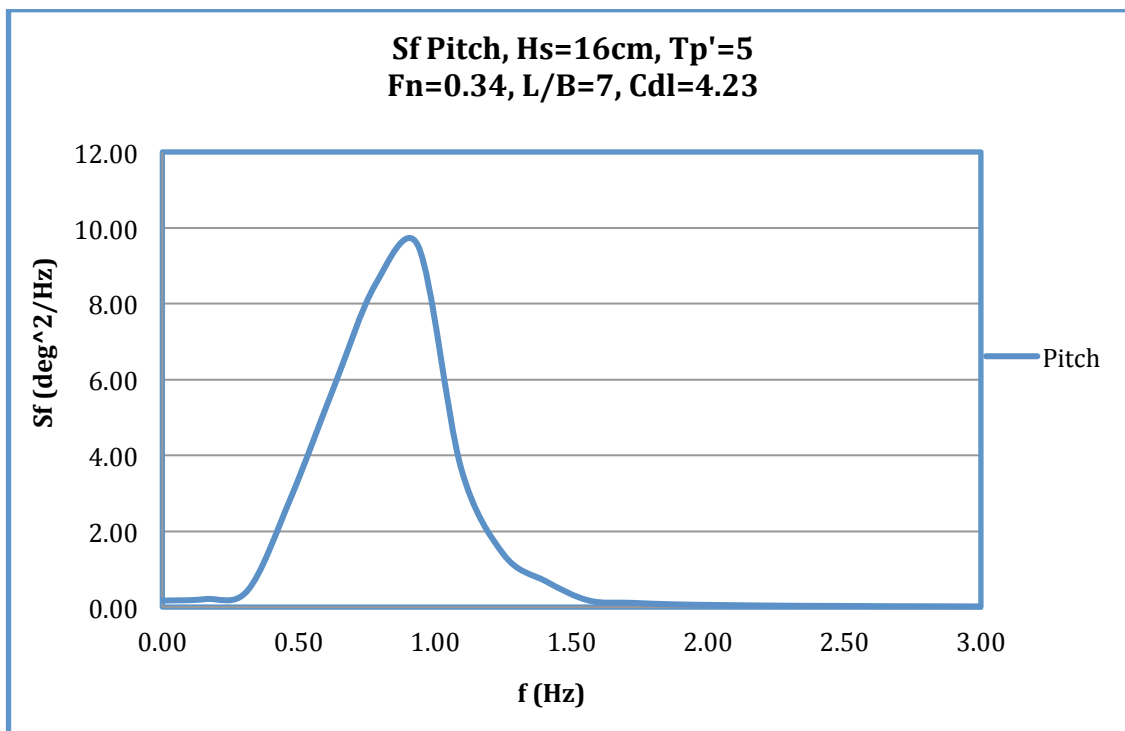
Διάγραμμα 4.25: Θεωρητικό (*Bretschneider*) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (*Wave gen tank*).



Διάγραμμα 4.26: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (*bow*), κέντρο βάρους (*middle*) και πρύμνη (*stern*).

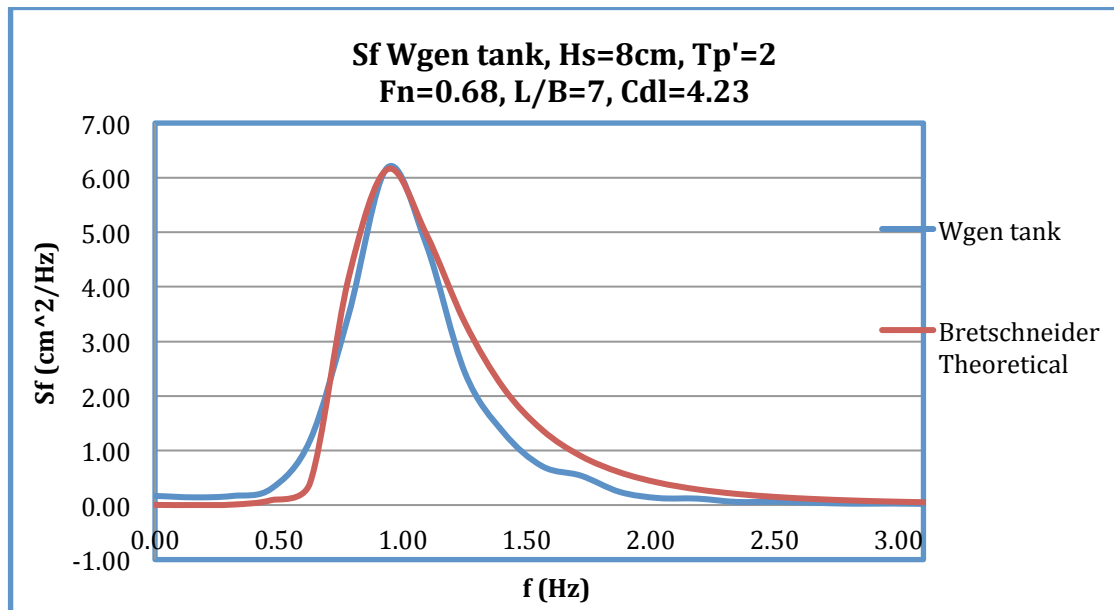


Διάγραμμα 4.27: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.

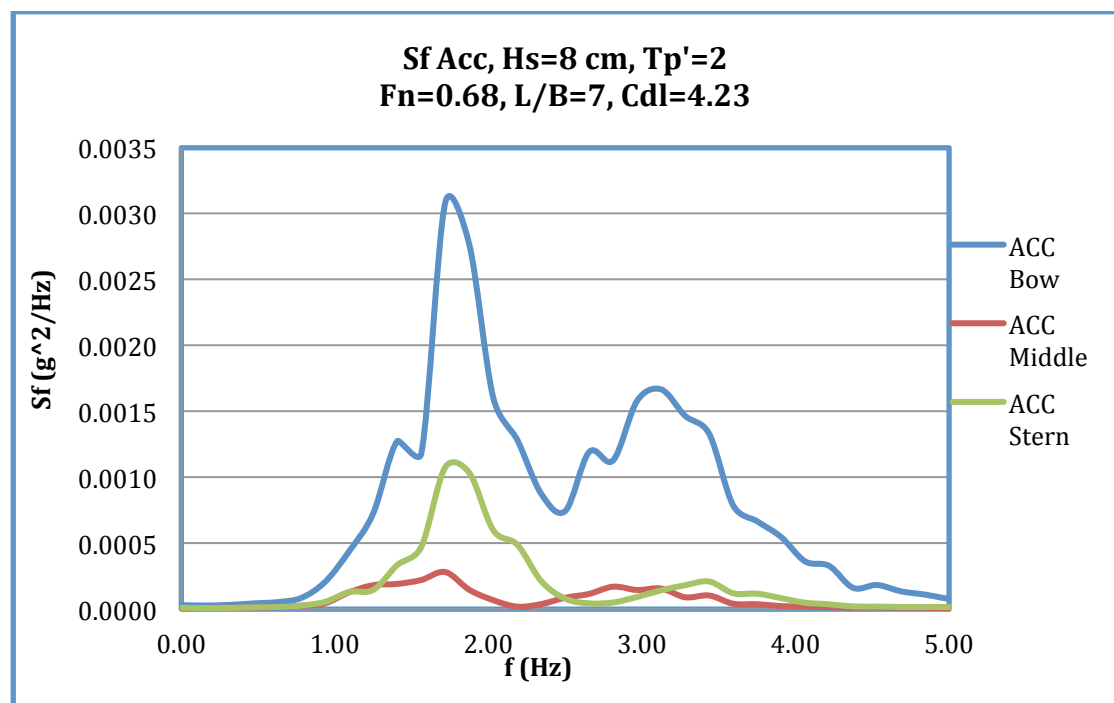


Διάγραμμα 4.28: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.

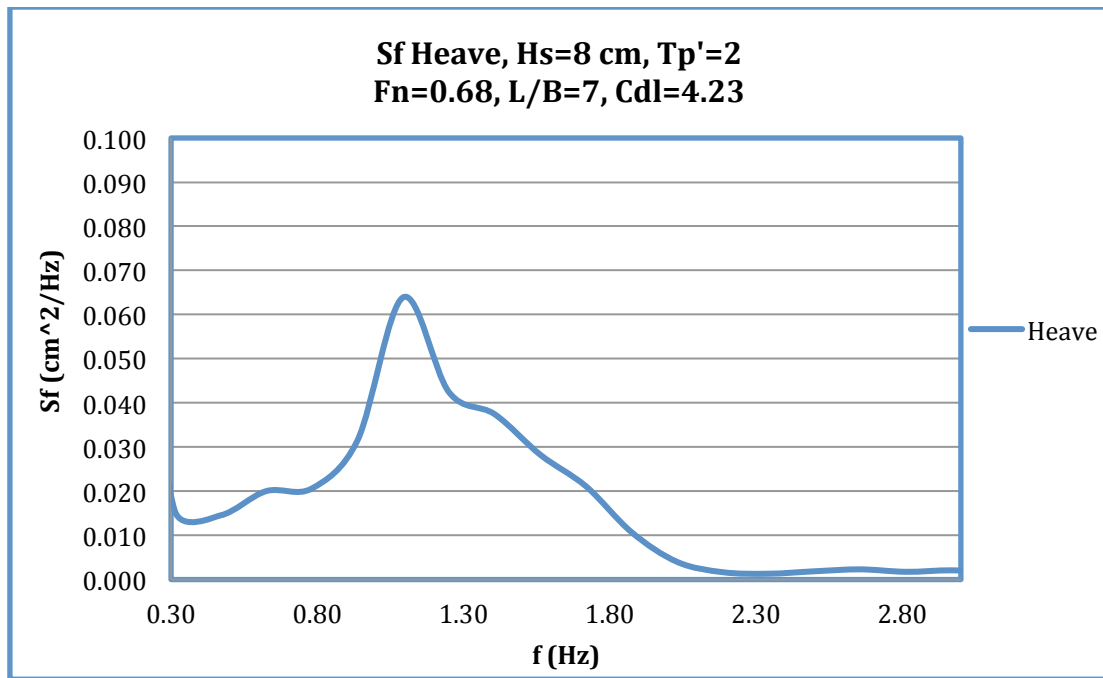
4.3.1.2 Αποτελέσματα πειραμάτων για ταχύτητα $F_n = 0.68$



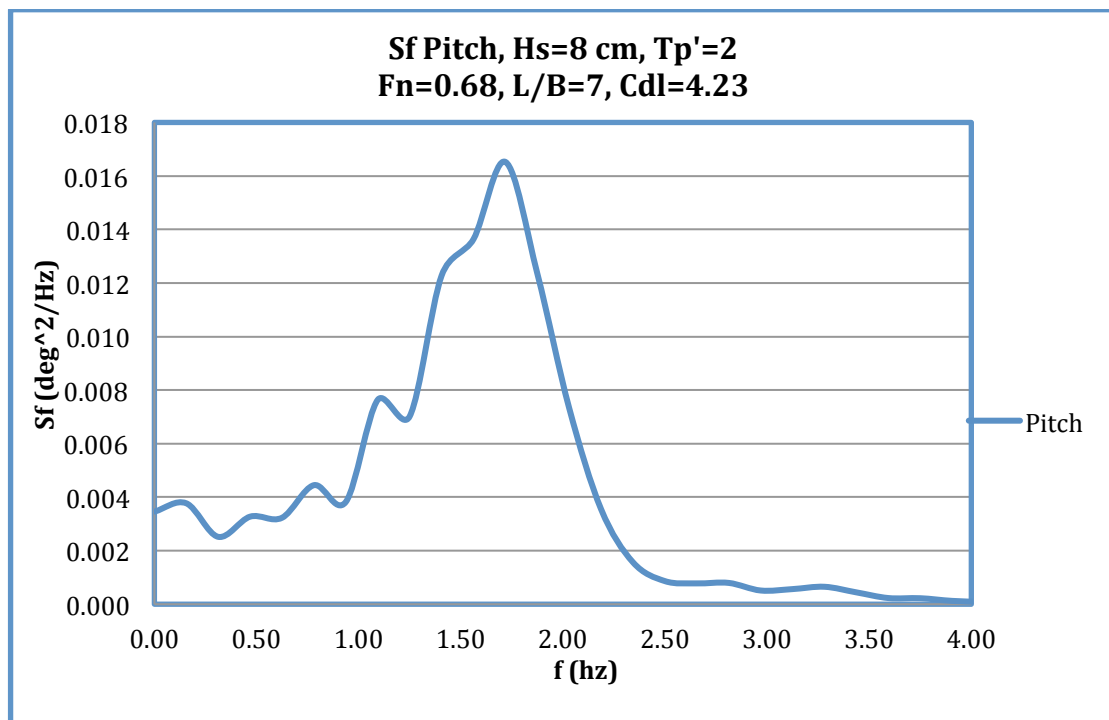
Διάγραμμα 4.29: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (*Wave gen tank*).



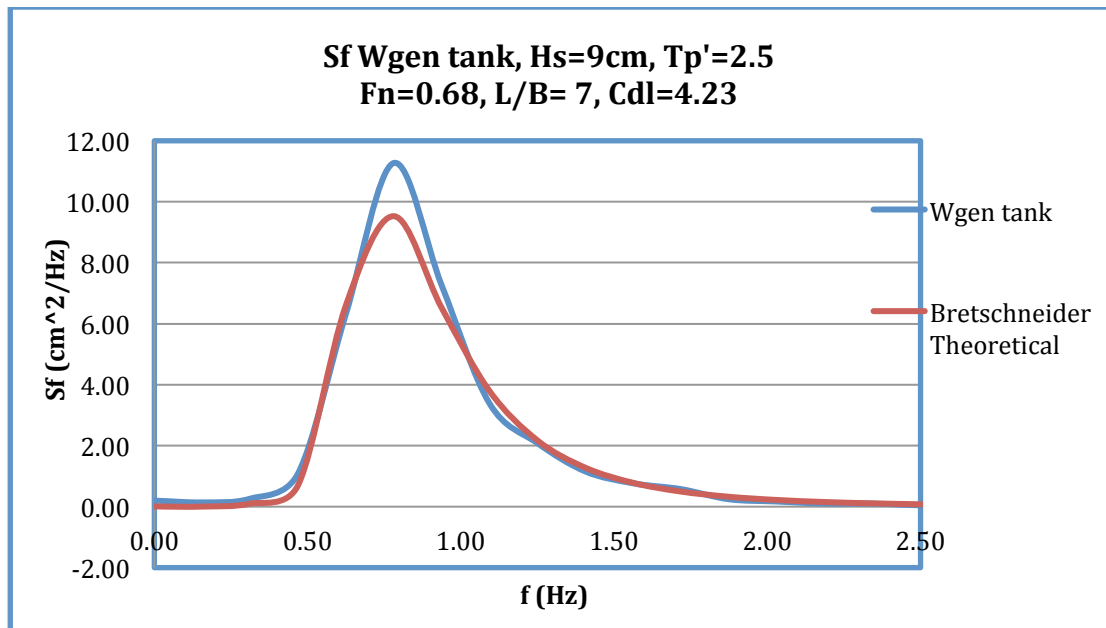
Διάγραμμα 4.30: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern).



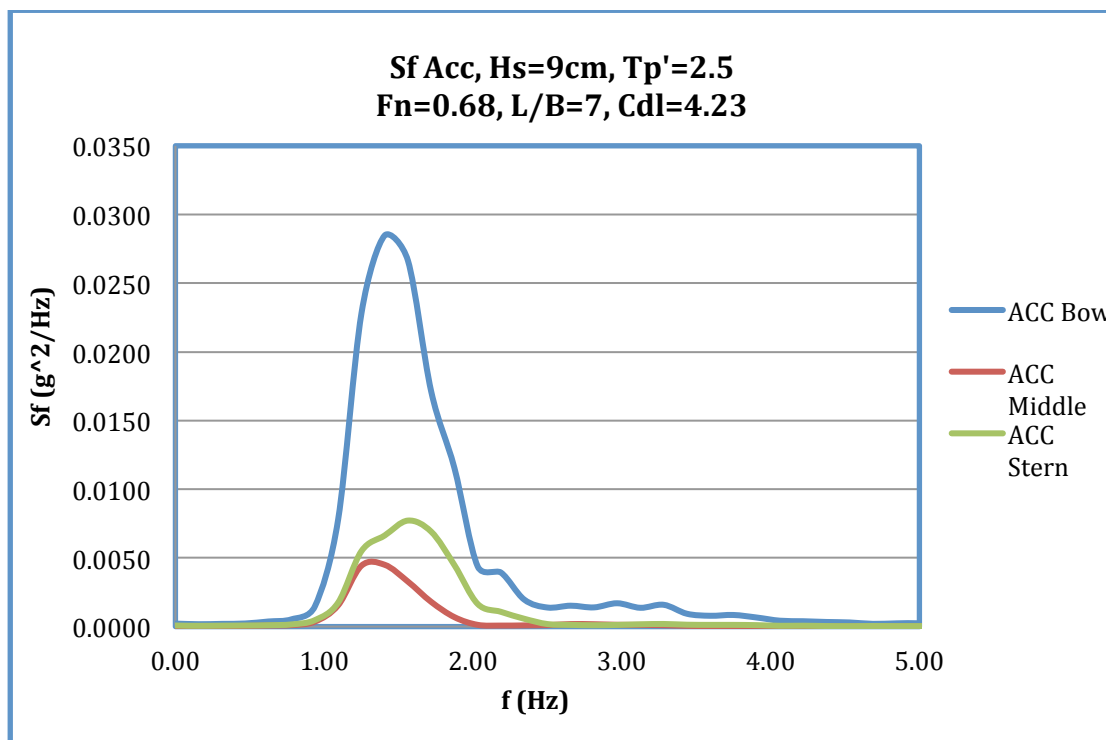
Διάγραμμα 4.31: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



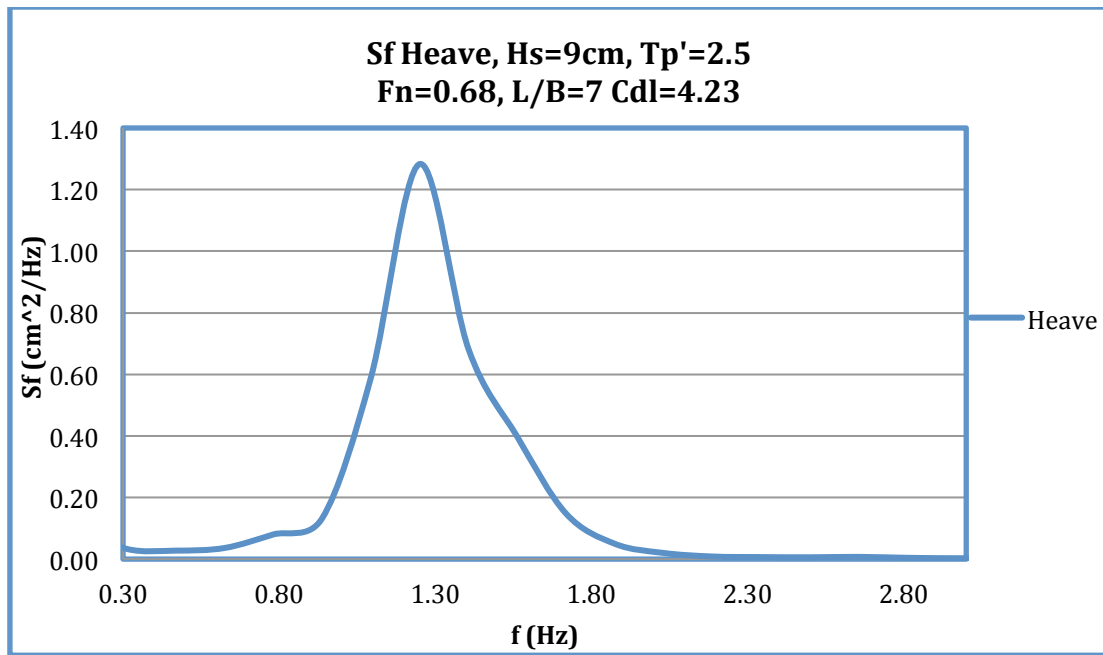
Διάγραμμα 4.32: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.



