



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ
ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ
ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΓΑΣΤΡΩΝ ΜΕ ΔΙΠΛΗ ΑΚΜΗ**



Τέφας Βασίλειος
Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός

Αθήνα, 2009

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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ
ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ
ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΓΑΣΤΡΩΝ ΜΕ ΔΙΠΛΗ ΑΚΜΗ

Επιβλέπων Καθηγητής: **ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ Ι. ΓΡΗΓΟΡΗΣ**
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Τέφας Βασίλειος
Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός

Αθήνα, 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία έγινε προσπάθεια διερεύνησης της δυναμικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς (*seakeeping*) ταχυπλόων σκαφών με γάστρα διπλής ακμής, τόσο σε πειραματικό όσο και σε αναλυτικό επίπεδο. Τα μοντέλα υπο κλίμακα που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα ανήκουν στη *Συστηματική Σειρά Ταχυπλόων Σκαφών* του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.) και οι τυχαίοι κυματισμοί προσομοιώνουν πραγματικές καταστάσεις θάλασσας αντίστοιχες με αυτές που συναντώνται στις ελληνικές θάλασσες.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην Πειραματική Δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η διεξαγωγή αυτών απαιτεί πολύ χρόνο, υπομονή καθώς και ιδιαίτερη προσωπική χειρονακτική εργασία, αλλά έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον αφού είναι στα πλαίσια ολοκλήρωσης επιστημονικής έρευνας ετών. Πρέπει ακόμη να τονιστεί ότι η διεξαγωγή των πειραμάτων απαιτεί χρήση του εξειδικευμένου και πολύ ακριβού εξοπλισμού του εργαστηρίου γεγονός που επέβαλε τη μέγιστη προσοχή και συγκέντρωση. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί που είναι και αυτοί μια χρονοβόρα διαδικασία πραγματοποιήθηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με χρήση του κώδικα SWAN2.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της Διπλωματικής μου Εργασίας, κ. Γρηγορόπουλο Γρηγόριο τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την διεξαγωγή αυτών των σημαντικών πειραμάτων όσο και για την προθυμία και τη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της Εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διευθυντή της Πειραματικής Δεξαμενής, Καθηγητή Τζαμπίρα Γεώργιο καθώς και όλο το προσωπικό του εργαστηρίου, Τραχανά Ιωάννη, Συνετό Διονύση, Μυλωνά Γιώργο και Τριπερίνα Δημοσθένη, χωρίς τους οποίους δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση των πειραμάτων με επιτυχία και σε εύλογο χρόνο. Δεν θα μπορούσα ασφαλώς να παραλείψω την υποψήφια διδάκτορα Δαμάλα Δήμητρα, της οποίας η καθοδήγηση και βοήθεια ήταν καθοριστική για την περάτωση της εργασίας. Ιδιαίτερα θα ήθελα να αναφερθώ στον κ. Κασάπη Φώτη και να τον ευχαριστήσω θερμά για την καθοριστική συμβολή του στη διεξαγωγή των πειραμάτων, αφού με τις γνώσεις και την προθυμία του ξεπεράστηκαν όλα τα προβλήματα και τηρήθηκε το αυστηρό χρονοδιάγραμμα.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένειά μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου για την ευκαιρία που μου έδωσαν να φοιτήσω σε αυτή τη σχολή και για την αμέριστη συμπαράσταση και κατανόησή τους σε όλα τα στάδια των σπουδών μου, που ολοκληρώνονται με αυτήν την Διπλωματική Εργασία. Οφείλω ακόμη ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου και όσους στάθηκαν δίπλα μου.

Ως ένδειξη ευγνωμοσύνης η εργασία αυτή αφιερώνεται σε όλους εσάς που προανέφερα.

Τέφας Βασίλειος
Αθήνα, Φεβρουάριος 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|----|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 1 |
| 1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ..... | 4 |
| 1.1. Γενικά..... | 4 |
| 1.2. Είδη κινήσεων..... | 4 |
| 1.3. Βασική Θεωρία Κυματισμών..... | 4 |
| 1.3.1. Γενικά..... | 4 |
| 1.3.2. Αρμονικοί Κυματισμοί (Regular Waves)..... | 5 |
| 1.3.3. Τυχαίοι Κυματισμοί (Random Waves)..... | 6 |
| 1.4. Θεωρία Λωρίδων..... | 8 |
| 1.5. Κώδικας SWAN2..... | 10 |
| 2. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ..... | 12 |
| 2.1. Επίδραση της ταχύτητας στη δυναμική συμπεριφορά ενός ταχύπλοου σκάφους..... | 12 |
| 2.2. Παράμετροι Σχεδίασης ταχύπλοων σκαφών που επιδρούν στην δυναμική τους συμπεριφορά..... | 13 |
| 2.3. Δυναμική συμπεριφορά και λειτουργία πλοίου..... | 14 |
| 2.4. Αξιολόγηση δυναμικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς..... | 15 |
| 2.4.1. Μεθοδολογίες αξιολόγησης..... | 15 |
| 2.4.2. Κριτήρια δυναμικής συμπεριφοράς γενικής εφαρμογής..... | 16 |
| 2.4.3. Κριτήρια απόδοσης προσωπικού-άνεσης επιβατών-ναυτίας..... | 18 |
| 2.4.4. Κριτήρια Μείωσης Ταχύτητας..... | 19 |
| 3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ Ε.Μ.Π. - ΠΡΟΤΥΠΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ..... | 20 |
| 3.1. Γενικά περί Συστηματικών Σειρών..... | 20 |
| 3.2. Συστηματική Σειρά NTUA..... | 22 |
| 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ..... | 27 |
| 4.1. Αντικείμενο Πειραματικών Δοκιμών..... | 27 |
| 4.2. Στάδια Πειραματικής Διαδικασίας..... | 30 |
| 4.2.1. Προετοιμασία προτύπου..... | 30 |
| 4.2.2. Αποφόρτιση..... | 33 |
| 4.2.3. Όργανα μέτρησης και βαθμονόμηση (Callibration)..... | 34 |
| 4.2.4. Τρόπος Διεξαγωγής Πειραμάτων..... | 35 |
| 4.3. Επεξεργασία αποτελεσμάτων..... | 36 |
| 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕ ΤΥΧΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ..... | 39 |
| 5.1. Γενικά..... | 39 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.2. | Διαγράμματα αποτελεσμάτων πειραμάτων σε τυχαίους κυματισμούς..... | 40 |
| 5.3. | Σύγκριση-σχολιασμός αποτελεσμάτων..... | 83 |
| 5.3.1. | Η επίδραση του λόγου μήκος προς πλάτος | 84 |
| 5.3.2. | Η επίδραση της ταχύτητας..... | 100 |
| 5.3.3. | Η επίδραση του εκτοπίσματος..... | 114 |
| 6. | ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 122 |
| 6.1. | Χρήση του κώδικα SWAN2..... | 122 |
| 6.2. | Υπολογισμός δυναμικής ανύψωσης και δυναμικής διαγωγής (Sinkage, Trim)..... | 124 |
| 6.3. | Υπολογισμός αποκρίσεων σε αρμονικούς κυματισμούς | 125 |
| 6.4. | Υπολογισμός rms τιμών της κατακόρυφης κίνησης και του προνευτασμού..... | 130 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 135 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ..... | 136 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός πλοίου σε θαλάσσιους κυματισμούς κατά τη μελέτη-σχεδιάσή του, κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να καθοριστούν ή/και να βελτιωθούν τα όρια λειτουργίας του, σχετικά με την αντοχή της κατασκευής, την ασφάλεια πλεύσης, τη διατήρηση της υπηρεσιακής ταχύτητας, την άνεση των επιβαινόντων, τη σωστή λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού και των οργάνων που είναι εξοπλισμένο κ.α..

Η προαναφερθείσα δυναμική συμπεριφορά ενός πλοίου σε κυματισμένη θάλασσα (*Seakeeping*) εξετάζει ακριβώς την ικανότητα ενός πλοίου να πλέει με άνεση και χωρίς ιδιαίτερη καταπόνηση στο θαλάσσιο περιβάλλον με κυματισμούς και συνίσταται στην ανάλυση των χαρακτηριστικών κινήσεων και της πρόσθετης αντίστασης σε κυματισμούς. Αυτό ακριβώς είναι και το αντικείμενο της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας. Η διερεύνηση έγινε για δύο μοντέλα της συστηματικής σειράς NTUA που έχει αναπτυχθεί από το Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με λόγο μήκους προς πλάτος $L/B = 4.0$ και $L/B = 5.5$.

Οι τρόποι διερεύνησης της συμπεριφοράς σε κυματισμούς είναι δύο. Πρώτον πειραματικά με διεξαγωγή πειραμάτων σε πρότυπα στη δεξαμενή δοκιμών και δεύτερον αναλυτικά με τη χρήση προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τόσο οι αναλυτικοί υπολογισμοί όσο και τα πειράματα πραγματοποιούνται σε αρμονικούς και ψευδοτυχαίους κυματισμούς.

Τα πειράματα δυναμικής συμπεριφοράς σε τυχαίους κυματισμούς πραγματοποιούνται για την αποτίμηση της συμπεριφοράς του πλοίου σε συγκεκριμένες καταστάσεις θάλασσας, με γνωστό φάσμα ενέργειας που δημιουργείται στη δεξαμενή με τη βοήθεια ειδικού προγράμματος. Οι δοκιμές πραγματοποιούνται σε ταχύτητες που ενδιαφέρουν το μελετητή και σχετίζονται με την κατάσταση λειτουργίας του πλοίου, στην προκειμένη περίπτωση έγιναν στις δύο ταχύτητες της σειράς, δηλαδή $F_n=0.34$ και $F_n=68$. Τα μεγέθη που καταγράφονται κατά τη διάρκεια των πειραμάτων είναι αυτά της κατακόρυφης κίνησης, της πρόνευσης, της αντίστασης και της κατακόρυφης επιτάχυνσης σε τρία σημεία, πωραία και πρυμναία κάθετος και στη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους. Το μέγεθος της πρόσθετης αντίστασης που ενδιαφέρει προκύπτει με την αφαίρεση της αντίστασης σε ήρεμο νερό από τη συνολική αντίσταση που μετράτε στο πείραμα. Με κατάλληλη σύνθεση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων μπορούν να προκύψουν χρήσιμα στατιστικά μεγέθη και στοιχεία για την απόκριση του σκάφους στους κυματισμούς. Τα τελευταία με κατάλληλη αδιαστατοποίηση γίνονται άμεσα συγκρίσιμα παρέχοντας πολύτιμα συμπεράσματα.

Τέλος η αναλυτική διερεύνηση βασίζεται σε υπολογιστικούς κώδικες, όπως το πρόγραμμα SWAN2 που χρησιμοποιείται στη παρούσα εργασία. Το πρόγραμμα βασίζεται σε κάποιες τιμές εισόδου (inputs) τις οποίες επεξεργάζεται και υπολογίζει κάποιες τιμές εξόδου (outputs) που είναι και οι ζητούμενες για τον χρήστη. Τα αποτελέσματα αφού υποστούν κάποια απαραίτητη επεξεργασία συγκρίνονται με τα αντίστοιχα πειραματικά.

Ακολουθεί ονοματολογία συμβόλων που εμφανίζονται μέσα στην εργασία αυτή, καθώς και οι σχέσεις αναλογίας των μεγεθών σε πραγματική κλίμακα (full scale: δείκτης s) και σε κλίμακα μοντέλου (model scale: δείκτης m).

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

| | |
|-----------------|---|
| L_{OA} | ολικό μήκος [m] |
| L_{WL} | μήκος ισάλου [m] |
| B | μέσο πλάτος στην άνω ακμή [m] |
| Δ | εκτόπισμα [tn] |
| ∇ | όγκος εκτοπίσματος [m ³] |
| LCG | διαμήκης θέση κέντρου βάρους από μέση τομή, θετική πρόραθεν[m] |
| L/B | λόγος ολικού μήκους προς μέγιστο πλάτος [-] |
| F_n | $= \frac{V}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}}$, αριθμός Froude [-] |
| C_{DL} | $= \frac{\nabla}{(0.1 \cdot L_{WL})^3}$, συντελεστής εκτοπίσματος [-] |
| WS | βρεχόμενη επιφάνεια [m ²] |
| V | ταχύτητα [m/sec] |
| T | μέσο βύθισμα [m] |
| t | δυναμική διαγωγή, έμπρορη ή έμπρυμνη [m] |
| ρ | πυκνότητα νερού [kg/m ³] |
| g | = 9.81 m/sec ² , επιτάχυνση της βαρύτητας |
| T_p | $= \frac{2 \cdot \pi}{\omega_p}$, περίοδος κορυφής κύματος [sec] |
| T_p' | $= \frac{T_p}{\sqrt{L_{BP}/g}}$, αδιάστατη περίοδος [-] |
| $H_s = H^{1/3}$ | σημαντικό ύψος κύματος [m] |
| λ | μήκος κύματος [m] |
| k | κυματικός αριθμός |
| ω | κυκλική συχνότητα [rad/sec] |
| f | συχνότητα [Hz] |
| $S(f)$ | συνάρτηση πυκνότητας φάσματος (συναρτήσει της συχνότητας) |
| $S(\omega)$ | συνάρτηση πυκνότητας φάσματος (συναρτήσει της κυκλικής συχνότητας) |
| m_0 | = rms (root mean square), η μέση τετραγωνική τιμή |
| RAO | = συντελεστής απόκρισης (Response Amplitude Operator) που ισούται με το πηλίκο του πλάτους απόκρισης προς το πλάτος της διέγερσης |

ΣΧΕΣΕΙΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ

Scale $\lambda = \frac{L_s}{L_m}$

Froude Number $\frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} = \frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}}$

Ταχύτητα $\frac{V_s}{V_m} = \sqrt{\lambda}$

Επιταχύνσεις $Acc_s = Acc_m$

Εκτόπισμα $\frac{\Delta_s}{\Delta_m} = \lambda^3 \cdot 1,025$

Χρόνος $\frac{T_s}{T_m} = \sqrt{\lambda}$

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1. Γενικά

Στο θεωρητικό μέρος της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας δίνονται κάποια στοιχεία και λεπτομέρειες για το είδος των δυναμικών αποκρίσεων ενός σκάφους στο θαλάσσιο περιβάλλον, για το είδος των κυμάτων που εμφανίζονται στη θάλασσα καθώς και το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο έχουν όλα αυτά βασιστεί.

1.2. Είδη κινήσεων

Η δυναμική συμπεριφορά των ταχύπλων σκαφών σε κυματισμούς αποτελεί ένα αρκετά σύνθετο και πολύπλοκο φαινόμενο και αυτό διότι το σκάφος έχει 6 βαθμούς ελευθερίας κινήσεων με αποτέλεσμα οι διεγείρουσες δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό λόγω των κυματισμών να το εξαναγκάζουν σε πολλά είδη κινήσεων ταυτοχρόνως. Οι βαθμοί αυτοί ελευθερίας $\xi_i = \xi_i(t)$, $i=1 \dots 6$, παρουσιάζονται παρακάτω με τη ναυπηγική τους ονοματολογία τόσο στα ελληνικά όσο και στα αγγλικά :

| Κίνηση | Ονομασία | |
|---------|---|-------|
| ξ_1 | Διαμήκης οριζόντια ταλάντωση | Surge |
| ξ_2 | Εγκάρσια οριζόντια ταλάντωση | Sway |
| ξ_3 | Κατακόρυφη ταλάντωση | Heave |
| ξ_4 | Ταλάντωση περί τον διαμήκη άξονα - Διατοιχισμός | Roll |
| ξ_5 | Ταλάντωση περί τον εγκάρσιο άξονα - Πρόνευση | Pitch |
| ξ_6 | Ταλάντωση περί τον κατακόρυφο άξονα | Yaw |

Οι κινήσεις που εξετάζονται κατά την πλεύση σε μετωπικούς κυματισμούς για την αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός σκάφους είναι το Pitch και το Heave. Αυτό συμβαίνει, διότι οι τιμές αυτών των κινήσεων επιδρούν σημαντικά τόσο στις κατακόρυφες επιταχύνσεις κατά μήκος του πλοίου όσο και σε τυχαία συμβάντα (φαινόμενα σφυρόκρουσης, μετακίνηση φορτίου, ανάδυση έλικας, έλλειψη ευστάθειας, κακή πηδαλιουχία, διαβροχή καταστρώματος κ.ά.) που με τη σειρά τους επηρεάζουν την άνεση των επιβατών.

1.3. Βασική Θεωρία Κυματισμών

1.3.1. Γενικά

Οι κυματισμοί της θάλασσας, που είναι υπεύθυνοι για τη διέγερση της δυναμικής συμπεριφοράς των πλοίων, δημιουργούνται από τον άνεμο. Το μέγεθος των κυματισμών, η διεύθυνση μετάδοσής τους καθώς και η συνάρτηση πυκνότητας φάσματος (spectral density function or power spectrum) εξαρτώνται από τους εξής παράγοντες:

- την ταχύτητα του διεγείροντος ανέμου (wind speed)
- τη διάρκεια πνοής του διεγείροντος ανέμου (wind duration)

- την ελεύθερη έκταση της επιφάνειας της θάλασσας πάνω στην οποία μπορούν να αναπτυχθούν κυματισμοί (wave fetch)

Ο μηχανισμός παραγωγής κυμάτων ανέμου καθώς και η αποτύπωση του πλήρους φάσματος ενός τέτοιου κυματισμού είναι κάτι το εξαιρετικά δύσκολο και περίπλοκο, καθώς η μορφολογία της επιφάνειας της θάλασσας στην οποία κινούνται τα διάφορα σκάφη χαρακτηρίζεται από μεγάλη αταξία και αστάθεια ως προς το είδος των κυμάτων. Αν δοκιμάσει κανείς να καταγράψει τα θαλάσσια κύματα θα παρατηρήσει ακανόνιστη και κυρίως *τυχαία* αλληλουχία κορυφών και κοιλάδων.

Έτσι, ο μόνος γνωστός τρόπος πλήρους στατιστικής περιγραφής αυτών των τυχαίων διεγέρσεων, εφόσον μία ντερτεμινιστική διαδικασία αποκλείεται, είναι η θεωρία στοχαστικών διαδικασιών που προέκυψε ως επέκταση της θεωρίας των πιθανοτήτων. Σε αυτό το κλίμα λοιπόν έχουν διατυπωθεί και αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα μελέτης αυτών των τυχαίων κυματισμών τα οποία βασίζονται στους αρμονικούς κυματισμούς. Τα βασικά χαρακτηριστικά των μοντέλων αυτών αναλύονται παρακάτω.

Πριν από την ανάλυση αυτή όμως υπενθυμίζονται οι συμβολισμοί που θα χρησιμοποιηθούν στην ενότητα αυτή:

| | |
|-------------|---|
| $S(\omega)$ | : συνάρτηση πυκνότητας φάσματος ή φάσμα ισχύος |
| ω_p | : κυκλική συχνότητα κορυφής ενός φάσματος |
| $H^{1/3}$ | : σημαντικό ύψος κύματος που είναι η μέση τιμή του 1/3 των μεγαλύτερων υψών κύματος |
| f | : συχνότητα κύματος |
| ζ_a | : πλάτος κύματος |
| T | : περίοδος κύματος |
| λ | : μήκος κύματος |
| k | : κυματικός αριθμός |
| C | : ταχύτητα κορυφής κύματος ή φασική ταχύτητα |
| T_p | : περίοδος που αντιστοιχεί στην κορυφή του φάσματος ($T_p = 2\pi/\omega_p$) |
| m_o | : η μέση τετραγωνική τιμή ή <i>rms</i> (root mean square) |

1.3.2. Αρμονικοί Κυματισμοί (Regular Waves)

Ένας αρμονικός κυματισμός μπορεί να περιγραφεί από την περίοδο T , τη συχνότητα f , το μήκος κύματος λ και το ύψος κύματος H .

Για την συχνότητα και την περίοδο ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις :

$$f = \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \pi \cdot \lambda}} \quad [\text{Hz}]$$

$$T = \frac{1}{f} \quad [\text{sec}]$$

Ακόμη, θεωρώντας το σύστημα μοντέλο-πλοίο γραμμικό, το πηλίκο του πλάτους της απόκρισης X σε αρμονικούς κυματισμούς ως προς το πλάτος της ανύψωσης ζ_a των κυματισμών αποτελεί τη συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος R_X .

Ειδικότερα εάν η απόκριση του πλοίου εκφράζεται ως εξής :

$$X = X_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_\chi)$$

τότε η συνάρτηση μεταφοράς είναι :

$$R_x = \frac{X_a(\omega)}{\zeta_\alpha(\omega)}$$

Η αδιαστατοποίηση των πειραματικών αποτελεσμάτων γίνεται με τη χρήση των συντελεστών απόκρισης RAO (Response Amplitude Operators) σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$RAO_{heave} = \frac{\xi_o}{\zeta_o}$$

$$RAO_{pitch} = \frac{\lambda \cdot \theta}{360 \cdot \zeta_o}$$

$$RAO_{accel} = \frac{L_{WL} \cdot \alpha}{\zeta_o \cdot g}$$

όπου,

- ξ_o : πλάτος κατακόρυφης απόκρισης
- ζ_o : πλάτος ανύψωσης κυματισμού
- λ : μήκος κύματος
- θ : πλάτος δυναμικής διαγωγής
- α : πλάτος επιταχύνσεων
- g : επιτάχυνση της βαρύτητας

1.3.3. Τυχαίοι Κυματισμοί (Random Waves)

Προκειμένου να μελετηθούν οι κυματισμοί αυτοί, προσομοιώνονται στη βραχυχρόνια θεώρηση με στάσιμες και κανονικές στοχαστικές διαδικασίες.

Το μοντέλο που χρησιμοποιούμε για να μελετήσουμε την ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας είναι το μοντέλο των Longuet-Higgins. Η κεντρική ιδέα αυτού του μοντέλου είναι ότι η ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας μπορεί να θεωρηθεί ότι παράγεται από την υπέρθεση άπειρων απλών μικρών κυμάτων βαρύτητας, το καθένα από τα οποία έχει σταθερό πλάτος ταλάντωσης C_n , μια σταθερή συχνότητα ω_n και ένα σταθερό κυματικό αριθμό k_n αλλά με τυχαίες διαφορές γωνιών φάσεων.

Η μέση τιμή του τετραγώνου της συνάρτησης φασματικής πυκνότητας χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει το πλάτος τυχαίων κυματισμών ή τις κινήσεις του πλοίου. Το εμβαδόν που περικλείεται από την συνάρτηση κατανομής αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή του τετραγώνου της στοχαστικής διαδικασίας. Με άλλα λόγια το φάσμα περιγράφει την κατανομή ενέργειας στις επιμέρους αρμονικές. Η συχνότητα που αντιστοιχεί στην υψηλότερη φασματική τιμή είναι και η συχνότητα όπου η διέγερση ή η απόκριση αποδίδει περισσότερη ενέργεια.

Υποθέτοντας ότι οι κυματισμοί είναι μιας κατεύθυνσης (unidirectional seas) η συνάρτηση πυκνότητας φάσματος της απόκρισης πλοίου σε κυματισμούς $S_{XX}(\omega)$, ισούται με :

$$S_{XX}(\omega) = [R_X(\omega)]^2 \cdot S(\omega)$$

όπου :

ω : η συχνότητα της ανύψωσης κυματισμών

$S(\omega)$: η συνάρτηση πυκνότητας φάσματος των κυματισμών

$R_X(\omega)$: η συνάρτηση μεταφοράς

Η συνάρτηση $S(\omega)$ εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια πνοής του ανέμου για την οποία διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

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

Τα πειράματα που διεξήχθησαν στη δεξαμενή του Εργαστηρίου Υδροδυναμικής αφορούσαν τυχαίους κυματισμούς σε πλήρως ανεπτυγμένες θάλασσες. Για την περιγραφή τέτοιων καταστάσεων θαλάσσιων κυματισμών, δηλαδή πλήρως ανεπτυγμένης θάλασσας έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα, τα πιο γνωστά από τα οποία αυτό των **Pierson–Moskowitz** και αυτό του **Bretschneider**. Τα φάσματα των κυμάτων που παράχθηκαν από τον κυματιστήρα στη δεξαμενή του εργαστηρίου (όπως περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια) είχαν δημιουργηθεί με τη χρήση της συνάρτησης πυκνότητας φάσματος του *Bretschneider*. Το εν λόγω φάσμα είναι διπαραμετρικό και περιγράφει ανοιχτές θάλασσες οποιουδήποτε βαθμού ανάπτυξης. Το φάσμα αυτό λέγεται διπαραμετρικό διότι ορίζεται με τη βοήθεια δύο παραμέτρων, της συχνότητας κορυφής ω_p και του σημαντικού ύψους κύματος $H^{1/3}$, και δίνεται από τη σχέση :

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

Η μέση τιμή του τετραγώνου της απόκρισης ενός πλοίου σε τυχαίους κυματισμούς είναι η επιφάνεια που περικλείεται από το φάσμα της απόκρισης :

$$\sigma_x^2 \equiv m_{0X} = \int S_{XX}(\omega) d\omega$$

όπου σ_x^2 είναι η συνάρτηση διακύμανσης και $\sigma_x = \sqrt{m_{0X}}$ είναι η τυπική απόκλιση ή η ρίζα της μέσης τετραγωνικής τιμής (root mean square ή *rms*) του φάσματος της απόκρισης. Παρόλο που η κατανομή του ύψους δεν ακολουθεί πάντα γνωστή κατανομή, μπορούμε προσεγγιστικά να χρησιμοποιήσουμε την κατανομή Rayleigh. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μερικά στατιστικά μεγέθη συναρτήσει του σ βασισμένα στην κατανομή Rayleigh :

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1

| | |
|------------------------------------|-------|
| RMS amplitude | 1.00σ |
| Average amplitude | 1.25σ |
| Average of highest 1/3 amplitudes | 2.00σ |
| Average of highest 1/10 amplitudes | 2.55σ |

Ακόμη γνωρίζουμε ότι οι συναρτήσεις φασματικών ροπών δίνονται από τη σχέση :

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

όπου, $S(\omega)$ το φάσμα της απόκρισης.

Για $n=0$ προκύπτει η ροπή μηδενικής τάξης $m_0 = \int \omega^0 S(\omega) d\omega = \int S(\omega) d\omega$ η οποία είναι και η μέση τετραγωνική τιμή (σ^2).

Τέλος, το σημαντικό ύψος κύματος $H^{1/3}$ συνδέεται με τη μέση τετραγωνική τιμή m_0 που είναι και η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη του φάσματος από τη σχέση :

$$H^{1/3} = 4 \cdot \sqrt{m_0}$$

το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν χαρακτηριστική παράμετρος των φασμάτων των κυματισμών.

1.4. Θεωρία Λωρίδων

Η θεωρία λωρίδων (strip theory) αναπτύχθηκε από τον Korvin – Kroukovsky ύστερα από μελέτες πρόβλεψης της δυναμικής συμπεριφοράς διάφορων τύπων γαστρών και παρουσιάστηκε στα Transactions SNAME το 1955.

