



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΤΑΧΥΠΛΩΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΜΕ ΔΙΠΛΗ ΑΚΜΗ ΣΕ ΤΥΧΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ**



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:
ΤΣΙΟΡΤΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:
ΓΡΗΓΟΡΗΣ ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ 2017

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς (seakeeping) ταχυπλόων σκαφών με γάστρα διπλής ακμής. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην Πειραματική Δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Τα μοντέλα υπό κλίμακα που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα ανήκουν στη συστηματική σειρά ταχυπλόων σκαφών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, ενώ οι τυχαίοι κυματισμοί που μελετήθηκαν προσομοιώνουν πραγματικές καταστάσεις θάλασσας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Γρηγόρη Γρηγορόπουλο για την αμέριστη βοήθειά του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή καθηγητή Γιάννη Γεωργίου για τις χρήσιμες υποδείξεις του.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες στο μέλος της Ε.Τ.Ε.Π., κ. Γιάννη Τραχανά μέλος Ε.Τ.Ε.Π., τον κ. Δημήτρη Λιαροκάπη μέλος Ε.Τ.Ε.Π., τον κ. Φώτη Κασάπη μέλος Ε.Δ.Ι.Π., το Δημοσθένη Τριπερίνα και τον κ. Γιάννη Μυλωνά μέλος Ε.Τ.Ε.Π. για την καθοριστική συνδρομή τους και την προθυμία τους κατά την εκτέλεση των πειραμάτων.

Πολλά “Ευχαριστώ” στους φίλους μου, την κοπέλα μου και την οικογένεια μου για τη βοήθεια και την πολύτιμη ψυχολογική υποστήριξή μου.

Τσιορτός Κωνταντίνος
Οκτώβριος 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ	4
1.1. ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΣΕΩΝ	4
1.2. ΘΕΩΡΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ	5
1.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.2.2. ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ-REGURAL WAVES	5
1.2.3. ΤΥΧΑΙΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ-RANDOM WAVES.....	6
1.2.3.1. ΜΟΝΤΕΛΟ LONGUET - HIGGINS	6
1.2.3.2. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ – ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ.....	7
1.2.3.3. ΦΑΣΜΑ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	8
1.3. ΘΕΩΡΙΑ ΛΩΡΙΔΩΝ	11
1.4. ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	14
Κεφάλαιο 2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΕΣ ΣΕΙΡΕΣ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΚΑΦΩΝ.....	15
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
2.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ.....	15
2.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΝΤΥΑ.....	16
2.4. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ SEAKEEPING ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ	17
Κεφάλαιο 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	19
3.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ.....	19
3.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	22
3.2.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΡΟΤΥΠΩΝ	22
3.2.1.1. ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ.....	22
3.2.1.2. ΕΥΡΕΣΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ (TRIM) ΚΑΙ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ	23
3.2.1.3. ΑΚΤΙΝΑ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ – ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΙΔΙΟΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ	23
3.2.1.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	25
3.2.2. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ	26
3.2.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ-ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΤΗΡΑ.....	27
3.3. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	32
Κεφάλαιο 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	36
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	36
Κεφάλαιο 5. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	37
5.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ.....	37
5.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΩΝ RMS ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	116

Κεφάλαιο 1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1.1. ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΣΕΩΝ

Η κίνηση κάθε πλέοντος σκάφους χαρακτηρίζεται συνολικά από 6 βαθμούς ελευθερίας: τρεις **μεταφορικές** κατά μήκος των αξόνων x , y , z και τρεις **περιστροφικές** περί αυτών (Σχήμα 1.1).

Μεταφορικές

ξ_1 Διαμήκης οριζόντια ταλάντωση (Surge)

ξ_2 Εγκάρσια οριζόντια ταλάντωση (Sway)

ξ_3 Κατακόρυφη ταλάντωση (Heave)

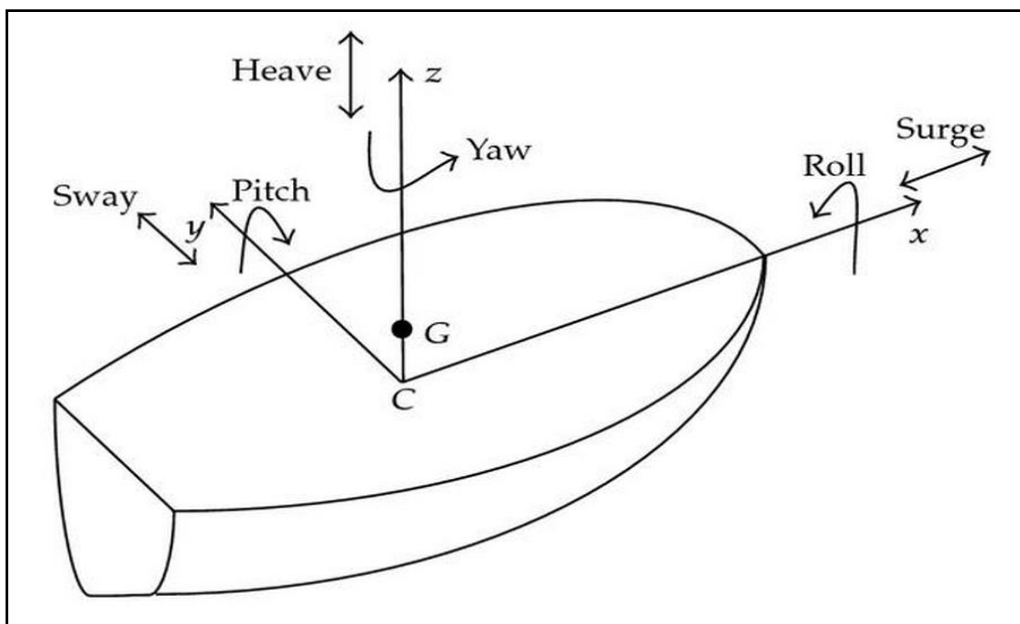
Περιστροφικές

ξ_4 Ταλάντωση περί το διαμήκη άξονα/Διατοιχισμός (Roll)

ξ_5 Ταλάντωση περί τον εγκάρσιο άξονα/Προνευτασμός (Pitch)

ξ_6 Ταλάντωση περί τον κατακόρυφο άξονα (Yaw)

Σχήμα 1.1. Βαθμοί ελευθερίας σκάφους.



Οι παραπάνω κινήσεις είναι στην πραγματικότητα συζευγμένες μεταξύ τους. Συνεπώς οι εκάστοτε διεγείρουσες δυνάμεις που ασκούνται στο σκάφος από προσπίπτοντες κυματισμούς δημιουργούν αποκρίσεις σύνθεσης φύσεως. Για το λόγο αυτό η δυναμική συμπεριφορά σε κυματισμούς (**Seakeeping**) αποτελεί πολύπλοκο φαινόμενο.

Οι αποκρίσεις που συνήθως εξετάζονται κατά την πλεύση σκάφους σε μετωπικούς κυματισμούς για την αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς του είναι οι εξής:

- Κατακόρυφη ταλάντωση(Heave)
- Ταλάντωση περί τον εγκάρσιο άξονα(Pitch)
- Πρόσθετη αντίσταση (added resistance)
- Κάθετες επιταχύνσεις (vertical accelerations) σε επιλεγμένα σημεία του σκάφους
- Σχετικές κινήσεις (relative motions)

Επιπλέον, βάσει των παραπάνω αποκρίσεων, μπορεί κανείς να υπολογίσει την πιθανότητα εμφάνισης ορισμένων τυχαίων συμβάντων, τα οποία δεν αποτελούν συνεχείς χρονικές συναρτήσεις. Τέτοια συμβάντα είναι η σφυρόκρουση πυθμένα/πλευρών πλώρας (bottom/bow flare slamming), η ανάδυση της έλικας (propeller emergence) και η διαβροχή καταστρώματος (deck wetness).

1.2. ΘΕΩΡΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

1.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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
- Χρονικό διάστημα πνοής
- Έκταση θαλάσσιας επιφάνειας επί της οποίας αναπτύσσονται

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.

1.2.2. ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ-REGULAR WAVES

Η μορφή τους είναι απλή ημιτονοειδής ή συνημιτονοειδής. Κύριες παράμετροι περιγραφής τους είναι η περίοδος T , η 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:

$$f = \sqrt{\frac{g}{2\pi\lambda}}$$

ενώ μεταξύ περιόδου – συχνότητας ισχύει η γνωστή σχέση

$$T = 1/f$$

Οι κυματισμοί αυτοί δε θα μας απασχολήσουν στα πειράματά μας.

1.2.3. ΤΥΧΑΙΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ-RANDOM WAVES

1.2.3.1. ΜΟΝΤΕΛΟ LONGUET - HIGGINS

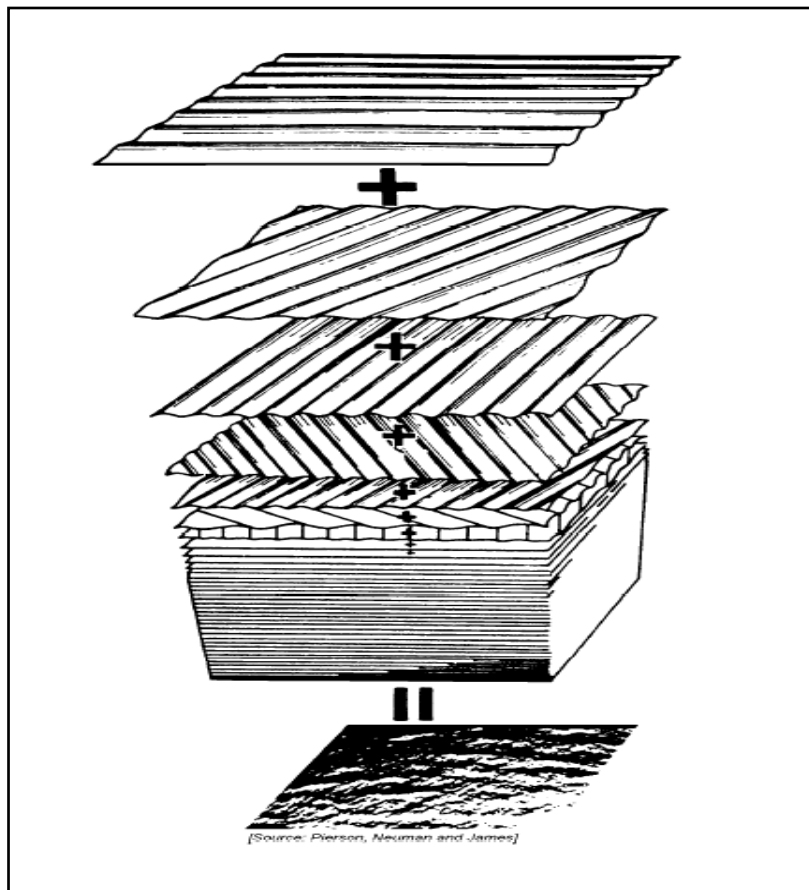
Οι τυχαίοι κυματισμοί, βάσει των οποίων θα γίνουν τα πειράματα δυναμικής συμπεριφοράς, περιγράφουν το θαλάσσιο περιβάλλον με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τους αρμονικούς. Για την μελέτη τους χρησιμοποιούνται στοχαστικές μέθοδοι.

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

$$A(t) = \sum A_i \cos(\omega_i t + \phi_i)$$

Καθένα από τα κύματα αυτά έχει σταθερό πλάτος, σταθερές παραμέτρους (πλάτος, συχνότητα, κυματικός αριθμός) αλλά διαφορετική γωνία φάσης.

Σχήμα 1.2. Περιγραφή προφίλ τυχαίων κυματισμών με επαλληλία ημιτονικών κυμάτων.



1.2.3.2. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ – ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Το κυματικό περιβάλλον που περιγράψαμε προηγουμένως χαρακτηρίζεται από **φαινόμενα** και **στατιστικά** μεγέθη.

Φαινόμενα είναι τα μεγέθη που μετρούνται απευθείας κατά την καταγραφή ενός θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η περαιτέρω επεξεργασία τους βάσει στατιστικών παραμέτρων μας δίνει τα στατιστικά μεγέθη των κυματισμών.

Η συνάρτηση ανύψωσης θαλάσσιας επιφάνειας (συμβολίζεται με η) παριστάνεται με δύο τρόπους:

- Στο πεδίο του χρόνου $t - \eta(t)$, όπου t η διάρκεια χρονικής καταγραφής
- Στο πεδίο συγκεκριμένης διεύθυνσης $\theta - \eta(r/\theta)$, όπου r ακτίνα κυκλικού δίσκου (μήκος χωρικής καταγραφής) και $\theta = \text{σταθ}$.

Τα φαινόμενα μεγέθη που αναφέρονται σε συγκεκριμένη χρονική ιστορία ονομάζονται φαινόμενα μεγέθη χρόνου, ενώ εκείνα που μελετώνται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση ονομάζονται φαινόμενα μεγέθη χώρου.

Σ' αυτές τις δύο κατηγορίες ανήκουν: το φαινόμενο ύψος κύματος, η φαινόμενη περίοδος κορυφών/μηδενικής υπέρβασης (για μεγέθη χρόνου), το φαινόμενο μήκος κύματος (για μεγέθη χώρου) κ.α.

Στατιστικά είναι τα μεγέθη που προκύπτουν από τη στατιστική επεξεργασία των φαινόμενων μεγεθών. Τέτοια μεγέθη είναι το μέσο μήκος κύματος, η τυπική απόκλιση H_{rms} του ύψους κύματος, το σημαντικό ύψος κύματος $H_{1/3}$ κ.α.

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 (σχέση 1.2):

$$H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j \quad (1.2)$$

Στην περίπτωση που οι τιμές κύματος ληφθούν ως τιμές χώρου, τότε τα στατιστικά μεγέθη εξαρτώνται και από την κατεύθυνση διάδοσης θ . Εάν το $H_{1/3}$ παρουσιάζει έντονο ολικό μέγιστο για κάποια κατεύθυνση Θ_0 , τότε η κατεύθυνση αυτή λέγεται **κύρια κατεύθυνση διάδοσης κύματος**. Εάν παρουσιάζονται παραπάνω από ένα μέγιστα, τότε αντίστοιχα έχουμε δύο ή περισσότερες κύριες κατευθύνσεις διάδοσης.

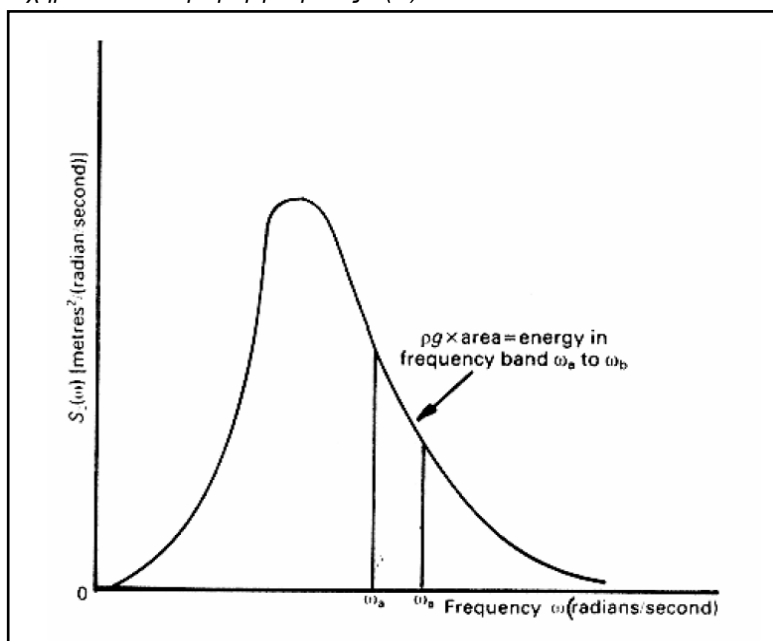
1.2.3.3. ΦΑΣΜΑ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

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.

Τα φασματικά μεγέθη που αντιστοιχούν στα στατιστικά μεγέθη χρόνου εκφράζονται με τη βοήθεια του σημειακού φάσματος κυκλικής συχνότητας $S(\omega)$ ή $S(f)$, σχέση 1.3 και σχήμα 1.3:

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

Σχήμα 1.3. Συνάρτηση φάσματος $S(\omega)$.



Η μορφή της συνάρτησης $S(\omega)/S(f)$ εξαρτάται από τη διάρκεια πνοής του ανέμου και κατά συνέπεια καθορίζεται από το παραγόμενο θαλάσσιο κυματικό περιβάλλον.

Διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις:

- **αναπτυσσόμενες θάλασσες:** Η θαλάσσια επιφάνεια δεν έχει απορροφήσει πλήρως τη διαθέσιμη ενέργεια ανέμου.
- **πλήρως ανεπτυγμένες θάλασσες:** Το κυματικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη απορροφηθείσα ενέργεια ανέμου.
- **αποσβενόμενες θάλασσες:** Η ενέργεια χάνεται σταδιακά λόγω απωλειών.

Χαρακτηριστικά μεγέθη φάσματος

Οι σχέσεις 1.4 – 1.7 δίδουν τα κυριότερα στατιστικά μεγέθη του κυματικού φάσματος:

- Μέσο ύψος κύματος

$$\bar{H} = 2,5\sqrt{m_0} \quad (1.4)$$

- Σημαντικό ύψος κύματος

$$H_{1/3} = H_s = 4\sqrt{m_0} \quad (1.5)$$

- Μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης

$$T_{02} = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (1.6)$$

- Μέση περίοδος κορυφών

$$T_{24} = 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{m_4}} \quad (1.7)$$

Οι ποσότητες m_0 , m_2 , m_4 ονομάζονται **φασματικές ροπές** και προκύπτουν από τη σχέση 1.8:

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega^n S(\omega) d\omega \quad (1.8)$$

Για $n=0$ έχουμε ότι

$$m_0 = \int S(\omega) d\omega \quad (1.9)$$

και

$$\sigma_\chi = rms = \sqrt{m_0} \quad (1.10)$$

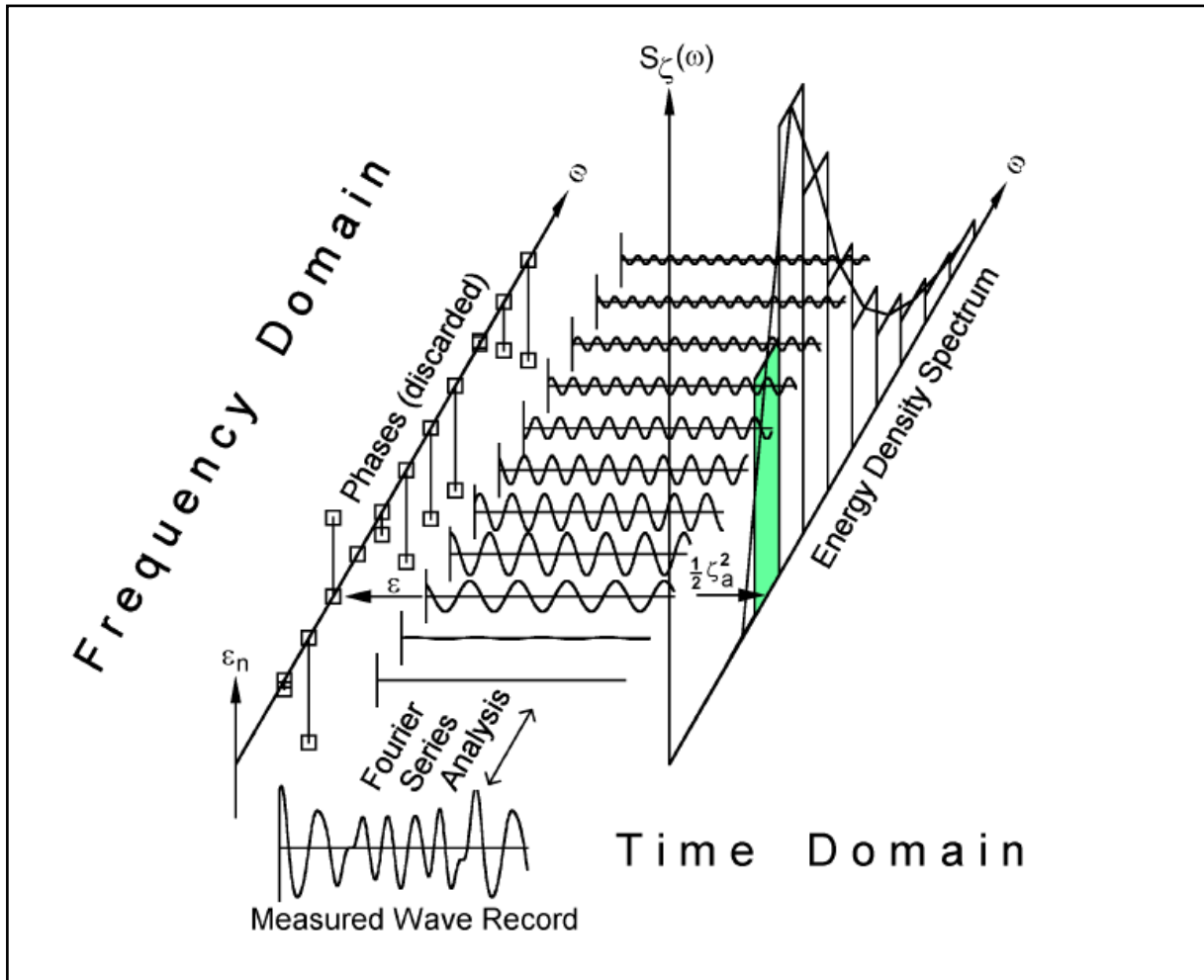
είναι η **τυπική απόκλιση** ή αλλιώς η ρίζα της μέσης τετραγωνικής τιμής του φάσματος (**root mean square – rms**).

Συνεπώς η μέση τετραγωνική τιμή (rms^2) ισούται με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη της φασματικής συνάρτησης.

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.

Στο Σχήμα 1.4 παριστάνεται γραφικά ο τρόπος με τον οποίον το φάσμα $S(\omega)$ περιγράφει την κατανομή ενέργειας στις επιμέρους αρμονικές. Το σύνθετο κυματικό περιβάλλον που προκύπτει αναλύεται μέσω μετασχηματισμού Fourier, κάτι που θα εξηγήσουμε σε επόμενη ενότητα.

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



Παρόμοιες σχέσεις με τις προαναφερθείσες ισχύουν και για τα φασματικά μεγέθη χώρου, όπου εκεί έχουμε το φάσμα κατεύθυνσης θ (σχέση 1.11):

$$S(\theta) = \int_0^{\infty} S(\omega, \theta) d\omega \quad (1.11)$$

Όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση αυτή μπορεί να έχουμε είτε μια κύρια κατεύθυνση διάδοσης (ένα ολικό μέγιστο Θ_0) είτε περισσότερες (διάφορα τοπικά μέγιστα).

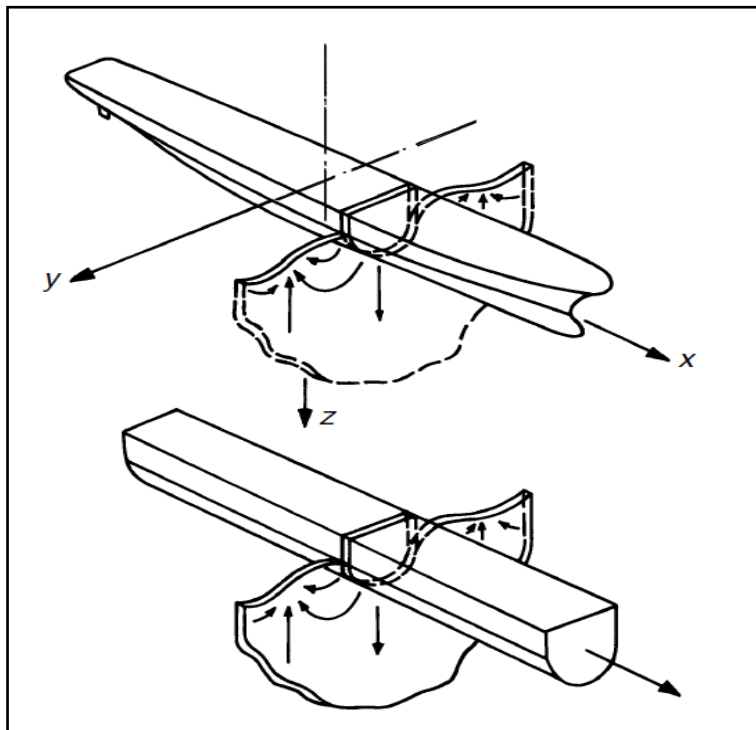
Τα πειράματα που διεξήχθησαν στη δεξαμενή αφορούσαν τυχαίους κυματισμούς σε πλήρως ανεπτυγμένες θάλασσες. Για την περιγραφή των τυχαίων κυματισμών έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα, όπως το Pierson-Moskowitz, το Bretschneider, το Johnswap κλπ. Συγκεκριμένα εξετάστηκαν τυχαίοι μετωπικοί κυματισμοί που περιγράφονται από το φάσμα Bretschneider (σχέση 1.12). Το φάσμα αυτό περιγράφει ανοιχτές θάλασσες οποιουδήποτε βαθμού ανάπτυξης και ονομάζεται διπαραμετρικό διότι ορίζεται με τη βοήθεια δυο παραμέτρων, της συχνότητας κορυφής ω_p και του σημαντικού ύψους κύματος $H_{1/3}$:

$$S(\omega) = \left\{ \frac{5}{16} \cdot \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^5 \cdot \frac{\left(H_{1/3}\right)^2}{\omega_p} \cdot \exp\left[-\frac{5}{4} \cdot \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^4\right] \right\} \quad (1.12)$$

1.3. ΘΕΩΡΙΑ ΛΩΡΙΔΩΝ

Η θεωρία λωρίδων (strip theory) αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες αναλυτικές μεθόδους υπολογισμού αποκρίσεων σε κυματισμούς. Βασικό χαρακτηριστικό της εφαρμογής της είναι ο χωρισμός της γάστρας κατά το διάμηκες σε εγκάρσιες λωρίδες μικρού μήκους. Κάθε λωρίδα θεωρούμε ότι αποτελεί τμήμα αντίστοιχου ιδεατού πρίσματος (Σχήμα 1.5). Κάθε λωρίδα αποτελεί στην ουσία διάστημα μεταξύ νομέων.

Σχήμα 1.5. Θεώρηση λωρίδας ως τμήμα πρίσματος στα πλαίσια της strip theory.



Η διαδικασία επίλυσης έχει ως εξής:

- Υπολογισμός των υδροδυναμικών συντελεστών της κάθε λωρίδας (δισδιάστατο πρόβλημα).
- Ολοκλήρωση των υδροδυναμικών συντελεστών κατά μήκος του πλοίου και υπολογισμός των συντελεστών στις εξισώσεις απόκρισης
- Επίλυση των εξισώσεων

Οι υπολογισμοί γίνονται με την προϋπόθεση ότι αμελούνται οι αλληλεπιδράσεις της ροής μεταξύ των λωρίδων.

Κύριες προϋποθέσεις εφαρμογής της θεωρίας λωρίδων είναι οι εξής:

- Γάστρες λεπτόγραμμες (slender) με μεγάλη ακαμψία (rigid body)
- Μικρή ταχύτητα πλεύσης χωρίς την ανάπτυξη σημαντικών υδροδυναμικών δυνάμεων (γάστρες εκτοπίσματος/ημικτοπίσματος)
- Μικρές κινήσεις σκάφους
- Κατακόρυφα τοιχώματα γάστρας στην ίσαλο πλεύσης
- Διάδοση κυματισμών σε βαθύ νερό (deep water)
- Οι κυματισμοί δεν διαταράσσονται από την παρουσία της γάστρας (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:

- Στα μικρά ταχύπλοα η μορφή των νομέων μεταβάλλεται γρήγορα κατά μήκος του σκάφους, ενώ η θεωρία λωρίδων θεωρεί ότι κάθε τμήμα του πλοίου συμπεριφέρεται σαν τμήμα ενός πρίσματος απείρου μήκους (δισδιάστατο πρόβλημα).
- Η πρύμνη “καθρέφτης” των ταχυπλών σκαφών εισάγει σημαντικές αλλοιώσεις στα αποτελέσματα της θεωρίας λωρίδων.
- Τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά κάθε λωρίδας (δισδιάστατο πρόβλημα) μπορούν να υπολογιστούν με σύμμορφη απεικόνιση κυλίνδρου σε κάθε τομή γάστρας. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται οικογένειες απεικονίσεων νομέων όπως η διπαραμέτρική οικογένεια Lewis. Οι νομείς συμβατικών σκαφών στρογγυλού πυθμένα (round bilge) μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά από μορφές Lewis, δε συμβαίνει όμως το ίδιο και με τα ταχύπλοα.
- Η έξοδος της πλώρας των ταχυπλών από το νερό κατά την πλεύση σε κυματισμούς (ως τυχαίο συμβάν) καθιστά επισφαλή την υπόθεση της γραμμικής υπέρθεσης των αποκρίσεων.
- Στη θεωρία λωρίδων θεωρούμε ότι η γάστρα δεν επηρεάζει τους κυματισμούς, συνεπώς

στα ταχύπλοα λαμβάνουμε αναξιόπιστα αποτελέσματα είναι αναξιόπιστα πρύμνηθεν του πρωραίου τμήματος.

- Στις ταχύτητες ολίσθησης έχουμε ανάπτυξη σημαντικής υδροδυναμικής άνωσης, η οποία στη θεωρία λωρίδων δε λαμβάνεται υπόψιν.

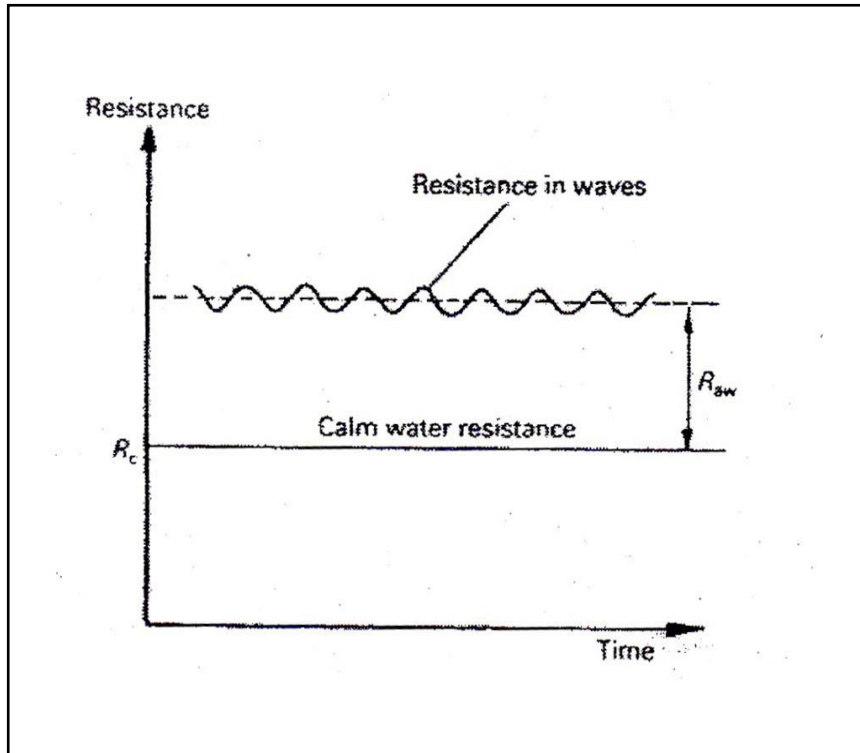
Σε κάθε περίπτωση, η θεωρία λωρίδων μπορεί με τις κατάλληλες διορθώσεις να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα για οποιονδήποτε τύπο σκάφους. Έτσι επεκτείνεται το πεδίο εφαρμογής της παρά τις περιοριστικές προϋποθέσεις που διατυπώθηκαν προηγουμένως.

Όσον αφορά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της θεωρίας λωρίδων με αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα seakeeping, διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

- Σε συμβατικές γάστρες (καθώς και σε γάστρες ημικτοπίσματος) οι αποκρίσεις που υπολογίζονται από τη θεωρία λωρίδων είναι παραπλήσιες των πειραματικώς υπολογιζόμενων.
- Σε ολισθακάτους επιτυγχάνεται ικανοποιητική προσέγγιση πειράματος - θεωρίας για ταχύτητες στην περιοχή προολίσθησης ($Fr < 0,5$). Για μεγαλύτερες ταχύτητες η αναλυτική πρόβλεψη παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις σε σχέση με το πειραματικό αποτέλεσμα.

1.4. ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Σχήμα 1.7. Ολική αντίσταση σκάφους.



Η ολική αντίσταση του σκάφους κατά την πλεύση σε κυματισμούς (Σχήμα 1.7) αποτελείται από δύο συνιστώσες: την αντίσταση σε ήρεμο νερό (calm water resistance) και την πρόσθετη αντίσταση σε κυματισμούς (added wave resistance).

Ο αισθητήρας Resistance μετράει τιμές ολικής αντίστασης, ενώ κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων ζητούνται διαγράμματα της πρόσθετης αντίστασης για διάφορες καταστάσεις θάλασσας (συναρτήσει της ταχύτητας). Συνεπώς θα πρέπει να αφαιρεθούν τα αντίστοιχα μεγέθη της αντίστασης σε ήρεμο νερό από εκείνα της ολικής. Τα αποτελέσματα σε ήρεμο νερό για το μοντέλο μας υπάρχουν ήδη έτοιμα από παλαιότερα πειράματα και μπορούμε εύκολα να τα χρησιμοποιήσουμε.

Κεφάλαιο 2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΕΣ ΣΕΙΡΕΣ ΤΑΧΥΠΛΩΩΝ ΣΚΑΦΩΝ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς ενός σκάφους σε κυματισμούς μπορεί να εκτιμηθεί είτε με χρήση κατάλληλου λογισμικού είτε μέσω πειραματικής διαδικασίας. Στα πλαίσια της προσπάθειας αυτής, αναπτύχθηκαν από ορισμένα ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια οι λεγόμενες συστηματικές σειρές ταχυπλώων σκαφών. Ως “συστηματική σειρά” καλείται μια συγκεκριμένη οικογένεια γαστρών με ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά.

Στις σειρές αυτές έχουν γίνει όλα τα απαραίτητα πειράματα συμπεριφοράς, τόσο για τη μέτρηση της αντίστασης σε ήρεμο νερό όσο και για την εύρεση των αποκρίσεων σε συγκεκριμένες καταστάσεις θάλασσας. Στόχος είναι η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων επί της υδροδυναμικής συμπεριφοράς, ούτως ώστε να χρησιμοποιούνται έτοιμα αποτελέσματα seakeeping κατά την προκαταρκτική σχεδίαση σκαφών με ίδια ή παρόμοια γάστρα. Συνεπώς δε χρειάζεται να γίνει εκ νέου πειραματική διερεύνηση.

Επιπλέον μπορεί να ελεγχθεί εάν μία δεδομένη γάστρα, βασισμένη σε συστηματικές σειρές, είναι κατάλληλη για συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή στην οποία προορίζεται να χρησιμοποιηθεί. Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να προχωρήσουμε στις απαιτούμενες αλλαγές σε περίπτωση που η σχεδίαση της γάστρας κριθεί ακατάλληλη.

2.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ

Οι συστηματικές σειρές ταχυπλώων σκαφών που έχουν αναπτυχθεί ως σήμερα αφορούν γάστρες μορφής V. Χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Στρογγυλού πυθμένα (rounded bilge)
- Απλής ακμής (single chine)
- Διπλής ακμής (double chine)

Χαρακτηριστικοί εκπρόσωποι της πρώτης κατηγορίας αποτελούν οι συστηματικές σειρές NPL του National Physical Laboratory και 63 του Stevens Institute of Technology, καθώς και η σειρά SSPA (κυρίως για μικρά πολεμικά σκάφη).

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν η συστηματική σειρά 62 των Clement/Blount και η σειρά Keuning – Gerritsma.

Τέλος, στην κατηγορία των γαστρών διπλής ακμής ανήκουν η συστηματική σειρά Savitsky και η συστηματική σειρά NTUA, στην οποία θα αναφερθούμε εκτενέστερα στη συνέχεια.

2.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΝΤΥΑ

Το 1972 οι Savitsky, Roper και Bener πρότειναν μια νέα σχεδίαση ολισθακάτου υψηλών ταχυτήτων με προοπτικές πολύ ικανοποιητικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς. Κύρια χαρακτηριστικά της γάστρας αυτής ήταν τα εξής:

- διπλή ακμή
- πλατύς πρυμναίος καθρέπτης (transom)
- δίπλωμα της μορφής V των πρωραίων νομέων
- μεταβλητή (warped) επιφάνεια ολίσθησης γάστρας
- λεπτόγραμμη πλώρη

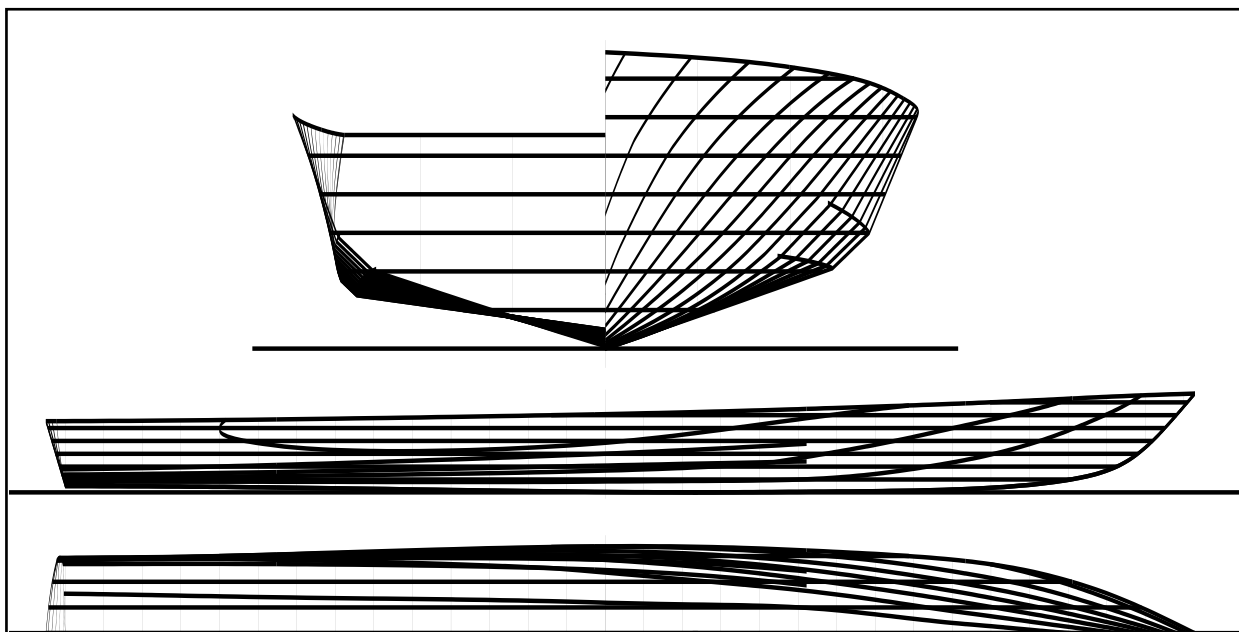
Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά αποτελούν γνωρίσματα της περίφημης συστηματικής σειράς του Savitsky. Οι υδροδυναμικές αρετές της σειράς αυτής αποτέλεσαν εφελθτήριο για την ανάπτυξη αντίστοιχης συστηματικής σειράς ταχυπλόων από το Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του ΕΜΠ κατά τη δεκαετία του '80 από τους κ.κ. καθηγητές Θ. Λουκάκη και Γ. Γρηγορόπουλο.

Ως πατρικό σκάφος της συστηματικής σειράς του ΕΜΠ επιλέχθηκε το μοντέλο NTUA-097/94 (Σχήμα 2.1) Κατασκευάστηκε το 1994 και βασίστηκε στην πρόταση του Savitsky για γάστρα διπλής ακμής. Η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς του συγκεκριμένου σκάφους αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής.

Η επιλογή του NTUA-097/94 ως πατρικού σκάφους της σειράς έγινε λόγω των πολύ καλών αποτελεσμάτων που ελήφθησαν τόσο από πειράματα αντίστασης σε ήρεμο νερό, όσο και από κάποια πρώιμα πειράματα seakeeping. Ως κύρια παράμετρος ανάπτυξης της σειράς βάση του συγκεκριμένου μοντέλου επιλέχθηκε ο λόγος μήκους προς πλάτος (L/B), με τιμές 4.00, 4.75, 5.50, 6.25, 7.00 (Η τιμή 5.50 αντιστοιχεί στο 097/94).

Βάσει λοιπόν του λόγου αυτού αναπτύσσονται τα υπόλοιπα τέσσερα μοντέλα της σειράς με τον εξής τρόπο: η μέση τομή τους παραμένει ίδια με του πατρικού, αλλά έχουμε κατάλληλη τροποποίηση των πρωραίων/πρυμναίων νομέων για τα διάφορα L/B.

Σχήμα 2.1. Σχέδιο γραμμών του πατρικού σκάφους 097/94 της συστηματικής σειράς NTUA.



Η δεύτερη σημαντική παράμετρος της σειράς NTUA είναι ο λεγόμενος συντελεστής εκτοπίσματος (σχέση 2.1):

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

Το μέγεθος αυτό είναι παρεμφερές του ναυπηγικού συντελεστή λυγηρότητας και εκφράζει την κατάσταση φόρτωσης του μοντέλου βάσει εκτοπίσματος. Με τον τρόπο αυτό, κάθε γάστρα της συστηματικής σειράς δοκιμάζεται σε έξι διαφορετικές συνθήκες φόρτωσης που αντιστοιχούν σε τιμές C_{DL} 1.00, 1.61, 2.23, 3.00, 3.62, 4.23. Έτσι μελετάμε μια ευρεία γκάμα εκτοπισμάτων, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες ακόμη και μεγάλων ταχυπλόων σκαφών.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Για μικρούς C_{DL} (χαμηλά εκτοπίσματα), η εκτέλεση πειραμάτων στα μοντέλα της σειράς ήταν αδύνατη. Έτσι λοιπόν, κάθε γάστρα της σειράς διαθέτει αντίστοιχο αντίγραφο σε μεγαλύτερη κλίμακα (5:3), και εκτελούμε το πείραμα για τους μικρούς συντελεστές φόρτωσης. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα μπορούν εύκολα να αναχθούν στις μικρότερες γάστρες.

2.4. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ SEAKEEPING ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε, στόχος των πειραμάτων seakeeping σε γάστρες μιας συστηματικής σειράς είναι η δημιουργία μιας βάσης πληροφοριών. Η βάση αυτή περιέχει πειραματικά αποτελέσματα δυναμικής συμπεριφοράς τα οποία αποτελούν χρησιμότερο εργαλείο κατά την προκαταρκτική σχεδίαση γαστρών παρόμοιων με τις “συστηματικές”. Τα αποτελέσματα αυτά είναι αδιαστατοποιημένα τόσο ως προς το μήκος του πλοίου L_{WL} όσο και ως προς το σημαντικό ύψος κύματος $H_{1/3}$.

Συνεπώς, αν θέλουμε να μελετήσουμε μια γάστρα γεωμετρικά όμοια με κάποια από τις “συστηματικές” (για συγκεκριμένη κατάσταση θάλασσας), δεν έχουμε παρά να τροποποιήσουμε τα αντίστοιχα αδιαστατοποιημένα αποτελέσματα εισάγοντας το μήκος του πλοίου και το σημαντικό ύψος κύματος. Έτσι μπορούμε να έχουμε μια γρήγορη και αξιόπιστη εικόνα για τη δυναμική συμπεριφορά της γάστρας που εξετάζουμε (τουλάχιστον σε προκαταρκτικό επίπεδο). Επιπλέον, μπορούμε να προβούμε σε αλλαγές επί της σχεδίασης στην περίπτωση που η δυναμική συμπεριφορά δεν είναι κριτηριακά ικανοποιητική.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μου ζητήθηκε η επιβεβαίωση ή διόρθωση προηγούμενων πειραματικών αποτελεσμάτων με επανάληψη των πειραμάτων αυτών.

Πίνακας 2.1. Συγκριτικός πίνακας προτύπων

L/B	4.00	4.75	5.50	6.25	7.00
Cdl/name	113/95	154/99	118/96-097/94	146/98	116/96
1.00					
1.63			Περδικάρη(2006) Fr=0.34 Fr=0.68 Large model Δαμάλα(2012) Fr=0.34 Fr=0.68 Large model		
3.00	Τέφας(2006) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model Δαμάλα(2012) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model	Μάζη(2013) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model	Περδικάρη(2006) Fr=0.43 Small model Ρούσσο(2007) Fr=0.34 Small model Σκουντζούρης(2012) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model Τέφας(2006) Fr=0.68 Small model Δαμάλα(2012) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model	Μάζη(2013) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model	Ρούσσο(2007) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model Δαμάλα(2012) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model
3.62					
4.23	A.Πατέρας(2016) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model		Μπαρτζώτας(2013) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model Δαμάλα(2012) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model		Χουντάλας(2016) Fr=0.34 Fr=0.68 Small model Μπαρτζώτας(2013) Fr=0.38 Fr=0.76 Small model

Με βάση τον παραπάνω πίνακα σύγκρινα τα αποτελέσματα στις κοινές μετρήσεις (ίδια συστηματική σειρά, ίδιο C_{dl} και ίδια ταχύτητα) που είχαν γίνει σε παλαιότερα πειράματα και παρατήρησα ορισμένες αποκλίσεις στα αποτελέσματα κάποιων μετρήσεων σε ορισμένες καταστάσεις θάλασσας. Για τις συγκεκριμένες καταστάσεις θάλασσας έγιναν εκ νέου πειράματα, όπου αναλύονται παρακάτω.

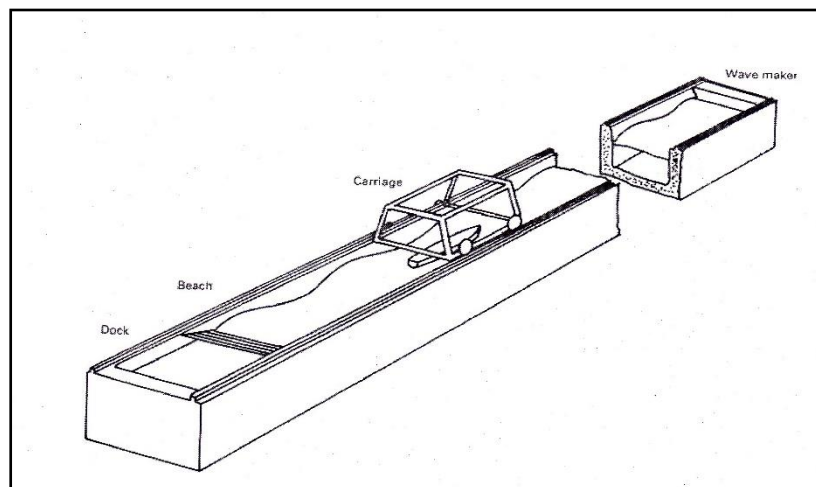
Κεφάλαιο 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Αντικείμενο της πειραματικής διαδικασίας αποτέλεσε η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς του προτύπου 097/94 και του προτύπου 113/95 (συστηματική σειρά NTUA) σε τυχαίους μετωπικούς κυματισμούς στις προαναφερθείσες καταστάσεις θάλασσας.

Το μοντέλο 097/94 ($L/B=5.5$ small) μελετάται σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης ($C_{dl}=3.00$), ρυμουλκούμενο από το φορείο της δεξαμενής στη ταχύτητα που αντιστοιχεί σε αριθμό Froude 0,68 ($V=3.119$ m/sec) σε μία κατάσταση θάλασσας. Το ίδιο μοντέλο σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης $C_{dl}=4.23$ και στην ταχύτητα που αντιστοιχεί σε αριθμό Froude 0.34 ($V=1.5596$ m/sec) και σε ταχύτητα που αντιστοιχεί σε αριθμό Froude 0,68 ($V=3.119$ m/sec) σε δύο καταστάσεις θάλασσας το καθένα. Συνολικά, για το μοντέλο 097/94 ($L/B=5.5$ small) πραγματοποιούνται πειράματα σε πέντε καταστάσεις θάλασσας. Για το πρότυπο 113/95 ($L/B=4.0$ small) μελετάται σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης ($C_{dl}=4.23$), ρυμουλκούμενο από το φορείο της δεξαμενής στην ταχύτητα που αντιστοιχεί σε αριθμό Froude 0.34 ($V=1.552$ m/sec) και σε ταχύτητα που αντιστοιχεί σε αριθμό Froude 0.68 ($V=3.119$ m/sec) σε μία κατάσταση θάλασσας και για το μοντέλο 163/01 ($L/B=4.0$ big) μελετάται σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης ($C_{dl}=3.0$), ρυμουλκούμενο από το φορείο της δεξαμενής στην ταχύτητα 0.34 ($V=2.007$ m/sec) σε μία κατάσταση θάλασσας. Συνολικά για το μοντέλο 113/95 ($L/B=4.0$ small) πραγματοποιούνται δύο πειράματα σε μία κατάσταση θάλασσας και για το μοντέλο 163/01 πραγματοποιούνται ένα πείραμα σε μία κατάσταση θάλασσας. Συνεπώς, τα συνολικά πειράματα που θα πραγματοποιηθούν και για τα τρία μοντέλα είναι οχτώ.

Σχήμα 3.1. Σκαρίφημα πειραματικής δεξαμενής ΕΜΠ.



Τα πειράματα διεξήχθησαν στη δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του ΕΜΠ (Σχήμα 3.1):

Τα κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου 097/94 παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1:

Πρότυπο 097/94 (L/B=5.50 small) για ($C_{dl}=3.00$)

Πίνακας 3.1. Χαρακτηριστικά μοντέλου 097/94.

Εκτόπισμα Δ	29.615kg
Ολικό μήκος L_{OA}	2.292m
Μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP}	2.154m
Βύθισμα T	0.083m
Βρεχόμενη επιφάνεια WS	0.728m ²
Διαμήκης θέση κέντρου βάρους LCG	- 0.297m
Μήκος άνω ακμής L_{p2}	1.48m
Μήκος κάτω ακμής L_{p1}	1.48m
Μέγιστο πλάτος άνω ακμής B_{p2}	0.36m (νομέας 5)
Μέγιστο πλάτος κάτω ακμής B_{p1}	0.322m (νομέας 0)
Ανύψωση πυθμένα στην πρύμνη β_0	9.5° (νομέας 0)
Ανύψωση πυθμένα στο μέσον β_7	23° (νομέας 7)

Πρότυπο 097/94 (L/B=5.50 small) για ($C_{dl}=4.23$)

Πίνακας 3.2. Χαρακτηριστικά μοντέλου 097/94.

Εκτόπισμα Δ	43.530kg
Ολικό μήκος L_{OA}	2.292m
Μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP}	2.154m
Βύθισμα T	0.106m
Βρεχόμενη επιφάνεια WS	0.834m ²
Διαμήκης θέση κέντρου βάρους LCG	-0.280m
Μήκος άνω ακμής L_{p2}	1.48m
Μήκος κάτω ακμής L_{p1}	1.48m
Μέγιστο πλάτος άνω ακμής B_{p2}	0.36m (νομέας 5)
Μέγιστο πλάτος κάτω ακμής B_{p1}	0.322m (νομέας 0)
Ανύψωση πυθμένα στην πρύμνη β_0	9.5° (νομέας 0)
Ανύψωση πυθμένα στο μέσον β_7	23° (νομέας 7)

Τα κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου 163/01 παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3:

Πρότυπο 163/01 (L/B=4.00 big) για (C_{dl}=3.00)

Πίνακας 3.3. Χαρακτηριστικά μοντέλου 163/01

Εκτόπισμα Δ	130.436 kg
Ολικό μήκος L_{0A}	3.820m
Μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP}	3.755m
Βύθισμα T	0.134m
Βρεχόμενη επιφάνεια WS	2.244m ²
Διαμήκης θέση κέντρου βάρους LCG	-0.509m
Μήκος άνω ακμής L_{p2}	1.49m
Μήκος κάτω ακμής L_{p1}	1.49m
Μέγιστο πλάτος άνω ακμής B_{p2}	0.413m (νομέας 5)
Μέγιστο πλάτος κάτω ακμής B_{p1}	0.413m (νομέας 0)
Ανύψωση πυθμένα στην πρύμνη β₀	9.5° (νομέας 0)
Ανύψωση πυθμένα στο μέσον β₇	23° (νομέας 7)

Τα κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου 113/95 παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4:

Πρότυπο 113/95 (L/B=4.00 small) για (C_{dl}=4.23)

Πίνακας 3.4. Χαρακτηριστικά μοντέλου 113/95

Εκτόπισμα Δ	40.462kg
Ολικό μήκος L_{0A}	2.292m
Μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP}	2.109m
Βύθισμα T	0.096m
Βρεχόμενη επιφάνεια WS	0.903m ²
Διαμήκης θέση κέντρου βάρους LCG	-0.305m
Μήκος άνω ακμής L_{p2}	1.49m
Μήκος κάτω ακμής L_{p1}	1.49m
Μέγιστο πλάτος άνω ακμής B_{p2}	0.248m (νομέας 5)
Μέγιστο πλάτος κάτω ακμής B_{p1}	0.228m (νομέας 0)
Ανύψωση πυθμένα στην πρύμνη β₀	9.5° (νομέας 0)
Ανύψωση πυθμένα στο μέσον β₇	23° (νομέας 7)

Τα μεγέθη που εξετάζονται σε κλίμακα μοντέλου ανάγονται σε κλίμακα πλοίου πολλαπλασιάζοντας με τις τιμές της δεύτερης στήλης του Πίνακα 3.5, όπου Κ είναι η τιμή της κλίμακας.

Πίνακας 3.5. Αναγωγή μεγεθών σε κλίμακα πλοίου

Μέγεθος	Συντ. αναγωγής
Μήκος	Κ
Χρόνος	$K^{0.5}$
Ταχύτητα	$K^{0.5}$
Επιτάχυνσ	1
Συχνότητα	$1/K^{0.5}$
Μάζα	K^3

Εφόσον η κλίμακα του μοντέλου (scale) είναι **1:50**, η αναγωγή των διάφορων μεγεθών αφορά γάστρα ολικού μήκους $2,292 \cdot 50 = 114,60\text{m}$.

3.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Τα στάδια της πειραματικής διαδικασίας περιλαμβάνουν:

- 1) προετοιμασία προτύπου
- 2) βαθμονόμηση μετρητικών διατάξεων

3.2.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

Τα στάδια προετοιμασίας των προτύπων 097/94 και 113/95 για πειράματα seakeeping είναι τα εξής:

- Επίτευξη επιθυμητού εκτοπίσματος (κατάσταση φόρτωσης με $C_{DL}=3.00$ και με $C_{DL}=4.23$.
- Εύρεση επιθυμητής διαγωγής (trim) και εγκάρσιας κλίσης
- Προσδιορισμός ακτίνας αδρανείας και περιόδου ιδιοταλάντωσης

3.2.1.1. ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ

Αφού επιλέξαμε την επιθυμητή κατάσταση φόρτωσης για την οποία θα γίνουν τα πειράματα, βρέθηκε η αντίστοιχη ίσαλος πλεύσης (ήδη χαραγμένη στο μοντέλο από προηγούμενα πειράματα αντίστασης).

Ύστερα τοποθετούμε την πλάκα πρόσδεσης του δυναμόμετρου στο κέντρο βάρους του μοντέλου. Επί της πλάκας τοποθετήθηκε βάρος ίσο με το βάρος του δυναμόμετρου R-47 (7,360kg).

Στη συνέχεια βαθμονομήσαμε τα τρία επιταχυνσιόμετρα ώστε να λάβουμε τις αντίστοιχες συναρτήσεις μεταφοράς, ώστε να μετατρέπουμε τα μετρούμενα Volts σε ενδείξεις επιτάχυνσης. Τοποθετήσαμε από ένα επιταχυνσιόμετρο στην πλώρα, στο κέντρο βάρους και στην πρύμνη αντίστοιχα. Η γραμμή αυτή έχει προχαραχθεί στη γάστρα του μοντέλου από προηγούμενα πειράματα αντίστασης.

3.2.1.2. ΕΥΡΕΣΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ (TRIM) ΚΑΙ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ

Στα πειράματα seakeeping το μοντέλο μας έχει μηδενική γωνία διαγωγής, ενώ δεν παρουσιάζει εγκάρσια κλίση.

3.2.1.3. ΑΚΤΙΝΑ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ – ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΙΔΙΟΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ

Ο υπολογισμός της ιδιοπεριόδου του μοντέλου αποτελεί ένδειξη σωστής κατανομής βαρών. Για τον προσδιορισμό της δένουμε το μοντέλο σε ιμάντες προσαρμοσμένους σε δύο αιωρούμενα στελέχη στο χώρο του εργαστηρίου.

Η θεωρητικά υπολογιζόμενη περίοδος ιδιοταλάντωσης του μοντέλου περί τον κατακόρυφο άξονα δίδεται από τη σχέση 3.1:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{I_{zz} \cdot l}{\Delta \cdot a^2 \cdot g}} \quad (3.1)$$

όπου

I_{zz} : ροπή αδρανείας περί τον άξονα zz

l : ολικό μήκος στελεχών – ιμάντων

Δ : εκτόπισμα μοντέλου

a : ημιαπόσταση στελεχών από κέντρο βάρους μοντέλου (0,75m)

Η ροπή αδρανείας δίνεται από τη σχέση 3.2:

$$I_{zz} = r_{zz}^2 \Delta \quad (3.2)$$

όπου r_{zz} η ακτίνα αδρανείας.

Έχει υπολογισθεί εμπειρικά μέσω ομοίων πλοίων ότι η ακτίνα αδρανείας είναι περίπου 0,25 L_{BP} . Συνεπώς η σχέση 3.1 γίνεται

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{r_{zz}^2 \cdot l}{a^2 \cdot g}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_{zz}}{a} \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3.2)$$

- Για το μοντέλο 097/94 σε κατάσταση φόρτωσης με $C_{DL}=3.00$ έχουμε $r_{zz}=0,536m$, συνεπώς από τη σχέση προκύπτει ότι **$T=2,892 \text{ sec}$** .
- Για το μοντέλο 097/94 σε κατάσταση φόρτωσης με $C_{DL}=4.23$ έχουμε $r_{zz}=0.549m$, συνεπώς από τη σχέση προκύπτει ότι **$T=2,920 \text{ sec}$** .
- Για το μοντέλο 163/01 σε κατάσταση φόρτωσης με $C_{DL}=3.00$ έχουμε $r_{zz}=0.938m$, συνεπώς από τη σχέση προκύπτει ότι **$T=5.065 \text{ sec}$** .
- Για το μοντέλο 113/95 σε κατάσταση φόρτωσης με $C_{DL}=4.23$ έχουμε $r_{zz}=0.531m$, συνεπώς από τη σχέση προκύπτει ότι **$T=2.832 \text{ sec}$** .

Για τον πειραματικό προσδιορισμό της ιδιοπεριόδου, εκτρέπουμε το κάθε μοντέλο από τη θέση ισορροπίας του και το αφήνουμε να εκτελέσει 10 ταλαντώσεις περί τον κατακόρυφο άξονα. Η μετρούμενη ιδιοπερίοδος θα πρέπει να είναι παραπλήσια της θεωρητικής που υπολογίστηκε προηγουμένως. Η χρονομέτρηση επαναλαμβάνεται κάποιες φορές ώστε το αποτέλεσμα να είναι αξιόπιστο. Προκύπτει ότι:

- Για το μοντέλο 097/94 με $C_{DL}=3.00$ **$T=2.910 \text{ sec}$** περίπου, τιμή που κρίνεται ικανοποιητική.
- Για το μοντέλο 097/94 με $C_{DL}=4.23$ **$T=2.930 \text{ sec}$** περίπου, τιμή που κρίνεται ικανοποιητική.
- Για το μοντέλο 163/01 με $C_{DL}=3.00$ **$T=5.038 \text{ sec}$** περίπου, τιμή που κρίνεται ικανοποιητική.
- Για το μοντέλο 113/95 με $C_{DL}=4.23$ **$T=2.815 \text{ sec}$** περίπου, τιμή που κρίνεται ικανοποιητική.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Σε περίπτωση που υπήρχε μεγάλη απόκλιση μεταξύ θεωρητικής και μετρούμενης τιμής θα έπρεπε να γίνουν μετακινήσεις των βαρών του μοντέλου και να επαναληφθεί η χρονομέτρηση. 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.