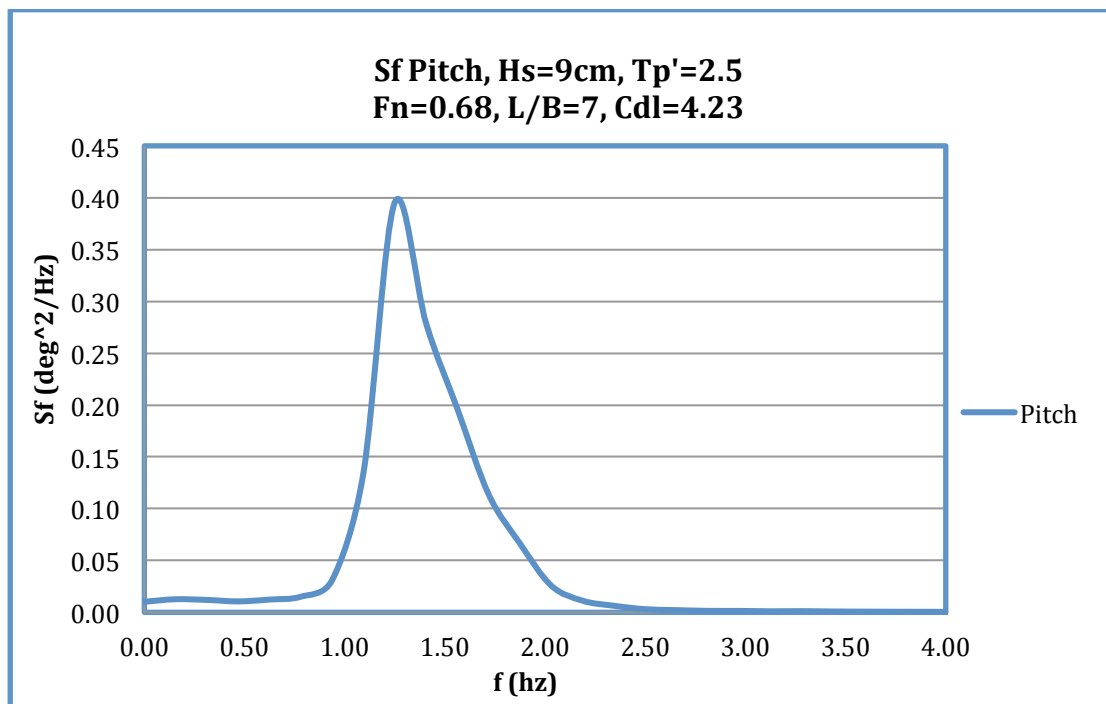
Διάγραμμα 4.33: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



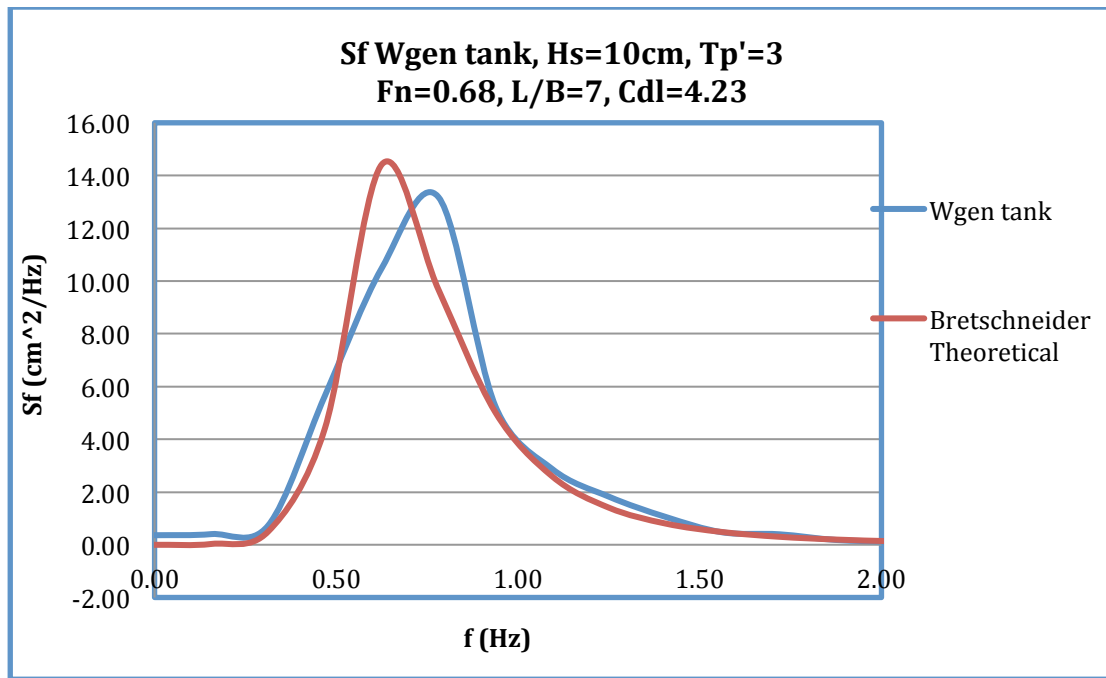
Διάγραμμα 4.34: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern).



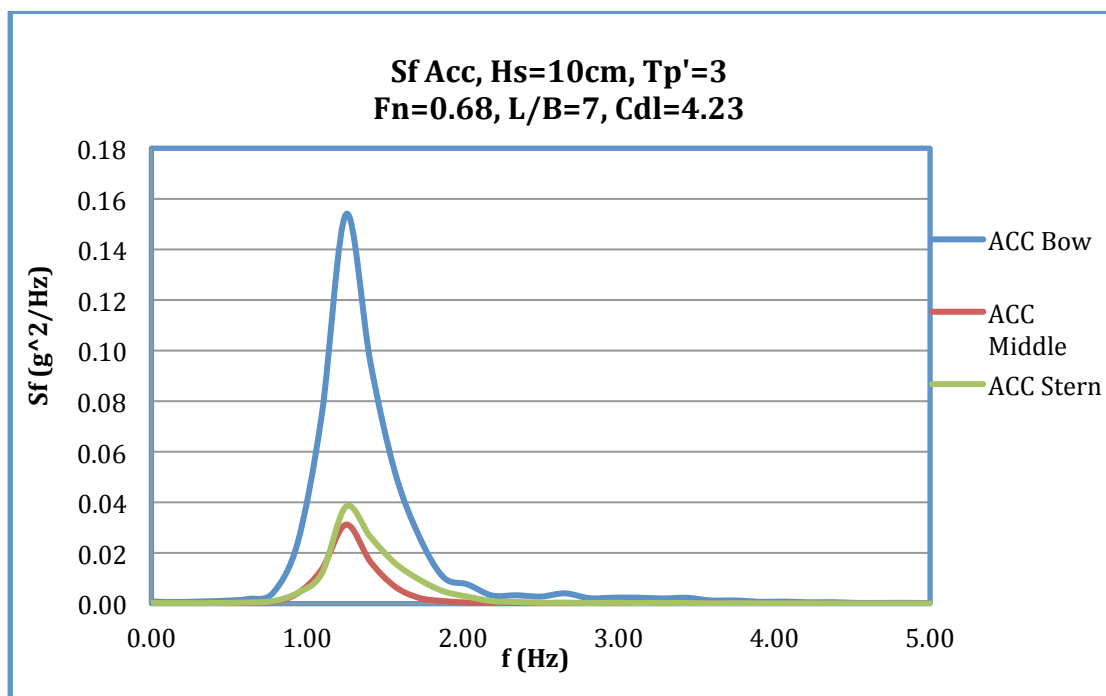
Διάγραμμα 4.35: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



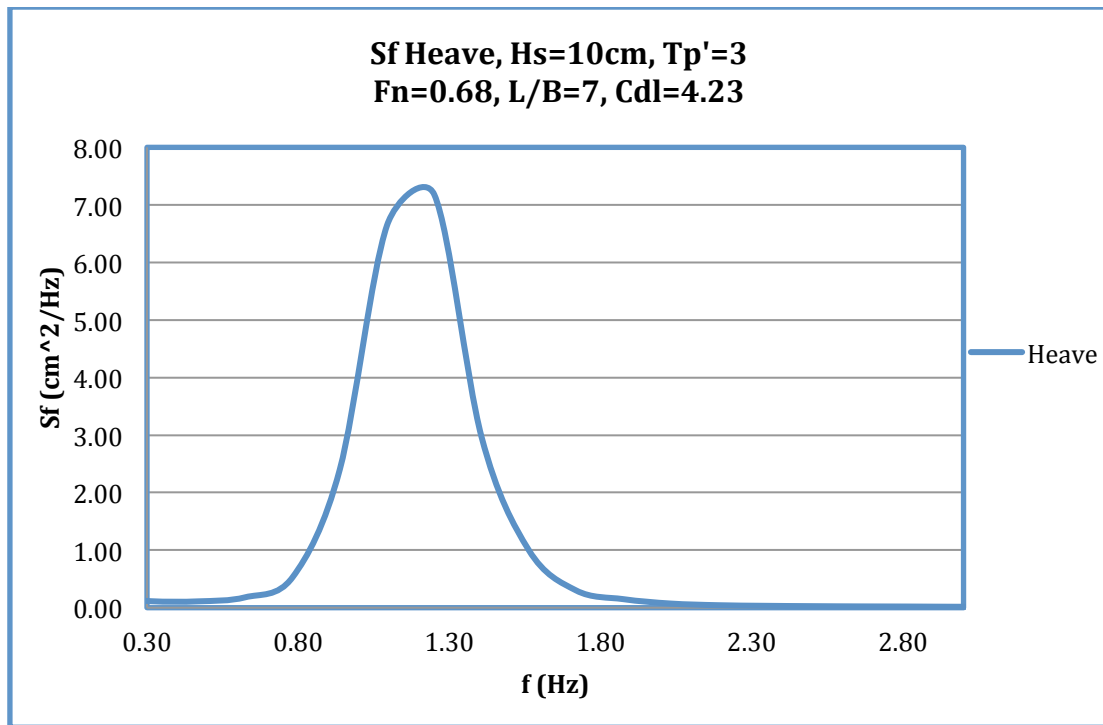
Διάγραμμα 4.36: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.



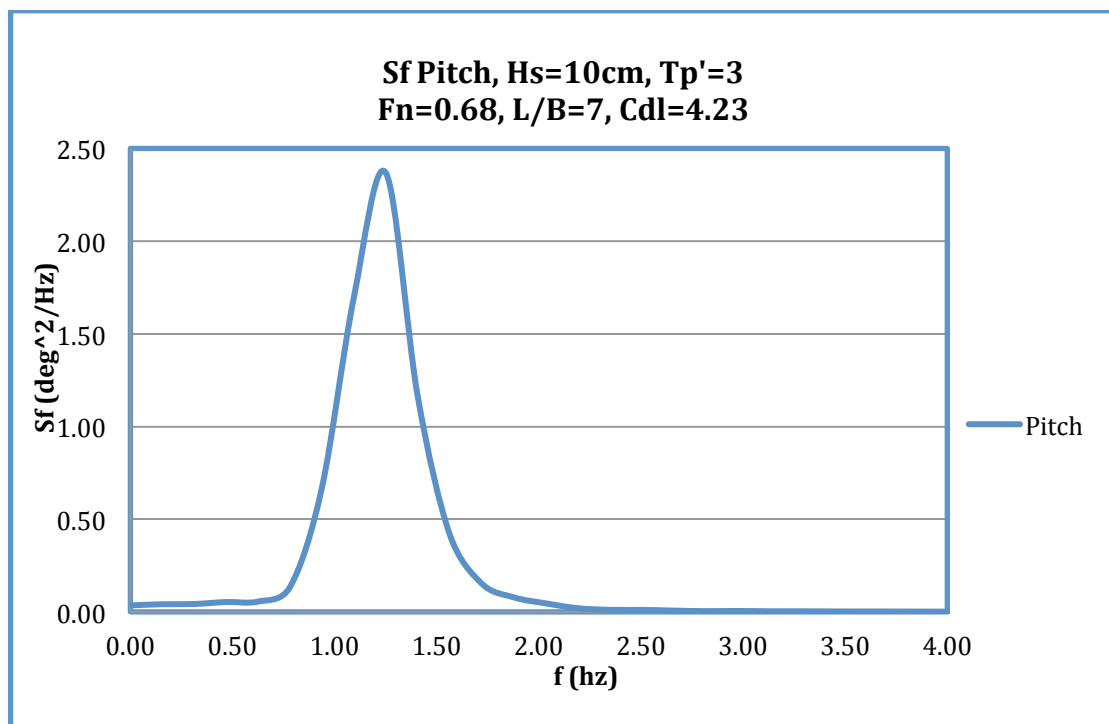
Διάγραμμα 4.37: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



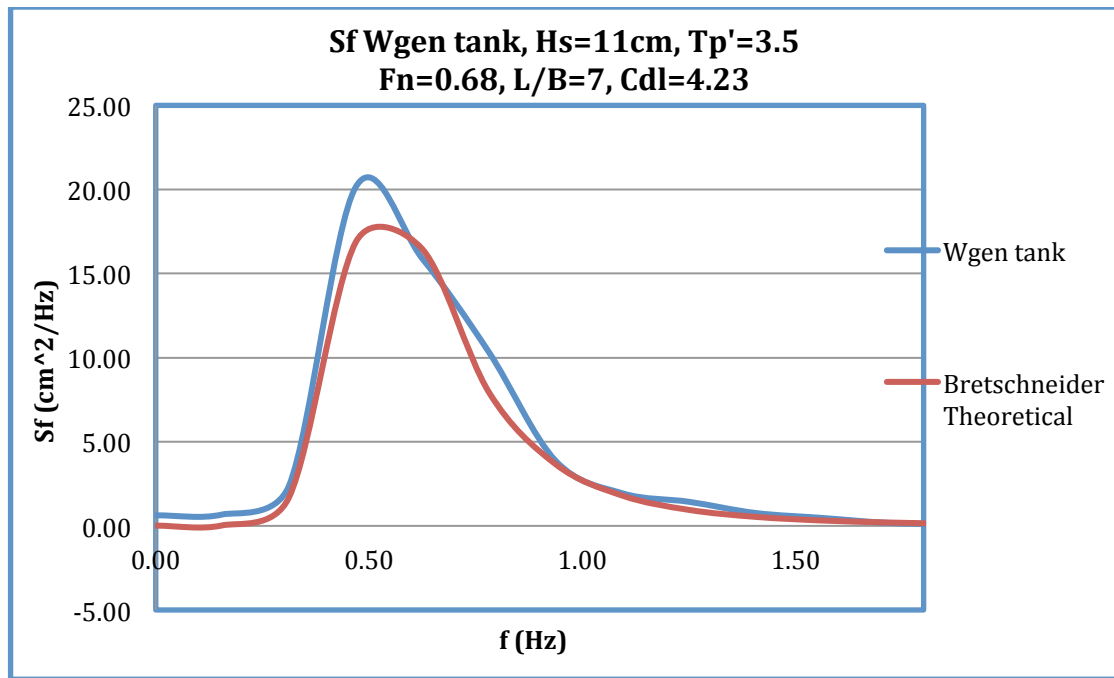
Διάγραμμα 4.38: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern).



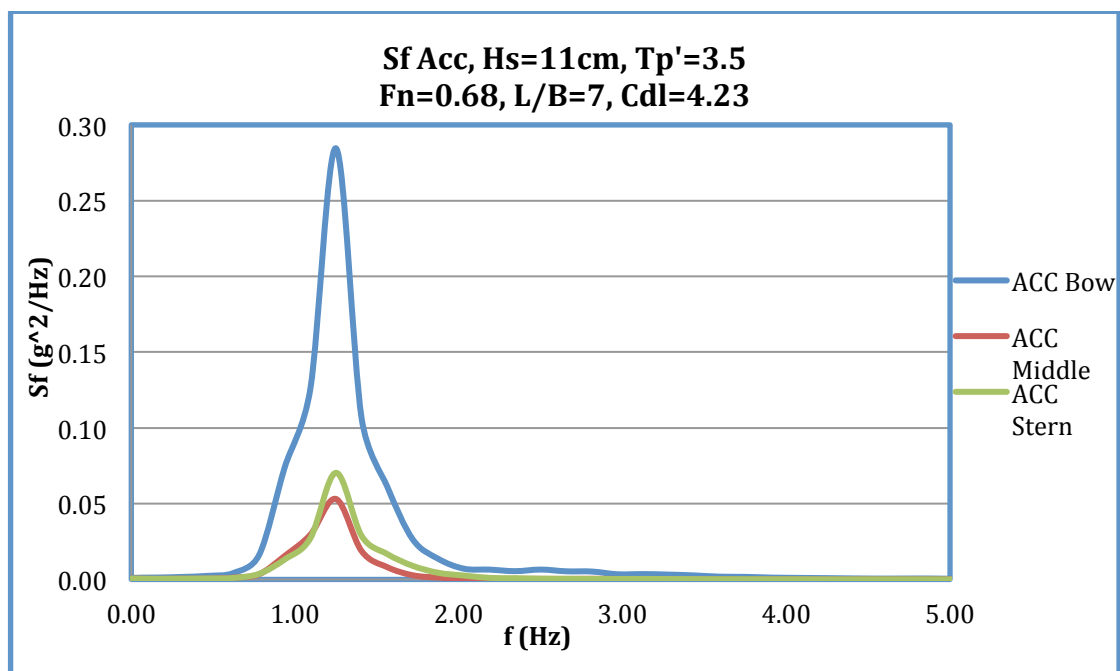
Διάγραμμα 4.39: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



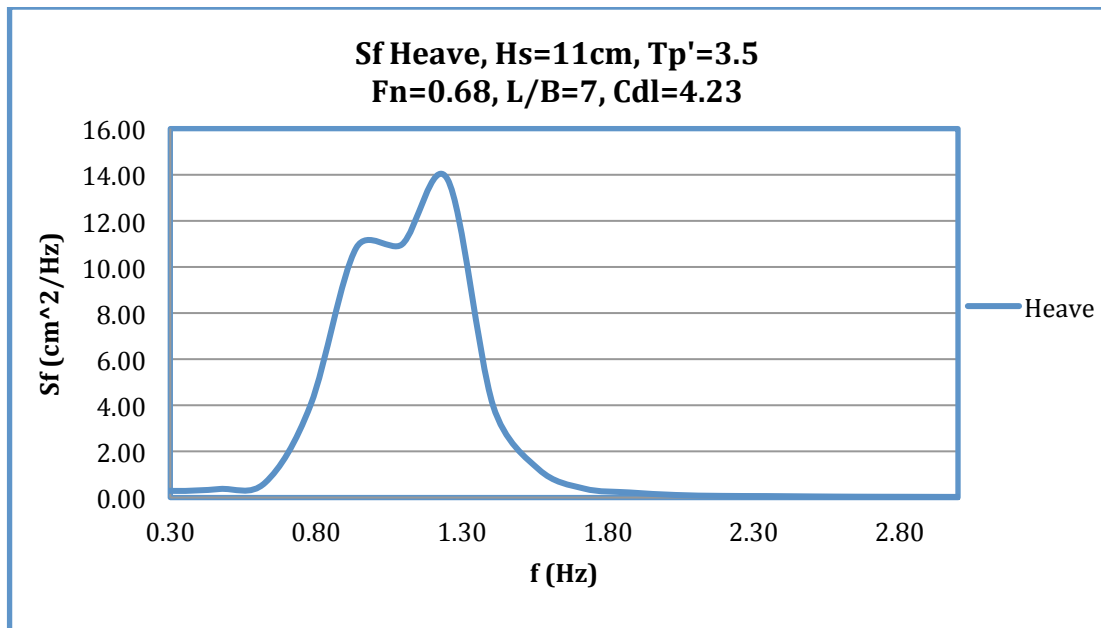
Διάγραμμα 4.40: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.