Σύμφωνα με αυτήν οι συνολικές αναπτυσσόμενες υδροδυναμικές δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο πλοίο υπολογίζονται, αφού χωρίσει κανείς το πλοίο σε λωρίδες και ολοκληρώσει κατά μήκος του πλοίου τις συνολικές υδροδυναμικές δυνάμεις που αναπτύσσονται σε κάθε λωρίδα (νομέα) του πλοίου, παραλείποντας όμως τις αλληλεπιδράσεις της ροής μεταξύ των διαφόρων λωρίδων. Δηλαδή γίνεται ολοκλήρωση κατά μήκος του πλοίου των διαφόρων υδροδυναμικών μεγεθών που προκύπτουν από τη λύση διδιάστατων προβλημάτων.

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

Ο τρόπος εφαρμογής της θεωρίας λωρίδων διακρίνεται σε τρία βασικά στάδια:

- Κατ' αρχάς, γίνεται διαίρεση του πλοίου σε 20 έως 40 λωρίδες - εγκάρσιους νομείς αναλόγως με το μήκος του πλοίου, έτσι ώστε αυτές να έχουν μικρό μήκος και αμέσως μετά υπολογισμός των υδροδυναμικών συντελεστών για την κάθε μία ξεχωριστά.

- Ύστερα, γίνεται ολοκλήρωση των υδροδυναμικών συντελεστών που υπολογίστηκαν προηγουμένως κατά μήκος του πλοίου οπότε προκύπτουν οι συντελεστές για τις κάθετες κινήσεις του πλοίου.

Σημειωτέον εδώ ότι δεδομένης της συμμετρίας του πλοίου οι κάθετες κινήσεις (*heave, pitch*) με τις οριζόντιες κινήσεις (*sway, roll*) μπορούν να εξεταστούν ανεξάρτητα.

- Τέλος, γίνεται επίλυση των εξισώσεων που έχουν καταστρωθεί για την θεωρία των λωρίδων, οι βασικότερες από τις οποίες ακολουθούν.

Η σχέση που αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό των διδιάστατων υδροδυναμικών δυνάμεων είναι η εξής:

$$X_{j,2D} = -\rho \frac{\partial}{\partial t} \int_C \Phi n_{jF} dS, \quad j = 2, 3, 4$$

όπου Φ_n το δυναμικό που αναλύεται ως εξής:

$$\Phi = \sum_{k=2}^4 \xi \cdot \Phi_K^{(1)}$$

όπου $\Phi_K^{(1)}$ είναι τα δυναμικά ανά μονάδα ταχύτητας, τα οποία εξαρτώνται μόνο από τη γεωμετρία της τομής και τη συχνότητα της ταλάντωσης ω και ικανοποιούν τη συνθήκη:

$$\frac{\partial \Phi_K^{(1)}}{\partial n} = n_K, \quad K = 2, 3, 4$$

Σημειωτέον ότι τα διδιάστατα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά των λωρίδων, όπως η πρόσθετη μάζα και η απόσβεση, υπολογίζονται αναλυτικά είτε με σύμμορφη απεικόνιση της τομής σε κύλινδρο, πρόβλημα το οποίο λύνεται με τη βοήθεια σειράς πολύπολων, είτε με κατανομή παλλόμενων πηγών στο βρεχόμενο περίγραμμα της τομής, το οποίο πρότεινε ο Jones αλλά αντιμετώπισε αριθμητικώς αργότερα ο Frank.

Έτσι λοιπόν η θεωρία των λωρίδων αποτελεί τη βάση των περισσότερων μεταγενέστερων μεθόδων για τον υπολογισμό της υδροδυναμικής συμπεριφοράς των συμβατικών πλοίων σε κυματισμούς και δίνει για αυτά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στην περίπτωση όμως των ταχύπλοων σκαφών πριν γίνει εφαρμογή αυτής θα πρέπει να ληφθούν υπ όψιν τα εξής:

- Η μορφή των νομέων σε μικρά ταχύπλοα μεταβάλλεται γρήγορα ενώ η θεωρία λωρίδων υποθέτει ότι κάθε τμήμα του σκάφους συμπεριφέρεται ως τμήμα ενός πρίσματος απείρου μήκους.
- Οι επιδράσεις του καθρέφτη της πρύμνης προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις στα αποτελέσματα.
- Οι μορφές Lewis αναπαριστούν ικανοποιητικά τους νομείς με στρογγυλό πυθμένα αλλά όχι νομείς με ακμές.
- Η αρχή της γραμμικής υπέρθεσης εφαρμόζεται με δυσκολία για τα σκάφη αυτά.
- στα ταχύπλοα η δυναμική άνωση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις ταχύτητες αλλά στη θεωρία λωρίδων δεν λαμβάνεται υπ' όψη.

Επομένως, η θεωρία λωρίδων μπορεί να εφαρμοστεί με ικανοποιητική ακρίβεια για τα πλοία εκτοπίσματος καθώς και για τα σκάφη ημικτοπίσματος στα οποία μπορούν να εφαρμοστούν χωρίς μεγάλο σφάλμα οι παραδοχές της θεωρίας των λωρίδων, ενώ όσον αφορά τις ολισθάκατους έχει αποδειχθεί ότι για ταχύτητες πριν την ολίσθηση τα αποτελέσματα που δίνει η θεωρία των λωρίδων είναι ικανοποιητικά ενώ για τις πιο υψηλές ταχύτητες στις οποίες υπάρχει ολίσθηση οι αριθμητικές προβλέψεις της μεθόδου είναι υπερβολικά συντηρητικές (φθάνουν και ως διπλάσιες των πειραματικών) άρα ουσιαστικά δεν ισχύουν.

Για αυτούς τους λόγους ήταν και απαραίτητη η πρόβλεψη της υδροδυναμικής συμπεριφοράς του σκάφους της συστηματικής σειράς του Ε.Μ.Π. μέσω πειραμάτων και μέσω ορισμένων αναλυτικών τρισδιάστατων μεθόδων, διότι το σκάφος μας έπλεε σε πολύ υψηλές ταχύτητες όπου σίγουρα η δυναμική άνοση δεν ήταν αμελητέα, έχει δύο ακμές και καθρέφτη στην πρύμνη.

1.5. Κώδικας SWAN2

Ο κώδικας SWAN που επιλύει το πρόβλημα της ροής σε ήρεμο νερό και σε κυματισμούς στο πεδίο των συχνοτήτων, αναπτύχθηκε στη Βοστώνη των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής στο πανεπιστήμιο Μ.Ι.Τ. (Massachusetts Institute of Technology) από την ομάδα του κ. Σκλαβούνου για πρώτη φορά το 1996, ενώ η λύση του προβλήματος στο πεδίο του χρόνου παρασκευάστηκε το 1998 και υπολογίζεται στο SWAN2.

Ο κώδικας SWAN2 (=Ship Wave Analysis 2) είναι ένα πρόγραμμα σε υπολογιστή το οποίο επιλύει στο πεδίο του χρόνου (time domain program) το πρόβλημα της ροής (μόνιμο πρόβλημα) σε ορισμένο ή αόριστο βάθος ή μέσα σε κανάλι καθώς και το πρόβλημα της δυναμικής συμπεριφοράς πλοίων σε κυματισμούς (μη μόνιμο πρόβλημα) με την ύπαρξη ελεύθερης επιφάνειας. Τα επιλύει κάνοντας χρήση της θεωρίας δυναμικού και λύνοντας πρόβλημα συνοριακών τιμών (boundary value problem). Η μοντελοποίηση του προβλήματος γίνεται με τρισδιάστατη μέθοδο κατανομής τετραπλεύρων Rankine (Rankine Panel Method) σε όλη τη γάστρα του πλοίου και την ελεύθερη επιφάνεια. Το άγνωστο δυναμικό της ταχύτητας προσεγγίζεται με γραμμική υπέρθεση συναρτήσεων spline τετάρτου βαθμού.

Επιπλέον, θεωρεί ιδεατό ρευστό, δηλαδή ρευστό ασυμπιεστο και μη συνεκτικό και η ροή θεωρείται αστρόβιλη. Οι αλγόριθμοι της αριθμητικής λύσης έχουν παραχθεί μετά από ανάλυση ευστάθειας, που οδηγεί σε συγκλίνουσες, ακριβείς και αποτελεσματικές προσομοιώσεις ροής κυμάτων.

Ο χρήστης του προγράμματος έχει να συμπληρώσει δύο αρχεία εισαγωγής δεδομένων, το αρχείο `pln` που περιλαμβάνει την περιγραφή των νομέων καθώς και του προφίλ της πλώρης και το αρχείο `inp` που περιλαμβάνει όλες τις αριθμητικές παραμέτρους του πειράματος και συμπληρώνεται σε 5 κύρια βήματα. (Τα βήματα αυτά παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο 6ο Κεφάλαιο που είναι αφιερωμένο στον κώδικα αυτόν).

Το λογισμικό πακέτο SWAN2 αποτελείται από τους τρεις ανεξάρτητους κώδικες `MAKESSG`, `SETUP` και `SOLVE` και έναν βοηθητικό κώδικα εισαγωγής δεδομένων (που περιλαμβάνει τα 5 βήματα).

- Ο κώδικας MAKESG κατασκευάζει το πλέγμα των τετραπλεύρων που θα τοποθετηθούν στη γάστρα και στην ελεύθερη επιφάνεια. Η πυκνότητα του πλέγματος καθορίζει τόσο το αριθμητικό αποτέλεσμα όσο και τον απαιτούμενο υπολογιστικό χρόνο.
- Ο κώδικας SETUP κατασκευάζει ένα μητρώο επιρροής χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες εξισώσεις, το οποίο αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να τρέξει εκ των υστέρων ο κώδικας SOLVE που δίνει και τα τελικά αποτελέσματα.
- Ο κώδικας SOLVE είναι το κεντρικό λογισμικό επίλυσης του δοθέντος προβλήματος και αυτός είναι που θα δώσει μετά το πέρας των υπολογισμών τα αποτελέσματα. Καθώς πρόκειται για περίπλοκο πρόβλημα ο κώδικας αυτός τρέχει για μία έως δύο ώρες, ανάλογα με το πρόβλημα και την πυκνότητα του πλέγματος.

Τα πειράματα που διεξήχθησαν στα πλαίσια της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων του κώδικα SWAN2.

2. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ

2.1. Επίδραση της ταχύτητας στη δυναμική συμπεριφορά ενός ταχύπλου σκάφους

Στην ενότητα αυτή φαίνονται οι διάφοροι παράγοντες επίδρασης της ταχύτητας στην συμπεριφορά ενός ταχύπλου σκάφους σε κυματισμούς, σύμφωνα με τον Savitsky. Ο Savitsky (1966) παρουσίασε μια ανάλυση σχετικών πειραματικών αποτελεσμάτων και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι ολισθάκατοι εμφανίζουν δύο συμπεριφορές: μία στις μικρές ταχύτητες όταν δηλαδή $\frac{V [kn]}{\sqrt{L} [ft]} < 2.5$ όπου τα σκάφη

έχουν συμπεριφορά σκαφών εκτοπίσματος και μία στις υψηλότερες ταχύτητες όπου πλέον οι κινήσεις και η πρόσθετη αντίσταση είναι ανεξάρτητες της ταχύτητας αλλά εξαρτώνται κυρίως από το μήκος και το ύψος των κυματισμών. Οι κρουστικές επιταχύνσεις και οι επαγόμενες δυνάμεις αποτελούν σε αυτή την περίπτωση τον κρίσιμο υδροδυναμικό παράγοντα που αναγκάζει τα σκάφη αυτά να περιορίσουν την ταχύτητά τους σε κυματισμένες θάλασσες.

Η υδροδυναμική συμπεριφορά ταχύπλων σκαφών επηρεάζεται κυρίως από τους εξής παράγοντες: την κατακόρυφη κίνηση, τον προνευτασμό, το διατοιχισμό, τις επιταχύνσεις λόγω κρουστικών φορτίων και την πρόσθετη αντίσταση. Παρακάτω αναλύονται οι παράγοντες αυτοί φανερώνοντας το πώς επηρεάζουν την υδροδυναμική συμπεριφορά ενός σκάφους ανάλογα με την αυξομείωση της ταχύτητας.

- Κατακόρυφη Κίνηση (Heave) και Προνευτασμός (Pitch): Οι κινήσεις αυτές παίρνουν μέγιστες τιμές στις μικρές ταχύτητες όπου οι ολισθάκατοι συμπεριφέρονται σαν γάστρες εκτοπίσματος. Στις περιπτώσεις αυτές η περίοδος συνάντησης του κύματος συμπίπτει με τη φυσική περίοδο σε κατακόρυφη κίνηση και/ή προνευτασμό, με αποτέλεσμα το σκάφος να τείνει να ακολουθήσει το προφίλ του κύματος. Αντιθέτως, σε ταχύτητες μεγαλύτερες, δηλαδή σε ταχύτητες ολίσθησης όπου το σκάφος κινείται πάνω στις κορυφές του κύματος, οι κινήσεις είναι κατά προσέγγιση σταθερές συναρτήσει της ταχύτητας. Όταν τα μήκη κύματος είναι πολλαπλάσια (συνήθως διπλάσια ή τριπλάσια) του μήκους του σκάφους τότε οι κινήσεις γίνονται μέγιστες, ενώ είναι σημαντικά μειωμένες για μήκη κύματος μικρότερα από το μισό του μήκους του σκάφους. Σε κάθε περίπτωση βέβαια θα πρέπει να αποφεύγεται το φαινόμενο του συντονισμού.
- Διατοιχισμός (Roll): Η κίνηση αυτή παίρνει μεγάλες τιμές σε περιπτώσεις έντονων κυματισμών στις χαμηλές ταχύτητες πριν την ολίσθηση, ενώ στις υψηλότερες ταχύτητες όπου το σκάφος ολισθαίνει και κινείται κυρίως στις κορυφές του κύματος το φαινόμενο μπορεί να μην είναι τόσο έντονο. Μείωση αυτού μπορεί να επιτευχθεί στην περιοχή ταχυτήτων πριν την ολίσθηση με αύξηση της υδροδυναμικής απόσβεσης διατοιχισμού, ενώ για γάστρες με ακμή με τη χρήση των ειδικών αντιδιατοιχιστικών (antiroll) πτερυγίων.

- Επιταχύνσεις λόγω κρουστικών φορτίων: Αυτές οι επιταχύνσεις αυξάνονται γραμμικά για λόγους $V/L_{WL} < 2$, ενώ για μεγάλους αριθμούς F_n αυξάνονται συναρτήσει του τετραγώνου της ταχύτητας και είναι ανάλογες με το σημαντικό ύψος κύματος των κυματισμών.
- Πρόσθετη αντίσταση (added resistance): Η πρόσθετη αντίσταση έχει την τάση να μειώνεται στις μεγάλες ταχύτητες και σε μικρά μήκη κύματος, όπου το σκάφος ολισθαίνει οπότε κυριαρχούν οι δυναμικές ανωστικές δυνάμεις με αποτέλεσμα αυτό να βρίσκεται κατά πολύ εκτός νερού και άρα να υπάρχει μείωση της πρόσθετης αντίστασης.

2.2. Παράμετροι Σχεδίασης ταχύπλων σκαφών που επιδρούν στην δυναμική τους συμπεριφορά

Η μελέτη και σχεδίαση ενός ταχύπλου σκάφους έτσι ώστε να έχει καλή δυναμική συμπεριφορά είναι μία διαδικασία δύσκολη και σχετικά επίπονη, καθώς υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι οποίοι μάλιστα αλληλοσυγκρούονται. Ένας μελετητής ναυπηγός λοιπόν θα πρέπει να συνδυάσει τις παραμέτρους σχεδίασης που ακολουθούν:

Λόγος μήκους/πλάτος (L/B): Γενικά πειραματικές και αναλυτικές διαδικασίες έχουν δείξει ότι αύξηση του λόγου L/B έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των επιταχύνσεων σε όλα τα επίπεδα και για όλες τις περιοχές ταχυτήτων.

Γωνία ανύψωσης του πυθμένα (deadrise): Η αύξηση της γωνίας ανύψωσης του πυθμένα επιδρά θετικά στον περιορισμό των κινήσεων του σκάφους καθώς και στη μείωση της πρόσθετης αντίστασης. Κυρίως επηρεάζει τις κρουστικές επιταχύνσεις και οι μεγάλες γωνίες ανύψωσης πυθμένα βελτιώνουν την ευστάθεια πορείας ενός πλοίου. Οπότε θα μπορούσε να πει κανείς ότι έχει ευνοϊκή επίδραση στη δυναμική συμπεριφορά του σκάφους.

Γωνία Διαγωγής (trim): Είναι γνωστό ότι μείωση της γωνίας διαγωγής έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της κατακόρυφης κίνησης, του προνευτασμού, της πρόσθετης αντίστασης και των κρουστικών επιταχύνσεων. Η μείωση όμως έχει και το μειονέκτημα ότι αυξάνεται η πρόσθετη αντίσταση στις ταχύτητες που αντιστοιχούν στην περιοχή μετά το τοπικό μέγιστο της καμπύλης αντίστασης.

Μορφή νομέων: Είναι γνωστό ότι η μορφή των νομέων σχήματος V συμβάλλει στην βελτίωση της πηδαλιουχίας (manoeuvring) του σκάφους σε κυματισμούς καθώς και στον περιορισμό της δημιουργίας αφρού. Όμως, η μορφή αυτή έχει το ελάττωμα ότι οδηγεί σε μεγάλα κρουστικά φορτία και σε έντονη σφυρόκρουση στην περιοχή της πλώρης. Σε ορισμένες περιπτώσεις λοιπόν μια καλή επιλογή θα μπορούσε να είναι η μορφή νομέων σε σχήμα ανεστραμμένου κουδουνιού που δεν αυξάνει πολύ την πρόσθετη αντίσταση και συγχρόνως έχει λιγότερο έντονες κρουστικές φορτίσεις.

Συντελεστής φόρτισης C_A : Έχει αποδειχθεί ότι οι επιταχύνσεις μειώνονται γραμμικά με την αύξηση του συντελεστή φόρτισης. Ακόμη, είναι γνωστό ότι για

ταχύτητες με αριθμό Froude πάνω από 0.6 αύξηση του συντελεστή φόρτισης οδηγεί σε ελαφριά μείωση των κινήσεων του πλοίου καθώς και της πρόσθετης αντίστασης.

2.3. Δυναμική συμπεριφορά και λειτουργία πλοίου

Η σχεδίαση μιας νέας κατασκευής έχει πάντα σαν βάση την ορθολογιστική τεχνοοικονομική αξιολόγηση, συγκρινόμενη με εναλλακτικές σχεδιάσεις. Αυτή η αξιολόγηση πρέπει να περιλαμβάνει και τον έλεγχο της αποτελεσματικής λειτουργίας του πλοίου σε κυματισμένη θάλασσα.

Σε μεγάλο βαθμό η δυναμική συμπεριφορά του πλοίου σε κυματισμούς είναι περιοριστική παράμετρος για τη λειτουργία του. Για παράδειγμα η ταχύτητα ενός πλοίου σε κυματισμένη θάλασσα μπορεί να περιοριστεί είτε από τη διατιθεμένη ισχύ της κύριας μηχανής του (involuntary speed loss in waves), είτε από τον εκούσιο περιορισμό της ταχύτητάς του (voluntary speed reduction) από τον καπετάνιο προκειμένου να αποφύγει υπερβολικές κινήσεις/αποκρίσεις του πλοίου, π.χ. σφυρόκρουση πλώρας.

Η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς ενός πλοίου σε κυματισμούς περιλαμβάνει, εκτός από τον υπολογισμό των δυναμικών αποκρίσεων της κατασκευής (σύστημα 6 βαθμών ελευθερίας) σε κάποια κατάσταση θάλασσας, και τον έλεγχο της ικανότητάς του να λειτουργεί και να διεκπεραιώνει επιτυχώς και με ασφάλεια το σκοπό της σχεδίασής του, παρά τις οποιαδήποτε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός συγκεκριμένου πλοίου γίνεται σε σχέση με την αποστολή του, τις περιβαλλοντικές συνθήκες για τη συγκεκριμένη περιοχή όπου το πλοίο πρόκειται να λειτουργήσει και με βάση το απαιτούμενο επίπεδο αποδοτικότητας.

Η διαβάθμιση των επιπέδων λειτουργίας με βάση τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως συναντάτε στη διεθνή βιβλιογραφία, μπορεί να γίνει στις εξής κατηγορίες:

- *Κατοικησιμότητα (Habitability)*
Ο χαρακτηρισμός αυτός αναφέρεται στο περιβάλλον στο οποίο το πλήρωμα πρέπει να εκτελεί κατά το δυνατό αποδοτικότερα το καθήκον του. Οι απαιτήσεις αυτές εξαρτώνται από τον τύπο και την αποστολή του πλοίου.
- *Λειτουργησιμότητα (Operability)*
Ένα πλοίο είναι «λειτουργήσιμο» όταν εκπληρώνει το σκοπό της σχεδίασής του, δηλαδή: κανονική λειτουργία όλου του μηχανολογικού/ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και των οργάνων, εξασφάλιση της ασφάλειας του φορτίου, διατήρηση πορείας και ικανότητα ελιγμών στο θαλάσσιο περιβάλλον.
- *Περιορισμένες λειτουργίες (Degraded operations)*
Σε αυτή την περίπτωση τα βασικά συστήματα του πλοίου πρέπει να λειτουργούν, ενώ τα υπόλοιπα πρέπει να είναι προστατευμένα από βλάβες. Οι λειτουργίες γίνονται υπό περιορισμούς και ελέγχεται η δυναμική ευστάθεια του άθικτου πλοίου.

- *Επιβιωσιμότητα (Survivability)*

Η επιβιωσιμότητα του πλοίου είναι ένα επίπεδο παραπάνω από τη λειτουργησιμότητα και αναφέρεται στην ασφάλεια του πλοίου, των επιβατών και του πληρώματος σε άσχημες καιρικές συνθήκες και στην περίπτωση βλάβης. Στην περίπτωση βλάβης πρέπει να εξεταστεί και η δυναμική ευστάθεια του πλοίου σε κυματισμούς.

Για την επίτευξη των παραπάνω αντικειμένων υπάρχουν τρία βασικά βήματα που πρέπει να γίνουν κατά τη διάρκεια μιας σχεδίασης/μελέτης:

- Προσδιορισμός ή πρόβλεψη των καταστάσεων θάλασσας που πρόκειται να λειτουργήσει το πλοίο.
- Ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια για διάφορες αποκρίσεις του πλοίου που δεν πρέπει εν γένει να υπερβαίνονται για να θεωρείται αποδεκτή και επιτυχής η σχεδίαση.
- Εναλλακτικές λύσεις σε περίπτωση που δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια.

Στο σημείο αυτό είναι προφανές ότι η εκτίμηση ή η μέτρηση των δυναμικών αποκρίσεων ενός πλοίου είναι μια βασική παράμετρος στο πρόβλημα μας και αποτελεί το επόμενο στάδιο στη διαδικασία της αξιολόγησης. Πειράματα σε πρότυπα, υπολογιστικές μέθοδοι και μετρήσεις σε φυσική κλίμακα, είναι οι διαθέσιμοι τρόποι προσδιορισμού των αποκρίσεων ενός πλοίου. Για σωστή ανάλυση χρησιμοποιούνται πιθανοθεωρητικές και στατιστικές μέθοδοι, επειδή το θαλάσσιο περιβάλλον δεν μπορεί να αναλυθεί ή να προσομοιωθεί διαφορετικά.

Εκτός από την αποστολή που πρέπει να ικανοποιεί το πλοίο, εξίσου σημαντική και καθοριστική παράμετρος είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες που αφενός καθορίζουν τα επίπεδα λειτουργίας ενός πλοίου και αφετέρου ο προσδιορισμός τους είναι αναγκαίος για την εφαρμογή ενός κριτηρίου.

Με βάση τα παραπάνω μπορεί να γίνει μια ανάλυση της λειτουργησιμότητας ενός πλοίου εφόσον οι τιμές των αποκρίσεων μετατραπούν σε απαιτήσεις που θα προσδιορίζουν την ευπάθεια της κατασκευής στις προδιαγεγραμμένες εξωτερικές διεγέρσεις. Τα όρια-κριτήρια θεσπίζονται για ολόκληρο το πεδίο λειτουργίας αλλά και στις περιοχές που υπάρχει επιπλέον ανάγκη για έλεγχο. Η μη ικανοποίηση τόσο των σχεδιαστικών περιορισμών όσο και των κριτηρίων λειτουργίας οδηγεί στην επανεξέταση της αρχικής σχεδίασης με ενδεχόμενες τροποποιήσεις-βελτιώσεις ή ακόμα και πλήρους αναθεώρησής της.

2.4. Αξιολόγηση δυναμικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς

2.4.1. Μεθοδολογίες αξιολόγησης

Υπάρχουν δύο γενικές μεθοδολογίες για την αποτίμηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός πλοίου, όπου αμφότερες παρέχουν στον μελετητή-σχεδιαστή βοηθητικές διευκρινήσεις για την επίδραση των κινήσεων του στην απόδοση των συστημάτων του.

- Η συγκριτική μέθοδος, όπου μια νέα σχεδίαση συγκρίνεται με μια υπάρχουσα με αποδεδειγμένα καλοθάλασσα χαρακτηριστικά. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια.
- Η απόλυτη μέθοδος, στην οποία θεσπίζονται αποδεκτά επίπεδα των κινήσεων του πλοίου με βάση την απόδοση του πληρώματος και του εξοπλισμού σε σχέση με την συνολική απόδοση του πλοίου. Σε αυτή τη περίπτωση λαμβάνονται υπ' όψη μόνο ποσοτικά κριτήρια.

Κατά την αξιολόγηση μιας σχεδίασης εξετάζουμε τις παρακάτω παραμέτρους:

Ταχύτητα

- Βελτιστοποίηση της γεωμετρίας της γάστρας ώστε να έχει τη μικρότερη αντίσταση σε κυματισμούς.
- Βελτιστοποίηση της γεωμετρίας της γάστρας ώστε να έχει την αποδοτικότερη πρόωση σε κυματισμούς.
- Βελτιστοποίηση της γεωμετρίας της γάστρας ώστε να έχει καλή πηδαλιουχία σε τρικυμιά θάλασσα.
- Επιλογή γάστρας με την πιο καλοθάλασση συμπεριφορά στην ταχύτητα υπηρεσίας.

Οικονομία

- Μικρότερη κατανάλωση καυσίμου σε κυματισμένη θάλασσα.
- Επιλογή γάστρας με τις μικρότερες δυνατές αποκρίσεις ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα απώλειας φορτίου.

Λειτουργικότητα

- Κατάλληλη γάστρα ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή ταχύτητα σε κυματισμούς συμπεριλαμβανομένης και της ακούσιας μείωσης ταχύτητας.
- Επιλογή σχεδίασης ώστε να επιτυγχάνεται η πλέον καλοθάλασση απόδοση σε ανέμους και κυματισμούς.