3.2.1.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ

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° 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

$$T_V = T_H \tan(\tau - 6,5^\circ) = R \tan(\tau + 6,5^\circ) \quad (3.3)$$

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

Για να υπολογίσουμε τις αποφορτίσεις του μοντέλου μας, ανατρέχουμε στους παρακάτω πίνακες και κάνουμε γραμμική παρεμβολή.

L/B=5.5 small, Cdl=3.00

Πίνακας 3.6. Ταχύτητας-Αντίστασης-Διαγωγής

SPEED(m/sec)	CALM RESISTANCE(kp)	WATER	TRIM(deg)
1.5596	1.019		-0.356
3.119	2.768		-1.893

Άρα η αποφόρτιση για τη $V_m = 1.5596$ m/sec είναι 0.122kg και για τη $V_m = 3.119$ m/sec είναι 0.404kg.

L/B=5.5 small, Cdl=4.23

Πίνακας 3.7. Ταχύτητας-Αντίστασης-Διαγωγής

SPEED(m/sec)	CALM RESISTANCE(kp)	WATER	TRIM(deg)
1.56	1.453		-0.359
3.14	4.45		-3.27

Άρα η αποφόρτιση για τη $V_m = 1.56$ m/sec είναι 0.230kg και για τη $V_m = 3.119$ m/sec είναι 0.720kg.

L/B=4.00 big, Cdl=3.00

Πίνακας 3.8. Ταχύτητας-Αντίστασης-Διαγωγής

SPEED(m/sec)	CALM RESISTANCE(kp)	WATER	TRIM(deg)
2.004	4.5035		-0.1456

Άρα η αποφόρτιση για τη $V_m=2.004$ m/sec είναι 0.558kg.
 $L/B=4.00, C_{dl}=4.23$

Πίνακας 3.9. Ταχύτητας-Αντίστασης-Διαγωγής

SPEED(m/sec)	CALM WATER RESISTANCE(kg)	TRIM(deg)
1.552	1.3727	-0.351
3.103	3.9965	-3.18

Άρα η αποφόρτιση για τη $V_m=1.552$ m/sec είναι 0.173kg και για τη $V_m=3.103$ m/sec είναι 0.657kg.

3.2.2. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων μετρήθηκαν τα εξής μεγέθη:

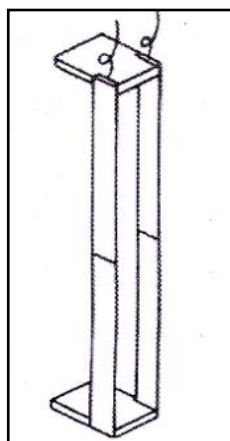
- 1) Ανύψωση κύματος
- 2) Κατακόρυφες επιταχύνσεις μοντέλου (πλώρη, κέντρο βάρους, πρύμνη)
- 3) Αντίσταση (Resistance), κατακόρυφη κίνηση (Heave), προνευτασμός (Pitch) μοντέλου

Η μέτρηση της ανύψωσης κύματος πραγματοποιείται με τη βοήθεια **ακίνητου αισθητήρα** (Wave Tank Probe), προσδεμένου σε σταθερό σημείο στη δεξαμενή. Λαμβάνει μετρήσεις μέσω διπλού μεταλλικού στελέχους βυθιζόμενου στο νερό (Σχήμα 3.2).

Όσον αφορά την αρχή λειτουργίας τους, τα δύο τμήματα του μεταλλικού στελέχους μπορούν να θεωρηθούν ως οπλισμοί πυκνωτή με το νερό σα διηλεκτρικό μέσο. Συνεπώς η μετρούμενη χωρητικότητα δίνει ένα μέτρο του βάθους της βύθισης.

Ο αισθητήρα ανύψωσης κύματος είναι πολύ ευαίσθητος στις καιρικές μεταβολές, συνεπώς επιβάλλεται η καθημερινή βαθμονόμησή του (πριν την εκτέλεση κάθε σειράς πειραμάτων). Επιπλέον, η επιφανειακή τάση του νερού μπορεί να προσθέσει μετρητικό φάσμα κοντά στο μεταλλικό στέλεχος. Ωστόσο το σφάλμα λόγω της επίδρασης αυτής δεν είναι σημαντικό.

Σχήμα 3.2. Μεταλλικό στέλεχος ακίνητου αισθητήρα ανύψωσης κύματος.



Οι κατακόρυφες επιταχύνσεις του μοντέλου μετρούνται από τρία **επιταχυνσιόμετρα** τύπου Kistler τοποθετημένα στην πλώρη (Acc bow), στο κέντρο βάρους (Acc middle) και στην πρύμνη (Acc stern). Η βαθμονόμησή τους γίνεται μόνο μια φορά (πριν την τοποθέτησή τους

στο μοντέλο) καθώς πρόκειται για πολύ σταθερά και αξιόπιστα όργανα.

Η μέτρηση της αντίστασης και των κινήσεων heave, pitch γίνεται με τη βοήθεια των αισθητήρων του **δυναμόμετρου R-47**, βάρους 7,360kg, το οποίο προσδένεται σε ειδική πλάκα στο κέντρο βάρους του μοντέλου.

Όλοι οι παραπάνω αισθητήρες δίνουν ηλεκτρικό σήμα (Volts) στην έξοδό τους. Η καταγραφή των μετρήσεων είναι ανάλογη της συχνότητας δειγματοληψίας που ορίζουμε. Συγκεκριμένα ορίσαμε να λαμβάνονται πειραματικές μετρήσεις συχνότητας 20Hz, δηλαδή ανά 0,05sec. Το σήμα υποβάλλεται σε ενίσχυση και καταγράφεται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του φορείου.

Η **βαθμονόμηση** των οργάνων αποτελεί θεμελιώδες κομμάτι της πειραματικής διαδικασίας. 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.

Συγκεκριμένα, η βαθμονόμηση του αισθητήρα ανύψωσης κύματος γινόταν κάθε μέρα, πριν την εκτέλεση του προγραμματισμένου πειράματος. Η βαθμονόμηση του αισθητήρα Heave γινόταν μια φορά τη βδομάδα (στην αρχή κάθε σειράς πειραμάτων), ενώ το Pitch βαθμονομούνταν μέρα παρά μέρα. Τέλος, η βαθμονόμηση του αισθητήρα της αντίστασης γινόταν επίσης κάθε μέρα.

3.2.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ-ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΤΗΡΑ

Τα χαρακτηριστικά των καταστάσεων θάλασσας στις οποίες δοκιμάζεται η συμπεριφορά των μοντέλων παρουσιάζονται στους πίνακες 3.2 και 3.3:

NTUA 097/94

Πίνακας 3.10. Καταστάσεις θάλασσας που μετρήθηκαν τα πειράματα

Tp'	3.5	4	4.5
Tp ship	11.60	13.25	14.91
Tp model (sec)	1.64	1.87	2.109
F model (Hz)	0.610	0.534	0.474
Hs model (m)	0.11	0.12	0.14
WGEN	WG36.bst	WG36.bst	WG36.bst
File Name	H11tp35.bst	H12tp4.bst	H2c4tp45.bst
Scale Factor	1	1	1

NTUA 163/01

Πίνακας 3.11. Καταστάσεις θάλασσας που μετρήθηκαν τα πειράματα

Tp'	4.5
Tp ship	14.8
Tp model (sec)	2.702
F model (Hz)	0.37
Hs model (m)	0.18
WGEN	WG36.bst
File Name	G45tp18.bst
Scale Factor	1

NTUA 113/95

Πίνακας 3.12. Καταστάσεις θάλασσας που μετρήθηκαν τα πειράματα

Tp'	3.5	4.5
Tp ship	11.48	14.75
Tp model (sec)	1.623	2.086
F model (Hz)	0.616	0.479
Hs model (m)	0.11	0.14
WGEN	WG36.bst	WG36.bst
File Name	C11tp35.bst	C14tp45.bst
Scale Factor	1	1

Πριν την έναρξη των πειραμάτων έγινε βαθμονόμηση στον κυματιστήρα . Η βαθμονόμηση του κυματιστήρα χωρίστηκε σε βαθμονόμηση πιέσεων αντιστάθμισης και σε βαθμονόμηση της συνάρτησης μεταφοράς παραγωγής κυματισμών .Για τη βαθμονόμηση πιέσεων αντιστάθμισης ακολουθήθηκαν σαφείς οδηγίες από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή και αρκετή χειρωνακτική εργασία .Για τη βαθμονόμηση της συνάρτησης μεταφοράς έγινε η εξής διαδικασία, δημιουργήσαμε μία συνάρτηση μεταφοράς με την οποία γίνεται η μετατροπή του θεωρητικού φάσματος Bretschneider το οποίο περιγράφει ανοιχτές θάλασσες οποιαδήποτε 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 μέχρι 4.5 Hz.Εμείς όμως διορθώσαμε τους συντελεστές στην περιοχή από 0.3 Hz μέχρι 1.2 Hz που είναι και η περιοχή που μας ενδιαφέρει .Για κάθε συχνότητα κορυφής παρήγαμε και μετρήσαμε ημιτονικούς κυματισμούς συγκεκριμένου πλάτους μέσω του κυματιστήρα. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν διάρκειας 33 sec. Έχει παρατηρηθεί ότι μετά 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 33 sec. Συγκεκριμένα μετρήσαμε τα ακόλουθα ζεύγη όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 3.13.:

Πίνακας 3.13. Ζεύγη ημιτονικών κυματισμών

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

Στη συνέχεια για κάθε ημίτονο υπολογίσαμε την rms τιμή του παραγόμενου κύματος και το πραγματικό πλάτος του ημιτονικού κυματισμού. Τα αποτελέσματα των τελικών μετρήσεων φαίνονται στον πίνακα 3.14.

Πίνακας 3.14. Rms τιμές ανά πλάτος

Ημίτονα	RMS	Πλάτος(cm)
0.3Hz_4cm	2.868501	4.056673
0.4Hz_4cm	2.834246	4.008229
0.5Hz_4cm	2.814648	3.980514
0.6Hz_3cm	1.765192	2.496358
0.7Hz_3cm	1.944191	2.749502
0.8Hz_3cm	2.058641	2.911359
0.9Hz_3cm	2.247299	3.178618
1.0Hz_2cm	1.232506	1.743027
1.1Hz_1.5cm	0.882108	1.247490
1.2Hz_2cm	1.266482	1.791076

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 3.15.

Πίνακας 3.15.

Freq.(Hz)	Ampl.th.(cm)	Rms Wave(cm)	Ampl.act(cm)	Input/Measured
0.3	4.00	2.868501	4.056673	0,982
0.4	4.00	2.834246	4.008229	0,998
0.5	4.00	2.814648	3.980514	1,005
0.6	3.00	1.765192	2.496358	1,023
0.7	3.00	1.944191	2.749502	1,009
0.8	3.00	2.058641	2.911359	1,081
0.9	3.00	2.247299	3.178618	1,217
1.0	2.00	1.232506	1.743027	1,149
1.1	1.50	0.882108	1.247490	1,202
1.2	2.00	1.266482	1.791076	1,117

Στην Πέμπτη στήλη του πίνακα 3.15. φαίνεται ο λόγος του θεωρητικού πλάτους κύματος προς τον πραγματικό παραγόμενο πλάτος του κύματος.

Πίνακας 3.16. Διορθωμένοι συντελεστές της συνάρτησης μεταφοράς του προγράμματος WG36.

Freq.(Hz)	Jan.2011- water level at 2.805 a.b.	March 2016 water level at 2.895 a.b.	April 2017 water level at 2.902 a.b.
0.3	0,098	0,0994	0,1012
0.4	0,1359	0,1357	0,1360
0.5	0,1641	0,1584	0,1576
0.6	0,1772	0,1607	0,1571
0.7	0,1671	0,1524	0,1510
0.8	0,1567	0,1537	0,1422
0.9	0,1566	0,1666	0,1369
1.0	0,1543	0,1443	0,1256
1.1	0,1543	0,1441	0,1199
1.2	0,1375	0,1238	0,1108

Στην Τρίτη στήλη του πίνακα 3.16. φαίνονται οι νέοι διορθωμένοι συντελεστές της συνάρτησης μεταφοράς οι οποίοι προέκυψαν διαιρώντας τους προηγούμενους συντελεστές με την Πέμπτη στήλη του πίνακα 3.15. Τη διαδικασία αυτή επαναλάβουμε 2 φορές. Συνολικά δημιουργήσαμε δύο διαφορετικά προγράμματα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων των ημιτονικών κυματισμών. Η διαφορά μεταξύ των προγραμμάτων σχετίζεται με τα ζεύγη τιμών μεταξύ συχνότητας κορυφής κύματος και πλάτος κύματος.

Παρατηρήσεις

1) Η κλίμακα των μοντέλων μας (scale) είναι 1:50, συνεπώς η αναγωγή των διαφόρων μεγεθών αφορά γάστρα μήκους $2,145 \cdot 50 = 107,25\text{m}$ και $2,292 \cdot 50 = 114,60\text{m}$.

Συγκεκριμένα, τα μεγέθη που εξετάζονται σε κλίμακα μοντέλου ανάγονται σε κλίμακα πλοίου πολλαπλασιάζοντας με τις τιμές της τρίτης στήλης του πίνακα 3.13., όπου R η τιμή της κλίμακας.

Πίνακας 3.17. Αναγωγή μεγεθών σε κλίμακα πλοίου

Μέγεθος	Περιγραφή	Πολλαπλασιασμός με
Μάζα	Εκτόπισμα πλοίου	R^3
Μήκος	Διαστάσεις πλοίου, Heave, μήκος κύματος	R
Χρόνος	Περίοδος κύματος αποκρίσεων	$R^{1/2}$
Ταχύτητα	Ταχύτητα πλευσης	$R^{1/2}$
Επιτάχυνση	Κατακόρυφες επιταχύνσεις πλώρας/κέντρου βάρους/πρύμνης, επιτάχυνση βαρύτητας	1
Συχνότητα	Συχνότητα κύματος/συνάντησης	$1/R^{1/2}$

2) Το μέγεθος $T_{p'}$ ονομάζεται **αδιάστατη περίοδος κορυφής** και δίδεται από τη σχέση 3.4:

$$T_{p'} = \frac{T_p}{\sqrt{\frac{L_{BP}}{g}}} \quad (3.4)$$

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων συναρτήσει της $T_{p'}$ (Κεφάλαιο 5) επιτρέπει την άμεση αξιολόγηση και σύγκριση μεταξύ τους ανεξαρτήτως διαστάσεων γάστρας.

3.3. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Όπως προαναφέρθηκε, η βαθμονόμηση των οργάνων αποτελούσε το πρώτο μας μέλημα πριν τη διεξαγωγή κάθε σειράς πειραμάτων. Αποτελεί αρκετά χρονοβόρα διαδικασία, ειδικά όσον αφορά το Pitch. Στην περίπτωση αυτή το δυναμόμετρο έπρεπε να αποσυνδέεται από το μοντέλο, να ανυψώνεται με γερανό και να βαθμονομείται χωριστά. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι χρειάστηκε αρκετή χειρωνακτική εργασία.

Τα αποτελέσματα των βαθμονομήσεων καταγράφονταν σε ειδικό φύλλο και σχεδιάζονταν οι αντίστοιχες συναρτήσεις μεταφοράς στο Microsoft Excel.

Μετά το πέρας της βαθμονόμησης, φορτώνουμε στον υπολογιστή του κυματιστήρα το επιθυμητό φάσμα σε μορφή αρχείου (Πίνακες 3.1, 3.2). Το όνομα του αρχείου καθώς και οι παράμετροι του κυματισμού (scale factor κλπ.) δίδονται σε παράθυρο command prompt της εφαρμογής WGEN. Ο χειρισμός του απομακρυσμένου υπολογιστή του κυματιστήρα γινόταν με τη βοήθεια remote control στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή του φορείου.

Μόλις τα παραγόμενα κύματα έφταναν στο αρχικά ακίνητο μοντέλο, δίναμε στο φορείο την επιθυμητή ταχύτητα και ξεκινούσε το πείραμα.

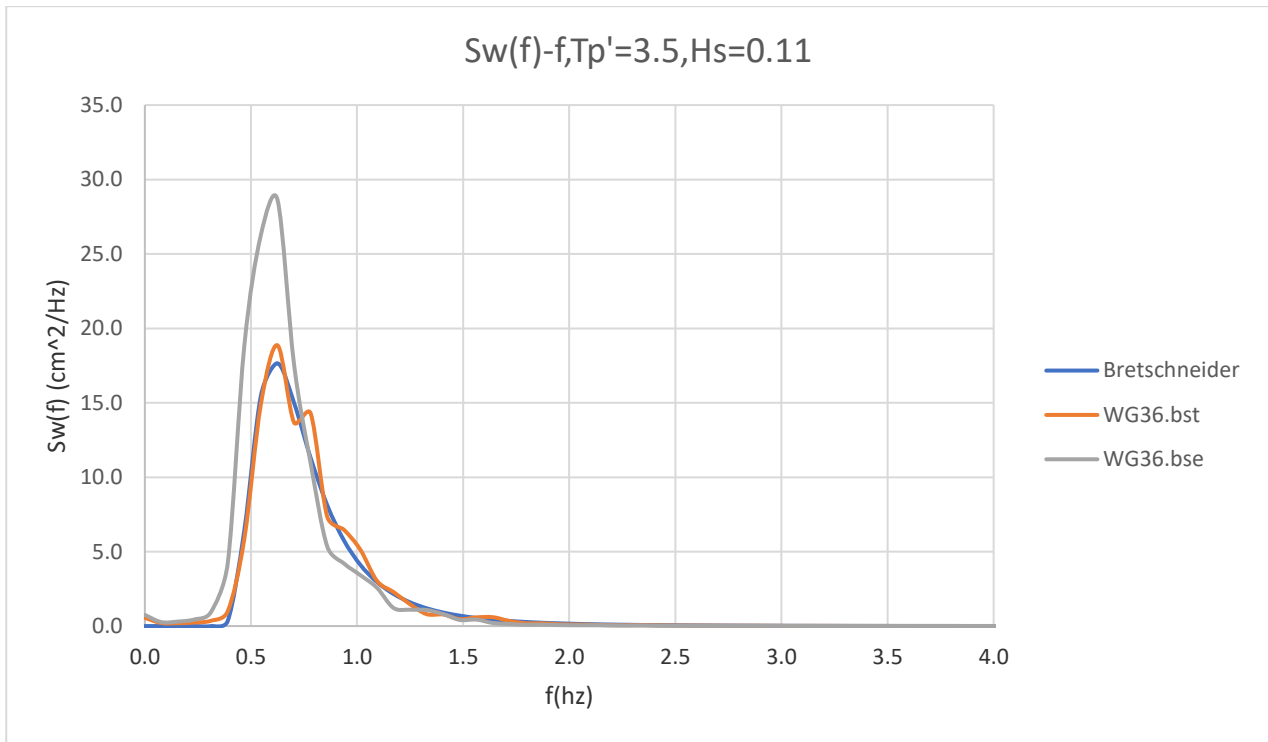
Τόσο για τη μικρή ταχύτητα όσο και για τη μεγάλη, μελετήθηκε χρονική ιστορία συνολικής διάρκειας **300sec**. Επειδή όμως το μοντέλο στο συγκεκριμένο διάστημα (με τις συγκεκριμένες ταχύτητες) θα κάλυπτε πολύ περισσότερη απόσταση από το διαθέσιμο μήκος δεξαμενής, η χρονική ιστορία διασπάται σε επιμέρους μικρότερες (runs). **Έτσι για τα πειράματα σε $Fr=0.34$ έχουμε 12 runs των 25sec το καθένα, ενώ για $Fr=0,68$ έχουμε 21 runs των 15sec έκαστο.**

Μετά το πέρας κάθε πειράματος ήταν απαραίτητη η αναμονή 20 λεπτών ώστε να ηρεμήσει το νερό της δεξαμενής.

Αναλυτικά για το μοντέλο **097-94** συγκρίνουμε τα φάσματα των δύο συναρτήσεων μεταφοράς που έχουμε βγάλει και επιλέγουμε την καλύτερη, δηλαδή αυτή που προσεγγίζει καλύτερα την θεωρητική.

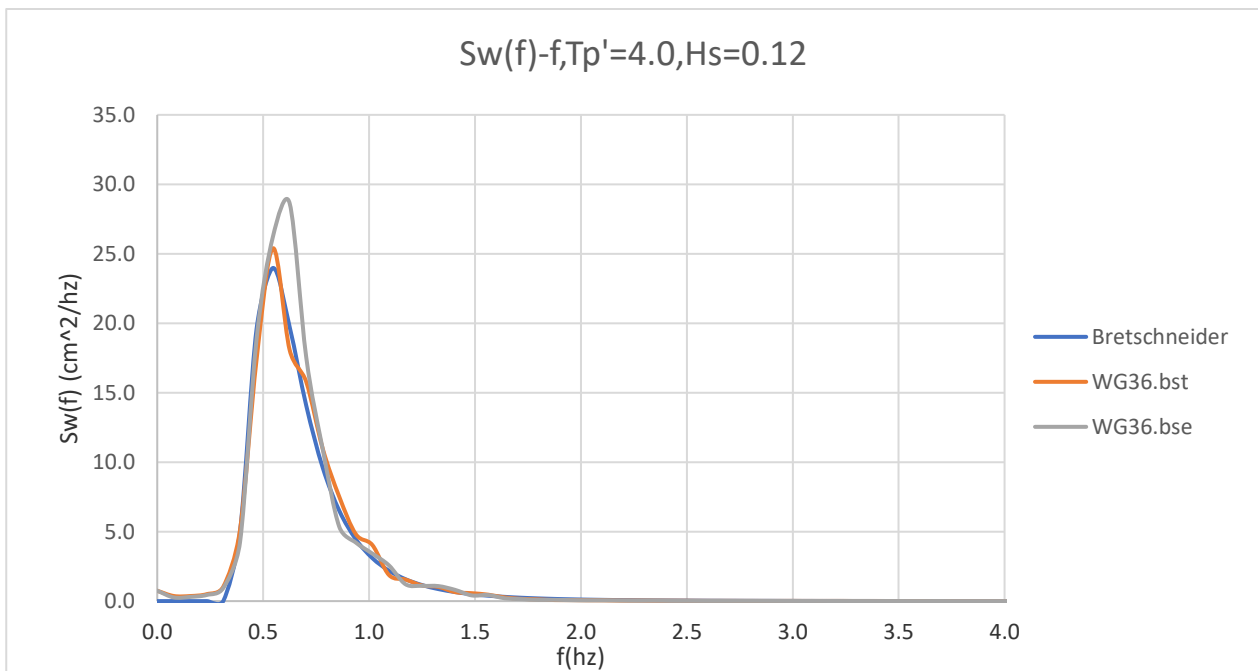
Για $T_p'=3.5$ και $H_s=0.11\text{m}$ έχουμε:

Διάγραμμα 3.18. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό(μετρούμενο) φάσμα κύματος.



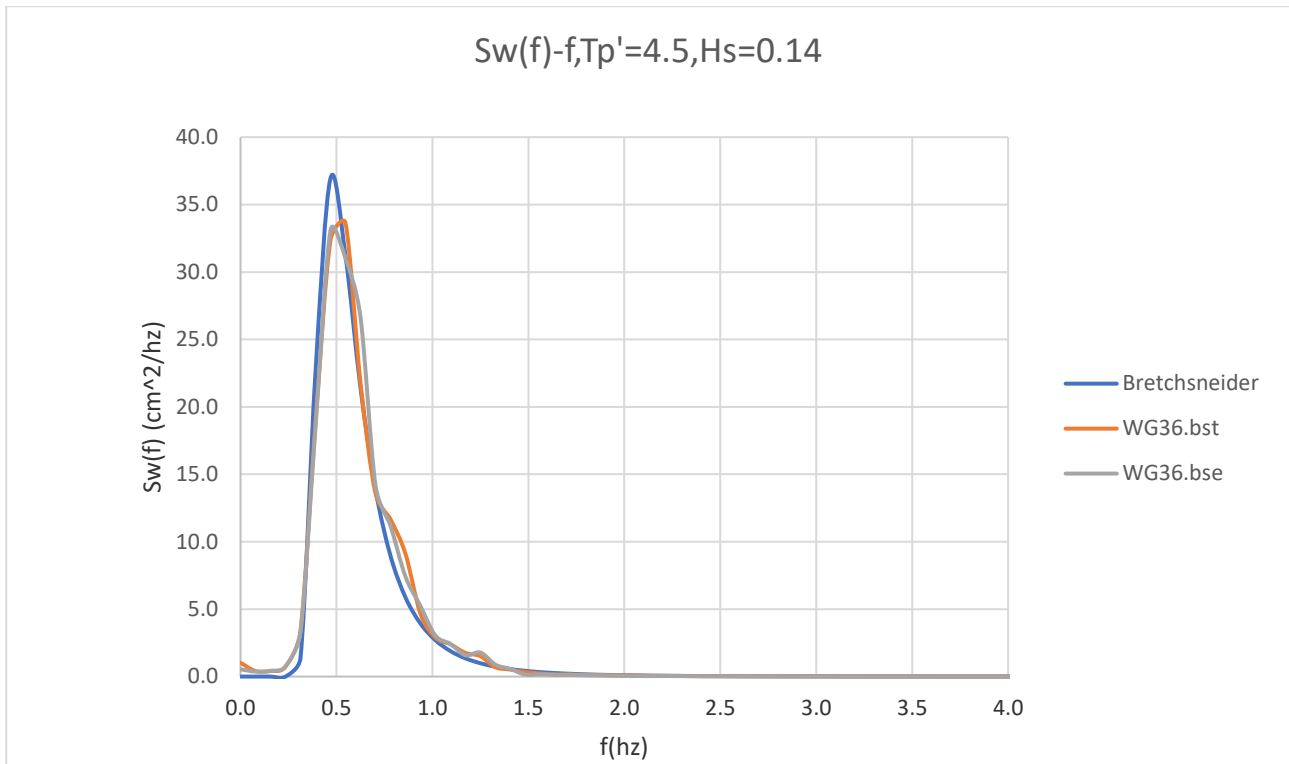
Για $T_p'=4$ και $H_s=0.12\text{ m}$ έχουμε:

Διάγραμμα 3.19. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό(μετρούμενο) φάσμα κύματος.



Για $T_p'=4.5$ και $H_s=0.14$ m έχουμε:

Διάγραμμα 3.20. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό(μετρούμενο) φάσμα κύματος.

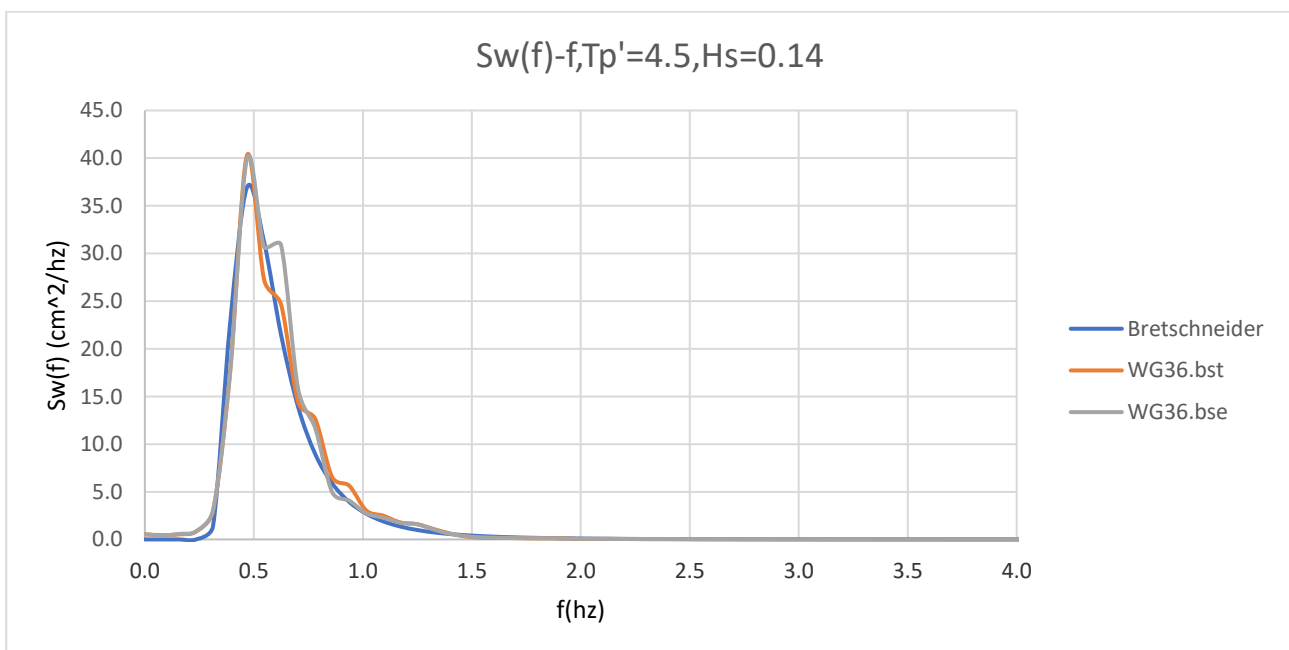


Και στις τρεις περιπτώσεις παρατηρώ ότι καλύτερα προσεγγίζει το θεωρητικό φάσμα η συνάρτηση μεταφοράς WG36.bst, οπότε επιλέγω αυτή.

Για το μοντέλο **113/95** έχω:

Για $T_p'=4.5$ και $H_s=0.14$ m

Διάγραμμα 3.21. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό(μετρούμενο) φάσμα κύματος.

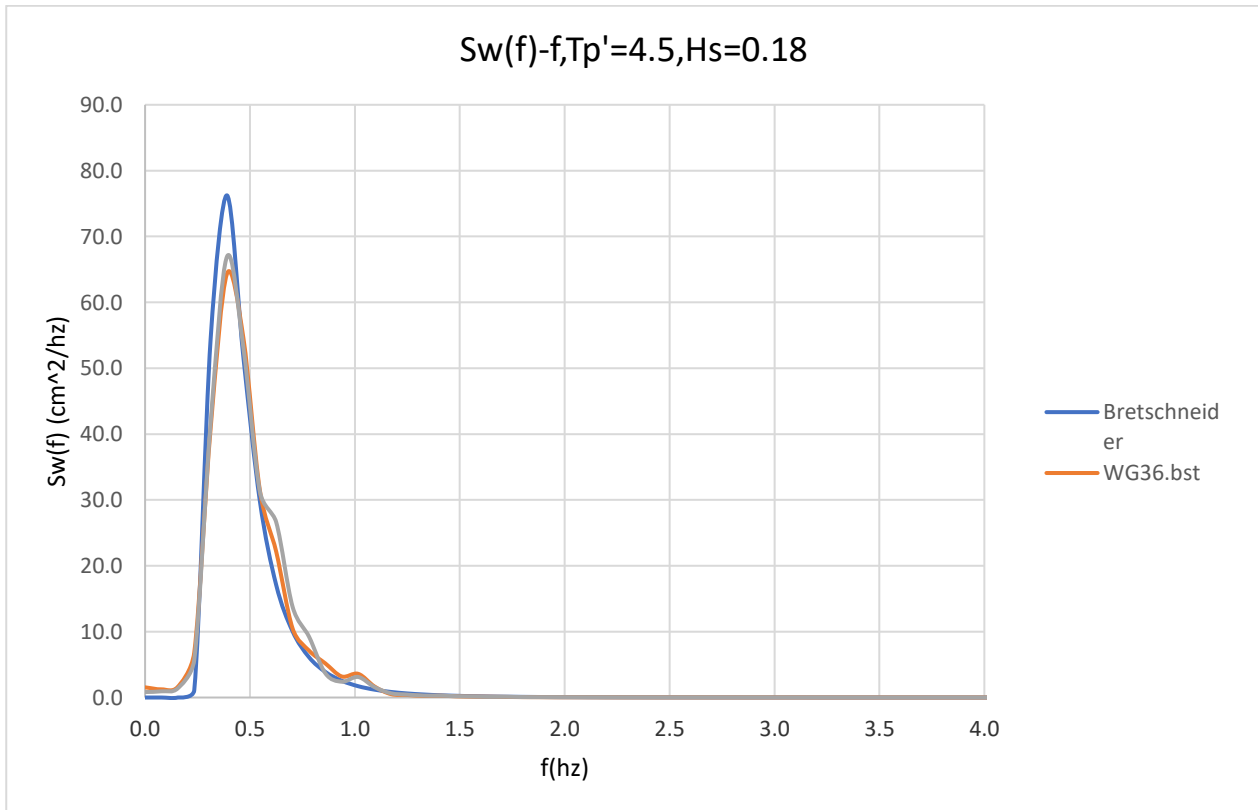


Παρατηρώ ότι καλύτερα προσεγγίζει το θεωρητικό φάσμα η συνάρτηση μεταφοράς WG36.bst, οπότε επιλέγω αυτή.

Για το μοντέλο **163/01** έχω:

Για $Tp'=4.5$ και $Hs=0.18m$

Διάγραμμα 3.22. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό(μετρούμενο) φάσμα κύματος.



Στην περίπτωση αυτή παρατηρώ ότι καλύτερα προσεγγίζει το θεωρητικό φάσμα η WG36.bst, οπότε επιλέγω αυτή.

Κεφάλαιο 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα πειραματικά αποτελέσματα καταγράφονται ως Volts σε αρχεία .dat στο φάκελο **Data** του υπολογιστή του φορείου. Για την επεξεργασία των αρχείων αυτών χρησιμοποιείται αρχείο Fortran με την ονομασία `fftr52-5.for`. Το αρχείο αυτό μετατρέπει τα αποτελέσματα από Volts στις κατάλληλες μονάδες, ενώ με την εφαρμογή μετασχηματισμού Fourier μας δίδει τα φάσματα τόσο των κυματισμών όσο και των αποκρίσεων.

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος μας ζητούνται τα αρχεία έναρξης και λήξης (πχ `dat45` έως `dat55`). Αμέσως μετά ακολουθεί ο προσδιορισμός των σημείων για την ανάλυση κάθε `data` ώστε να πραγματοποιηθεί ο μετασχηματισμός Fourier. Έτσι το πρόγραμμα “συρράπτει” τα επιμέρους `dat` ώστε να αναλυθεί η συνολική χρονική ιστορία των 300sec.

Τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης εμφανίζονται σε δύο αρχεία:

- **Αρχείο τύπου “.out”** με τα φάσματα $S(f)$ - συναρτήσεως της συχνότητας f - των μεγεθών που μας ενδιαφέρουν (εκτός της αντίστασης)
- **Αρχείο τύπου “.rms”** με τις rms τιμές των αποκρίσεων όλων των μεγεθών. Στο συγκεκριμένο αρχείο αναγράφεται και η μέση τιμή της ολικής αντίστασης.

Στην περίπτωση που ενδιαφερόμαστε να μελετήσουμε τις τιμές των αποκρίσεων και του κυματισμού σε όλα τα σημεία της χρονικής ιστορίας, δημιουργείται και **τρίτο αρχείο τύπου “.zm”**.

Στη συνέχεια τα αποτελέσματα απεικονίστηκαν σε διαγράμματα Microsoft Excel ώστε να εξαχθούν τα συμπεράσματα για τη δυναμική συμπεριφορά του μοντέλου μας.

Κεφάλαιο 5. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

5.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ

Στα διαγράμματα 5.1 - παρουσιάζονται τα διαγράμματα κυματισμών και τα αποτελέσματα αποκρίσεων του μοντέλου.

Πιο συγκεκριμένα, απεικονίζονται τα εξής διαγράμματα:

1) Πυκνότητα φάσματος $S(f)$ κυματισμού (cm^2/Hz), Διαγράμματα 5.1, 5.5, 5.9, 5.13, 5.17, 5.21, 5.25, 5.29, 5.33, 5.37, 5.41.

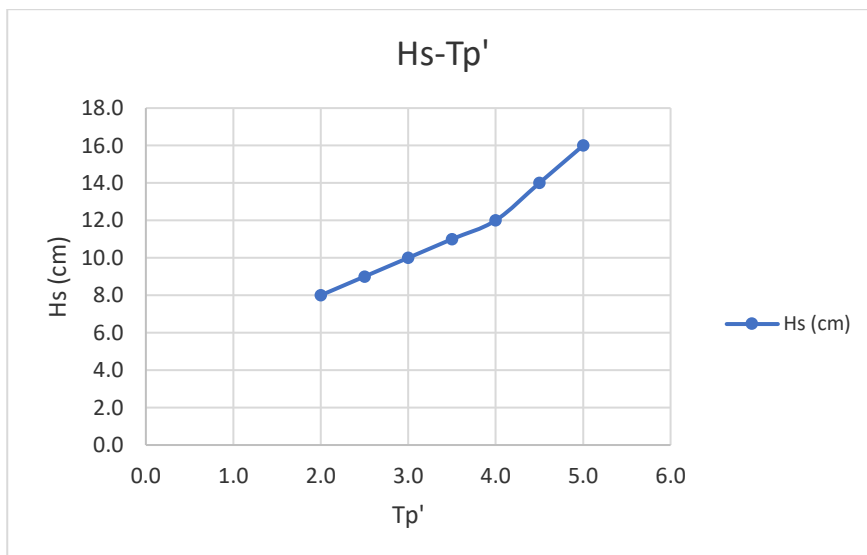
2) Πυκνότητα φάσματος $S(f)$ κατακόρυφων επιταχύνσεων (g^2/Hz) σε τρεις θέσεις επί του μοντέλου: πρώραθεν, κέντρο βάρους, πρύμνηθεν, Διαγράμματα 5.2, 5.6, 5.10, 5.14, 5.18, 5.22, 5.26, 5.30, 5.34, 5.38, 5.42.

3) Πυκνότητα φάσματος $S(f)$ Heave (cm^2/Hz), Διαγράμματα 5.3, 5.7, 5.11, 5.15, 5.19, 5.23, 5.27, 5.31, 5.35, 5.39, 5.43.

4) Πυκνότητα φάσματος $S(f)$ Pitch (deg^2/Hz), Διαγράμματα 5.4, 5.8, 5.12, 5.16, 5.20, 5.24, 5.29, 5.33, 5.37, 5.41, 5.44.

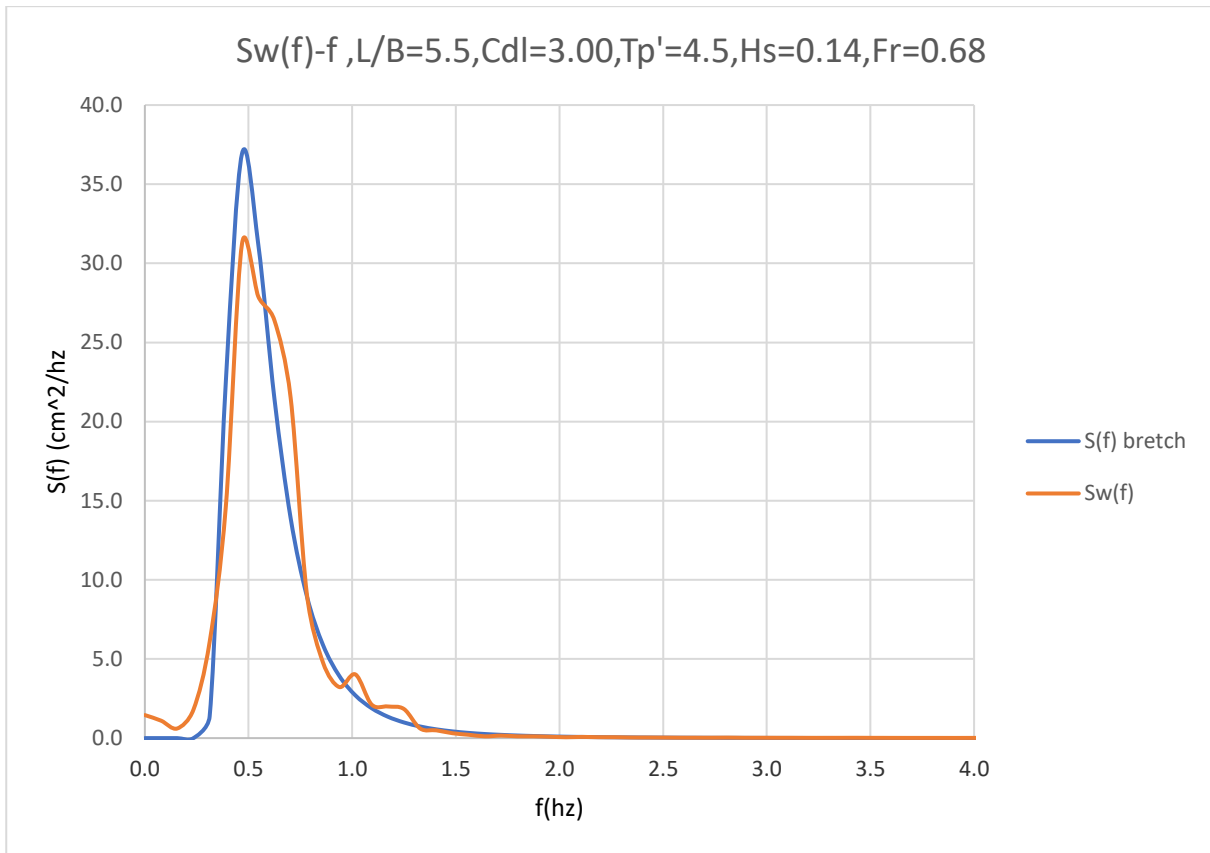
Το φάσμα του κυματισμού αναφέρεται σε απόλυτο (ακίνητο) σύστημα αναφοράς, ενώ τα φάσματα των αποκρίσεων σε σχετικό (κινούμενο), καθότι οι αντίστοιχοι αισθητήρες βρίσκονται επί του κινούμενου φορείου.

Διάγραμμα 5.0 Σημαντικού ύψους κύματος συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής

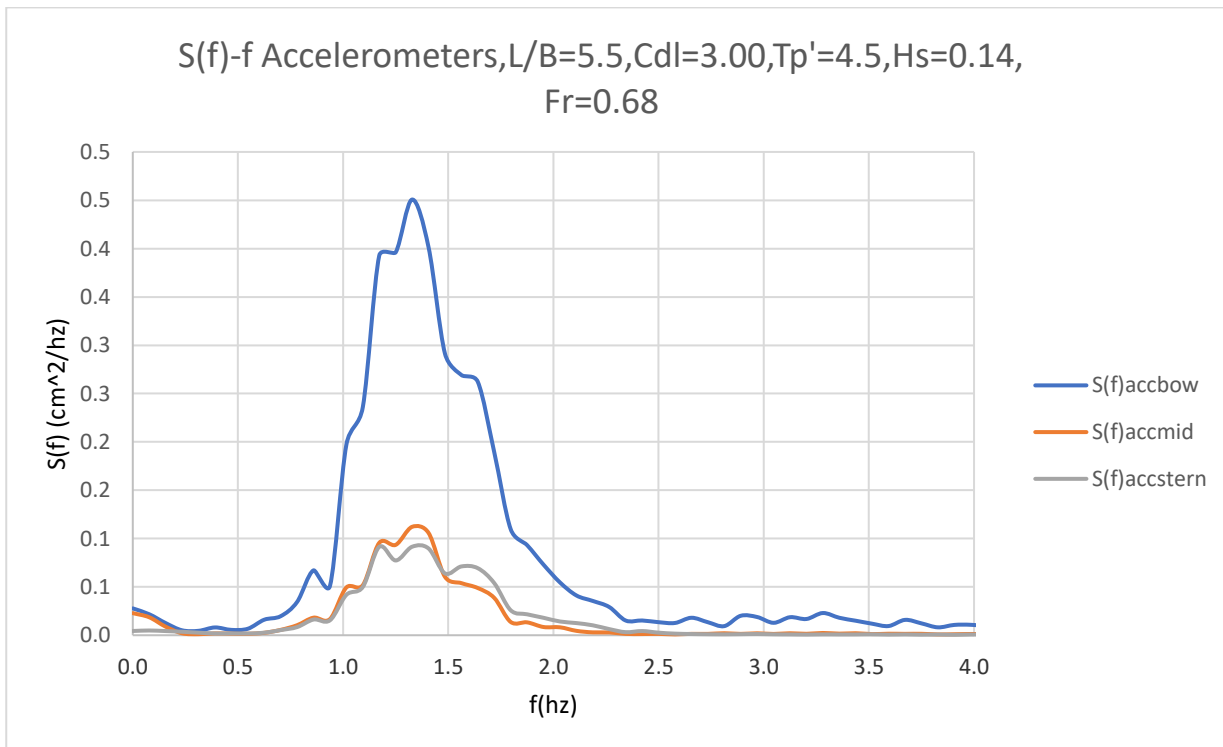


Για το μοντέλο **097/94** έχω:

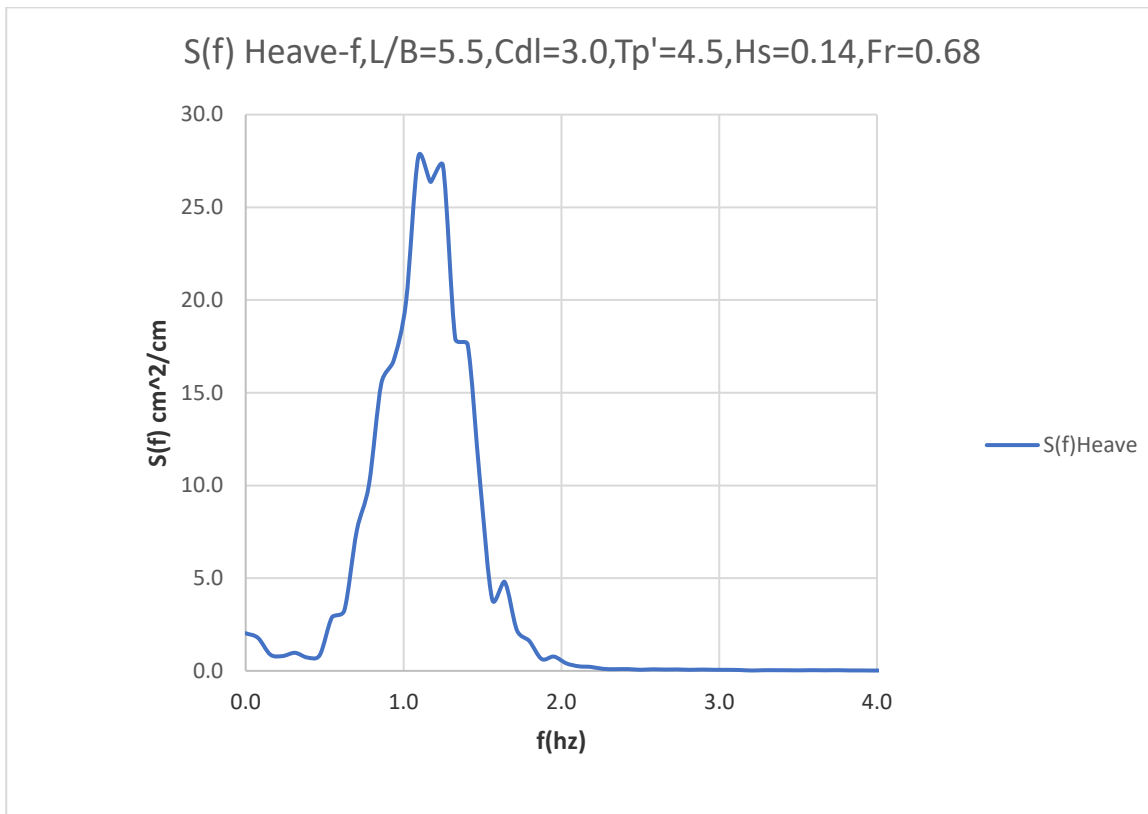
Διάγραμμα 5.1. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό (μετρούμενο) φάσμα κύματος.



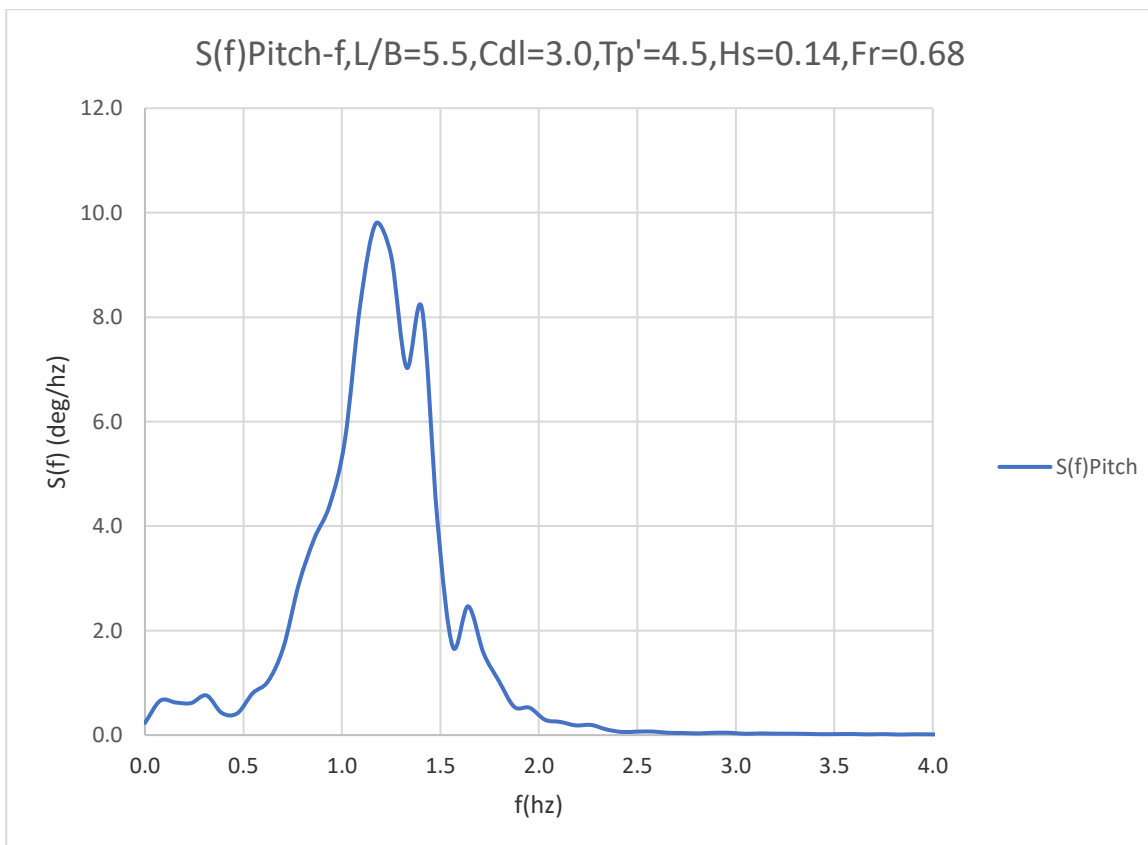
Διάγραμμα 5.2. Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων



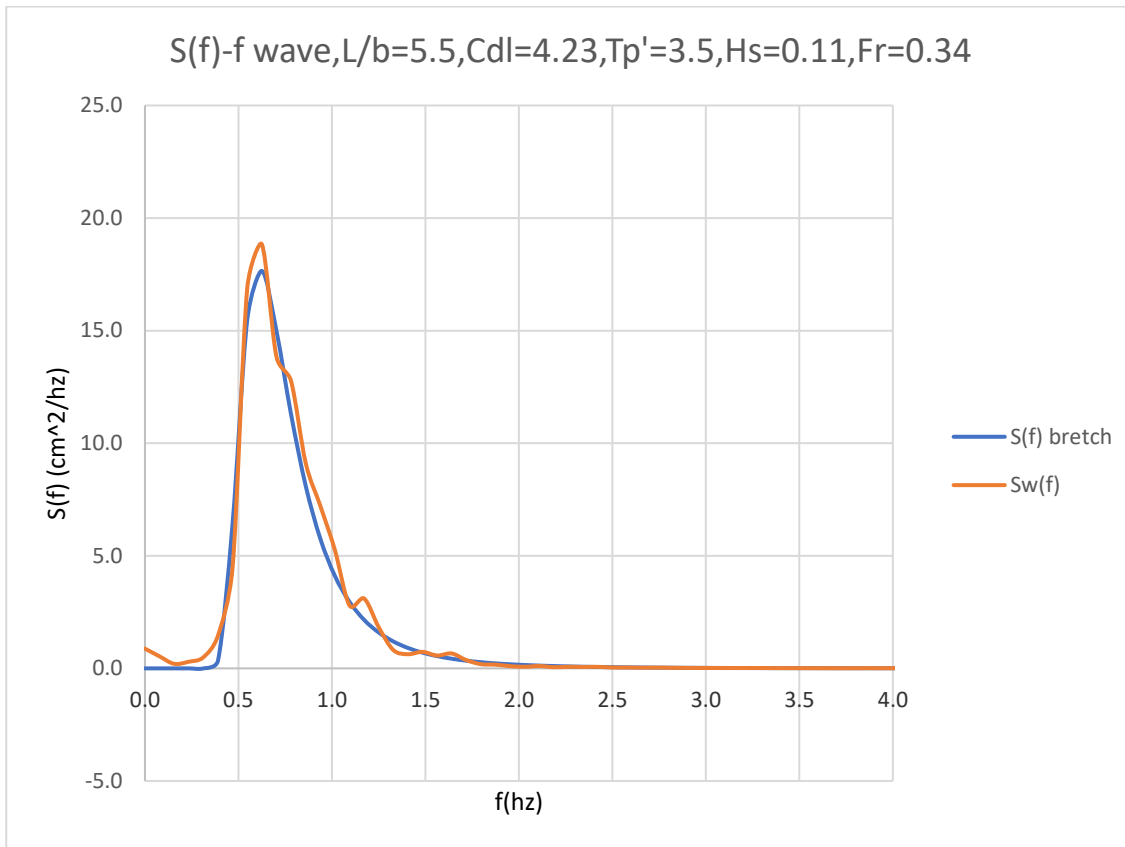
Διάγραμμα 5.3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης-Heave.



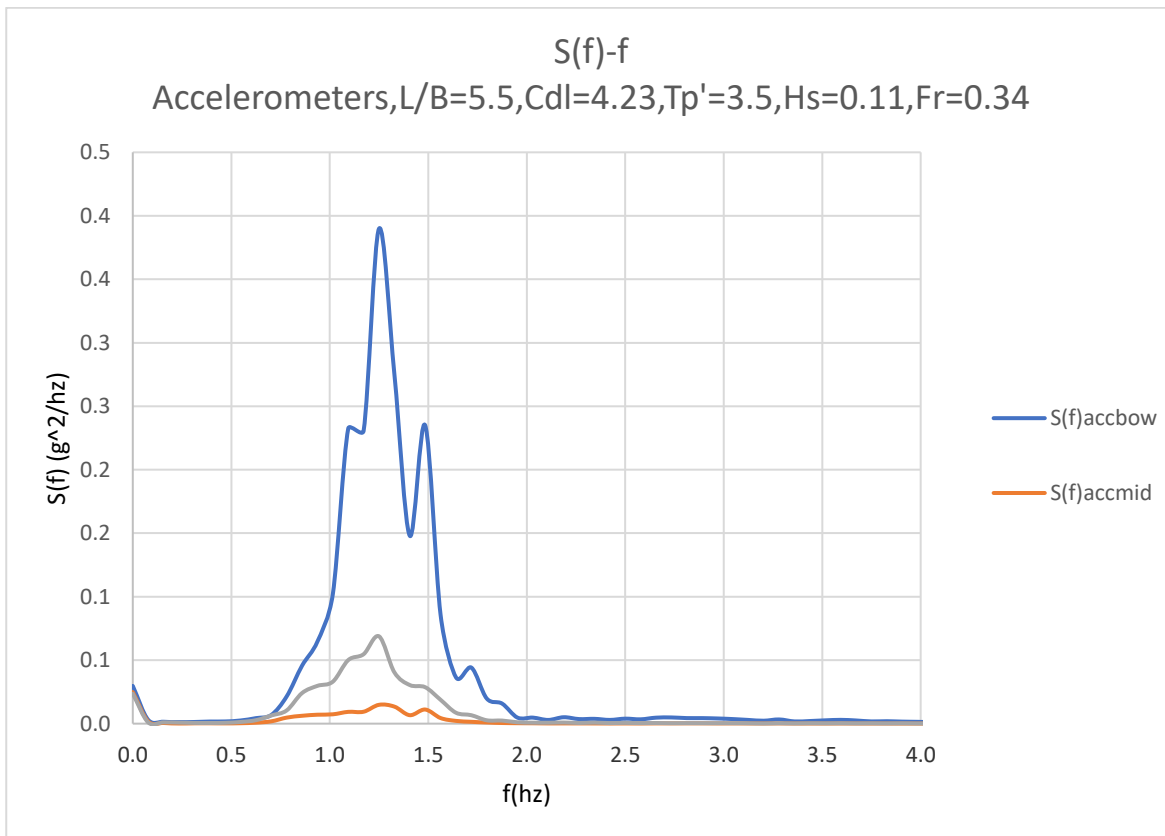
Διάγραμμα 5.4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού-Pitch.



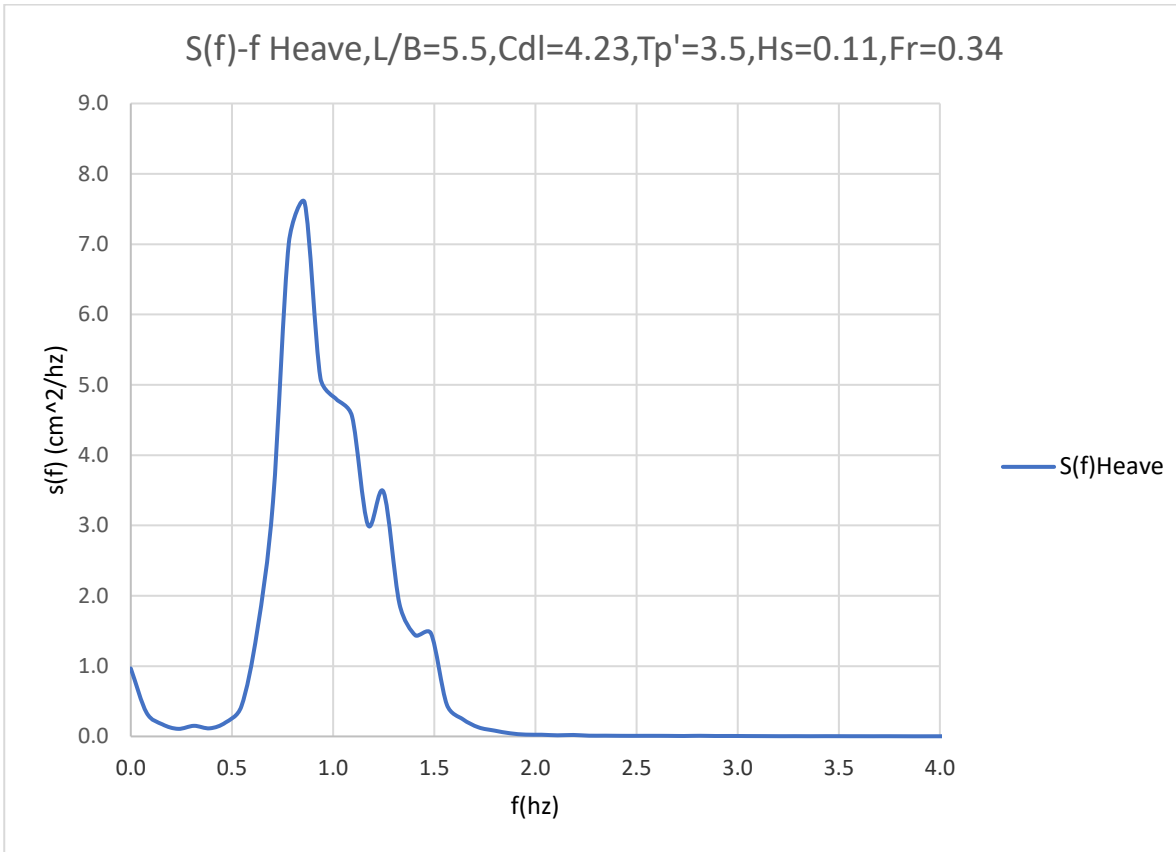
Διάγραμμα 5.5. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό (μετρούμενο) φάσμα κύματος.