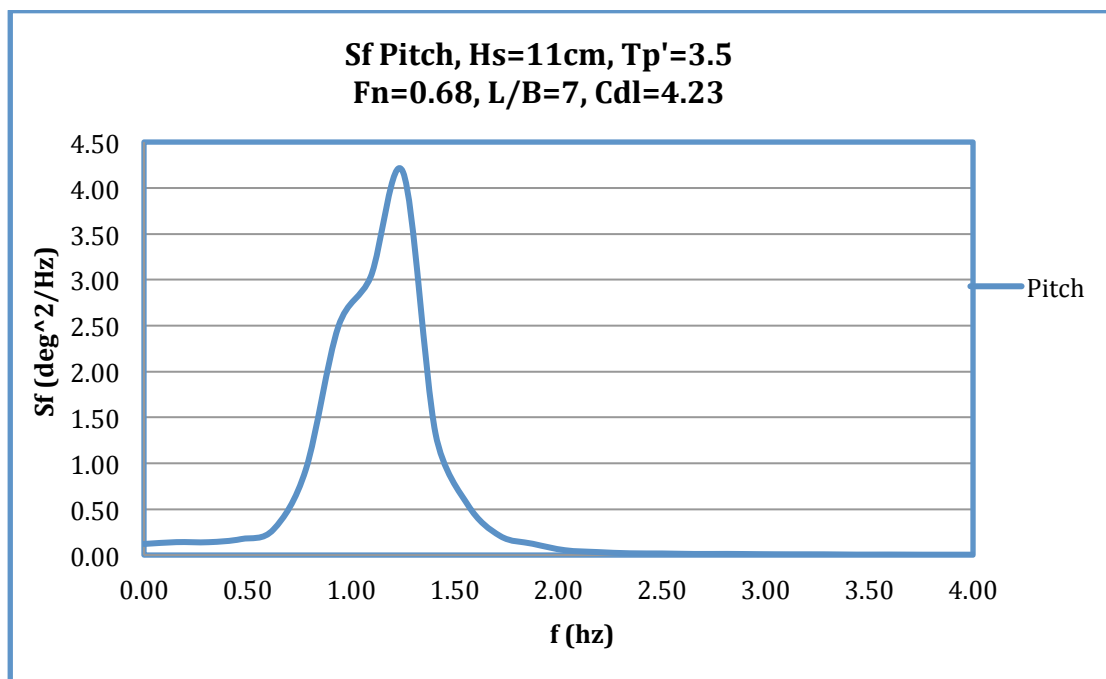
Διάγραμμα 4.41: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (*Wave gen tank*).



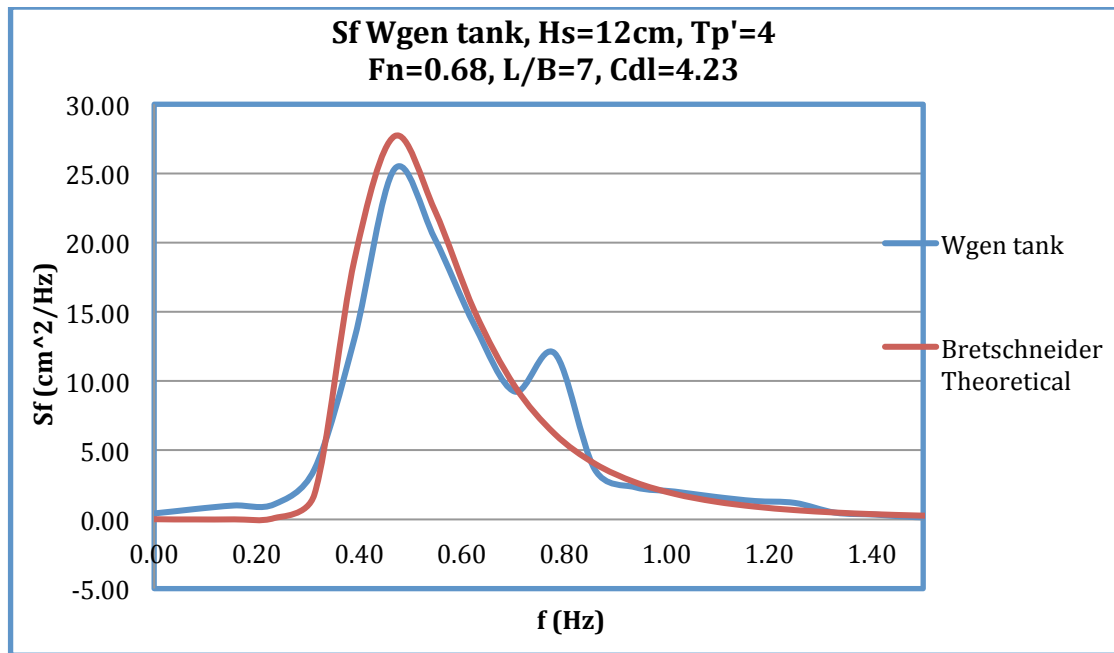
Διάγραμμα 4.42: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern).



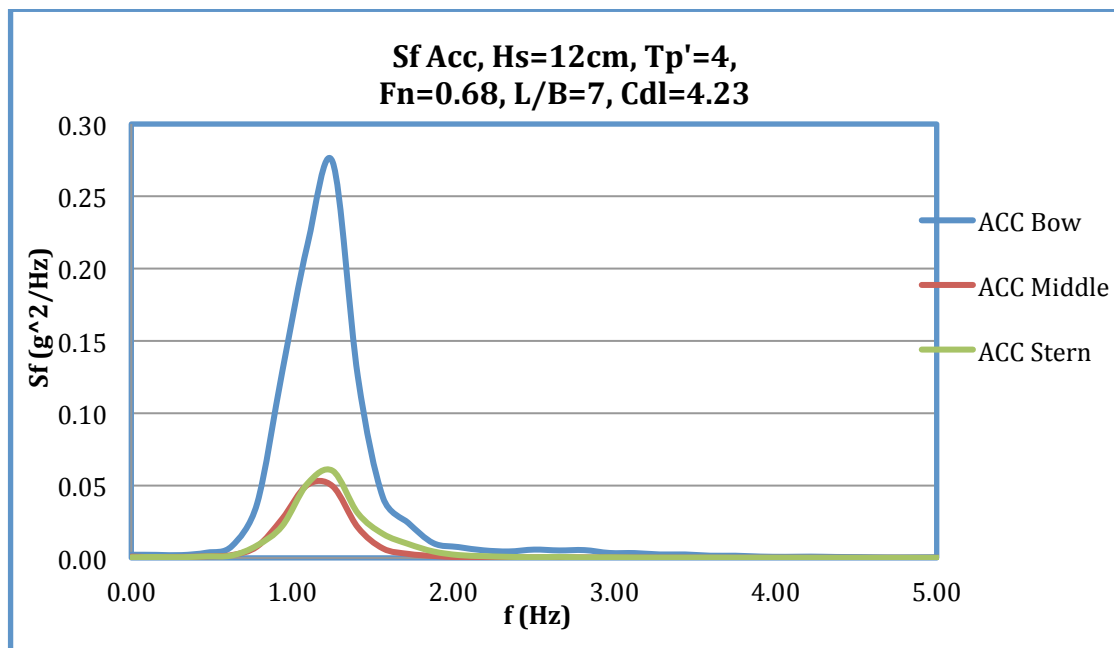
Διάγραμμα 4.43: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



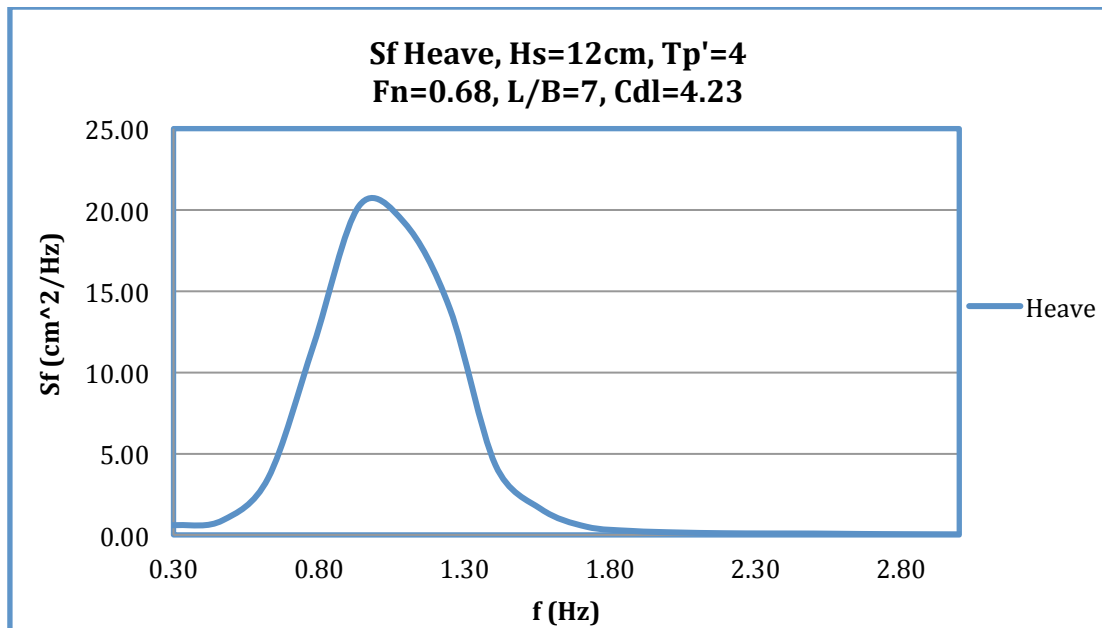
Διάγραμμα 4.44: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.



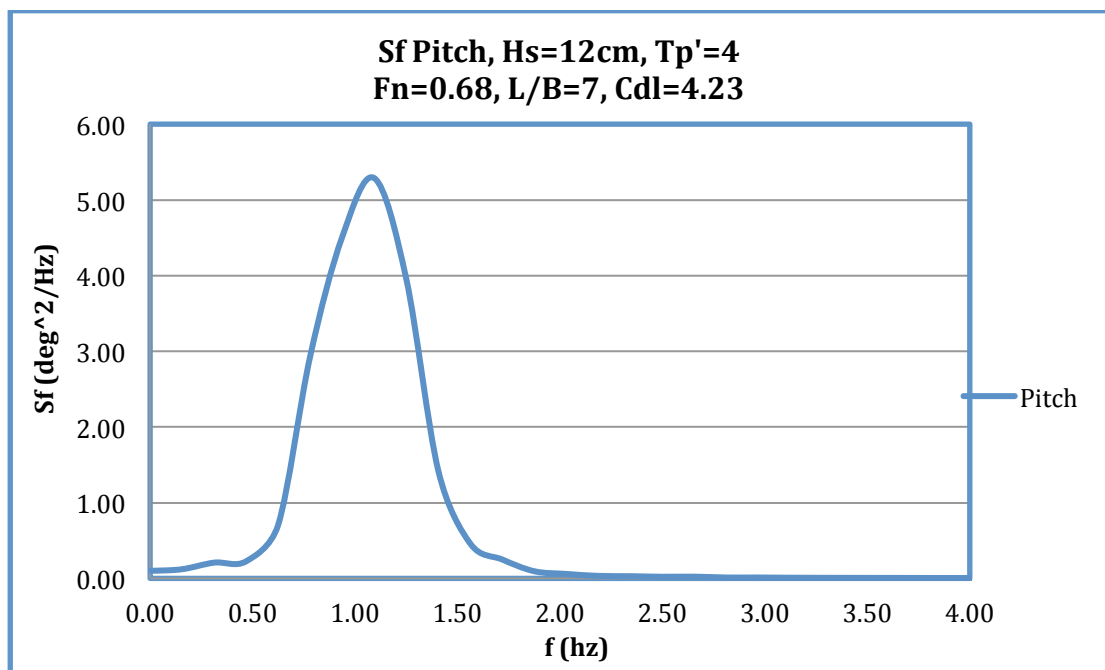
Διάγραμμα 4.45: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



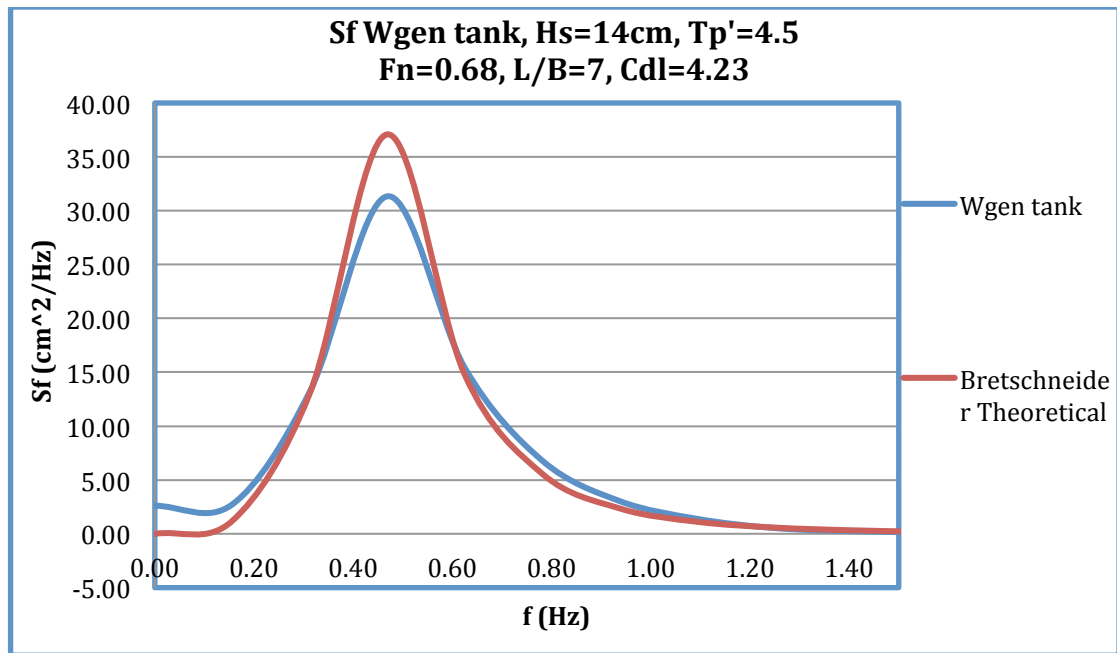
Διάγραμμα 4.46: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern).



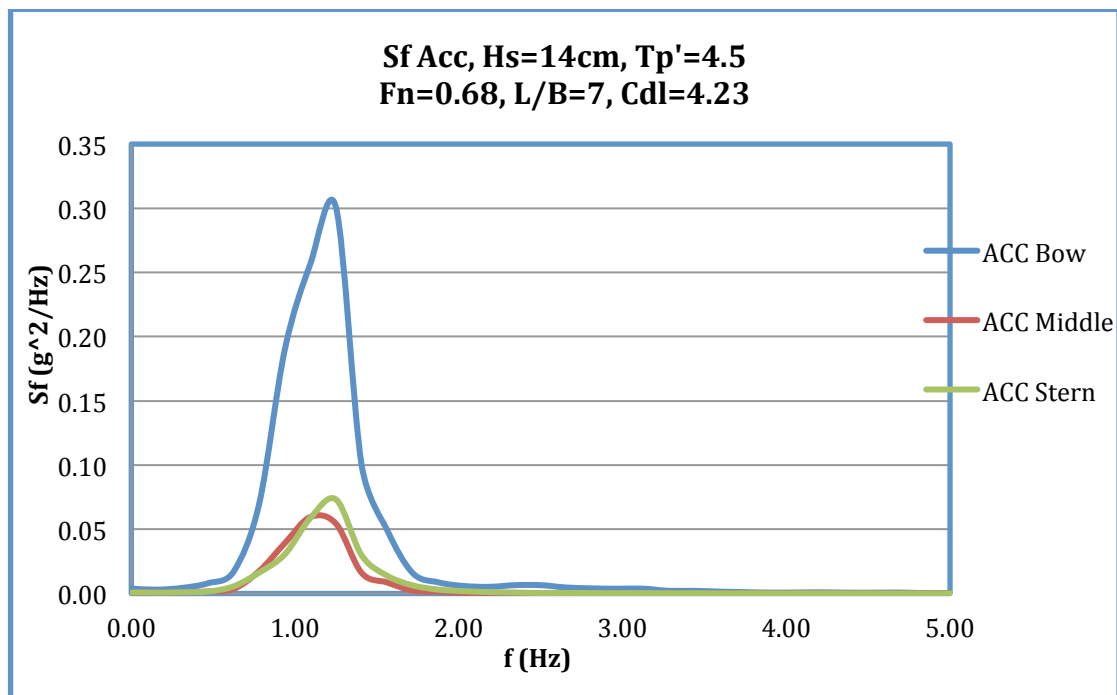
Διάγραμμα 4.47: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



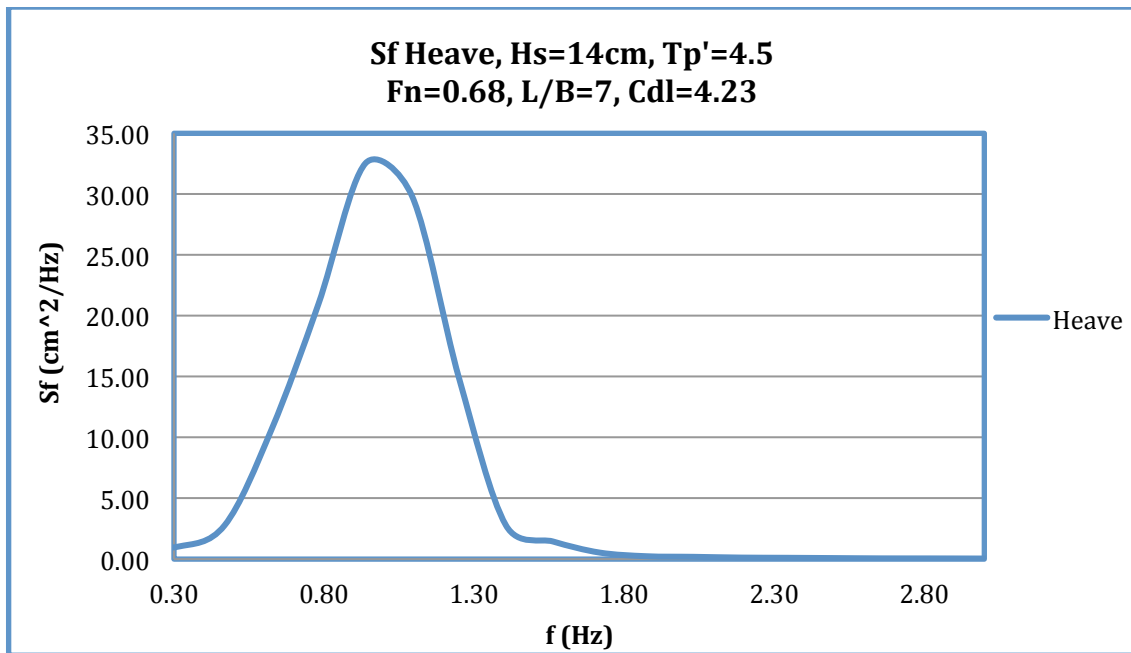
Διάγραμμα 4.48: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.



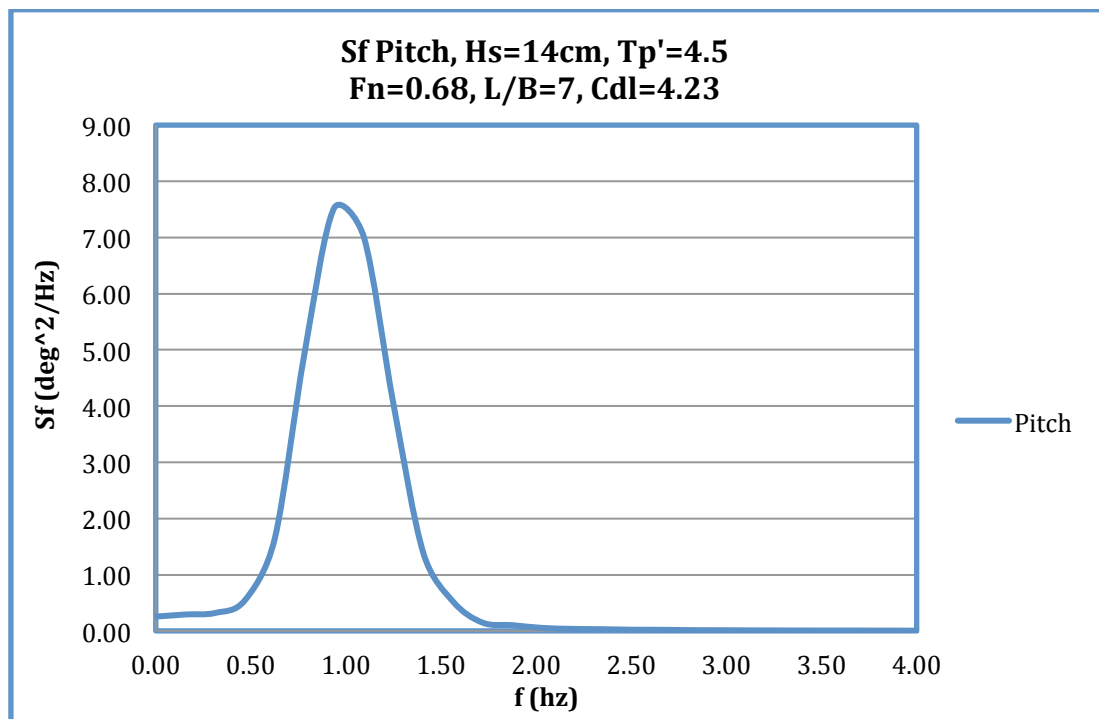
Διάγραμμα 4.49: Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wavegen tank).