2.4.2. Κριτήρια δυναμικής συμπεριφοράς γενικής εφαρμογής

Ως κριτήρια γενικής εφαρμογής χαρακτηρίζονται τα αποδεκτά όρια τιμών (κριτηρίων) για τις δυναμικές αποκρίσεις, για την απόδοση προσωπικού / άνεση επιβατών και πρόωσης σε κυματισμούς, κάτω από τα οποία μπορεί ένα πλοίο να λειτουργεί ικανοποιητικά. Στην περίπτωση αυτή ως κριτήριο θεσπίζεται μια μόνο τιμή, η οποία έχει προσδιοριστεί με βάση τις πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί από μετρήσεις σε φυσική κλίμακα και έχουν εμπλουτιστεί με πειραματικά αποτελέσματα που διεξήχθησαν σε πρότυπα.

Τα βασικά γενικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία εκτίμησης της λειτουργησιμότητας ενός πλοίου συνοψίζονται στον πίνακα 2.1 που ακολουθεί. Τα κριτήρια του Nordic προέκυψαν από παρατήρηση και πειράματα όπως αναφέρεται παραπάνω και τα κυριότερα από παρουσιάζονται ομαδοποιημένα σε τρεις

κατηγορίες ανάλογα με το είδος του πλοίου. Ακόμη η σφυρόκρουση και η διαβροχή του καταστρώματος αναφέρονται σε σχέση με την κρίσιμη πιθανότητα εμφάνισης (συμβάντα ανά κύκλους κύματος), ενώ τα υπόλοιπα μεγέθη είναι σε μέσες τετραγωνικές τιμές (rms).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: NORDIC

| Κριτήρια λειτουργισιμότητας για διάφορα είδη πλοίων | | | |
|---|---|----------------------------|----------------------------|
| <i>RMS</i> τιμές | Εμπορικά Πλοία | Γενικά Ναυτικά Πλοία | Μικρά ταχύπλοα σκάφη |
| Κατακόρυφη επιτάχυνση στην πλώρη | 0.05g (L>300m) 0.16g (L>200m) 0.3g (L>100m) | 0.275g | 0.65g |
| Κατακόρυφη επιτάχυνση στη γέφυρα | 0.15g | 0.2g | 0.275g |
| Εγκάρσια επιτάχυνση στη γέφυρα | 0.12g | 0.1g | 0.1g |
| Διατοιχισμός | 6.0 deg | 4.0 deg | 4.0 deg |
| <i>Κρίσιμη πιθανότητα</i> | | | |
| Σφυρόκρουση | 0.01 (L>300m) 0.02 (L>200m) 0.03 (L>100m) | 0.03 | 0.03 |
| Διαβροχή Καταστρώματος | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

όπου: $L = L_{BP}$ = το μήκος μεταξύ καθέτων ενός πλοίου

Κατακόρυφη επιτάχυνση

Η κατακόρυφη επιτάχυνση στην προωαία κάθετο χρησιμοποιείται ως κριτήριο για την σύγκριση μεταξύ εναλλακτικών σχεδιάσεων ή ακόμη ως κριτήριο για τη μείωση της ταχύτητας ή την αλλαγή πορείας κατά τη διάρκεια πλεύσης. Επίσης με το κριτήριο αυτό περιγράφεται η συνολική κατακόρυφη κίνηση στην περιοχή της πλώρης, όπου η διβροχή του καταστρώματος ή η σφυρόκρουση στον πυθμένα της πλώρης μπορεί να λαμβάνουν κρίσιμες τιμές.

Το κριτήριο για την κατακόρυφη επιτάχυνση στη γέφυρα σχετίζεται με τις βασικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα εκεί, όπως πηδαλιουχία, παρατήρηση και πλοήγηση.

Εγκάρσια επιτάχυνση

Με βάση την ασφάλεια του πληρώματος και διασφάλιση της αποστολής του σκάφους το ναυτικό των Η.Π.Α. όρισε ως κριτήριο τα 0.1g rms. Με βάση όμως παρατηρήσεις σε φυσική κλίμακα οι καπετάνιοι και τα πληρώματα γέφυρας στα εμπορικά πλοία φαίνεται ότι αποδίδουν εξίσου καλά και σε λίγο μεγαλύτερη τιμή της εγκάρσιας επιτάχυνσης.

Διατοιχισμός

Μετά από παρατηρήσεις σε πραγματικές καταστάσεις η τιμή των 4° αποτελεί ένα όριο έτσι ώστε να η διασφαλίζεται η αποτελεσματικότητα του πληρώματος πάνω στο πλοίο αλλά μπορεί να πάει έως και 6°, όπως φαίνεται και από τα κριτήρια του NORDIC. Αναφορικά ένα άνω όριο ασφάλειας για τον διατοιχισμό είναι η τιμή περί των 14° rms.

Σφυρόκρουση πυθμένα

Η κριτική πιθανότητα σφυρόκρουσης ανάλογα με τον τύπο του πλοίου παρουσιάζεται στον πίνακα 2.1. πέρα από τα κριτήρια αυτά και σύμφωνα με τον Ochi (1964) μια κρούση του πυθμένα ενός πλοίου χαρακτηρίζεται σαν σφυρόκρουση, όταν το προωαίο μέρος αναδύεται και η κατακόρυφη σχετική ταχύτητα ως προς την επιφάνεια του νερού στον συγκεκριμένο νομέα ξεπερνάει μια κρίσιμη τιμή που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{cr} = 0.093 \cdot \sqrt{g \cdot L}$$

όπου: g: η επιτάχυνση της βαρύτητας
L: το μήκος μεταξύ καθέτων

2.4.3. Κριτήρια απόδοσης προσωπικού-άνεσης επιβατών-ναυτίας

Ένας σημαντικός παράγοντας είναι οι συνθήκες εργασίας του προσωπικού πάνω στο σκάφος και συνθήκες διαβίωσης των επιβαίνόντων. Γι' αυτόν το σκοπό έχουν αναπτυχθεί κριτήρια που καθορίζουν οριακές τιμές για την κατακόρυφη επιτάχυνση, την εγκάρσια επιτάχυνση και τον προνευτασμό.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 2.2) δίνεται μια μικρή περιγραφή των συνθηκών διαβίωσης και δουλειάς σε σχέση με τις επικρατούσες τιμές κατακόρυφης, εγκάρσιας επιτάχυνσης και διατοιχισμού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2

| Root Mean Square Criterion | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Κατακόρυφη Επιτάχυνση [rms] | Εγκάρσια επιτάχυνση [rms] | Διατοιχισμός [rms] | Περιγραφή |
| 0.20g | 0.10g | 6.0° | Ελαφριά χειρωνακτική εργασία |
| 0.15g | 0.07g | 4.0° | Βαριά χειρωνακτική εργασία |
| 0.10g | 0.05g | 3.0° | Διανοητική εργασία |
| 0.05g | 0.04g | 2.5° | Επιβάτες σε μικρή διαδρομή |
| 0.02g | 0.03g | 2.0° | Επιβάτες σε κρουαζιέρα |

Τα τελευταία χρόνια καταβάλλεται σημαντική προσπάθεια από πλευρά των επιστημών για τον προσδιορισμό των αιτιών της ναυτίας που προκαλείται στους επιβάτες και στη θέσπιση κριτηρίων για τον προσδιορισμό της. Στην κατεύθυνση αυτή έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα για την εκτίμηση της απόδοσης και της

άνεσης του ανθρώπου όταν βρίσκεται υπό την επίδραση των κινήσεων του πλοίου, που σχετίζονται με φυσιολογικές επιπτώσεις των κινήσεών του, όπως:

- πρόκληση ναυτίας (Motion Sickness Incidence)
- διαταραχές στην κίνηση (Motion Induced Interruptions)
- κόπωση (Motion Induced Fatigue)

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική πρόοδος στην αντιμετώπιση του φαινομένου του διατοιχισμού και κατ' επέκταση της ναυτίας που προκαλεί, με τη βοήθεια της τεχνολογίας. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικές γυροσκοπικές συσκευές που τοποθετούνται στον διαμήκη άξονα του πλοίου και τείνουν να εξουδετερώσουν τις αποκρίσεις του πλοίου λόγω διατοιχισμού. Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται επί το πλείστον σε θαλαμηγούς και γενικότερα σε μικρά σκάφη αναψυχής όπου η άνεση είναι πρωταρχικής σημασίας, ενώ το κόστος περνά σε δεύτερη μοίρα.

2.4.4. Κριτήρια Μείωσης Ταχύτητας

Κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού στη θάλασσα η ταχύτητα ενός πλοίου μπορεί να μειωθεί, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Η μείωση αυτή μπορεί να είναι εκούσια (voluntary speed loss) ή ακούσια (involuntary speed loss).

Η *ακούσια μείωση της ταχύτητας* οφείλεται στην πρόσθετη αντίσταση λόγω κυματισμού, ανέμου και μείωσης της διατιθέμενης ισχύς της κυρίας μηχανής λόγω των κινήσεων του πλοίου και του αυξημένου φορτίου στην έλικα.

Η *ηθελημένη μείωση της ταχύτητας* γίνεται μετά από εντολή του καπετάνιου όταν φαινόμενα όπως η διαβροχή του καταστρώματος, η σφυρόκρουση πλώρας καθώς και άλλα θέτουν σε κίνδυνο τόσο τους επιβάτες και το πλήρωμα όσο και το φορτίο και την ίδια τη βιωσιμότητα του σκάφους.

Για τα περισσότερα εμπορικά πλοία η αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς τους έγκειται στην ικανότητα διατήρησης της ταχύτητας κανονικής λειτουργίας σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Η διατήρηση αυτής της ταχύτητας συνεπάγεται την ασφαλή και έγκαιρη μεταφορά των επιβατών και του φορτίου για προκαθορισμένο δρομολόγιο.

Ο καπετάνιος προκειμένου να διασφαλίσει το πλοίο και την αποστολή που επιτελεί προβαίνει σε ηθελημένη μείωση της ταχύτητας όταν οι αποκρίσεις του πλοίου σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες υπερβαίνουν κάποια όρια. Έτσι όσον αφορά τα εμπορικά πλοία η ταχύτητα μειώνεται όταν:

- η διαβροχή του καταστρώματος λαμβάνει χώρα για περισσότερο από 7% του χρόνου
- η σφυρόκρουση λαμβάνει χώρα για περισσότερο από 3% του χρόνου
- η γωνία διατοιχισμού $> 25\text{deg}$ λαμβάνει χώρα για περισσότερο από 0.1% του χρόνου
- η επιτάχυνση στην πλώρα $0.4g > 7\%$ του χρόνου
- η επιτάχυνση στην πλώρα $0.5g > 3\%$ του χρόνου

Επιπλέον, μείωση της ταχύτητας μπορεί να γίνει με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν προηγουμένως ιδιαίτερα αυτά του διατοιχισμού για τα εμπορικά πλοία. Σημειώτέον ότι η μείωση της ταχύτητας πολλές φορές μπορεί να αποφευχθεί με αλλαγή της πορείας του σκάφους.

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ Ε.Μ.Π. - ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

3.1. Γενικά περί Συστηματικών Σειρών

Τις τελευταίες δεκαετίες, μέσα στα πλαίσια της έρευνας για πρόβλεψη της υδροδυναμικής συμπεριφοράς ενός ταχύπλουου σκάφους σε κυματισμούς, δηλαδή του Seakeeping, έχουν αναπτυχθεί από ορισμένα επιστημονικά κέντρα και πανεπιστήμια συστηματικές σειρές ταχύπλοων σκαφών. Στις σειρές αυτές έχουν γίνει όλα τα απαραίτητα πειράματα για τη συμπεριφορά των μοντέλων, κατ' αρχάς σε αντίσταση και ύστερα σε διάφορα είδη κυματισμών.

Στόχος της δημιουργίας αυτών των συστηματικών σειρών είναι να υπάρχει μία συγκριτική βάση για την υδροδυναμική συμπεριφορά των ταχυπλόων, έτσι ώστε σκάφη με ίδια ή παρόμοια γάστρα να μπορούν να μελετηθούν ως προς το seakeeping τους βασισμένα στα αποτελέσματα αυτών των συστηματικών σειρών χωρίς να χρειάζεται εκ νέου πειραματική διερεύνηση.

Οι συστηματικές σειρές ταχυπλόων που έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα αφορούν σε ταχύπλοες γάστρες μορφής V, με στρογγυλό πυθμένα (rounded bilge), με απλή ακμή (chine) και με διπλή ακμή (double chine). Ακολουθούν λίγα λόγια για μερικές γνωστές σειρές και στη συνέχεια ακολουθεί ανάλυση της συστηματικής σειράς γαστρών με διπλή ακμή του Ε.Μ.Π.

Συστηματικές σειρές σκαφών με στρογγυλό πυθμένα

- Η συστηματική σειρά NPL (National Physical Laboratory): Τα πειράματα με πρότυπα ταχυπλόων με στρογγυλό πυθμένα ξεκίνησαν στο NPL, στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Τα αποτελέσματα της σειράς αυτής παρουσιάστηκαν πρώτη φορά από τους Marwood και Bailey το 1969 και διαμορφώθηκαν οριστικά από τον Bailey το 1976 σε έκδοση της R.I.N.A. Τα σκάφη της σειράς αυτής προέκυψαν από ένα βασικό σκάφος διατηρώντας ίδιους τους αδιάστατους συντελεστές μορφής και μεταβάλλοντας ομοιόμορφα τις κύριες διαστάσεις.

Οι γάστρες της σειράς χαρακτηρίζονται από ευθείες ισάλους στην είσοδο, στρογγυλούς νομείς στην πρύμνη και ευθείες διαμήκεις τομές που τελειώνουν απότομα στην πρύμνη καθρέπτη. Ακόμη, η διαμήκης θέση του κέντρου άνωσης βρίσκεται στο 6.4% του μήκους πρύμνηθεν του μέσου νομέα.

- Η συστηματική σειρά 63: Η σειρά αυτή βασίστηκε σε πειράματα πέντε πρότυπων γαστρών με στρογγυλό πυθμένα που έγιναν στο Davidson Laboratory του Stevens Institute of Technology και παρουσιάστηκαν το 1963 από τον Beys. Το πατρικό πρότυπο της σειράς αυτής είχε λόγο $L/B = 4$ ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα προέκυψαν απ' αυτό με μεταβολή της ισαπόστασης νομέων και των διαμήκων τομών, έτσι ώστε ο λόγος L/B να πάρει τις τιμές 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0. Σημειωτέον ότι τα πρότυπα δοκιμάστηκαν σε ίδιες τιμές του

λόγου $\frac{L}{\nabla^{1/3}}$.

- Η συστηματική σειρά SSPA: Αναπτύχθηκε από τον σουηδικό οργανισμό SSPA, κυρίως για ταχεία μικρά πολεμικά σκάφη και τα αποτελέσματα αυτής παρουσιάστηκαν από τους Lindgren και Williams το 1968. Η σειρά αποτελείται από εννέα πρότυπα τα οποία έχουν σταθερά τα C_B , C_X , LCB και LCF . Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων διερευνήθηκε η επίδραση των λόγων $\frac{L}{\nabla^{1/3}}$ και B/T στην αντίσταση, για ταχύτητες μέχρι και $F_n=1,3$. Επίσης, διερευνήθηκε η επίδραση των αντιδιαβροχικών λωρίδων στην αντίσταση και η υδροδυναμική συμπεριφορά των προτύπων σε ημιτονικούς κυματισμούς.

Συστηματικές σειρές σκαφών με απλή ακμή

- Η συστηματική σειρά 62: Η σειρά αυτή παρουσιάστηκε από τους E.P.Clement και D.L.Blount το 1963 και αναφέρεται σε ταχύπλοα σκάφη με ακμή (hard chine). Αποτελείται από πέντε πρότυπα με λόγους μήκος προς πλάτος (L_p/B_{px}) 2.00, 3.06, 4.09, 5.50, 7.00.
Για καθένα από τα πέντε πρότυπα έγιναν δοκιμές σε τέσσερις καταστάσεις φόρτωσης με λόγους $\frac{A_p}{\nabla^{2/3}} = 4.0, 5.5, 7.0, 8.5$ και σε τέσσερις διαμήκεις θέσεις κέντρου βάρους $LCG = 0\%, 4\%, 8\%, 12\%$ του μήκους ακμής L_p πρύμνηθεν του κέντρου βάρους της επιφανείας ισάλου A_p . Άλλα χαρακτηριστικά των προτύπων της σειράς 62 είναι:
 - σταθερή γωνία ανύψωσης πυθμένα (deadrise) από το μέσο του πλοίου και προς τη πρύμνη, ίση με $\beta=12.5^\circ$
 - πλάτος ακμής στην πρύμνη ίσο με 65% του μεγίστου πλάτους ακμής
 - κυρτές γραμμές προωρίων νομέων
- Η σειρά Keuning–Gerritsma: Η σειρά αυτή αποτελεί βελτιωμένη έκδοση της σειράς 62 με αύξηση της γωνίας ανύψωσης πυθμένα από 12.5° σε 25° . Στη σειρά αυτή είναι βασισμένο το πρότυπο Deer–V που είχε αποτελέσει αντικείμενο σχεδίασης και μελέτης του Εργαστηρίου Υδροδυναμικής του Ε.Μ.Π.

Συστηματικές σειρές σκαφών με διπλή ακμή

- Σχεδίαση ολισθακάτου κατά Savitsky: Οι Savitsky, Roper και Benen χρησιμοποίησαν τα αποτελέσματα μελετών του Savitsky για να σχεδιάσουν ολισθάκατο με δύο ακμές και ανύψωση πυθμένα με βελτιωμένη συμπεριφορά σε κυματισμούς. Αυτή η μορφή γάστρας είχε πλατύ καθρέπτη, με στρεβλή (warped) επιφάνεια ολίσθησης, διπλή ακμή και πολύ λεπτόγραμμη πλώρη με μεγάλη γωνία ανύψωσης πυθμένα και εξοχή πλευρών. Η σχεδιαστική διαδικασία βασίστηκε κυρίως στο συνδυασμό των μεθόδων πρόβλεψης συμπεριφοράς σε ήρεμο νερό σύμφωνα με τους Savitsky (1964) και Hadler (1966) και των αντίστοιχων μεθόδων για κυματισμούς κατά Fridsma (1971). Αν και οι εργασίες αυτές αναφέρονταν σε πρισματικές γάστρες, δηλαδή σε γάστρες με σταθερό πλάτος, σταθερή γωνία ανύψωσης πυθμένα β και με παράλληλες στην τρόπιδα διαμήκεις τομές, εντούτοις εφαρμόστηκαν επιτυχώς και σε πραγματικές γάστρες με κατάλληλη επιλογή ενεργών τιμών πλάτους και γωνίας β .

Κατά τη σχεδίαση δόθηκε προσοχή στη συσχέτιση των κύριων διαστάσεων με τα εξής υδροδυναμικά χαρακτηριστικά:

- υδροδυναμικά κρουστικά φορτία σε κυματισμούς
- υδροστατικό εκτόπισμα
- ολίσθηση σε μεγάλες ταχύτητες
- ολίσθηση σε μικρές ταχύτητες
- μετακεντρική ευστάθεια

Έγινε μελέτη για γωνία ανύψωσης πυθμένα $\beta = 10^\circ$, 20° και 30° από τις οποίες οι γωνίες 10° και 30° απορρίφθηκαν γιατί δεν έδιναν τόσο καλά αποτελέσματα όσο η γάστρα με γωνία ανύψωσης πυθμένα $\beta=20^\circ$, η οποία και επιλέχθηκε τελικά.

- Η συστηματική σειρά NTUA: Η συστηματική σειρά ταχυπλόων γαστρών με διπλή ακμή (double chine), πλατύ καθρέπτη και στρεβλή επιφάνεια ολίσθησης αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η σειρά αυτή περιλαμβάνει πρότυπα με δύο ακμές δοκιμασμένα σε αντίσταση και σε κυματισμούς και βασισμένα στη σχεδίαση του Savitsky που προαναφέρθηκε, καθώς και στη σειρά 62. Είναι κατάλληλη για την προκαταρκτική μελέτη και σχεδίαση μονόγαστρων σκαφών που λειτουργούν τόσο σαν εμπορικά (επιβατηγά, ΕΓ/ΟΓ, κρουαζιερόπλοια και πλοία αναψυχής) όσο και σαν πολεμικά, που λειτουργούν σε μεγάλες ταχύτητες. Η σειρά αυτή παρουσιάζεται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

3.2. Συστηματική Σειρά NTUA

Πριν αρκετά χρόνια οι Savitsky, Roper και Benen (1972) πρότειναν μια ολισθάκατο υψηλής ταχύτητας με δυνατότητα οικονομικής λειτουργίας σε μια μικρότερη ταχύτητα και πολύ καλή συμπεριφορά σε κυματισμούς. Αυτή η μορφή γάστρας είχε πλατύ καθρέπτη στην πρύμνη και «δίπλωμα» του V προς την πρόρα που δημιουργεί αύξηση της γωνίας ανύψωσης πυθμένα (warp) στην επιφάνεια ολίσθησης, διπλή ακμή και πολύ λεπτόγραμμη πλώρη. Η αξία αυτού του τύπου γάστρας έγινε αντιληπτή, είδη από την δεκαετία του 80 από το Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΝΘΥ) και συγκεκριμένα από τους Καθηγητές Θ. Λουκάκη και Γ. Γρηγορόπουλο. Έτσι αποφασίστηκε και ξεκίνησε η ανάπτυξη μιας συστηματικής σειράς στην οποία να μπορεί να βασιστεί ένας μελετητής για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό μεγάλου μονόγαστρου πλοίου ή σκάφους αναψυχής που θα λειτουργεί σε μεγάλες ταχύτητες.

Η σειρά αποτελείται από πέντε πρότυπα με λόγους μήκους προς πλάτος $L/B = 4.00$, 4.75 , 5.50 , 6.25 και 7.00 . Το καθένα από τα πέντε πρότυπα δοκιμάζεται σε έξι διαφορετικά εκτοπίσματα, συμπεριλαμβανομένων και των πολύ ελαφριών έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες μεγάλων ταχύπλων πλοίων.

Το πατρικό σκάφος της σειράς, «NTUA-097/94» κατασκευάστηκε το 1994, με λόγο $L/B = 5.50$ βασιζόμενο στη πρόταση των Savitsky, Roper και Benen για γάστρα με διπλή ακμή, αποτελώντας το πατρικό σκάφος της συστηματικής σειράς. Για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της αντίστασης του πατρικού σκάφους, αποφασίστηκε να γίνει σύγκριση με πέντε «ισοδύναμες», ισομήκεις γάστρες. Οι γάστρες αυτές είχαν προταθεί από τους κάτωθι:

- Σειρά 62, απλής ακμής, Clement & Blount (1963)
- Βαθύ «V» (Deer V), απλής ακμής, Keuning & Gerritsma (1982)
- Διπλής ακμής, βασισμένη στη σειρά 62, Grigoropoulos & Loukakis (1995)
- Με διπλή ακμή και πλατύ καθρέπτη, Savitsky al, (1972)
- Παραλλαγή της προηγούμενης με στρογγυλό πυθμένα και πλατύ καθρέπτη, Grigoropoulos & Loukakis (1995)

Έγιναν σε αυτό καταρχάς πειράματα αντίστασης με και χωρίς αντιδιαβροχικές λωρίδες, καθώς και σε άλλα τέσσερα πρότυπα γνωστών σειρών με το ίδιο μήκος ($L = 2.29\text{m}$) και πλάτος ($B = 0.416\text{m}$) στο εκτόπισμα των 29.7 kg ($C_{DL} = 3.00$),:

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν και στις πέντε «ισοδύναμες», θα μπορούσε να πει κανείς, γάστρες έδειξαν ότι το πρότυπο της διπλής ακμής και πλατιού καθρέπτη της σειράς του Ε.Μ.Π. είχε μειωμένη αντίσταση σε σχέση με τα άλλα στην προ ολίσθησης περιοχή. Ακόμη, έδειξε ότι οι αντιδιαβροχικές λωρίδες σε αυτό αυξάνουν την αντίσταση αντί να την μειώνουν σε αντίθεση με τις ανταγωνιστικές μορφές γάστρας.

Κατόπιν λοιπόν αυτών των εξαιρετικών αποτελεσμάτων και ύστερα από κάποια πειράματα seakeeping αποφασίστηκε το πρότυπο αυτό να αποτελέσει το πατρικό σκάφος της συστηματικής σειράς NTUA. Προκειμένου να αναπτυχθεί η σειρά επιλέχθηκε ως **βασική παράμετρος ο λόγος μήκους προς πλάτος (L/B)**, όπως συμβαίνει άλλωστε και στις περισσότερες σειρές ταχύπλοων σκαφών, με κάτω όριο το 4.00 και άνω όριο το 7.00. Κατασκευάστηκαν λοιπόν και δοκιμάστηκαν, όπως είχε προαναφερθεί, πέντε πρότυπα με $L/B = 4.00, 4.75, 5.50, 6.25$ και 7.00 με πατρικό το $L/B = 5.50$. Σημειωτέον ότι τα άλλα τέσσερα πρότυπα προέκυψαν από το πατρικό κρατώντας σταθερή τη μέση τομή αλλά μετατρέποντας κατάλληλα τη μορφή των νομέων στην πλώρη και την πρύμνη.

Η **δεύτερη καίρια παράμετρος** για τη σειρά αυτή είναι ο **συντελεστής εκτοπίσματος** $C_{DL} = \frac{\nabla}{(0.1 \cdot L_{WL})^3}$, όπου ∇ είναι ο όγκος εκτοπίσματος και L_{WL} το μήκος ισάλου (και τα δύο σε ηρεμία). Ο συντελεστής αυτός αποτελεί ουσιαστικά μια παραλλαγή του συντελεστή $M = \frac{L}{\nabla^{1/3}}$ που χρησιμοποιείται σε αντίστοιχες σειρές. Επιλέχθηκαν έξι διαφορετικές τιμές του συντελεστή αυτού, οι εξής: **$C_{DL} = 1.00, 1.61, 2.23, 3.00, 3.62, 4.23$** .

Χαρακτηριστικό της γάστρας αυτής είναι οι δύο ακμές που επεκτείνονται από τον καθρέπτη ως το 70% του μήκους προς την πλώρη, ο πλατύς καθρέπτης, καθώς και οι κοίλες πλευρές στην πλώρη. Ακόμη, ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η γωνία ανύψωσης πυθμένα είναι μεταβλητή, η οποία ειδικότερα, κυμαίνεται από 10° στον καθρέπτη και φτάνει έως τις 70° στην περιοχή της πλώρης.

Τα μήκη των προτύπων που επρόκειτο να δοκιμαστούν στην πειραματική δεξαμενή καθορίστηκαν με βάση την 21^η πρόταση της Επιτροπής των ταχύπλοων ναυπηγικών σκαφών από την I.T.T.C. (21st I.T.T.C. High Speed Marine Vehicles Committee suggestion) που ελήφθη στο Τρόντχαϊμ (Trondheim) το 1996 που έλεγε ότι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μοντέλα τουλάχιστον δύο (2) μέτρων. Όμως τα πειράματα για τις ελαφριές καταστάσεις φόρτωσης, δηλαδή για μικρούς συντελεστές C_{DL} δεν μπορούσαν να επιτευχθούν. Έτσι λοιπόν, η συστηματική σειρά διαθέτει και ένα πρότυπο σε μεγαλύτερη κλίμακα, ίση με τα $5/3$ της αρχικής, για καθένα από τα πέντε αρχικά πρότυπα με τα οποία έγινε δυνατή η πειραματική δοκιμή των ελαφρύτερων εκτοπισμάτων.