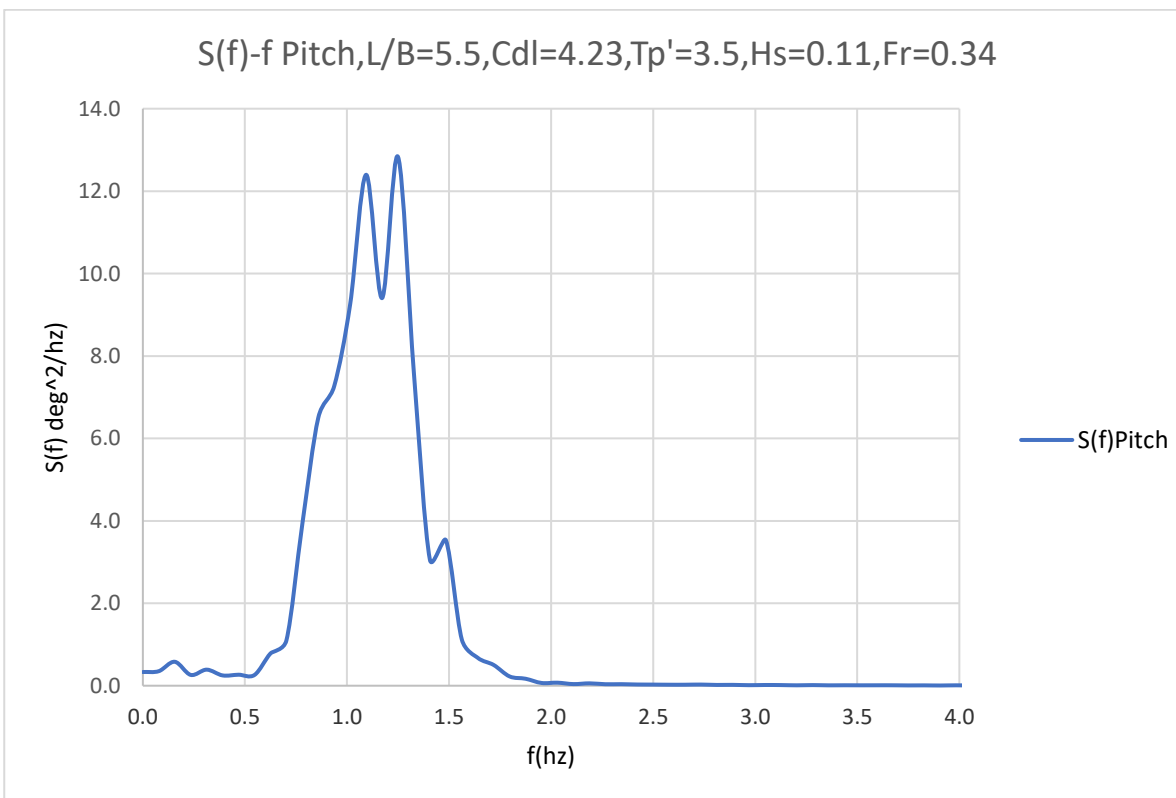
Διάγραμμα 5.6. Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων.



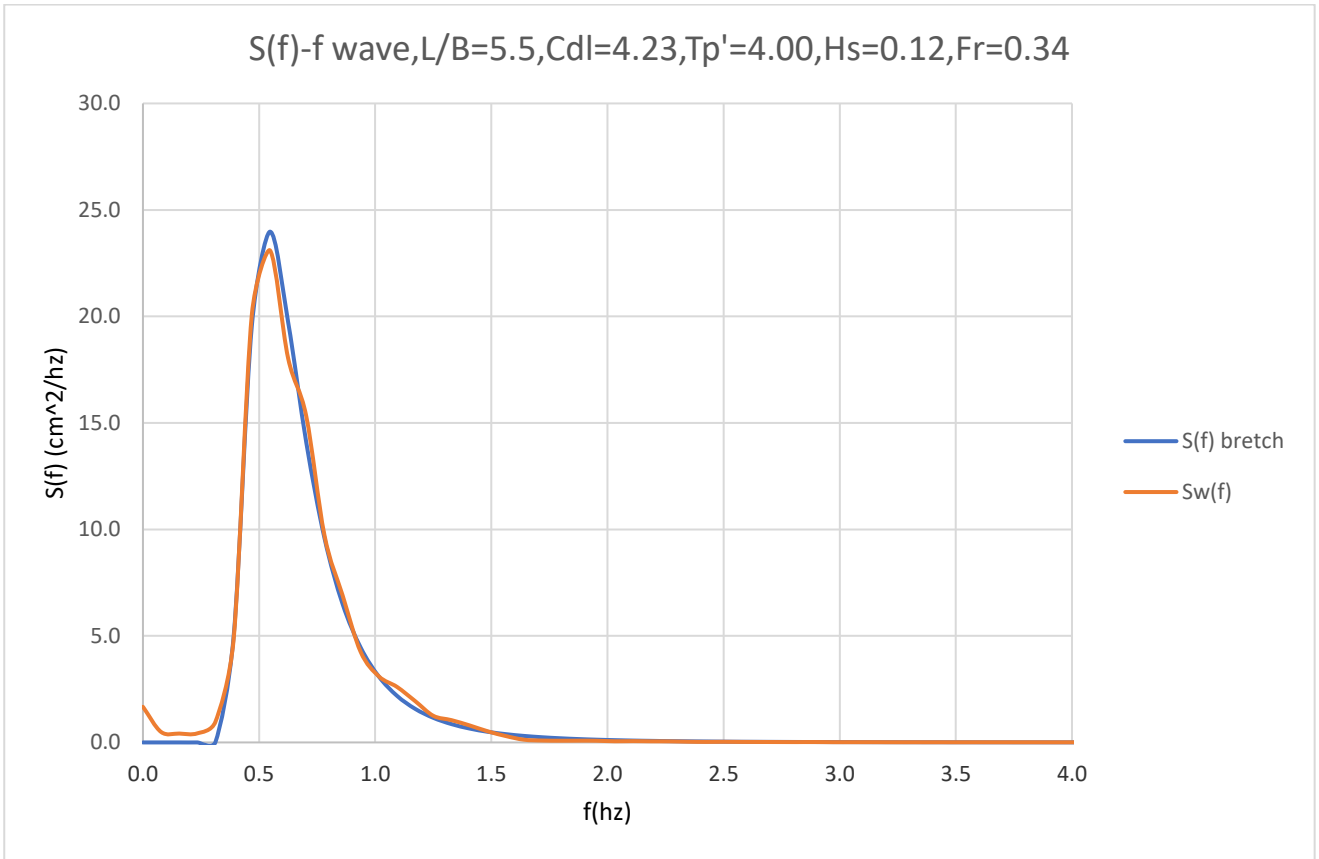
Διάγραμμα 5.7. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης-Heave.



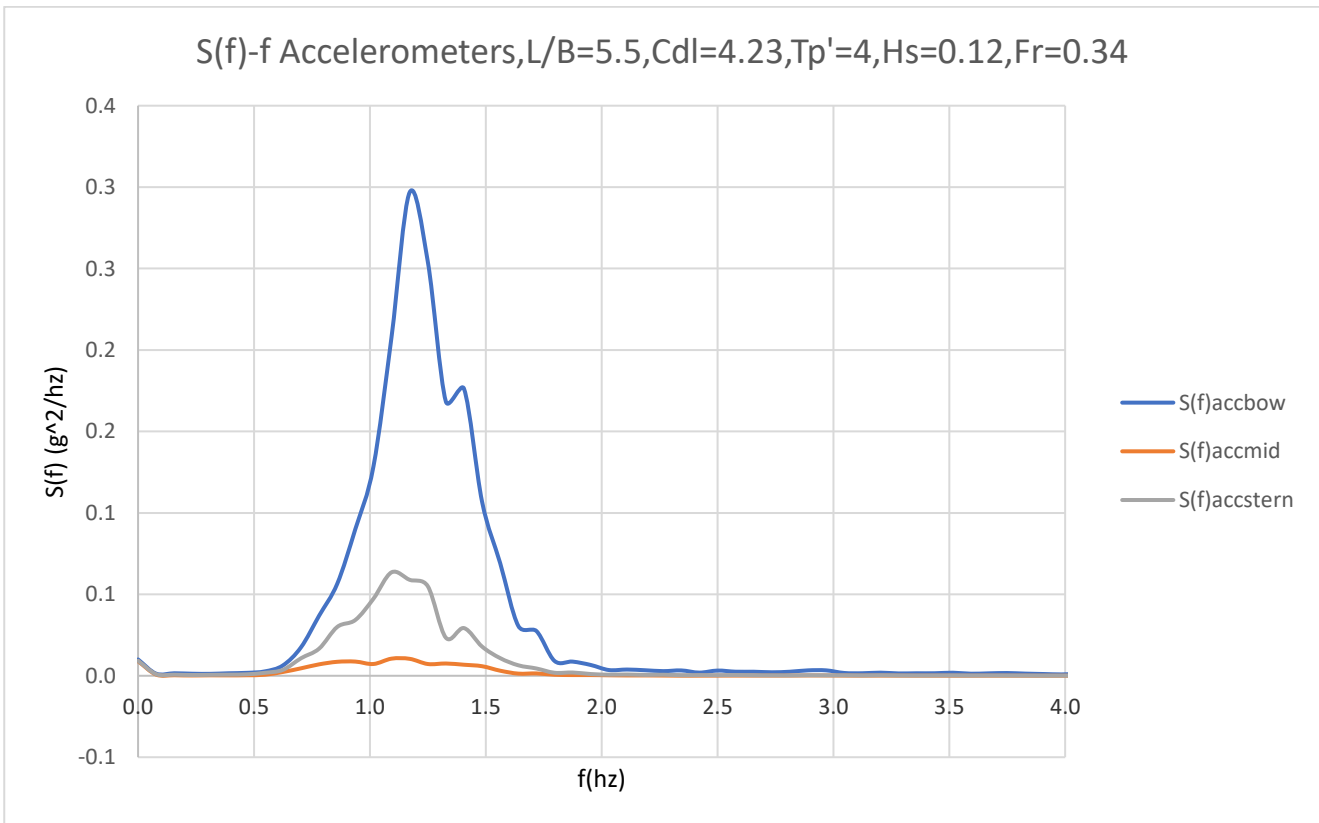
Διάγραμμα 5.8. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού-Pitch.



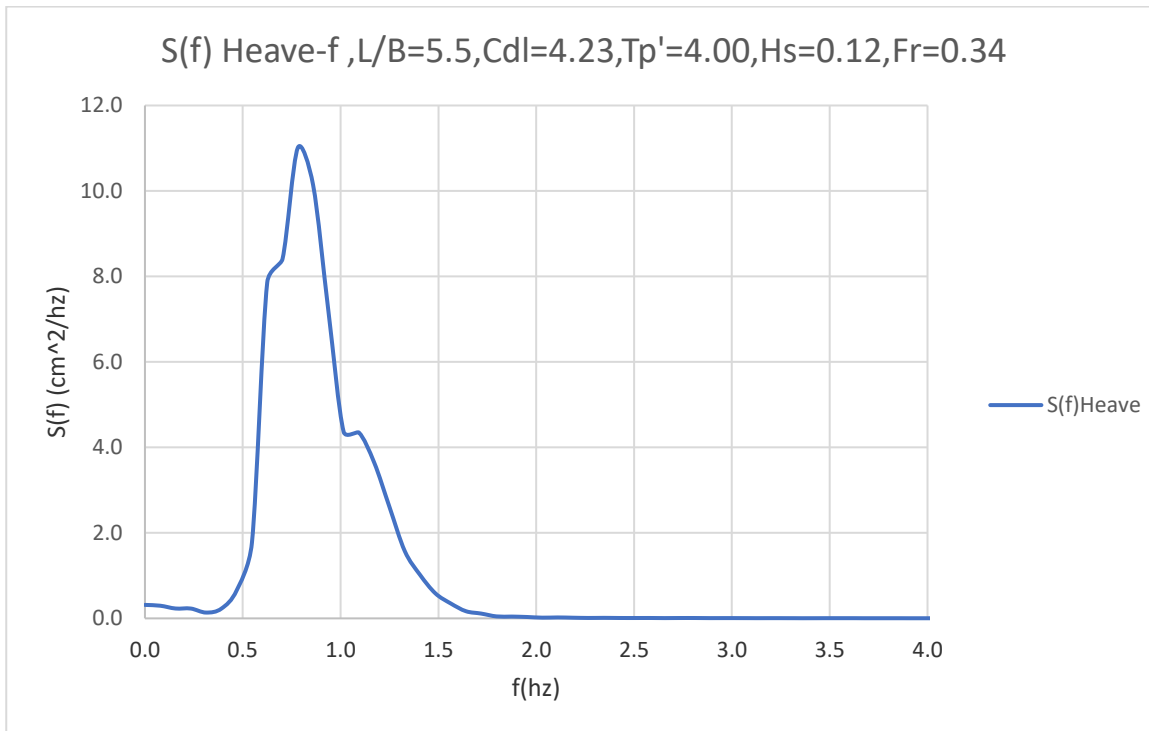
Διάγραμμα 5.9. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό (μετρούμενο) φάσμα κύματος.



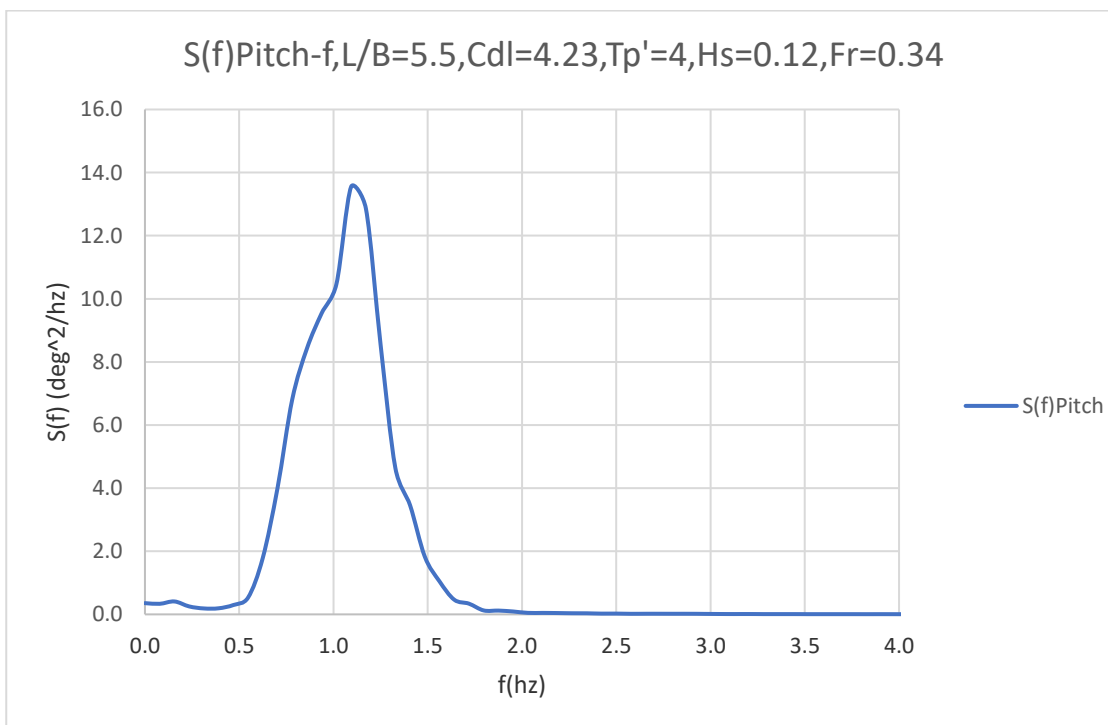
Διάγραμμα 5.10. Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων



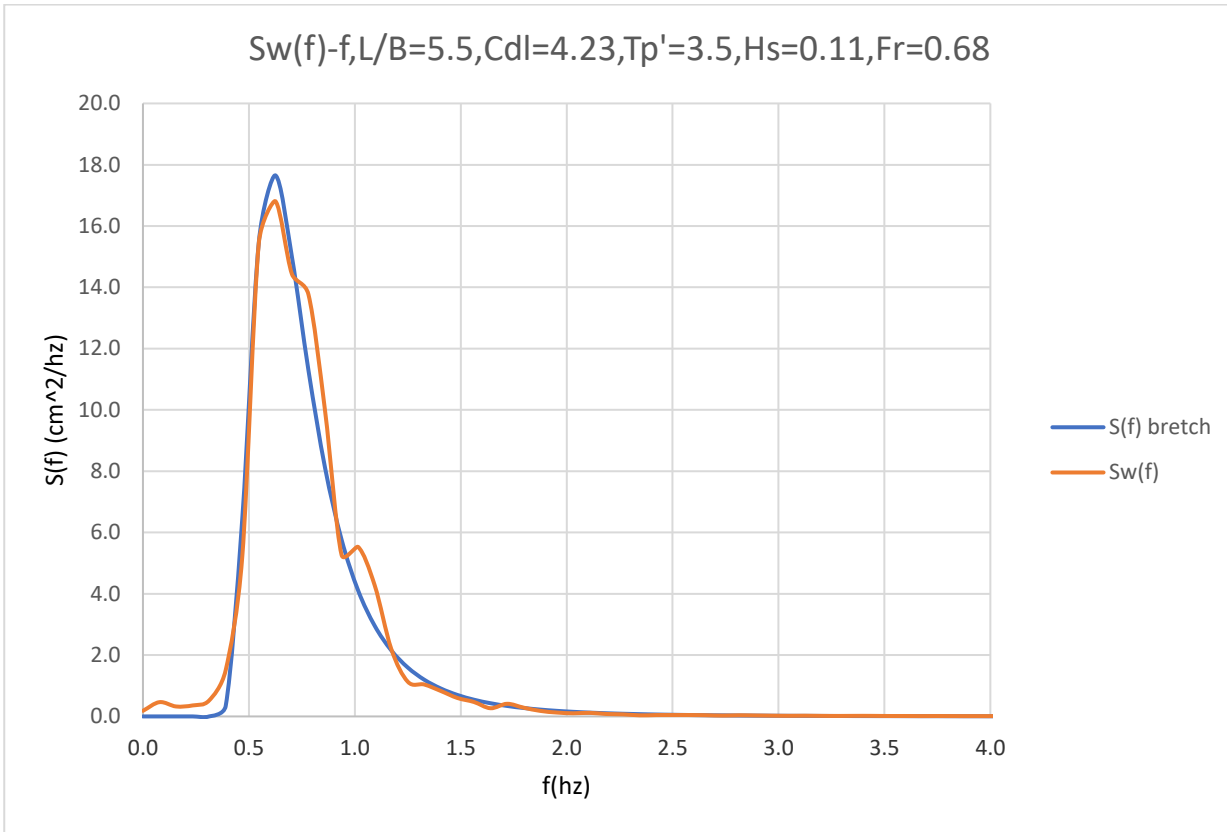
Διάγραμμα 5.11. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης-Heave



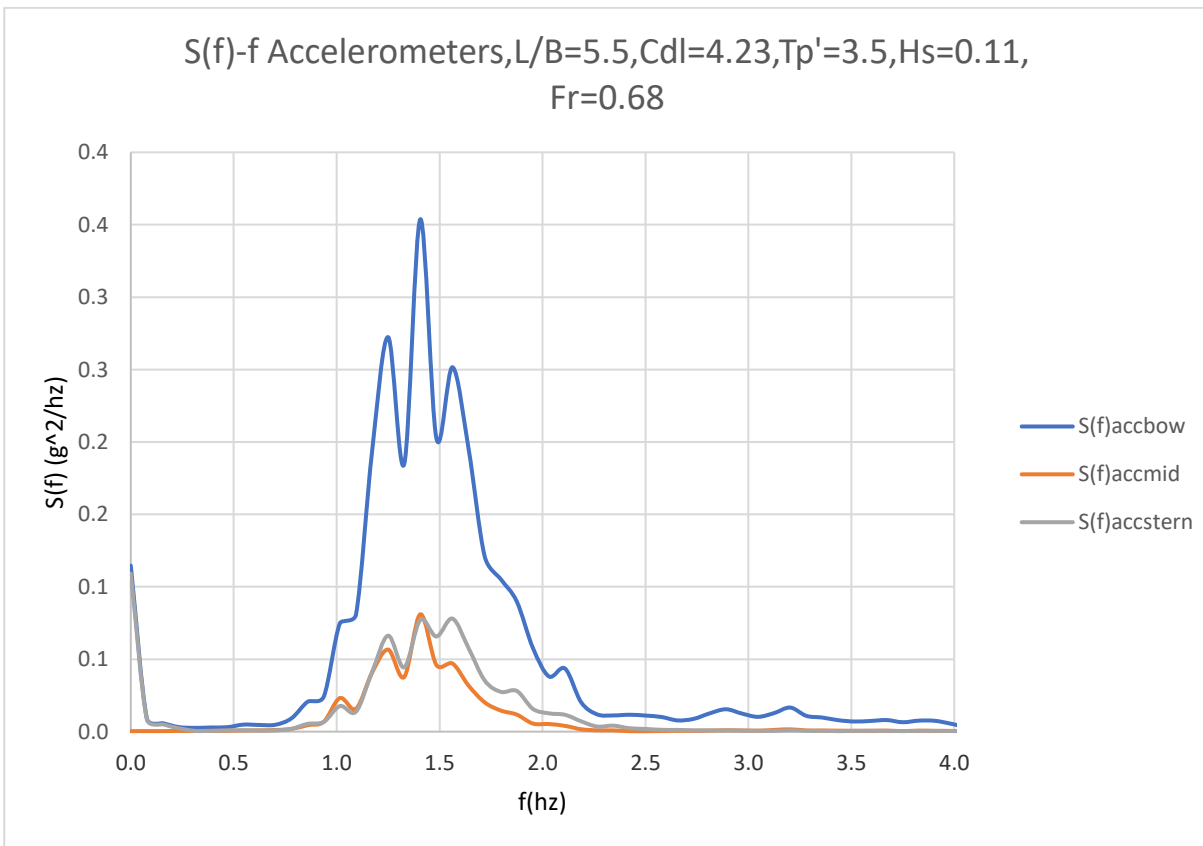
Διάγραμμα 5.12. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού-Pitch



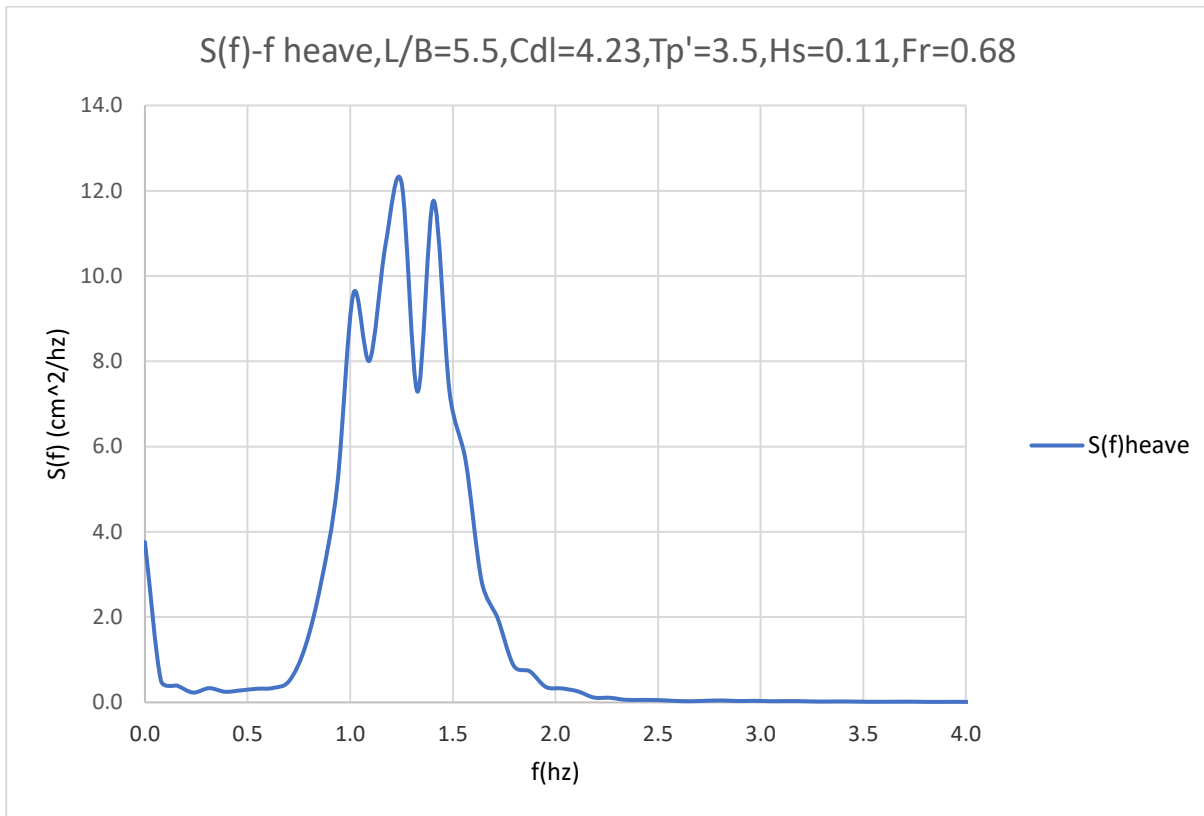
Διάγραμμα 5.13. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό (μετρούμενο) φάσμα κύματος.



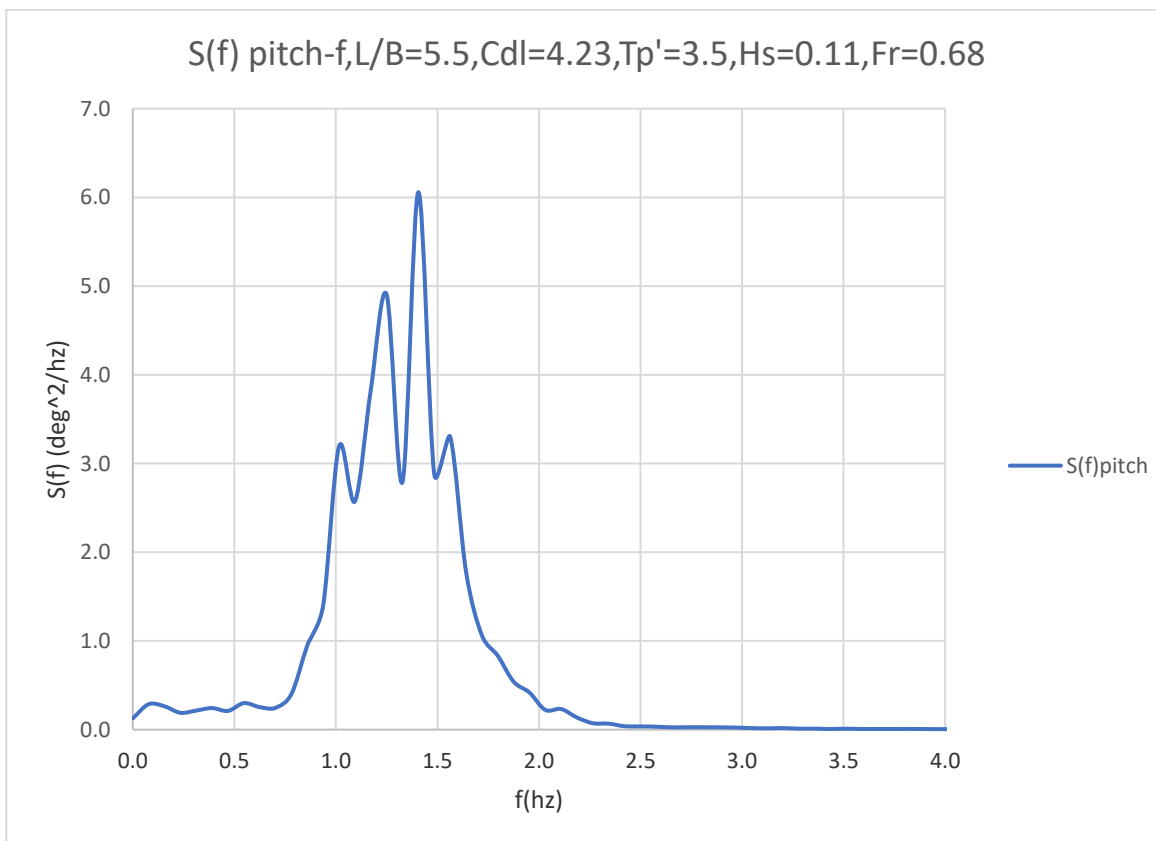
Διάγραμμα 5.14. Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων



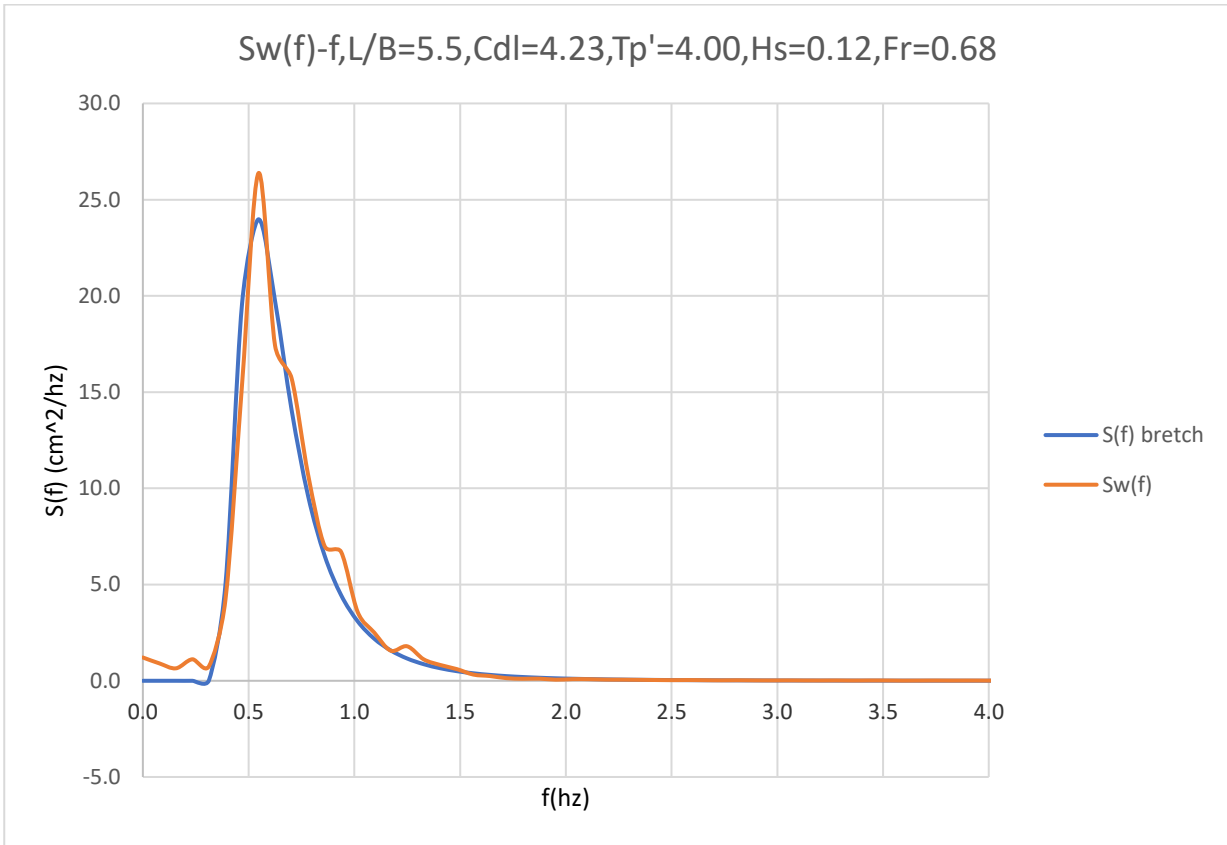
Διάγραμμα 5.15. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης-Heave



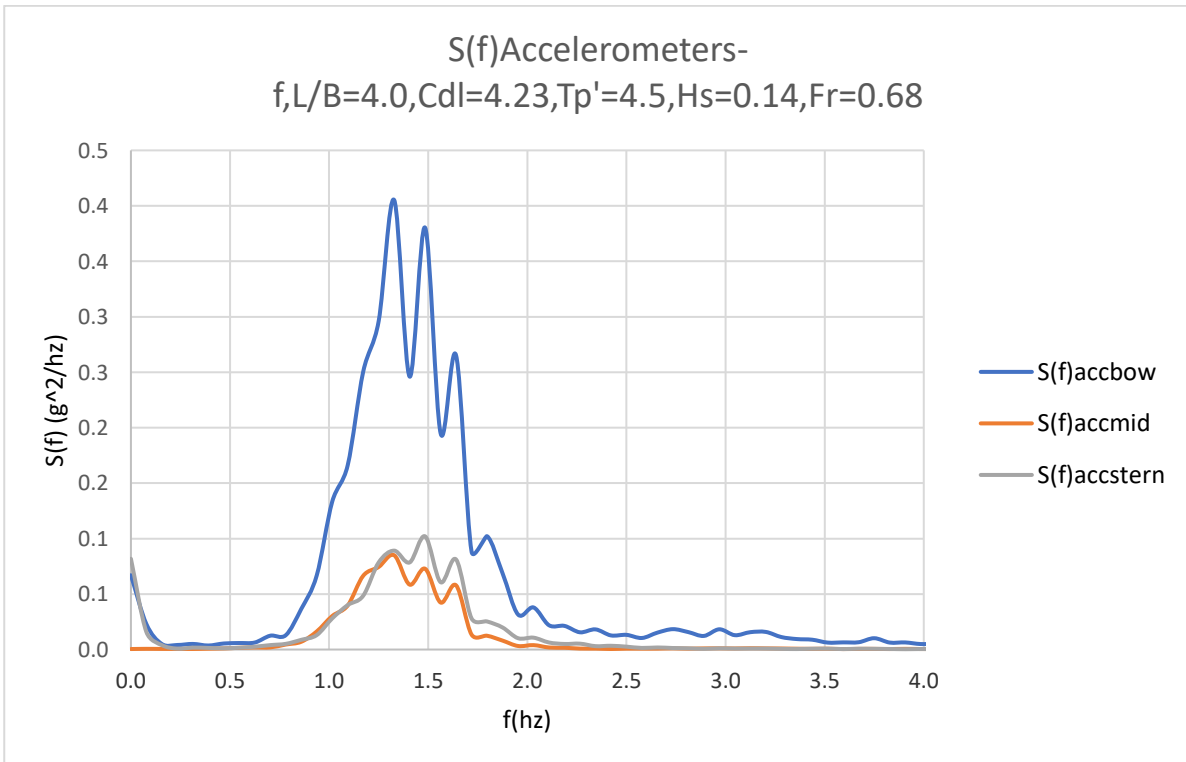
Διάγραμμα 5.16. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού-Pitch



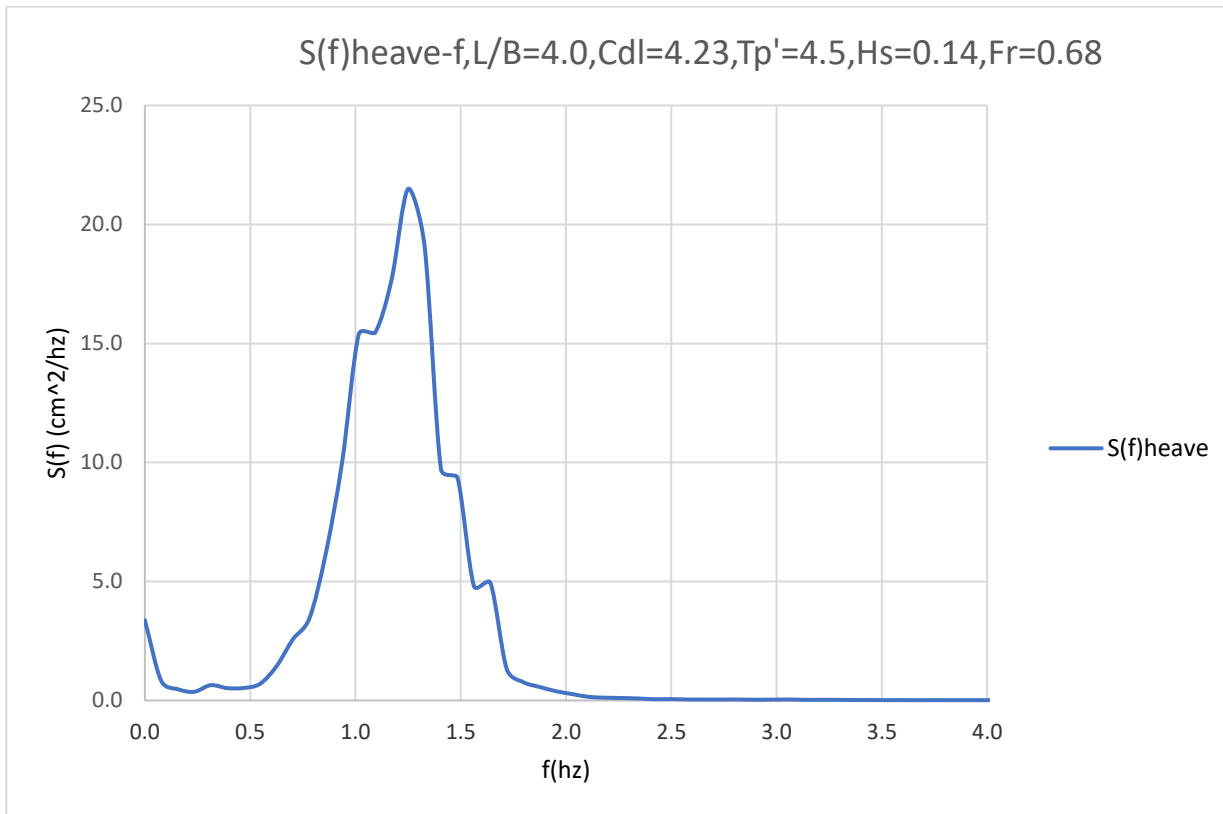
Διάγραμμα 5.17. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό (μετρούμενο) φάσμα κύματος.



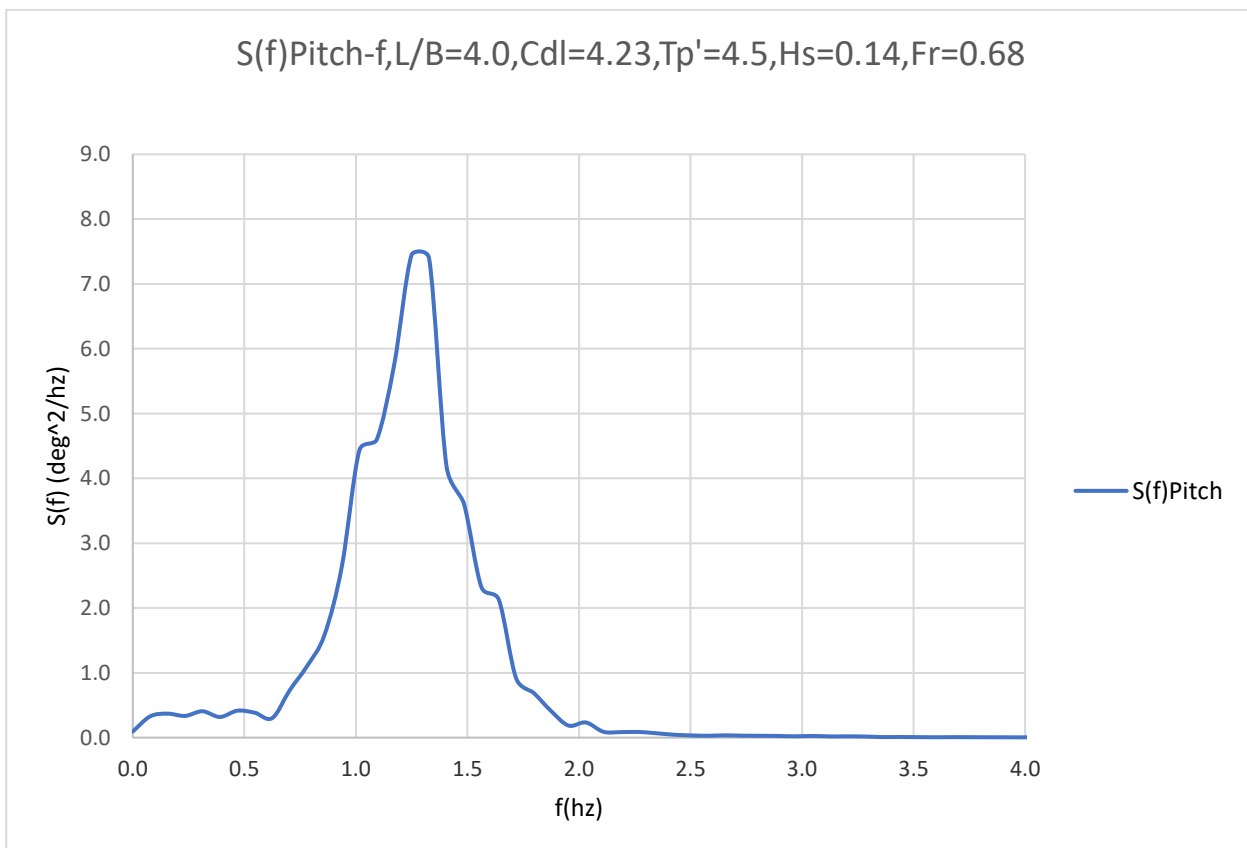
Διάγραμμα 5.18. Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων



Διάγραμμα 5.19. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης-Heave

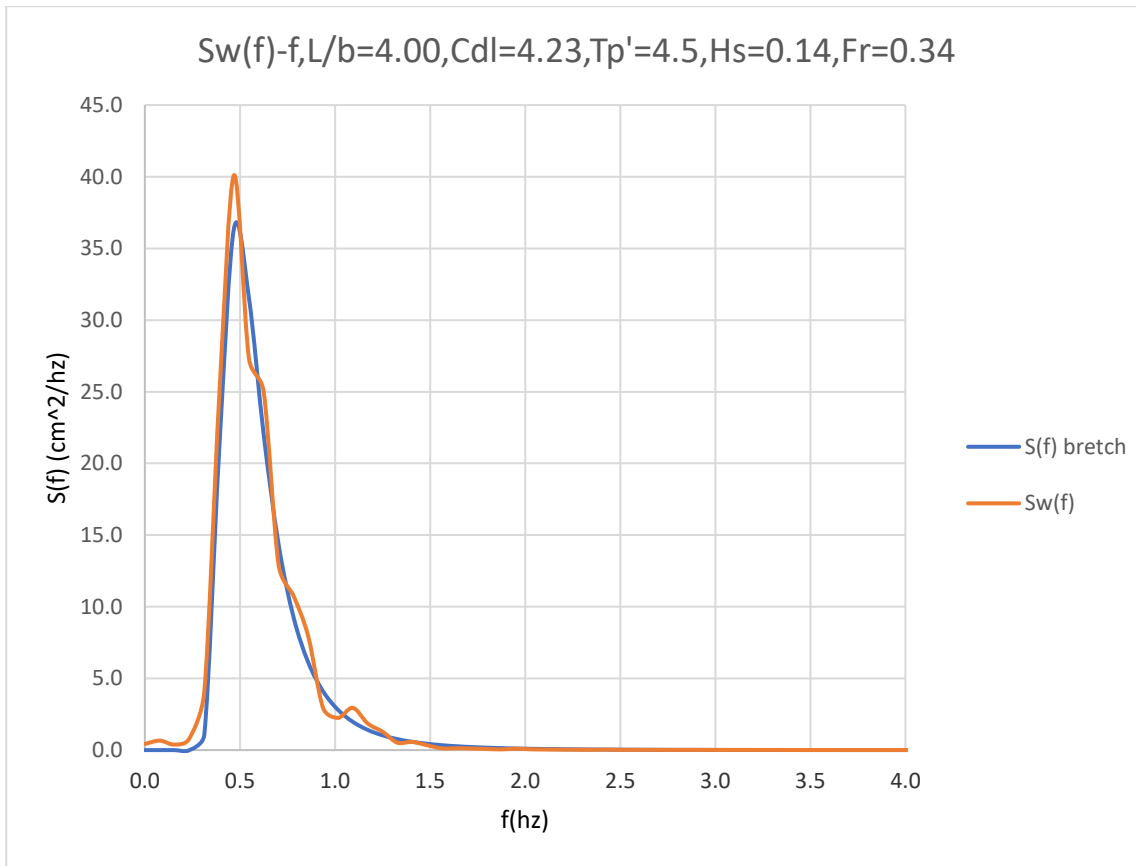


Διάγραμμα 5.20. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού-Pitch

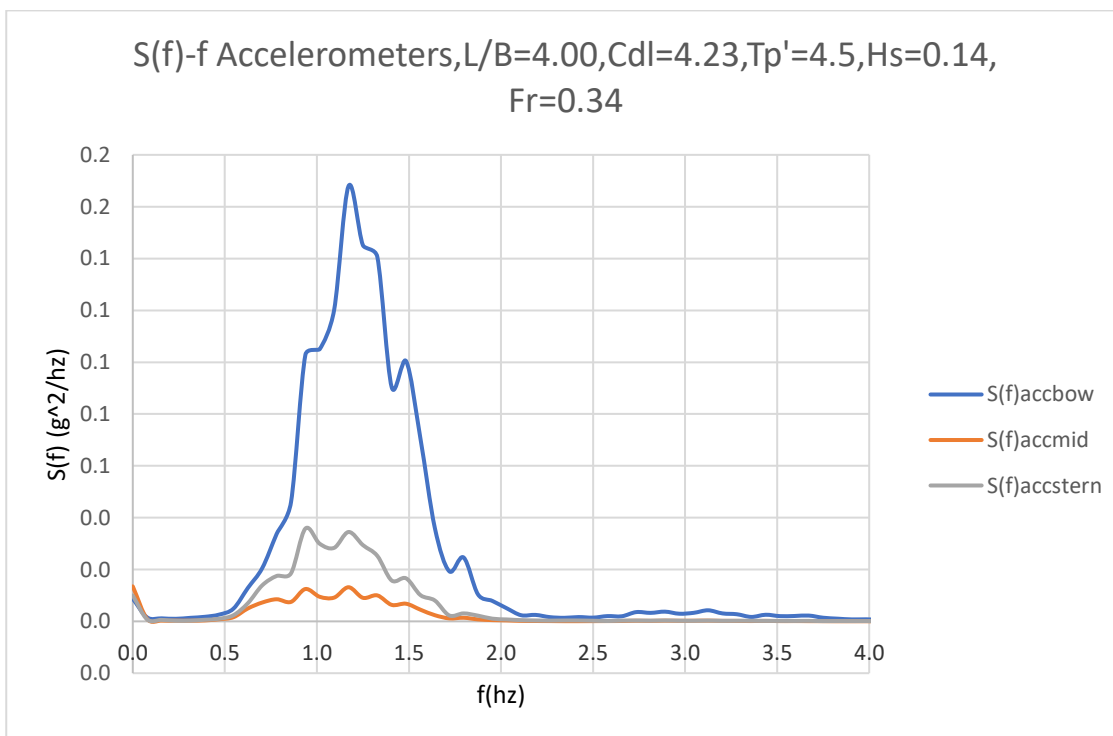


Για το μοντέλο **113/95** έχω:

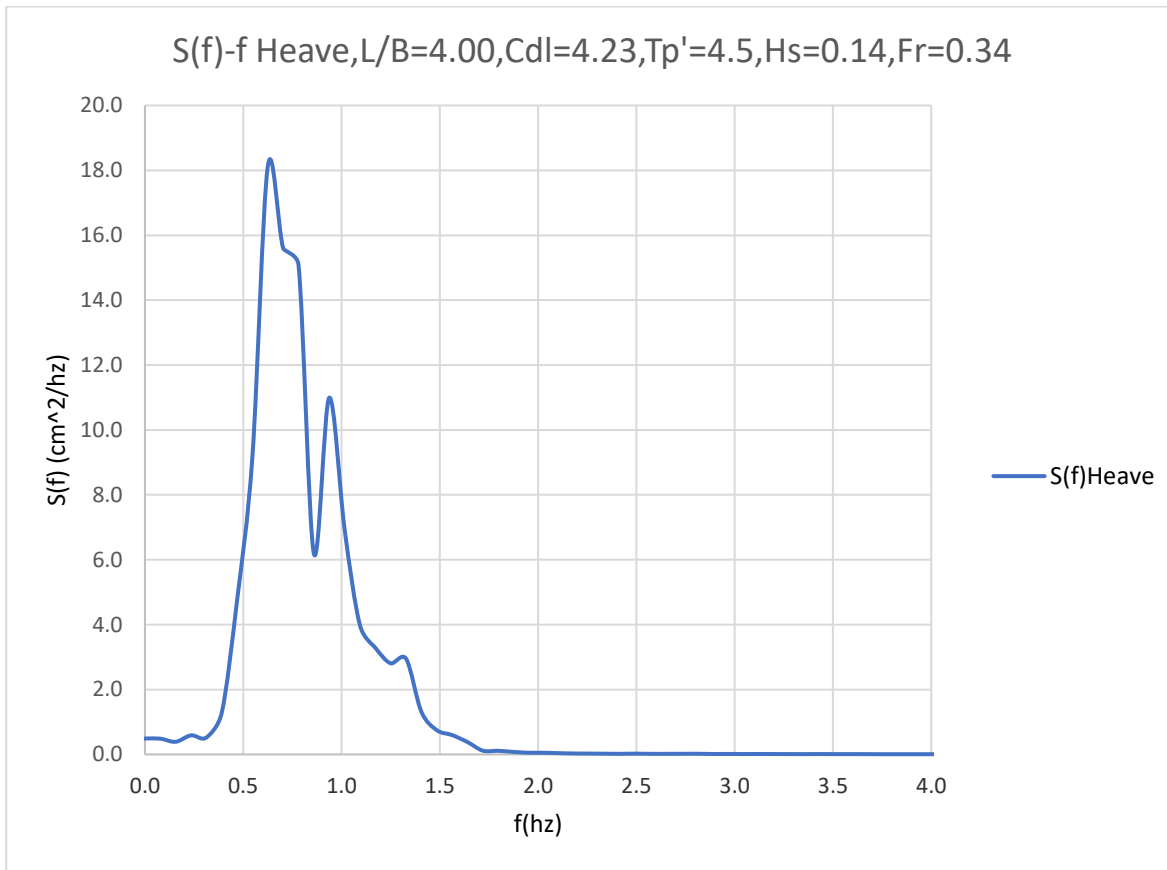
Διάγραμμα 5.21. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό (μετρούμενο) φάσμα κύματος.



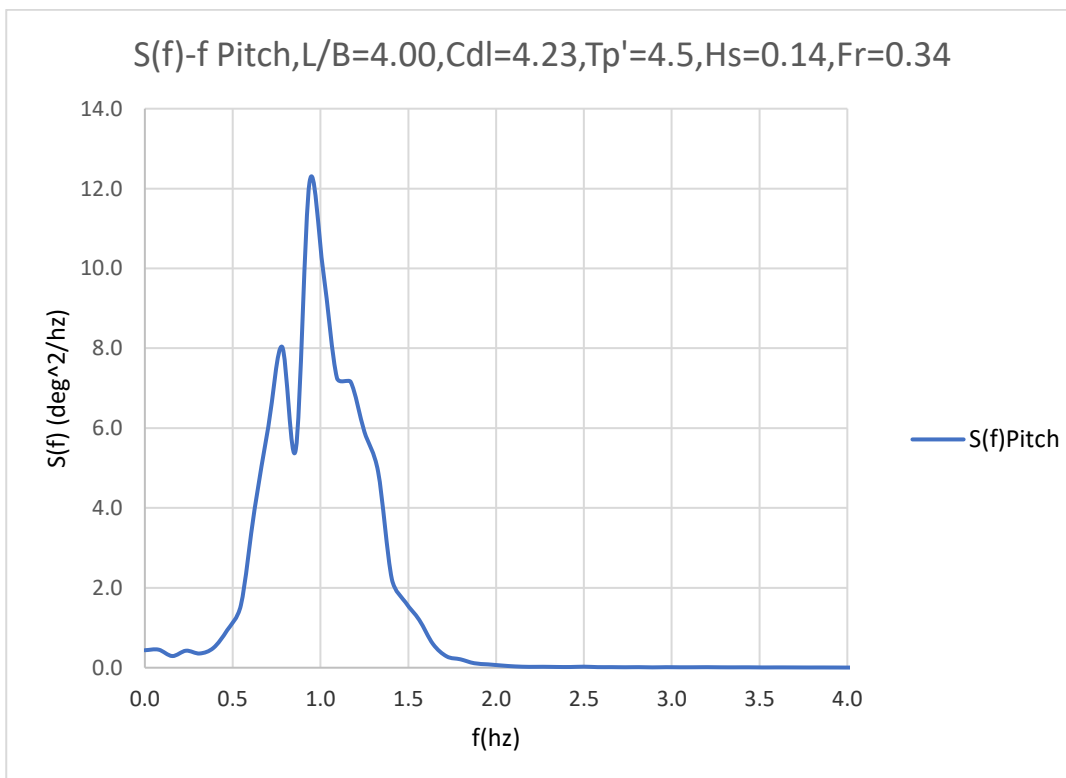
Διάγραμμα 5.22. Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων



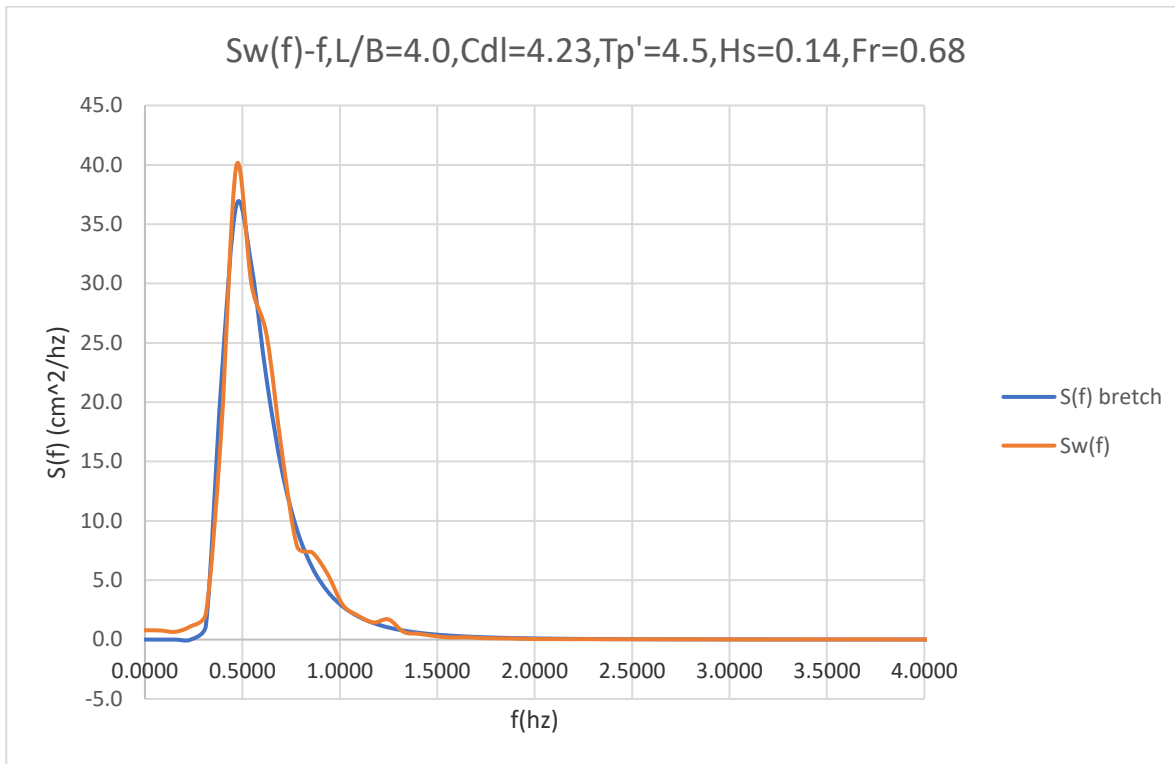
Διάγραμμα 5.23. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης-Heave



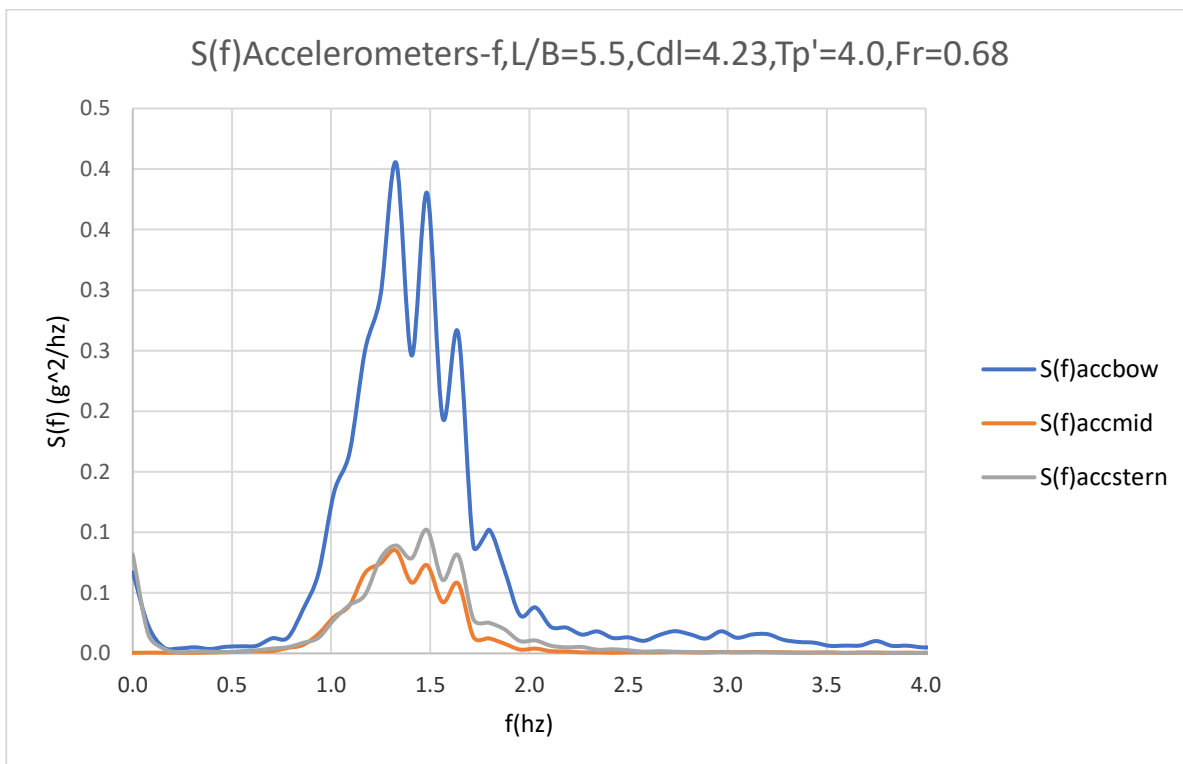
Διάγραμμα 5.24. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευσασμού-Pitch



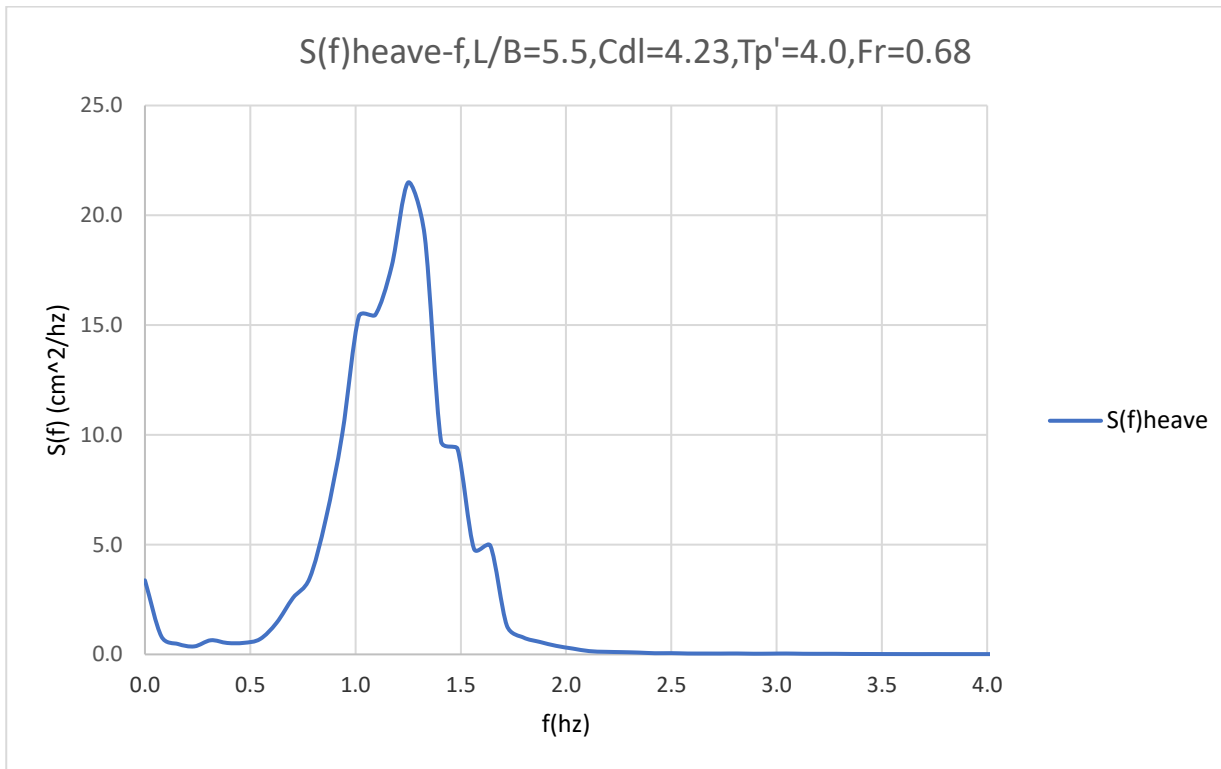
Διάγραμμα 5.25. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό (μετρούμενο) φάσμα κύματος.