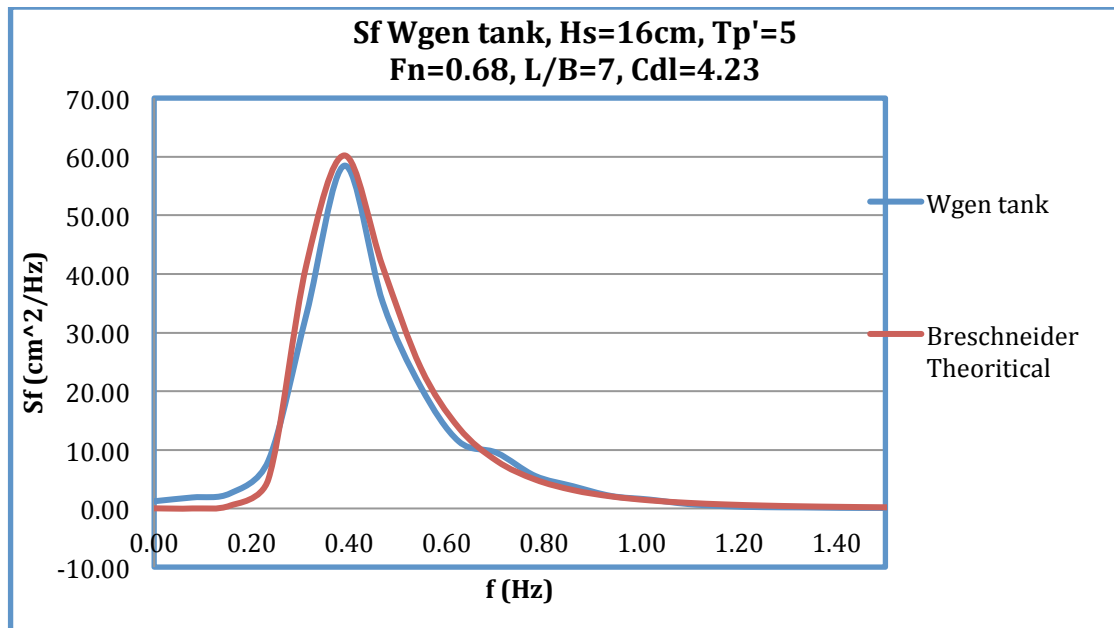
Διάγραμμα 4.50: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern).



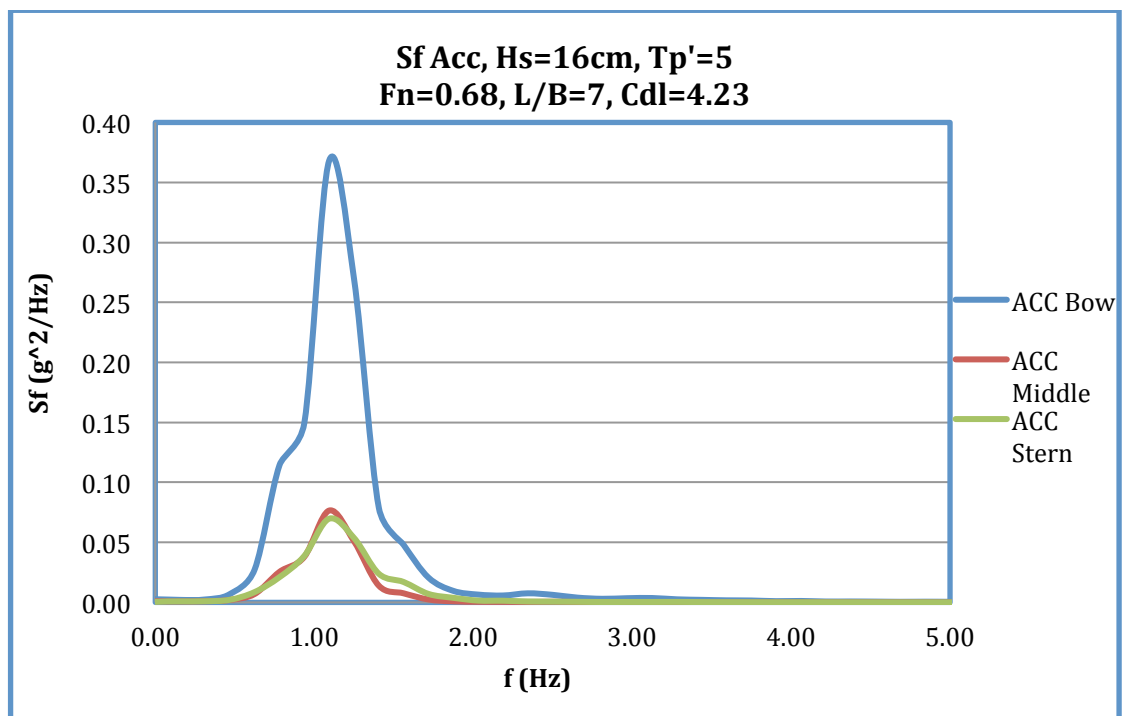
Διάγραμμα 4.51: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



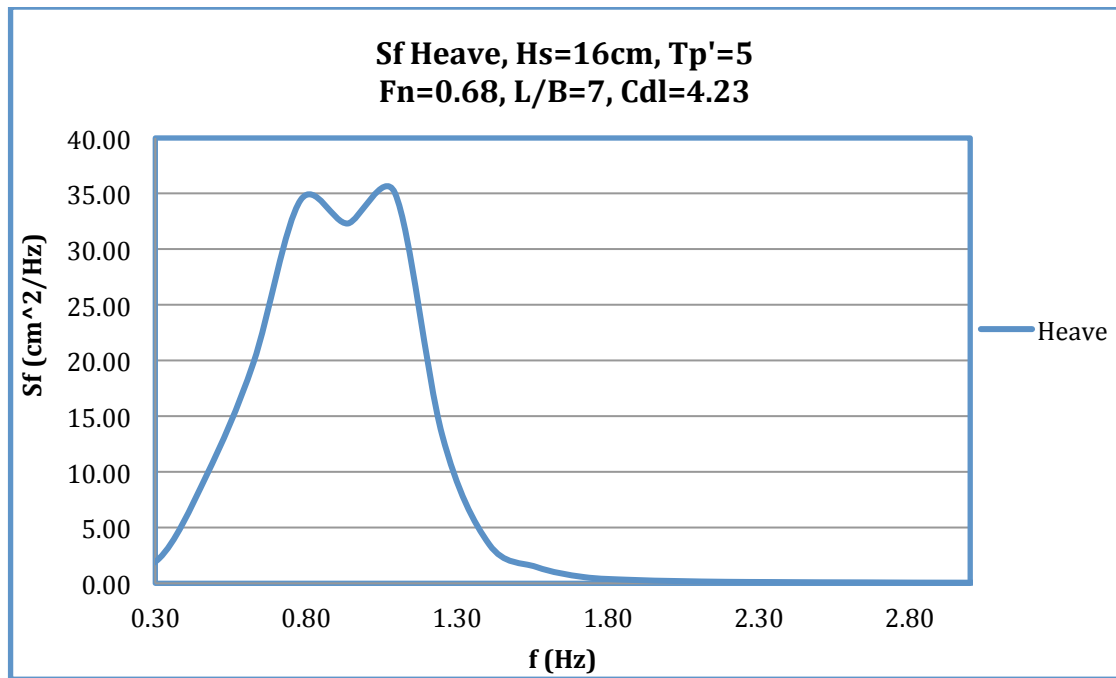
Διάγραμμα 4.52: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.



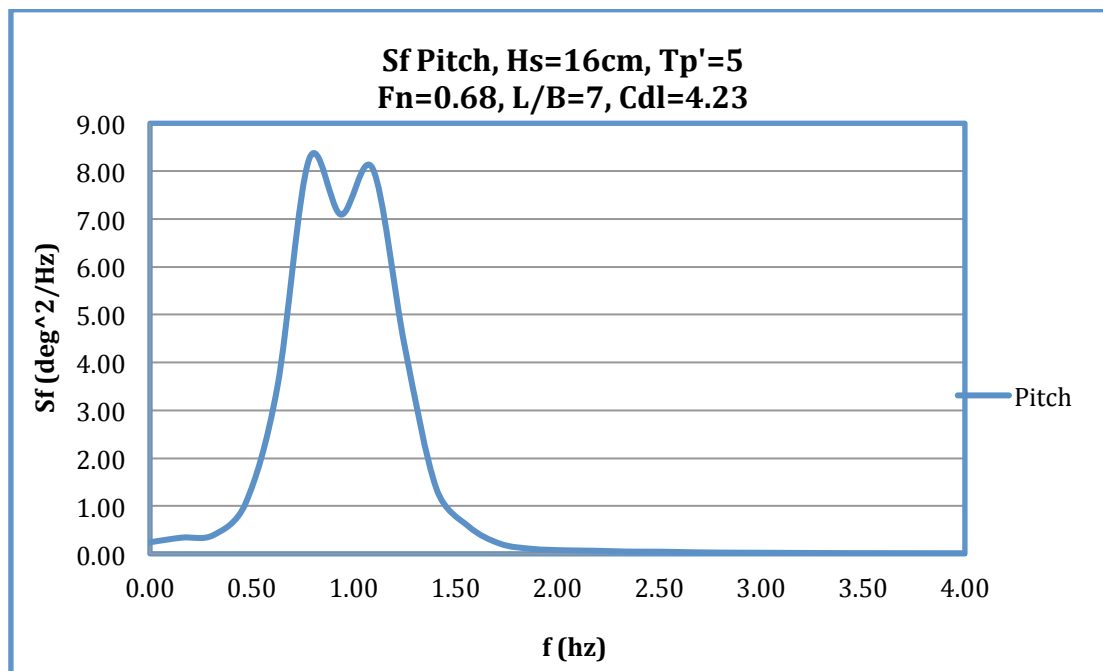
Διάγραμμα 4.53: Θεωρητικό (Breschneider) και πραγματικά μετρούμενο φάσμα κύματος (Wave gen tank).



Διάγραμμα 4.54: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιταχύνσεις σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern).



Διάγραμμα 4.55: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης ανύψωσης - Heave.



Διάγραμμα 4.56: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού - Pitch.

Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η κατακόρυφη επιτάχυνση στην πλώρη είναι σε όλες τις περιπτώσεις πολύ μεγαλύτερη από τις επιταχύνσεις στην πρύμνη και στο κέντρο βάρους του σκάφους. Ακόμα, παρατηρούμε ότι η επιταχύνσεις στην πρύμνη είναι σχεδόν σε όλες τις καταστάσεις και για τις δύο ταχύτητες δοκιμών μεγαλύτερες από τις επιταχύνσεις στο κέντρο βάρους. Αυτό συμβαίνει γιατί οι επιταχύνσεις στην πλώρη και στην πρύμνη επηρεάζονται από την κίνηση του προνευτασμού (Pitch) κάτι που δεν συμβαίνει στο κέντρο βάρους.

Ακόμα, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η συμπεριφορά του προτύπου στις μικρές περιόδους κύματος είναι ικανοποιητική και στις δύο ταχύτητες πλευσης. Πιο συγκεκριμένα στις αδιάστατες περιόδους $T_p'=2.0, 2.5$ και 3.0 όπου τα σημαντικά ύψη δεν ξεπερνούν τα 10cm οι αποκρίσεις του πλοίου είναι μικρότερες σχετικά με τις μεγάλες αδιάστατες περιόδους. Όμως, οι αποκρίσεις του προτύπου στις μεγάλες αδιάστατες περιόδους κρίνεται ικανοποιητική καθώς βρισκόμαστε σε υπερκρίσιμη περιοχή που αναλογούν σε πολύ αναταραγμένες θάλασσες.

4.3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΩΝ RMS ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα διαγράμματα των rms τιμών των αποκρίσεων για τις δύο ταχύτητες στις οποίες πραγματοποιήθηκαν πειράματα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' που δίνεται από την Σχέση 4.1:

$$T_{p'} = \frac{T_p}{\sqrt{\frac{LWL}{g}}} \quad \text{Σχέση 4.1}$$

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής επιτρέπει την άμεση σύγκριση και αξιολόγηση μεταξύ μοντέλων πλοίων ανεξαρτήτως διαστάσεων γάστρας, κάτι που είναι και ο στόχος της μελέτης των μοντέλων σε μία συστηματική σειρά. Η εργασία εντάσσεται στη μακρόχρονη προσπάθεια του ΕΝΘΥ να δημιουργήσει μία βάση δεδομένων της συστηματικής σειράς, στην οποία ο μελετητής θα μπορεί να ανατρέξει ώστε να υπολογίσει μέσα από τα αδιάστατα πειραματικά αποτελέσματα πρόσθετης αντίστασης και δυναμικής συμπεριφοράς τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς όμοιων με τη σειρά σκαφών. Στόχος μας είναι τα αποτελέσματα που εξάγουμε να είναι άμεσα συγκρίσιμα με αποτελέσματα άλλων σκαφών ούτως ώστε να

είναι ευδιάκριτα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του προτύπου και πιο εύκολη η επιλογή ανάλογα, της κατάλληλης γάστρας ανάλογα με τις καταστάσεις θάλασσας για τις οποίες προορίζεται το μοντέλο – πλοίο. Ακόμα, για τον ίδιον λόγο γίνεται αναγωγή των αποκρίσεων ως προς H_s ούτως ώστε να έχουμε καλύτερη συγκριτική εποπτεία μεταξύ απόκρισης – διέγερσης και να είναι πιο εύκολα συγκρίσιμα με τα αποτελέσματα άλλων πειραμάτων που έχουν γίνει σε άλλα μοντέλα – πλοία.

Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα εξής διαγράμματα:

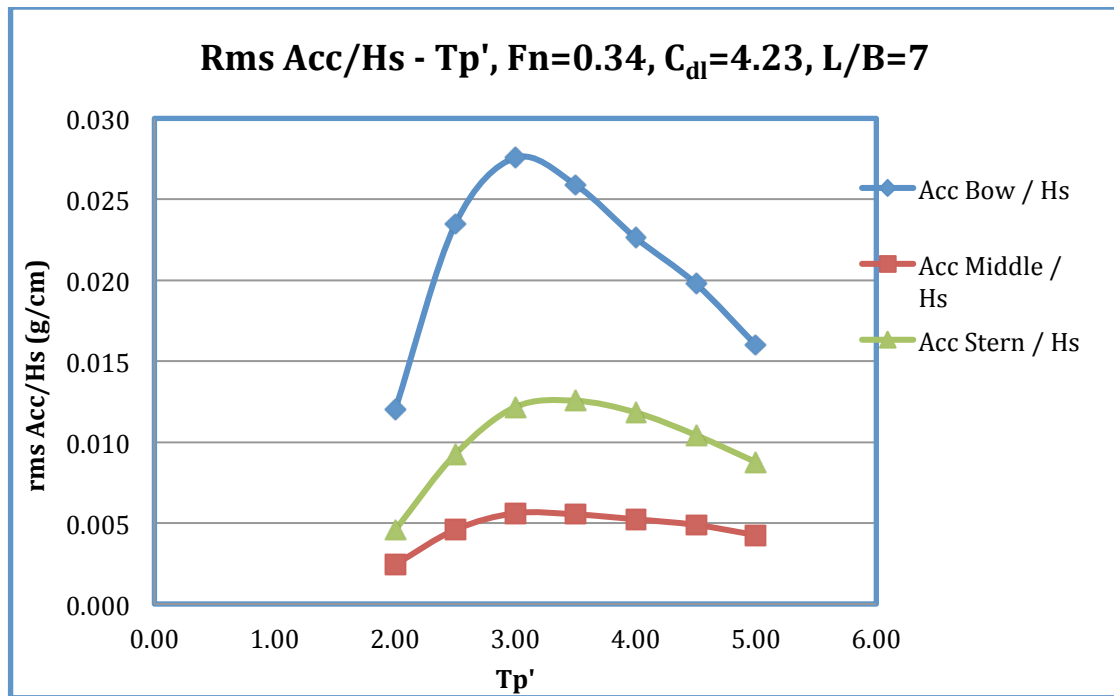
- RMS τιμές των *κατακόρυφων επιταχύνσεων* στις τρεις θέσεις του μοντέλου (bow, middle, stern) διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (g/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' .
- RMS τιμή της *κατακόρυφης κίνησης* (Heave) διαιρεμένης με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' .
- RMS τιμή της *κίνησης προνευτασμού* (Pitch) διαιρεμένης με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (deg/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' .

4.3.2.1 Διαγράμματα των RMS τιμών για ταχύτητα $Fn = 0.34$

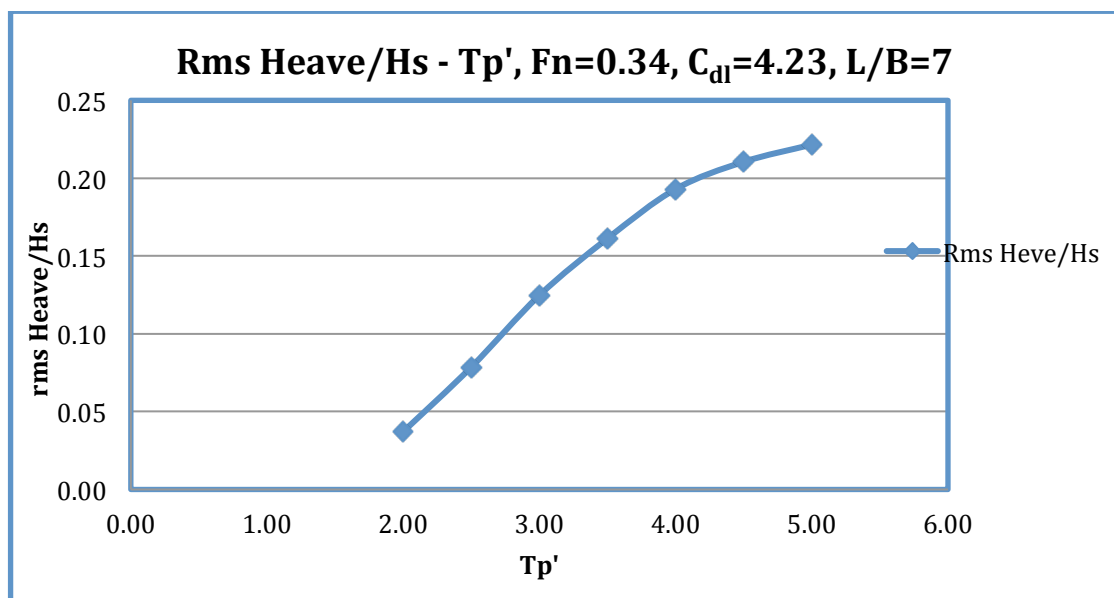
Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί φαίνονται οι RMS τιμές των αποκρίσεων.

| L/B = 7.0 | $C_{dl} = 4.23$ | $Fn = 0.34$ | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---|--|-------------------------------|-------------------------------|
| T_p' | H_s | Acc. Bow/H_s | Acc. Middle/H_s | Acc. Stern/H_s | Heave/H_s | Pitch/H_s |
| - | cm | g/cm | g/cm | g/cm | cm/cm | deg/cm |
| 2 | 8 | 0,0120 | 0,0024 | 0,0046 | 0,0370 | 0,0473 |
| 2,5 | 9 | 0,0235 | 0,0046 | 0,0092 | 0,0787 | 0,1164 |
| 3 | 10 | 0,0276 | 0,0056 | 0,0122 | 0,1247 | 0,1721 |
| 3,5 | 11 | 0,0259 | 0,0055 | 0,0126 | 0,1613 | 0,1850 |
| 4 | 12 | 0,0226 | 0,0052 | 0,0118 | 0,1930 | 0,1807 |
| 4,5 | 14 | 0,0198 | 0,0049 | 0,0104 | 0,2105 | 0,1636 |
| 5 | 16 | 0,0160 | 0,0043 | 0,0088 | 0,2216 | 0,1439 |

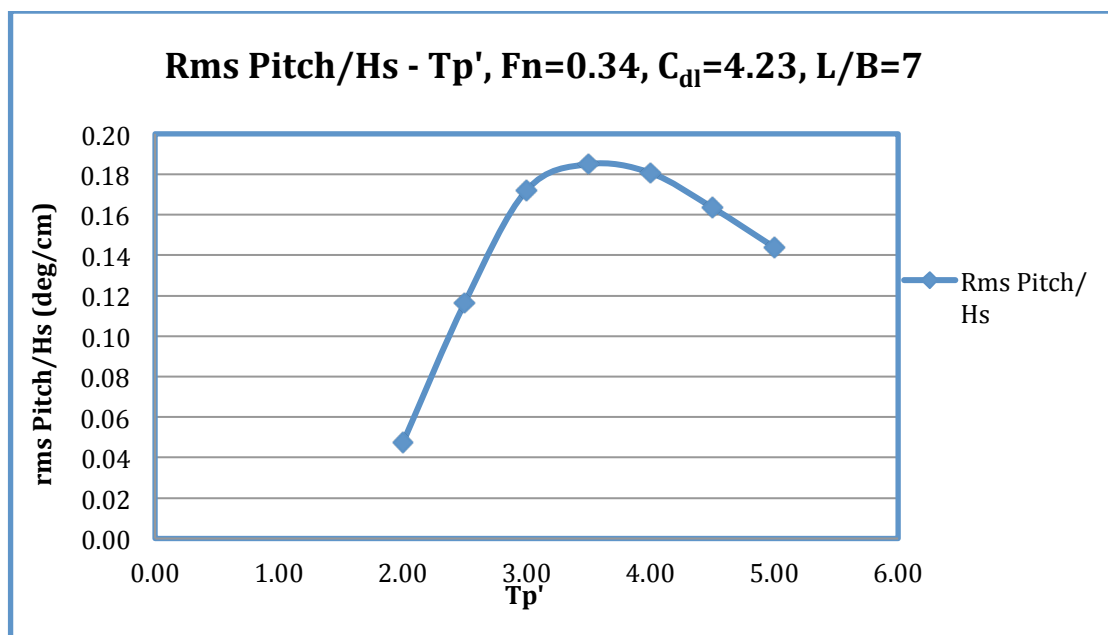
Πίνακας 4.1: Πίνακας συντελεστών rms τιμών των αποκρίσεων, μοντέλο 116/96, L/B=7.0, $C_{dl}=4.23$ - $Fn=0.34$.