Η συστηματική σειρά γαστρών με διπλή ακμή του Ε.Μ.Π. έχει ολοκληρωθεί όσον αφορά τα πειράματα της αντίστασης αλλά όχι και ως προς την υδροδυναμική συμπεριφορά καθενός από τα πέντε πρότυπα σε αρμονικούς και τυχαίους κυματισμούς. Στα πλαίσια της προσπάθειας για ολοκλήρωση της συστηματικής σειράς, έγιναν και τα πειράματα σε τυχαίους κυματισμούς στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Όλα τα πρότυπα στις 6 καταστάσεις φόρτωσης με τα κύρια χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον πίνακα της επόμενης σελίδας (Πίνακας 3.1).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: Τα χαρακτηριστικά των δοκιμασμένων προτύπων της Σειράς Ε.Μ.Π.

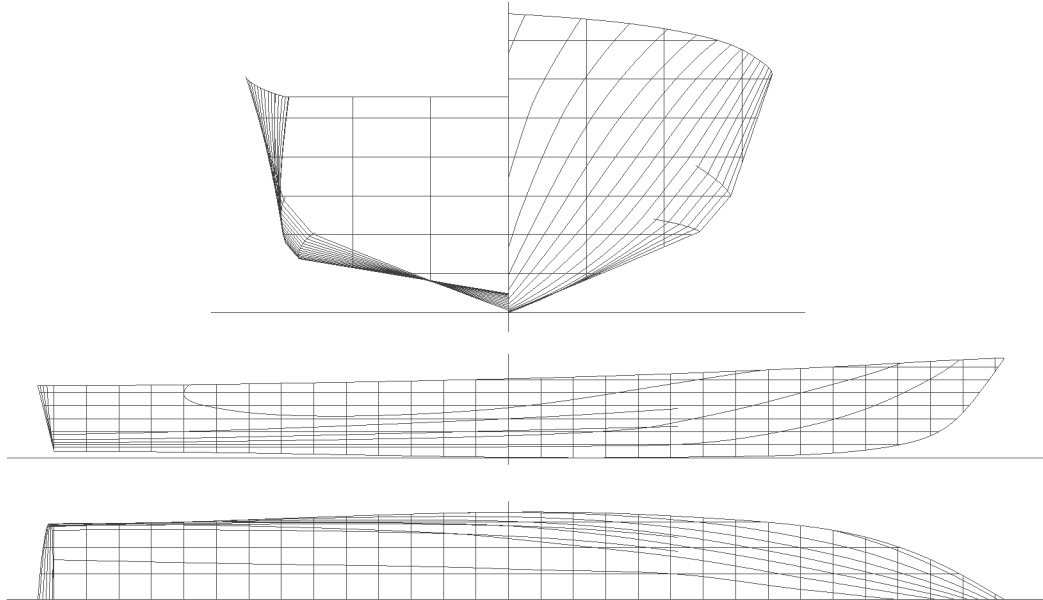
| L/B | 4.00-big (163/01) | 4.00-small (113/95) | 4.75-big (150/99A) | 4.75-small (154/99) | 5.50-big (118/96) | 5.50-small (097/94) | 6.25-big (164/01) | 6.25-small (146/98) | 7.00-big (166/01) | 7.00-small (116/96) |
|-----------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|------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

Notes:

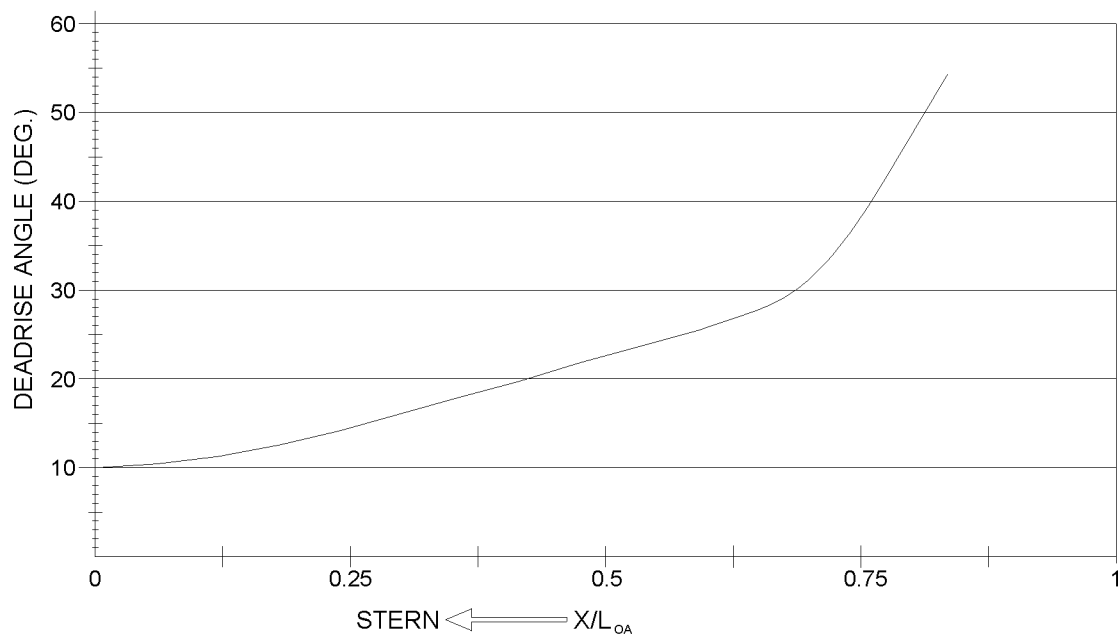
- Each cell of the table contains the following characteristics of the model:
- LCG from amidships, positive forward

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

Παρακάτω παρουσιάζεται το σχέδιο γραμμών (lines plan) του πατρικού σκάφους καθώς και διάγραμμα που απεικονίζει την μεταβολή της γωνίας ανύψωσης πυθμένα β (deadrise angle) συναρτήσει του μήκους τους σκάφους L_{OA} .



Σχήμα 3.1: Σχέδιο Γραμμών του πατρικού προτύπου της συστηματικής σειράς NTUA



Σχήμα 3.2: Γωνία ανύψωσης πυθμένα β σε μοίρες (deadrise angle) συναρτήσει του λόγου μήκους θέσης γωνίας προς το ολικό μήκος X/L_{OA}

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1. Αντικείμενο Πειραματικών Δοκιμών

Το σύνολο των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε στην πειραματική δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Ε.Μ.Π. Οι κύριες διαστάσεις της πειραματικής δεξαμενής η οποία είναι γεμάτη με γλυκό νερό έχουν ως εξής:

Μήκος = 91.00 m
 Πλάτος = 4.55 m
 Βάθος = 3.00 m

Οι πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς των προτύπων της σειράς περιλαμβάνει την δοκιμή, καταγραφή και αξιολόγηση της συμπεριφοράς των γαστρών, κινούμενων σε ψευδοτυχαίους μετωπικούς κυματισμούς μέσα στην πειραματική δεξαμενή. Το κάθε πρότυπο πλέει πάντα σε μια συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης (C_{DL}) και ρυμουλκείται από το φορείο της δεξαμενής σε δύο ταχύτητες που αντιστοιχούν σε αριθμούς Froude 0,34 και 0,68. όσον αφορά τους κυματισμούς, αυτοί προσομοιάζουν μια κατάσταση θάλασσας κάθε φορά η οποία εξαρτάται απ' την κλίμακα του μοντέλου. Στο πλαίσιο αυτό διεξήχθησαν τα πειράματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Τα πρότυπα αυτά είναι το πατρικό της σειράς, με κωδικό «**NTUA 097/94**» με λόγο $L/B = 5.50$ καθώς και το «**NTUA113/95**» με λόγο $L/B = 4.00$.

Στους πίνακες που ακολουθούν περιέχονται τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά των προτύπων «**NTUA 097/94**» και «**NTUA113/95**» αντίστοιχα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1

| ΠΡΟΤΥΠΟ «NTUA 097/94» | |
|-----------------------------|---|
| ΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ | $L_{OA} = 2.292 \text{ m}$ |
| ΜΗΚΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΘΕΤΩΝ | $L_{BP} = 2.145 \text{ m}$ |
| ΜΗΚΟΣ ΑΝΩ ΑΚΜΗΣ | $L_{P2} = 1.48 \text{ m}$ |
| ΜΗΚΟΣ ΚΑΤΩ ΑΚΜΗΣ | $L_{P1} = 1.48 \text{ m}$ |
| ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΑΝΩ ΑΚΜΗΣ | $B_{P2} = 0.360 \text{ m}(\text{section } 5)$ |
| ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΚΑΤΩ ΑΚΜΗΣ | $B_{P1} = 0.322 \text{ m}(\text{section } 2)$ |
| ΑΝΥΨΩΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΡΥΜΝΗ | $\beta_0 = 9.5^\circ (\text{section } 0)$ |
| ΑΝΥΨΩΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΟ ΜΕΣΟΝ | $\beta_7 = 23^\circ (\text{section } 7)$ |

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2

| ΠΡΟΤΥΠΟ «ΝΤΥΑ 113/95» | |
|-----------------------------|---|
| ΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ | $L_{OA} = 2.292 \text{ m}$ |
| ΜΗΚΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΘΕΤΩΝ | $L_{BP} = 2.109 \text{ m}$ |
| ΜΗΚΟΣ ΑΝΩ ΑΚΜΗΣ | $L_{P2} = 1.49 \text{ m}$ |
| ΜΗΚΟΣ ΚΑΤΩ ΑΚΜΗΣ | $L_{P1} = 1.49 \text{ m}$ |
| ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΑΝΩ ΑΚΜΗΣ | $B_{P2} = 0.248 \text{ m (section 5)}$ |
| ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΚΑΤΩ ΑΚΜΗΣ | $B_{P1} = 0.228 \text{ m (section 3)}$ |
| ΑΝΥΨΩΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΡΥΜΝΗ | $\beta_0 = 9.5^\circ \text{ (section 0)}$ |
| ΑΝΥΨΩΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΟ ΜΕΣΟΝ | $\beta_7 = 23^\circ \text{ (section 7)}$ |

Και τα δύο μοντέλα δοκιμάστηκαν σε επτά καταστάσεις θάλασσας και σε ένα συντελεστή εκτοπίσματος, $C_{DL}=3,00$. Πιο συγκεκριμένα τα πειράματα με το μοντέλο «ΝΤΥΑ 097/94» της μικρής κλίμακας (small scale), με εκτόπισμα $\Delta = 29,615 \text{ kg}$ έγιναν σε μια ταχύτητα με αριθμό Froude $F_n=0,68$, που αντιστοιχεί σε ταχύτητα μοντέλου $V_m=3,119 \text{ m/sec}$. Ενώ τα πειράματα με το μοντέλο «ΝΤΥΑ 113/95» σε μικρή κλίμακα και αυτό, με εκτόπισμα $\Delta = 28,174 \text{ kg}$ έγιναν σε δύο ταχύτητες με αριθμούς Froude $F_n=0,34$ και $F_n=0,68$ που αντιστοιχούν σε ταχύτητες μοντέλου $V_m=1,547 \text{ m/sec}$ και $V_m=3,093 \text{ m/sec}$ αντιστοίχως.

Τα φάσματα των κυμάτων που παρήχθησαν από τον κυματιστήρα βασίστηκαν στον τύπο του **Bretschneider**, που περιγράφει διπαραμετρικό φάσμα για ανοιχτές θάλασσες οποιουδήποτε βαθμού ανάπτυξης. και ορίζεται με τη βοήθεια δύο παραμέτρων: της συχνότητας κορυφής ω_p και του σημαντικού ύψους κύματος $H^{1/3}$, και δίνεται από τη σχέση:

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

Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται οι αδιάστατες περίοδοι T_p , οι περίοδοι κορυφής T_p , οι κυκλικές συχνότητες κορυφής ω_p , οι συχνότητες f_p και τα σημαντικά ύψη κύματος για κάθε κατάσταση κύματος $H^{1/3}$. Ακόμη, φαίνονται τα ονόματα των αρχείων που περιείχαν την συνάρτηση πυκνότητας του φάσματος για κάθε κατάσταση θάλασσας καθώς και τον συντελεστή κλίμακας (scale factor) με τον οποίον παράχθηκαν στον κυματιστήρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: «NTUA 097/94»
L/B=5.5 (small)

| | | | | | | | |
|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Cdl= | 3 | | | | | | |
| Scale= | 50 | | | | | | |
| Lship= | 107,25 | m | | | | | |
| Lmodel= | 2,145 | m | | | | | |
| Tp' | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
| Tpship | 6,613 | 8,266 | 9,919 | 11,573 | 13,226 | 14,879 | 16,532 |
| Tpmodel | 0,935 | 1,169 | 1,403 | 1,637 | 1,870 | 2,104 | 2,338 |
| ω p model | 6,715 | 5,372 | 4,477 | 3,837 | 3,358 | 2,984 | 2,686 |
| f model(Hz) | 1,069 | 0,855 | 0,713 | 0,611 | 0,535 | 0,475 | 0,428 |
| Hs model(m) | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,16 |
| file | <i>H8Tp2.s50</i> | <i>H9Tp25.s50</i> | <i>H10Tp3.s50</i> | <i>H11Tp35.s50</i> | <i>H12Tp4.s50</i> | <i>H14Tp45.s50</i> | <i>H16Tp5.s50</i> |
| Scale Factor | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Fn=0.68 | x | x | x | x | x | x | x |

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4: «NTUA 113/95»
L/B=4.0 (small)

| | | | | | | | |
|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Cdl= | 3 | | | | | | |
| Scale= | 50 | | | | | | |
| Lship= | 105,45 | m | | | | | |
| Lmodel= | 2,109 | m | | | | | |
| Tp' | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
| Tpship | 6,557 | 8,197 | 9,836 | 11,475 | 13,114 | 14,754 | 16,393 |
| Tpmodel | 0,927 | 1,159 | 1,391 | 1,623 | 1,855 | 2,086 | 2,318 |
| ω p model | 6,772 | 5,418 | 4,515 | 3,870 | 3,386 | 3,010 | 2,709 |
| f model(Hz) | 1,078 | 0,863 | 0,719 | 0,616 | 0,539 | 0,479 | 0,431 |
| Hs model(m) | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,16 |
| file | <i>h008Tp2.s50</i> | <i>h009Tp25.s50</i> | <i>h010Tp3.s50</i> | <i>h011Tp35.s50</i> | <i>h012Tp4.s50</i> | <i>h014Tp45.s50</i> | <i>h016Tp5.s50</i> |
| Scale Factor | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Fn=0.34 | x | x | x | x | x | x | x |
| Fn=0.68 | x | x | x | x | x | x | x |

4.2. Στάδια Πειραματικής Διαδικασίας

Τα στάδια της πειραματικής διαδικασίας περιλαμβάνουν την προετοιμασία του προτύπου που πρόκειται να υποστεί τα πειράματα, τη βαθμονόμηση των οργάνων που θα παίρνουν τις μετρήσεις και τον τρόπο διεξαγωγής πειραμάτων.

4.2.1. Προετοιμασία προτύπου

Τα βήματα προετοιμασίας από τα οποία περνάει ένα πρότυπο ώστε να μπορεί να δοκιμαστεί σε πειράματα Seakeeping είναι τα εξής:

- Εύρεση επιθυμητού εκτοπίσματος ώστε αυτό να αντιστοιχεί στην επιθυμητή γραμμή φόρτωσης η οποία θα πρέπει να είναι και χαραγμένη πάνω στο μοντέλο.
- Εύρεση της επιθυμητής διαγωγής ή εγκάρσιας κλίσης αυτού. Στην περίπτωσή μας έπρεπε να είναι ισοβύθιστο.
- Εύρεση της κατάλληλης ακτίνας αδρανείας και περιόδου ιδιοταλάντωσης.

Τα στάδια προετοιμασίας έγιναν δύο φορές, μία φορά για κάθε μοντέλο και έγιναν ως εξής:

Εύρεση επιθυμητού εκτοπίσματος

Καταρχάς, αφού είχε ήδη αποφασιστεί η επιθυμητή κατάσταση φόρτωσης για την οποία θα γίνονταν τα πειράματα, βρέθηκε η αντίστοιχη ίσαλος πλεύσης οι οποία ήταν ήδη χαραγμένη τόσο στο ένα πρότυπο όσο και στο άλλο αφού είχαν γίνει στο παρελθόν σε αυτά πειράματα αντίστασης.

Υστερα, τοποθετήθηκε η πλάκα πάνω στην οποία δένεται το δυναμόμετρο του φορείου και αποτελεί το μέσο σύνδεσης φορείου – μοντέλου. Αμέσως μετά τοποθετήθηκαν τα επιταχυνσιόμετρα τα οποία χρησιμεύουν για τη μέτρηση των κατακόρυφων επιταχύνσεων. Πριν την τοποθέτηση βαθμονομήθηκαν έτσι ώστε να καταστρωθεί η συνάρτηση μεταφοράς για καθένα από αυτά αφού οι μετρήσεις από το φορείο δίνονται σε Volts. Αποφασίστηκε να τοποθετηθούν τρία επιταχυνσιόμετρα, ένα στην πλώρα (Acc.Bow), ένα στο κέντρο βάρους του προτύπου (Acc.Mid) και ένα στην πρύμνη αυτού (Acc.Stern).

Για το πρότυπο NTUA-097/94 τα επιταχυνσιόμετρα απείχαν αποστάσεις διαμήκως (X) από τη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους, εγκαρσίως (Y) από την Base Line και κατακόρυφα (Z) από την ίσαλο πλεύσης αυτές που φαίνονται στον Πίνακα 4.5:

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5 (NTUA-097/94)

| ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΜΕΤΡΑ | X (m) | Y(m) | Z(m) |
|------------------|--------|-------|-------|
| Acc.bow | 1.210 | 0.000 | 0.141 |
| Acc.mid | 0.000 | 0.210 | 0.141 |
| Acc.stern | -0.730 | 0.000 | 0.141 |

(Θετικές τιμές πλώραθεν της διαμήκους θέσης του κέντρου βάρους)

Ενώ για το πρότυπο NTUA-113/95 οι αποστάσεις αντιστοίχως φαίνονται στον Πίνακα 4.6:

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6 (NTUA-113/95)

| ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΜΕΤΡΑ | X (m) | Y(m) | Z(m) |
|------------------|--------|-------|-------|
| Acc.bow | 1.400 | 0.000 | 0.270 |
| Acc.mid | 0.000 | 0.220 | 0.270 |
| Acc.stern | -0.810 | 0.000 | 0.270 |

(Θετικές τιμές πρόραθεν της διαμήκουσ θέσης του κέντρου βάρους)

Στη συνέχεια τοποθετήσαμε το βάρος που αντιστοιχεί στο πόδι του δυναμομέτρου όταν αυτό θα είναι δεμένο στο φορείο της δεξαμενής κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, καθώς και όλα τα απαραίτητα βάρη ώστε να πετύχουμε το επιθυμητό εκτόπισμα. Ελήφθη υπόψιν ακόμη και το βάρος των ειδικών πλαστικών ζελατίνων που θα τοποθετηθούν εκ των υστέρων ώστε να εμποδίζουν την εισροή νερού μέσα στο μοντέλο κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων. Μετά την τοποθέτηση των βαρών ζυγίστηκε το μοντέλο σε ζυγαριά ακριβείας ώστε να εξακριβωθεί ότι είχαν τοποθετηθεί τα σωστά βάρη.

Επιτεύχθει το εκτόπισμα $\Delta = 29,615$ kg στο CDL = 3.00 για το NTUA-097/94 και το εκτόπισμα $\Delta = 28,174$ kg στο CDL = 3.00 για το NTUA-113/95.

Εύρεση γωνίας διαγωγής

Σε όλες τις καταστάσεις πειραμάτων είχαμε μηδενική γωνία διαγωγής, δηλαδή τα πρότυπα έπλεαν ισοβύθιστα. Για να εξασφαλίσουμε ισοβύθιστη κατάσταση, αφού είχαμε το επιθυμητό εκτόπισμα τοποθετήσαμε το μοντέλο μέσα στο νερό της δεξαμενής, το δέσαμε πάνω στο φορείο ώστε να είναι σταθερό και ελέγξαμε την ίσαλο πλευσης που είναι χαραγμένη πάνω στον μοντέλο για να δούμε αν τα βάρη είναι τοποθετημένα στη σωστή θέση μέσα στο μοντέλο. Έγινε η κατάλληλη μετακίνηση βαρών μέχρι που επιτεύχθηκε η ισοβύθιστη κατάσταση. Στο επόμενο στάδιο όμως θα φανεί αν τελικά τα βάρη είναι τοποθετημένα σωστά γιατί θα πρέπει η κατανομή των βαρών ζυγοστάθμισης να είναι τέτοια που η ακτίνα αδρανείας γύρω από τον άξονα OZ να είναι η αντίστοιχη του πλοίου.

Εύρεση ακτίνας αδρανείας και περιόδου ιδιοταλάντωσης

Προκείμενου να υπολογιστεί πρακτικά η ακτίνα αδρανείας το πρότυπο δένεται με ιμάντες από δύο εκκρεμείς ράβδους που είναι πακτωμένοι σε ειδικό χώρο στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής, έτσι ώστε να μπορεί να ταλαντωθεί ελεύθερα.

Το μοντέλο, κατά την ταλάντωσή του γύρω από το κατακόρυφο επίπεδο θα πρέπει να έχει την περίοδο που δίνεται από τη σχέση :

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{I_{ZZ} \cdot l}{\Delta \cdot a^2 \cdot g}}$$

όπου

- T : η περίοδος ιδιοταλάντωσης του συστήματος περί τον άξονα ZZ
 I_{ZZ} : η ροπή αδρανείας γύρω από τον άξονα ZZ
 l : το μήκος ανακρέμασης από την κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους
 Δ : η μάζα του μοντέλου – μαντών ανάρτησης
 a : η ημιαπόσταση μεταξύ των στελεχών (γύρω από το κέντρο βάρους)

Γνωρίζουμε όμως ακόμα ότι $I_{ZZ} = r_{ZZ}^2 \cdot \Delta$, όπου r_{ZZ} η ακτίνα αδρανείας, η οποία από την ανάλυση της κατανομής υπάρχοντων πλοίων έχει προσδιοριστεί ότι είναι περίπου $0.25L_{BP}$, κάτι που επαληθεύεται πρακτικά από την παραπάνω διαδικασία. Οπότε αν αντικαταστήσουμε στον τύπο της περιόδου τον τελευταίο τύπο προκύπτει:

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

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

Για το μοντέλο NTUA-097/94 έχουμε:

$$\begin{aligned}
 r_{ZZ} &= 0.25L_{BP} = 0.536 \text{ m} \\
 l &= 4.080 \text{ m} \\
 a &= 0.750 \text{ m} \\
 g &= 9.81 \text{ m/sec}^2
 \end{aligned}$$

Οπότε η περίοδος ιδιοταλάντωσης T του μοντέλου NTUA-097/94 θα είναι:

$$T_0 = 2.896 \text{ sec}$$

Για το μοντέλο NTUA-113/95 έχουμε:

$$\begin{aligned}
 r_{ZZ} &= 0.25L_{BP} = 0.527 \text{ m} \\
 l &= 3.970 \text{ m} \\
 a &= 0.750 \text{ m} \\
 g &= 9.81 \text{ m/sec}^2
 \end{aligned}$$

Οπότε η περίοδος ιδιοταλάντωσης T του μοντέλου NTUA-113/95 θα είναι:

$$T_0 = 2.810 \text{ sec}$$

Μετά τους υπολογισμούς αυτούς χρονομετράται η ταλάντωση του μοντέλου σε 10 περιόδους ώστε να βρεθεί αν θα συμπίπτει η πραγματική περίοδος με την θεωρητική που υπολογίστηκε προηγουμένως. Η χρονομέτρηση επαναλαμβάνεται κάποιες φορές ώστε το αποτέλεσμα να είναι σίγουρο.

Αν η περίοδος δεν επιτευχθεί με την συγκεκριμένη κατανομή βαρών τότε γίνονται διαδοχικές μετακινήσεις των βαρών διατηρώντας το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών σταθερό έως ότου ύστερα από δοκιμές και χρονομετρήσεις να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να ξαναγίνει το 2ο βήμα ώστε να ελεγχθεί αν το σκάφος παραμένει ισοβύθιστο μετά την μετακίνηση των βαρών.

Φυσικά η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να είναι η κατανομή βαρών τέτοια ώστε το μοντέλο μας να έχει την επιθυμητή περίοδο ιδιοταλάντωσης και συγχρόνως την ίσαλο πλεύσης ισοβύθιστη.

4.2.2. Αποφόρτιση

Κατά την εκτέλεση πειραμάτων σε ταχύπλοα με συμβατικά συστήματα πρόωσης ο ελικοφόρος άξονας βρίσκεται σε κλίση. Στην περίπτωση των πειραμάτων της σειράς του Ε.Μ.Π. έχουμε δεχθεί ως μια λογική τιμή της γωνίας κλίσης του ελικοφόρου άξονα τις $6,5^\circ$ ως προς τη βασική γραμμή αναφοράς (base line). Επίσης η αντίσταση που μετράτε κατά την διάρκεια του πειράματος είναι η οριζόντια συνιστώσα της αντίστασης.

Στην πραγματικότητα η έλικα ενεργεί παρέχοντας ώση κατά την κατεύθυνση του αξονικού συστήματος. Επομένως η οριζόντια συνιστώσα της ώσης της έλικας T_H είναι αυτή που εξισορροπεί την αντίσταση του σκάφους R , ενώ η κατακόρυφη συνιστώσα της ώσης T_V μειώνει το φαινόμενο εκτόπισμα του σκάφους κατά το μέγεθος:

$$T_V = T \cdot \sin(\tau + 6,5^\circ)$$

Όπου:

T : η ώση της έλικας

τ : η δυναμική διαγωγή του σκάφους (θετική όταν είναι έμπρυμη)

Λόγω του σημαντικού μεγέθους που παίρνει η T_V , η μετρούμενη αντίσταση του σκάφους πρέπει να λαμβάνεται για ένα εκτόπισμα μειωμένο κατά το μέγεθος $\delta\Delta$ που δίνεται από τη σχέση:

$$\delta\Delta = T_V = T_H \cdot \tan(\tau + 6,5^\circ) = R_T \cdot \tan(\tau + 6,5^\circ)$$

Οι αποφορτίσεις υπολογίστηκαν εκ νέου για τα δύο μοντέλα, ενώ για το μοντέλο που δοκιμάστηκε σε δύο ταχύτητες υπολογίστηκαν δυο νούμερα αποφόρτισης, ένα για κάθε ταχύτητα. Η διαδικασία υπολογισμού είναι σχετικά απλή και περιλαμβάνει πείραμα αντίστασης σε ήρεμο νερό. Τα μετρούμενα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν είναι αυτά, της αντίστασης (resistance) και του προνευτασμού (pitch) τα οποία αντικαθιστούμε στον τελευταίο τύπο και παίρνουμε το αντίστοιχο μέγεθος της αποφόρτισης. Έτσι προέκυψαν τα παρακάτω μεγέθη:

| α/α | Πρότυπο | Ταχύτητα προτύπου V_m [m/s] | Αποφόρτιση [kg] |
|-----|-------------|----------------------------------|--------------------|
| 1 | NTUA-097/94 | 3.119 | 0.410 |
| 2 | NTUA-113/95 | 1.547 | 0.130 |
| 3 | | 3.093 | 0.400 |

Το βάρος της αποφόρτισης τοποθετείται σε ειδική κατασκευή στο πόδι του δυναμομέτρου ώστε να μειώσει κατάλληλα το πραγματικό εκτόπισμα του μοντέλου.