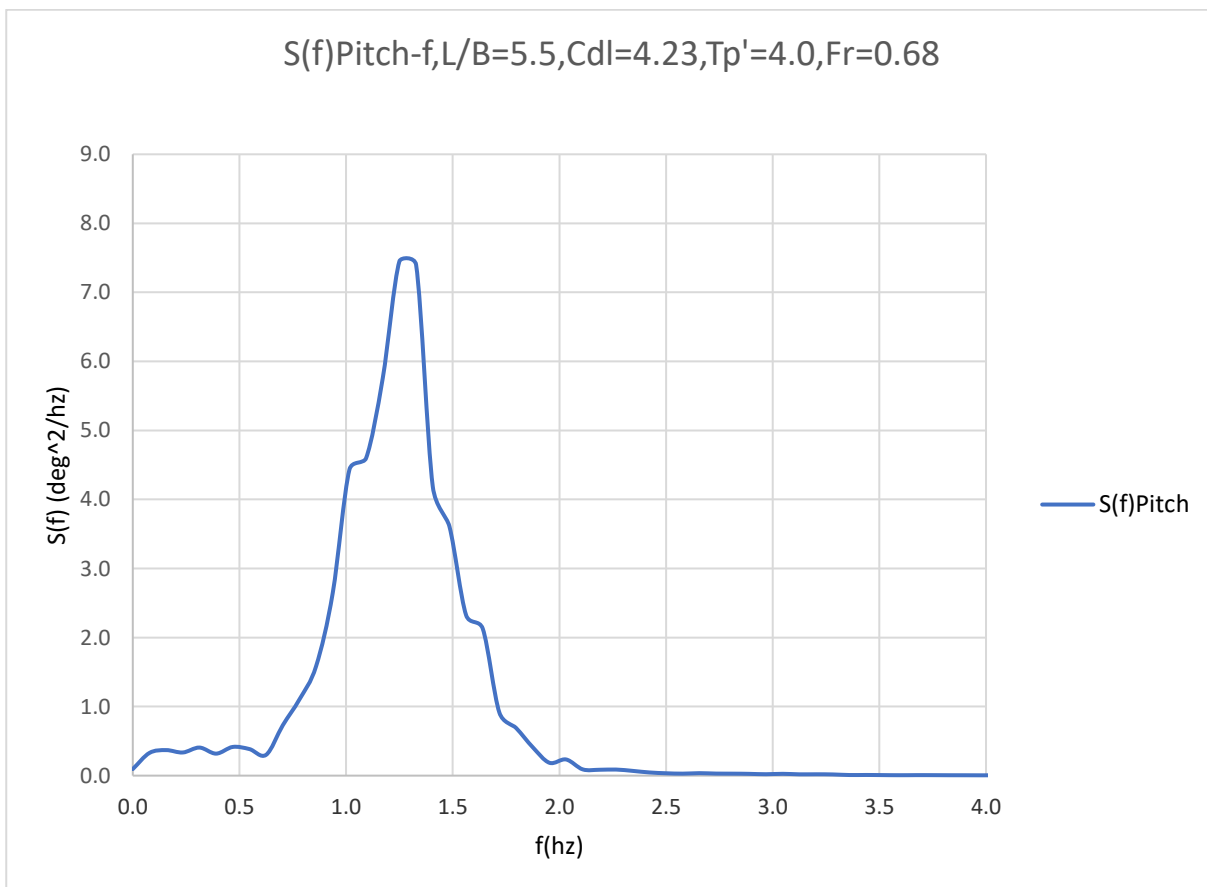
Διάγραμμα 5.26. Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων



Διάγραμμα 5.27. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης-Heave

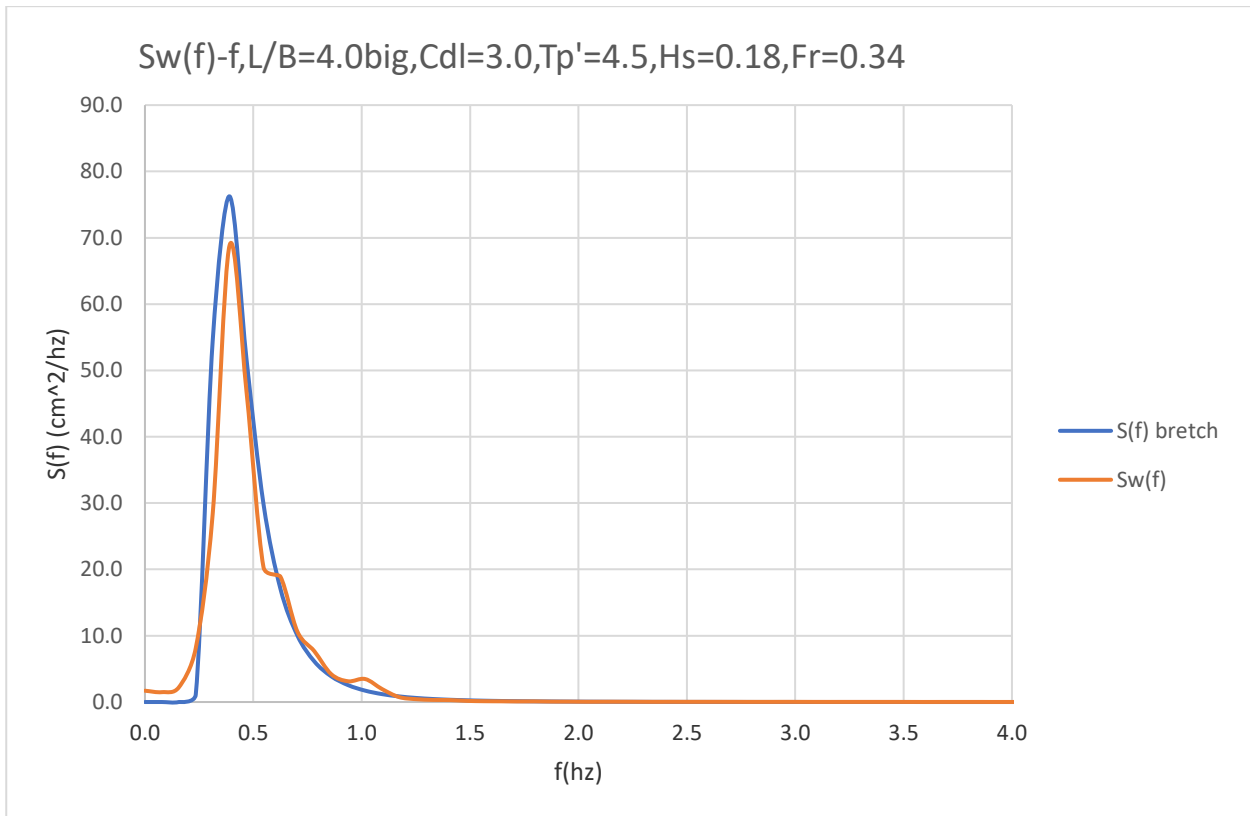


Διάγραμμα 5.28. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού-Pitch

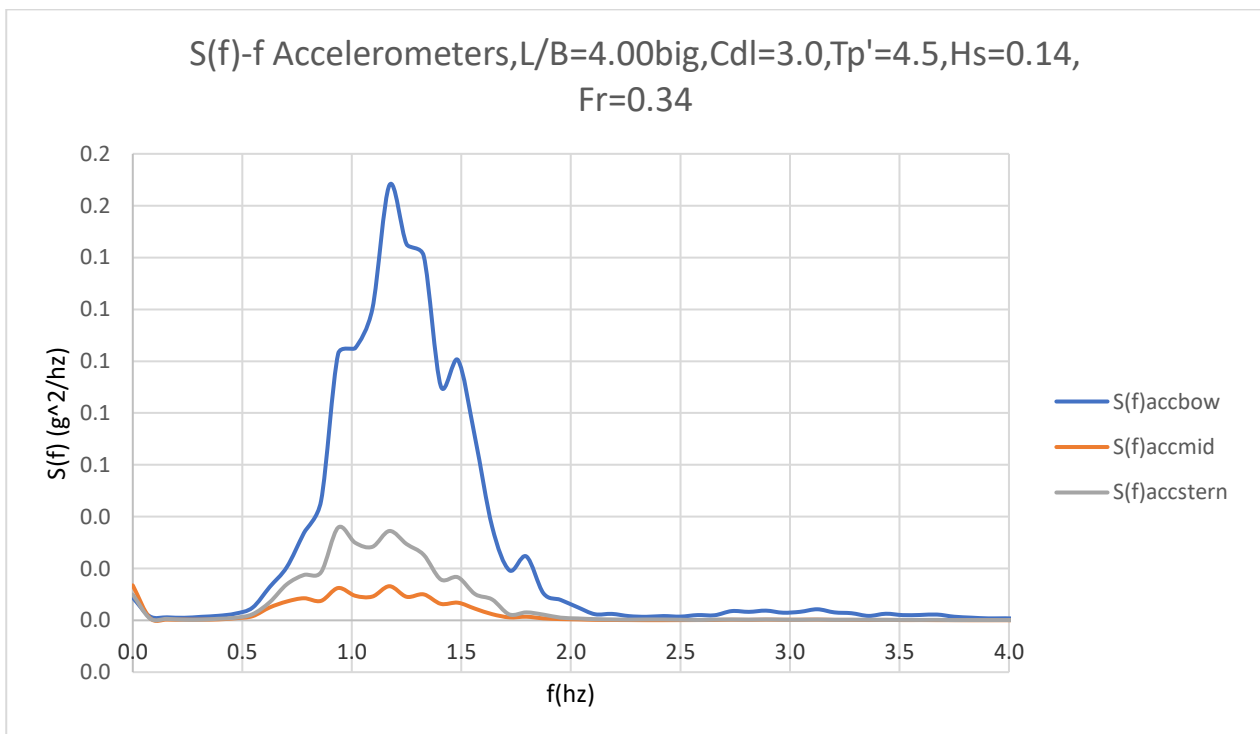


Για το μοντέλο 163/01 έχουμε:

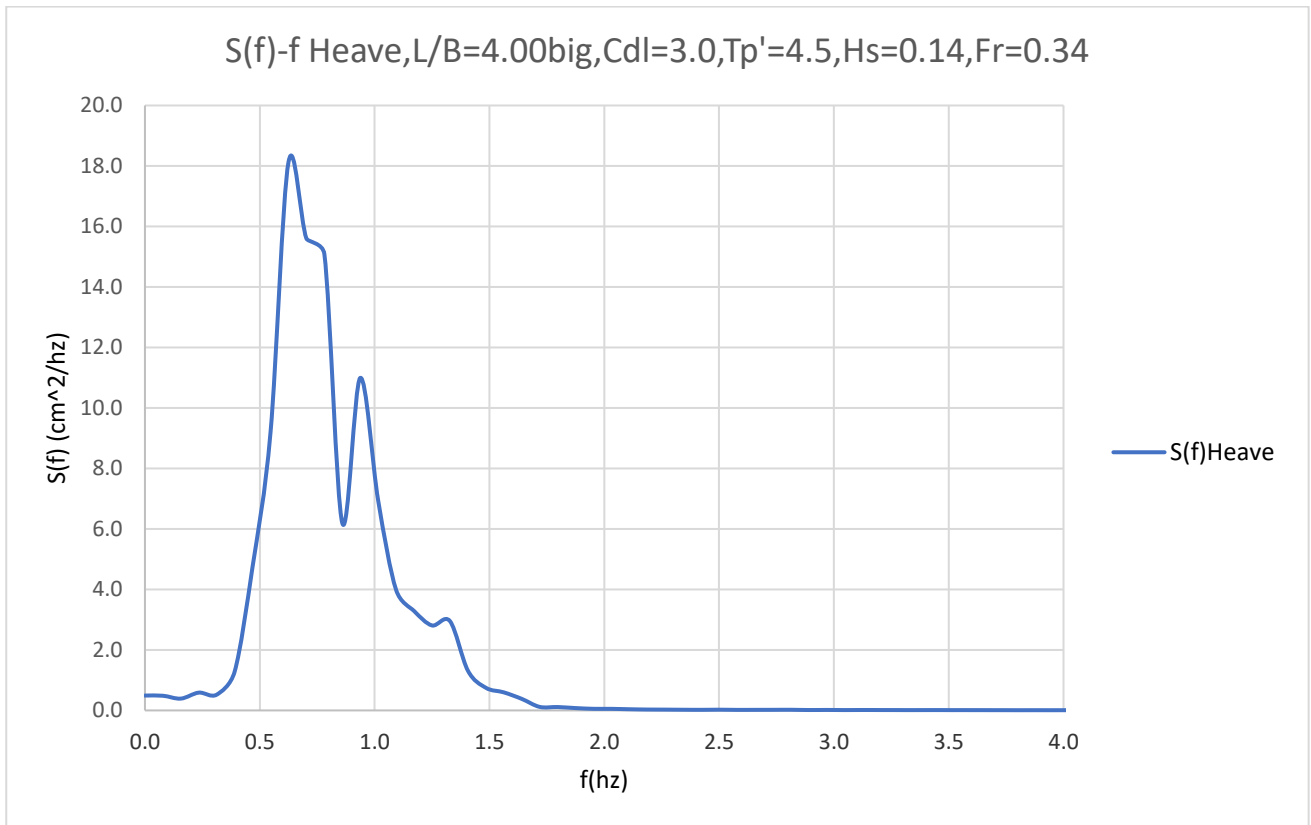
Διάγραμμα 5.29. Θεωρητικό (Bretschneider) και πραγματικό (μετρούμενο) φάσμα κύματος.



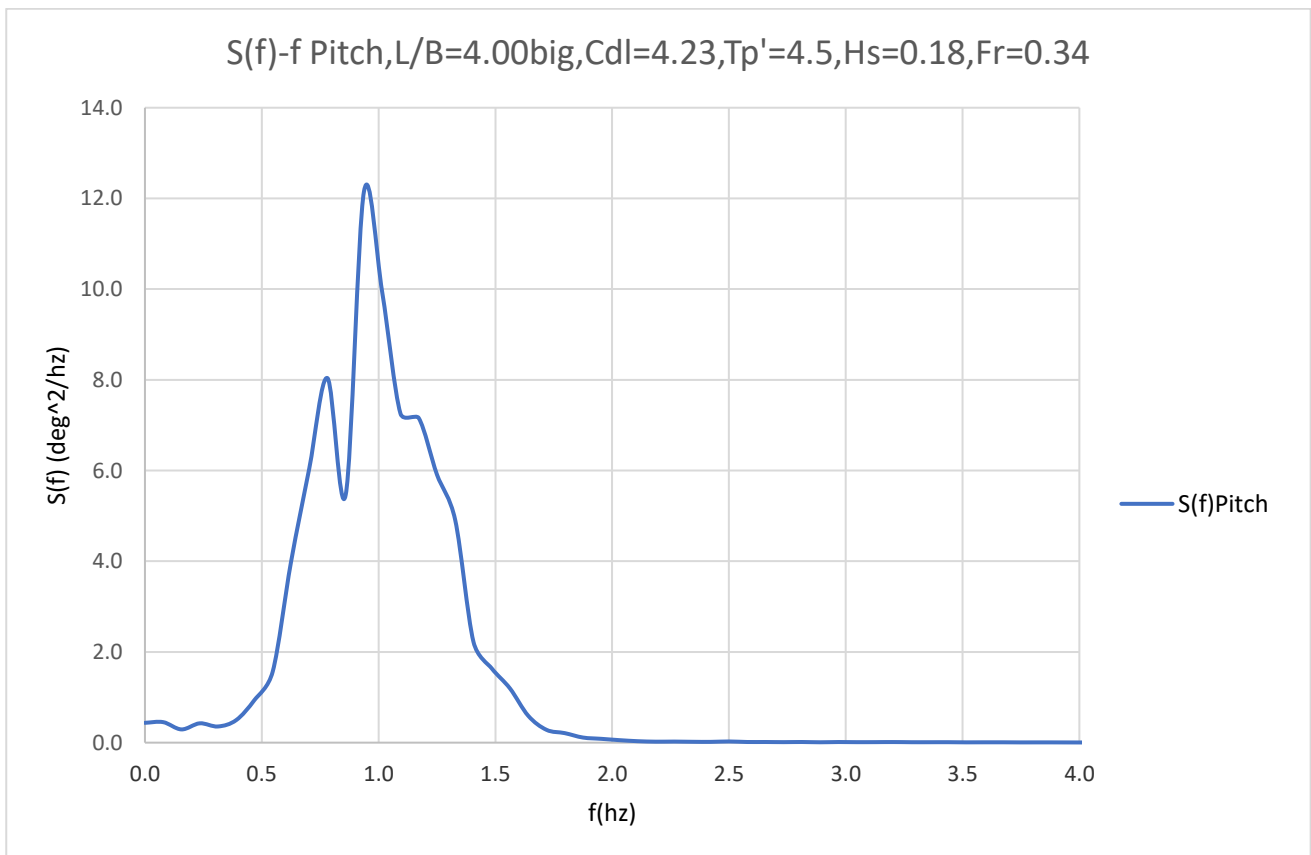
Διάγραμμα 5.30. Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων



Διάγραμμα 5.31. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης-Heave



Διάγραμμα 5.32. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού-Pitch



Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι:

Η κατακόρυφη επιτάχυνση στην πλώρη είναι σε όλες τις περιπτώσεις πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στην πρύμνη και στο κέντρο βάρους του πλοίου. Επίσης οι επιταχύνσεις στην πρύμνη είναι σχεδόν σε όλες τις καταστάσεις και για τις δύο ταχύτητες δοκιμών μεγαλύτερες από τις επιταχύνσεις στο κέντρο βάρους. Αυτό συμβαίνει διότι οι επιταχύνσεις στην πλώρη και στην πρύμνη επηρεάζονται από την κίνηση του προνευτασμού κάτι που δεν συμβαίνει στο κέντρο βάρους,

5.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΩΝ RMS ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα διαγράμματα των RMS τιμών των αποκρίσεων για τις δύο ταχύτητες στις οποίες πραγματοποιήθηκαν πειράματα. Οι RMS τιμές υπολογίζονται με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' .

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής επιτρέπει την σύγκριση και αξιολόγηση των προτύπων της συστηματικής σειράς συναρτήσεων του λόγου L/B , 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 ίδιο λόγο γίνεται αναγωγή των αποκρίσεων ως προς H_s ούτως ώστε να έχουμε καλύτερη συγκριτική εσοπτεία μεταξύ απόκρισης – διέγερσης και να είναι πιο εύκολα συγκρίσιμα με τα αποτελέσματα άλλων πειραμάτων που έχουν γίνει σε άλλα μοντέλα – πλοία.

Παρατηρούμε ότι το σημαντικό ύψος κύματος, που μετρήθηκε και υπολογίστηκε από τη σχέση $H_{1/3}=4 \cdot RMS$ διαφέρει από το αρχικά επιδιωκόμενο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας διορθωτικός συντελεστής k , που είναι ο λόγος της επιδιωκόμενης τιμής προς την πραγματική μέση τιμή της μέτρησης. Τα μεγέθη τροποποιήθηκαν με τις παρακάτω σχέσεις για να γίνει η αναγωγή στις πραγματικές τιμές:

$$RMS_{\text{διορθωμένο}} = RMS_{\text{μέτρησης}} \cdot k$$

$$R_{AW_{\text{διορθωμένο}}} = R_{AW_{\text{μέτρησης}}} \cdot k^2$$

Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα εξής διαγράμματα:

- RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στις τρεις θέσεις (πλήρη, κέντρο βάρους, πρύμνη) επί του μοντέλου διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (g/cm) συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'
- RMS τιμές Κατακόρυφης Κίνηση –Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (cm/cm) συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'
- RMS τιμές Προνευτασμού –Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (deg/cm) συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'
- Τιμές Πρόσθετης Αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το τετράγωνο του σημαντικού ύψους κύματος H_s (kp/cm²) συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' .

Για το μοντέλο **097/94**, **C_dI=3.00**, **T_p'=4.5**, **Fr=0.68** έχουμε τον αντίστοιχο πίνακα:

Πίνακας 5.33. Πίνακας συντελεστών RMS τιμών των αποκρίσεων

			RMS/H s	RMS/H s	RMS/H s	RMS/H s	RMS/H s	
T _p '	H _s model	Wave tank	Acc 1 / H _s	Acc 2 / H _s	Acc 3 / H _s	Heave / H _s	Pitch / H _s	Added Res / H _s ²
-	cm	cm	g/cm	g/cm	g/cm	cm/cm	deg/cm	kp/cm ²
2.0	8.0	1.7077	0.0138	0.0055	0.0084	0.0430	0.0346	0.0039
2.5	9.0	1.9070	0.0245	0.0100	0.0139	0.0854	0.0693	0.0038
3.0	10.0	2.2154	0.0329	0.0142	0.0179	0.1439	0.1090	0.0035
3.5	11.0	2.4508	0.0345	0.0155	0.0185	0.1830	0.1293	0.0033
4.0	12.0	2.7668	0.0348	0.0159	0.0180	0.2166	0.1434	0.0030
4.5	14.0	2.9980	0.0351	0.0166	0.0182	0.2580	0.1606	0.0027
5.0	16.0	3.5098	0.0311	0.0151	0.0162	0.2653	0.1541	0.0022

Για το μοντέλο **097/94**, **C_dI=4.23**, **T_p'=3.5**, **T_p'=4.00**, **Fr=0.34** έχουμε τον αντίστοιχο πίνακα:

Πίνακας 5.34. Πίνακας συντελεστών RMS τιμών των αποκρίσεων

			RMS/H _s	RMS/H _s	RMS/H _s	RMS/H _s	RMS/H _s	
T _p '	H _s model	Wave tank	Acc 1 / H _s	Acc 2 / H _s	Acc 3 / H _s	Heave / H _s	Pitch / H _s	Added Res / H _s ²
-	cm	cm	g/cm	g/cm	g/cm	cm/cm	deg/cm	kp/cm ²
2.0	8.0	1.9041	0.0195	0.0044	0.0097	0.0548	0.0866	0.0030
2.5	9.0	2.2614	0.0290	0.0067	0.0145	0.0987	0.1681	0.0047
3.0	10.0	2.5750	0.0319	0.0075	0.0168	0.1293	0.2069	0.0054
3.5	11.0	2.6693	0.0367	0.0089	0.0170	0.1767	0.2324	0.0061
4.0	12.0	2.9073	0.0311	0.0076	0.0154	0.1914	0.2224	0.0042
4.5	14.0	3.5237	0.0237	0.0071	0.0146	0.2153	0.2105	0.0032
5.0	16.0	4.0915	0.0188	0.0062	0.0120	0.2275	0.1757	0.0013

Για το μοντέλο **097/94**, **Cdl=4.23**, **Tp'=3.5**, **Tp'=4.00**, **Fr=0.68** έχουμε τον αντίστοιχο πίνακα:

Πίνακας 5.35. Πίνακας συντελεστών RMS τιμών των αποκρίσεων

			RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	
Tp'	Hs model	Wave tank	Acc 1 / Hs	Acc 2 / Hs	Acc 3 / Hs	Heave / Hs	Pitch / Hs	Added Res / Hs^2
-	cm	cm	g/cm	g/cm	g/cm	cm/cm	deg/cm	kp/cm^2
2.0	8.0	1.9041	0.0121	0.0048	0.0071	0.0494	0.0329	0.0030
2.5	9.0	2.2614	0.0211	0.0081	0.0133	0.0833	0.0680	0.0039
3.0	10.0	2.5750	0.0307	0.0135	0.0187	0.1611	0.1172	0.0038
3.5	11.0	2.6693	0.0420	0.0177	0.0215	0.2481	0.1615	0.0033
4.0	12.0	2.9073	0.0425	0.0187	0.0217	0.2878	0.1773	0.0036
4.5	14.0	3.5237	0.0312	0.0153	0.0179	0.2690	0.1635	0.0027
5.0	16.0	4.0915	0.0284	0.0141	0.0163	0.2790	0.1586	0.0024

Για το μοντέλο **113/95**, **Cdl=4.23**, **Tp'=4.5**, **Fr=0.34** έχουμε τον αντίστοιχο πίνακα:

Πίνακας 5.36. Πίνακας συντελεστών RMS τιμών των αποκρίσεων

			RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	
Tp'	Hs model	Wave tank	Acc 1 / Hs	Acc 2 / Hs	Acc 3 / Hs	Heave / Hs	Pitch / Hs	Added Res / Hs^2
-	cm	cm	g/cm	g/cm	g/cm	cm/cm	deg/cm	kp/cm^2
2	8	1.9041	0.0203	0.0047	0.0085	0.0534	0.0787	0.0048
2.5	9	2.2614	0.0307	0.0078	0.0130	0.1045	0.1489	0.0052
3	10	2.5750	0.0343	0.0094	0.0149	0.1523	0.1964	0.0050
3.5	11	2.6693	0.0299	0.0085	0.0135	0.1689	0.1973	0.0039
4	12	2.9073	0.0250	0.0073	0.0119	0.1819	0.1852	0.0028
4.5	14	3.5237	0.0231	0.0072	0.0113	0.2070	0.1813	0.0026
5	16	4.0915	0.0183	0.0061	0.0095	0.2217	0.1618	0.0018

Για το μοντέλο **113/95**, **Cdl=4.23**, **Tp'=4.5**, **Fr=0.68** έχουμε τον αντίστοιχο πίνακα:

Πίνακας 5.37. Πίνακας συντελεστών RMS τιμών των αποκρίσεων

			RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	
Tp'	Hs model	Wave tank	Acc 1 / Hs	Acc 2 / Hs	Acc 3 / Hs	Heave / Hs	Pitch / Hs	Added Res / Hs^2
-	cm	cm	g/cm	g/cm	g/cm	cm/cm	deg/cm	kp/cm^2
2	8	1.9041	0.0151	0.0047	0.0077	0.0337	0.0293	0.0033
2.5	9	2.2614	0.0252	0.0090	0.0139	0.0816	0.0674	0.0041
3	10	2.5750	0.0348	0.0141	0.0184	0.1543	0.1124	0.0047
3.5	11	2.6693	0.0350	0.0156	0.0185	0.2081	0.1333	0.0041
4	12	2.9073	0.0318	0.0148	0.0167	0.2327	0.1371	0.0032
4.5	14	3.5237	0.0285	0.0136	0.0151	0.2484	0.1350	0.0025
5	16	4.0915	0.0246	0.0122	0.0131	0.2450	0.1259	0.0016

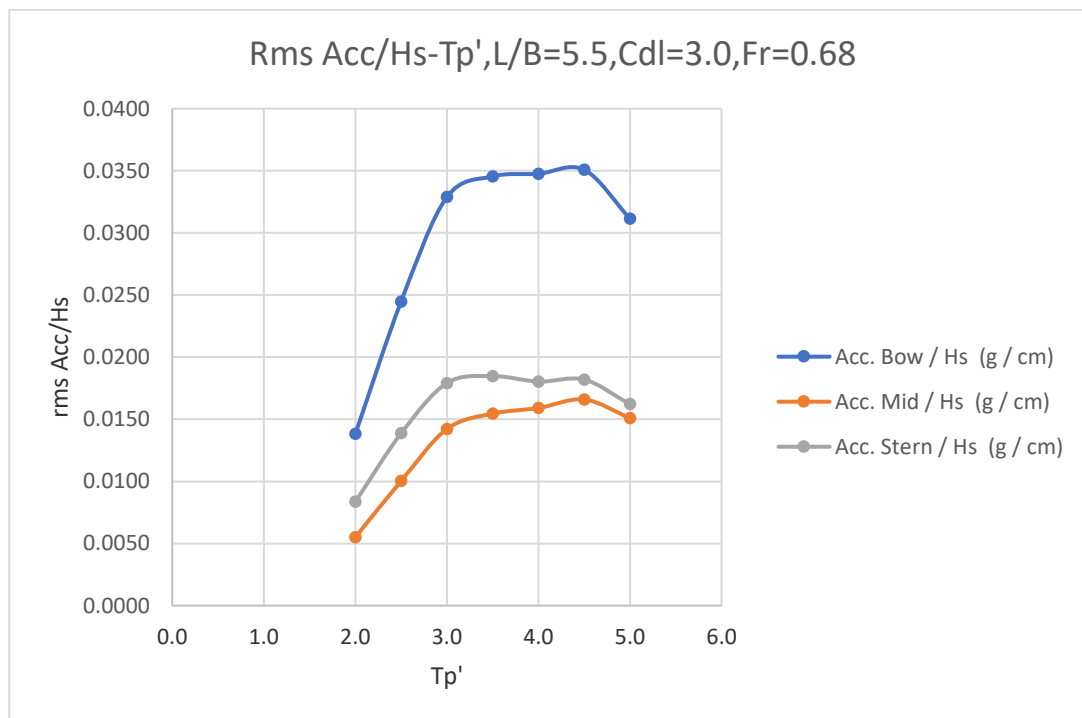
Για το μοντέλο **163/01**, **Cdl=3.00**, **Tr'=4.5**, **Fr=0.34** έχουμε τον αντίστοιχο πίνακα:

Πίνακας 5.38. Πίνακας συντελεστών RMS τιμών των αποκρίσεων

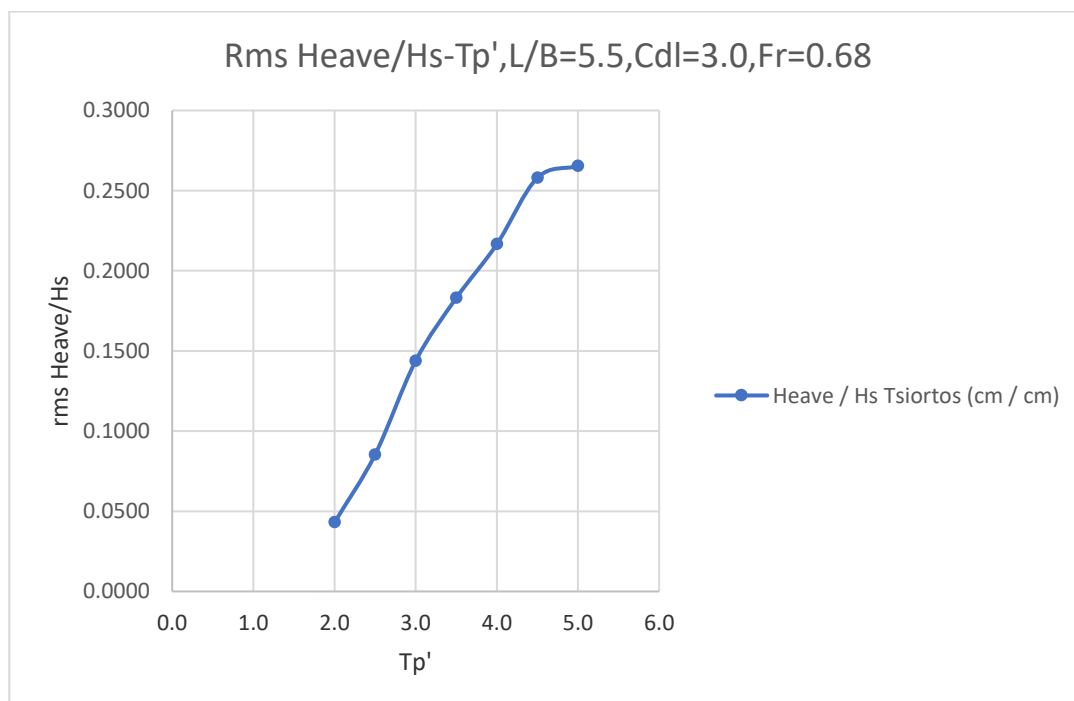
			RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	RMS/Hs	
Tr'	Hs model	Wave tank	Acc 1 / Hs	Acc 2 / Hs	Acc 3 / Hs	Heave / Hs	Pitch / Hs	Added Res / Hs ²
-	cm	cm	g/cm	g/cm	g/cm	cm/cm	deg/cm	kp/cm ²
2	8	1.9041	0.0175	0.0049	0.0083	0.0480	0.0643	0.0021
2.5	9	2.2614	0.0279	0.0073	0.0121	0.0933	0.1257	0.0028
3	10	2.5750	0.0319	0.0090	0.0141	0.1393	0.1709	0.0031
3.5	11	2.6693	0.0305	0.0090	0.0137	0.1647	0.1831	0.0024
4	12	2.9073	0.0269	0.0082	0.0124	0.1838	0.1842	0.0020
4.5	18	3.5237	0.0237	0.0077	0.0118	0.2162	0.1874	0.0018
5	16	4.0915	0.0210	0.0070	0.0100	0.2152	0.1661	0.0012

Για το μοντέλο **L/B=5.5(small) 097/94** έχουμε:

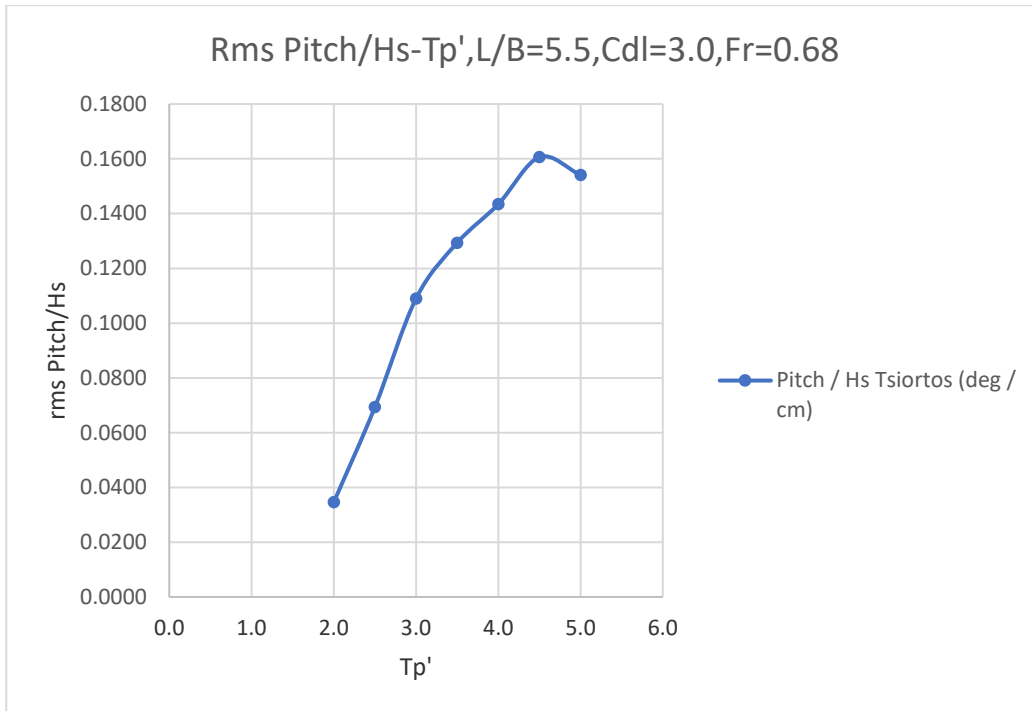
Διάγραμμα 5.39. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στις τρεις θέσεις(πλώρη, κέντρο βάρους, πρύμνη) επί του μοντέλου διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' .



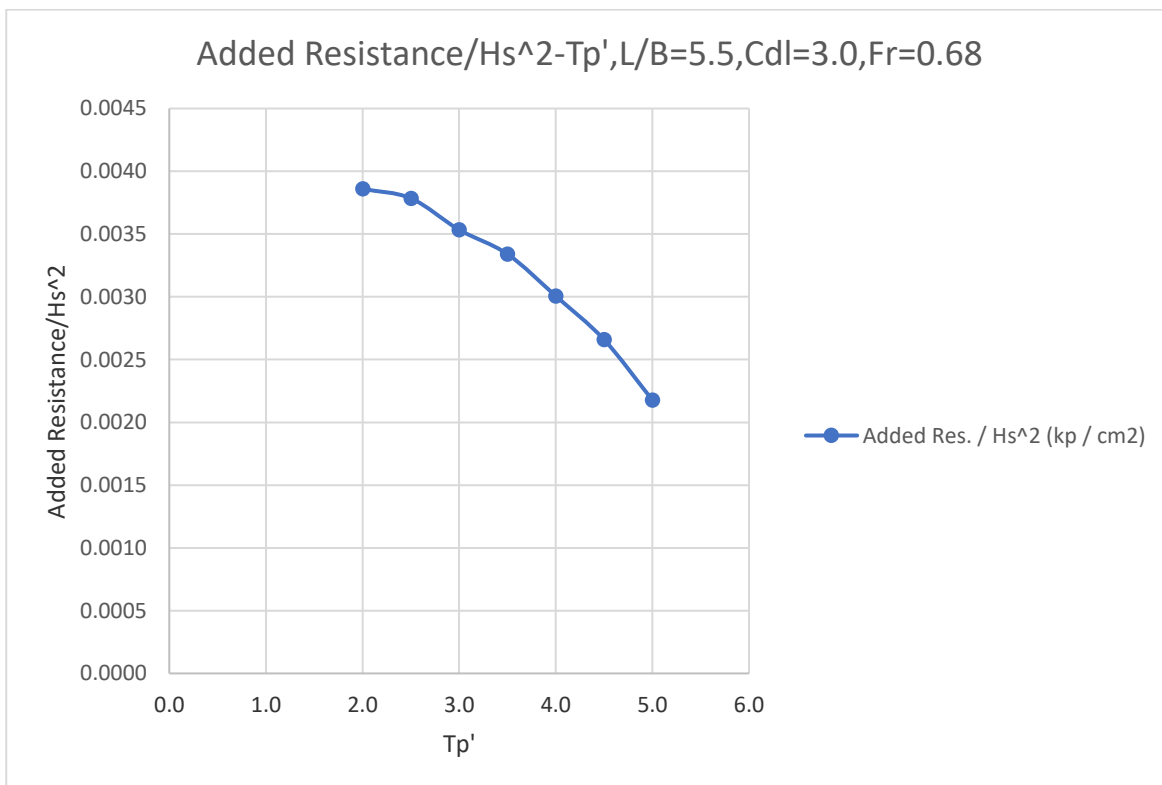
Διάγραμμα 5.40. RMS τιμές της κατακόρυφης κίνησης-Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



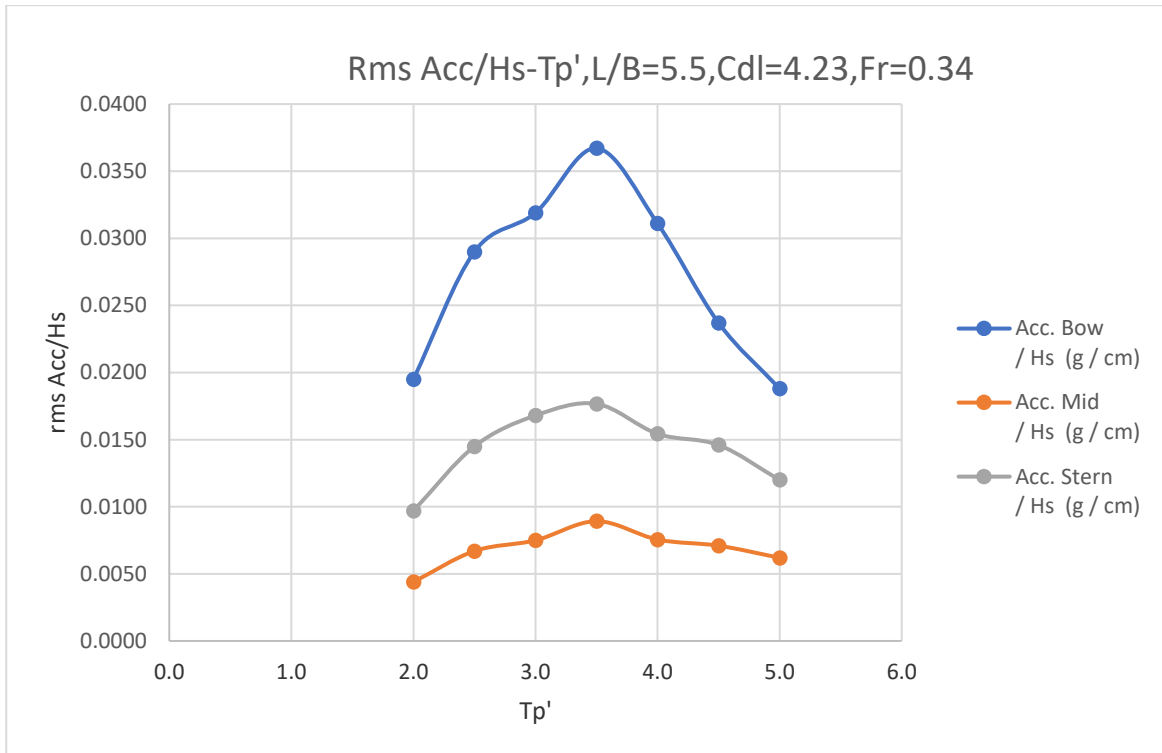
Διάγραμμα 5.41. RMS τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(\text{deg/cm})$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



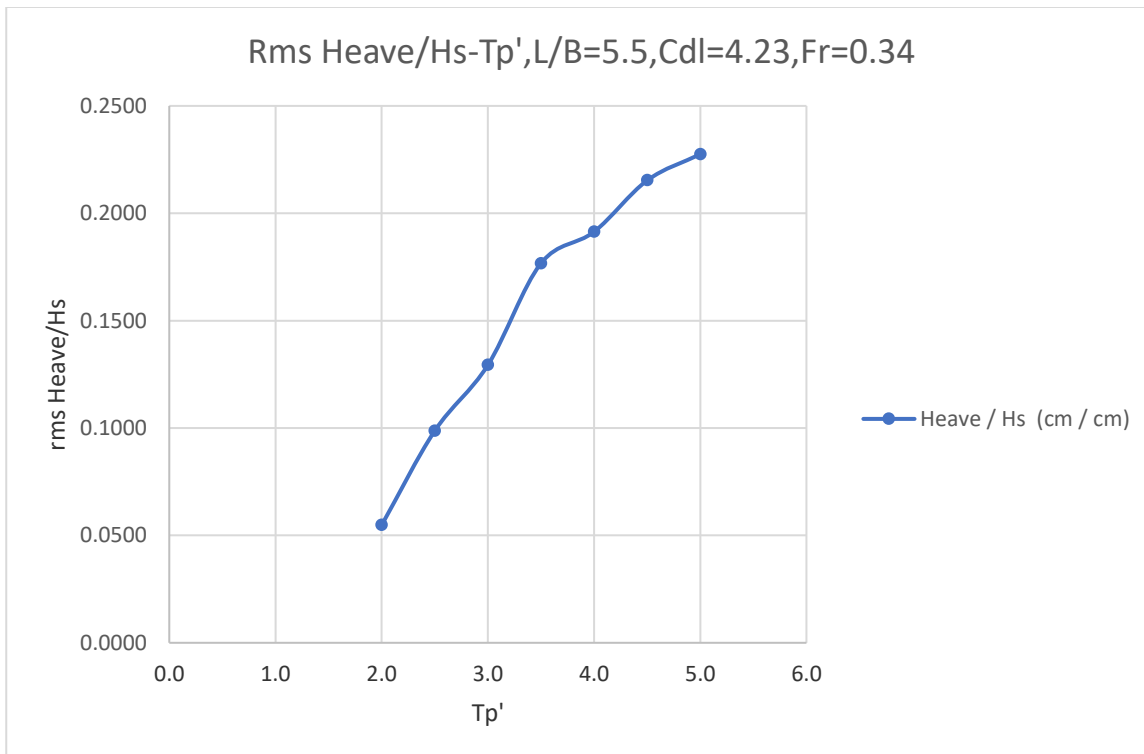
Διάγραμμα 5.42. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το τετράγωνο του σημαντικού ύψους κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



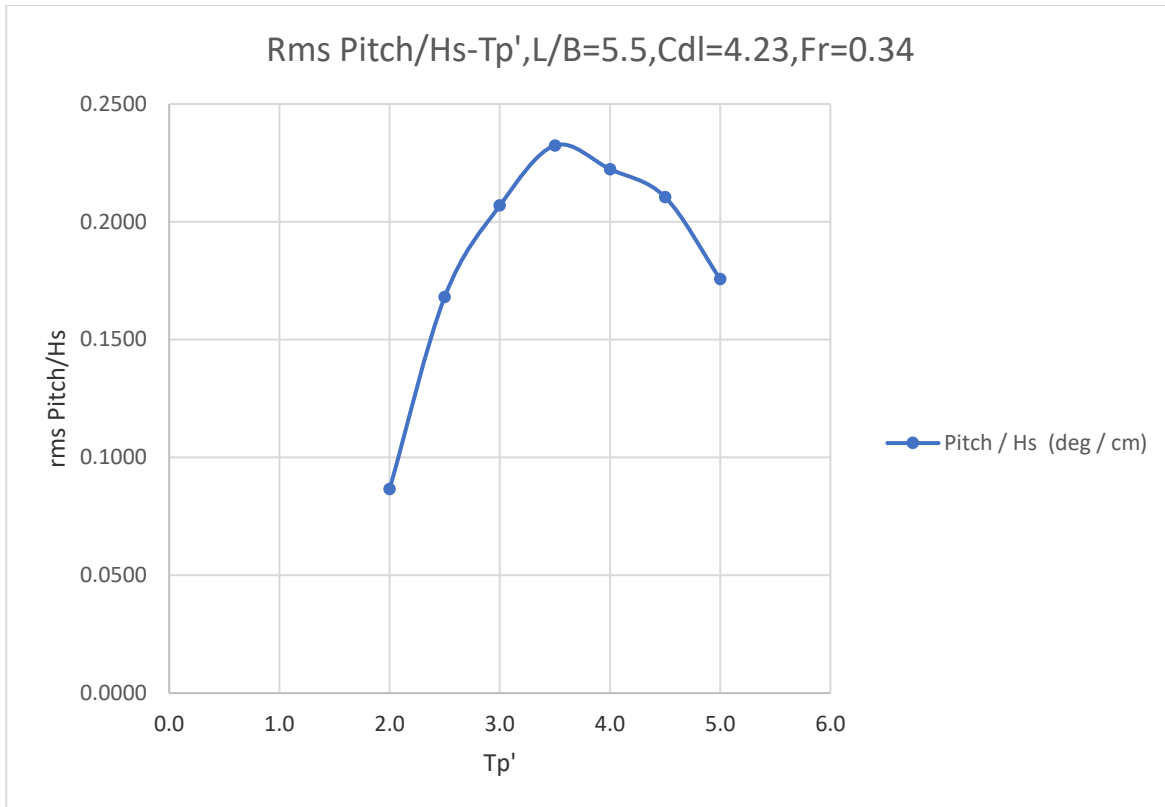
Διάγραμμα 5.43. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στις τρεις θέσεις(πλώρη, κέντρο βάρους, πρύμνη) επί του μοντέλου διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



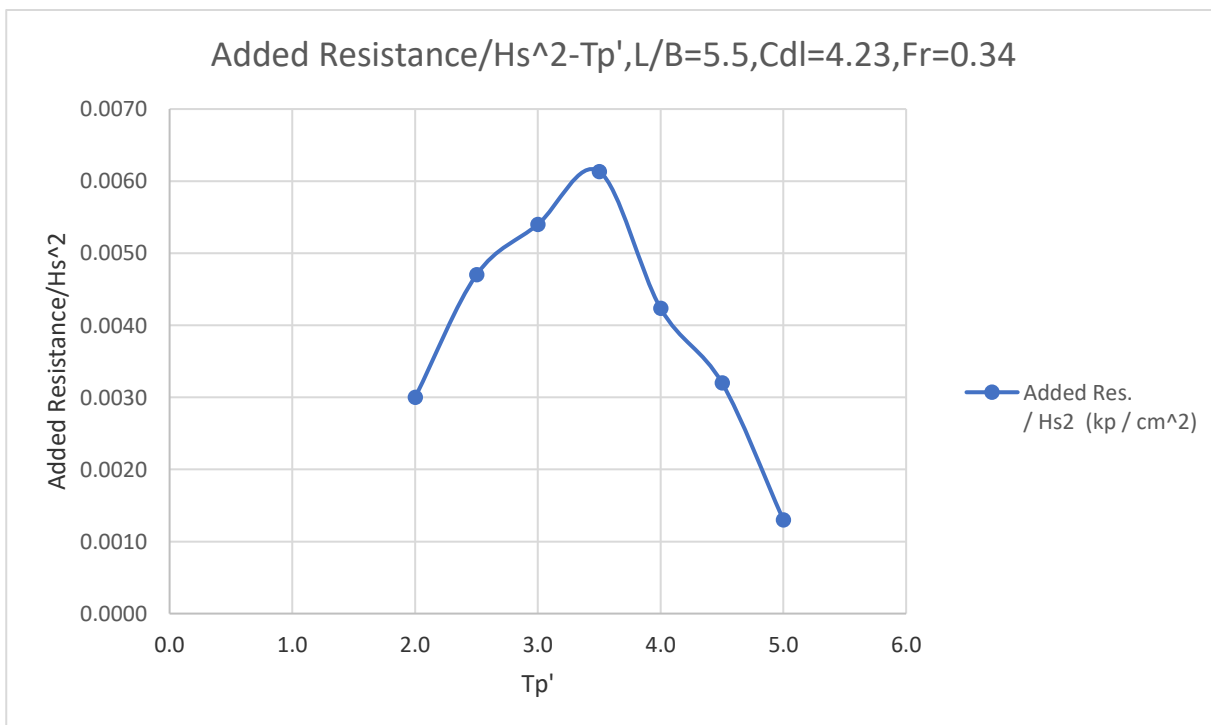
Διάγραμμα 5.44. RMS τιμές της κατακόρυφης κίνησης-Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



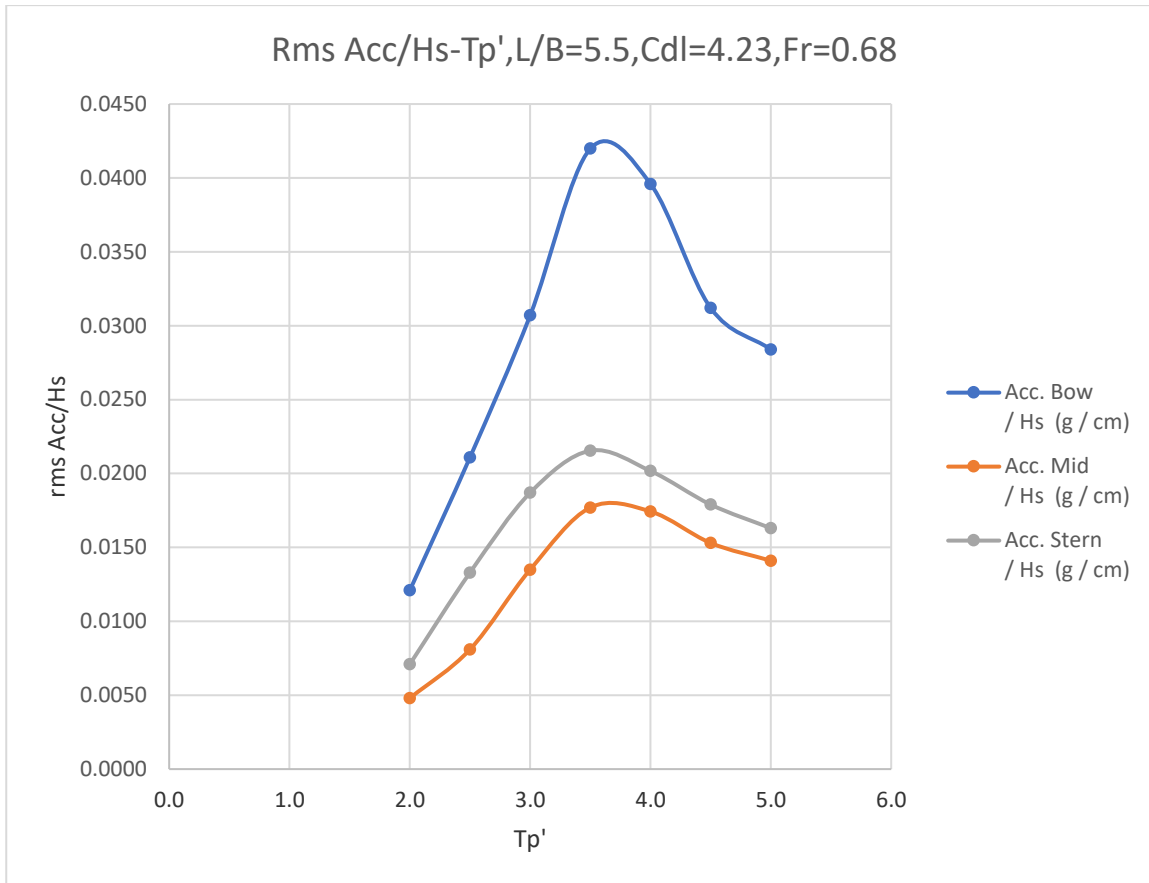
Διάγραμμα 5.45. RMS τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(\text{deg/cm})$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



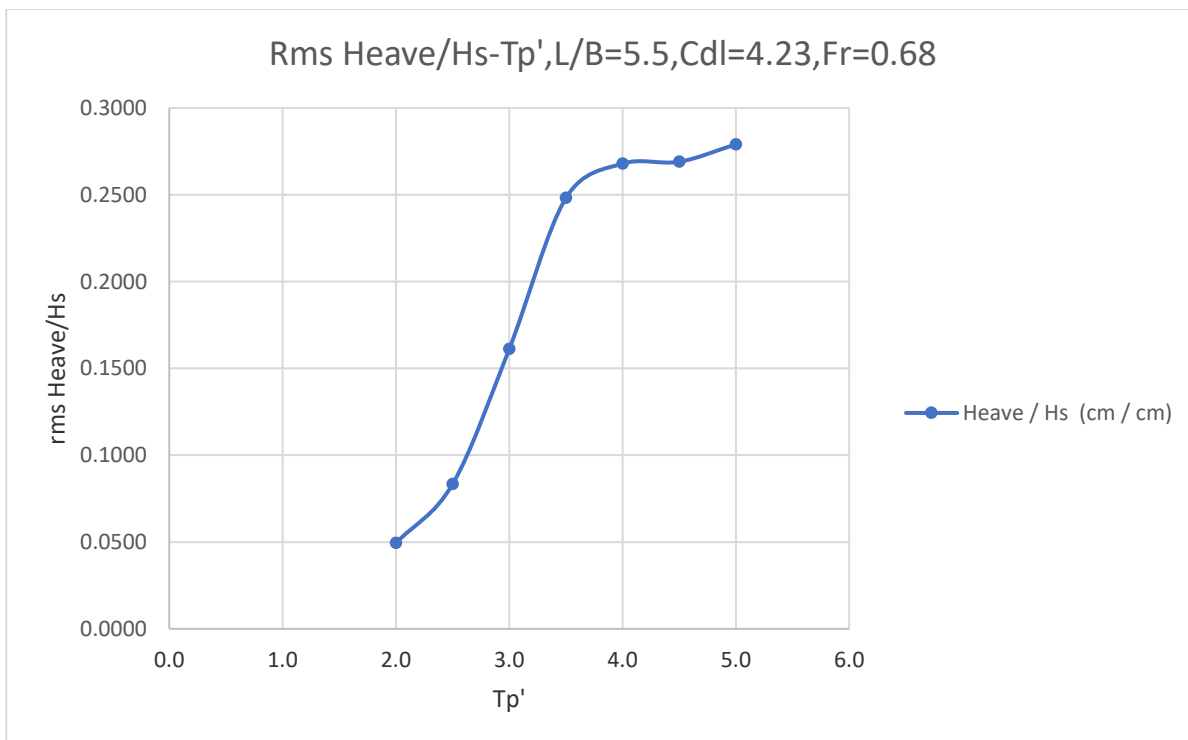
Διάγραμμα 5.46. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το τετράγωνο του σημαντικού ύψους κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



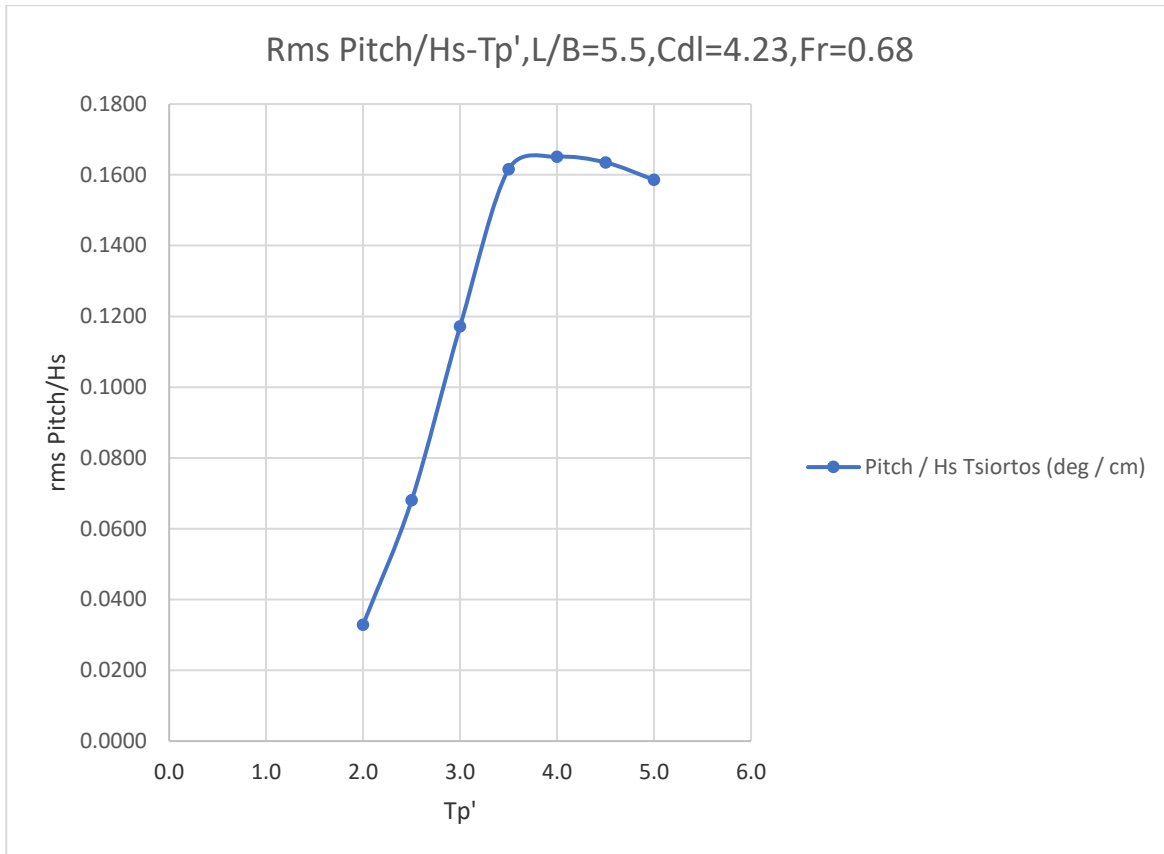
Διάγραμμα 5.47. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στις τρεις θέσεις(πλώρη, κέντρο βάρους, πρύμνη) επί του μοντέλου διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