Διάγραμμα 4.57: RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στις τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



Διάγραμμα 4.58: RMS τιμή Κατακόρυφης Ανύψωσης (Heave), ανοιγμένη στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



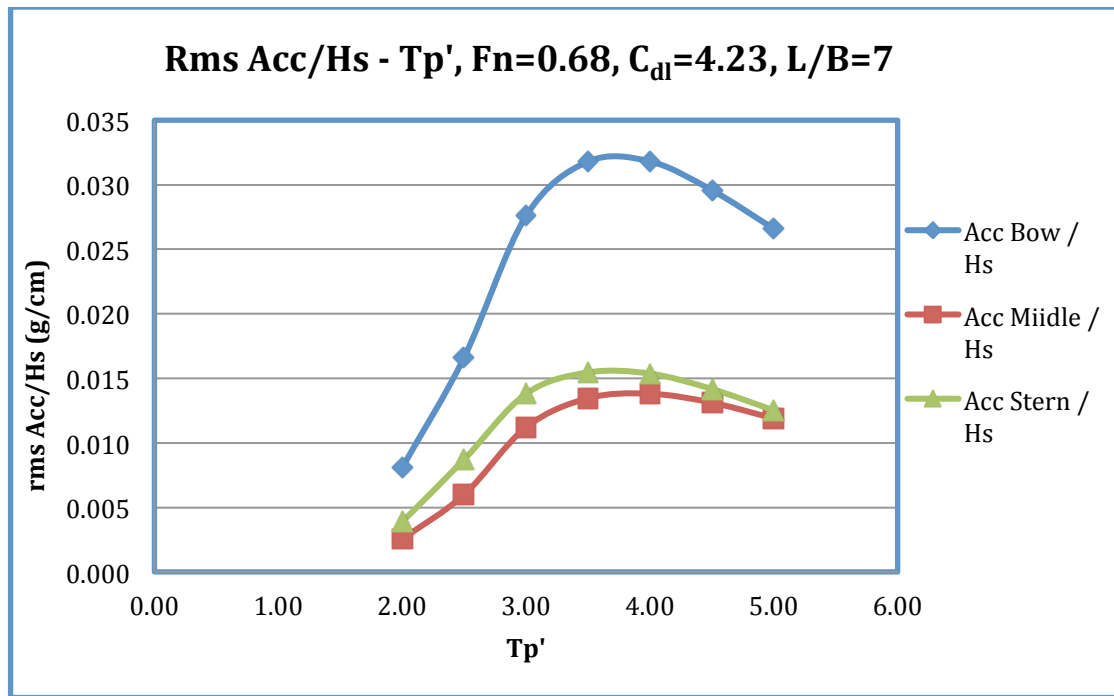
Διάγραμμα 4.59: RMS τιμή Προνευτασμού (Pitch), ανοιγμένη στην αδιάστατη περίοδο T_p' .

4.3.2.2 Διαγράμματα των RMS τιμών για ταχύτητα $F_n = 0.68$

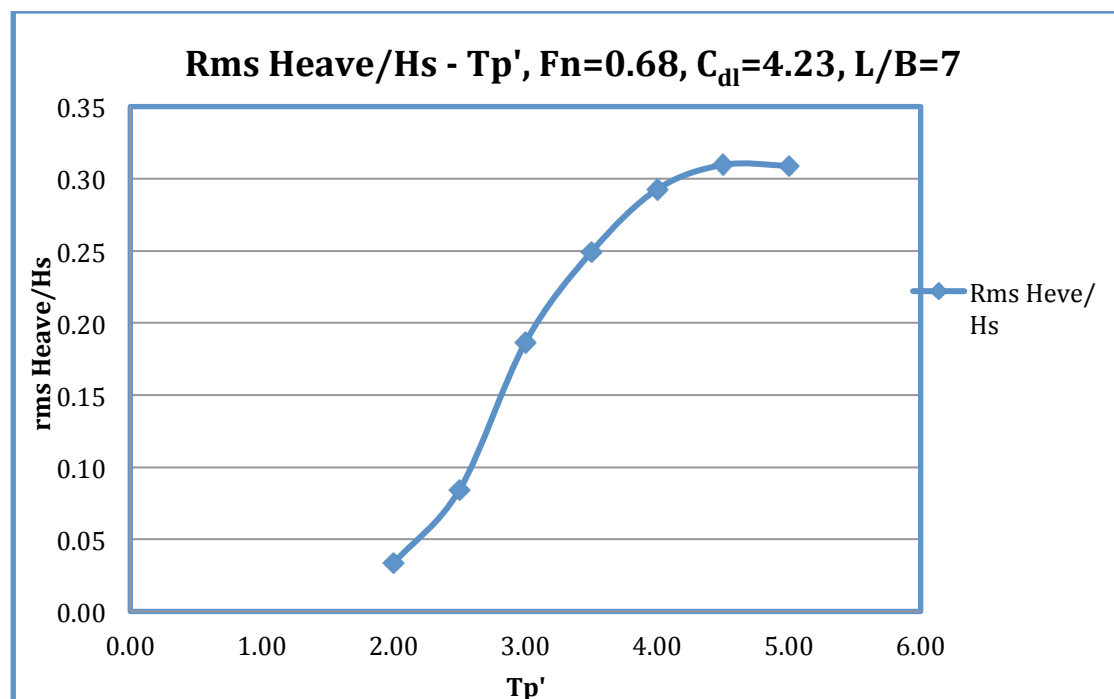
Στον *Πίνακα 4.2* που ακολουθεί φαίνονται οι RMS τιμές των αποκρίσεων.

| $L/B = 7.0$ | $C_{dl} = 4.23$ | $F_n = 0.68$ | | | | |
|-------------|-----------------|--------------|----------------|---------------|----------|----------|
| T_p' | Hs | Acc. Bow/Hs | Acc. Middle/Hs | Acc. Stern/Hs | Heave/Hs | Pitch/Hs |
| - | cm | g/cm | g/cm | g/cm | cm/cm | deg/cm |
| 2 | 8 | 0,0081 | 0,0025 | 0,0039 | 0,0335 | 0,0164 |
| 2,5 | 9 | 0,0166 | 0,0060 | 0,0087 | 0,0844 | 0,0510 |
| 3 | 10 | 0,0276 | 0,0112 | 0,0138 | 0,1866 | 0,1049 |
| 3,5 | 11 | 0,0318 | 0,0135 | 0,0155 | 0,2492 | 0,1339 |
| 4 | 12 | 0,0318 | 0,0138 | 0,0154 | 0,2926 | 0,1493 |
| 4,5 | 14 | 0,0296 | 0,0131 | 0,0142 | 0,3096 | 0,1517 |
| 5 | 16 | 0,0266 | 0,0119 | 0,0125 | 0,3090 | 0,1482 |

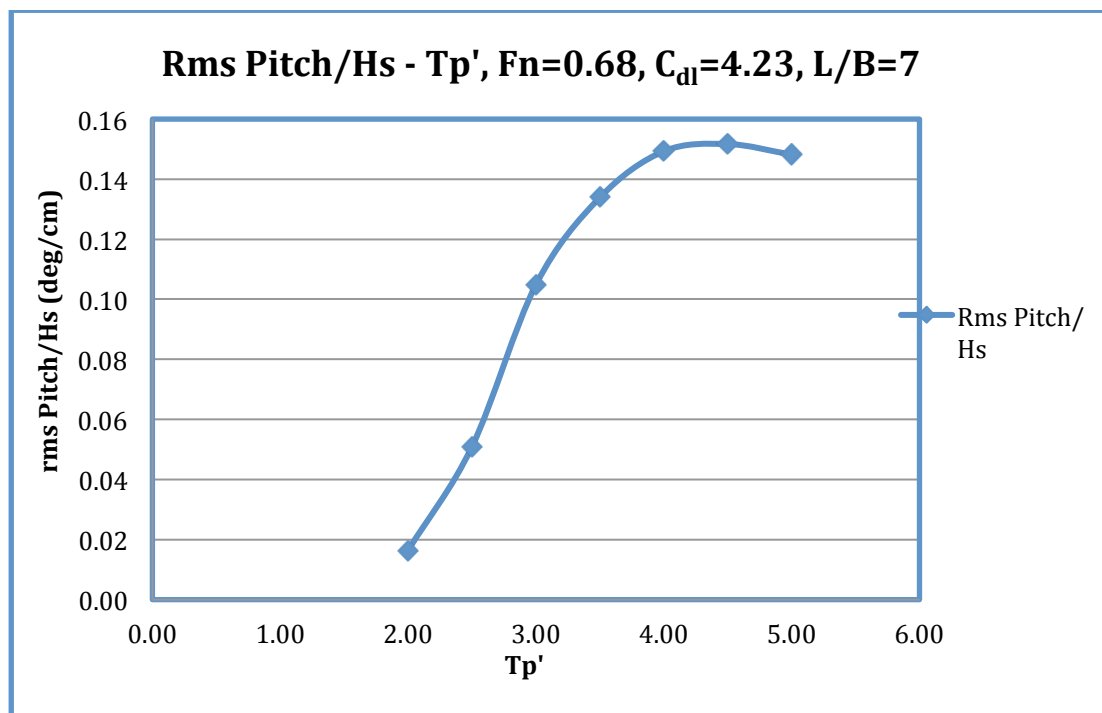
Πίνακας 4.2: Πίνακας συντελεστών rms τιμών των αποκρίσεων, μοντέλο 116/96, $L/B=7.0$, $C_{dl}=4.23$ - $F_n=0.68$.



Διάγραμμα 4.60: RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στις τρεις θέσεις επί του μοντέλου, πλώρη (bow), κέντρο βάρους (middle) και πρύμνη (stern), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



Διάγραμμα 4.61: RMS τιμή Κατακόρυφης Ανύψωσης (Heave), ανοιγμένη στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



Διάγραμμα 4.62: RMS τιμή Προνευτασμού (Pitch), ανοιγμένη στην αδιάστατη περίοδο T_p' .

4.3.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα διαγράμματα της πρόσθετης αντίστασης κατά την πλευση του μοντέλου – πλοίου για της επτά καταστάσεις θάλασσας και στις δύο ταχύτητες που έγιναν τα πειράματα. Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο, τα αποτελέσματα για να είναι άμεσα συγκρίσιμα με αποτελέσματα άλλων πειραμάτων παρουσιάζονται αδιαστατοποιημένα με το τετράγωνο του σημαντικού ύψους κύματος H_s^2 , συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' .

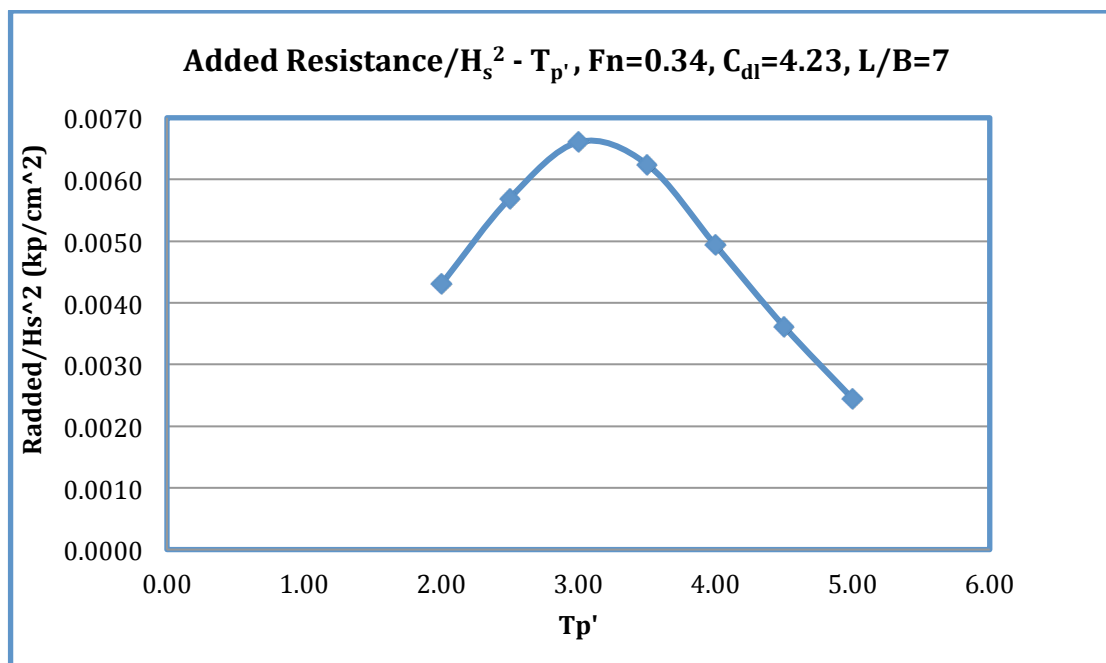
Παρουσιάζεται δηλαδή η *Τιμή της Πρόσθετης Αντίστασης* (Added Resistance) διαιρεμένη με το τετράγωνο του σημαντικού ύψους κύματος H_s^2 (K_p/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης κορυφής T_p' .

$F_n = 0.34$

Στον Πίνακα 4.3 που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές της πρόσθετης αντίστασης – Added Resistance.

| L/B = 7.0 | C_{dl} = 4.23 | F_n = 0.34 |
|-----------------------|------------------------------|---|
| T_p' | H_s | Added Resistance/H_s² |
| - | cm | Kp/cm² |
| 2 | 8 | 0,00431 |
| 2,5 | 9 | 0,00569 |
| 3 | 10 | 0,00661 |
| 3,5 | 11 | 0,00625 |
| 4 | 12 | 0,00493 |
| 4,5 | 14 | 0,00362 |
| 5 | 16 | 0,00245 |

Πίνακας 4.3: Πίνακας τιμών πρόσθετης αντίστασης – added resistance, μοντέλο 116/96, L/B=7.0, C_{dl}=4.23 - F_n=0.34.



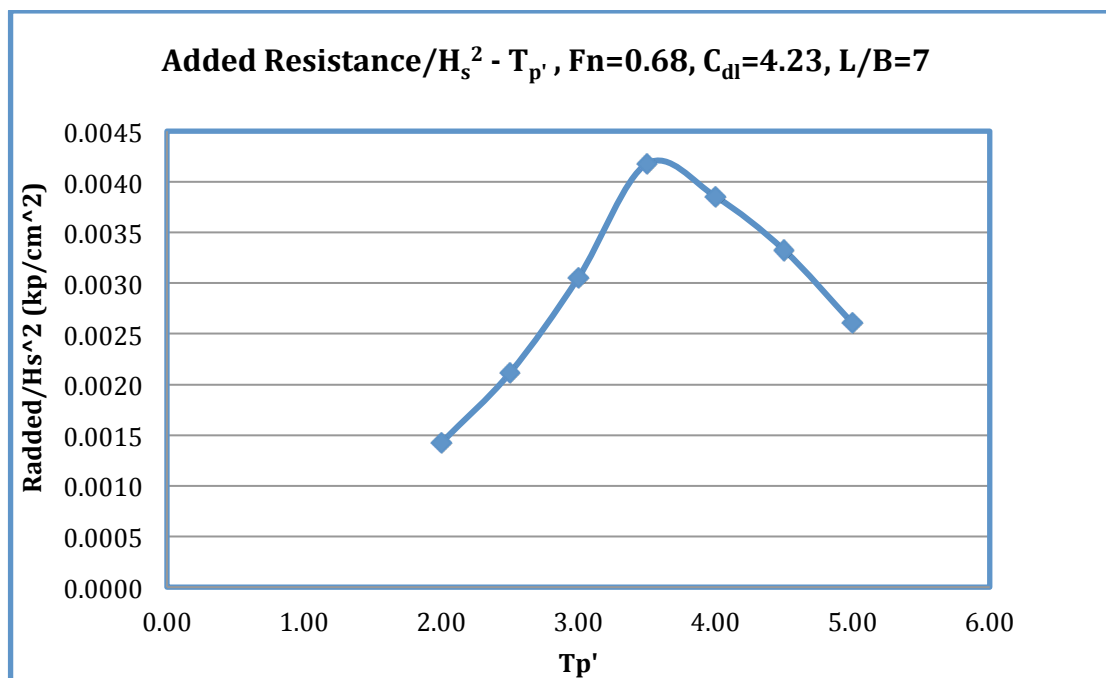
Διάγραμμα 4.63: Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance), ανοιγμένη στην αδιάστατη περίοδο T_p' – F_n=0.34.