4.2.3. Όργανα μέτρησης και βαθμονόμηση (Calibration)

Τα μεγέθη που ζητήθηκε να μετρηθούν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων ήταν για τα εξής:

- Αντίσταση (Resistance)
- Κατακόρυφη κίνηση (Heave)
- Πρόνευση (Pitch)
- Κατακόρυφη επιτάχυνση στην πλώρη (Bow Acceleration)
- Κατακόρυφη επιτάχυνση στο κέντρο βάρους του προτύπου (Mid Acceleration)
- Κατακόρυφη επιτάχυνση στην πρύμνη (Stern Acceleration)
- Μετρητής ανύψωσης κύματος αισθητήρα Probe φορείου (Wave Car Probe)
- Μετρητής ανύψωσης κύματος αισθητήρα Probe δεξαμενής (Wave Tank Probe)

Για τον σκοπό αυτό ήταν τοποθετημένα μονίμως μέσα στο μοντέλο τα τρία επιταχυνσιόμετρα στις θέσεις που έχουν προαναφερθεί για τη μέτρηση των κατακόρυφων επιταχύνσεων, ο αισθητήρας Wave Car Probe μονίμως πακτωμένος πάνω στο κινητό φορείο και ο αισθητήρας Wave Tank Probe μονίμως πακτωμένος σε συγκεκριμένο σημείο μέσα στη δεξαμενή κοντά στο πέδιλο του κυματιστήρα. Όσον αφορά τις κινήσεις Heave, Pitch και την αντίσταση, αυτές μετρούνται μέσω του ειδικού οργάνου - δυναμομέτρου που βρίσκεται μονίμως στο φορείο.

Όλα τα παραπάνω όργανα μετρούν ηλεκτρικό σήμα και συγκεκριμένα volts, το οποίο περνά μέσα από φίλτρα και ενισχυτές και τελικά καταγράφεται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του φορείου. Η καταγραφή είναι ανάλογη της συχνότητας δειγματοληψίας που ορίζει ο χρήστης. Πριν την διεξαγωγή των πειραμάτων όμως είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση όλων των οργάνων μέτρησης ώστε να ελεγχθεί αν λειτουργούν σωστά, να καταστρωθούν οι συναρτήσεις μεταφοράς σύμφωνα με τις οποίες μπορούμε να μετατρέψουμε τις μονάδες των Volts που μετρούνται όταν λαμβάνει χώρα το πείραμα στις επιθυμητές για κάθε μέγεθος μονάδες. Η βαθμονόμηση θα πρέπει να επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα για την καλύτερη αξιοπιστία των πειραμάτων καθώς κάποιες από τις μετρούμενες ποσότητες είναι πιο ευαίσθητες στις μεταβολές του περιβάλλοντος. Έτσι, στην περίπτωση μας αποφασίστηκε να βαθμονομούνται όλα τα όργανα πλην των επιταχυνσιομέτρων πριν την διεξαγωγή των πειραμάτων, ώστε να επιτευχθεί μέγιστη ακρίβεια και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Αυτό όμως, όπως θα περιγραφεί αναλυτικότερα παρακάτω ανέβασε πολύ το συντελεστή δυσκολίας του πειράματος αφού απαιτεί πολύ χρόνο και προσπάθεια.

Ειδικότερα, η βαθμονόμηση των επιταχυνσιομέτρων έγινε πριν την εγκατάστασή τους στο μοντέλο ενώ έλεγχος γινόταν από τη σύγκριση των ενδείξεων του οργάνου εκπομπής με δοκιμαστικές λήψεις καθημερινά και άλλη μία φορά κατά την διάρκεια των πειραμάτων, καθώς είναι πολύ σταθερά ως όργανα και οι μηδενικές τιμές που λαμβάναμε δειγματοληπτικά καθημερινά ήταν οι ίδιες. Αρκετά σταθερό, ως προς τις καιρικές μεταβολές, ήταν ο αισθητήρας του Heave με αποτέλεσμα να μετράτε στην αρχή κάθε βδομάδας πειραμάτων και όταν τοποθετούνταν νέο πρότυπο στη δεξαμενή. Όσον αφορά το όργανο μέτρησης της αντίστασης και του προνευτασμού γινόταν καθημερινά βαθμονόμηση. Βέβαια για την βαθμονόμηση του αισθητήρα του pitch πρέπει να λυθεί και να ανυψωθεί το πόδι του δυναμομέτρου,

διαδικασία που απαιτεί χρήση της γερανογέφυρας και περιγράφεται καλύτερα στην επόμενη ενότητα.

Ακόμη οι δύο αισθητήρες κατακόρυφης της ανύψωσης των κυματισμών Wave Car Probe και Wave Tank Probe έχουν από κατασκευής μεγάλη ευαισθησία στις καιρικές μεταβολές, επομένως ήταν επιτακτική η ανάγκη για καθημερινή βαθμονόμηση και εύρεση της συνάρτησης μεταφοράς πριν την αρχή των πειραμάτων της εκάστοτε ημέρας.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι οι βαθμονομήσεις όλων των οργάνων απαιτούσαν ιδιαίτερη προσπάθεια, χρόνο και χειρωνακτική εργασία αλλά και προσοχή ώστε να μην γίνει κάποια ζημιά. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων καταγράφηκαν σχεδόν 700 αρχεία βαθμονόμησης με ότι αυτό συνεπάγεται.

4.2.4. Τρόπος Διεξαγωγής Πειραμάτων

Τα πειράματα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, πραγματοποιήθηκαν στην πειραματική δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής με την βοήθεια του προσωπικού του Εργαστηρίου αφού δεν είναι σε θέση οι σπουδαστές να κινούν μόνοι τους το φορείο, που αποτελεί πολύ ιδιαίτερο και ακριβό εξοπλισμό του Εργαστηρίου.

Περιοριστικός παράγοντας των πειραμάτων είναι το γεγονός ότι μετά την βαθμονόμηση των οργάνων και την εξαγωγή των συναρτήσεων μεταφοράς, έπρεπε να ολοκληρωθεί τουλάχιστον μια ομάδα πειραμάτων. Πιο συγκεκριμένα αν ξεκινούσαμε πειράματα σε μια κατάσταση θάλασσας μετά από τη βαθμονόμηση των οργάνων θα έπρεπε να ολοκληρωθεί την ίδια μέρα, διαφορετικά τα αποτελέσματα δεν θα μπορούσαν να αναλυθούν με τις ίδιες συναρτήσεις μεταφοράς. Αυτό μαζί με την χρονοβόρα διαδικασία των βαθμονομήσεων επέβαλε τα πειράματα να ξεκινούν νωρίς το πρωί και να περατώνονται αργά το μεσημέρι.

Επειδή όπως αναφέρθηκε είδη γινόταν βαθμονόμηση του pitch καθημερινά το μοντέλο έπρεπε καθημερινά να λύνεται από το δυναμόμετρο, να αποσυνδέονται τα επιταχυνσιόμετρα να βγαίνει από το νερό και να τοποθετείται στον ειδικό πάγκο. Αυτή η διαδικασία γινόταν στο τέλος κάθε σειράς πειραμάτων ώστε κάθε πρωί της επομένης να μπορούμε να ανυψώσουμε το δυναμόμετρο και να κάνουμε εκ νέου τη βαθμονόμηση του αισθητήρα του pitch. Εν συνεχεία το μοντέλο ξαναέμπαινε στο νερό, δινόταν στο πόδι του δυναμομέτρου και επανασυνδέονταν τα επιταχυνσιόμετρα. Αφού το φορείο ήταν έτοιμο, ξεκινούσε η βαθμονόμηση των υπόλοιπων οργάνων.

Συγκεκριμένα, γινόταν ανελλιπώς καθαρισμός των αισθητήρων ανύψωσης κύματος Wave Car Probe και Wave Tank Probe και ύστερα βαθμονόμηση αυτών που απαιτούσε αρκετή χειρωνακτική εργασία. Ακολουθούσε βαθμονόμηση της αντίστασης και συμπληρωνόταν το ειδικό Φύλλο Βαθμονομήσεων. Τέλος σχεδιάζονταν η συνάρτηση μεταφοράς για το κάθε μέγεθος με τη βοήθεια του Microsoft Excel και όλα ήταν έτοιμα για την διεξαγωγή του πειράματος.

Μετά το πέρας αυτών των προκαταρκτικών διαδικασιών δινόταν στον κυματιστήρα το επιθυμητό φάσμα σε μορφή αρχείου, το οποίο θα έπρεπε να είναι ήδη αποθηκευμένο στον υπολογιστή του κυματιστήρα και ο κυματιστήρας παρήγαγε τα δεδομένα κύματα. Ο χειρισμός του απομακρυσμένου αυτού υπολογιστή γινόταν ασύρματα πάνω από το φορείο μέσω ειδικού προγράμματος που έχει κατασκευάσει ο κ. Γ. Τραχανάς. Όταν τα κύματα έφταναν στο άλλο άκρο της δεξαμενής όπου βρισκόταν το φορείο με το μοντέλο, ξεκινούσαμε το φορείο έχοντας δώσει στο

πρόγραμμα ελέγχου του φορείου την επιθυμητή ταχύτητα. Μόλις το φορείο έφτανε στην επιθυμητή ταχύτητα, ξεκινούσαμε το πρόγραμμα που λάμβανε όλες τις μετρήσεις των οργάνων. Όταν το φορείο διέσχιζε όλη τη δεξαμενή τότε τελειώνει και το πείραμα.

Για τα πειράματα στο μοντέλο NTUA - 097/94 που έγιναν στο μεγάλο αριθμό Froude ο χρόνος δειγματοληψίας του πειράματος ήταν δέκα έξι (16) δευτερόλεπτα και χρειάζονταν δεκαεπτά (17) πειραματικές επαναλήψεις (runs) για να είναι αρκετή η δειγματοληψία των μετρήσεων, της τάξεως των 272 δευτερολέπτων. Για τα πειράματα στο μοντέλο NTUA - 113/95 που έγιναν τόσο στο μικρό όσο και στο μεγάλο αριθμό Froude ο χρόνος δειγματοληψίας του πειράματος ήταν τριάντα πέντε (35) δευτερόλεπτα και χρειάζονταν οκτώ (8) πειραματικές επαναλήψεις (runs) για να είναι αρκετή η δειγματοληψία των μετρήσεων, της τάξεως των 280 δευτερολέπτων για τον μικρό αριθμό Froude ενώ για τον μεγάλο η διαδικασία ήταν ίδια με αυτή του προηγούμενου μοντέλου. Τα φάσματα είχαν δημιουργηθεί σε κλίμακα 1:50 οπότε, σε κλίμακα πλοίου τα πειράματα για κάθε κατάσταση διαρκούσαν περίπου μισή ώρα.

Μετά από κάθε πείραμα ήταν αναγκαία η αναμονή δεκαπέντε (15) λεπτών μέχρι να ξεκινήσει το επόμενο πείραμα ώστε να έχει ηρεμήσει το νερό της δεξαμενής από τους προηγούμενους κυματισμούς, ώστε σε κάθε επανάληψη του πειράματος ο κυματιστήρας να δημιουργεί κύμα από ηρεμία. Όλα τα πειράματα καθώς και οι λεπτομέρειες αυτών καταγράφονταν καθημερινά στο ειδικό Φύλλο Πειραμάτων Δυναμικής Συμπεριφοράς σε Κυματισμούς.

Σημειώτεον ότι σε αρκετές περιπτώσεις χρειάστηκε ύστερα από τη διεξαγωγή του πειράματος το μοντέλο να καθαριστεί και να αποστραγγιστεί από νερά που εισχώρησαν κατά το πείραμα ώστε να μην υπάρξει αύξηση του εκτοπίσματος.

4.3. Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, όλα τα όργανα των μετρήσεων καταγράφονται ως τάσεις μέσω ειδικού προγράμματος στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του φορείου. Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, λοιπόν, είναι απαραίτητος κάποιος μετασχηματισμός ώστε να δοθούν τα αποτελέσματα από μονάδες μέτρησης βολτς στις επιθυμητές μονάδες. Αυτού του είδους η ανάλυση έγινε με μετασχηματισμούς Fourier οι οποίοι γίνονται με τη βοήθεια κώδικα γραμμένου σε γλώσσα Fortran που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο για αυτόν ακριβώς το σκοπό. Ο κώδικας αποθηκεύεται σε μορφή αρχείου «_for», ανοίγει με το πρόγραμμα «Fortran PowerStation 4.0» και είναι επεξεργάσιμος από το υποπρόγραμμα «Microsoft Developer Studio».

Για να γίνει η ανάλυση κατά Fourier αρκεί να καταχωριστούν μέσα στον κώδικα οι συναρτήσεις μεταφοράς για κάθε μέγεθος και το όνομα των αρχείων που θα πρέπει να αναλυθούν. Ύστερα πατάμε την εντολή Build και την υποεντολή Rebuild All και δημιουργείται ένα αρχείο «_exe». Το πρόγραμμα αυτό ανοίγει σε περιβάλλον DOS και ζητάει αριθμό αρχείου έναρξης (Starting File No) και λήξης (Ending File No) και αριθμό σημείων ανά run πειράματος (No of points per run). Αμέσως μετά ξεκινάει η ανάλυση των data ρωτώντας όμως πριν την ανάλυση κάθε μεγέθους τον αριθμό των σημείων για τα οποία θα κάνει το πρόγραμμα κάθε φορά μετασχηματισμό Fourier (No of Data Points per FFT).

Το πρόγραμμα δίνει τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης που διεξάγει σε δύο αρχεία. Το ένα είναι του τύπου «_out» που έχει όλα τα μεγέθη σε φάσματα S(f)

για διάφορες συχνότητες f , εκτός αυτού της αντίστασης καθώς η στήλη αυτή έχει εξαιρεθεί σκόπιμα, ενώ το δεύτερο αρχείο είναι της μορφής «_rms» και δίνει για όλα τα μεγέθη τις τιμές rms (root mean square) των αποκρίσεων, δηλαδή τις μέσες τετραγωνικές τιμές, όπως έχουμε αναφέρει και νωρίτερα.

Με εκτέλεση της παραπάνω διαδικασίας έγινε, έτσι, όλη η επεξεργασία των αποτελεσμάτων για κάθε κατάσταση θάλασσας στην οποία είχαν γίνει πειράματα. Τα αναλυμένα σε Fourier αποτελέσματα αντιγράφηκαν ύστερα σε Microsoft Excel αρχεία και έγιναν τα απαιτούμενα διαγράμματα. Κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω σχέσεις:

Η αδιάστατη περίοδος κορυφής:

$$T_p' = \frac{T_p}{\sqrt{\frac{L_{BP}}{g}}}$$

Ο κυματικός αριθμός:

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$$

Η κυκλική συχνότητα:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

$$\omega^2 = g \cdot k \quad (\text{εξίσωση διασποράς})$$

Ακόμη, καθώς είχαμε δύο αισθητήρες ανύψωσης κύματος, έναν μέσα στη δεξαμενή και έναν πάνω στο κινούμενο φορείο προκειμένου να κάνουμε σύγκριση των δύο μετρούμενων φασμάτων κύματος χρειάστηκε να τα μεταφέρουμε στο ίδιο σύστημα αναφοράς. Στο κινούμενο σύστημα έχουμε φάσμα $S(f_e)$ και συχνότητα f_e ενώ στο ακίνητο το φάσμα είναι $S(f_0)$ και συχνότητα f_0 . Οι σχέσεις σύμφωνα με τις οποίες γίνεται η μεταφορά από το κινούμενο σύστημα αναφοράς:

- Η κυκλική συχνότητα ω_0 στο ακίνητο σύστημα αναφοράς συναρτήσει του κινούμενου:

$$\omega_0 = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 4 \cdot \omega_e \cdot \frac{V}{g}}}{2 \cdot \frac{V}{g}}$$

- Η συχνότητα f_0 στο ακίνητο σύστημα αναφοράς συναρτήσει του κινούμενου:

$$f_0 = \frac{\frac{-1}{2\pi} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 + 4 \cdot \frac{V}{g} \cdot \frac{f_e}{2\pi}}}{2 \cdot \frac{V}{g}}$$

- Η συνάρτηση πυκνότητας φάσματος στο ακίνητο σύστημα αναφοράς συναρτήσει του κινούμενου:

$$S(f_0) = S(f_e) \cdot S\left(1 + \frac{4\pi f_0 \cdot V}{g}\right)$$

όπου: V : η ταχύτητα του κινούμενου συστήματος [m/sec]
 g : η επιτάχυνση της βαρύτητας [=9.81m/sec²]
Σύμβαση προσήμων: + για μετωπικούς κυματισμούς
- για ακολουθούντες κυματισμούς

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕ ΤΥΧΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

5.1. Γενικά

Τα στοιχεία των μοντέλων στις δύο καταστάσεις φόρτωσης για τις οποίες έγιναν τα πειράματα συνοψίζονται στους ακόλουθους πίνακες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1

| NTUA | 113-95 |
|------------|----------------------|
| $\Delta =$ | 28,174 Kg |
| $C_{DL} =$ | 3,00 |
| $LCG =$ | -0,305 m |
| Trim = | 0,000 deg |
| $T_m =$ | 0,080 m |
| $L_{wl} =$ | 2,109 m |
| WS = | 0,808 m ² |

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2

| NTUA | 097-94 |
|------------|----------------------|
| $\Delta =$ | 29,615 Kg |
| $C_{DL} =$ | 3,00 |
| $LCG =$ | -0,297 m |
| Trim = | 0,000 deg |
| $T_m =$ | 0,083 m |
| $L_{wl} =$ | 2,145 m |
| WS = | 0,728 m ² |

Τα παραπάνω μοντέλα (NTUA-113/95 και NTUA-097/94) δοκιμάστηκαν υπό κλίμακα πραγματικού πλοίου 1:50 με συχνότητα δειγματοληψίας 20 Hz, δηλαδή 20 μετρήσεις το δευτερόλεπτο, στις παρακάτω ταχύτητες με τους αντίστοιχους αριθμούς Froude:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3

| Μοντέλο | Αριθμός F_n | Ταχύτητα V_m [m/sec] | Χρόνος μέτρησης τρεξίματος (run) [sec] | Αριθμός runs για κάθε κατάσταση | Συνολικός χρόνος πειραμάτων [sec] |
|--------------------|---------------|------------------------|--|---------------------------------|-----------------------------------|
| NTUA-113/95 | 0.34 | 1.547 | 35 | 8 | 280 |
| | 0.68 | 3.093 | 16 | 17 | 272 |
| NTUA-097/94 | 0.68 | 3.119 | 16 | 17 | 272 |

5.2. Διαγράμματα αποτελεσμάτων πειραμάτων σε τυχαίους κυματισμούς

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται για κάθε είδος τυχαίου κυματισμού σε κάθε ταχύτητα τα διαγράμματα των χρονικών ιστοριών στο πεδίο των συχνοτήτων (frequency domain), τα οποία έχουν προκύψει από την συνένωση όλων των επαναληπτικών μετρήσεων σε κάθε κατάσταση θάλασσας. Τα εν λόγω διαγράμματα είναι φάσματα $S(f)$ συναρτήσει της συχνότητας f και είναι τα εξής:

Φάσμα κύματος $S(f)$ σε μέτρα στο τετράγωνο ανά Hertz (m^2/Hz) συναρτήσει της συχνότητας f σε Hertz σε ακίνητο σύστημα αναφοράς:

μετρημένο από τον ακίνητο αισθητήρα probe που ήταν τοποθετημένος μέσα στη δεξαμενή κοντά στον κυματιστήρα (Wave Tank)
μετρημένο από το κινούμενο μαζί με το πρότυπο αισθητήρα probe μετασχηματισμένο από το κινούμενο σύστημα αναφοράς στο ακίνητο ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμο με μετρημένο σε ακινησία φάσμα (Wave Car ακίνητο)
το θεωρητικό φάσμα που είχε ζητηθεί να παραχθεί από τον κυματιστήρα σύμφωνα με την εξίσωση του Bretschneider

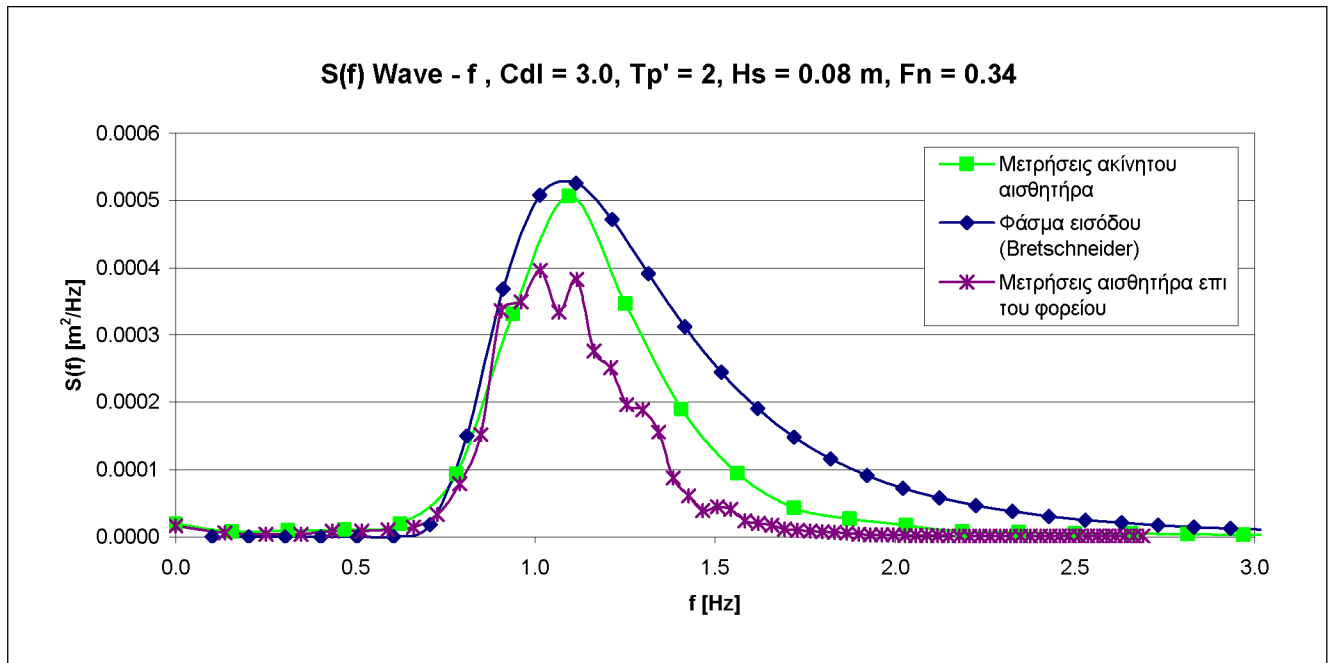
Φάσματα Κατακόρυφων επιταχύνσεων (accel) $S(f)$ σε επιτάχυνση βαρύτητας στο τετράγωνο ανά Hertz (g^2/Hz) συναρτήσει της συχνότητας f σε Hertz στις τρεις θέσεις:

πρώραθεν
στη διαμήκη θέση κέντρου βάρους και
πρύμνηθεν

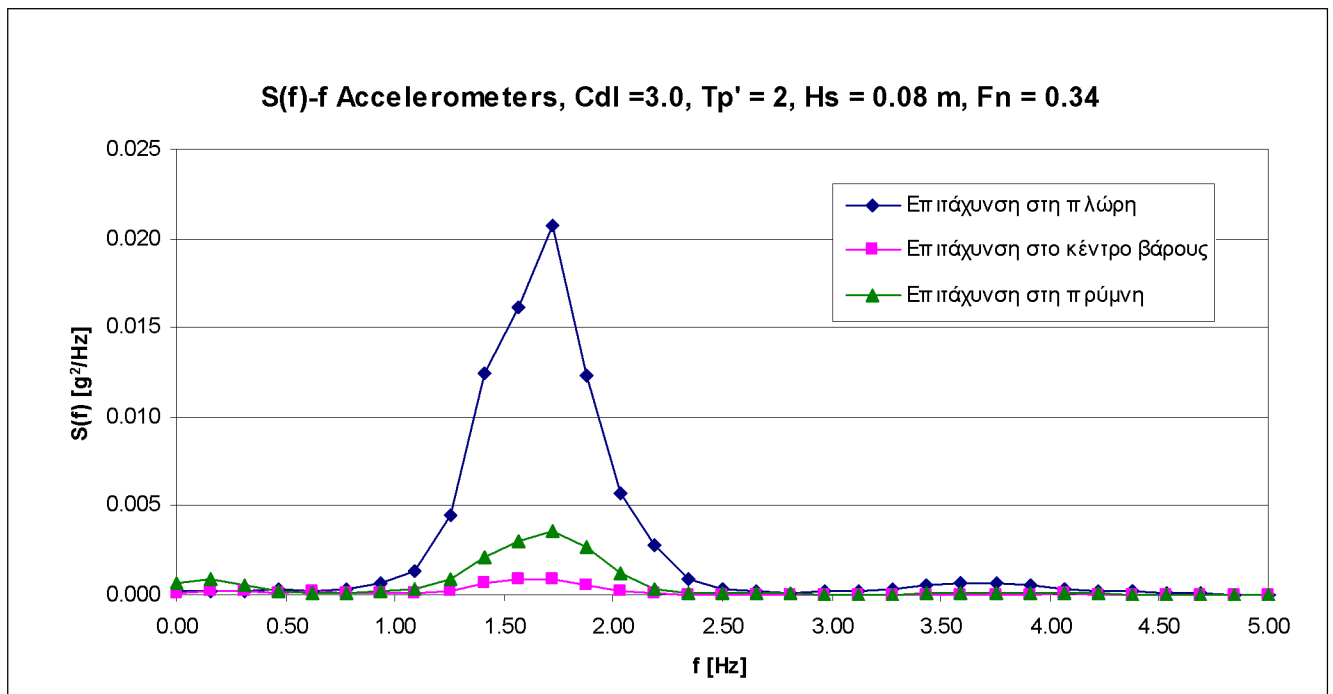
Φάσμα Κατακόρυφης κίνησης (heave) $S(f)$ σε εκατοστά στο τετράγωνο ανά Hertz (cm^2/Hz) συναρτήσει της συχνότητας f σε Hertz

Φάσμα Προνευτασμού (pitch) $S(f)$ σε μοίρες στο τετράγωνο ανά Hertz (deg^2/Hz) συναρτήσει της συχνότητας f σε Hertz