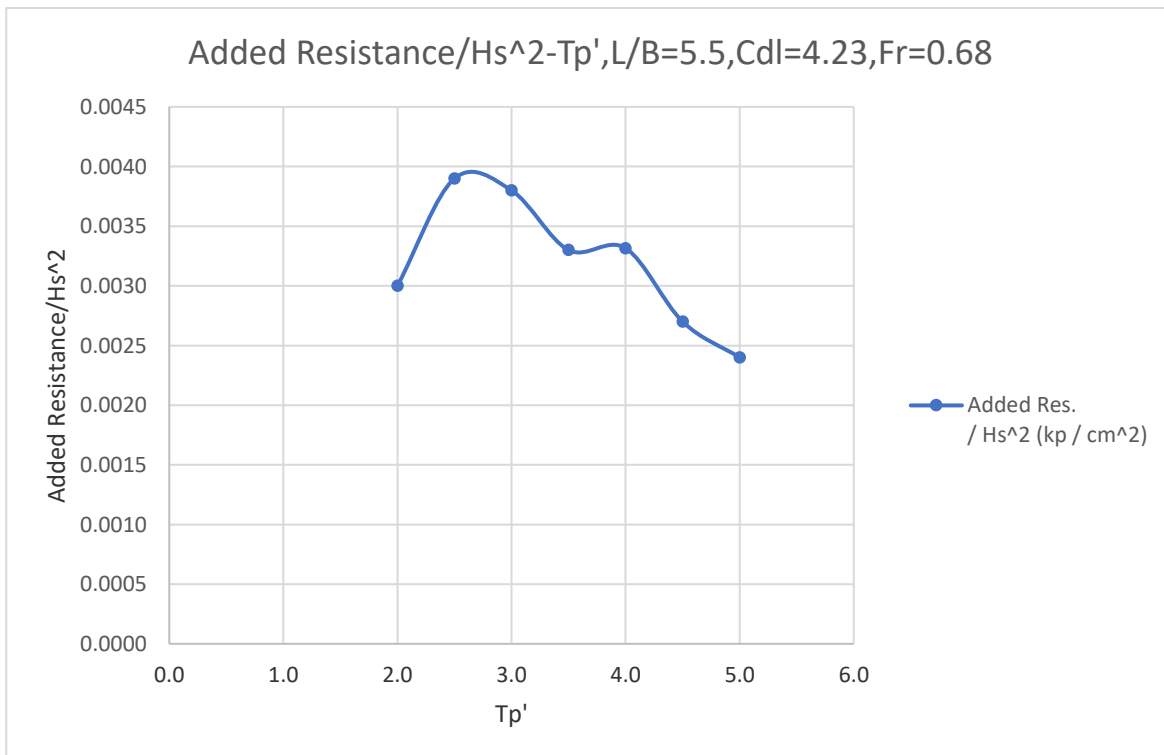
Διάγραμμα 5.48. RMS τιμές της κατακόρυφης κίνησης-Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s (cm/cm)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



Διάγραμμα 5.49. RMS τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(\text{deg/cm})$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'

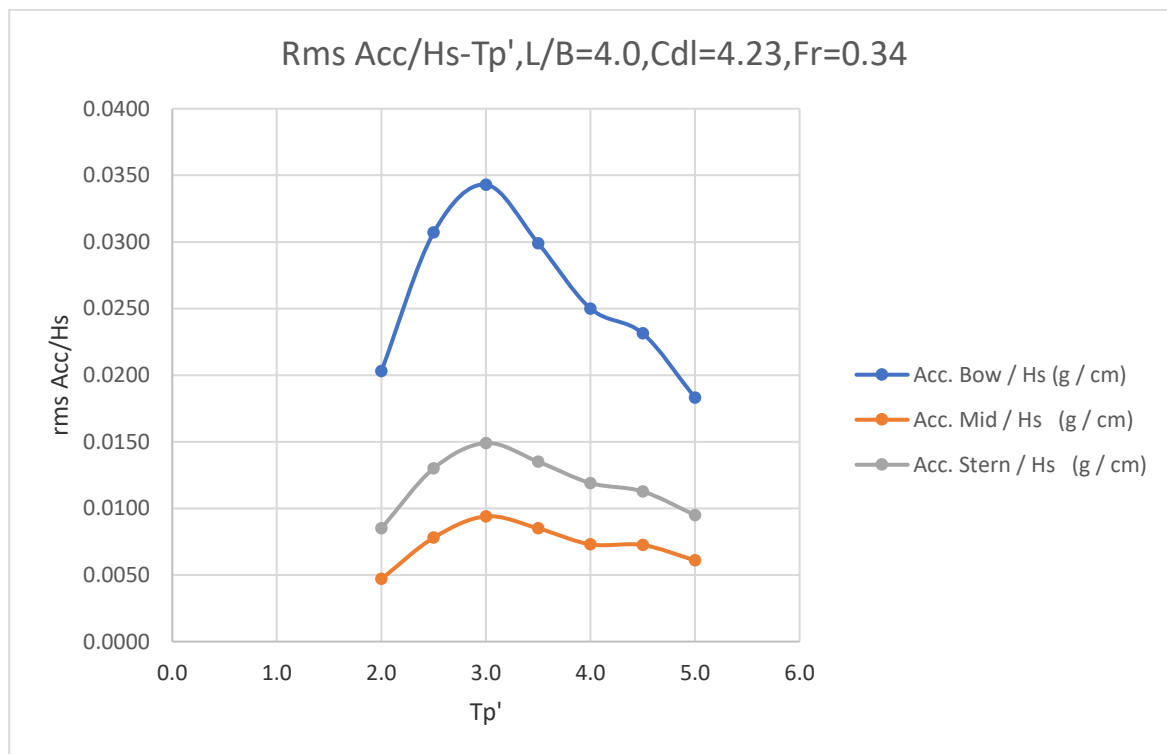


Διάγραμμα 5.50. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το τετράγωνο του σημαντικού ύψους κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'

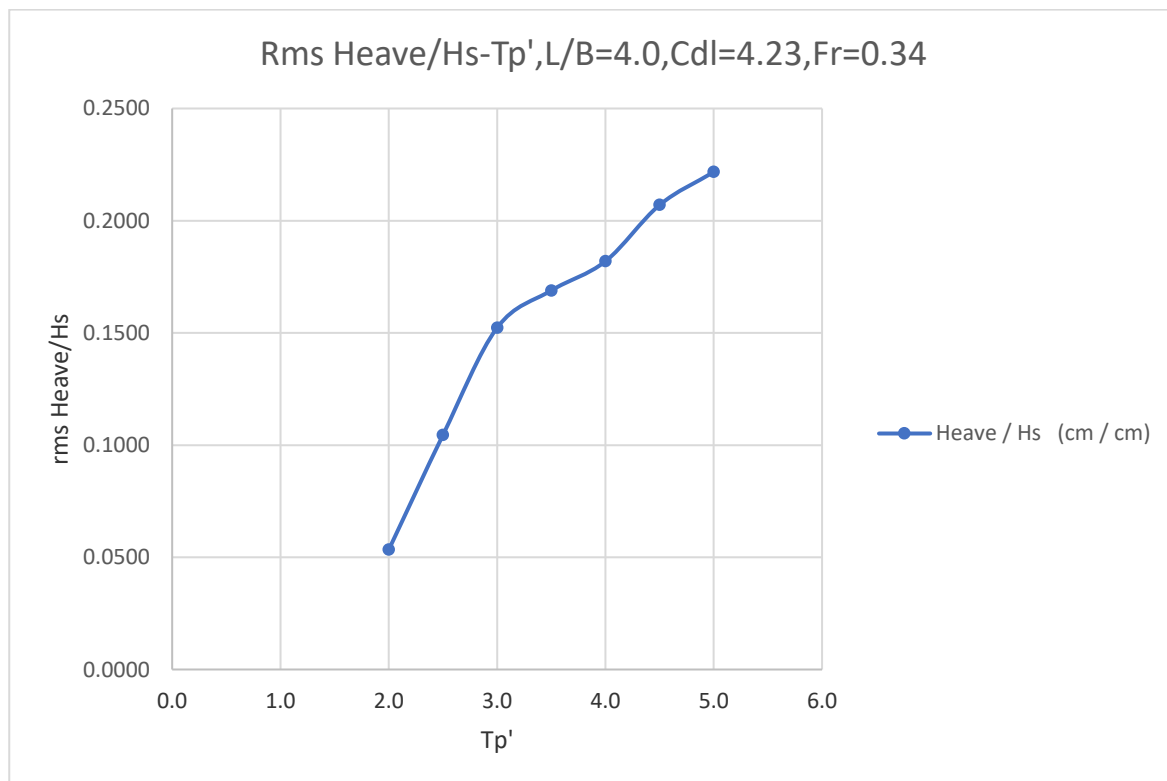


Για το μοντέλο $L/B=4.0$ (small) 113/95 έχουμε:

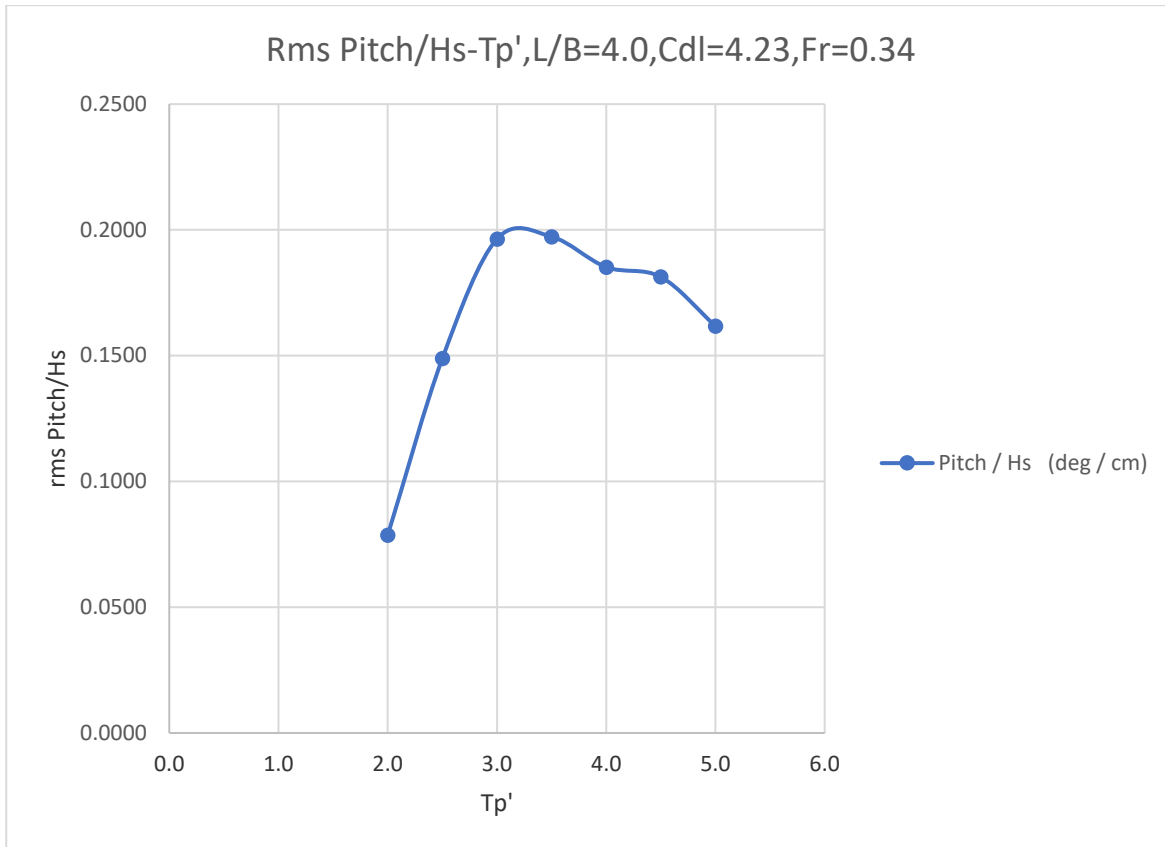
Διάγραμμα 5.51. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στις τρεις θέσεις(πλώρη, κέντρο βάρους, πρύμνη) επί του μοντέλου διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (g/cm), συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' .



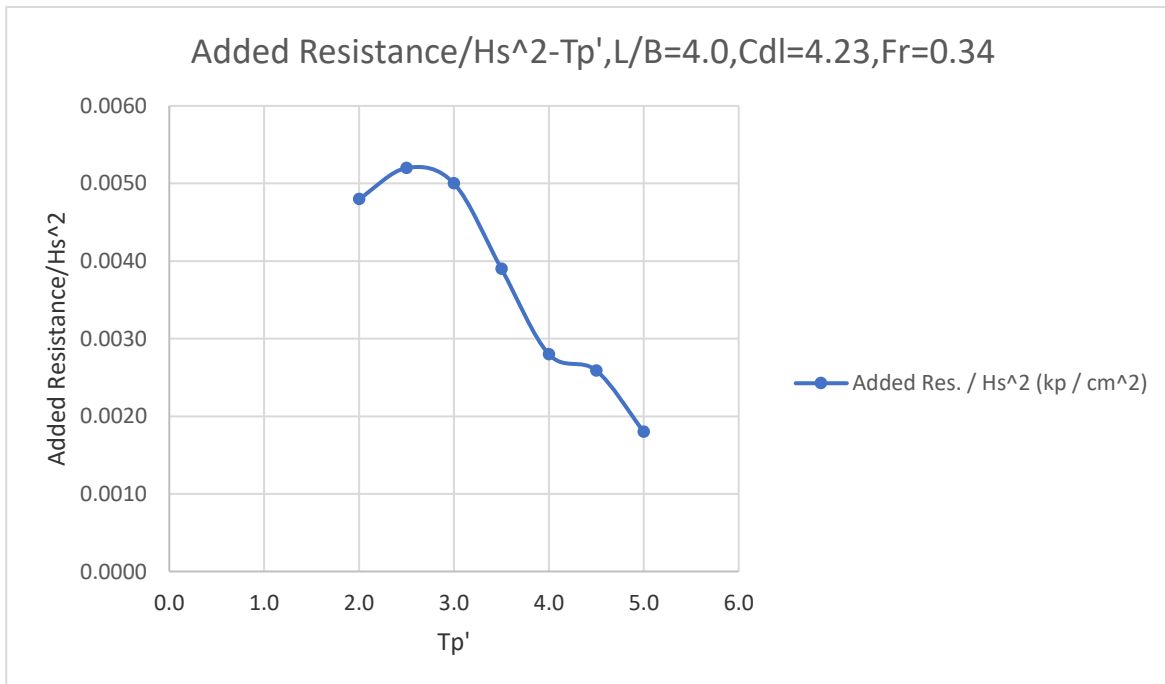
Διάγραμμα 5.52. RMS τιμές της κατακόρυφης κίνησης-Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' .



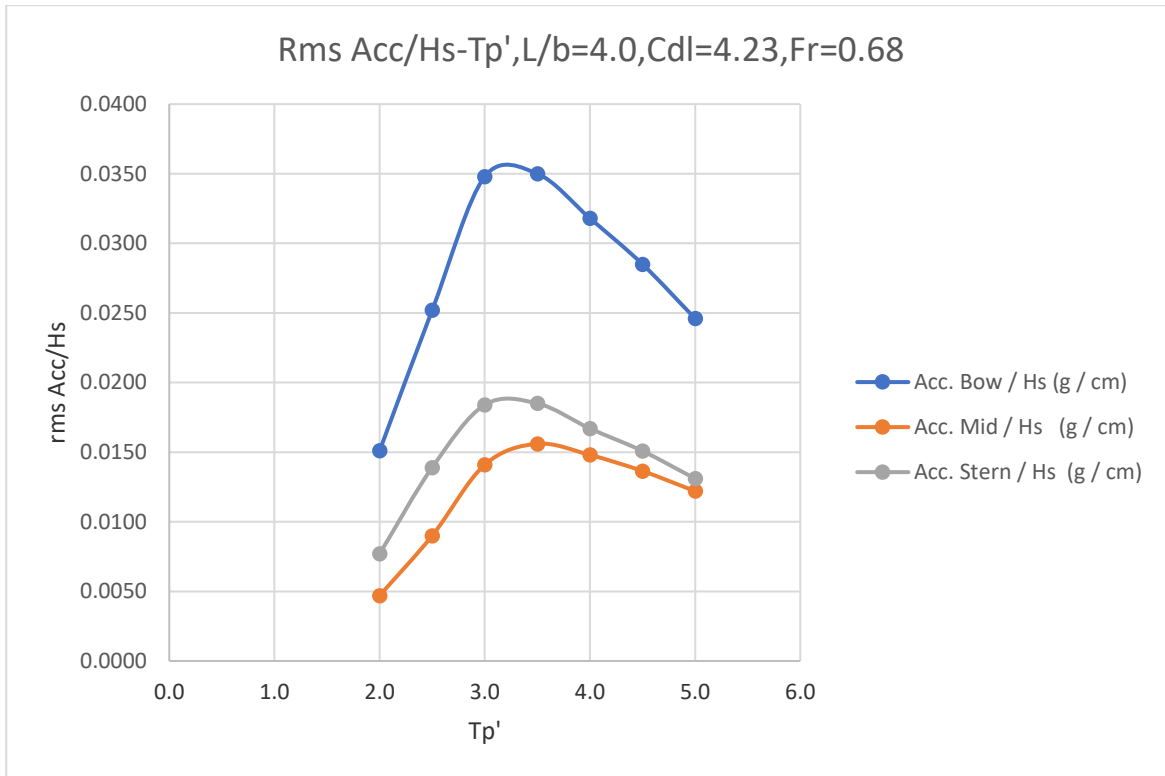
Διάγραμμα 5.53. RMS τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(\text{deg/cm})$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' .



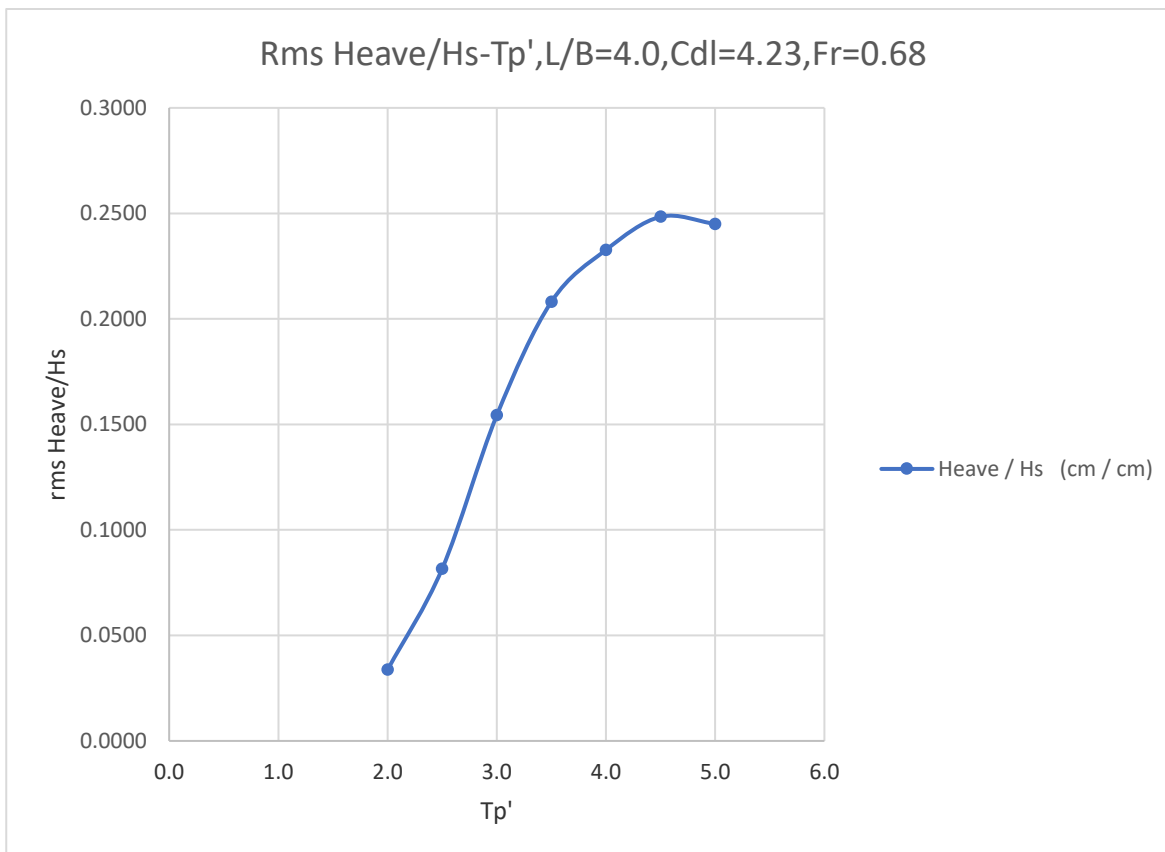
Διάγραμμα 5.54. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το τετράγωνο του σημαντικού ύψους κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p' .



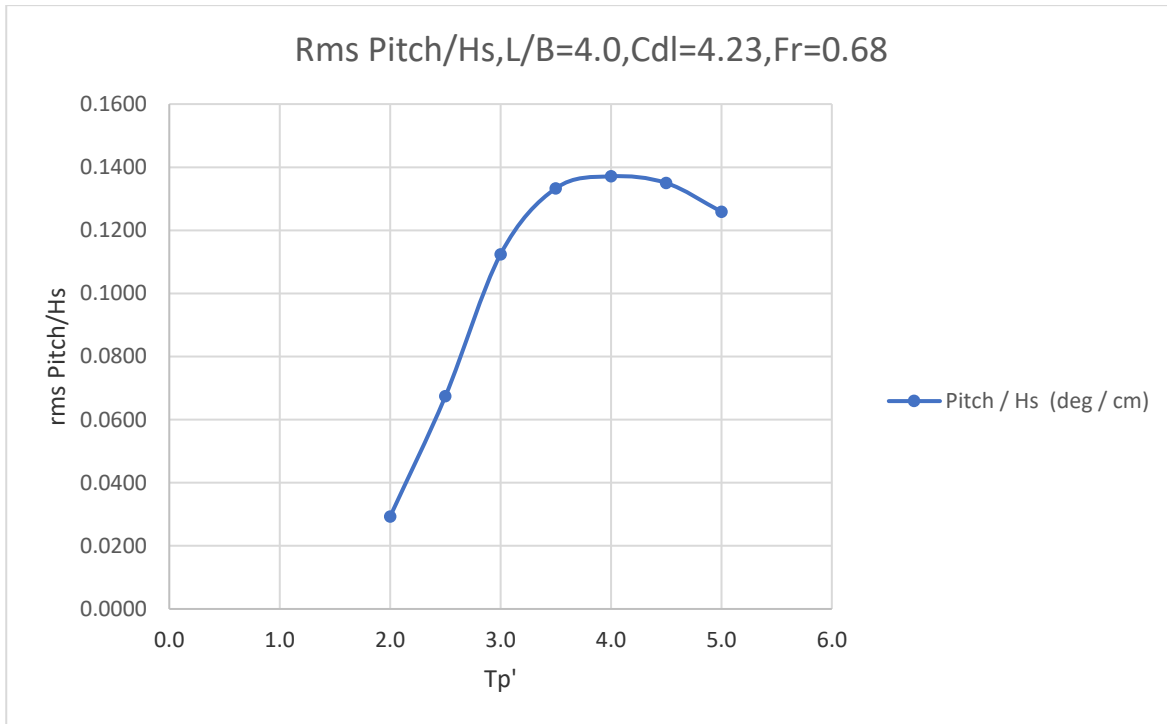
Διάγραμμα 5.55. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στις τρεις θέσεις(πλώρη, κέντρο βάρους, πρύμνη) επί του μοντέλου διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



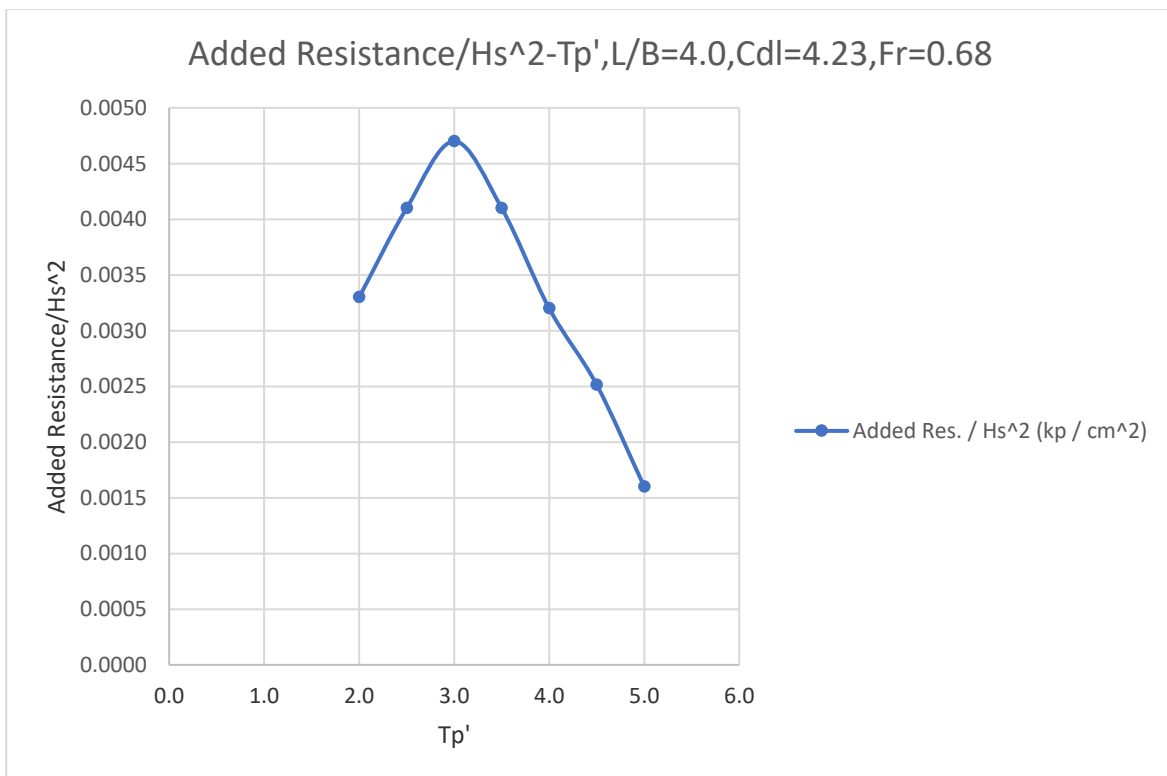
Διάγραμμα 5.56. RMS τιμές της κατακόρυφης κίνησης-Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



Διάγραμμα 5.57. RMS τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(\text{deg/cm})$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'

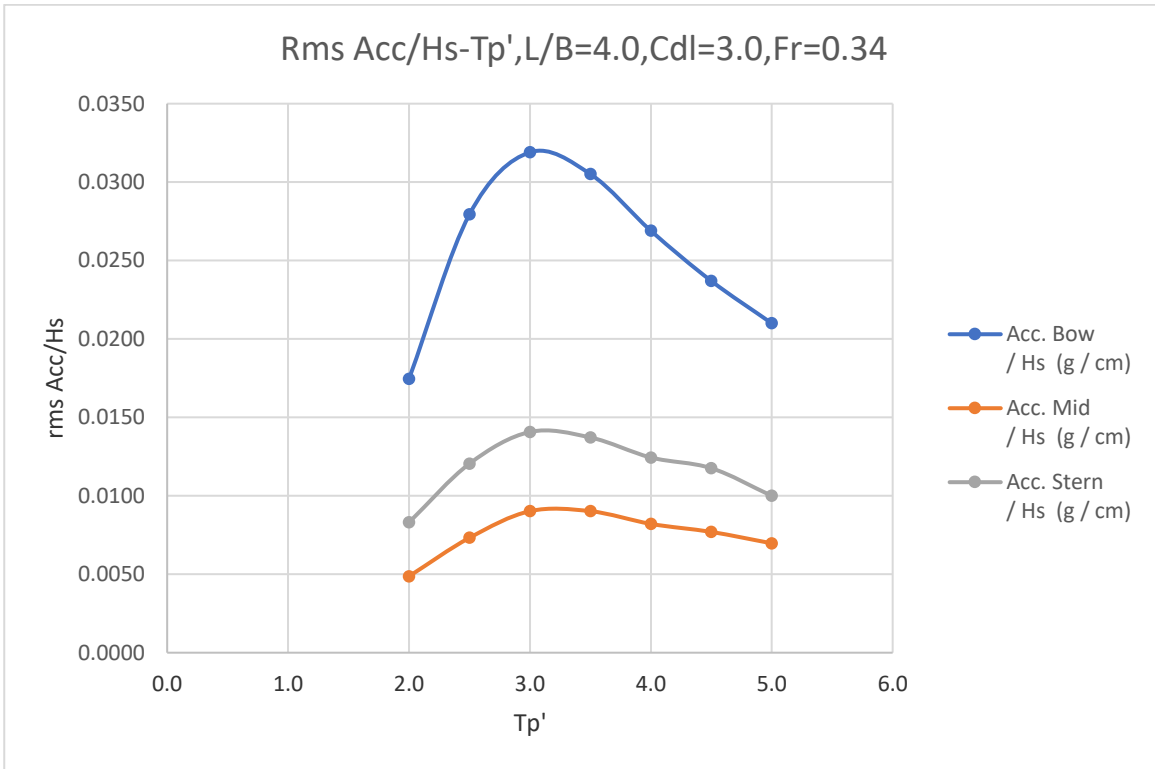


Διάγραμμα 5.58. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το τετράγωνο του σημαντικού ύψους κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'

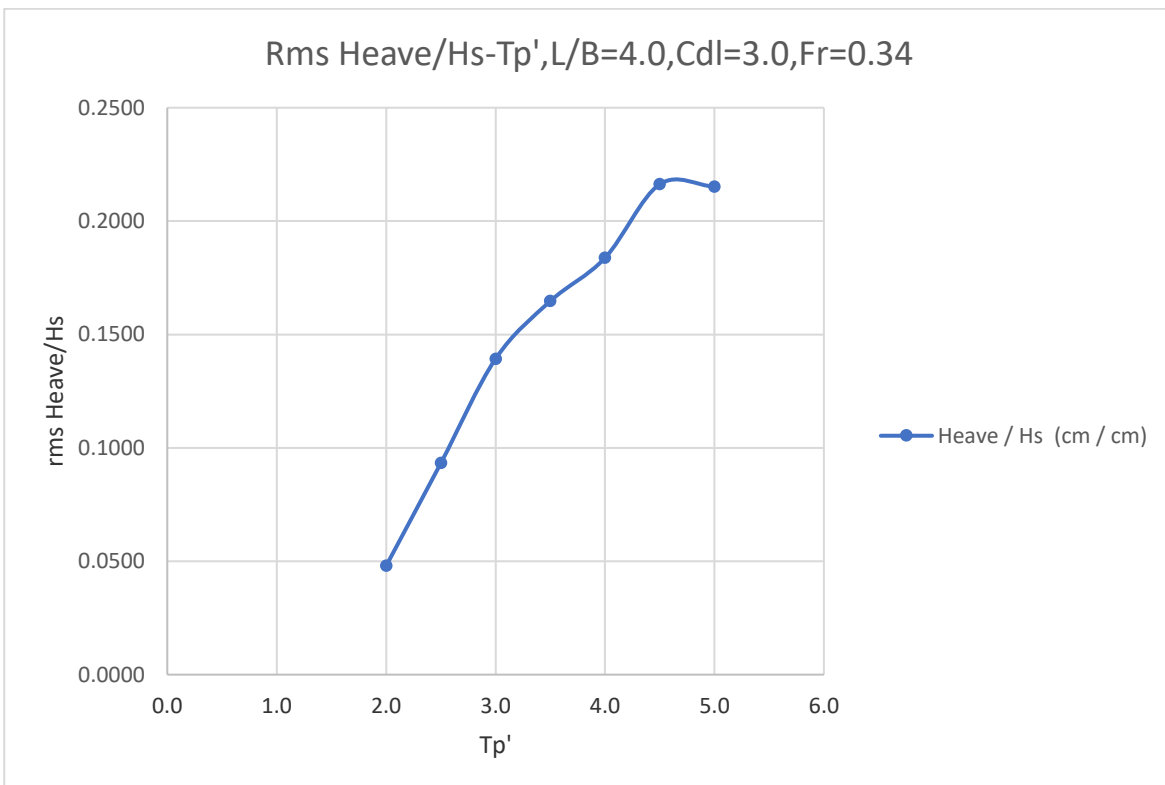


Για το μοντέλο **L/B=4.0(big) 163/01** έχουμε:

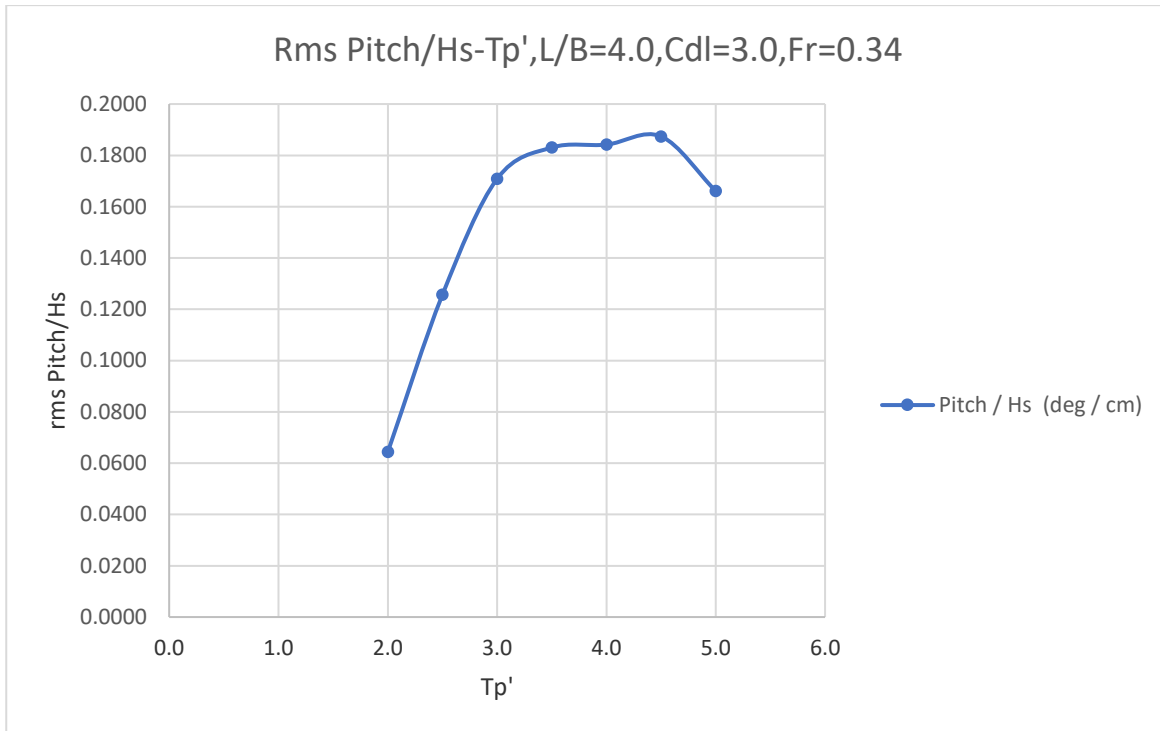
Διάγραμμα 5.59. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στις τρεις θέσεις(πλώρη, κέντρο βάρους, πρύμνη) επί του μοντέλου διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



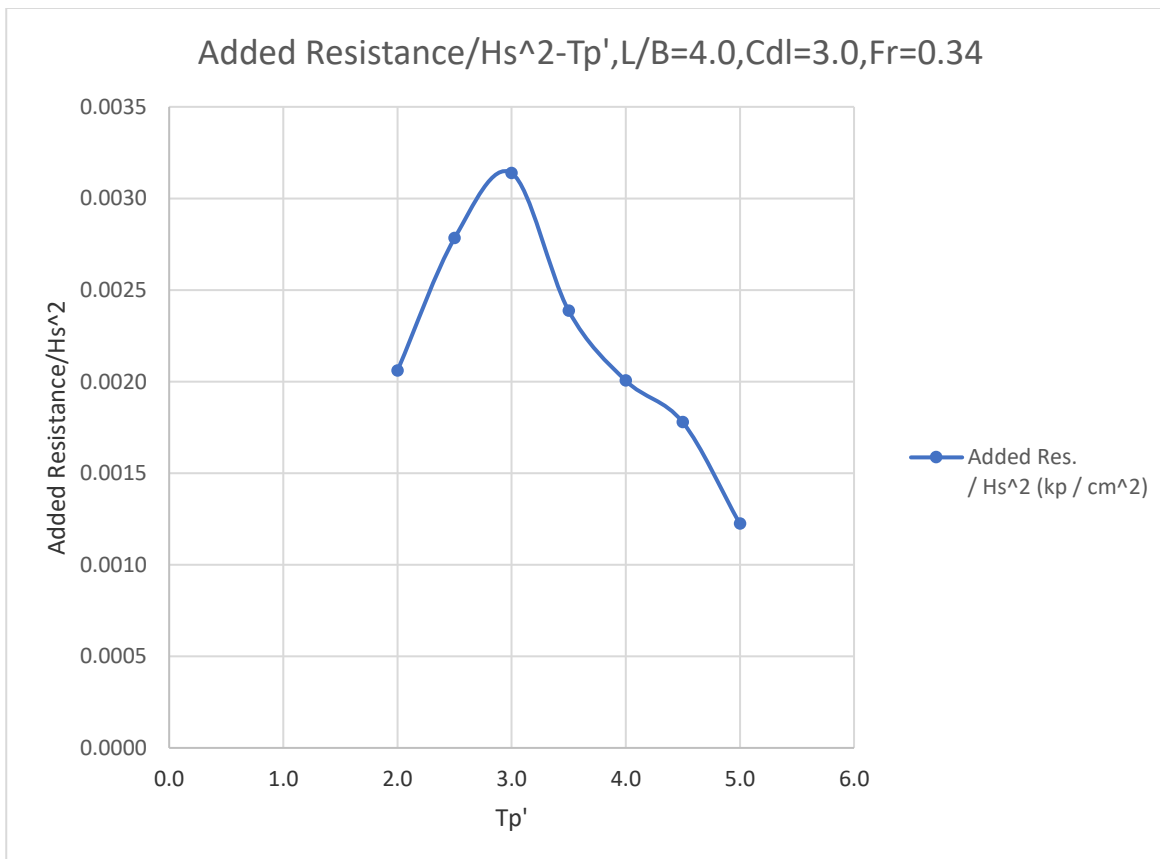
Διάγραμμα 5.60. RMS τιμές της κατακόρυφης κίνησης-Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s (cm/cm)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



Διάγραμμα 5.61. RMS τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(\text{deg/cm})$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



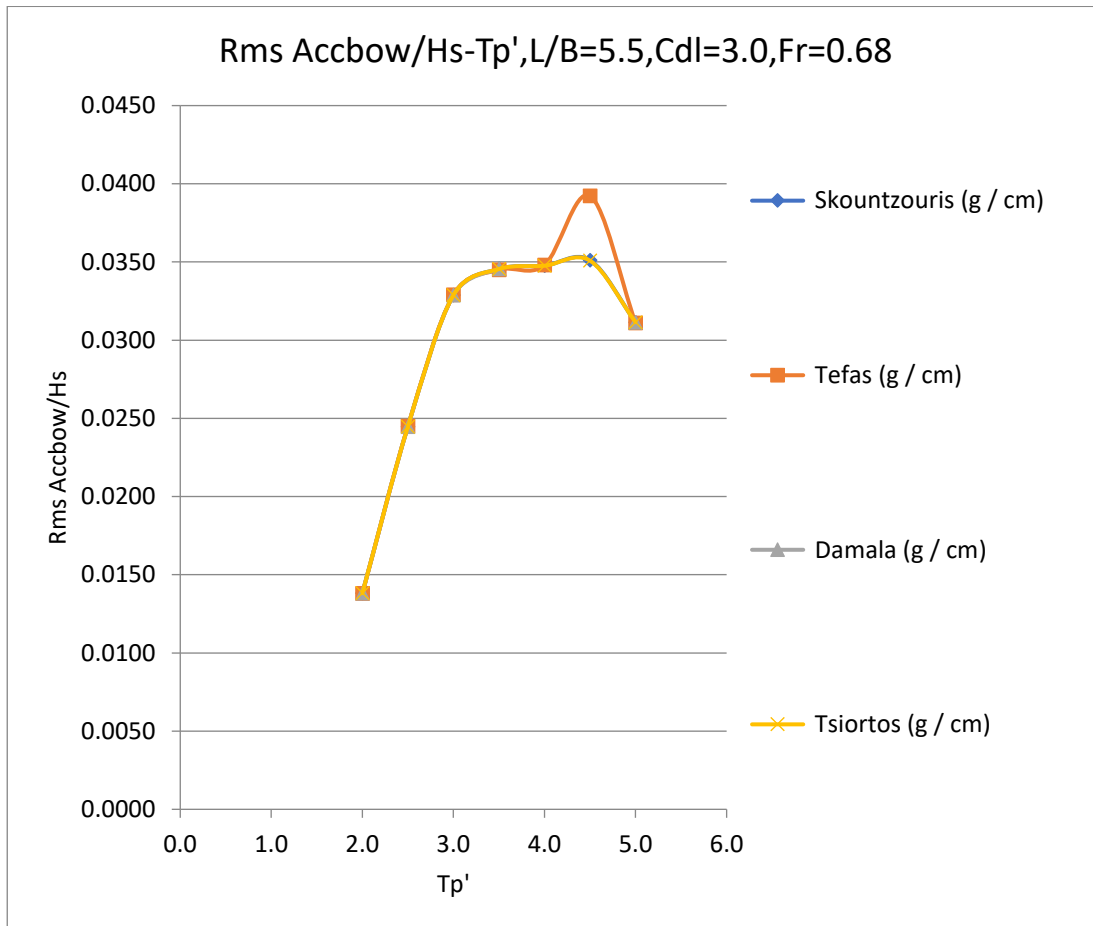
Διάγραμμα 5.62. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το τετράγωνο του σημαντικού ύψους κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



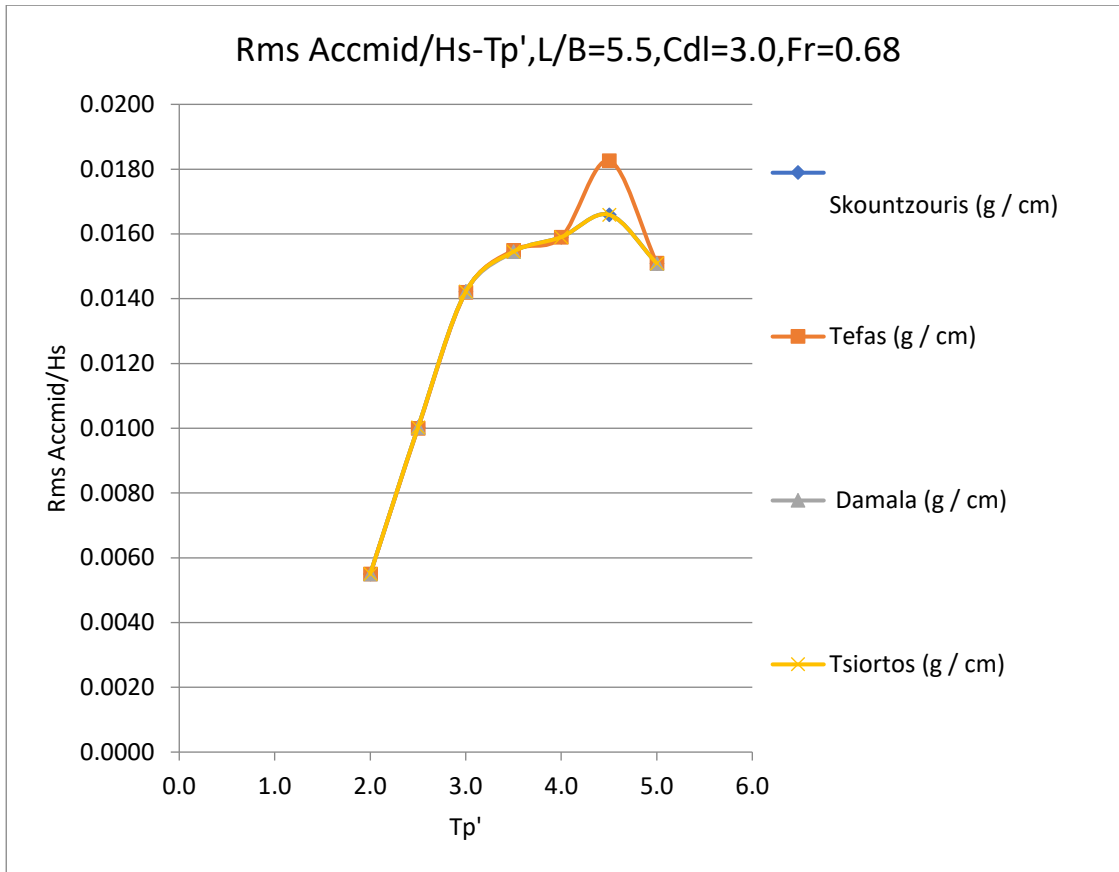
5.2. Σύγκριση Αποτελεσμάτων των RMS Τιμών των Αποκρίσεων

Στα διαγράμματα που ακολουθούν συγκρίνουμε τις RMS τιμές των αποκρίσεων και της πρόσθετης αντίστασης, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής Tr' , για το ίδιο μοντέλο, στην ίδια κατάσταση φόρτωσης και στην ίδια ταχύτητα με τις αντίστοιχες, με σκοπό την τελική επιβεβαίωση και τυχόν διόρθωση αυτών.

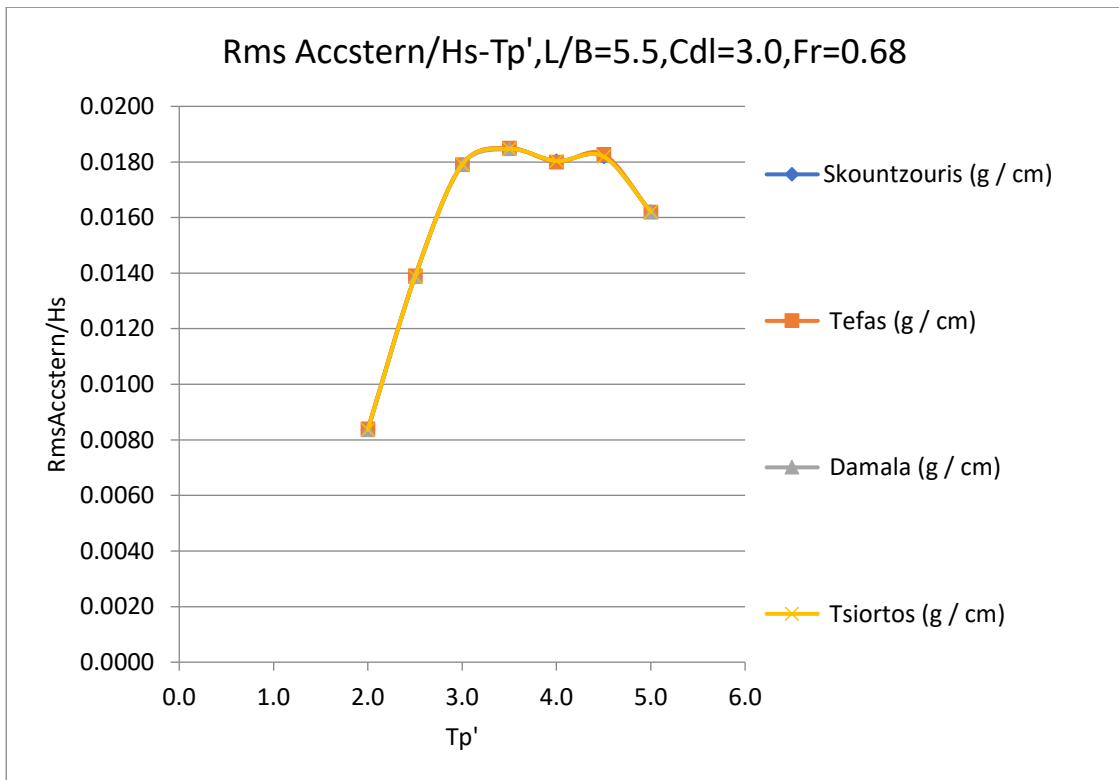
Διάγραμμα 5.63. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλήρη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής Tr'



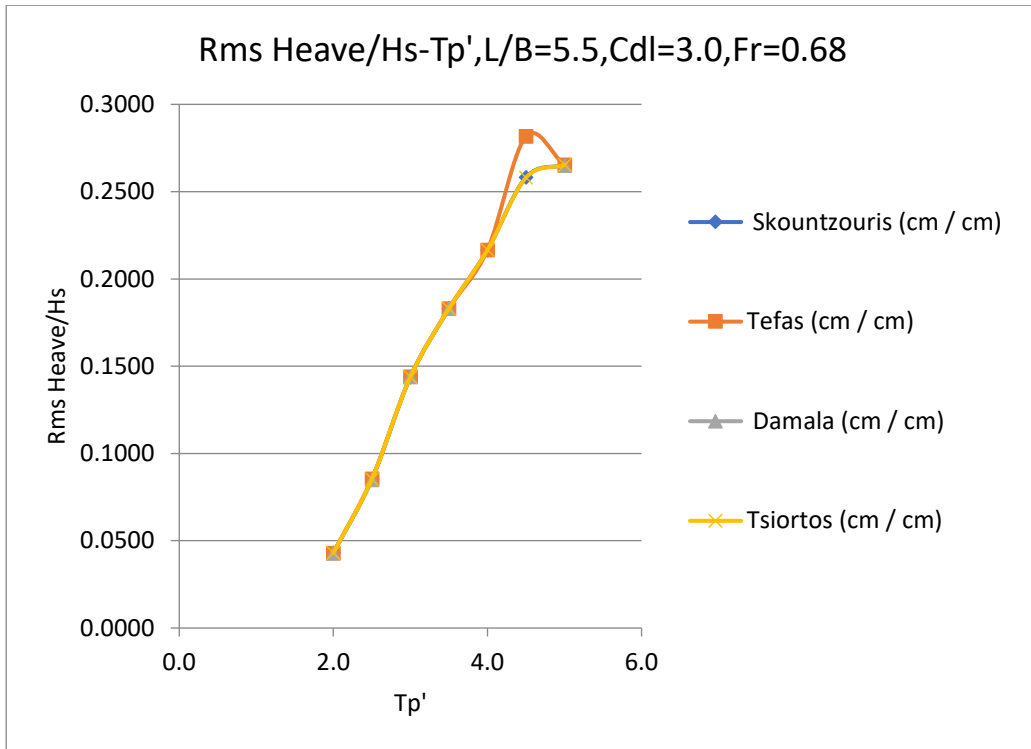
Διάγραμμα 5.64. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



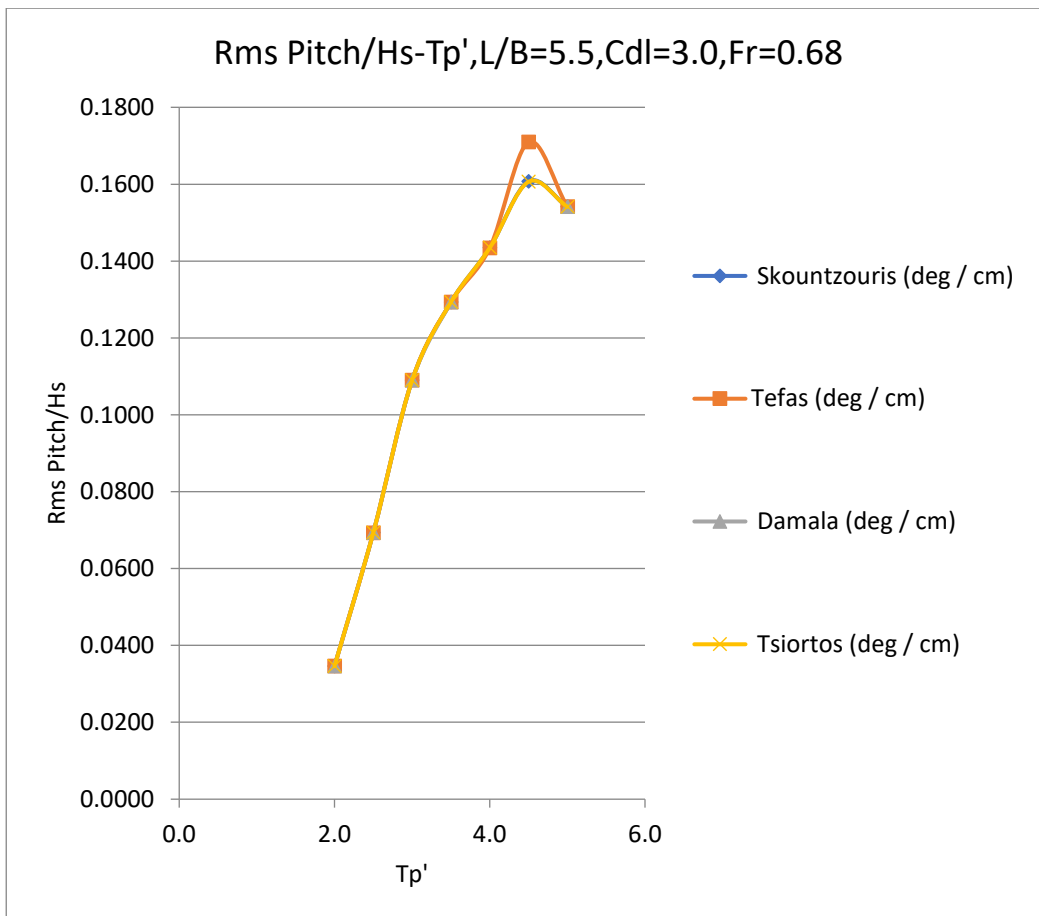
Διάγραμμα 5.65. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



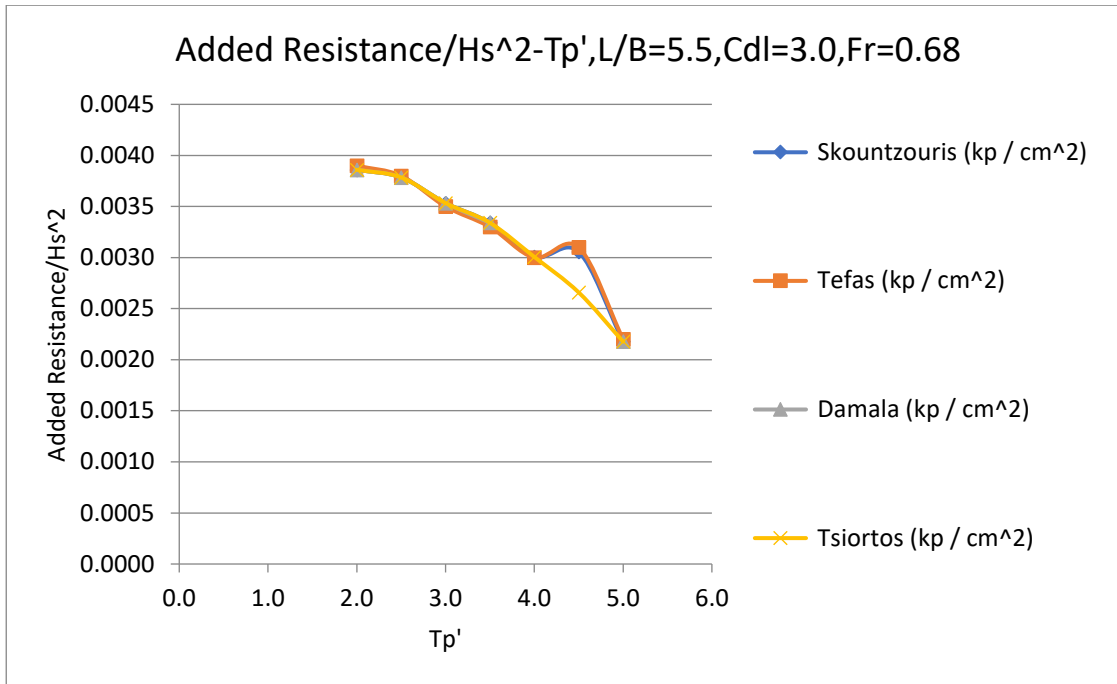
Διάγραμμα 5.66. Rms τιμές Κατακόρυφης κίνησης -Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος(cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



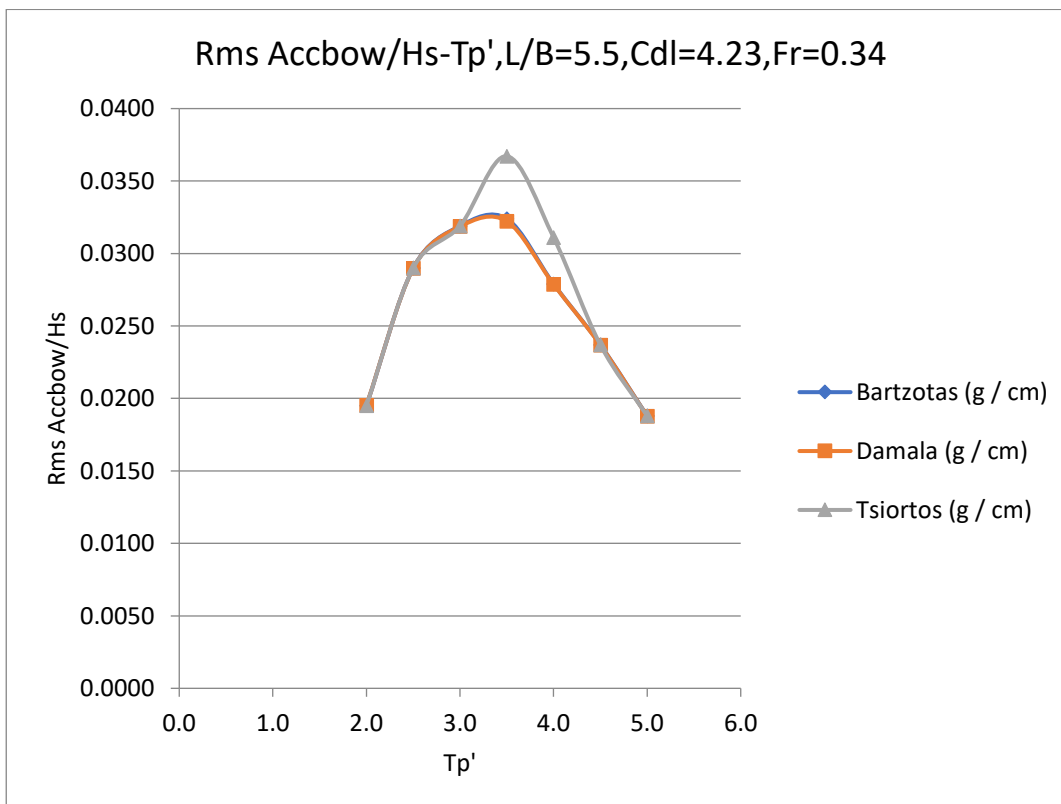
Διάγραμμα 5.67. Rms τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (deg/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



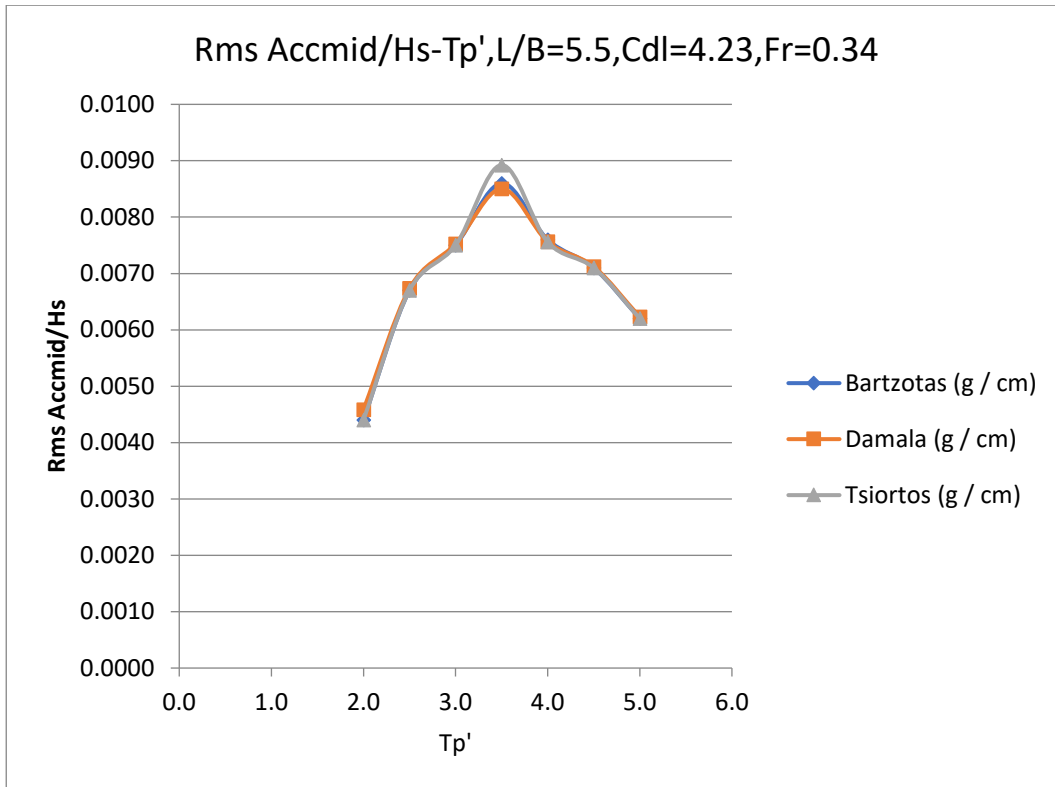
Διάγραμμα 5.68. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(kp/cm^2)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