$Fr = 0.68$

Στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές της πρόσθετης αντίστασης – Added Resistance.

| $L/B = 7.0$ | $C_{dl} = 4.23$ | $Fn = 0.68$ |
|-------------|-----------------|---------------------------|
| T_p' | H_s | Added Resistance/ H_s^2 |
| - | cm | Kp/cm^2 |
| 2 | 8 | 0,00142 |
| 2,5 | 9 | 0,00211 |
| 3 | 10 | 0,00305 |
| 3,5 | 11 | 0,00418 |
| 4 | 12 | 0,00385 |
| 4,5 | 14 | 0,00333 |
| 5 | 16 | 0,00260 |

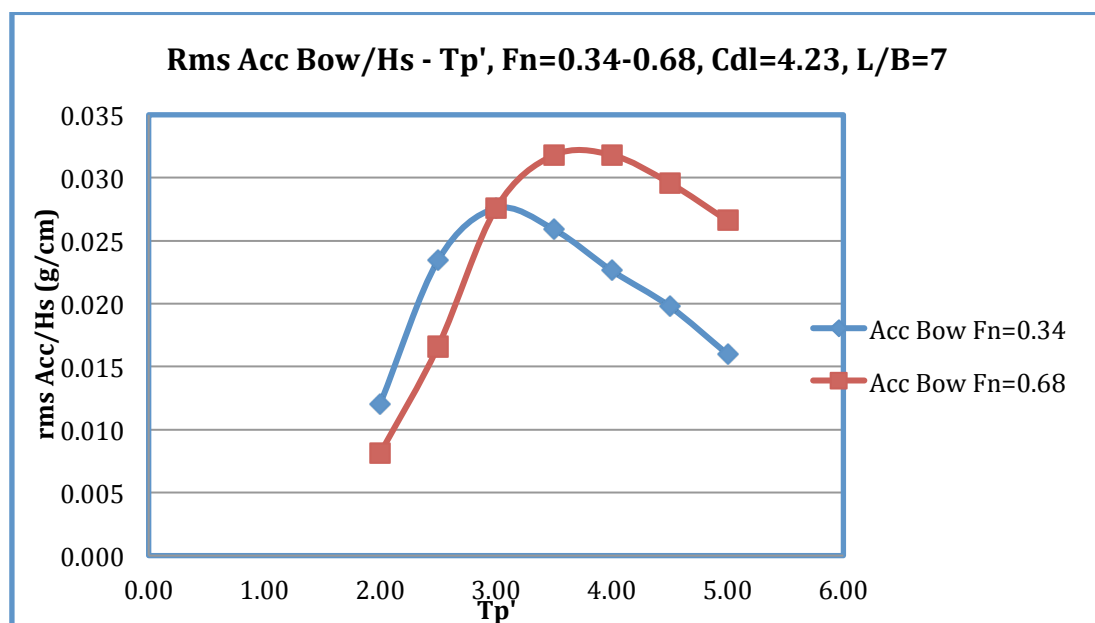
Πίνακας 4.4: Πίνακας τιμών πρόσθετης αντίστασης – added resistance, μοντέλο 116/96, $L/B=7.0$, $C_{dl}=4.23$ - $Fn=0.68$.



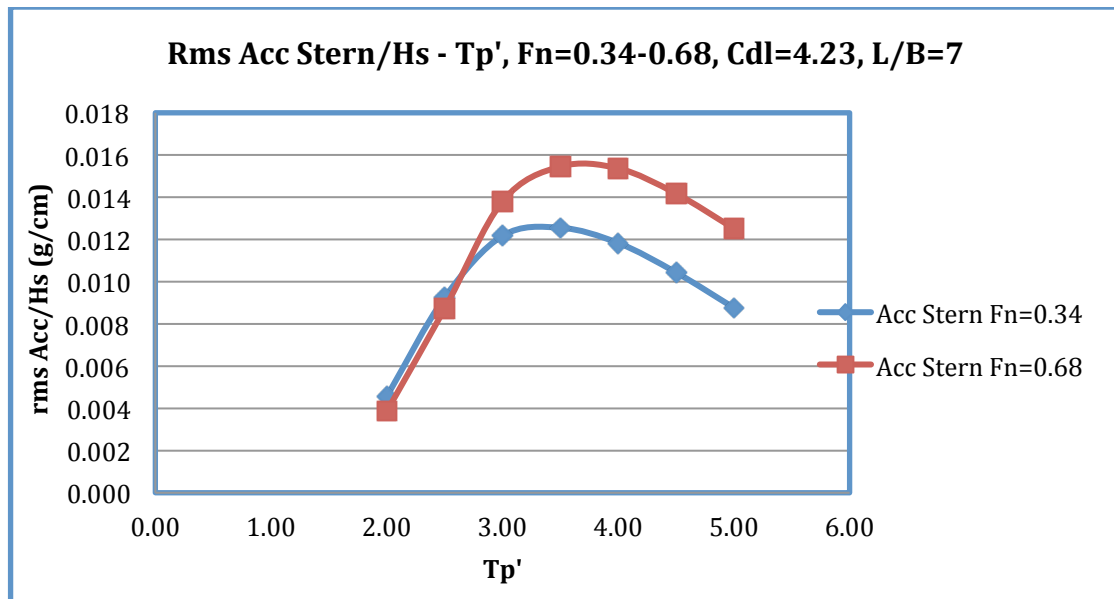
Διάγραμμα 4.64: Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance), ανοιγμένη στην αδιάστατη περίοδο T_p' – $Fn=0.68$.

4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ RMS ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (ADDED RESISTANCE) ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΥΟ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

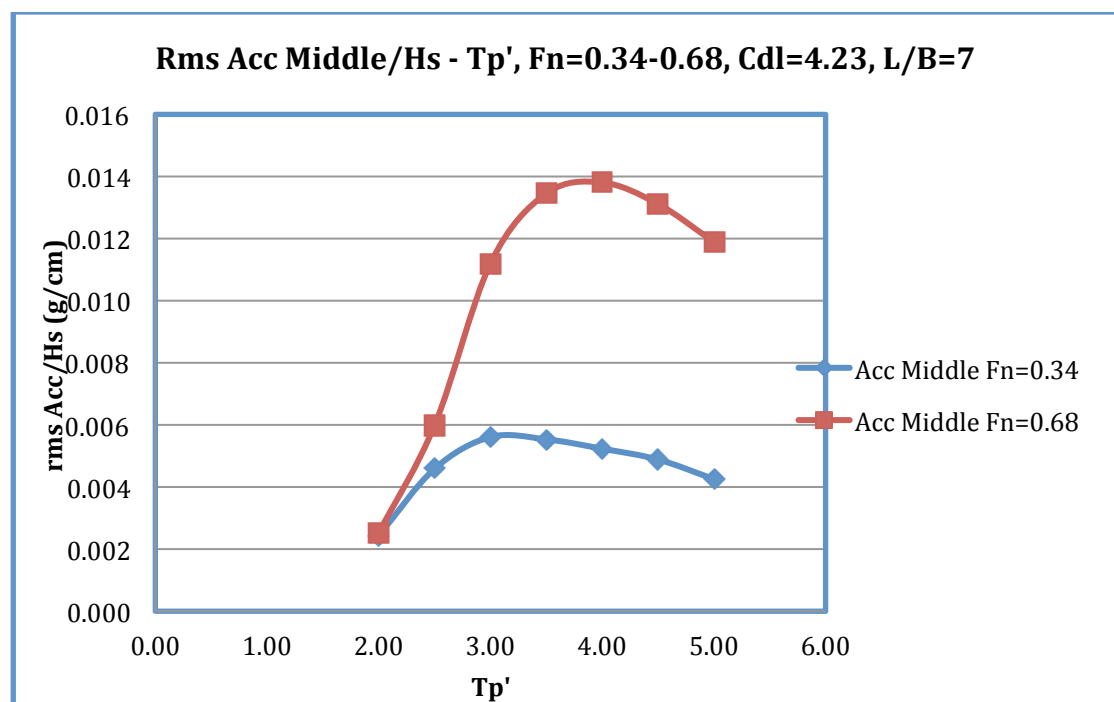
Στα διαγράμματα που ακολουθούν έχουμε σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των RMS τιμών των αποκρίσεων και της πρόσθετης αντίστασης, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' , για την ίδια κατάσταση φόρτωσης ($C_{dl}=4.23$), ανάμεσα στην μικρή ($F_n=0.34$) και στη μεγάλη ταχύτητα ($F_n=0.68$) στις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα, για τις επτά καταστάσεις θάλασσας.



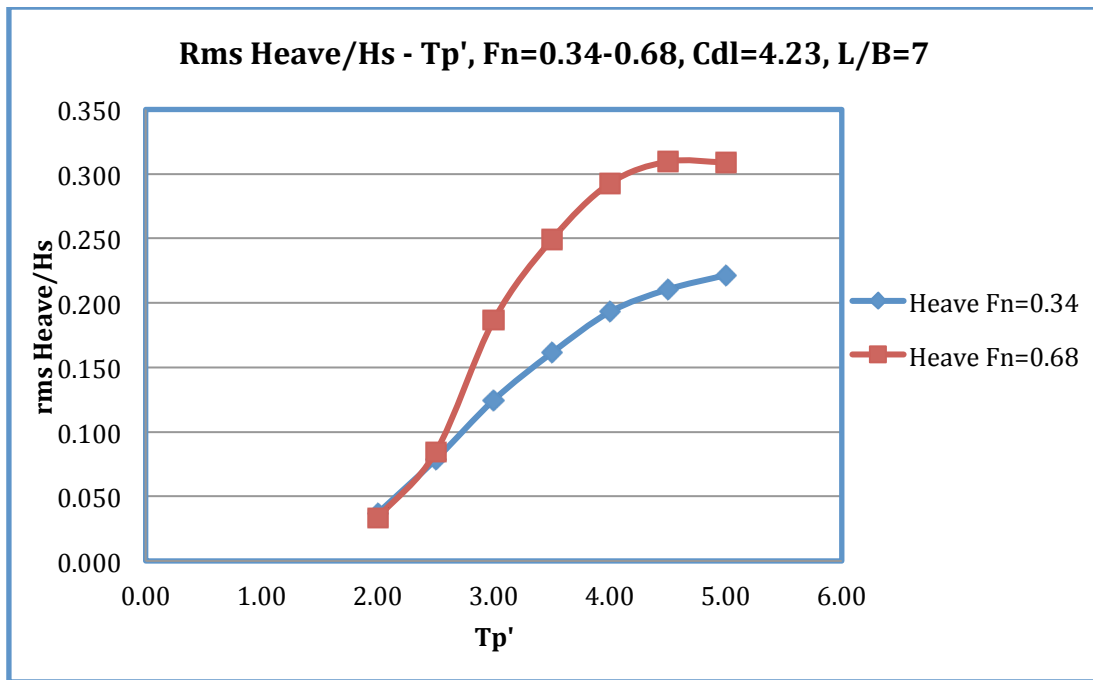
Διάγραμμα 4.65: RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (bow), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' , για τις δύο ταχύτητες δοκιμών.



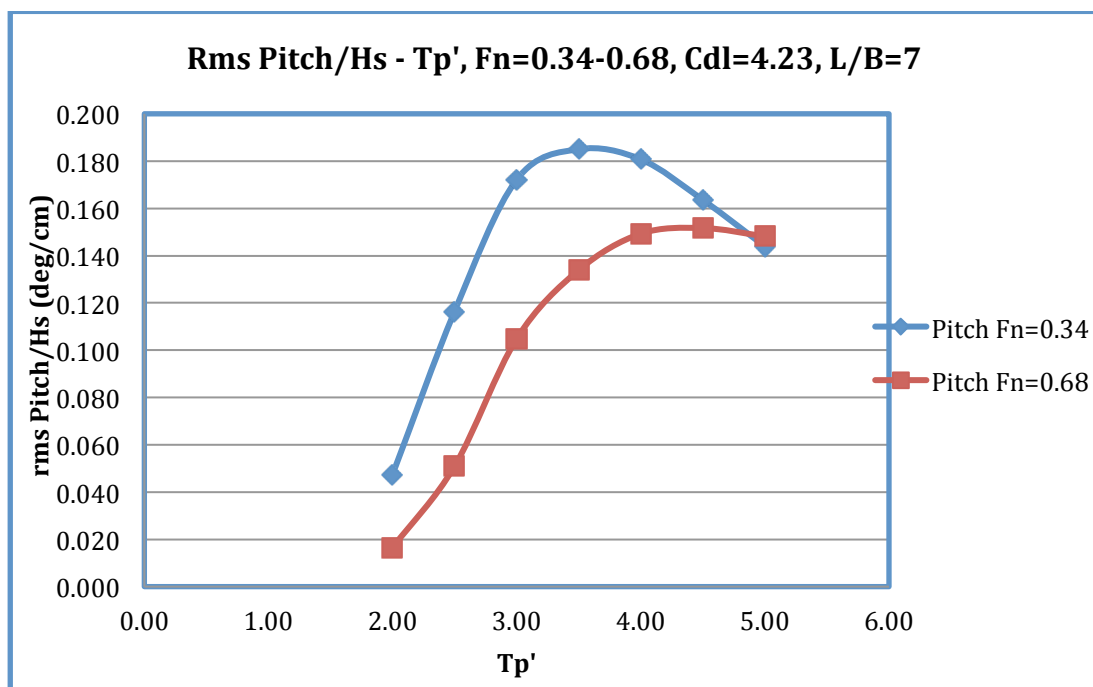
Διάγραμμα 4.66: RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη (stern), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' , για τις δύο ταχύτητες δοκιμών.



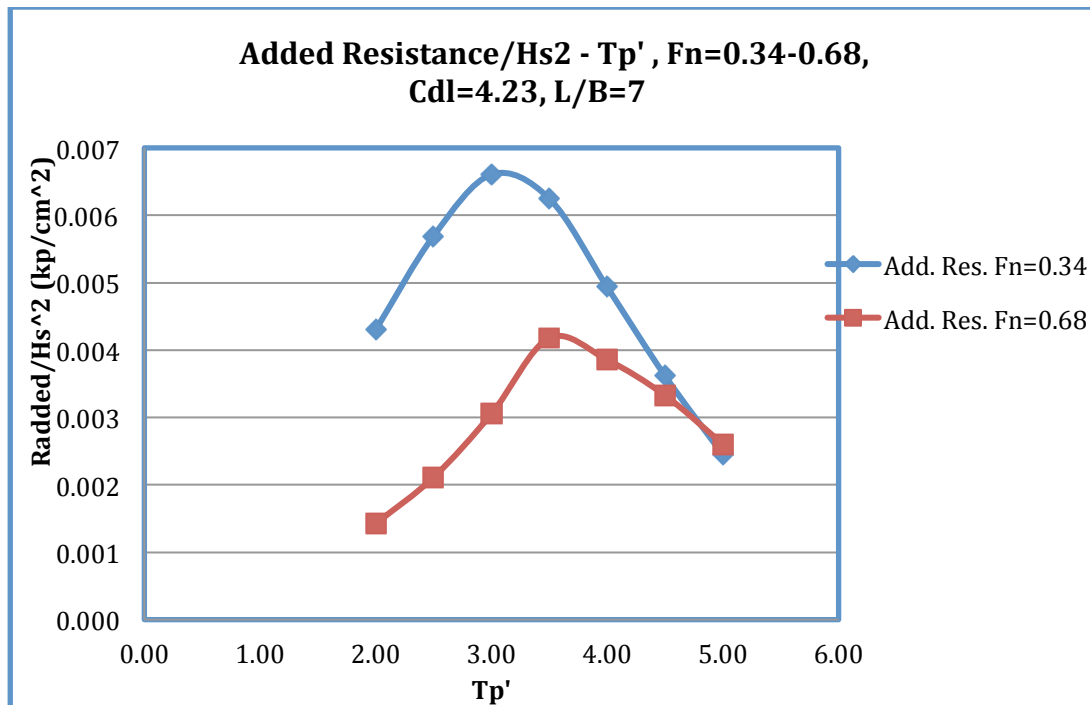
Διάγραμμα 4.67: RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (middle), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' , για τις δύο ταχύτητες δοκιμών.



Διάγραμμα 4.68: RMS τιμές Κατακόρυφης Ανύψωσης (Heave), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' , για τις δύο ταχύτητες δοκιμών.



Διάγραμμα 4.69: RMS τιμές Προνευσμού (Pitch), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' , για τις δύο ταχύτητες δοκιμών.



Διάγραμμα 4.70: Τιμές Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' , για τις δύο ταχύτητες δοκιμών.

Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα:

Εγκάρσια επιτάχυνση πλώρης (ACC Bow): Παρατηρούμε ότι μέχρι και το $T_p'=3.00$ η απόκριση των εγκάρσιων επιταχύνσεων και για τις δύο ταχύτητες έχει σχετικά ανάλογες τιμές, ενώ για τιμές μεγαλύτερες από $T_p'=3.00$ στην μεγάλη ταχύτητα πλευσης το σκάφος έχει μεγαλύτερες επιταχύνσεις. Ακόμα, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι για μεγάλες ταχύτητες πλευσης το σκάφος έχει μικρές επιταχύνσεις (δεν αντιδρά έντονα) για μικρά σημαντικά ύψη κύματος.

Εγκάρσια επιτάχυνση πρύμνης (ACC Stern): Παρατηρούμε ότι η πρύμνη του πλοίου έχει ανάλογη συμπεριφορά με την πλώρη του.

Εγκάρσια επιτάχυνση μέσης (ACC Middle): Εδώ παρατηρούμε ότι η απόκριση της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους είναι παντού μεγαλύτερη για την μεγάλη ταχύτητα πλευσης, εκτός των αποτελεσμάτων για $T_p'=2.0$ όπου οι τιμές συγκλίνουν.

Κατακόρυφη ανύψωση (Heave): Βλέπουμε ότι μέχρι και $T_p'=2.5$ το πρότυπο συμπεριφέρεται ανάλογα και για τις δύο ταχύτητες πλευσης. Όμως, για τιμές μεγαλύτερες από αυτή βλέπουμε ότι το πρότυπο για την μεγάλη ταχύτητα πλευσης κάνει

μεγαλύτερες κινήσεις κάτι που επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα των επιταχύνσεων.

Προνευτασμός (Pitch): Παρατηρούμε ότι για μεγάλες ταχύτητες πλεύσης οι τιμές των αποκρίσεων σε προνευτασμό είναι μικρότερες σχεδόν για όλα τα σημαντικά ύψη κύματος πέραν της ακραίας κατάστασης όπου έχουμε σύγκλιση των τιμών. Αυτό σημαίνει ότι το σκάφος καθώς πλέει στη μεγάλη ταχύτητα έχει σημαντικά μικρότερη ταλάντωση περί τον εγκάρσιο άξονα.

Πρόσθετη Αντίσταση (Added Resistance): Παρατηρούμε ότι όπως αναμέναμε από την θεωρία για την μεγάλη ταχύτητα πλεύσης έχουμε μικρότερες τιμές πρόσθετης αντίστασης, με τις τιμές αυτές να συγκλίνουν για σημαντικό ύψος κύματος $H_s=16\text{cm}$.

Παρατηρούμε ότι το πρότυπο στις μεγάλες ταχύτητες παρουσιάζει μία εγκάρσια κίνηση ως προς το επίπεδο του νερού, αυξανόμενη ανάλογα με το ύψος κύματος, παρουσιάζοντας ταυτόχρονα μειωμένη απόκριση προνευτασμού. Ακόμα, για την μικρή ταχύτητα παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερες τιμές πρόσθετης αντίστασης.

5

ΣΥΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 116/96 ΜΕ $L/B=7$ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 097/94 ΜΕ $L/B=5.5$ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΤΟΥ Ε.Μ.Π. ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ $C_{dl}=4.23$

Είναι γνωστό ότι με στόχο την αύξηση της ταχύτητας οπότε και μείωση της αντίστασης, θέλουμε η γάστρα του πλοίου να είναι όσο το δυνατόν πιο επίπεδη γίνεται. Αυτό βοηθάει στην μείωση της αντίστασης οπότε οδηγεί και σε αύξηση της ταχύτητας. Όμως, αυτού του είδους σχεδιάσεις είναι κατάλληλες για πλεύση σε ήρεμο νερό ή σε θάλασσες με ήπια κύματα. Σε καταστάσεις θάλασσας με έντονους κυματισμούς όσο πιο επίπεδη είναι η γάστρα τόσο πιο έντονες είναι και οι αποκρίσεις στις διάφορες κινήσεις του πλοίου και κυρίως εμφανίζονται έντονες επιταχύνσεις και έντονα κρουστικά φαινόμενα και σφυροκρούσεις.

Επίσης, είναι γνωστό ότι όσο πιο μεγάλη γωνία ανύψωσης τυθμένα (όσο πιο 'V' είναι η σχεδίαση της γάστρας) έχει η γάστρα τόσο καλύτερη συμπεριφορά έχει το πλοίο σε καταστάσεις θάλασσας με έντονους κυματισμούς. Οπότε, στόχος ενός μελετητή είναι η κατάλληλη επιλογή σχεδίασης της γάστρας ούτως ώστε να επιτυγχάνει και υψηλές ταχύτητες αλλά και άνετες συνθήκες πλεύσεις για το πλήρωμα του πλοίου, τους επιβάτες και το φορτίο που μεταφέρει, χωρίς έντονα κρουστικά φαινόμενα τα οποία καταπονούν το πλοίο αλλά και τους επιβαίνοντες.