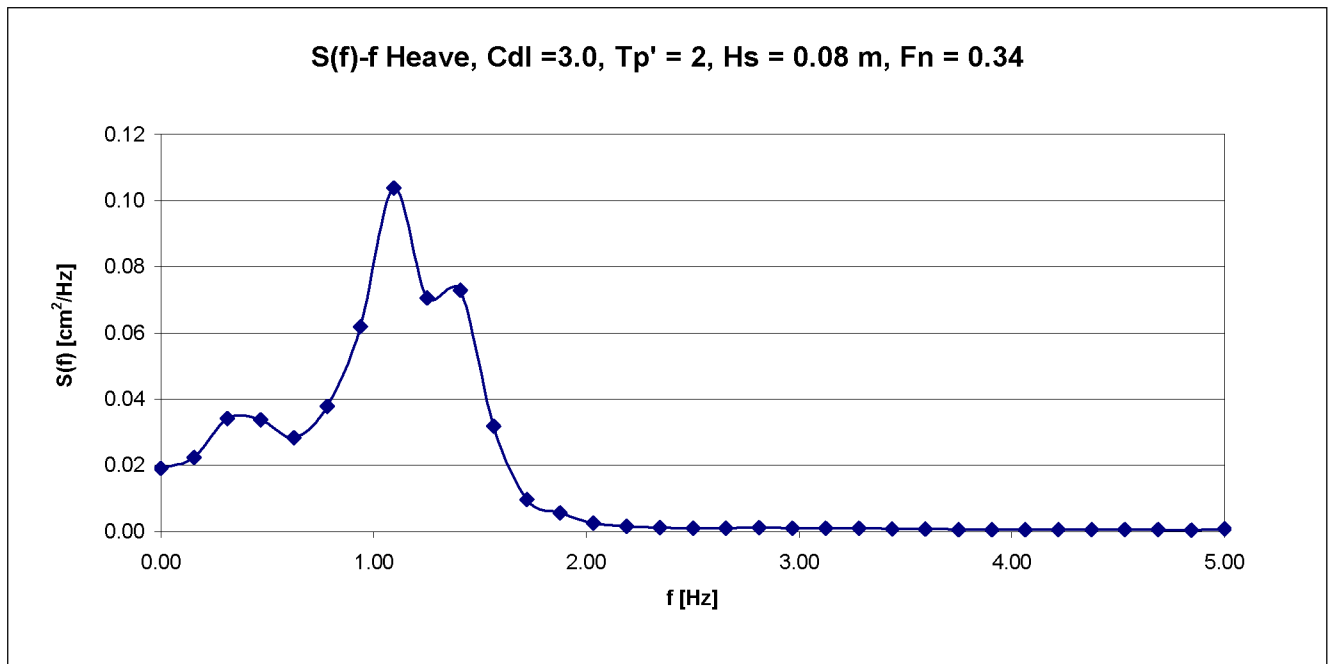
Αποτελέσματα μοντέλου NTUA-113/95 (L/B=4.00) για
C_dl=3.00 και F_n=0.34



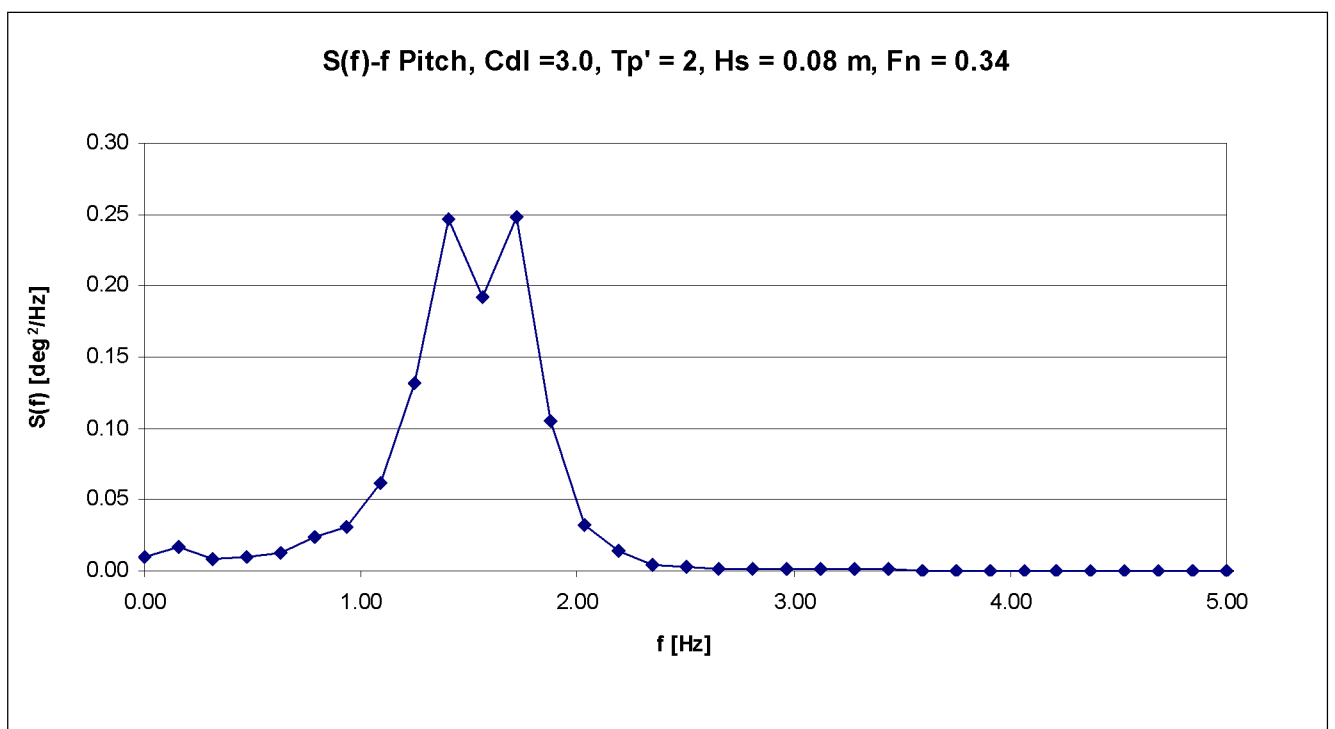
Σχήμα 5.1 :Τροφοδοτηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



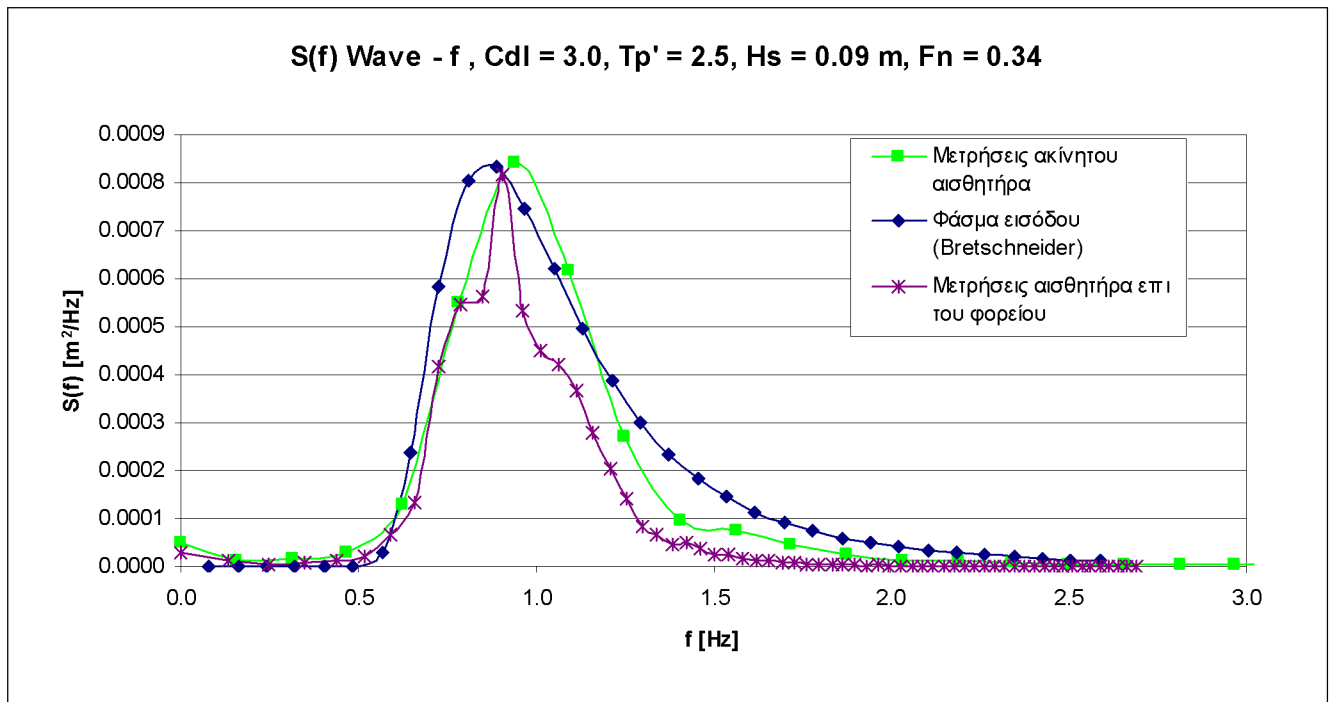
Σχήμα 5.2 :Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



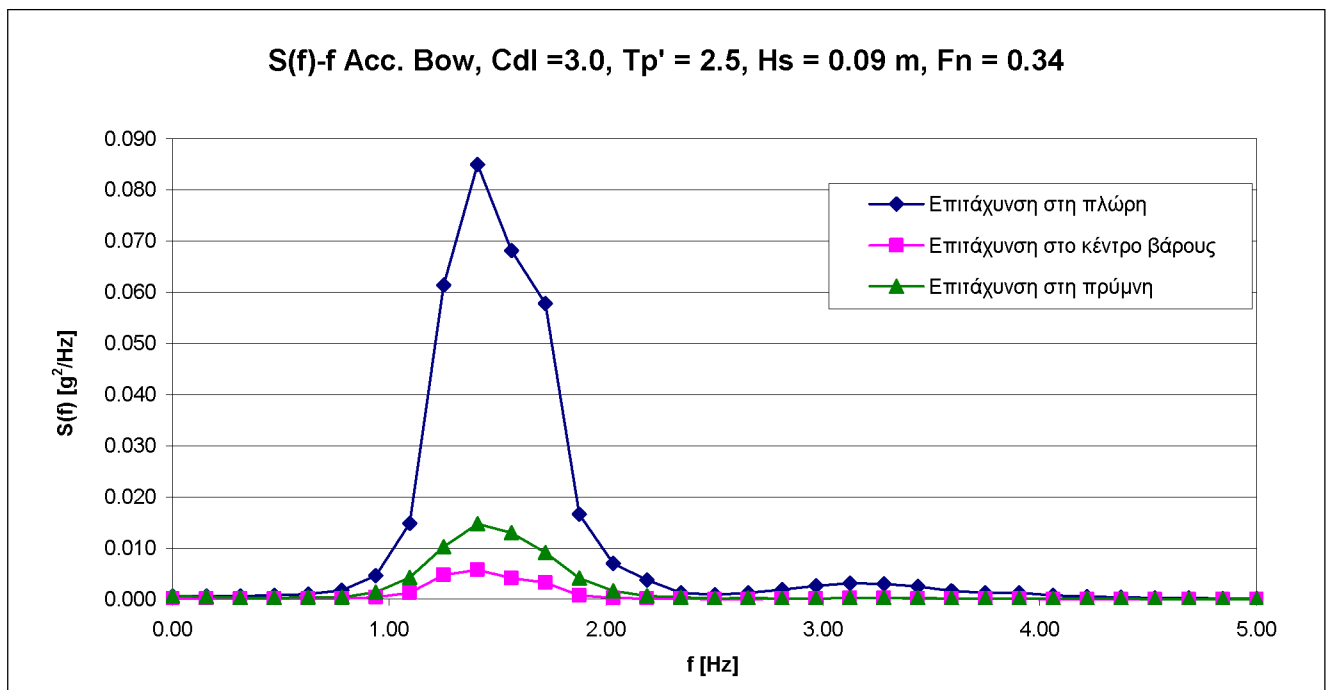
Σχήμα 5.3 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



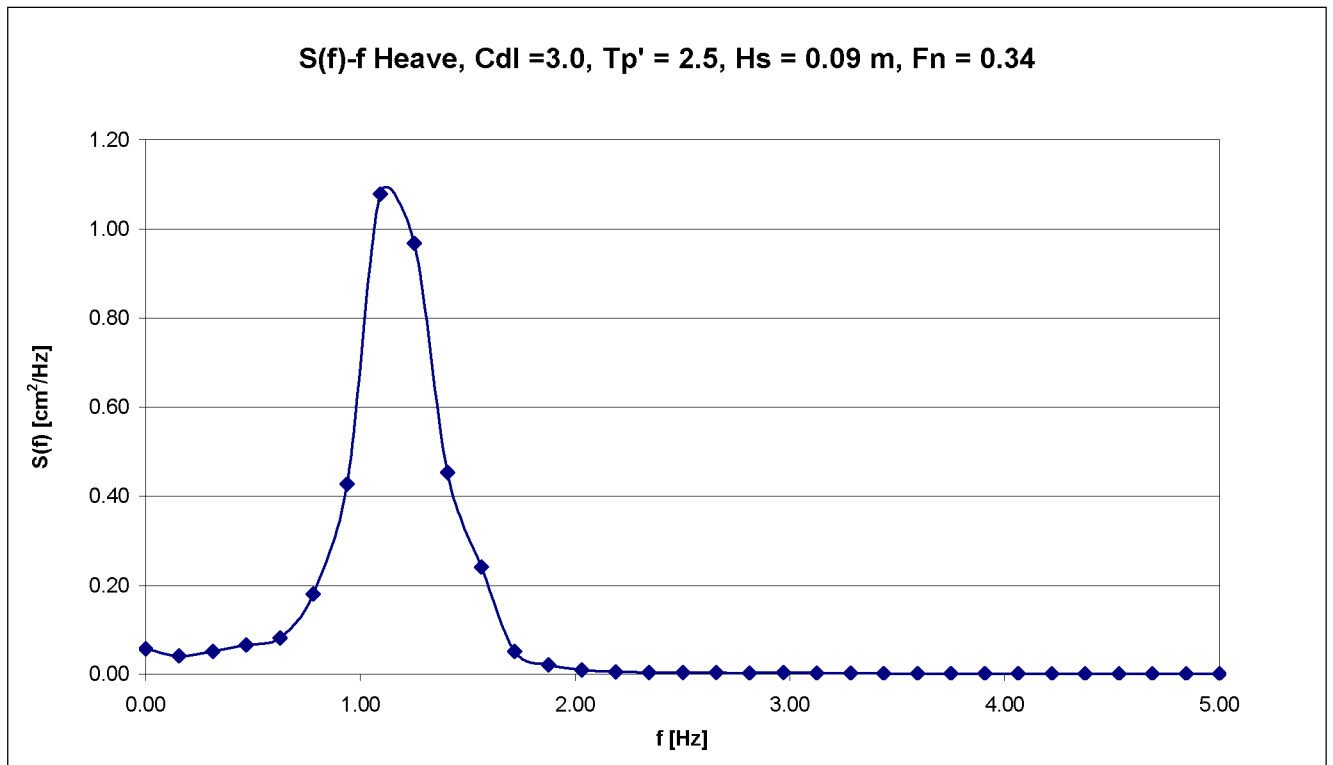
Σχήμα 5.4 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



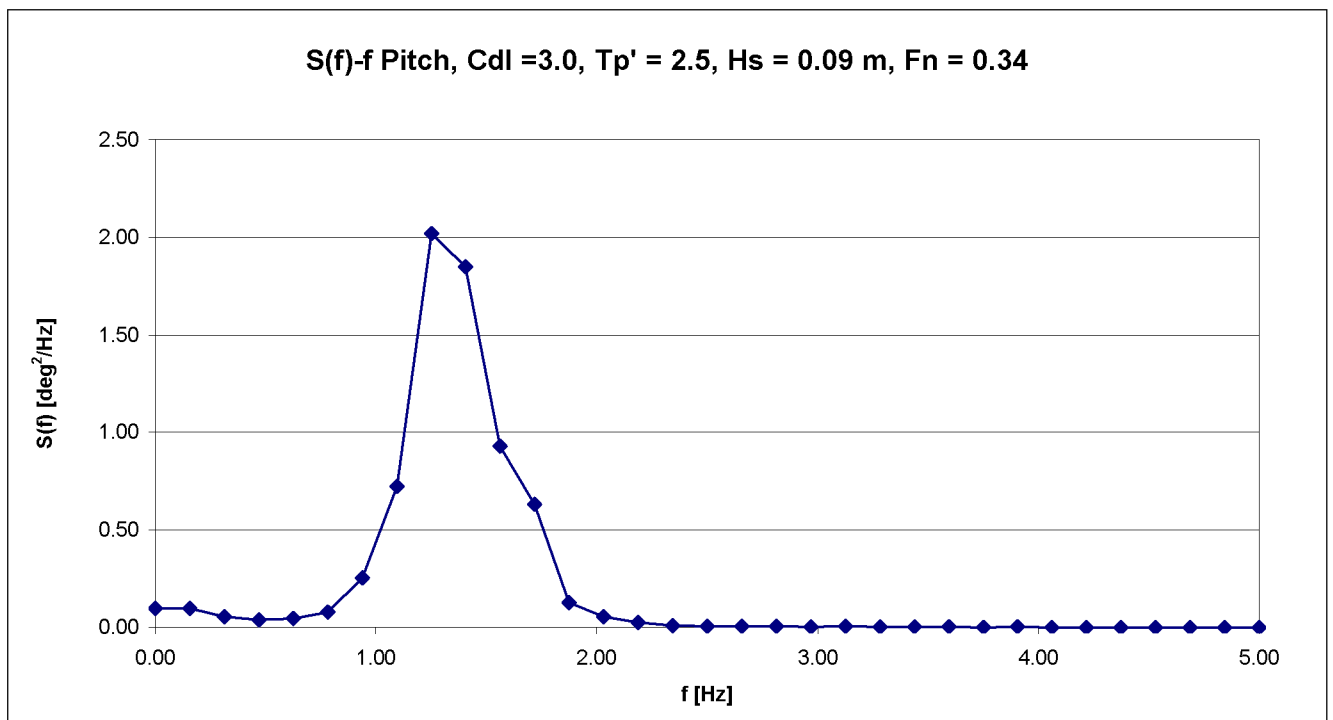
Σχήμα 5.5 : Τροφοδοθηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



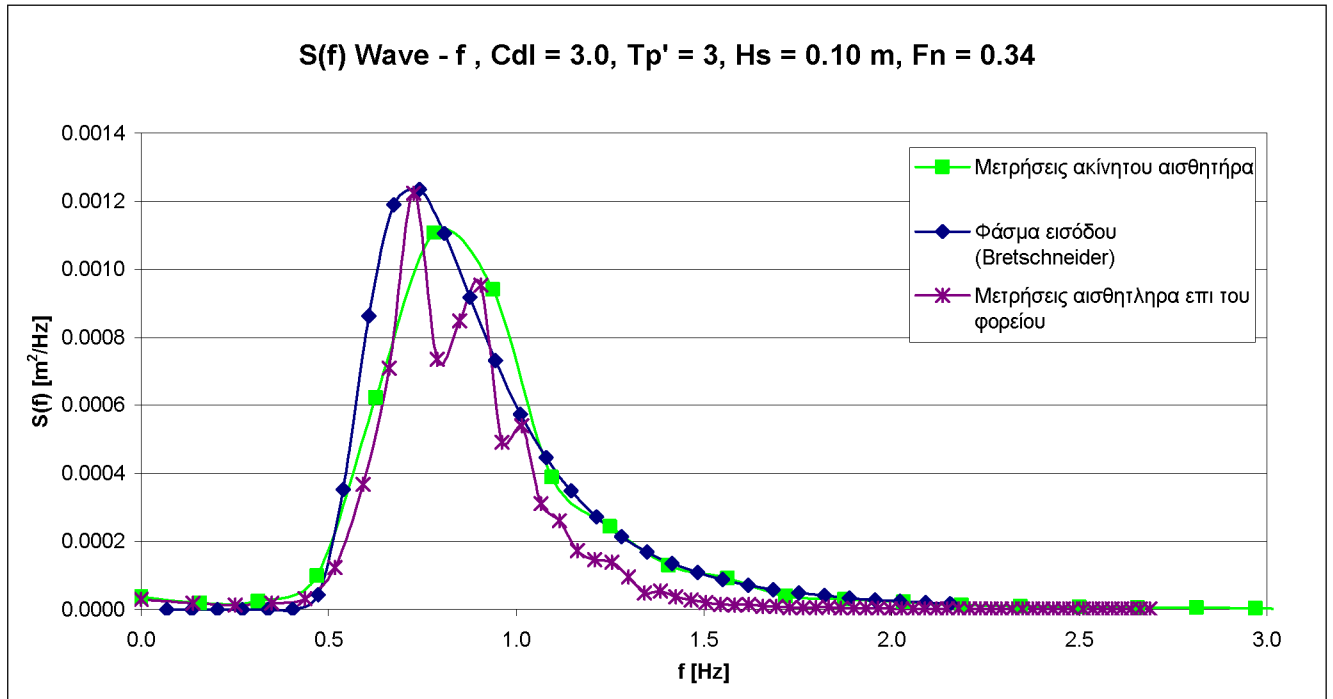
Σχήμα 5.6 : Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



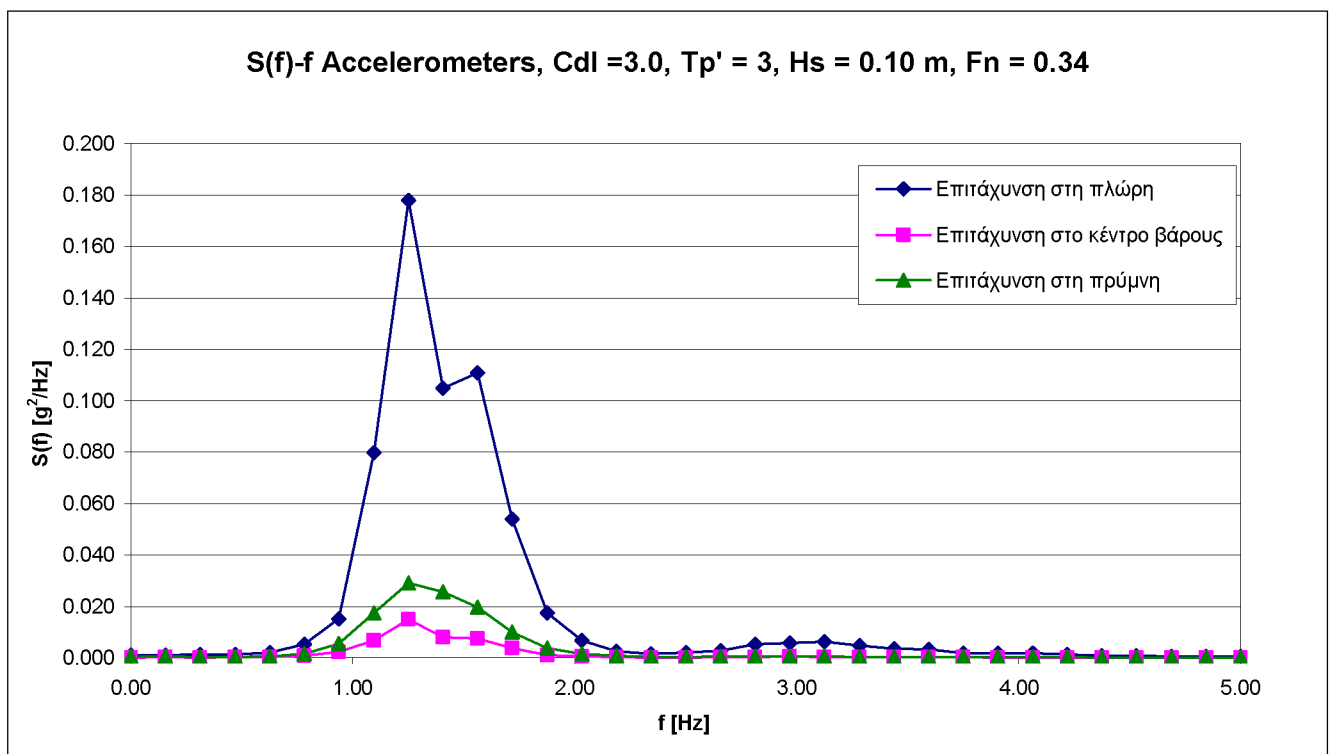
Σχήμα 5.7 :Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



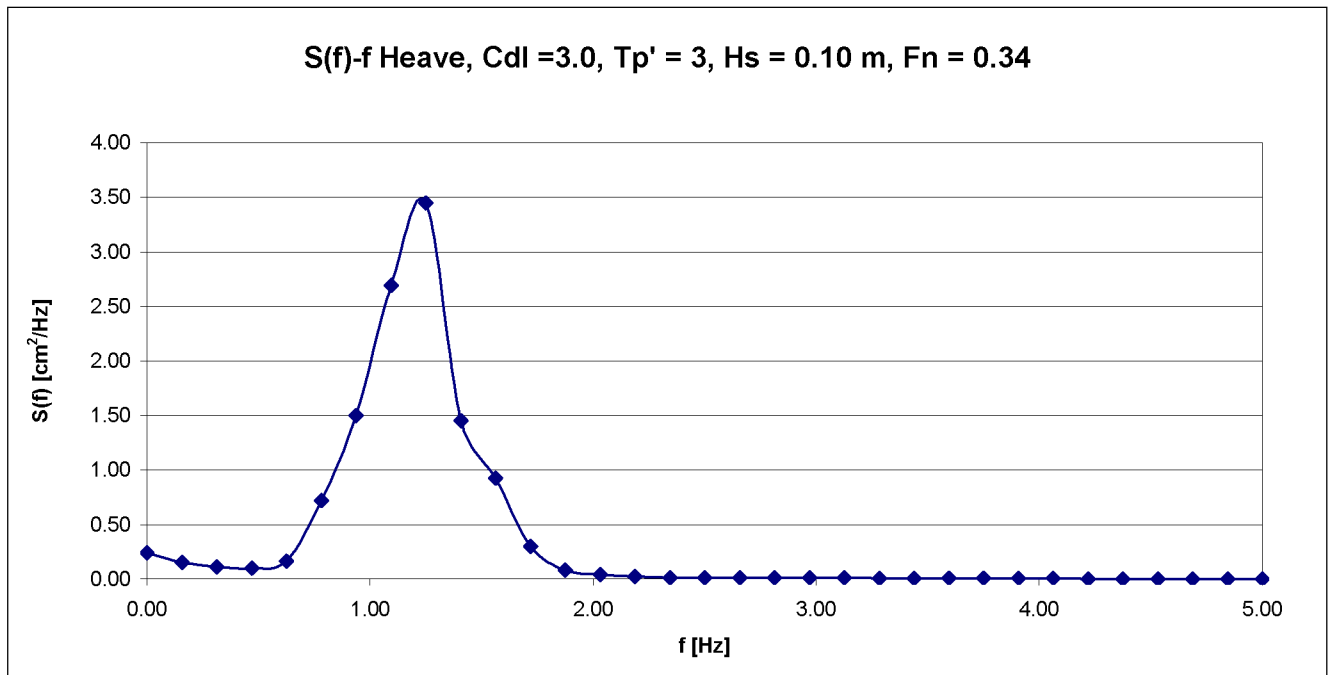
Σχήμα 5.8 :Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