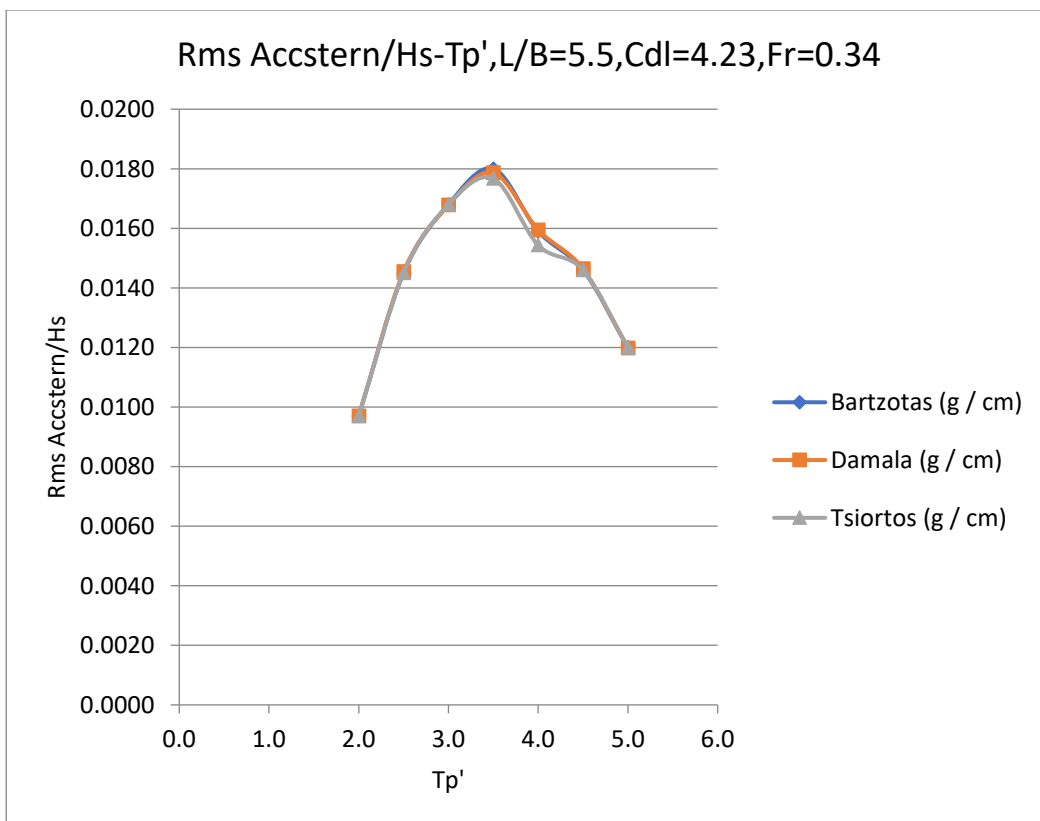
Διάγραμμα 5.69. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



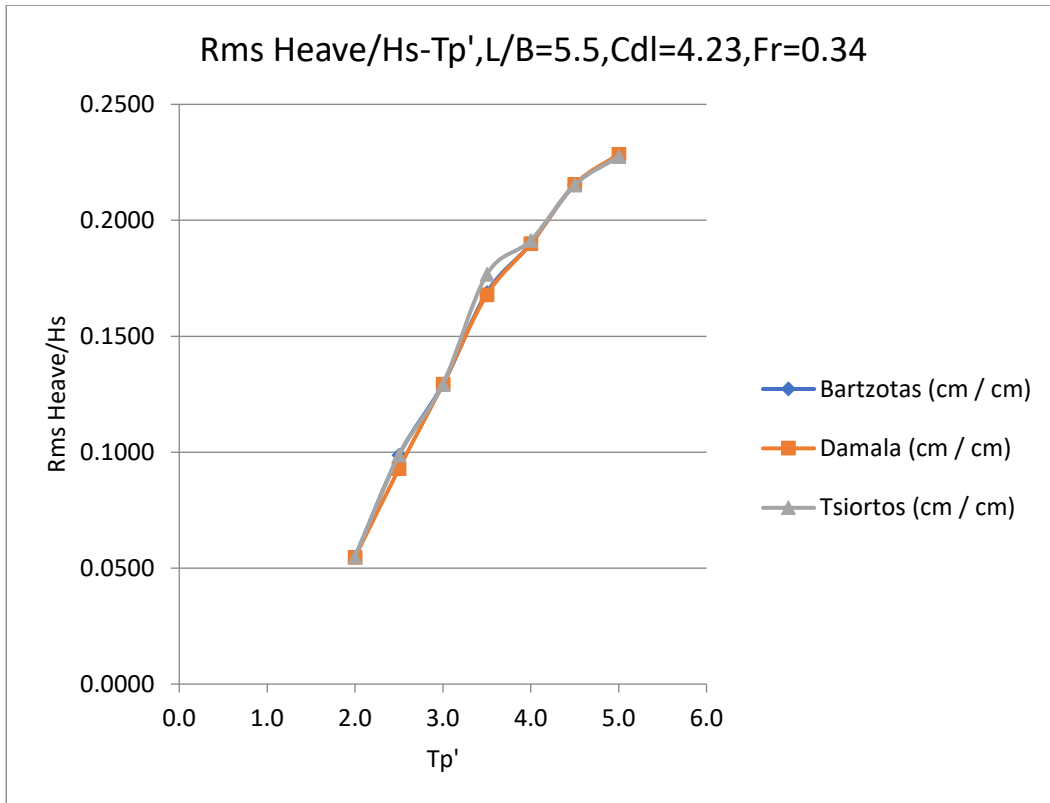
Διάγραμμα 5.70. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



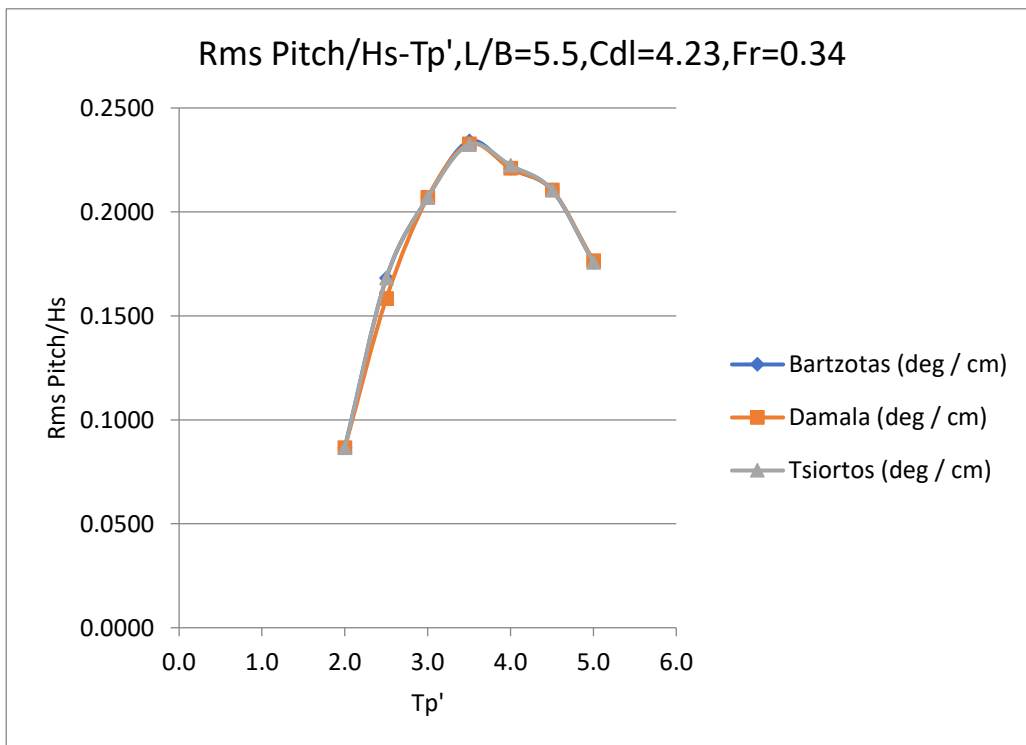
Διάγραμμα 5.71. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



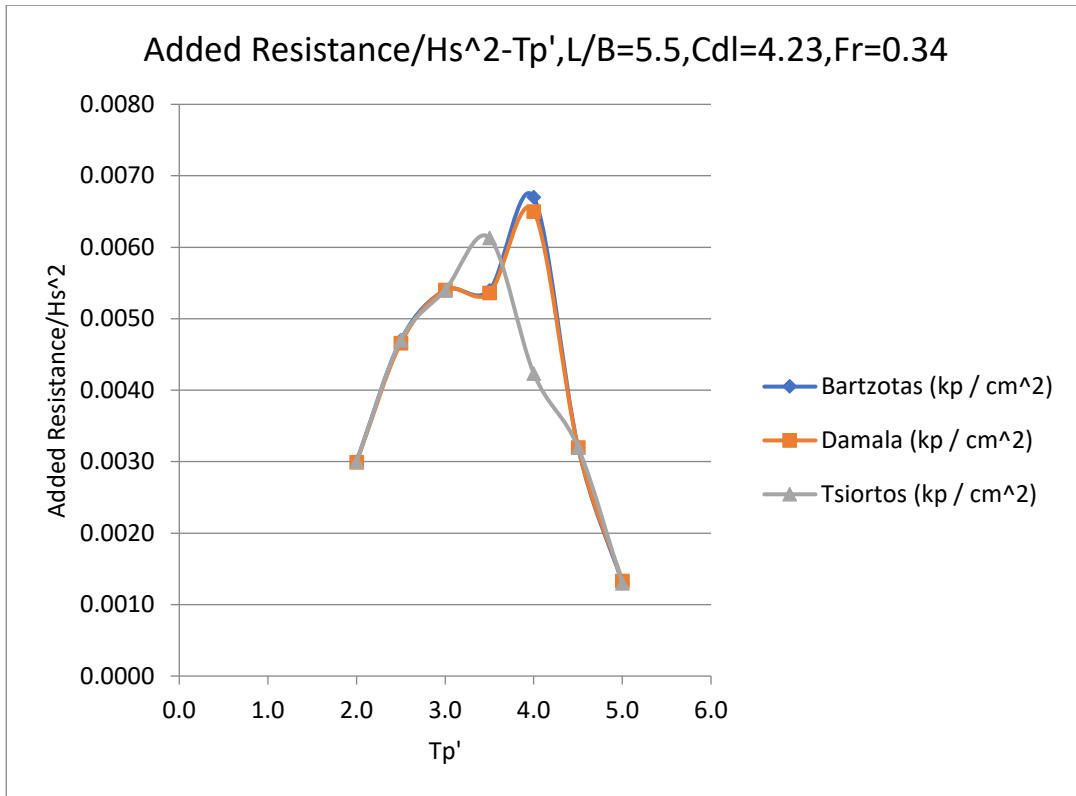
Διάγραμμα 5.72. Rms τιμές Κατακόρυφης κίνησης -Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος(cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



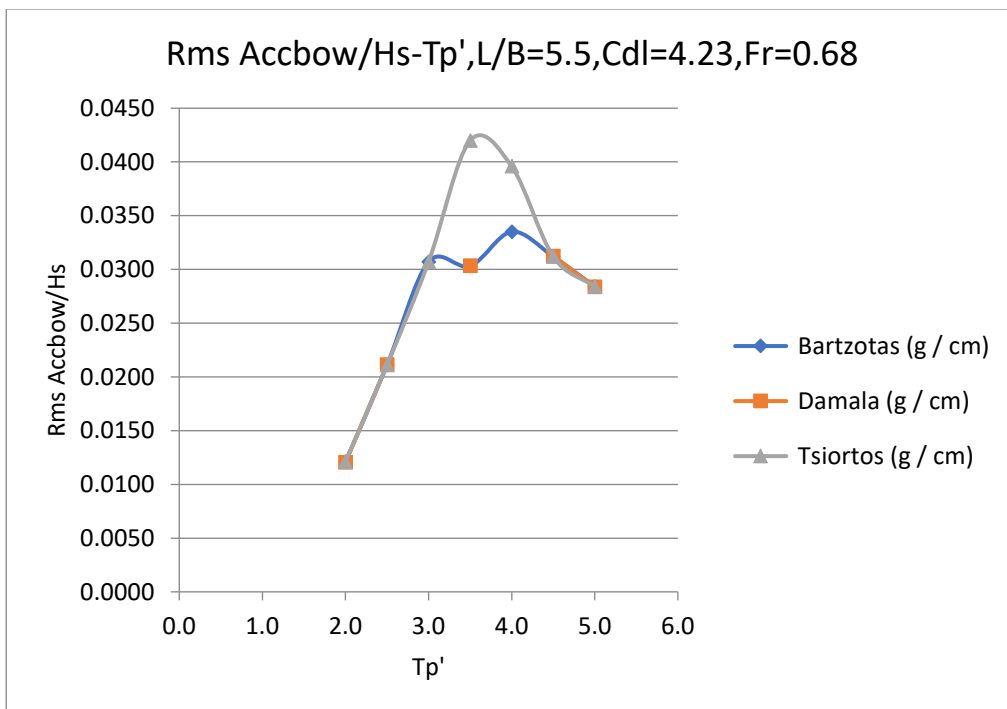
Διάγραμμα 5.73. Rms τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (deg/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



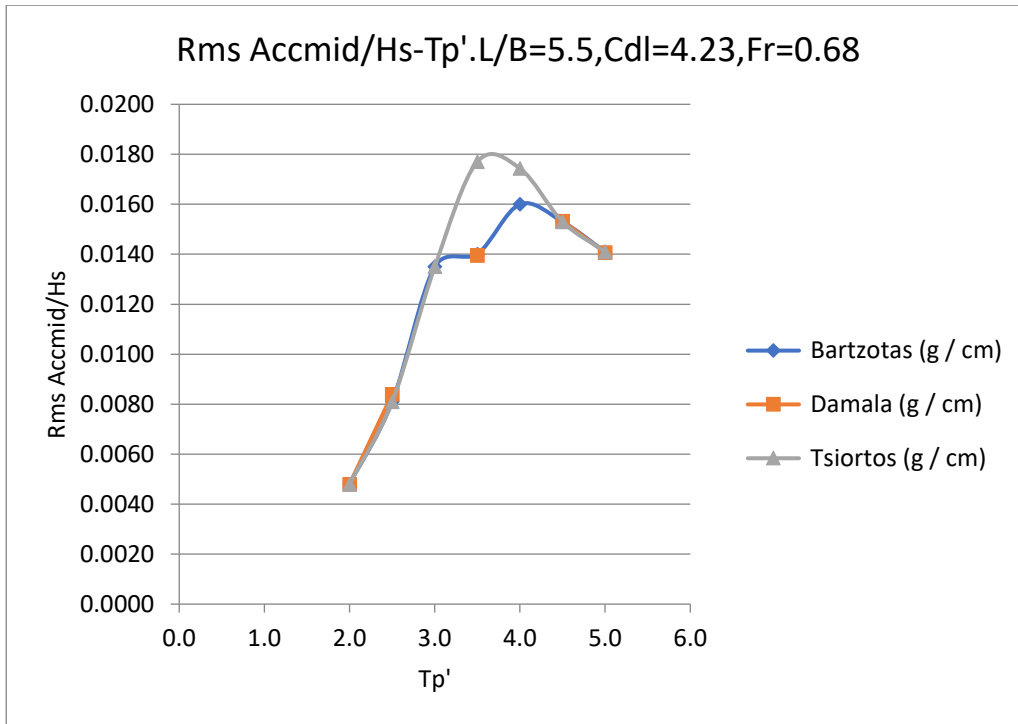
Διάγραμμα 5.74. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(kp/cm^2)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



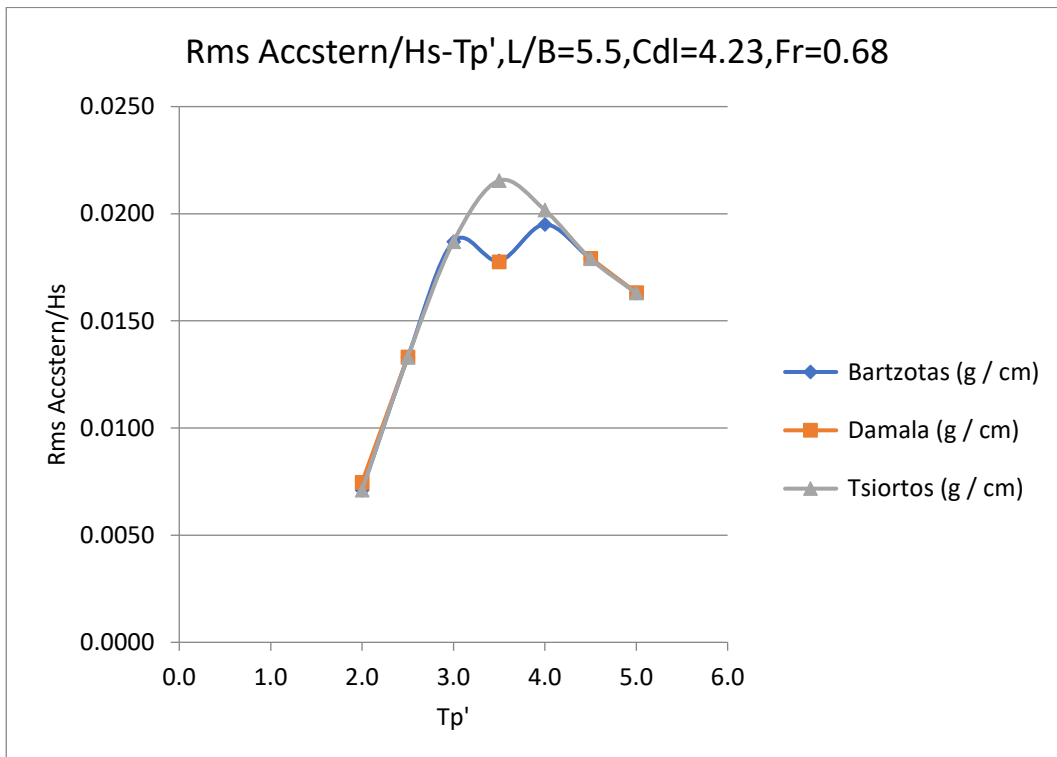
Διάγραμμα 5.75. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



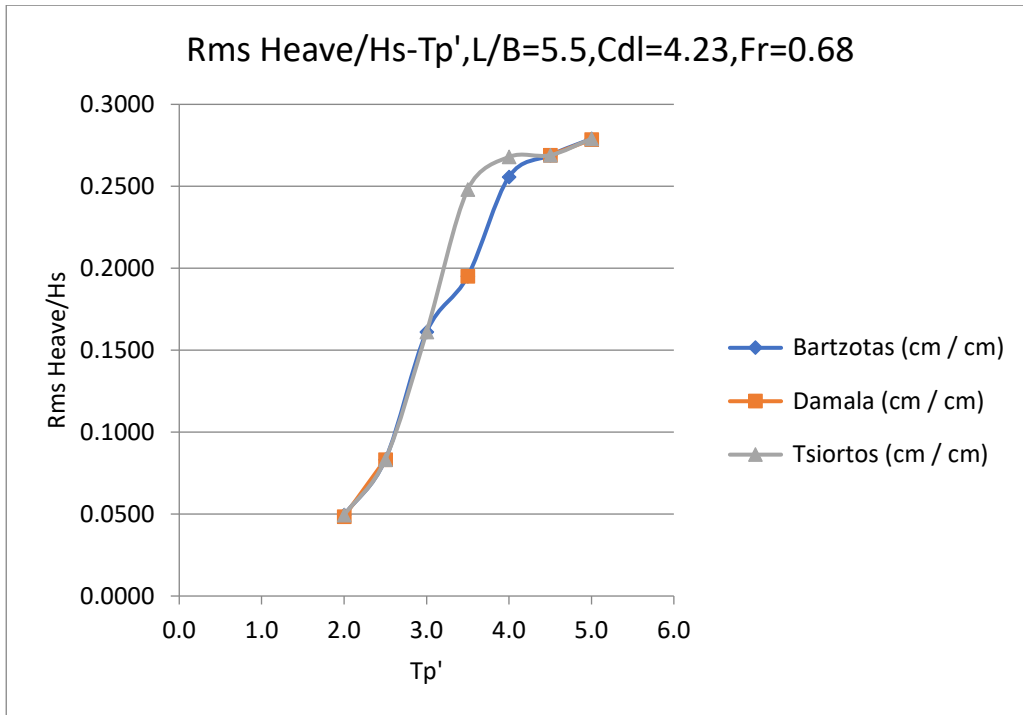
Διάγραμμα 5.76. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



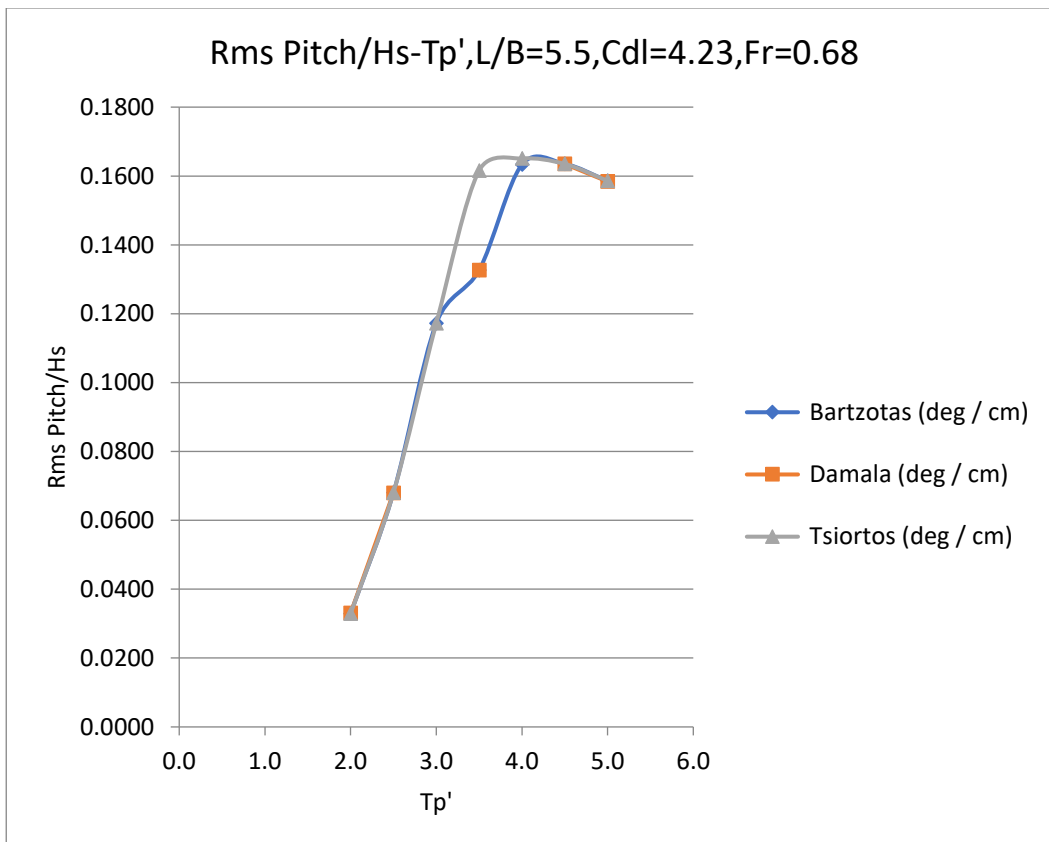
Διάγραμμα 5.77. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



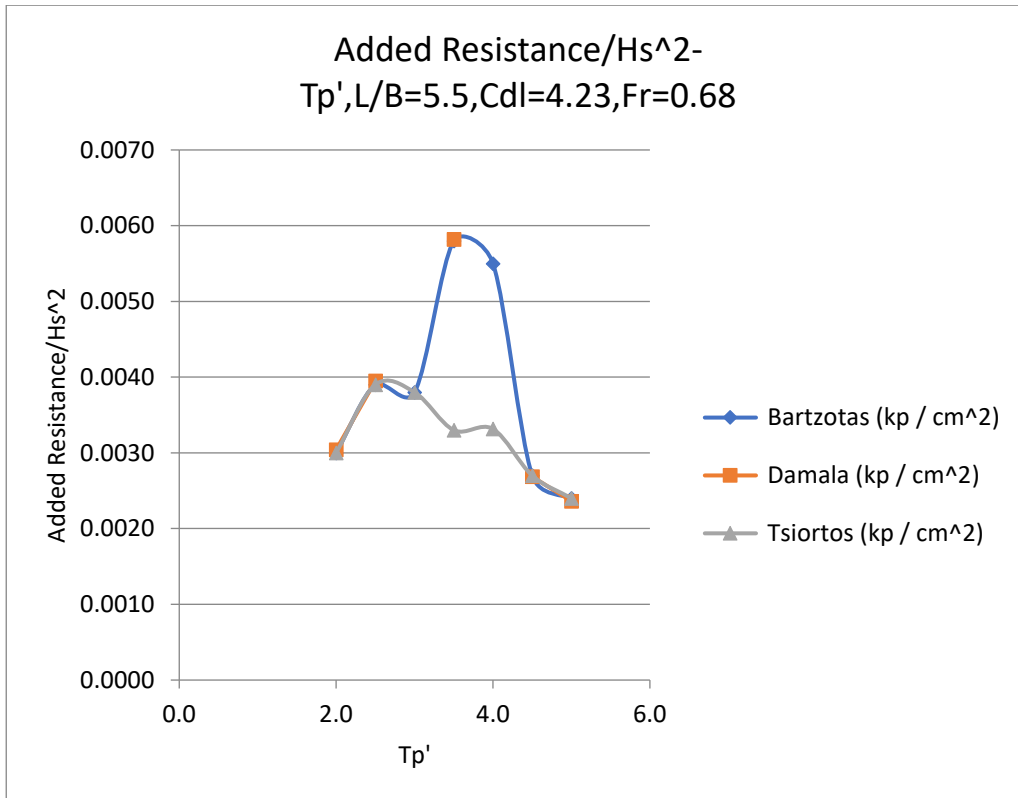
Διάγραμμα 5.78. Rms τιμές Κατακόρυφης κίνησης -Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος(cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



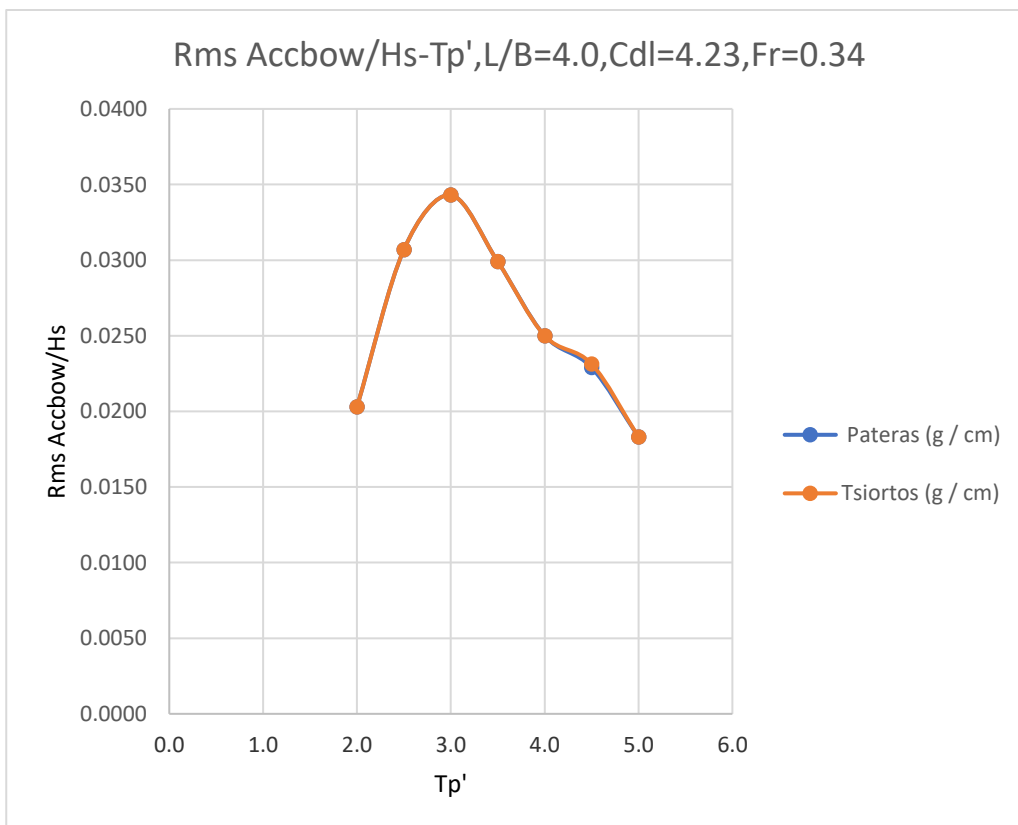
Διάγραμμα 5.79. Rms τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(deg/cm)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



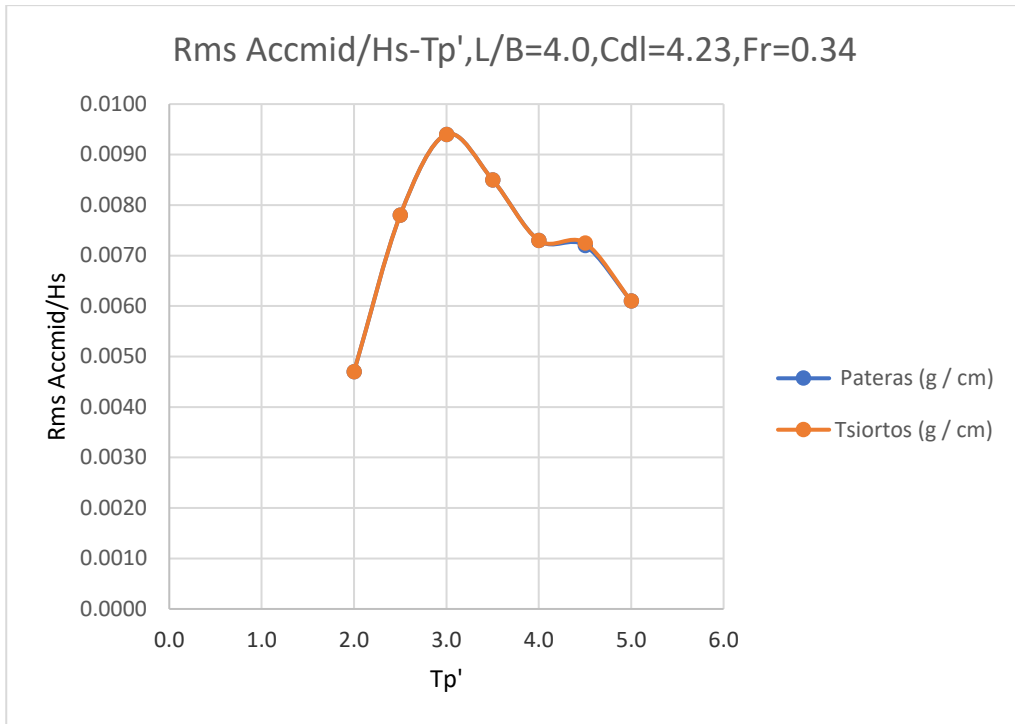
Διάγραμμα 5.80. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(kp/cm^2)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



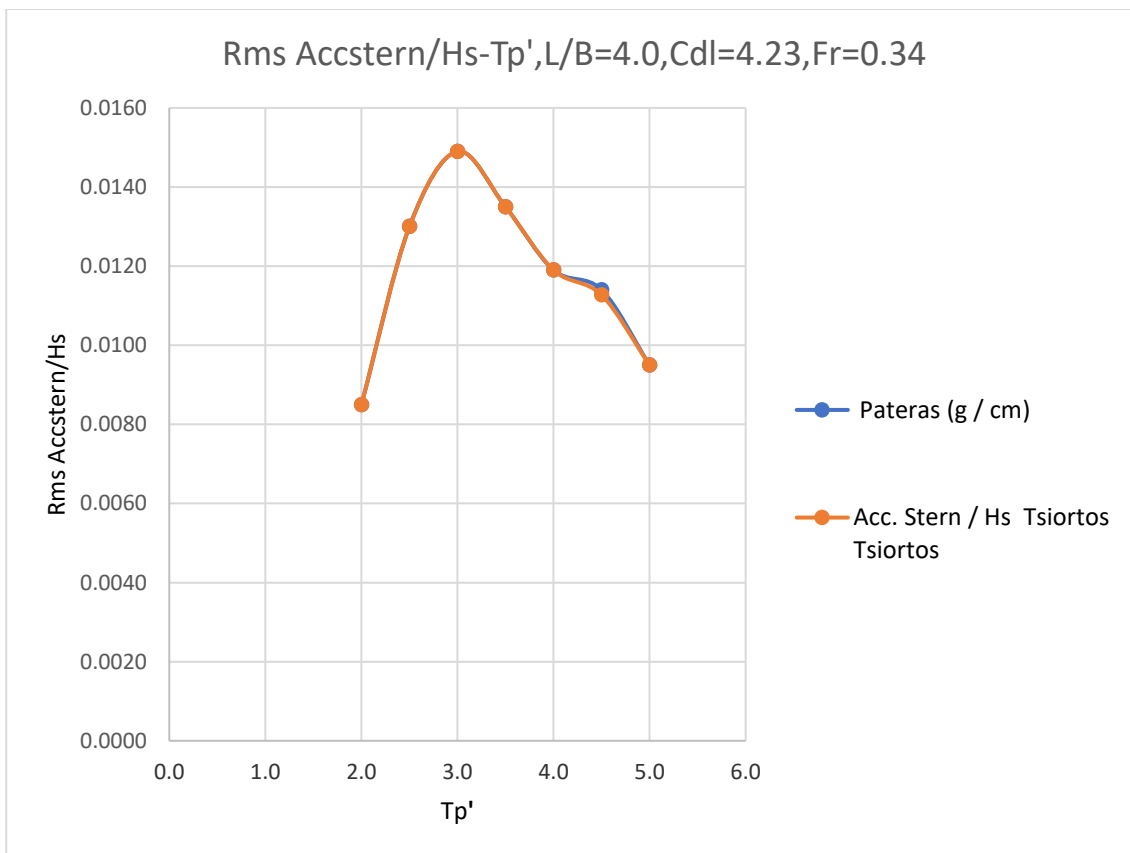
Διάγραμμα 5.81. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



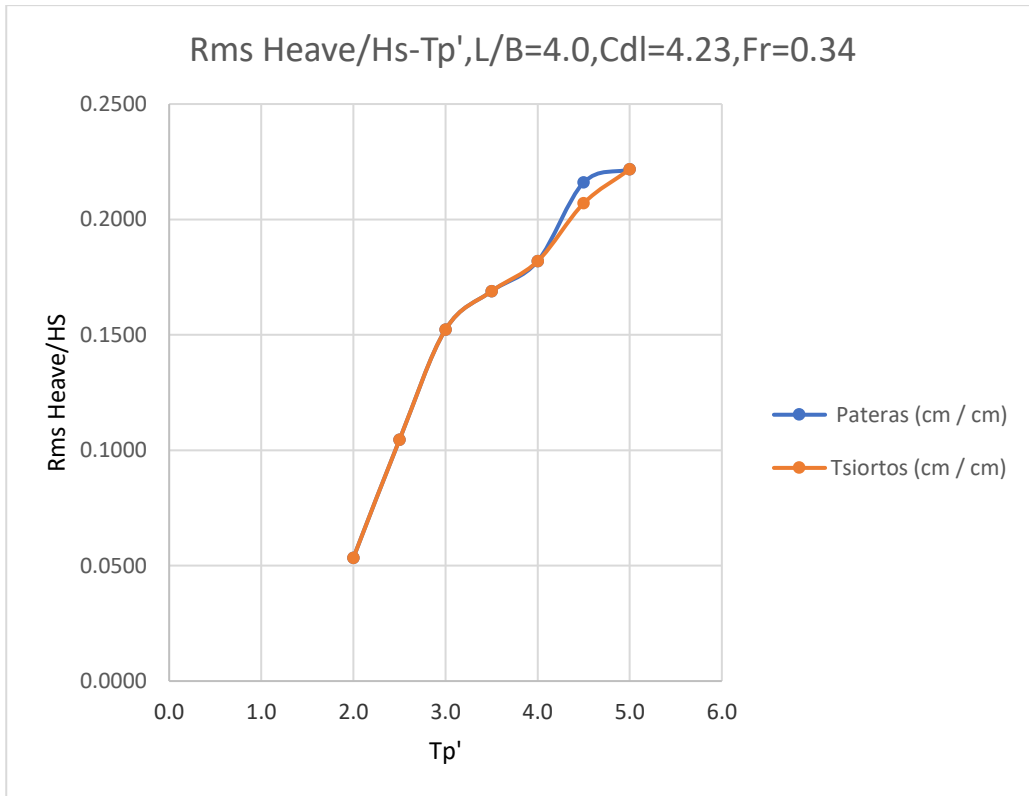
Διάγραμμα 5.82. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



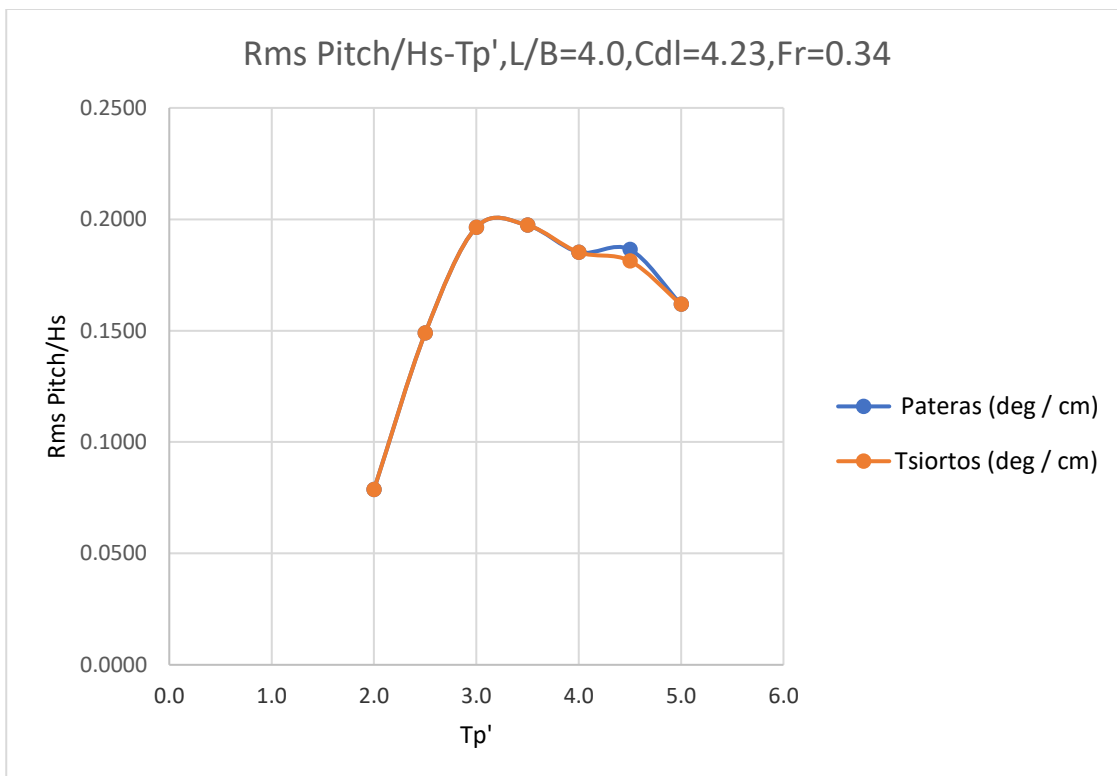
Διάγραμμα 5.83. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



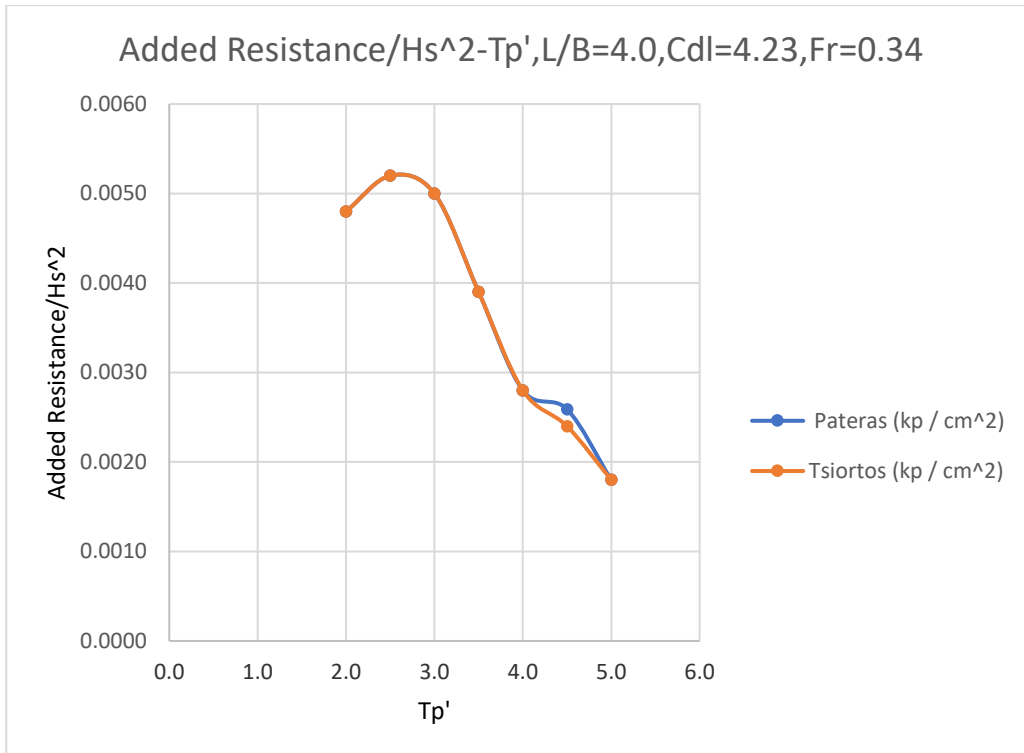
Διάγραμμα 5.84. Rms τιμές Κατακόρυφης κίνησης -Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος(cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



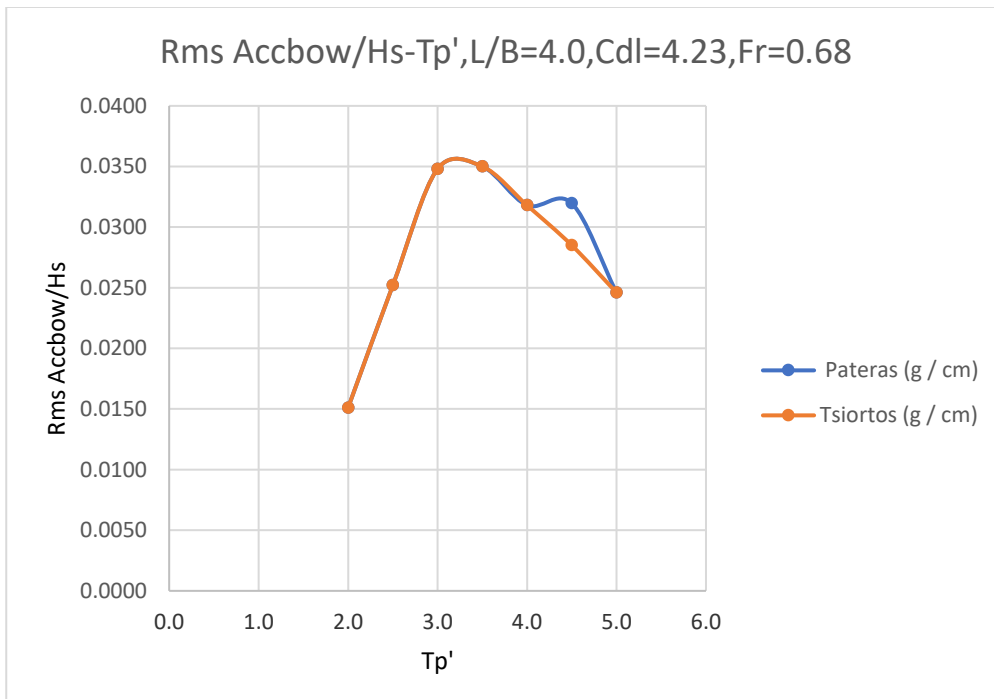
Διάγραμμα 5.85. Rms τιμές προνευατισμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(deg/cm)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



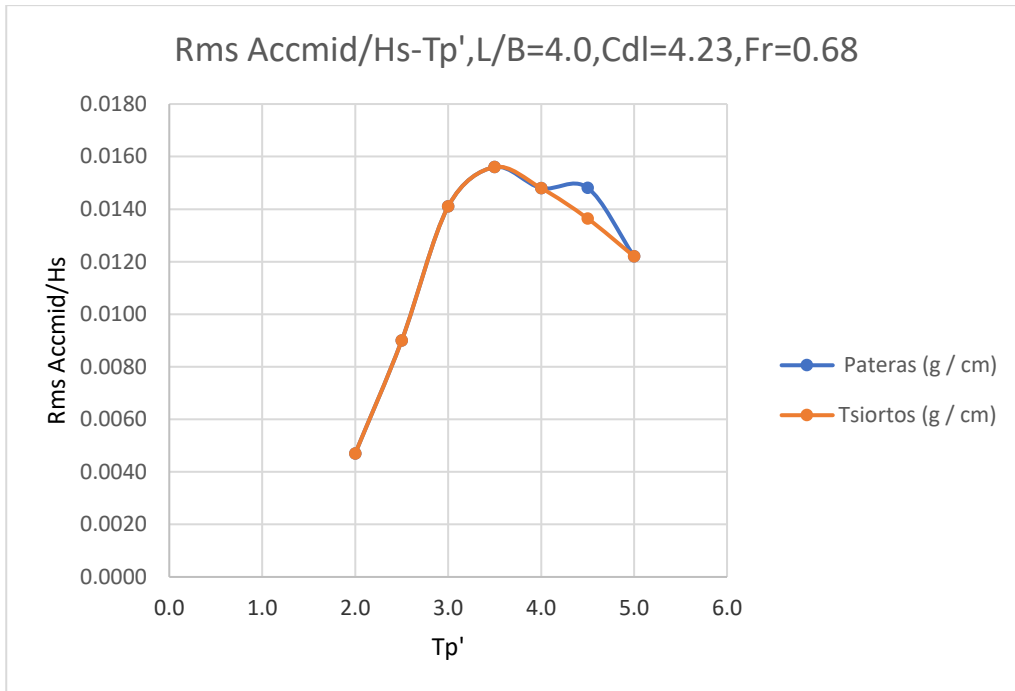
Διάγραμμα 5.86. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



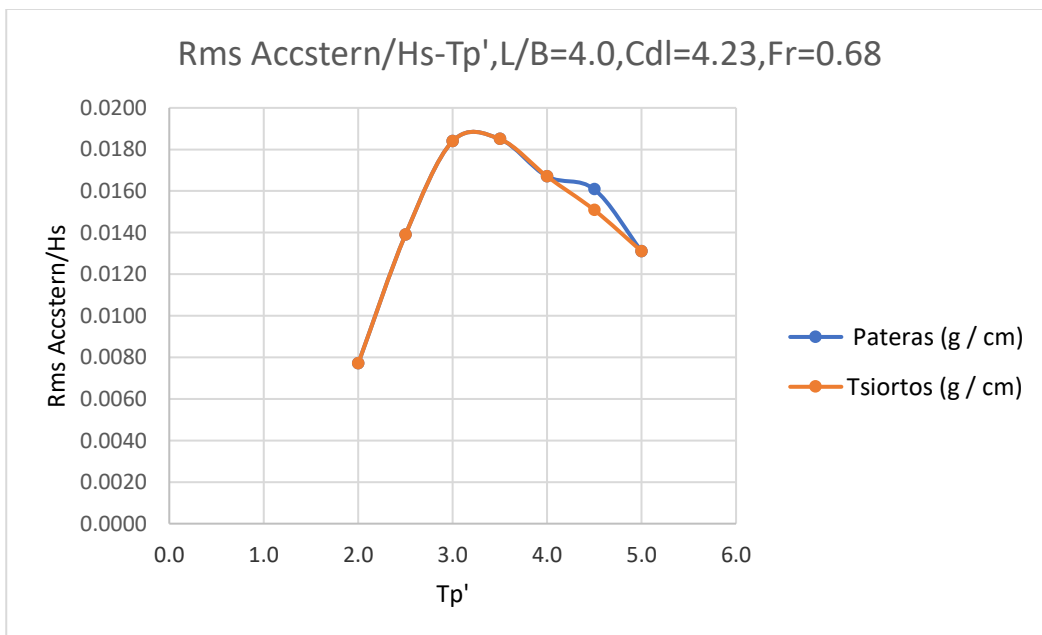
Διάγραμμα 5.87. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (g/cm), συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



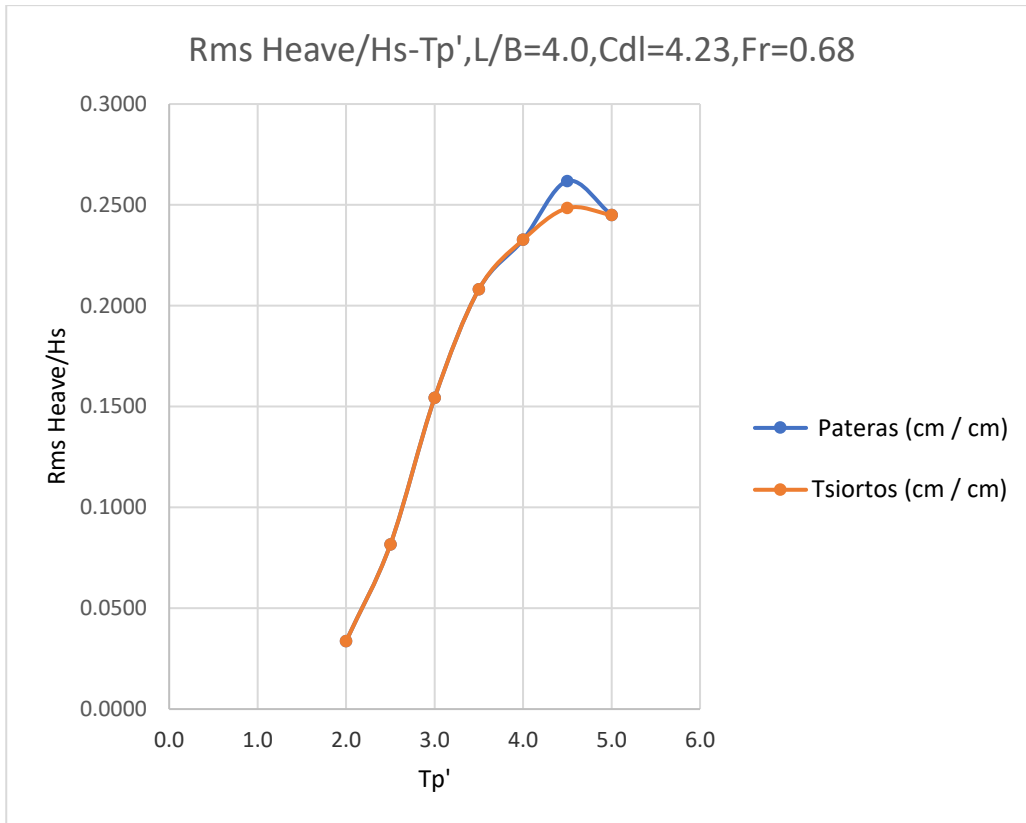
Διάγραμμα 5.88. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



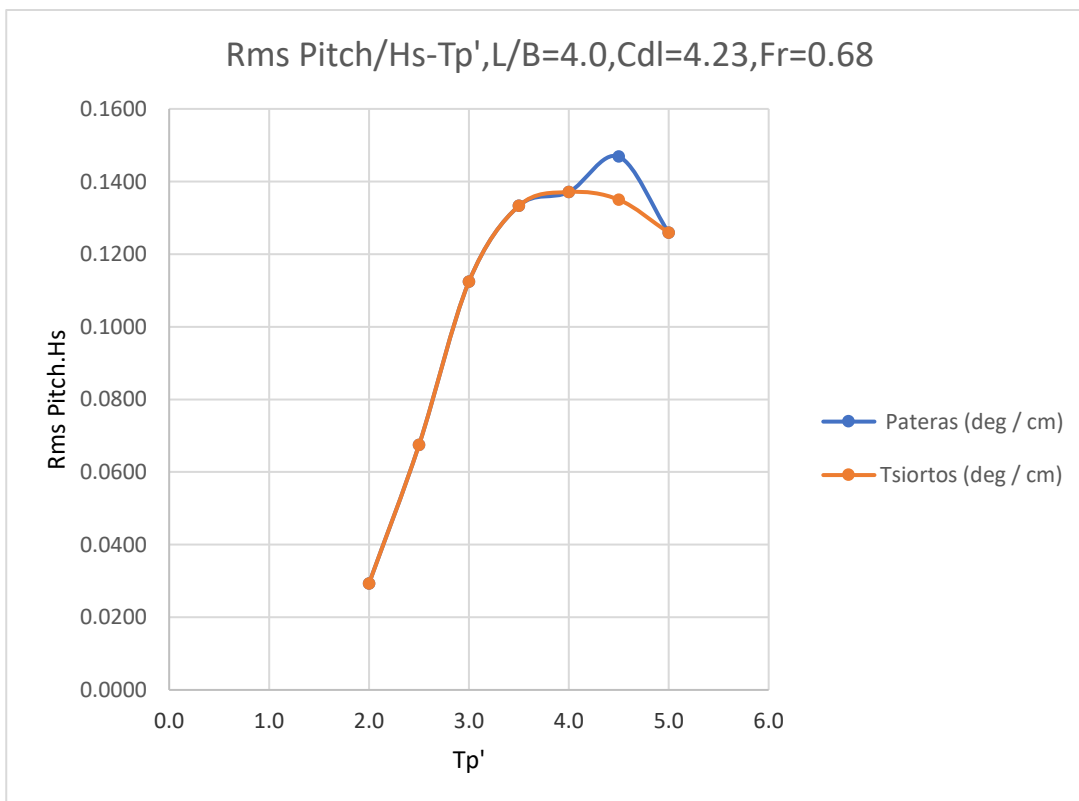
Διάγραμμα 5.89. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



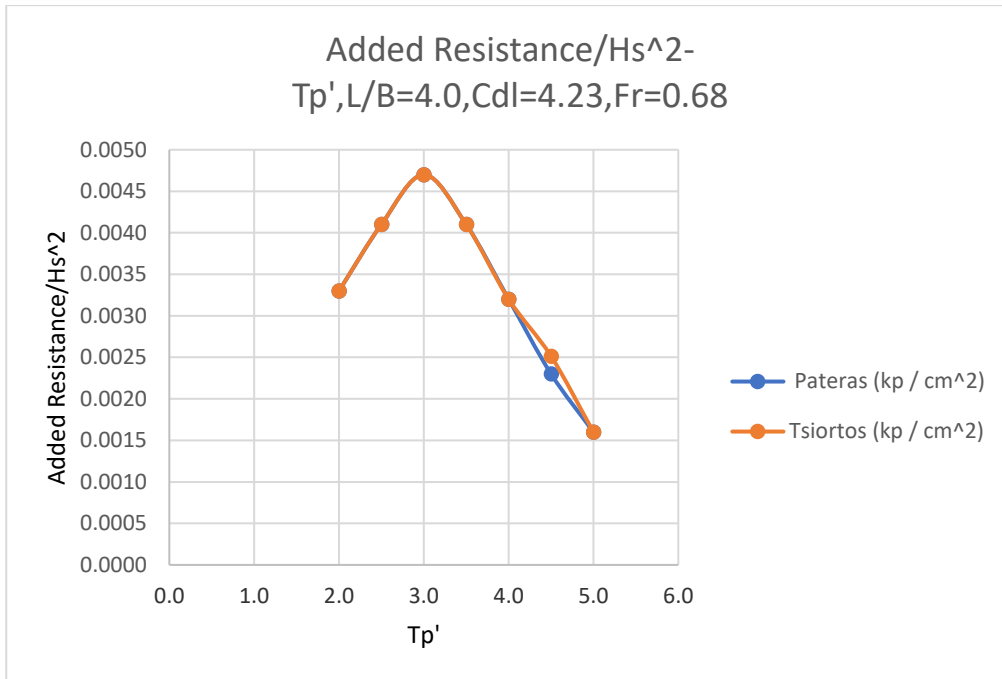
Διάγραμμα 5.90. Rms τιμές Κατακόρυφης κίνησης -Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος(cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



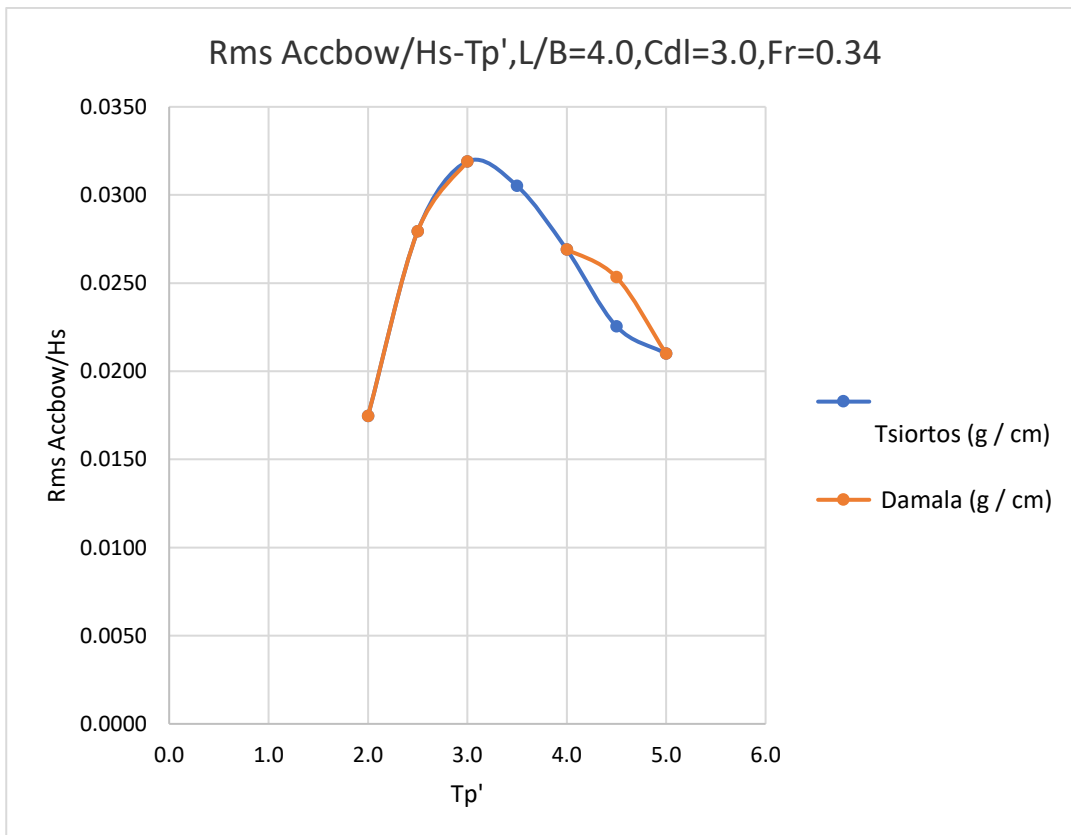
Διάγραμμα 5.91. Rms τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(deg/cm)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