Στην ενότητα αυτή συγκρίνονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη με εκείνα προηγούμενης μελέτης επί του μοντέλου 097/94 της συστηματικής σειράς του NTUA το οποίο έχει ως κύρια χαρακτηριστικά $L/B=5.5$, ίδιο συντελεστή φόρτωσης ($C_{dl} = 4.23$) και μηδενική γωνία διαγωγής και είχε μελετηθεί για αντίστοιχες καταστάσεις θάλασσας και ταχύτητες εκφρασμένες μέσω του αριθμού Froude ώστε να εξάγουμε συγκριτικά συμπεράσματα.

Συγκεκριμένα, στην συνέχεια θα παρουσιάσουμε συγκριτικά διαγράμματα των RMS τιμών των αποκρίσεων, καθώς και συγκριτικά διαγράμματα της πρόσθετης αντίστασης για τις επτά καταστάσεις θάλασσας και τις δύο ταχύτητες δοκιμών.

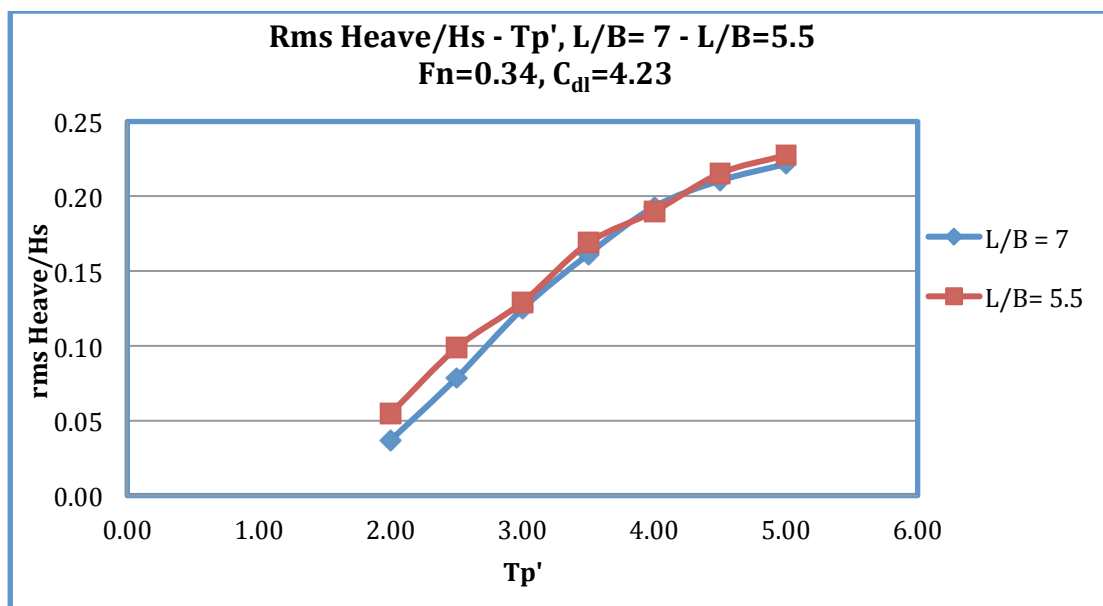
5.1 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ RMS ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ

$F_n = 0.34$

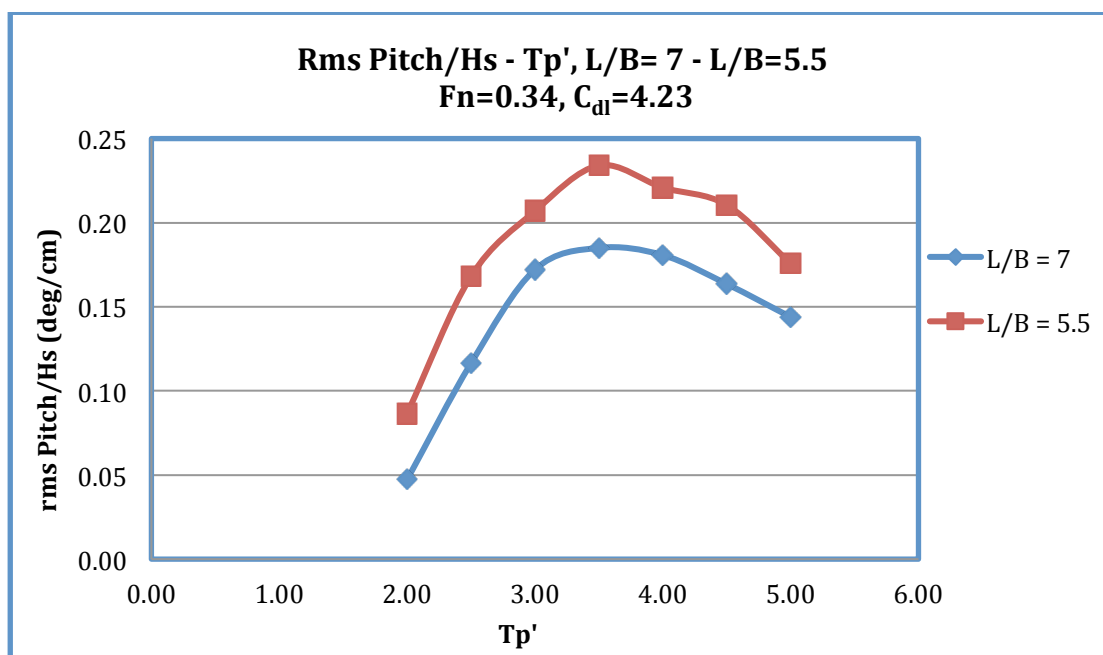
Στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί φαίνονται οι RMS τιμές των αποκρίσεων για το πρότυπο 097/94 με $L/B = 5.5$, $C_{dl} = 4.23$ για ταχύτητα που αναλογεί σε $F_n = 0.34$. Οι τιμές για το μοντέλο 116/96 φαίνονται στον Πίνακα 4.1.

| $L/B = 5.5$ | $C_{dl} = 4.23$ | $F_n = 0.34$ | | | | |
|-------------|-----------------|--------------|----------------|---------------|----------|----------|
| Tp' | Hs | Acc. Bow/Hs | Acc. Middle/Hs | Acc. Stern/Hs | Heave/Hs | Pitch/Hs |
| - | cm | g/cm | g/cm | g/cm | cm/cm | deg/cm |
| 2 | 8 | 0,0195 | 0,0044 | 0,0097 | 0,0548 | 0,0866 |
| 2,5 | 9 | 0,029 | 0,0067 | 0,0145 | 0,0987 | 0,1681 |
| 3 | 10 | 0,0319 | 0,0075 | 0,0168 | 0,1293 | 0,2069 |
| 3,5 | 11 | 0,0324 | 0,0086 | 0,018 | 0,1688 | 0,234 |
| 4 | 12 | 0,0279 | 0,0076 | 0,0159 | 0,1899 | 0,2209 |
| 4,5 | 14 | 0,0237 | 0,0071 | 0,0146 | 0,2153 | 0,2105 |
| 5 | 16 | 0,0188 | 0,0062 | 0,012 | 0,2275 | 0,1757 |

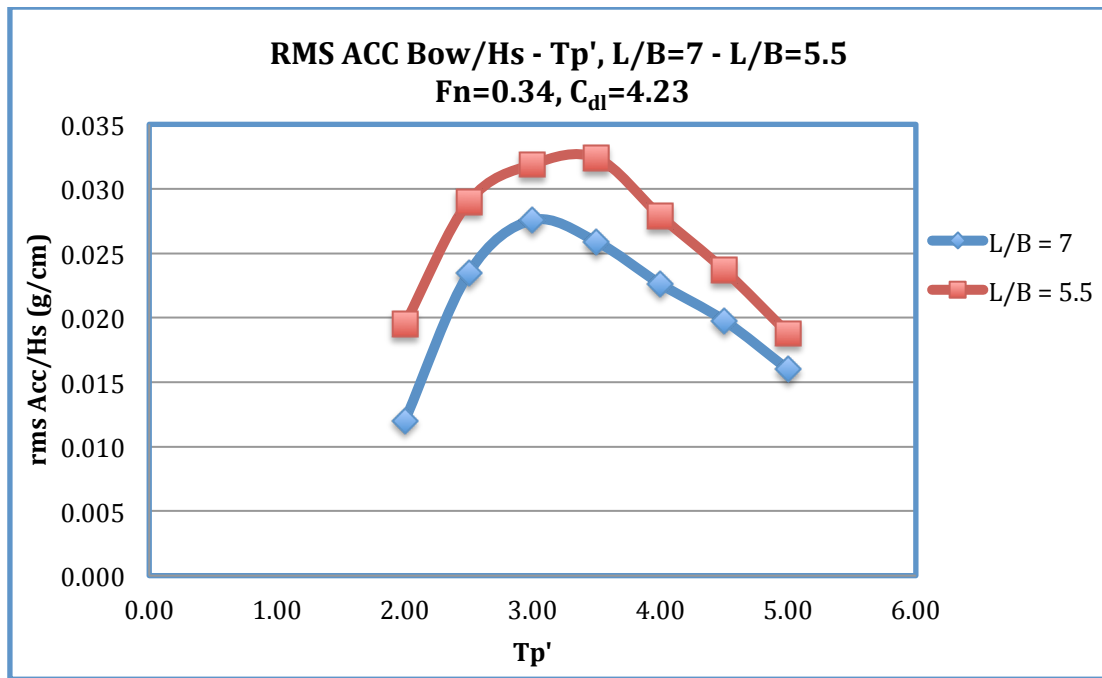
Πίνακας 5.1: Πίνακας συντελεστών rms τιμών των αποκρίσεων, μοντέλο 097/94, $L/B=5.5$, $C_{dl}=4.23$ - $F_n=0.34$.



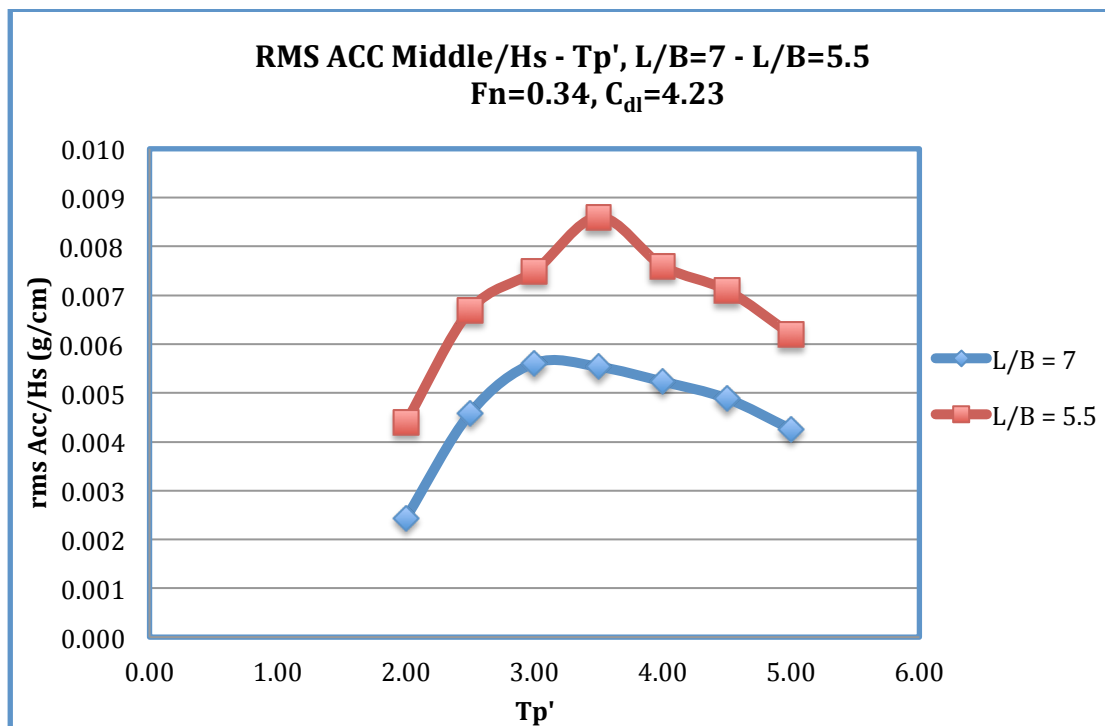
Διάγραμμα 5.1: RMS τιμές Κατακόρυφης Ανύψωσης (Heave), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



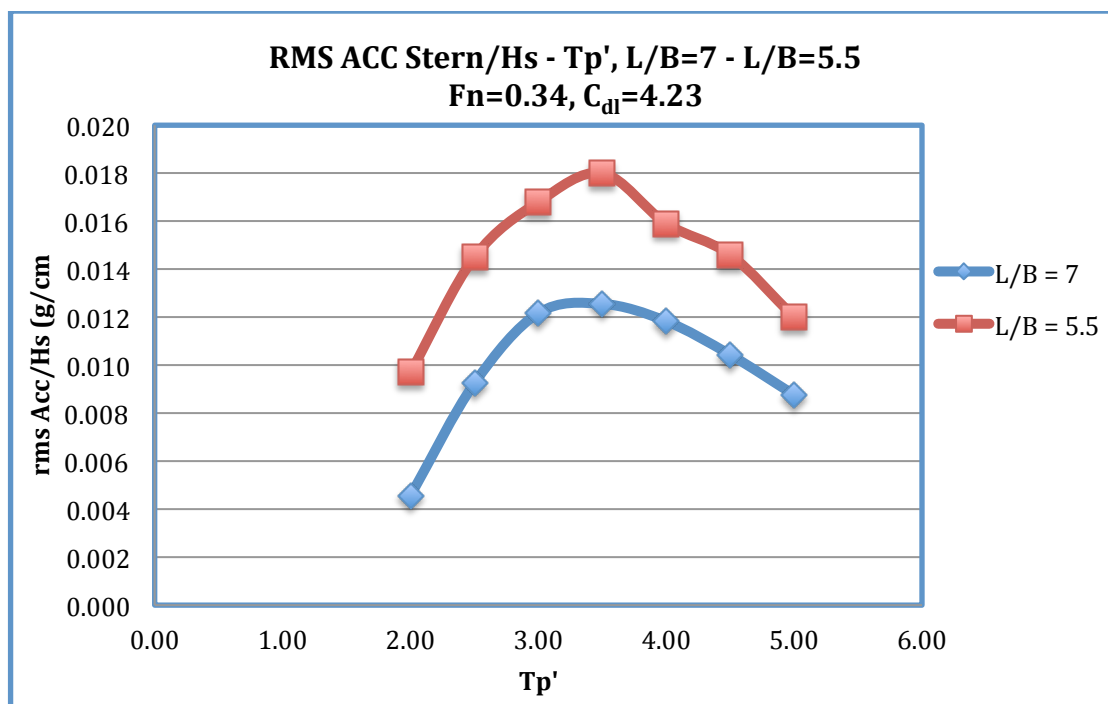
Διάγραμμα 5.2: RMS τιμές Προνευτασμού (Pitch), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



Διάγραμμα 5.3: RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (bow) επί των μοντέλων, ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



Διάγραμμα 5.4: RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (middle) επί των μοντέλων, ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



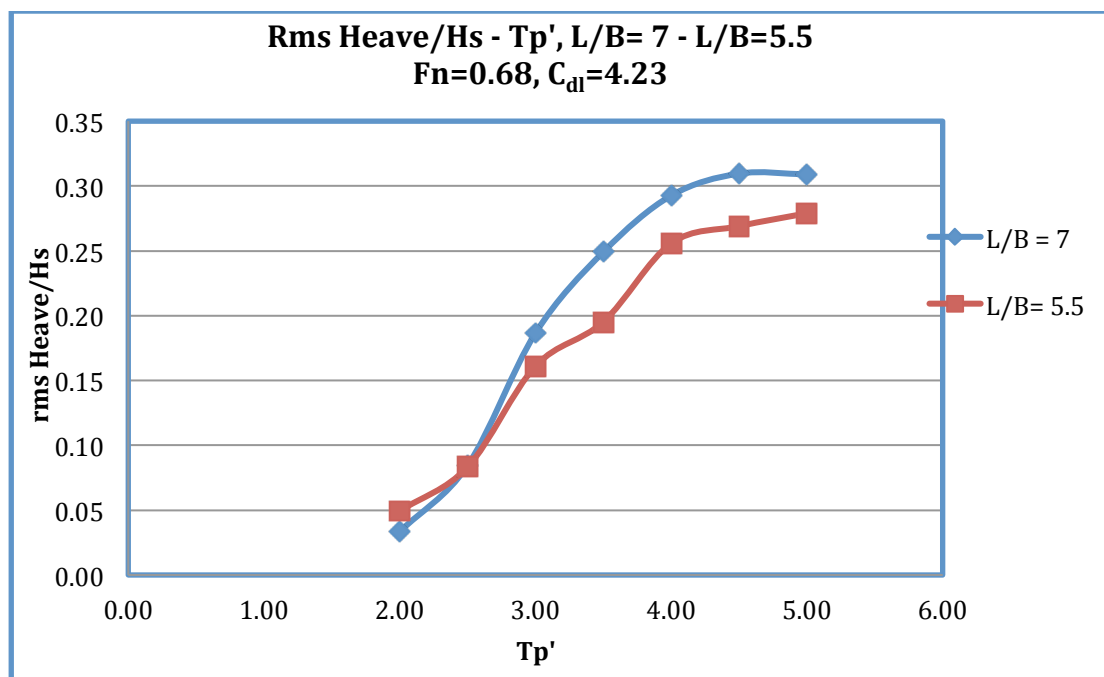
Διάγραμμα 5.5: RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη (stern) επί των μοντέλων, ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .