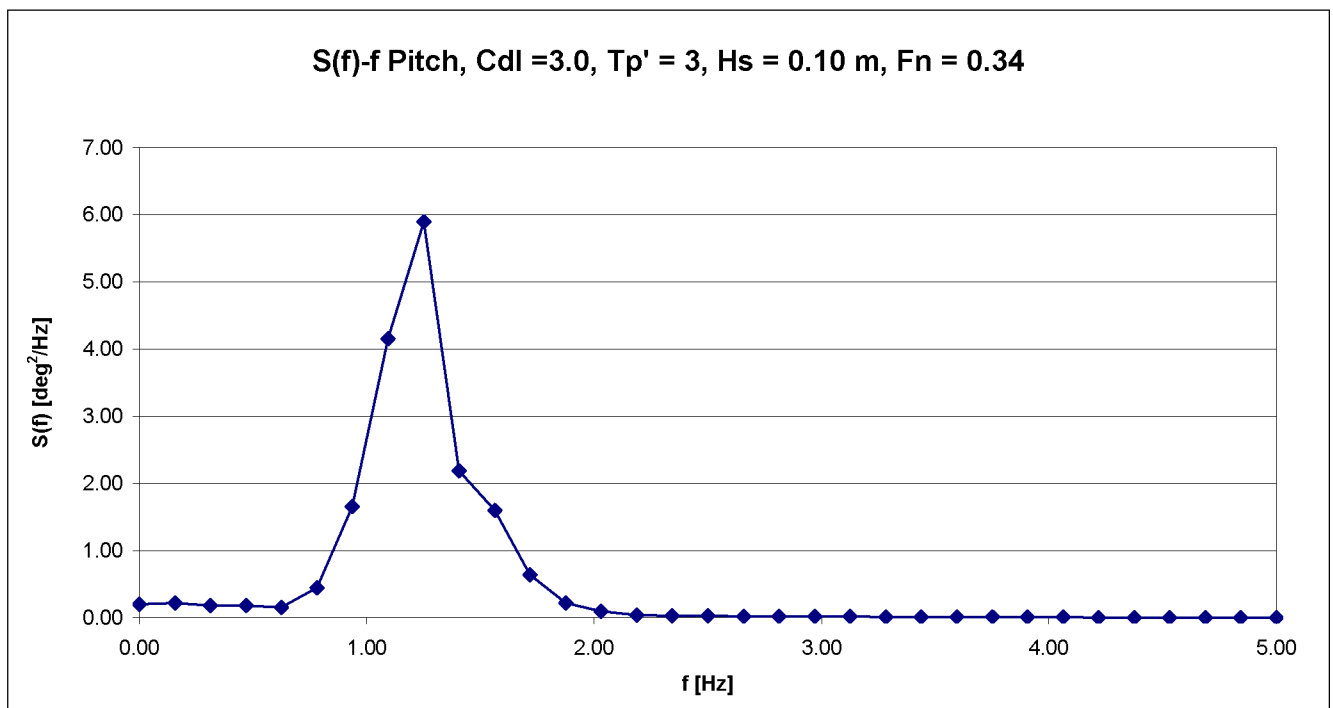
Σχήμα 5.9 :Τροφοδοτηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



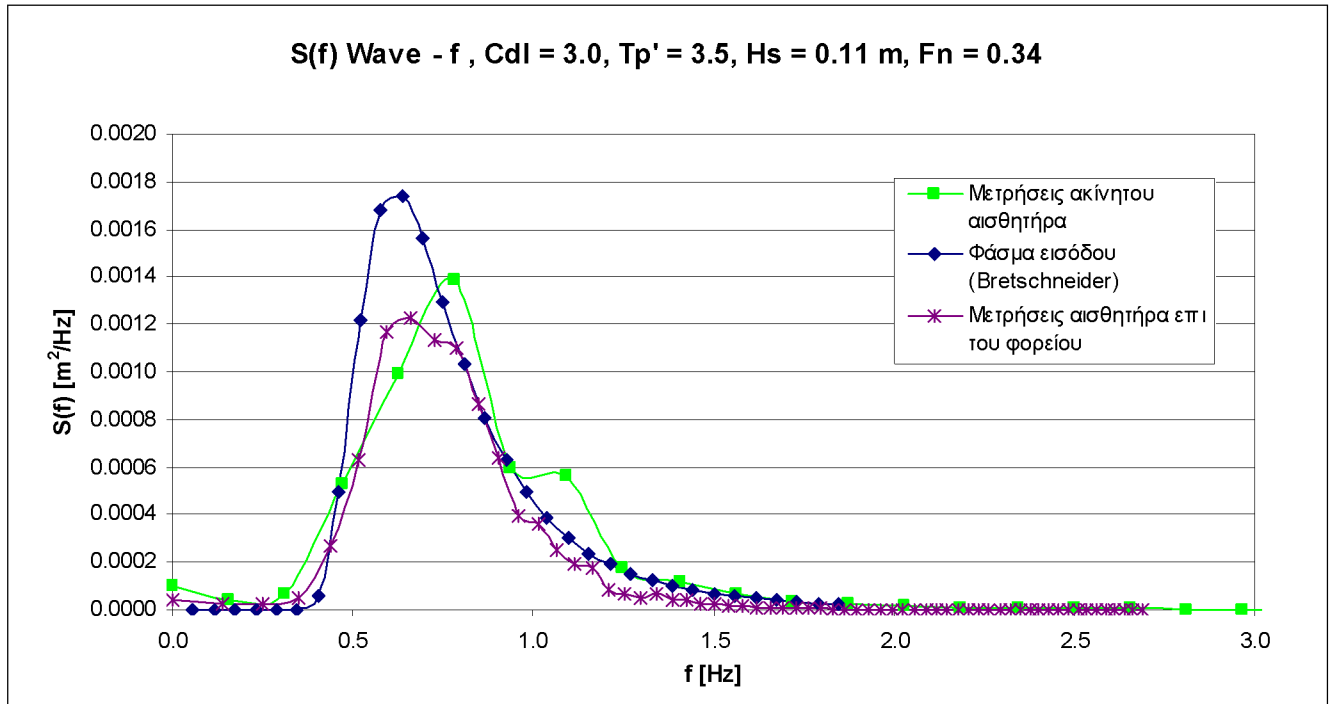
Σχήμα 5.10 :Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



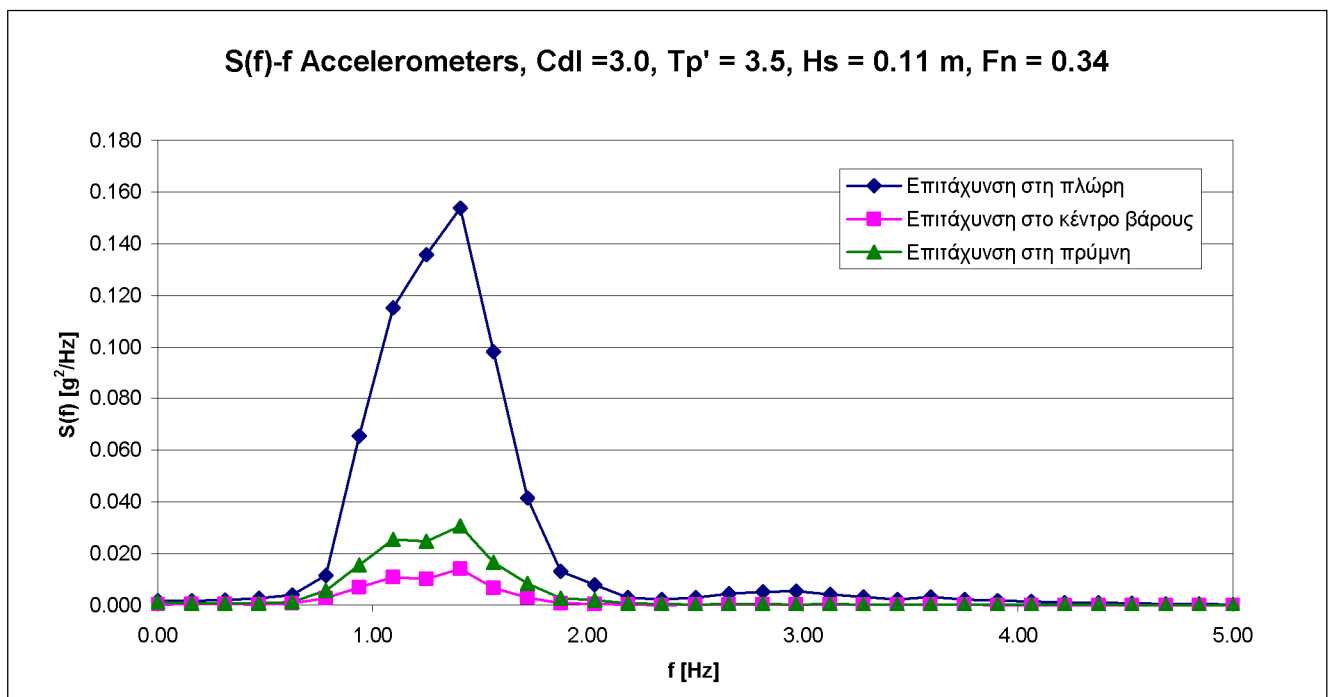
Σχήμα 5.11 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



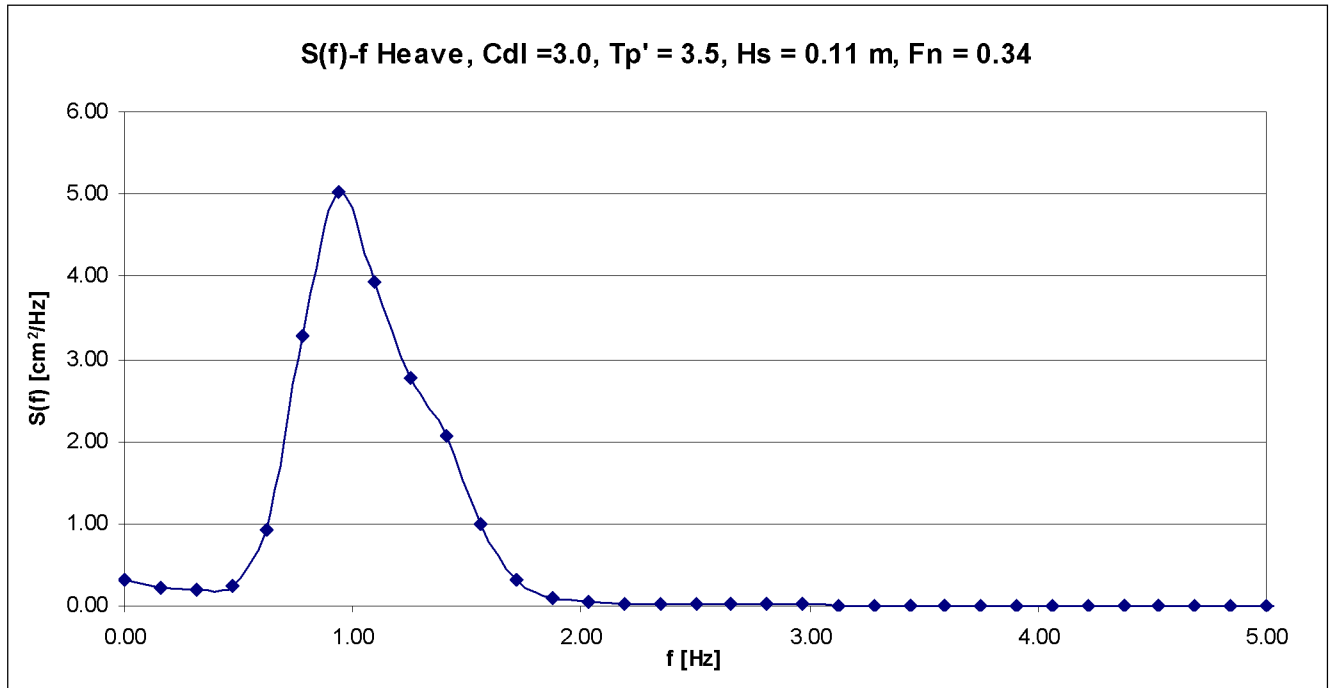
Σχήμα 5.12 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



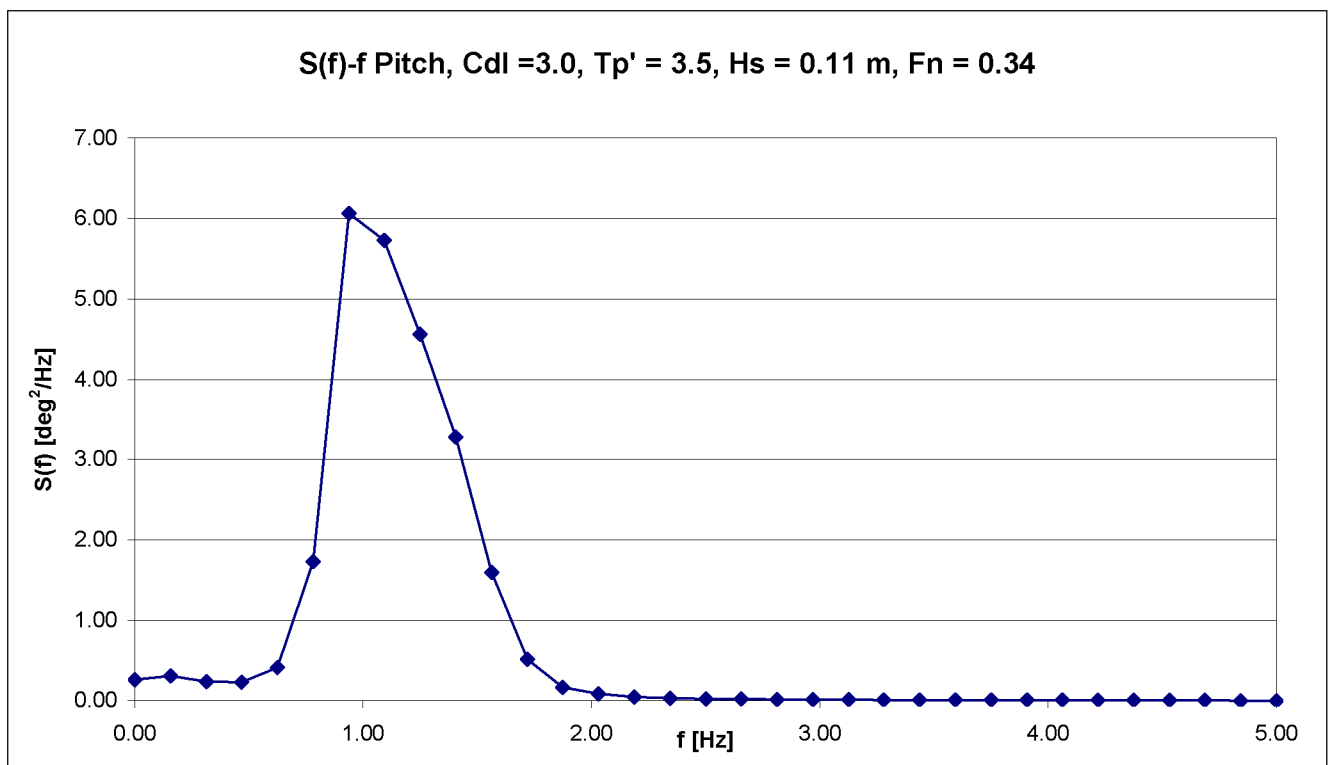
Σχήμα 5.13 : Τροφοδοτηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



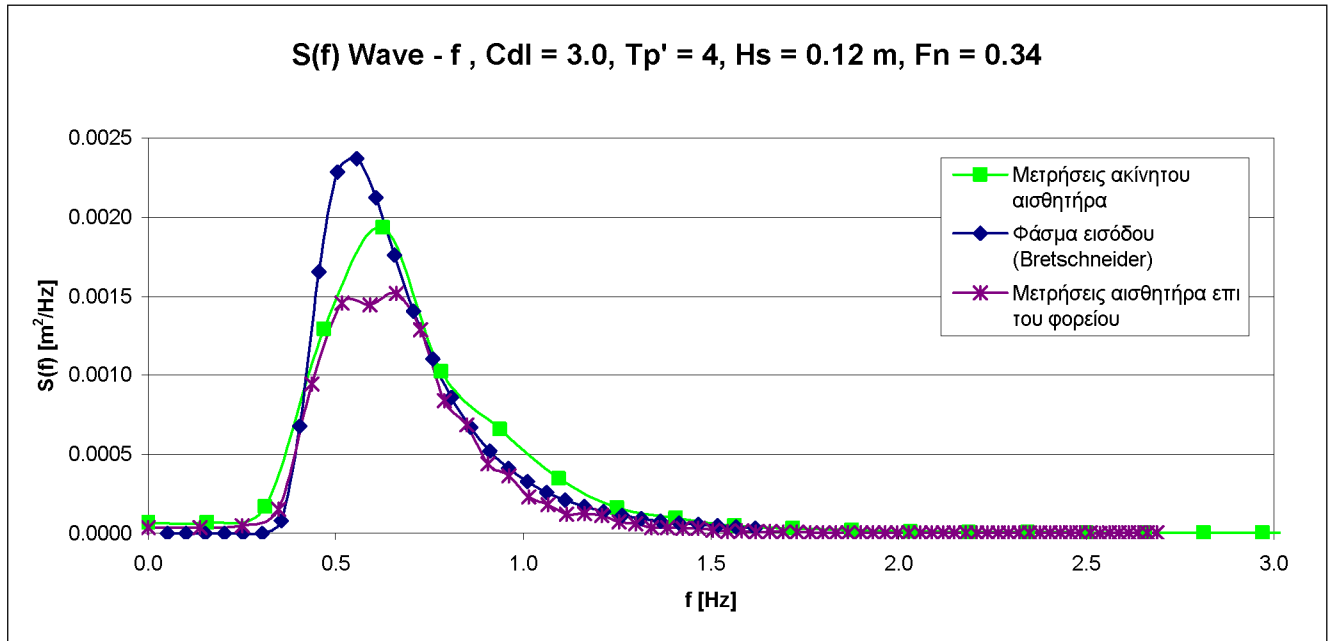
Σχήμα 5.14 : Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



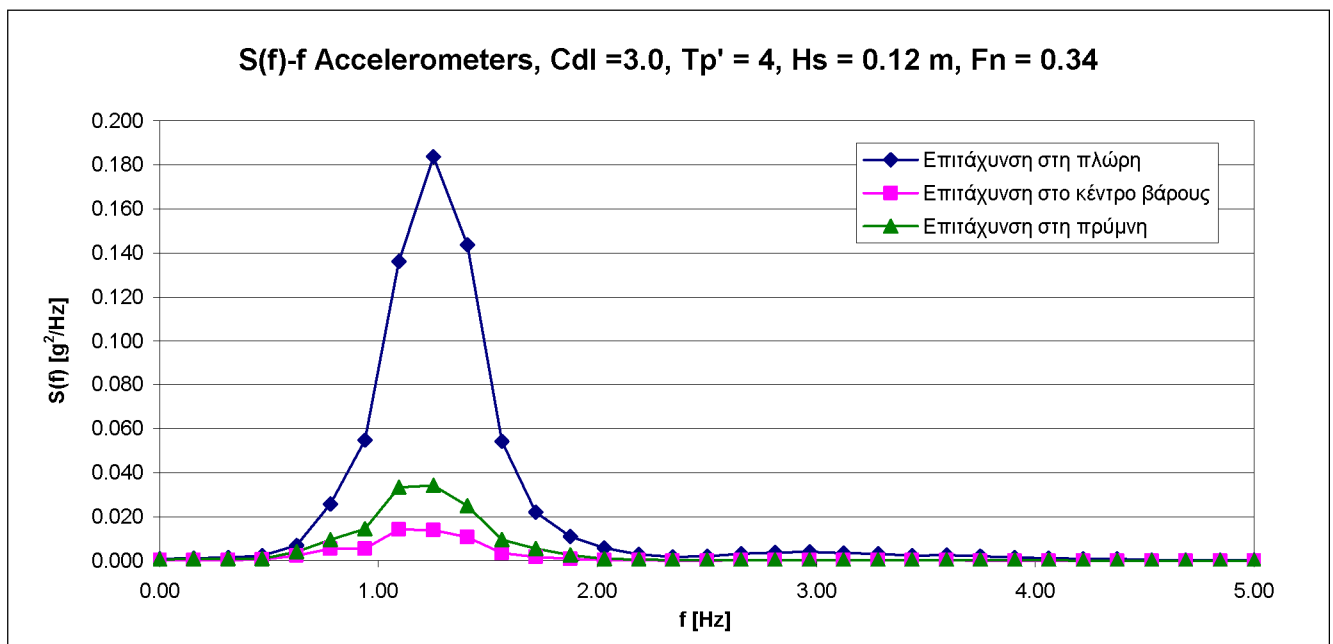
Σχήμα 5.15 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



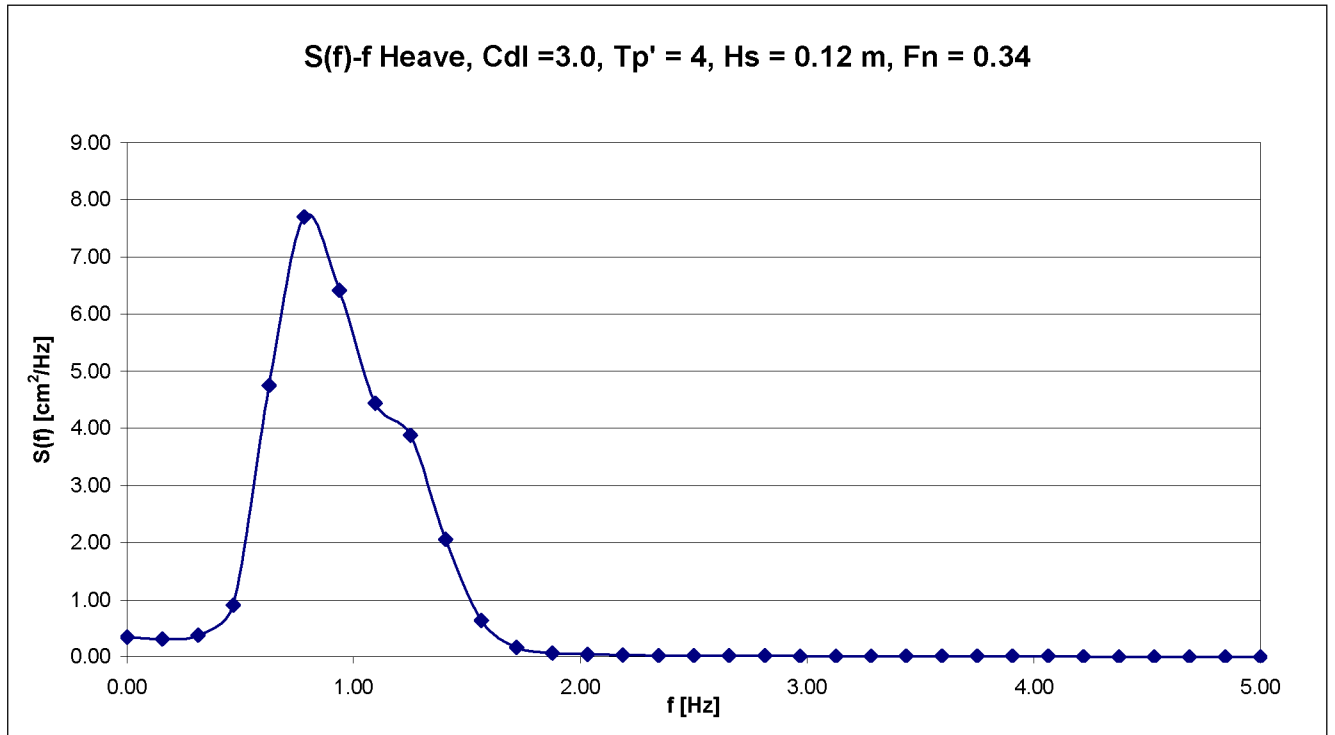
Σχήμα 5.16 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



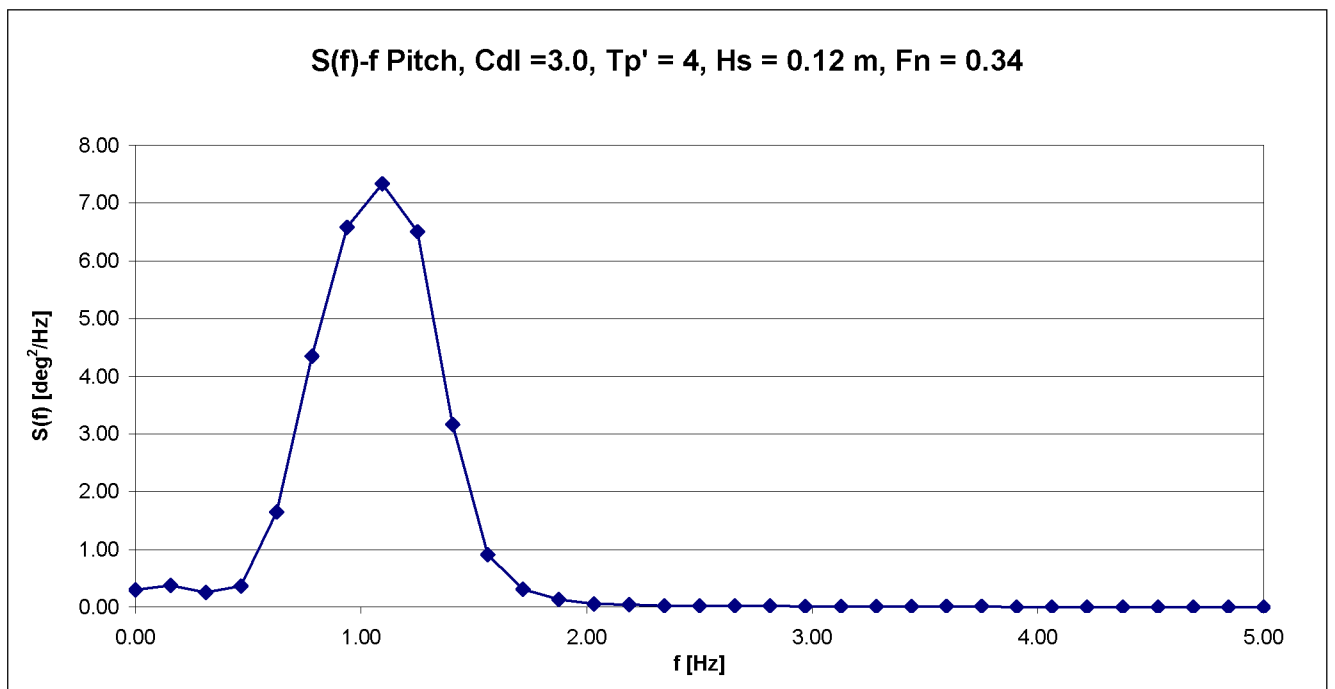
Σχήμα 5.17 : Τροφοδοθηείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