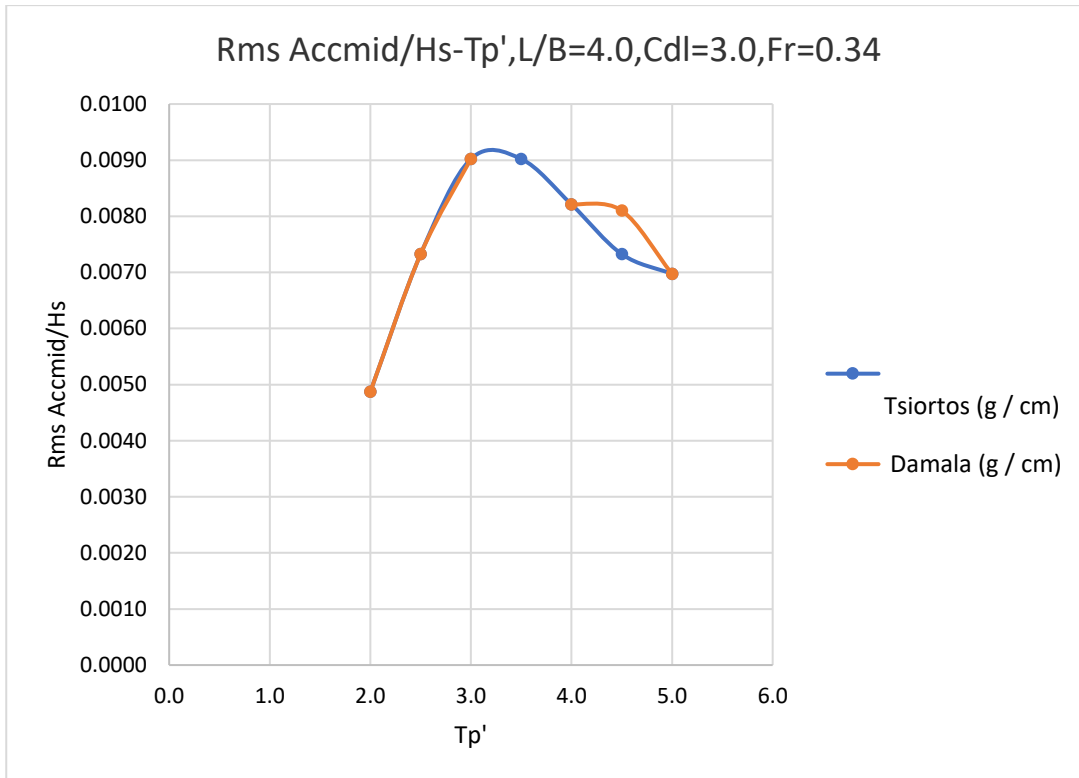
Διάγραμμα 5.92. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(kp/cm^2)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



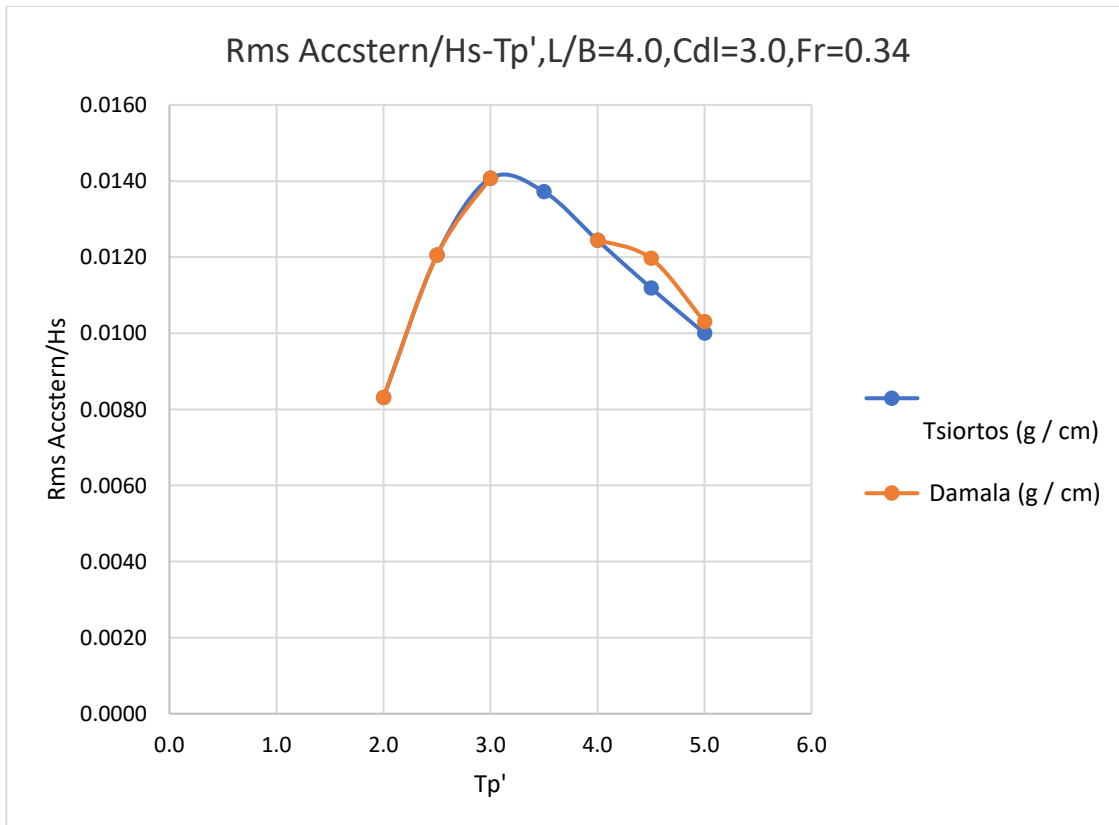
Διάγραμμα 5.93. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλήρη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



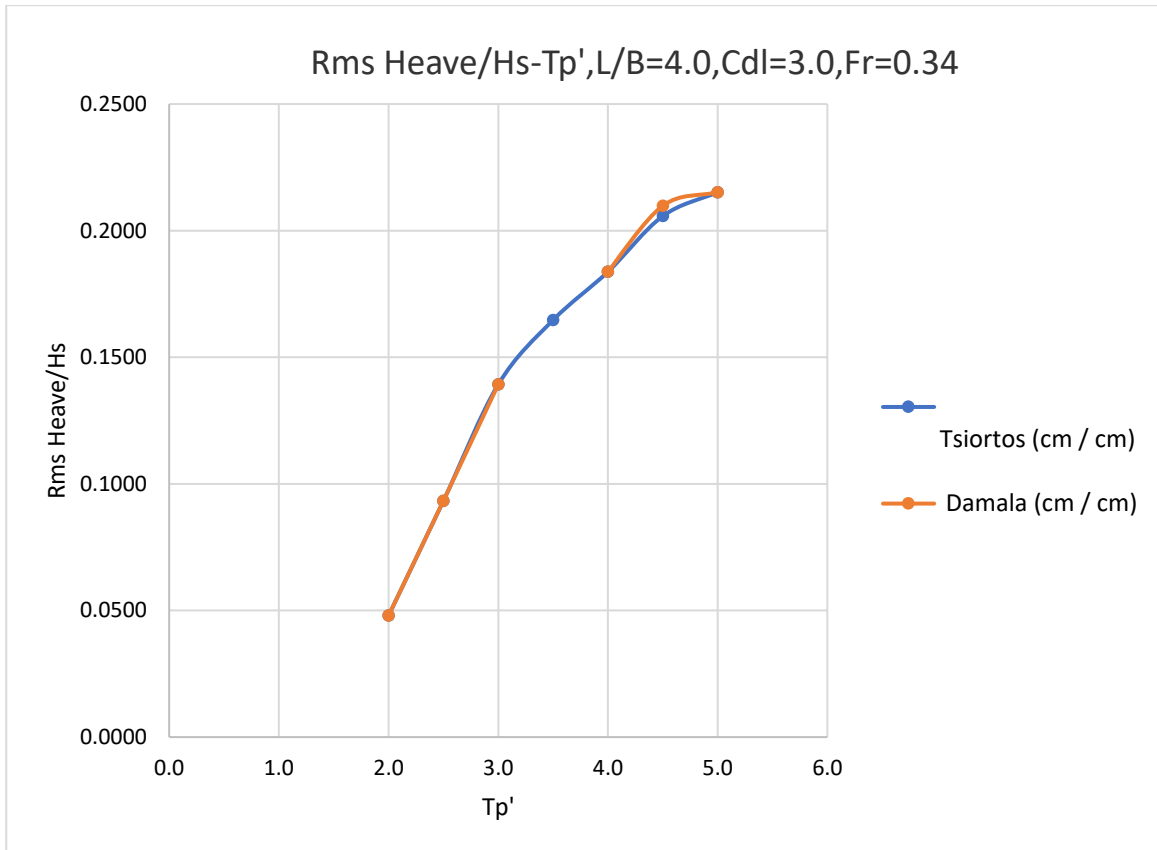
Διάγραμμα 5.94. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



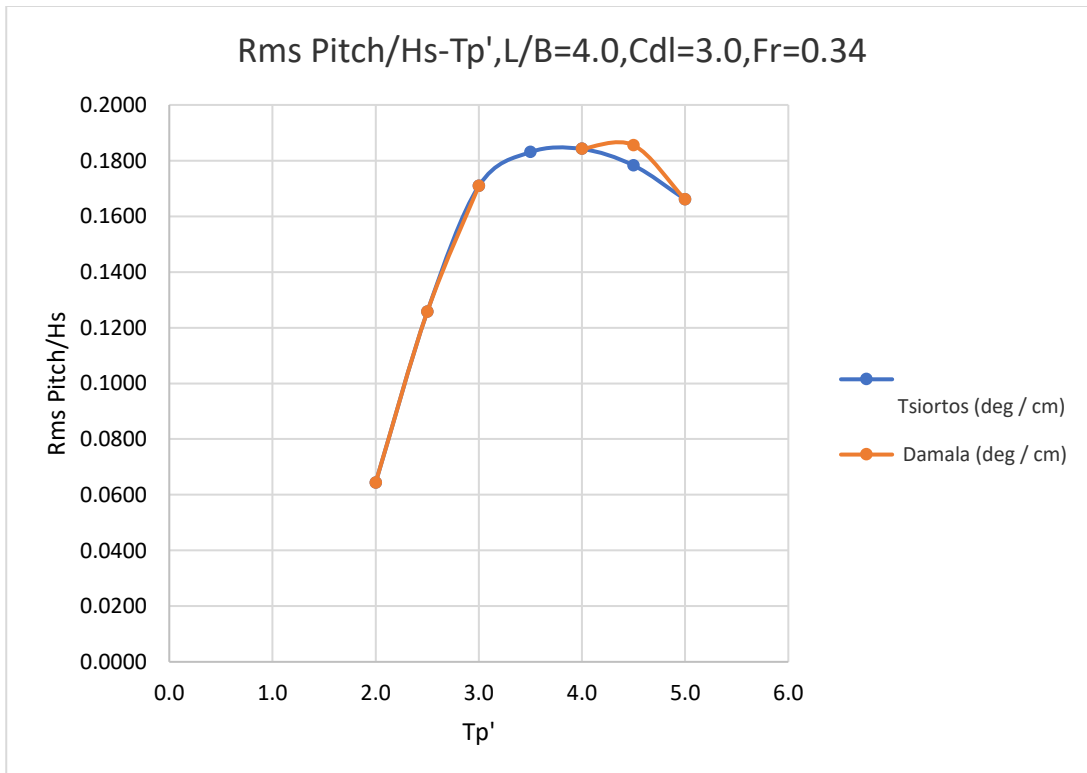
Διάγραμμα 5.95. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



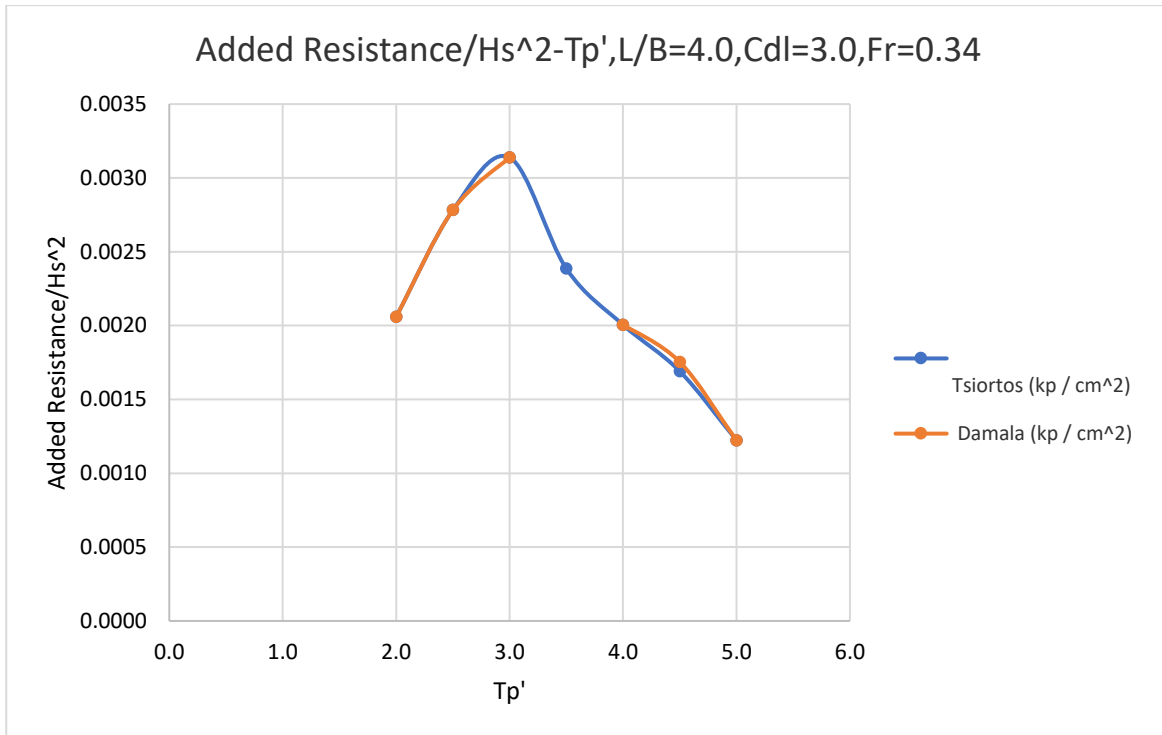
Διάγραμμα 5.96. Rms τιμές Κατακόρυφης κίνησης -Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος(cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



Διάγραμμα 5.97. Rms τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος Hs(deg/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



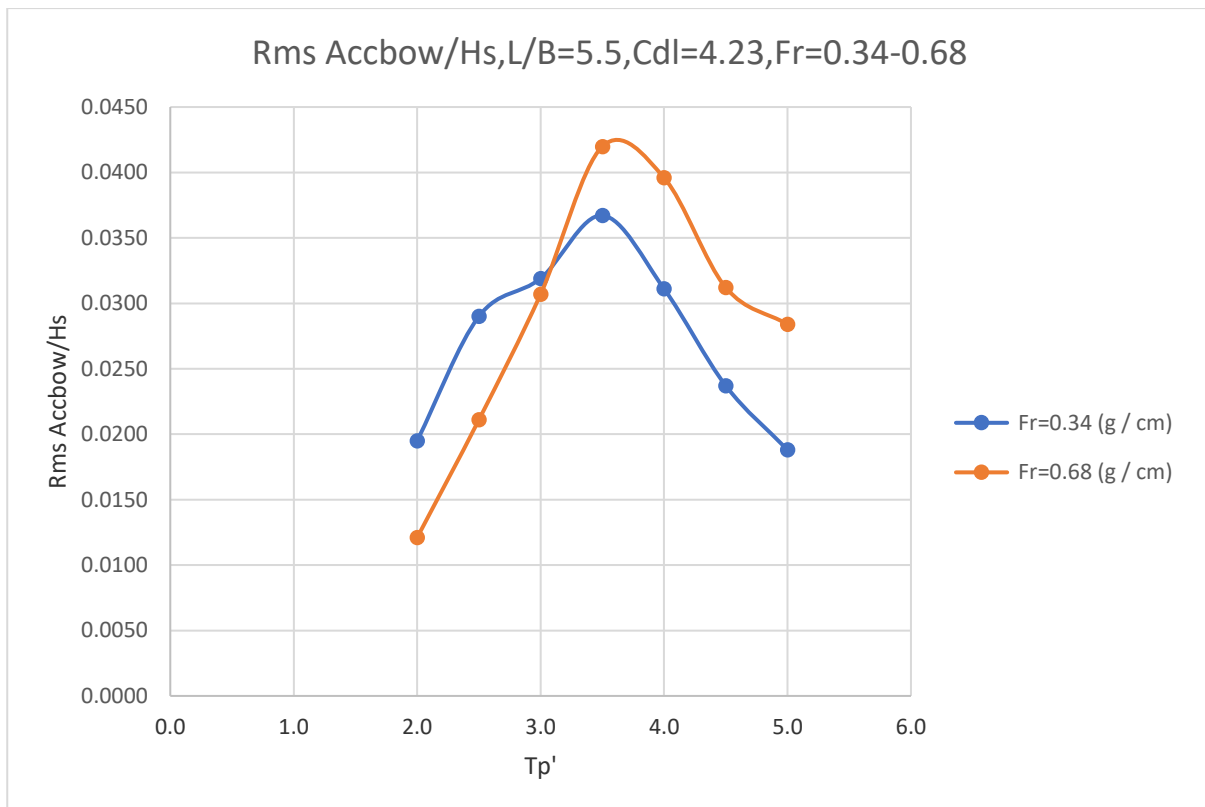
Διάγραμμα 5.98. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



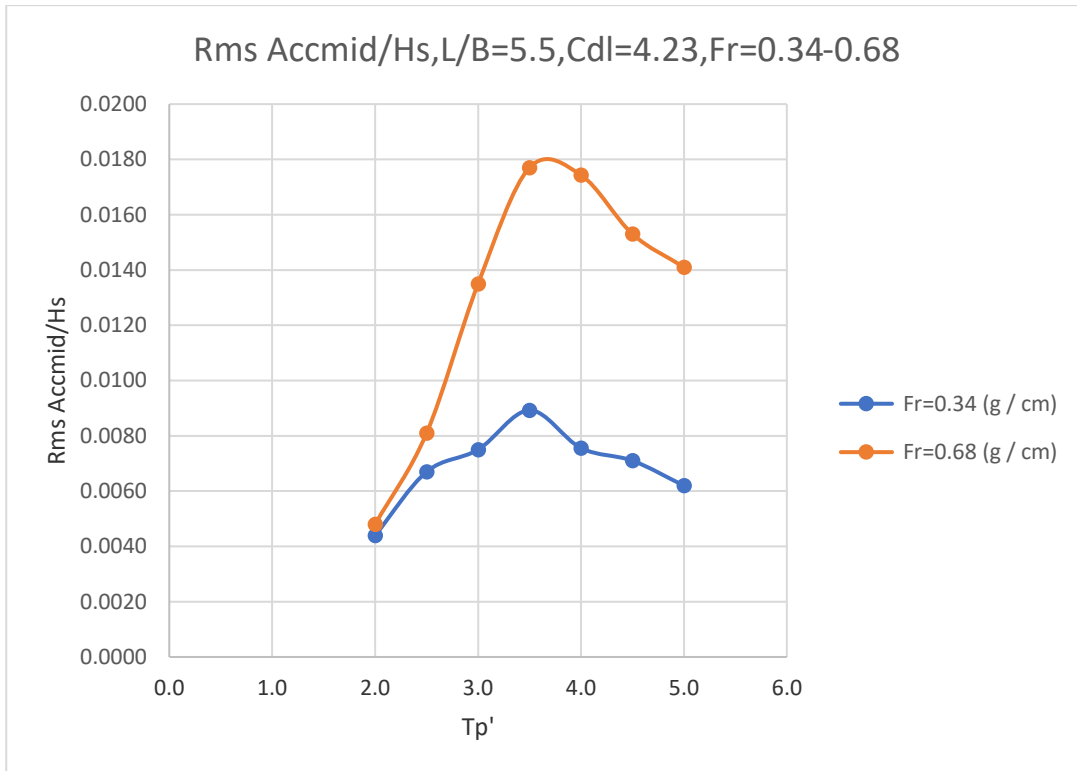
5.3.Σύγκριση αποτελεσμάτων των Rms Τιμών των Αποκρίσεων στις δύο ταχύτητες

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 το ίδιο μοντέλο και για την ίδια κατάσταση φόρτωσης, ανάμεσα στην μικρή ταχύτητα ($Fr=0.34$) και στη μεγάλη ταχύτητα ($Fr=0.68$) στις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα, για τις επτά καταστάσεις θάλασσας.

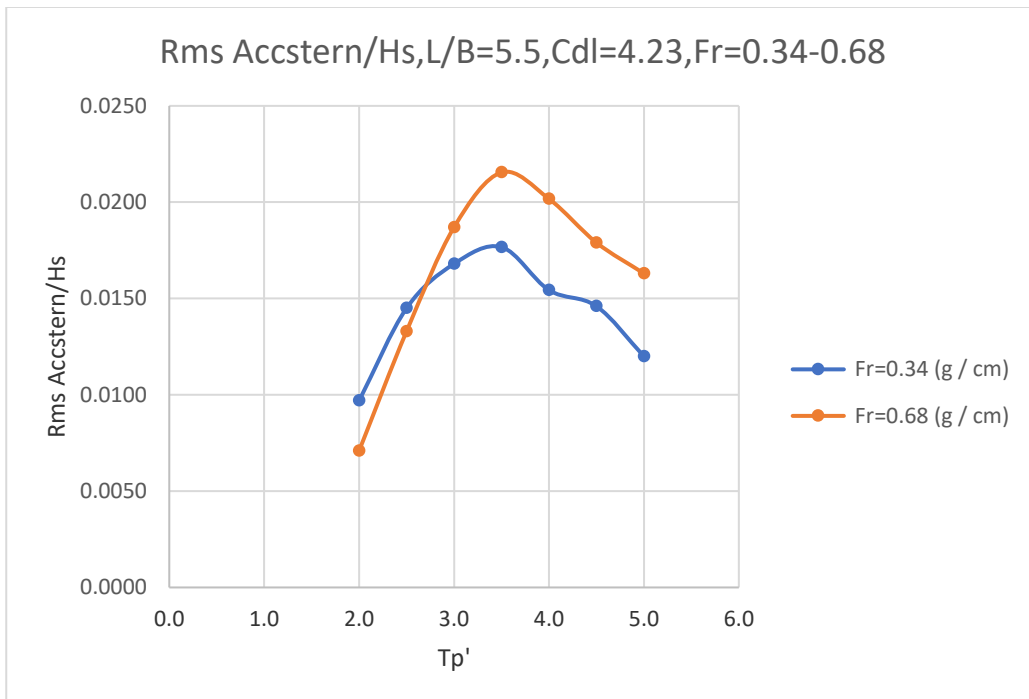
Διάγραμμα 5.99. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλήρη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



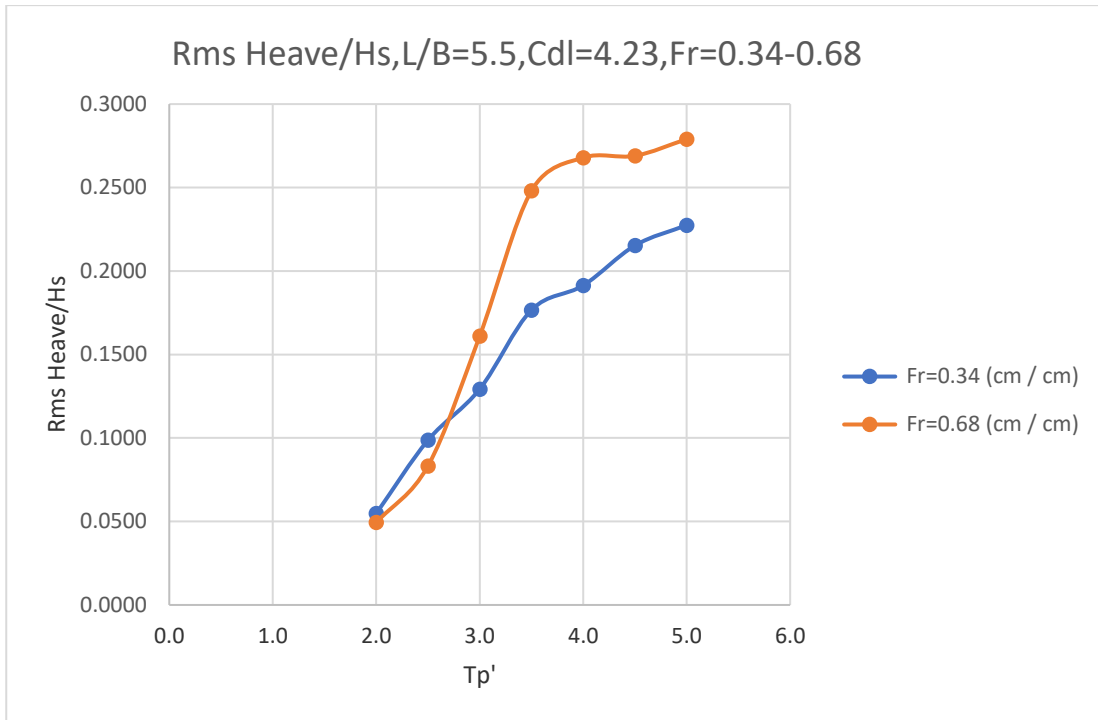
Διάγραμμα 5.100. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



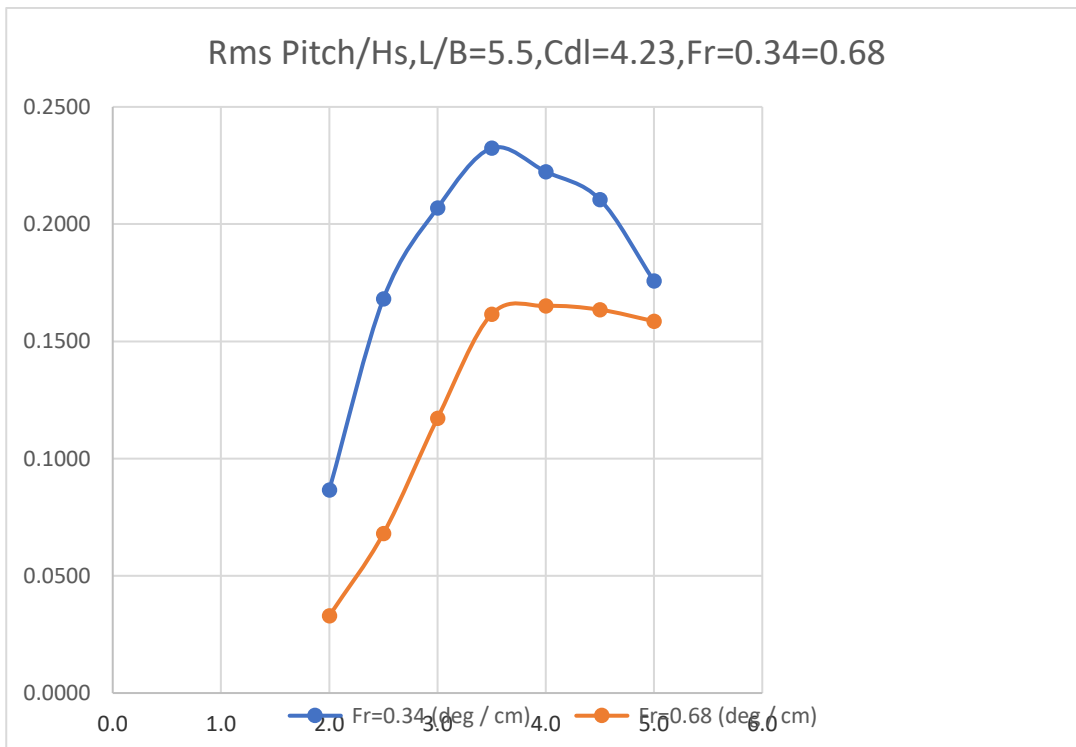
Διάγραμμα 5.101. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



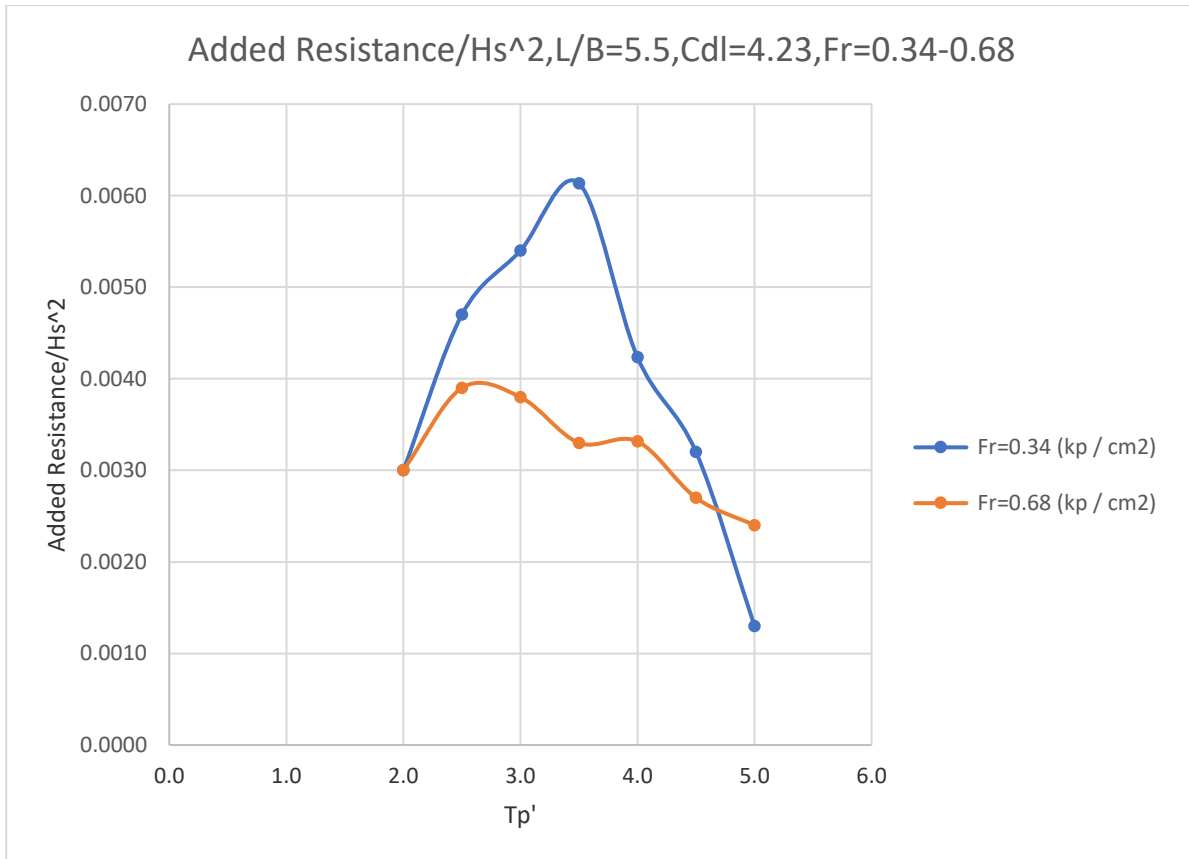
Διάγραμμα 5.102. Rms τιμές Κατακόρυφης κίνησης -Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος(cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



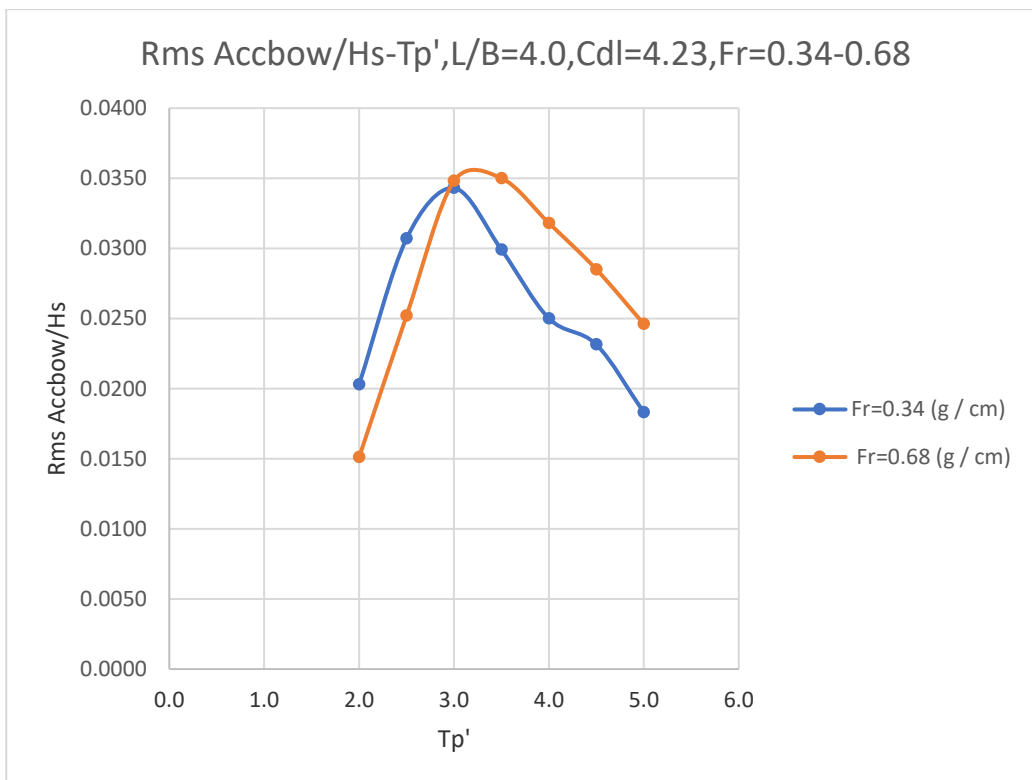
Διάγραμμα 5.103. Rms τιμές προνευτισμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος Hs(deg/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



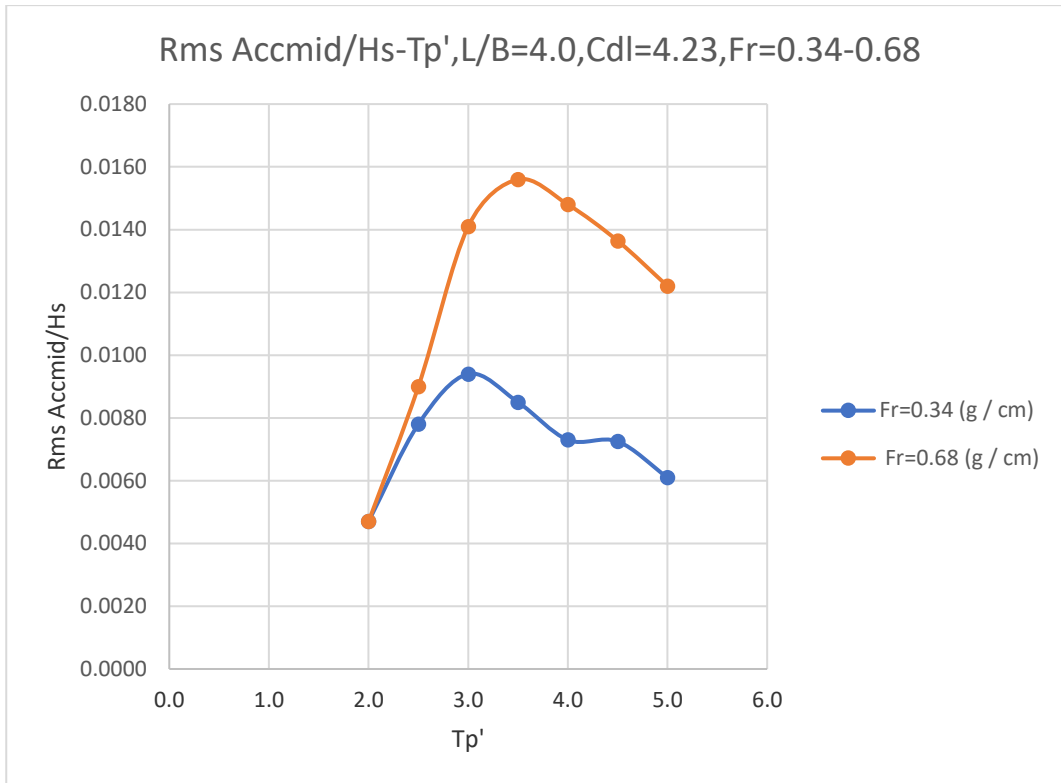
Διάγραμμα 5.104. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



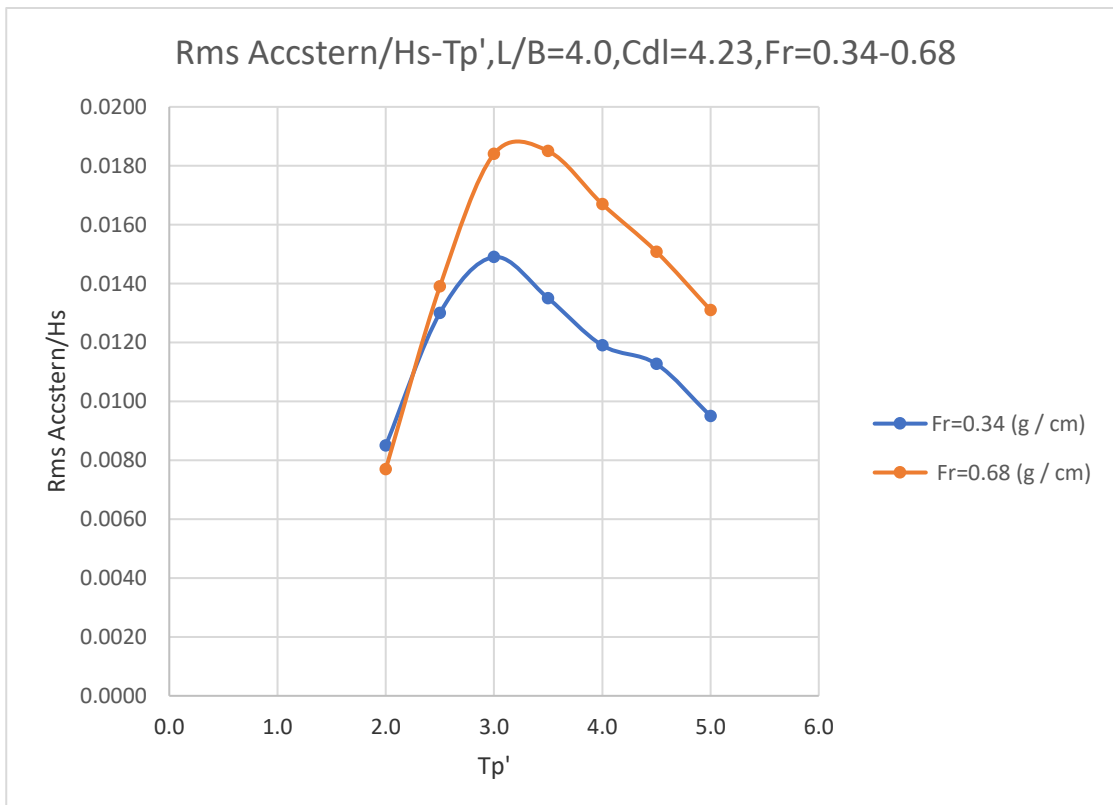
Διάγραμμα 5.105. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (g/cm), συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



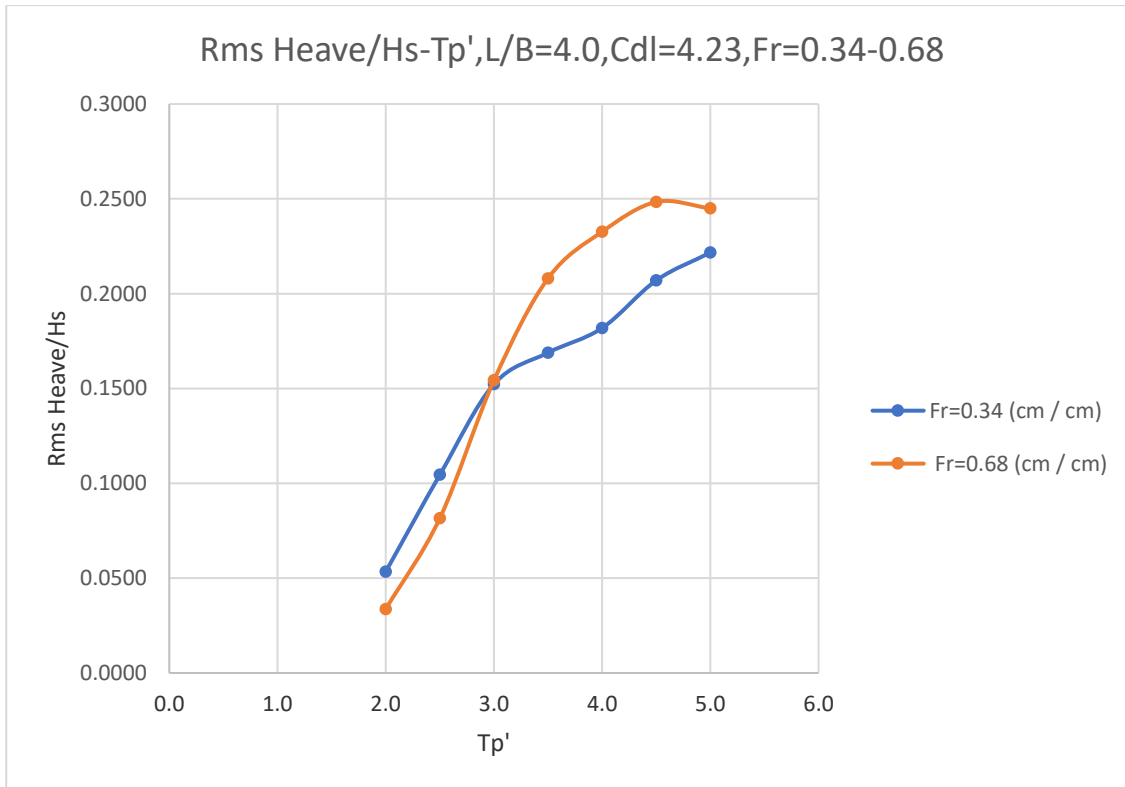
Διάγραμμα 5.106. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



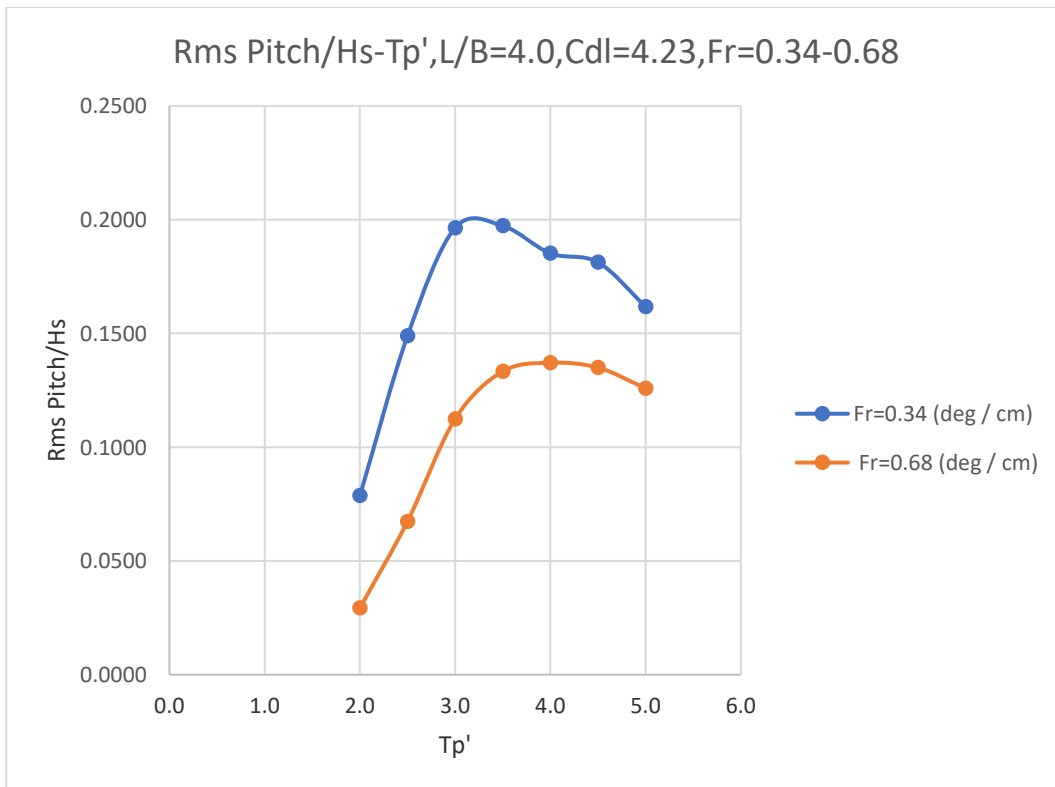
Διάγραμμα 5.107. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



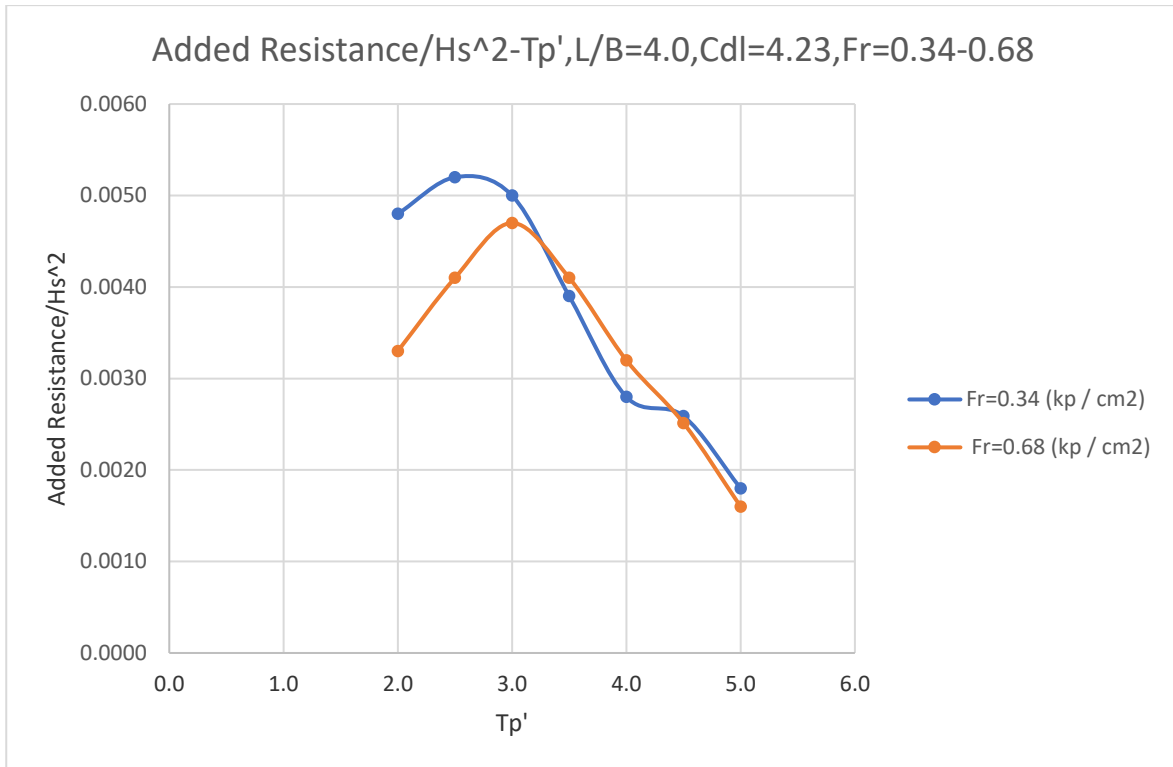
Διάγραμμα 5.108. Rms τιμές Κατακόρυφης κίνησης -Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος(cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



Διάγραμμα 5.109. Rms τιμές προνευτισμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(deg/cm)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



Διάγραμμα 5.110. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



Από τα διαγράμματα μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής για το πρότυπο **097/94 με $L/B=5.5$** :

- **Κατακόρυφη Επιτάχυνση Πλώρης(Acc Bow):**

Παρατηρούμε ότι από $Tr'=2.0$ μέχρι $Tr'=2.5$ οι αποκρίσεις επιταχύνσεων στην πλώρη είναι μερικώς μεγαλύτερες στην μικρή ταχύτητα ($Fr=0.34$). Στο $Tr'=3.0$ σχεδόν ταυτίζονται, ενώ αντίθετα για τις τιμές $Tr'=3.5$ έως 5.0 , οι αποκρίσεις των κατακόρυφων επιταχύνσεων είναι σαφώς μεγαλύτερες στη μεγάλη ταχύτητα πλεύσης ($Fr=0.68$).

- **Κατακόρυφη Επιτάχυνση στο Κέντρο Βάρους(Acc Middle):**

Παρατηρούμε ότι η απόκριση της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους είναι παντού μεγαλύτερη για τη μεγάλη ταχύτητα πλεύσης ($Fr=0.68$), εκτός των αποτελεσμάτων για $Tr'=2.0$ όπου οι τιμές σχεδόν ταυτίζονται.

- **Κατακόρυφη Επιτάχυνση Πρύμνης(Acc Stern):**

Παρατηρούμε ότι η πρύμνη του πλοίου έχει ανάλογη συμπεριφορά με το μέσο του. Η μόνη διαφορά είναι ότι στην τιμή $Tr'=2.0$ έως 2.5 η απόκριση της κατακόρυφης επιτάχυνσης της μεγάλης ταχύτητας ($Fr=0.68$) είναι ελαφρώς μικρότερη κάτι το οποίο συνέβαινε και στην πλώρη.

- **Κατακόρυφη κίνηση(Heave):**

Παρατηρούμε ότι στο $Tr'=2.0$ οι κατακόρυφες κινήσεις σχεδόν ταυτίζονται τόσο στη μικρή όσο και στη μεγάλη ταχύτητα, στο $Tr'=2.5$ οι κατακόρυφες κινήσεις είναι μερικώς μεγαλύτερες στη μικρή ταχύτητα($Fr=0.34$). Ενώ για $Tr'=3.0$ έως 5.0 οι κατακόρυφες κινήσεις είναι μεγαλύτερες στη μεγάλη ταχύτητα($Fr=0.68$), κάτι που επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα των αποκρίσεων των επιταχύνσεων στην πλώρη και στην πρύμνη.

- **Προνευτασμός (Pitch):**

Παρατηρούμε ότι για μεγάλες ταχύτητες($Fr=0.68$) πλεύσης οι τιμές των αποκρίσεων σε προνευτασμό είναι μικρότερες σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας. Ακόμη παρατηρούμε ότι η διαφορά είναι περίπου σταθερή, όμως έχει την τάση να μειωθεί όσο μεγαλώνουν οι τιμές της αδιάστατης περιόδου Tr' .

- **Πρόσθετη Αντίσταση(Added Resistance):**

Παρατηρούμε ότι όπως αναμέναμε και από τη θεωρία, για τη μεγάλη ταχύτητα($Fr=0.68$) πλεύσης έχουμε μικρότερες τιμές πρόσθετης αντίστασης με τις τιμές να συγκλίνουν για $Tr'=2.0$. Ενώ η μόνη τιμή που διαφέρει από το παραπάνω συμπέρασμα είναι η πρόσθετη αντίσταση στο $Tr'=5.0$, όπου η πρόσθετη αντίσταση είναι μεγαλύτερη στη μεγάλη ταχύτητα.

Από τα διαγράμματα μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής για το πρότυπο **113/95 με $L/B=4.0$** :

➤ **Κατακόρυφη Επιτάχυνση Πλώρης (ACC Bow):**

Παρατηρούμε ότι μέχρι και το $T_p'=2.5$ οι αποκρίσεις των κατακόρυφων επιταχύνσεων στην πλώρη είναι μερικώς μεγαλύτερες στην μικρή ταχύτητα ($Fr=0.34$). Στο $T_p'=3$ ταυτίζονται, ενώ αντίθετα για τιμές $T_p'=3.5$ έως 5, οι αποκρίσεις των κατακόρυφων επιταχύνσεων είναι σαφώς μεγαλύτερες στην μεγάλη ταχύτητα πλεύσης ($Fr=0.68$). Συμπεραίνουμε έτσι ότι για μικρές ταχύτητες πλεύσης το σκάφος έχει μικρότερες επιταχύνσεις (δεν αντιδρά έντονα).

➤ **Κατακόρυφη Επιτάχυνση στο Κέντρο Βάρους (ACC Middle):**

Εδώ παρατηρούμε ότι η απόκριση της κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους είναι παντού μεγαλύτερη για την μεγάλη ταχύτητα πλεύσης, εκτός των αποτελεσμάτων για $T_p'=2$ όπου οι τιμές ταυτίζονται.

➤ **Κατακόρυφη Επιτάχυνση Πρύμνης (ACC Stern):**

Παρατηρούμε ότι η πρύμνη του πλοίου έχει ανάλογη συμπεριφορά με το μέσο του. Η μόνη διαφορά είναι ότι στην τιμή $T_p'=2.00$ η απόκριση της κατακόρυφης επιτάχυνσης της μεγάλης ταχύτητας ($Fr=0.68$) είναι ελαφρώς μικρότερη κάτι το οποίο συνέβαινε και στην πλώρη.

➤ **Κατακόρυφη Κίνηση (Heave):**

Βλέπουμε ότι μέχρι και $T_p'=2.5$ το πρότυπο έχει μερικώς μεγαλύτερες κινήσεις στην μικρή ταχύτητα ($Fr=0.34$), στο $T_p'=3$ ταυτίζονται, ενώ για $T_p'=3.5$ έως 5 είναι φανερό ότι οι μεγαλύτερες κινήσεις είναι αυτές της μεγάλης ταχύτητας ($Fr=0.68$), κάτι που επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα των αποκρίσεων των επιταχύνσεων στην πλώρη και στην πρύμνη.

➤ **Προνευτασμός (Pitch):**

Παρατηρούμε ότι για μεγάλες ταχύτητες ($Fr=0.68$) πλεύσης οι τιμές των αποκρίσεων σε προνευτασμό είναι μικρότερες σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας. Ακόμη παρατηρούμε ότι η διαφορά είναι περίπου σταθερή, όμως έχει μια τάση να μειωθεί όσο μεγαλώνουν οι τιμές της αδιάστατης περιόδου T_p' .

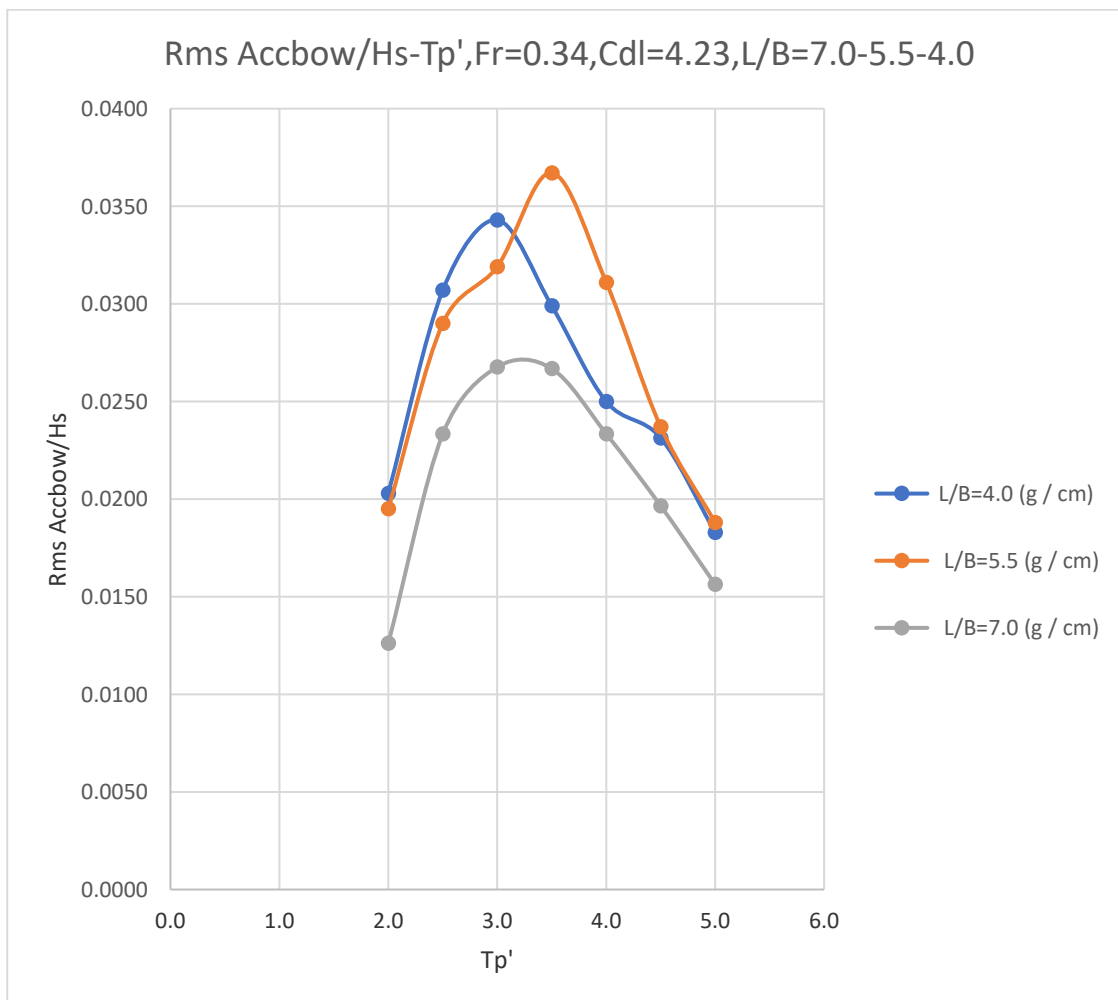
➤ **Πρόσθετη Αντίσταση (Added Resistance):**

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 $H_s=16\text{cm}$. Οι τιμές που διαφέρουν από το πιο πάνω συμπέρασμα, δηλαδή η πρόσθετη αντίσταση είναι μεγαλύτερη στην μεγάλη ταχύτητα ($Fr=0.68$), είναι $T_p=3.5$ και 4.

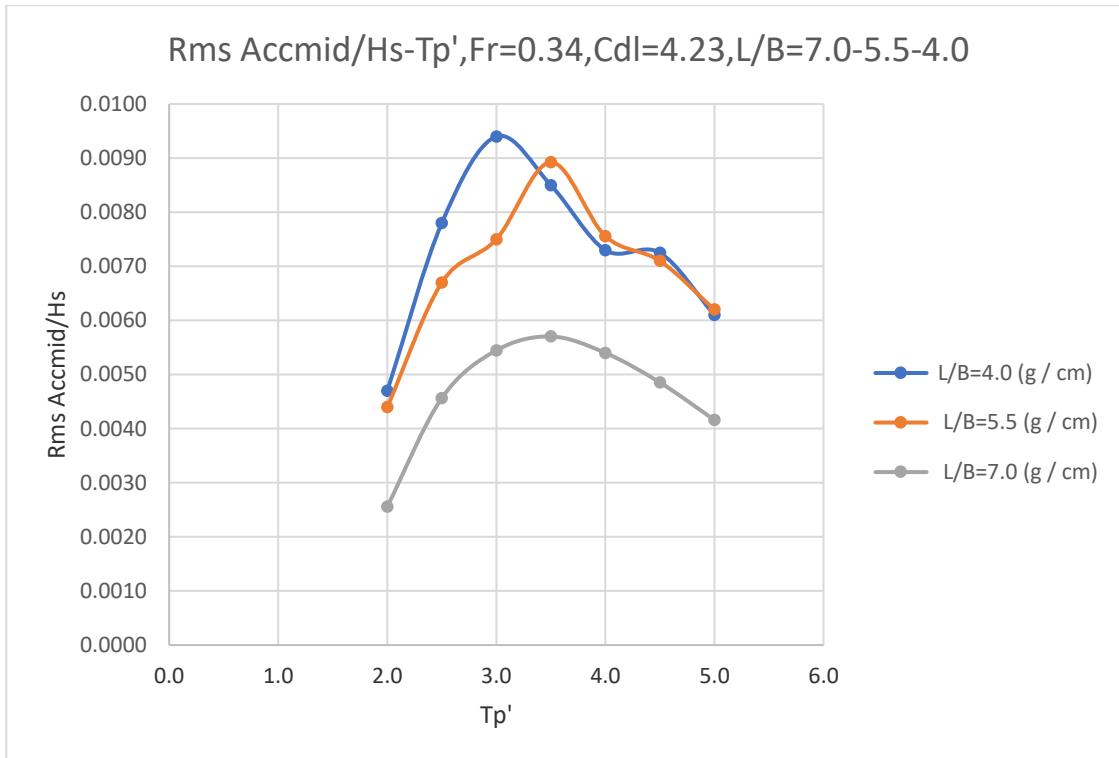
5.4. Σύγκριση των RMS Τιμών των αποκρίσεων των προτύπων της σειράς Ntua με διαφορετικούς λόγους L/B

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 τα δύο μοντέλα 097/94(L/B=5.5) και 113/95(L/B=4.0) και 116/96(L/B=7.0) για την ίδια κατάσταση φόρτωσης $C_{dl}=4.23$, τόσο στην μικρή ταχύτητα($Fr=0.34$) όσο και στη μεγάλη ταχύτητα($Fr=0.68$) στις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα, για τις επτά καταστάσεις θάλασσας.