$F_n = 0.68$

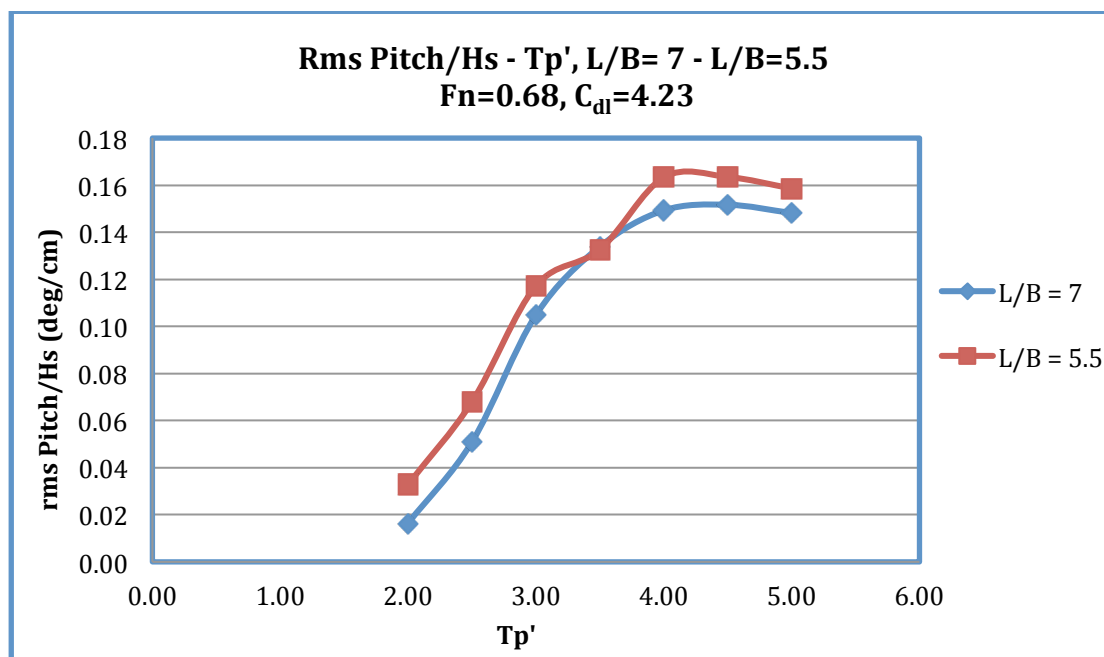
Στον Πίνακα 5.2 που ακολουθεί φαίνονται οι RMS τιμές των αποκρίσεων για το μοντέλο 097/94 με $L/B = 5.5$, $C_{dl} = 4.23$ για ταχύτητα που αναλογεί σε $F_n = 0.68$. Οι τιμές για το μοντέλο 116/96 φαίνονται στον Πίνακα 4.2.

| L/B = 5.5 | $C_{dl} = 4.23$ | $F_n = 0.68$ | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| T_p' | Hs | Acc. Bow/Hs | Acc. Middle/Hs | Acc. Stern/Hs | Heave/Hs | Pitch/Hs |
| - | cm | g/cm | g/cm | g/cm | cm/cm | deg/cm |
| 2 | 8 | 0,0121 | 0,0048 | 0,0074 | 0,0494 | 0,0329 |
| 2,5 | 9 | 0,0211 | 0,0084 | 0,0133 | 0,0833 | 0,0680 |
| 3 | 10 | 0,0307 | 0,0135 | 0,0187 | 0,1611 | 0,1172 |
| 3,5 | 11 | 0,0303 | 0,0140 | 0,0178 | 0,1952 | 0,1326 |
| 4 | 12 | 0,0335 | 0,0160 | 0,0195 | 0,2558 | 0,1633 |
| 4,5 | 14 | 0,0312 | 0,0153 | 0,0179 | 0,2690 | 0,1635 |
| 5 | 16 | 0,0284 | 0,0141 | 0,0163 | 0,2790 | 0,1586 |

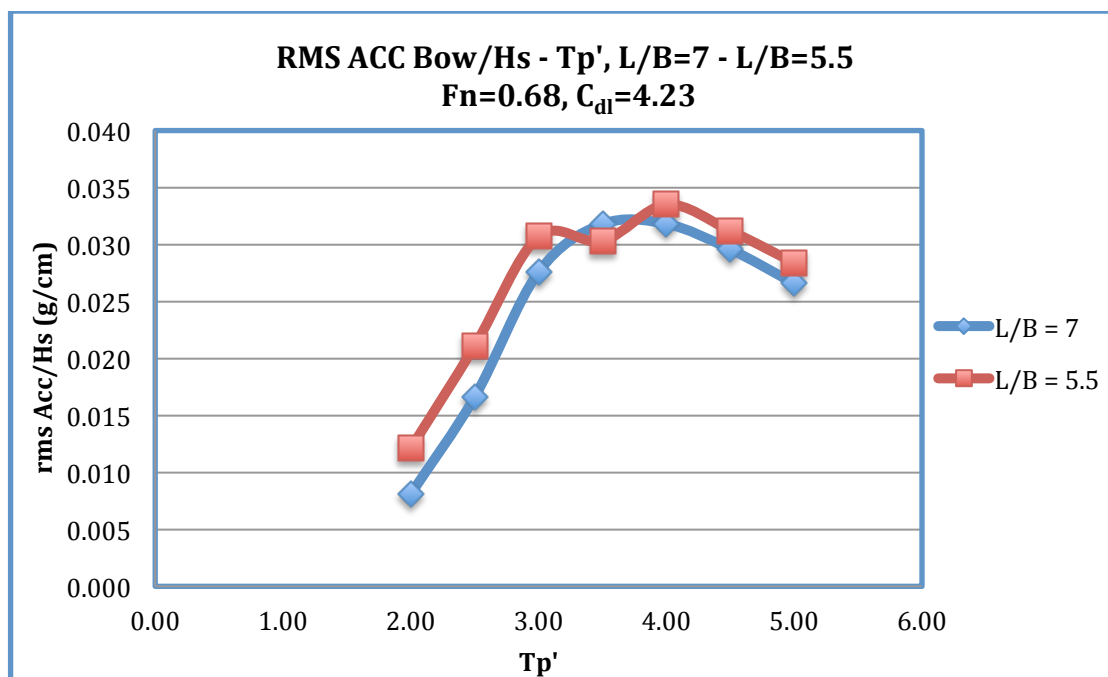
Πίνακας 5.2: Πίνακας συντελεστών rms τιμών των αποκρίσεων, μοντέλο 097/94, $L/B=5.5$, $C_{dl}=4.23$ - $F_n=0.68$.



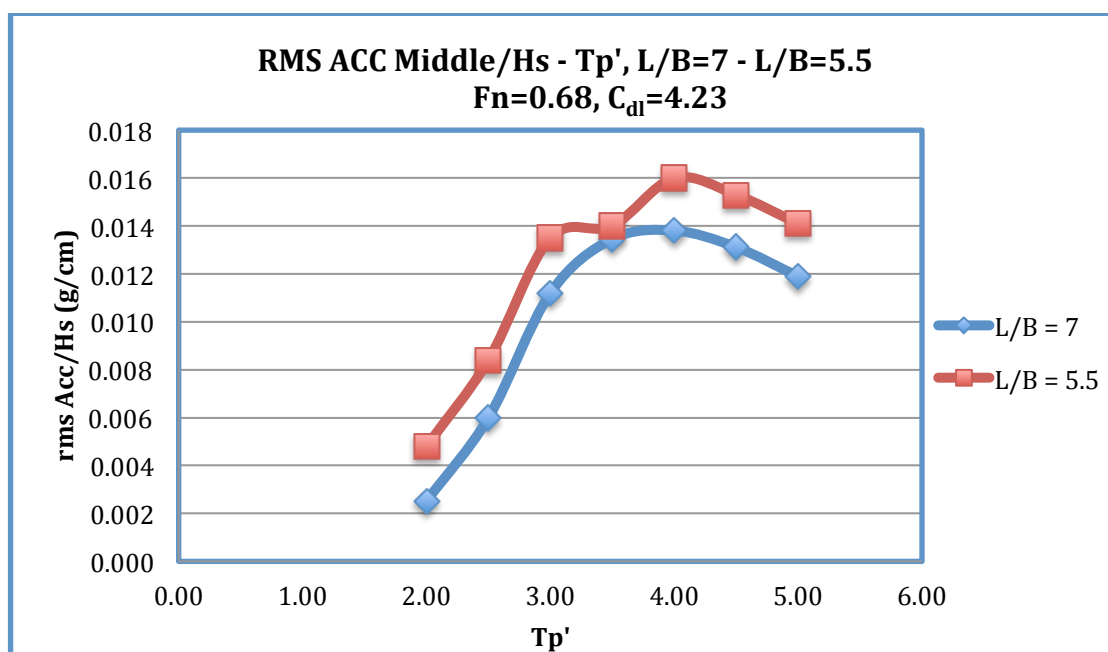
Διάγραμμα 5.6: RMS τιμές Κατακόρυφης Ανύψωσης (Heave), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



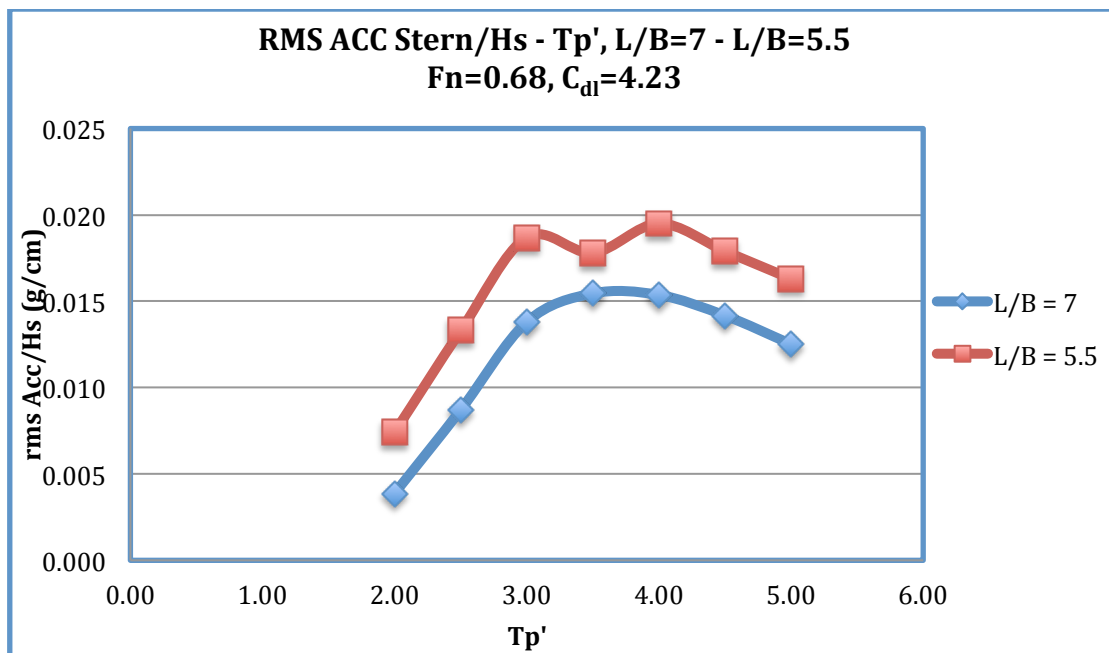
Διάγραμμα 5.7: RMS τιμές Προνευσμού (Pitch), ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



Διάγραμμα 5.8: RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (bow) επί των μοντέλων, ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



Διάγραμμα 5.9: RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (middle) επί των μοντέλων, ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .



Διάγραμμα 5.10: RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη (stern) επί των μοντέλων, ανοιγμένες στην αδιάστατη περίοδο T_p' .

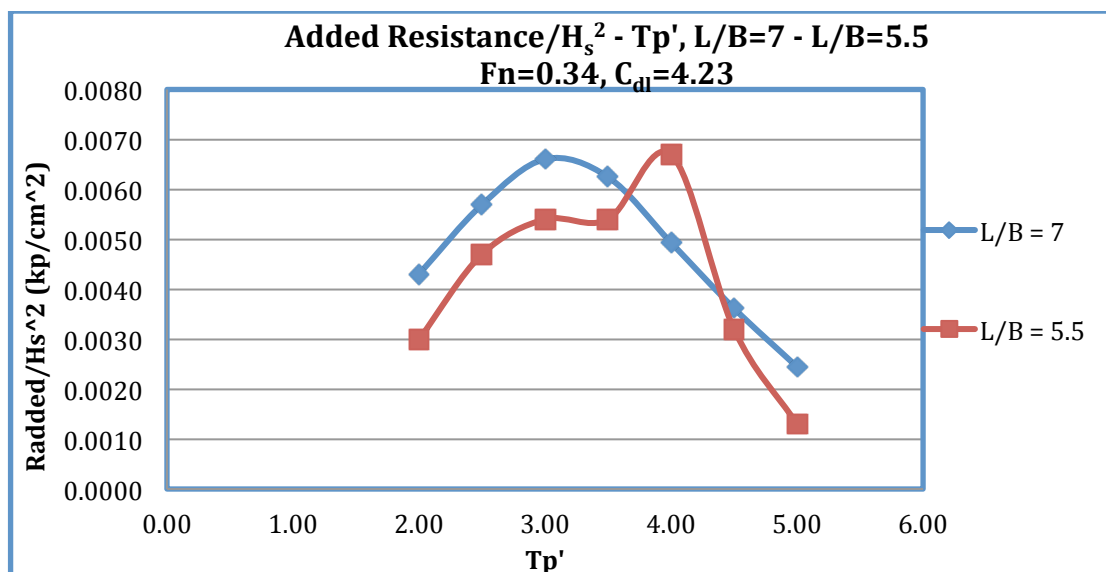
5.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ – ADDED RESISTANCE

$F_n=0.34$

Στον Πίνακα 5.3 που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές των της πρόσθετης αντίστασης – added resistance, για το μοντέλο 097/94 με $L/B = 5.5$, $C_{dl} = 4.23$ για ταχύτητα που αναλογεί σε $F_n=0.34$. Οι τιμές για το μοντέλο 116/96 φαίνονται στον Πίνακα 4.3.

| L/B = 5.5 | $C_{dl} = 4.23$ | $F_n = 0.34$ |
|-----------|-----------------|----------------------------------|
| T_p' | Hs | Added Resistance/Hs ² |
| - | cm | Kp/cm ² |
| 2 | 8 | 0,00300 |
| 2,5 | 9 | 0,00470 |
| 3 | 10 | 0,00540 |
| 3,5 | 11 | 0,00540 |
| 4 | 12 | 0,00670 |
| 4,5 | 14 | 0,00320 |
| 5 | 16 | 0,00130 |

Πίνακας 5.3: Πίνακας τιμών πρόσθετης αντίστασης – added resistance, μοντέλο 097/94, $L/B=5.5$, $C_{dl}=4.23$ - $F_n=0.34$.



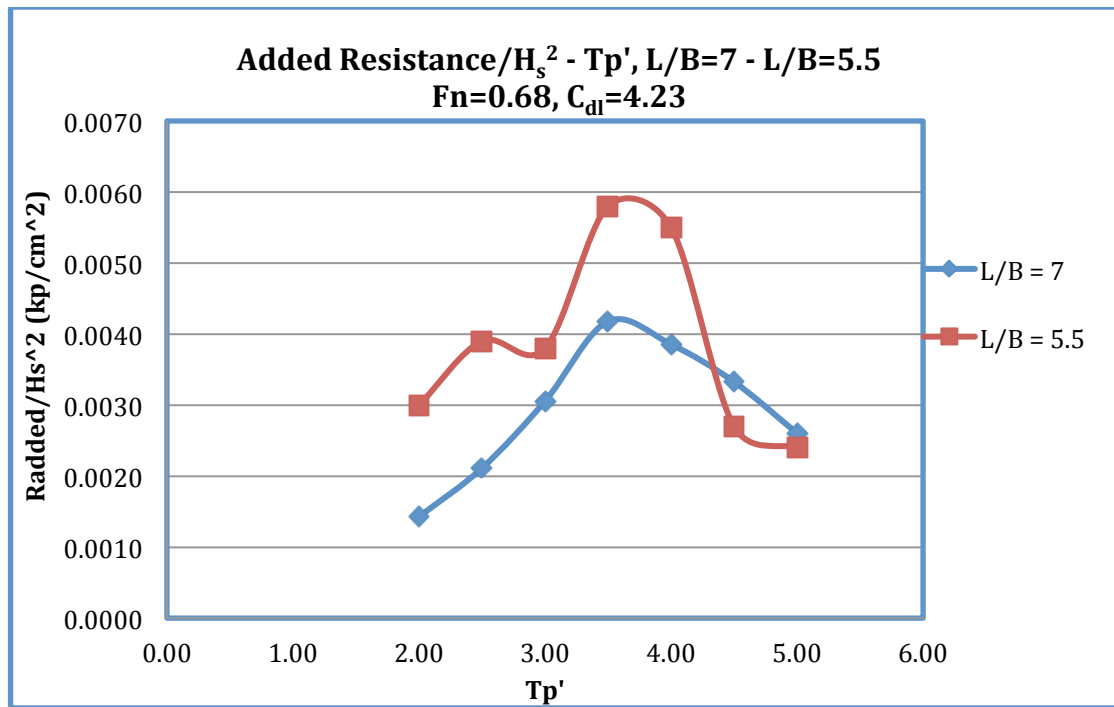
Διάγραμμα 5.11: Μέση Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance), ανοιγμένη στην αδιάστατη περίοδο T_p' - $F_n=0.34$.

$F_n = 0.68$

Στον *Πίνακα 5.4* που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές των της πρόσθετης αντίστασης – added resistance, για το μοντέλο 097/94 με $L/B = 5.5$, $C_{dl} = 4.23$ για ταχύτητα που αναλογεί σε $F_n = 0.68$. Οι τιμές για το μοντέλο 116/96 φαίνονται στον *Πίνακα 4.4*.

| $L/B = 5.5$ | $C_{dl} = 4.23$ | $F_n = 0.68$ |
|-------------|-----------------|---------------------------|
| T_p' | H_s | Added Resistance/ H_s^2 |
| - | cm | Kp/cm^2 |
| 2 | 8 | 0,00300 |
| 2,5 | 9 | 0,00390 |
| 3 | 10 | 0,00380 |
| 3,5 | 11 | 0,00580 |
| 4 | 12 | 0,00550 |
| 4,5 | 14 | 0,00270 |
| 5 | 16 | 0,00240 |

Πίνακας 5.4: Πίνακας τιμών πρόσθετης αντίστασης – added resistance, μοντέλο 097/94, $L/B=5.5$, $C_{dl}=4.23$ - $F_n=0.68$.



Διάγραμμα 5.12: Μέση Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance), ανοιγμένη στην αδιάστατη περίοδο T_p' - $F_n=0.68$.

5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

Παρατηρούμε ότι το πρότυπο 097/94 με $L/B = 5.5$ έχει πιο έντονες αποκρίσεις στους κυματισμούς από ότι το πρότυπο 116/96 με μεγαλύτερο λόγο $L/B = 7$ και για τις δύο ταχύτητες πλεύσης εκφρασμένες μέσω του αριθμού Froude. Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι RMS τιμές των επιταχύνσεων, στο μοντέλο 116/96 με $L/B = 7.0$ και στις δύο ταχύτητες δοκιμών, στην πλώρη, στο κέντρο βάρους και στην πρύμνη παρουσιάζουν μικρότερες τιμές για όλες τις καταστάσεις θάλασσας που μελετήσαμε κάτι που είναι αναμενόμενο από τη στιγμή που η γάστρα έχει πιο έντονη V σχεδίαση με αποτέλεσμα το πλοίο να έχει πιο ήπια συμπεριφορά σε κυματισμούς. Η διαφορά είναι πιο έντονη για την μικρή ταχύτητα πλεύσης. Ακόμα, παρατηρούμε ότι οι τιμές του προνευτασμού (Pitch) είναι και πάλι χαμηλότερες ενώ οι τιμές της κατακόρυφης επιτάχυνσης (Heave) περίπου ταυτίζονται και για τις δύο ταχύτητες.

Σε ότι αφορά την πρόσθετη αντίσταση, έχουμε μεγαλύτερες τιμές για το πρότυπο 116/96 με λόγο $L/B=7$ και για μικρή ταχύτητα πλεύσης σχεδόν για όλες τις καταστάσεις θάλασσας που μελετήσαμε. Ακόμα, οι τιμές της πρόσθετης αντίστασης είναι μικρότερες για την μεγάλη ταχύτητα πλεύσης και για τα δύο πρότυπα.

Σαν συνέχεια της μελέτης αναμένεται να μελετηθούν σε μελλοντικές εργασίες και τα υπόλοιπα πρότυπα της συστηματικής σειράς σε όλους τους λόγους L/B και σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης, που δεν έχουν ακόμα μελετηθεί. Έπειτα ως συνέχεια των πειραμάτων θα μπορούσαν να γίνουν εκ νέου πειράματα στα πρότυπα της σειράς αλλάζοντας αυτή την φορά την γωνία διαγωγής. Βέβαια αυτή η παράμετρος δεν αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά τις τιμές των αποκρίσεων του πλοίου όσο την τιμή της αντίστασης.

6

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: Gregory J.Gregoropoulos & Dimitra P.Damala, “Dynamic Performance of NTUA Double-Chine Series Hull forms in Random Waves”, 11th International Conference on Fast Sea Transportation , NTUA September 2011.
- [2]: Γρηγόρης Γρηγορόπουλος, “Δυναμική Συμπεριφορά πλοίων σε κυματισμούς - Σημειώσεις σπουδαστών ΔΠΜΣ”, Αθήνα 2004.
- [3]: Gregory J.Gregoropoulos & Dimitra P.Damala & Theodore A.Loukakis, “Dynamic Performance of NTUA Double-Chine Series Hull forms in Regular Waves”, Second Chesapeake Power Boat Symposium, March 2010.
- [4]: Daniel Savitsky, “On the subject of high – speed monohulls”, Athens, Greece October 2003.
- [5]: Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, «Υδροδυναμική Σχεδίαση Μικρών Σκαφών», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1996
- [6]: Θ.Α. Λουκάκης, Γ. Αθανασούλης, «Υδροδυναμική και Δυναμική Θαλασσιών Συστημάτων», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997
- [7]: Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Α.Ν. Περάκης «Seakeeping standard series for oblique seas (a synopsis)», Αθήνα 1998
- [8]: Σκουτζούρης Φώτιος, «Πειραματική Διερεύνηση της Δυναμικής Συμπεριφοράς Ταχύπλοων Σκαφών Με Διπλή Ακμή Σε Τυχαίους Κυματισμούς», Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, Ιούλιος 2012
- [9]: Χαράλαμπος Γ. Μπαρτσώτας, «Μελέτη Δυναμικής Συμπεριφοράς Ταχύπλοης Γάστρας Σε Τυχαίους Κυματισμούς», Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, 2013
- [10]: Gregory J. Grigoropoulos, Dimitris S. Chalkias, “Hull-form optimization in calm and rough water”, NTUA, 2010.
- [11]: Γ. Ι. Γρηγορόπουλος, “ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ”, ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013