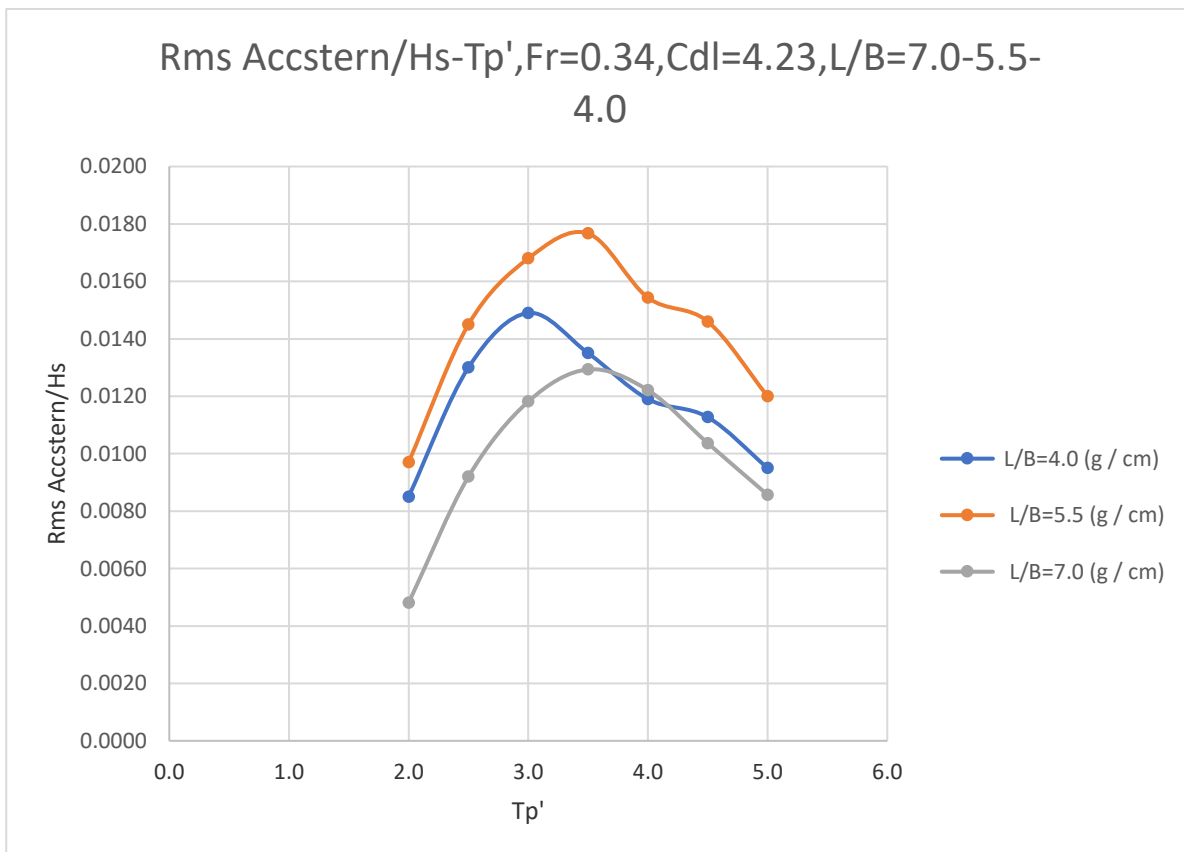
Διάγραμμα 5.111. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλήρη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



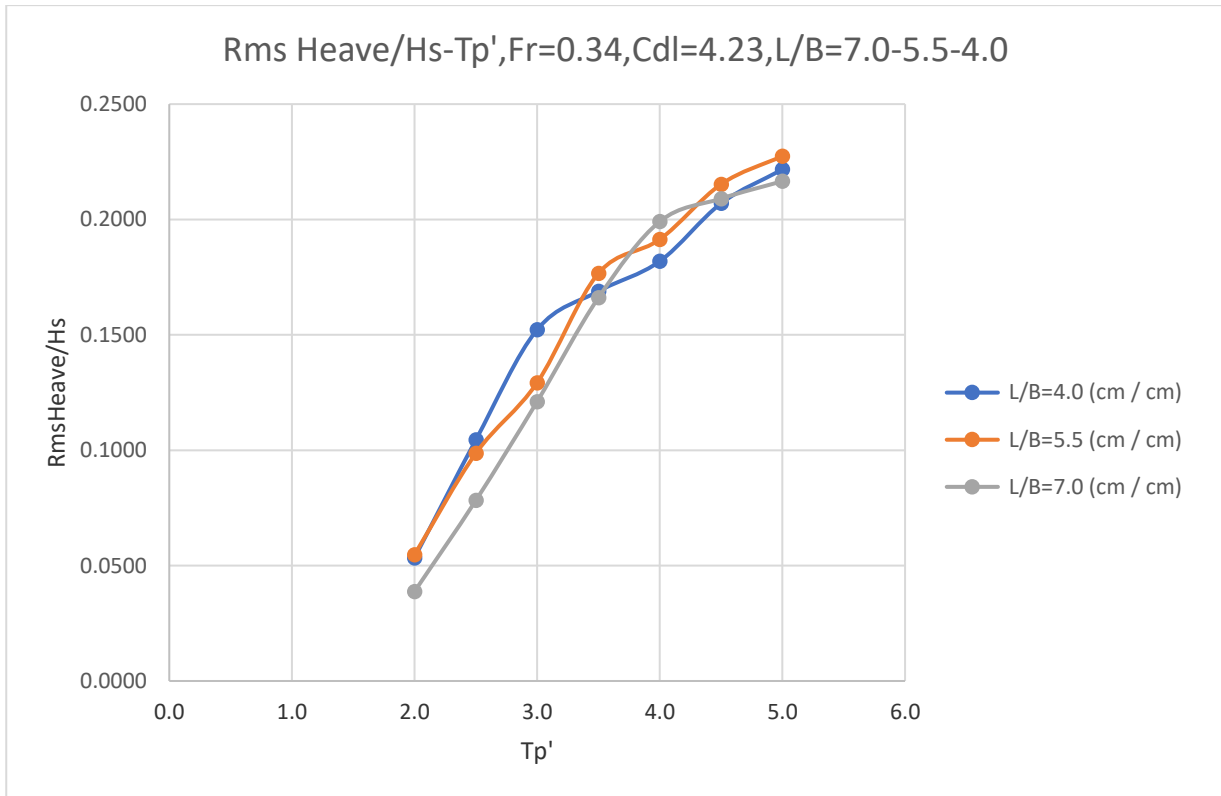
Διάγραμμα 5.112. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



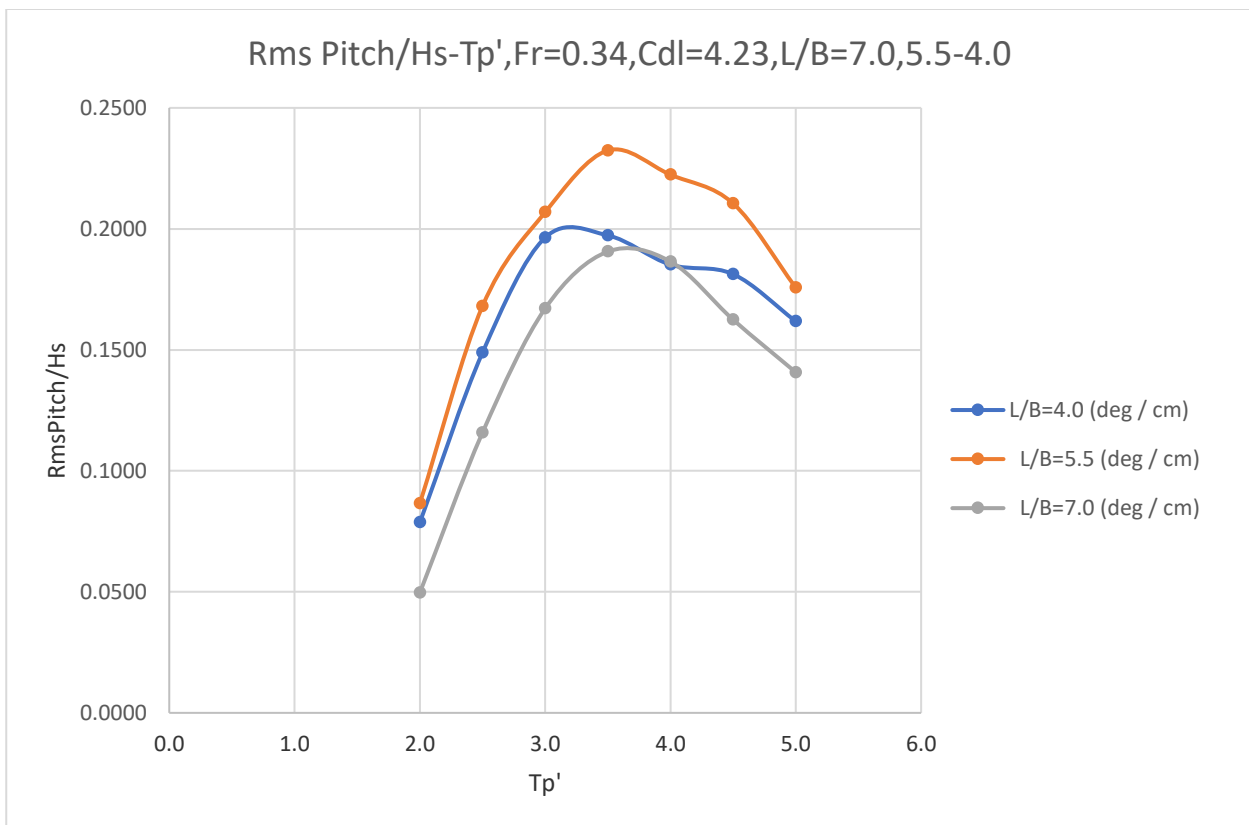
Διάγραμμα 5.113. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



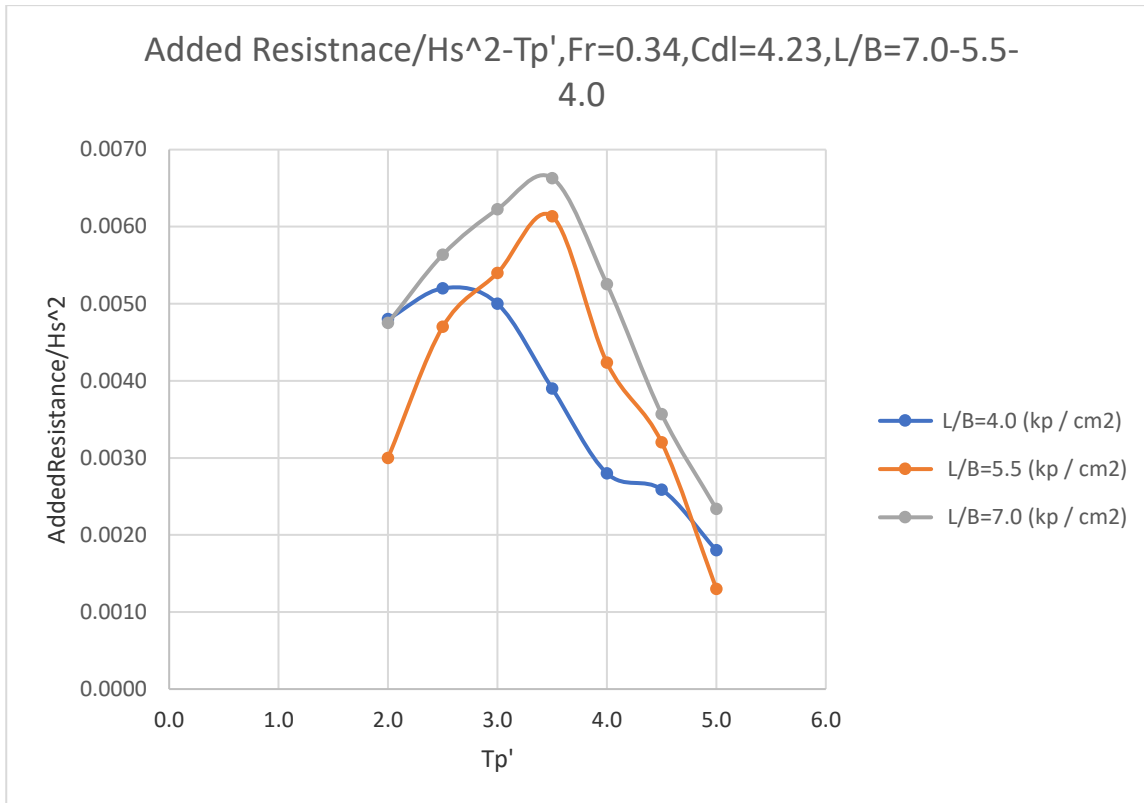
Διάγραμμα 5.114. Rms τιμές Κατακόρυφης κίνησης -Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος(cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



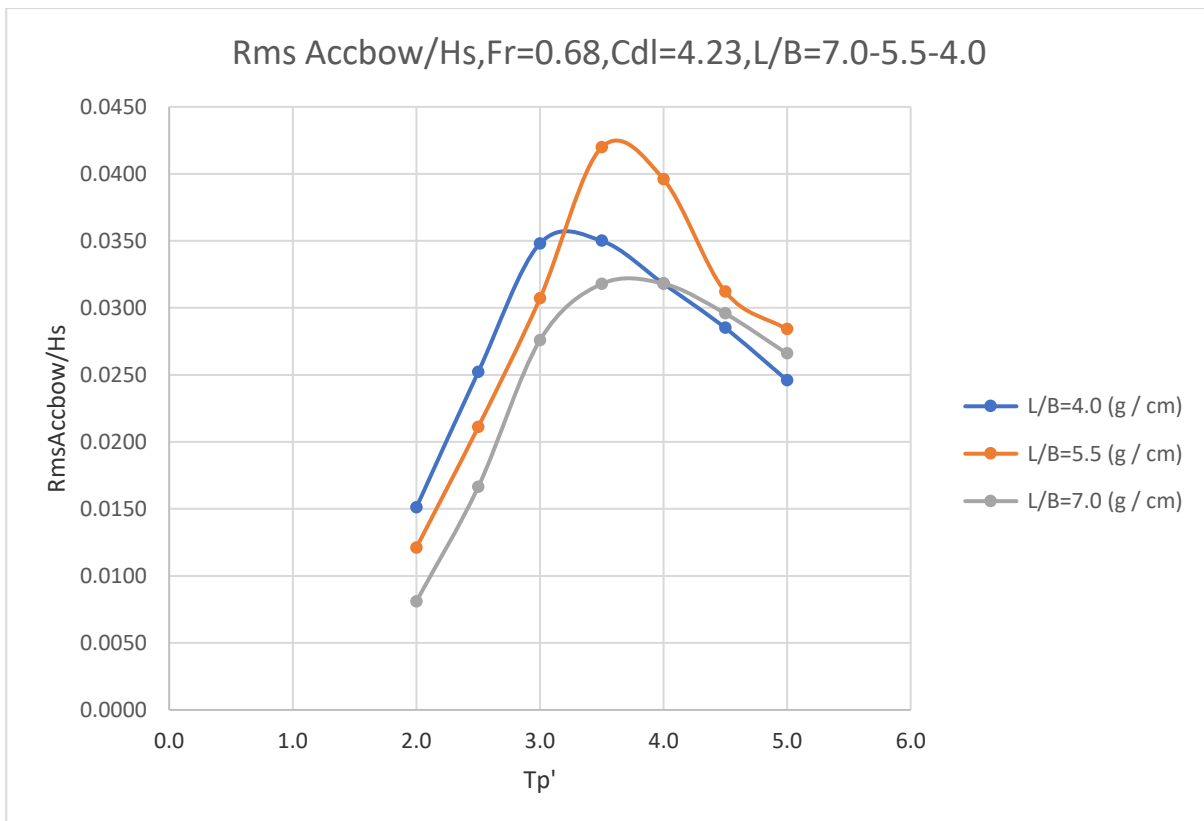
Διάγραμμα 5.115. Rms τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(deg/cm)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



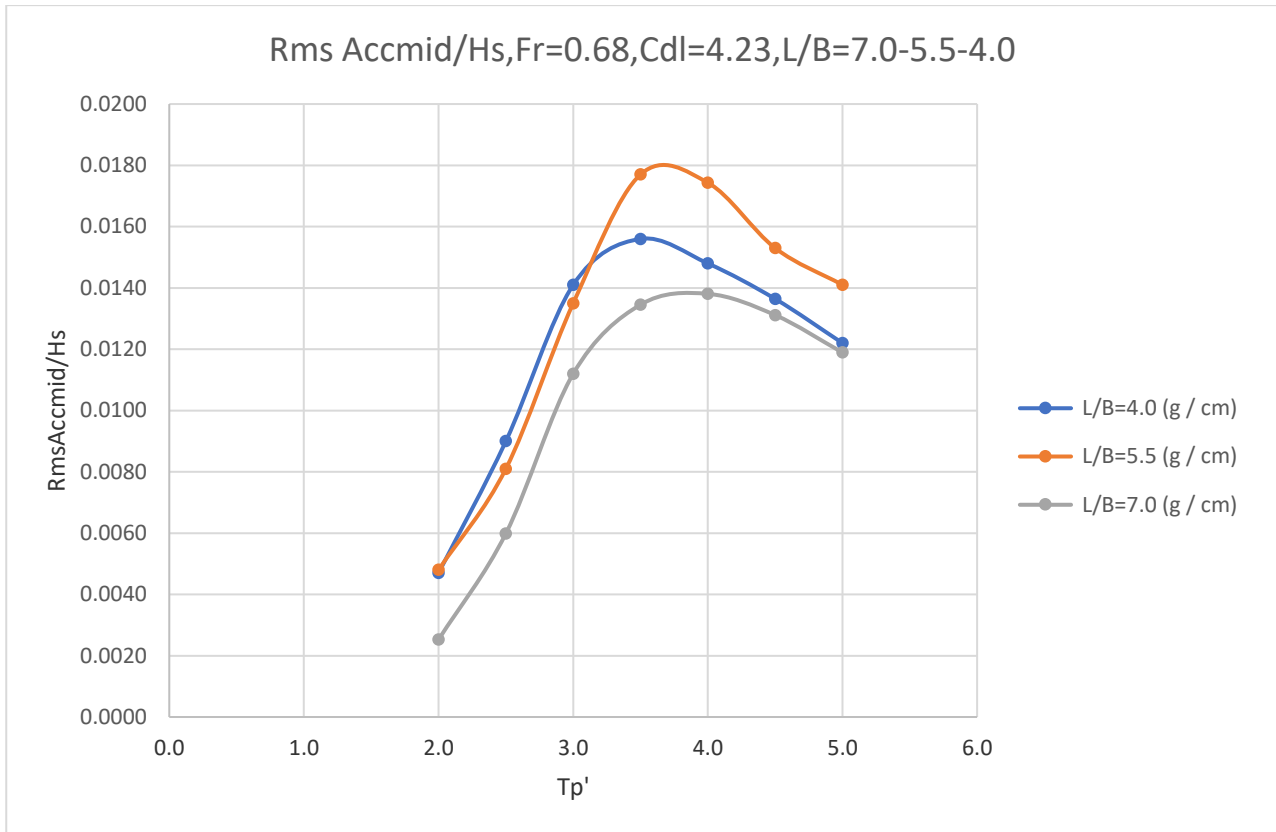
Διάγραμμα 5.116. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



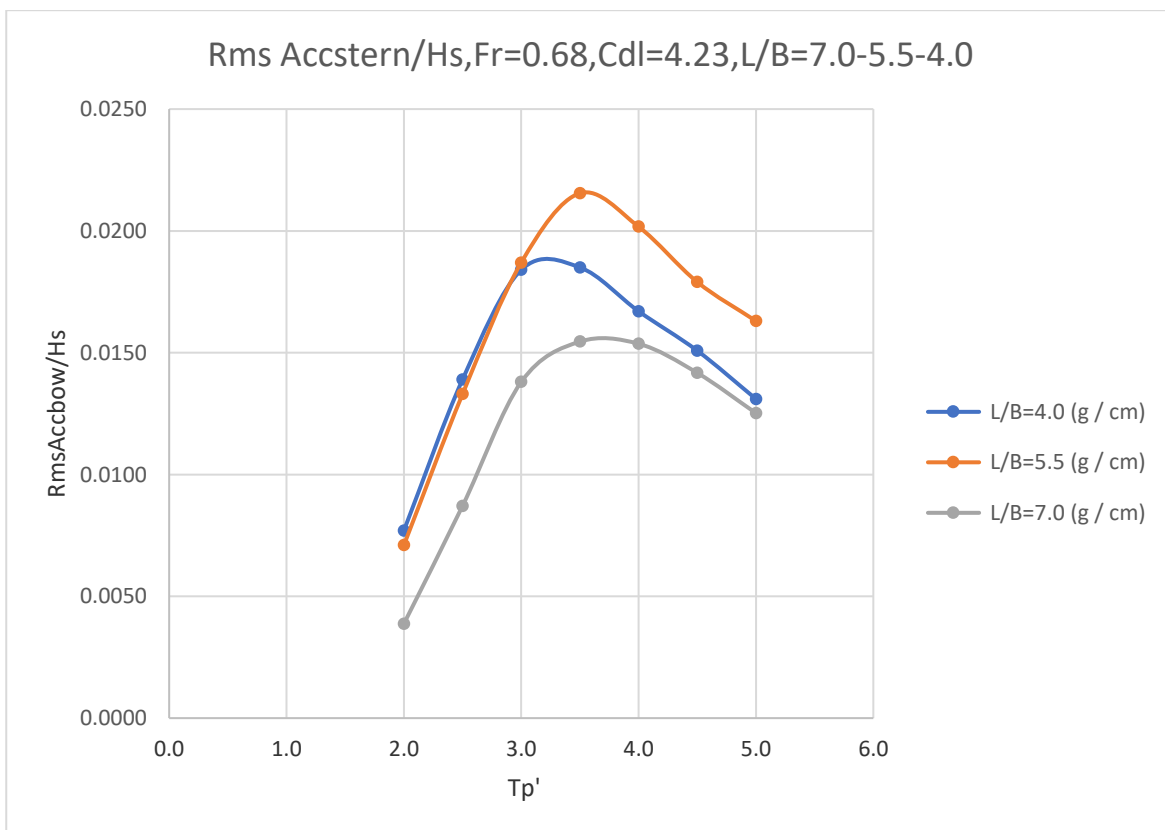
Διάγραμμα 5.117. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (g/cm), συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



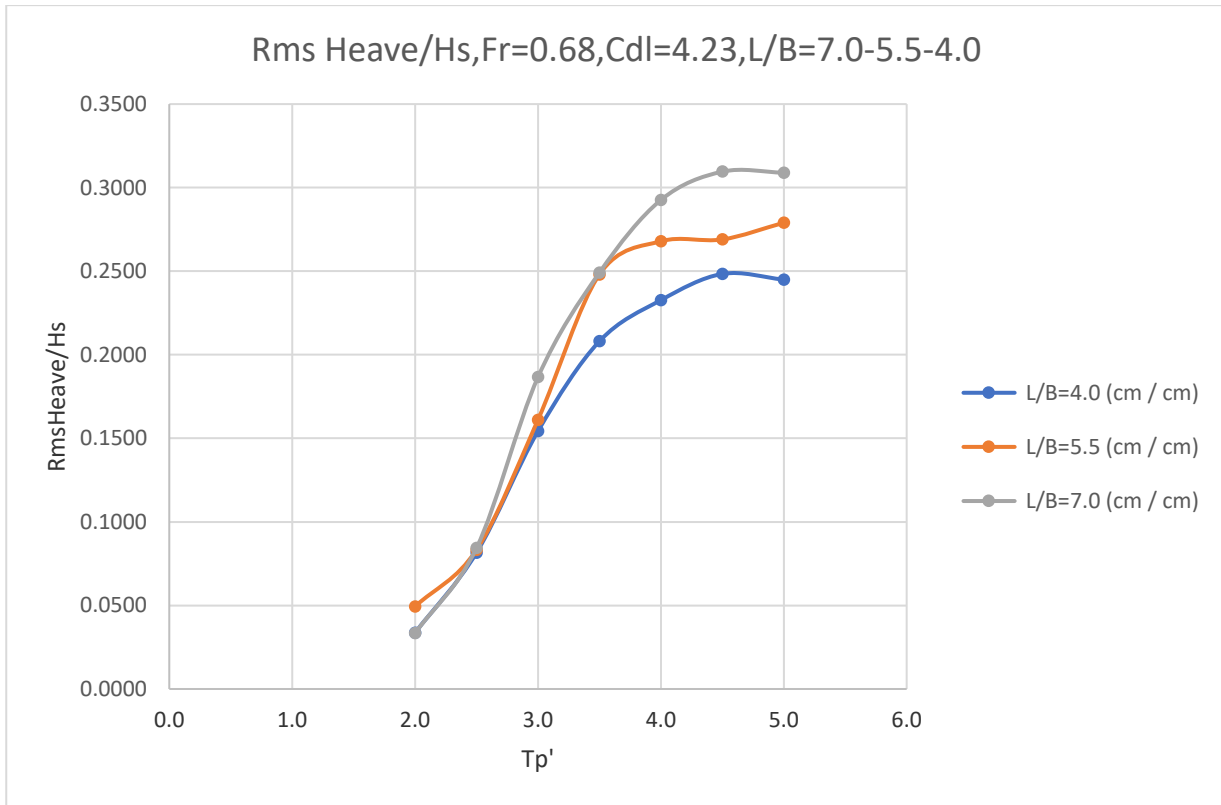
Διάγραμμα 5.118. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



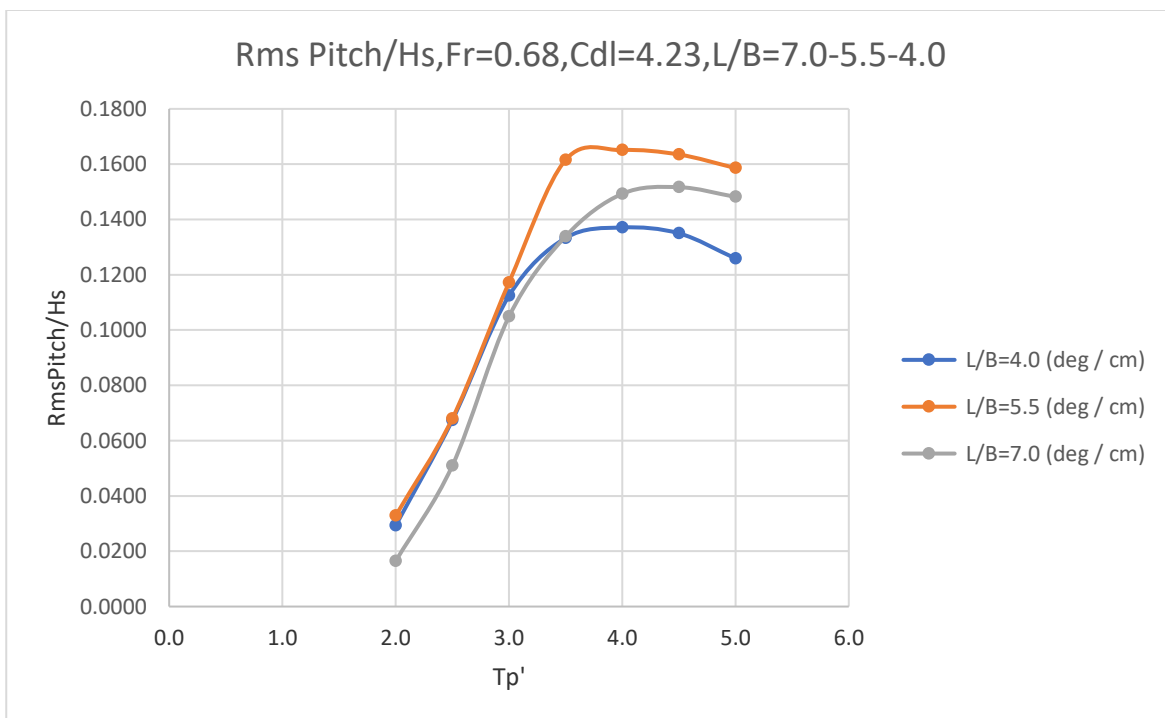
Διάγραμμα 5.119. RMS τιμές Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(g/cm)$, συναρτήσει τις αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



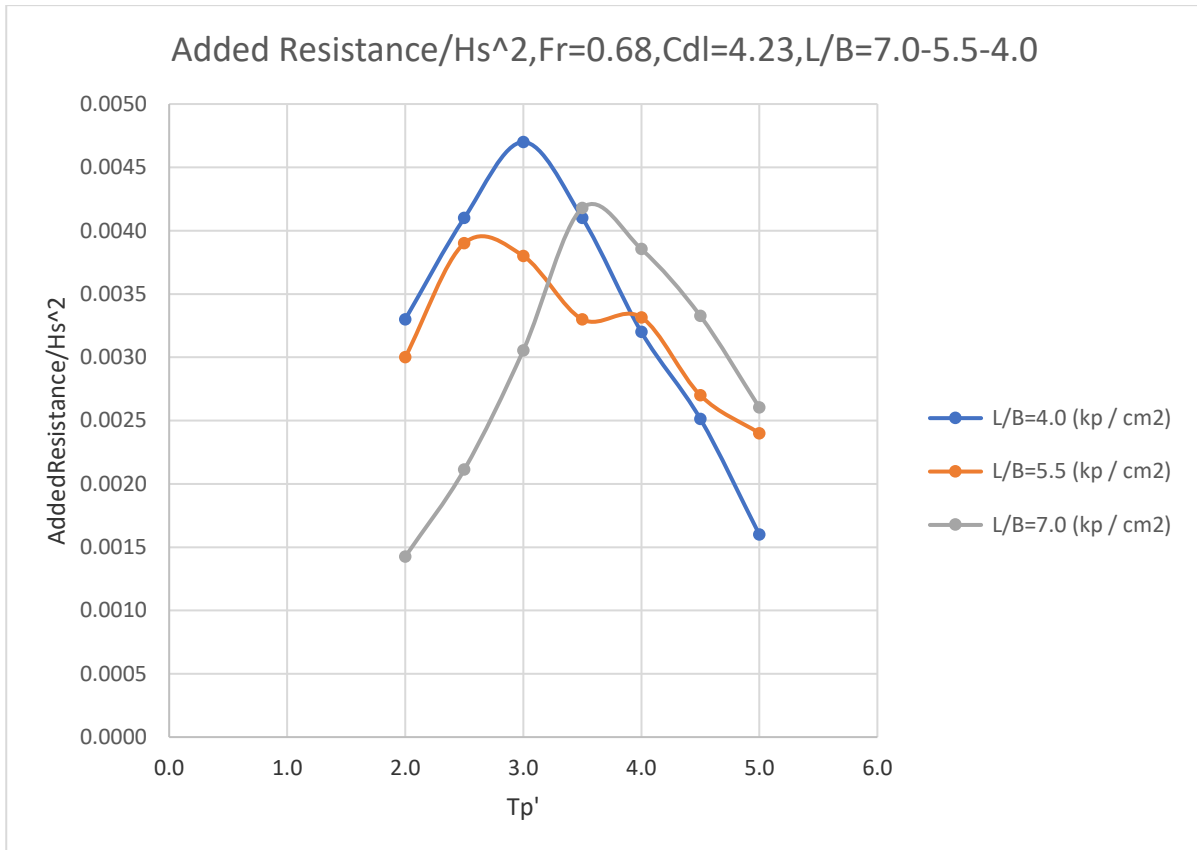
Διάγραμμα 5.120. Rms τιμές Κατακόρυφης κίνησης -Heave διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος(cm/cm), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



Διάγραμμα 5.121. Rms τιμές προνευτασμού-Pitch διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s(deg/cm)$, συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



Διάγραμμα 5.122. Τιμές πρόσθετης αντίστασης-Added Resistance διαιρεμένες με το σημαντικό ύψος κύματος H_s (kp/cm^2), συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής T_p'



Από τα διαγράμματα μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής για τα τρία πρότυπα στη μικρή ταχύτητα ($Fr=0.34$) :

- **Κατακόρυφη Επιτάχυνση Πλώρης(Acc Bow):**

Σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας, δηλαδή σε όλο το εύρος των αδιάστατων περιόδων το μοντέλο $L/B=7.0$ έχει μικρότερες αποκρίσεις των εγκάρσιων από τα άλλα δυο μοντέλα. Στην κατάσταση θάλασσας $Tr'=2.0$ οι αποκρίσεις των εγκάρσιων επιταχύνσεων και των δύο μοντέλων τείνουν να ταυτιστούν. Από $Tr'=2.0$ έως 3.0 οι αποκρίσεις του $L/B=4.0$ είναι ελαφρώς μεγαλύτερες, από $Tr'=3.5$ έως 5.0 οι αποκρίσεις του $L/B=5.5$ είναι μεγαλύτερες και στα $Tr'=4.5$ έως $Tr'=5.0$ τείνουν να ταυτιστούν. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης για το $L/B=4.0$ και για το $L/B=7.0$ παρουσιάζεται στο $Tr'=3.0$ ενώ για το $L/B=5.5$ στο $Tr'=3.5$.

- **Κατακόρυφη Επιτάχυνση στο Κέντρο Βάρους(Acc Middle):**

Εδώ παρατηρώ ότι η απόκριση της κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους είναι παντού μικρότερη για το μοντέλο με $L/B=7.0$. Στην κατάσταση θάλασσας $Tr'=2.0$ οι αποκρίσεις και των δύο μοντέλων τείνουν να ταυτιστούν. Από $Tr'=2.0$ έως 3.0 οι αποκρίσεις του $L/B=4.0$ είναι μεγαλύτερες, από $Tr'=3.5$ έως 4.0 οι αποκρίσεις του $L/B=5.5$ είναι ελαφρώς μεγαλύτερες, ενώ τείνουν να ταυτιστούν από $Tr'=4.0$ έως $Tr'=5.0$. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης του $L/B=4.0$ παρουσιάζεται στη $Tr'=3.0$, για το $L/B=5.5$ στη $Tr'=3.5$, ενώ για το $L/B=7.0$ στο $Tr'=3.5$.

- **Κατακόρυφη Επιτάχυνση Πρύμνης(Acc Stern):**

Σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας από $Tr'=2.0$ έως 5.0 οι αποκρίσεις του μοντέλου $L/B=5.5$ είναι μεγαλύτερες και του μοντέλου με $L/B=7.0$ οι μικρότερες. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης του $L/B=4.0$ παρουσιάζεται στο $Tr'=3.0$, του $L/B=7.0$ στο $Tr'=3.5$ ενώ για το $L/B=5.5$ στο $Tr'=3.5$.

- **Κατακόρυφη Επιτάχυνση(Heave):**

Στην κατάσταση θάλασσας $Tr'=2.0$ οι αποκρίσεις της κατακόρυφης κίνησης του μοντέλου $L/B=7.0$ είναι οι μικρότερες, ενώ των άλλων δύο τείνουν να ταυτιστούν. Από $Tr'=2.5$ έως 3.0 οι αποκρίσεις του $L/B=4.0$ είναι ελαφρώς μεγαλύτερες, ενώ στο $Tr'=3.5$ οι αποκρίσεις του $L/B=5.5$ είναι ελαφρώς μεγαλύτερες, στο $Tr'=4.0$ ελαφρώς μεγαλύτερες του $L/B=7.0$ και από $Tr'=4.5$ έως 5.0 ελαφρώς μεγαλύτερες του $L/B=5.5$. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης και των τριών μοντέλων παρουσιάζεται στο $Tr'=5.0$.

- **Προνευασμός(Pitch):**

Σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας από $Tr'=2.0$ έως 5.0 οι αποκρίσεις του μοντέλου $L/B=5.5$ είναι μεγαλύτερες και μικρότερες για το μοντέλο με $L/B=7.0$. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης και των τριών μοντέλων παρουσιάζεται στη $Tr'=3.5$.

- **Πρόσθετη Αντίσταση(Added Resistance):**

Όσον αφορά την πρόσθετη αντίσταση προκύπτει ότι το μοντέλο με $L/B=7.0$ έχει τη μεγαλύτερη πρόσθετη αντίσταση. Στις καταστάσεις θάλασσας από $Tr'=2.0$ έως 2.5 και στην $Tr'=5.0$ το μοντέλο $L/B=4.0$ παρουσιάζει μεγαλύτερη πρόσθετη αντίσταση. Στις καταστάσεις θάλασσας από $Tr'=3.0$ έως 4.5 το μοντέλο $L/B=5.5$ παρουσιάζει μεγαλύτερη πρόσθετη αντίσταση. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης του μοντέλου $L/B=4.0$ παρουσιάζεται στο $Tr'=2.5$, ενώ του $L/B=5.5$ και $L/B=7.0$ στο $Tr'=3.5$.

Από τα διαγράμματα μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής για τα τρία πρότυπα στη μικρή ταχύτητα ($Fr=0.68$) :

- **Κατακόρυφη Επιτάχυνση Πλώρης(Acc Bow):**

Στις καταστάσεις θάλασσας που αντιστοιχούν σε Tr' από 2.0 έως 3.5 το μοντέλο με $L/B=7.0$ παρουσιάζει τη μικρότερη απόκριση. Στις καταστάσεις θάλασσας από $Tr'=2.0$ έως 3.0 οι αποκρίσεις των εγκάρσιων επιταχύνσεων του μοντέλου $L/B=4.0$ είναι μεγαλύτερες. Ενώ από $Tr'=3.5$ έως 5.0 οι αποκρίσεις του $L/B=5.5$ είναι μεγαλύτερες. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης για το $L/B=4.0$ παρουσιάζεται στο $Tr'=3.0$, για το $L/B=5.5$ στη $Tr'=3.5$, ενώ για το $L/B=7.0$ στο $Tr'=4.0$.

- **Κατακόρυφη Επιτάχυνση στο Κέντρο Βάρους(Acc Middle):**

Παρατηρούμε ότι οι αποκρίσεις της κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους είναι παντού μικρότερη για το μοντέλο με $L/B=7.0$. Στην κατάσταση θάλασσας $Tr'=2.0$ οι αποκρίσεις και των δύο μοντέλων τείνουν να ταυτιστούν. Από $Tr'=2.0$ έως 3.0 οι αποκρίσεις του $L/B=4.0$ είναι ελαφρώς μεγαλύτερες, από $Tr'=3.5$ έως 5.0 οι αποκρίσεις του $L/B=5.5$ είναι μεγαλύτερες. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης του $L/B=4.0$ και του $L/B=5.5$ παρουσιάζεται στη $Tr'=3.5$, ενώ του $L/B=7.0$ στο $Tr'=4.0$.

- **Κατακόρυφη Επιτάχυνση Πρύμνης(Acc Stern):**

Παρατηρούμε ότι οι αποκρίσεις της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη είναι παντού μικρότερη για το μοντέλο με $L/B=7.0$. Στις καταστάσεις θάλασσας από $Tr'=2.0$ έως 3.0 οι αποκρίσεις και των δύο μοντέλων τείνουν να ταυτιστούν. Ενώ στις καταστάσεις θάλασσας από $Tr'=3.5$ έως 5.0 οι αποκρίσεις του $L/B=5.5$ είναι μεγαλύτερες. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης του $L/B=4.0$ και του $L/B=5.5$ και του $L/B=7.0$ παρουσιάζεται στη $Tr'=3.5$.

- **Κατακόρυφη Επιτάχυνση(Heave):**

Στην κατάσταση θάλασσας $Tr'=2.0$ οι αποκρίσεις της κατακόρυφης κίνησης του μοντέλου $L/B=5.5$ είναι μεγαλύτερες. Από $Tr'=2.5$ έως 3.0 οι αποκρίσεις και των τριών μοντέλων τείνουν να ταυτιστούν, ενώ από $Tr'=3.5$ έως 5.0 οι αποκρίσεις του $L/B=7.0$ είναι μεγαλύτερες και του $L/B=4.0$ μικρότερες. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης και του μοντέλου $L/B=4.0$ και $L/B=7.0$ παρουσιάζεται στη $Tr'=4.5$, ενώ του $L/B=5.5$ στη $Tr'=5.0$.

- **Προνευτασμός(Pitch):**

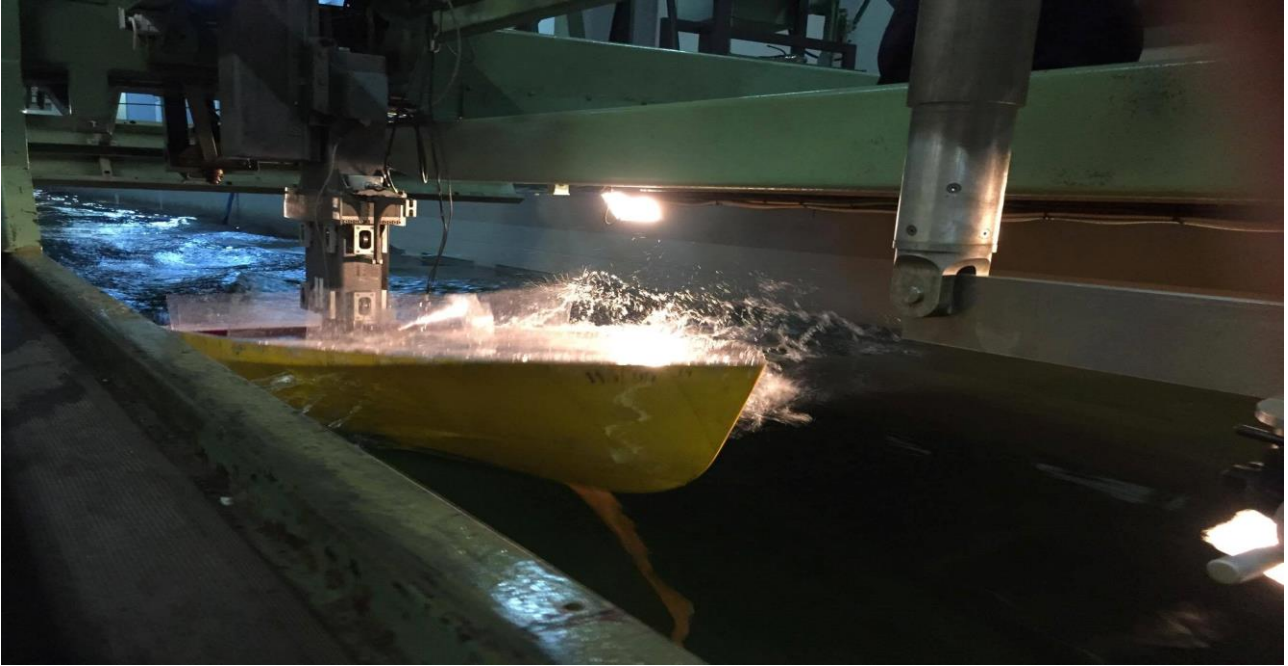
Στις καταστάσεις θάλασσας από $Tr'=2.0$ έως 3.0 οι αποκρίσεις και του μοντέλου με $L/B=7.0$ είναι οι μικρότερες, ενώ των άλλων δύο τείνουν να ταυτιστούν. Ενώ στις καταστάσεις θάλασσας από $Tr'=3.5$ έως 5.0 οι αποκρίσεις του $L/B=7.0$ είναι μεγαλύτερες. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης των μοντέλων με $L/B=5.5$ είναι στο $Tr'=2.0$, του $L/B=4.0$ παρουσιάζεται στο $Tr'=3.0$, ενώ για το $L/B=7.0$ στο $Tr'=3.5$.

- **Πρόσθετη Αντίσταση(Added Resistance):**

Παρατηρούμε ότι το μοντέλο με $L/B=7.0$ παρουσιάζει από $Tr'=2$ έως 3.0 παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές πρόσθετης αντίστασης. Στις καταστάσεις θάλασσας από $Tr'=2.0$ έως 3.5 το μοντέλο $L/B=4.0$ παρουσιάζει μεγαλύτερη πρόσθετη αντίσταση. Στις καταστάσεις θάλασσας από $Tr'=3.0$ έως 4.5 το μοντέλο $L/B=5.5$ παρουσιάζει μεγαλύτερη πρόσθετη αντίσταση, στη $Tr'=4.0$ οι αποκρίσεις και των δύο μοντέλων τείνουν να ταυτιστούν, ενώ από $Tr'=4.5$ έως 5.0 οι αποκρίσεις του $L/B=5.5$ είναι μεγαλύτερες. Τέλος, η μεγαλύτερη τιμή της απόκρισης του μοντέλου $L/B=4.0$ παρουσιάζεται στη $Tr'=3.0$, του $L/B=5.5$ στη $Tr'=2.5$, ενώ του $L/B=7.0$ στο $Tr'=3.5$.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Εικόνα 1: Μοντέλο 113/95 σε κίνηση.



Εικόνα 2: Μοντέλο 163/01 σε ηρεμία.



Εικόνα 3: Μοντέλο 097/94 σε κίνηση.



Εικόνα 4: Φορείο δεξαμενής



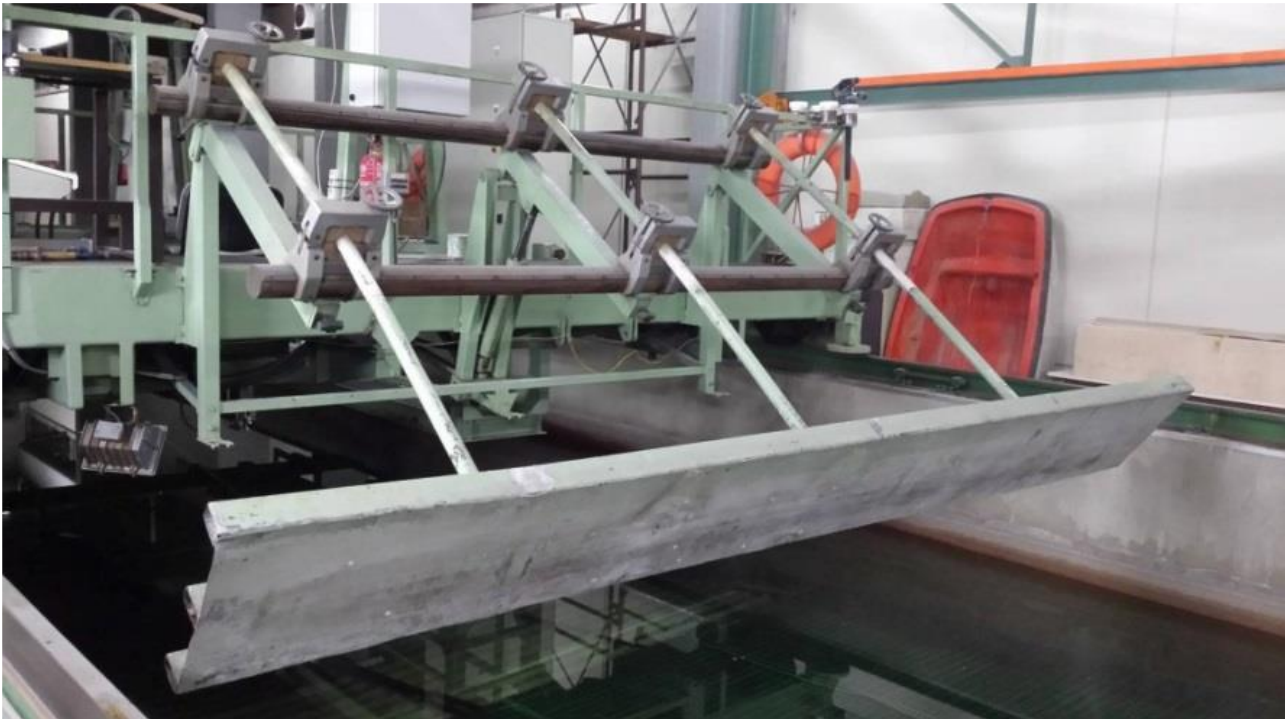
Εικόνα 5: Μοντέλο 113/95 δεμένο σε ιμάντες για την εύρεση της ακτίνας αδρανείας και περιόδου ιδιοταλάντωσης



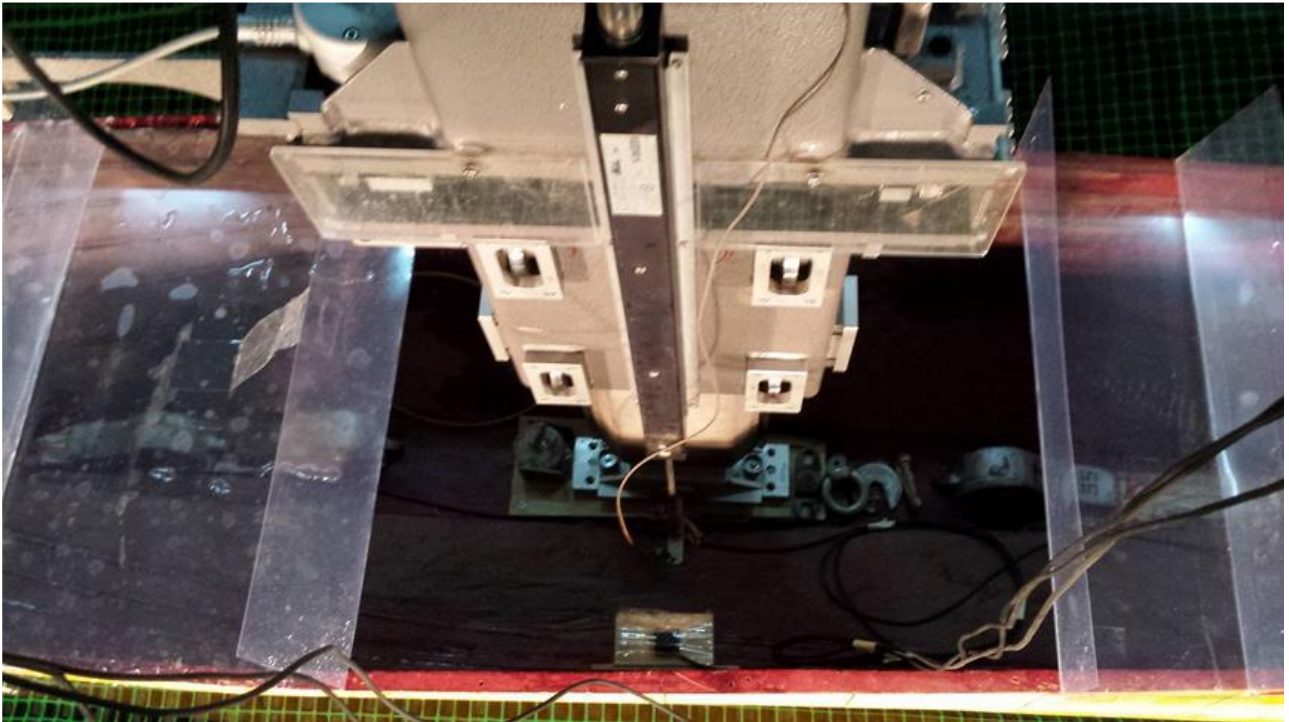
Εικόνα 6: Οι υπολογιστές επί του φορείου.



Εικόνα 7: Μηχανισμός απόσβεσης κυματισμών.



Εικόνα 8: Δυναμόμετρο R-47 στο οποίο είναι δεμένο το μοντέλο.



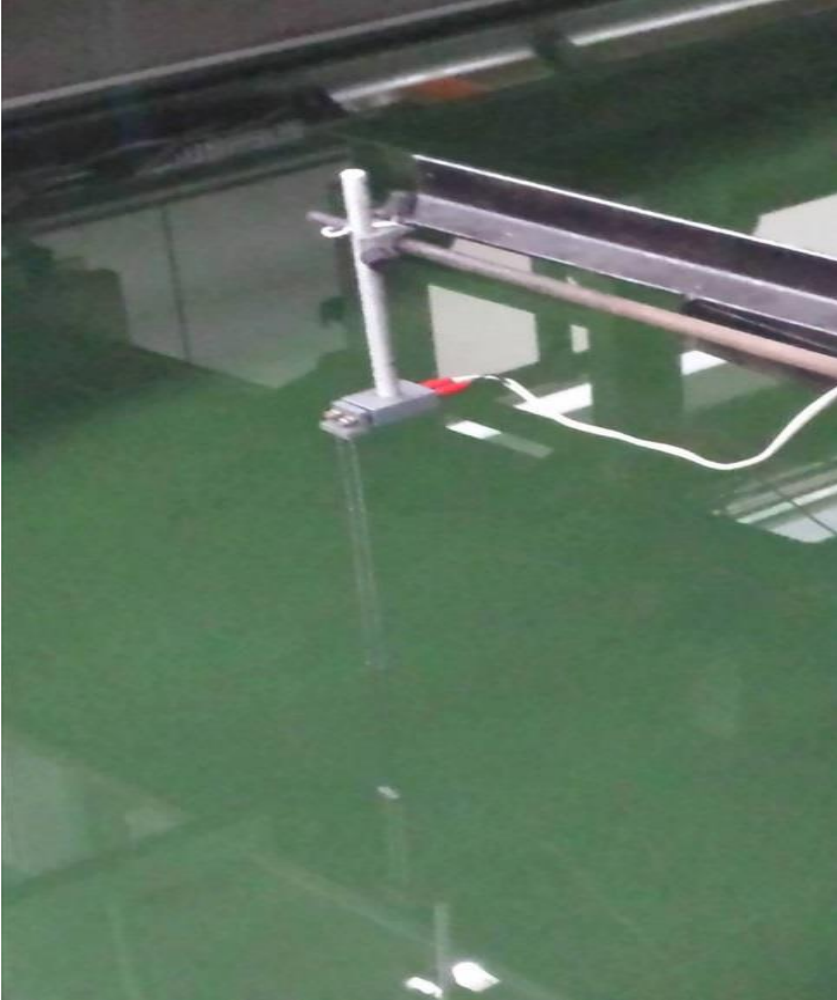
Εικόνα 9: Κλίμακα για τη βαθμονόμηση του Heave



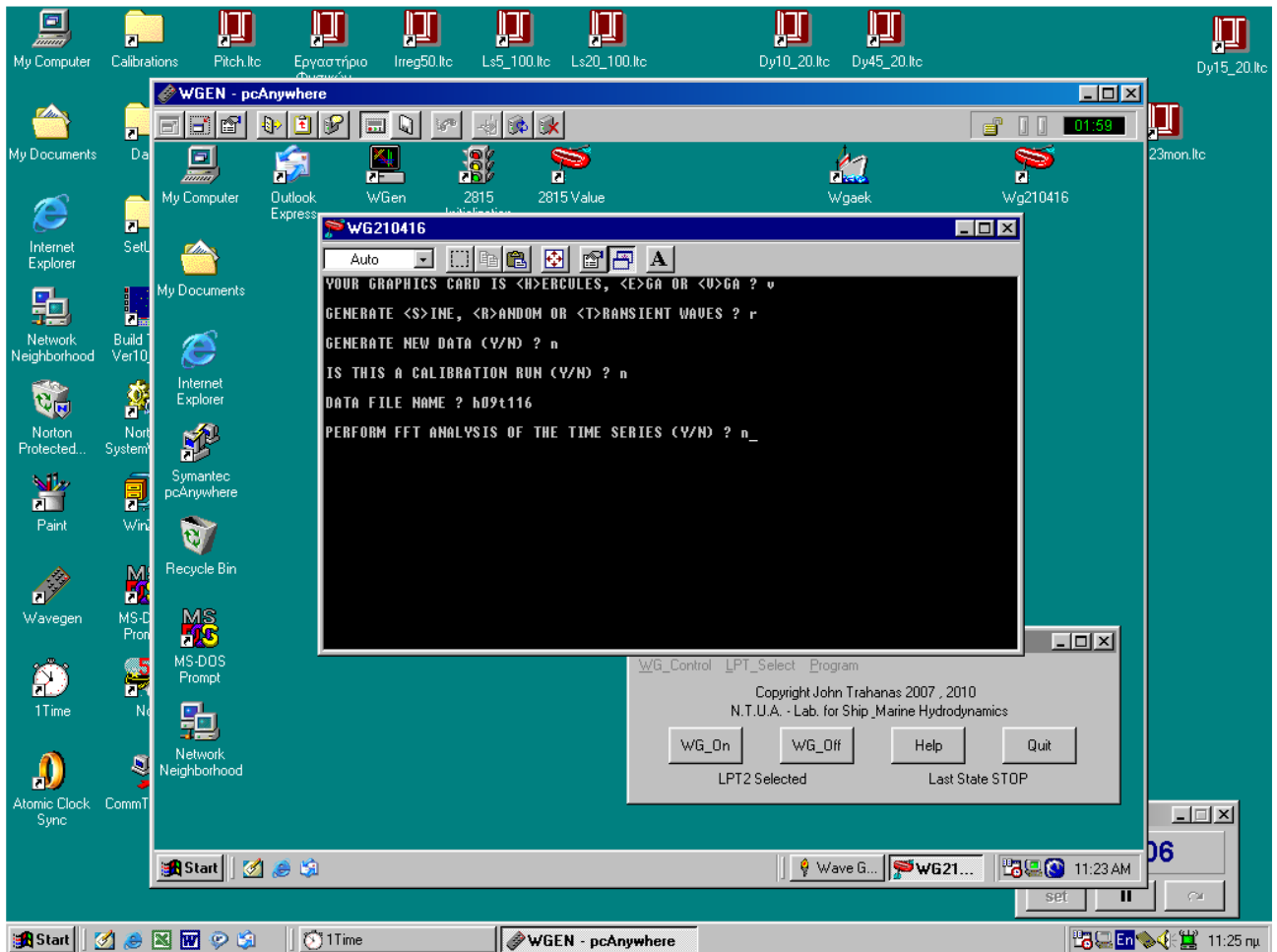
Εικόνα 10: Κλίμακα για τη βαθμονόμηση του Pitch.



Εικόνα 11: Ακίνητος αισθητήρας μέτρησης ύψους κύματος.



Εικόνα 12: Πρόγραμμα του υπολογιστή για τη δημιουργία κυματισμών.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Γρηγόρης Γρηγορόπουλος, “Δυναμική Συμπεριφορά πλοίων σε κυματισμούς – Σημειώσεις σπουδαστών ΔΠΜΣ”, Αθήνα 2004.
- 2) J.M. Lloyd, “Seakeeping: Ship behavior in rough weather”, Ellis Horwood Limited 1989.
- 3) Gregory Grigoropoulos, Dimitra Damala, Theodore Loukakis, “Dynamic Performance of the NTUA Double – Chine Series Hull Forms in Regular Waves”, Annapolis, Maryland March 2010.
- 4) Gregory Grigoropoulos, Dimitra Damala, “Dynamic Performance of the NTUA Double – Chine Series Hull Forms in Random Waves”, Honolulu, Hawaii, USA September 2011.
- 5) Daniel Savitsky, “On the subject of high – speed monohulls”, Athens, Greece October 2003.
- 6) Βασίλειος Τέφας, “Πειραματική και αριθμητική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς ταχύπλοων σκαφών με διπλή ακμή” - Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2009.
- 7) Σταύρος Αμπαβής, “Δυνατότητες δρομολόγησης μονόγαστρων πλοίων νέας τεχνολογίας στις ελληνικές θάλασσες” - Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 1999.
- 8) Γεώργιος Ρούσσο, “Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ταχύπλοων σκαφών διπλής ακμής σε κυματισμούς” - Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2007.
- 9) Γιάννης Μπαρτζιώτας, “Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ταχύπλοων σκαφών διπλής ακμής σε κυματισμούς” - Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2013.
- 10) Ι.Σκουντζούρης, “Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ταχύπλοων σκαφών διπλής ακμής σε κυματισμούς” - Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2012.
- 11) Χουντάλας, “Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ταχύπλοων σκαφών διπλής ακμής σε κυματισμούς” - Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2016.
- 11) Περδικάρη, “Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ταχύπλοων σκαφών διπλής ακμής σε κυματισμούς” - Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2006.