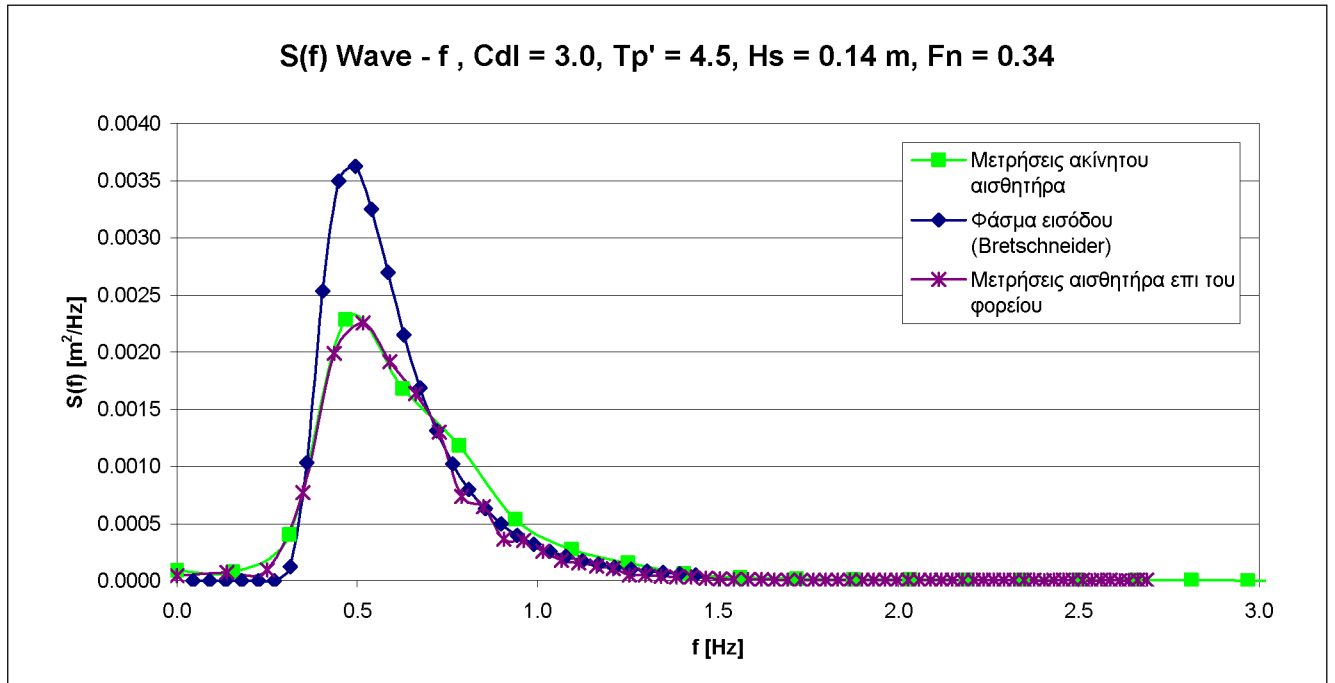
Σχήμα 5.18 : Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



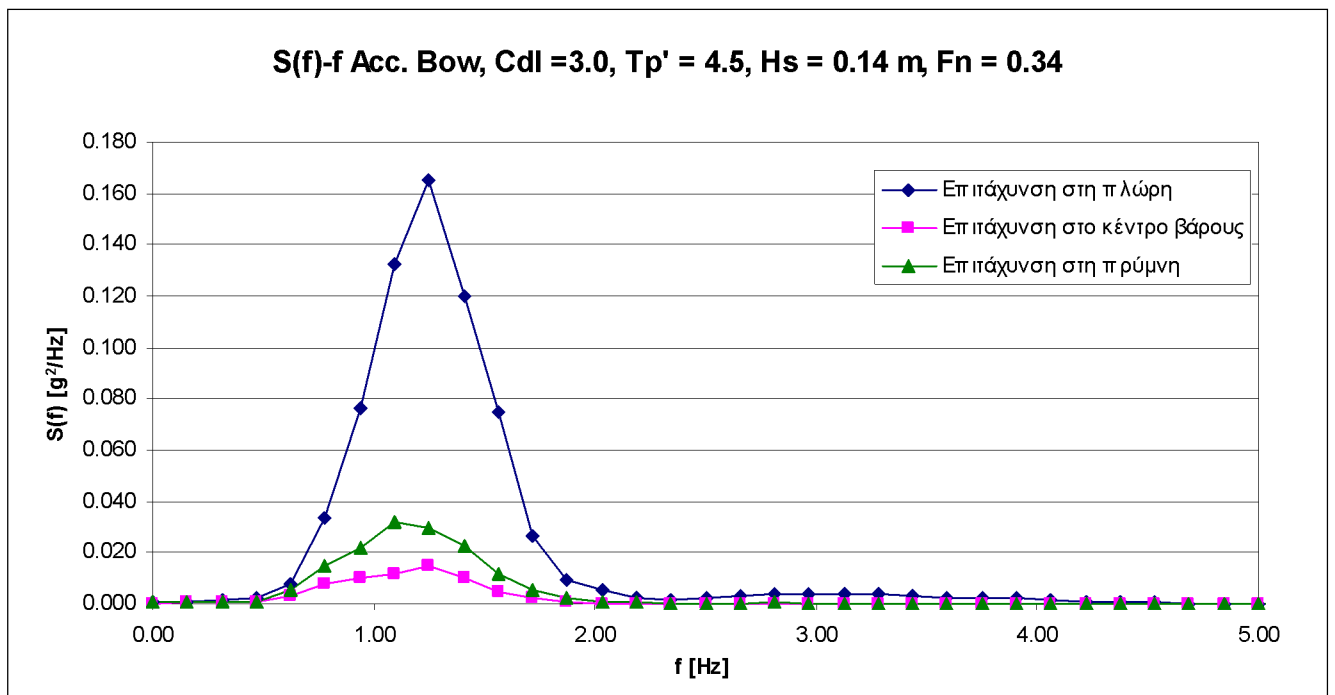
Σχήμα 5.19 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



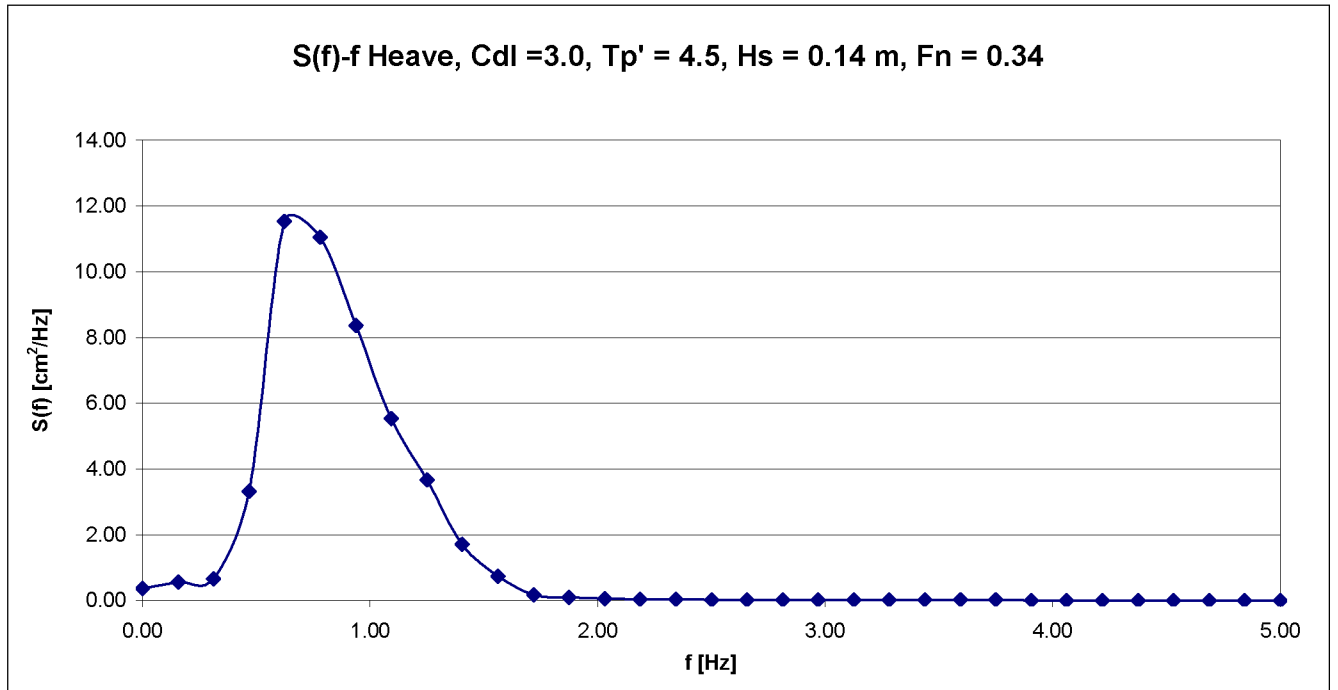
Σχήμα 5.20 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



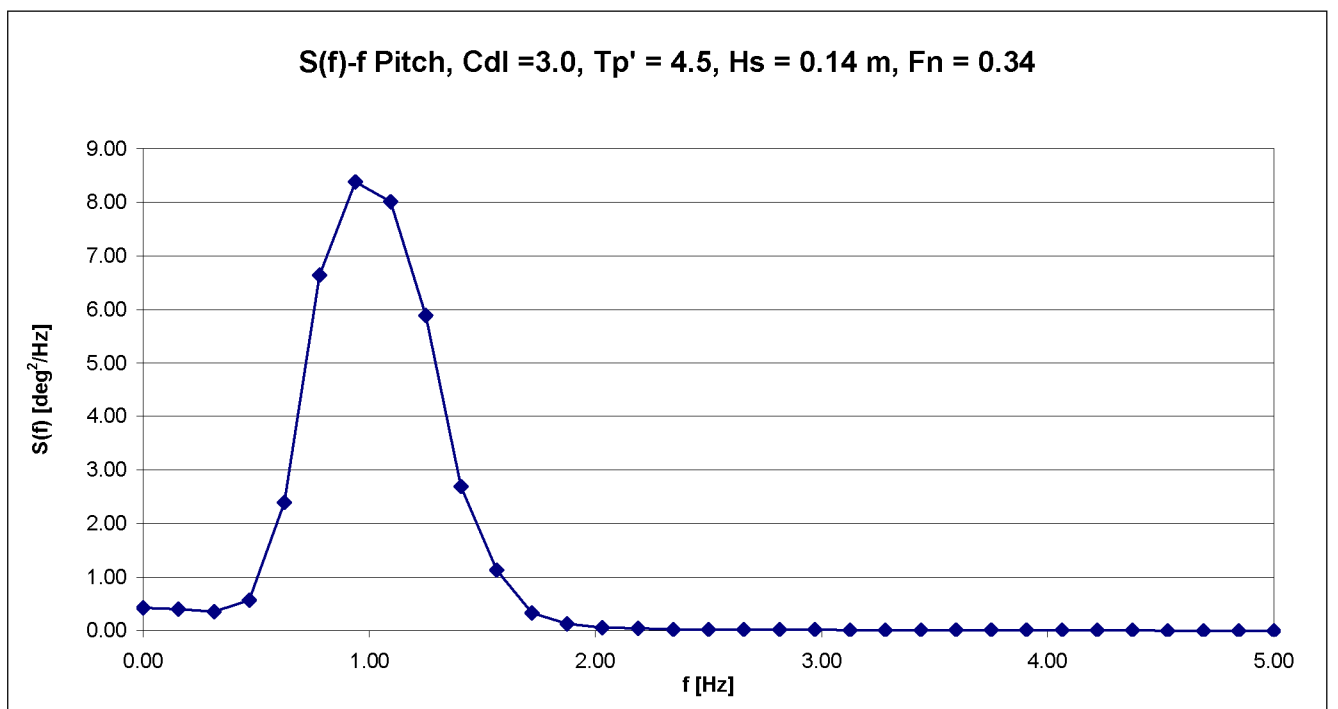
Σχήμα 5.21 :Τροφοδοθηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



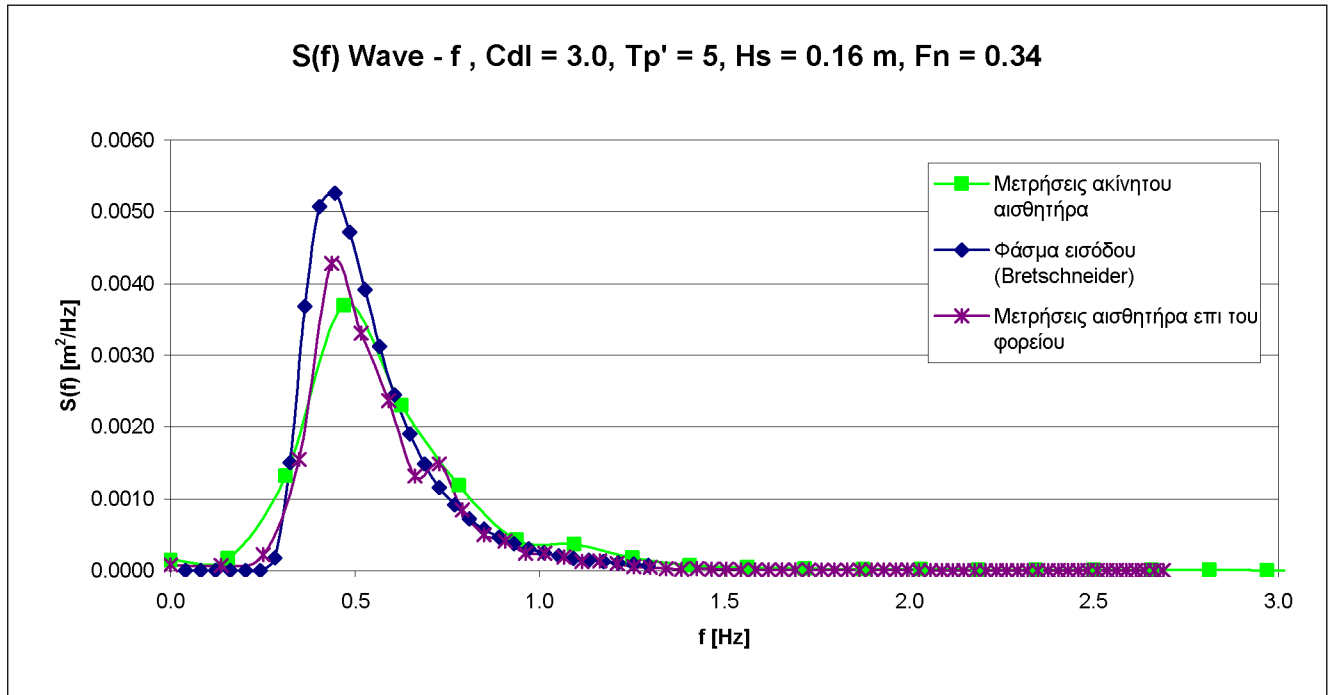
Σχήμα 5.22 :Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



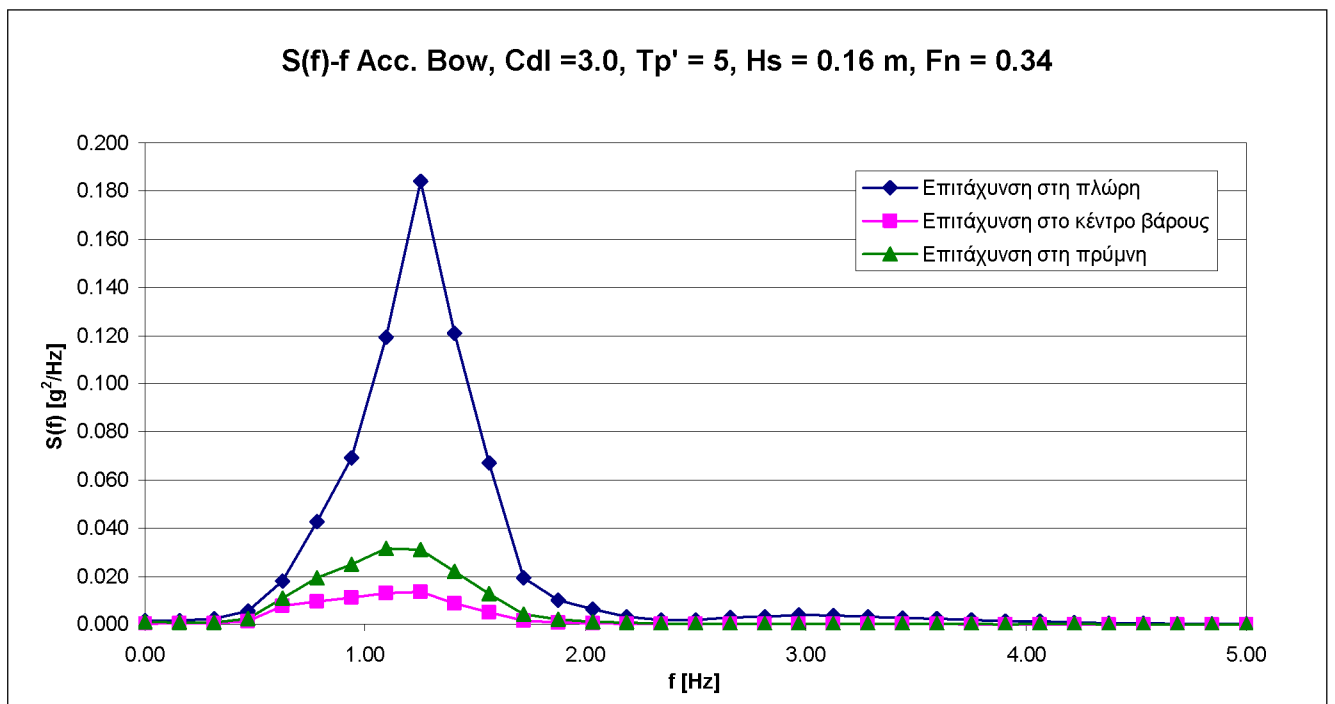
Σχήμα 5.23 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



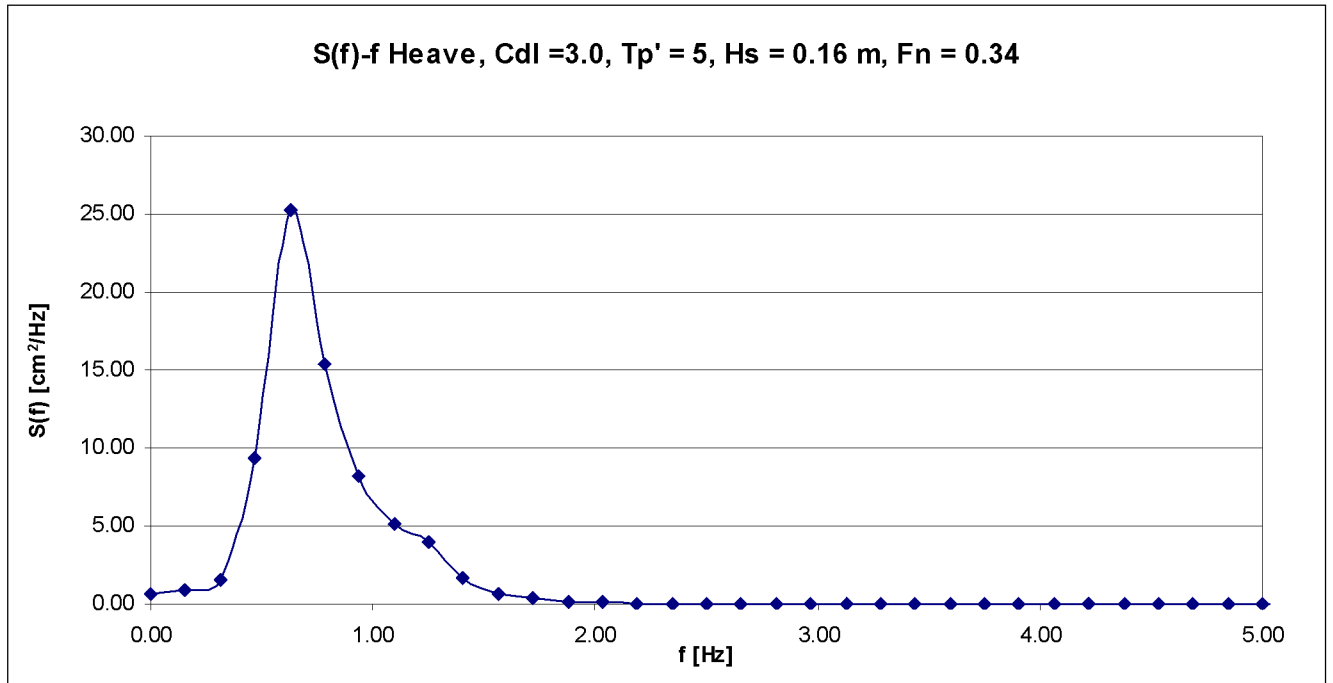
Σχήμα 5.24 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



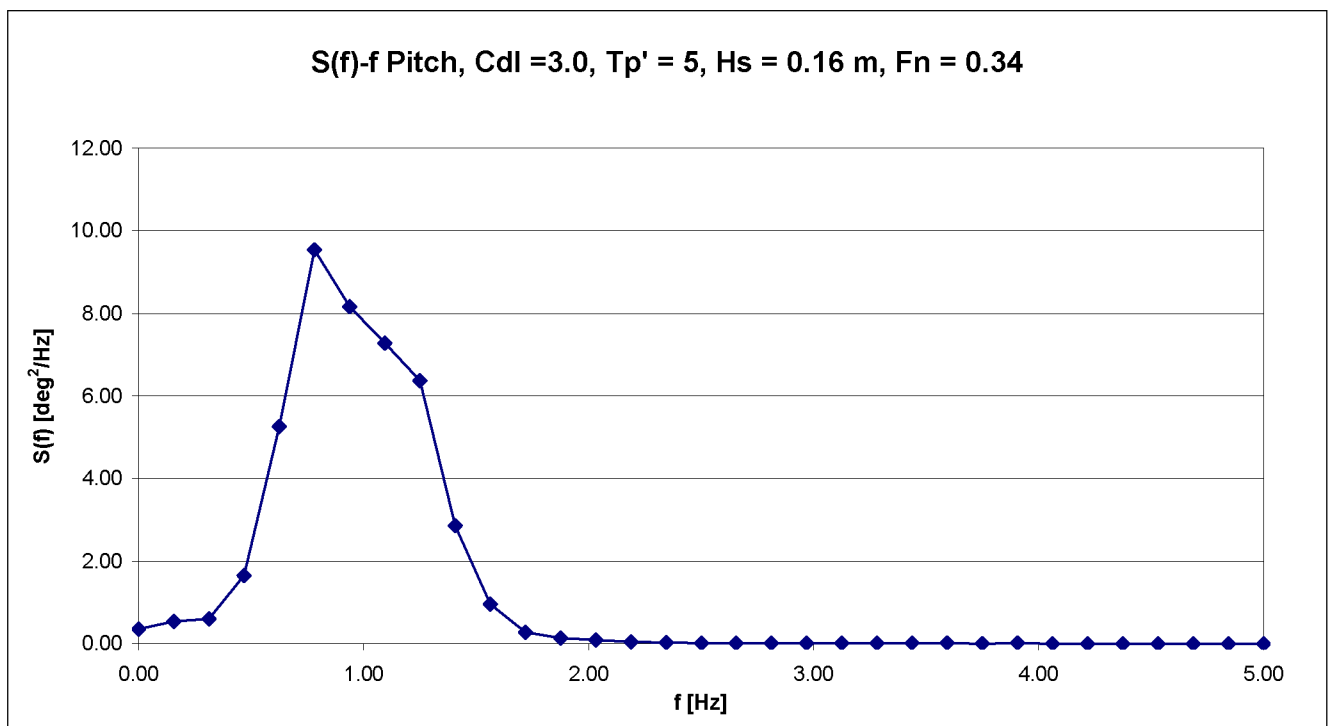
Σχήμα 5.25 :Τροφοδοθηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



Σχήμα 5.26 :Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)

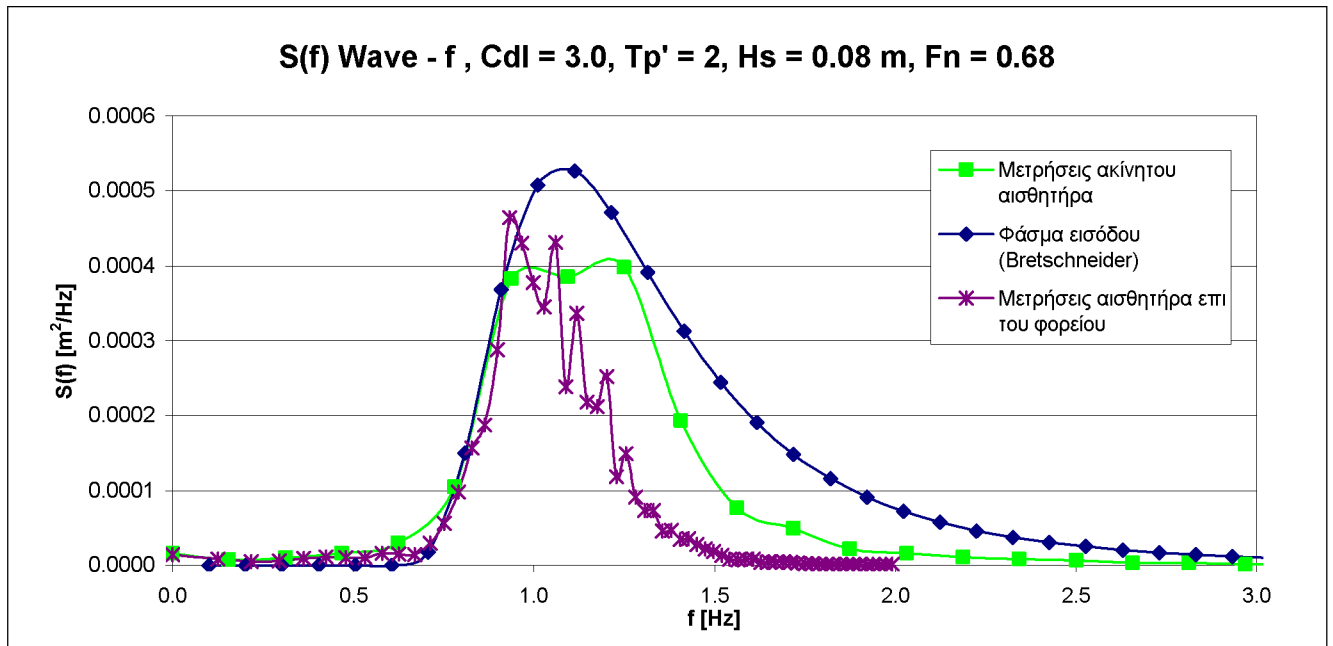


Σχήμα 5.27 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης

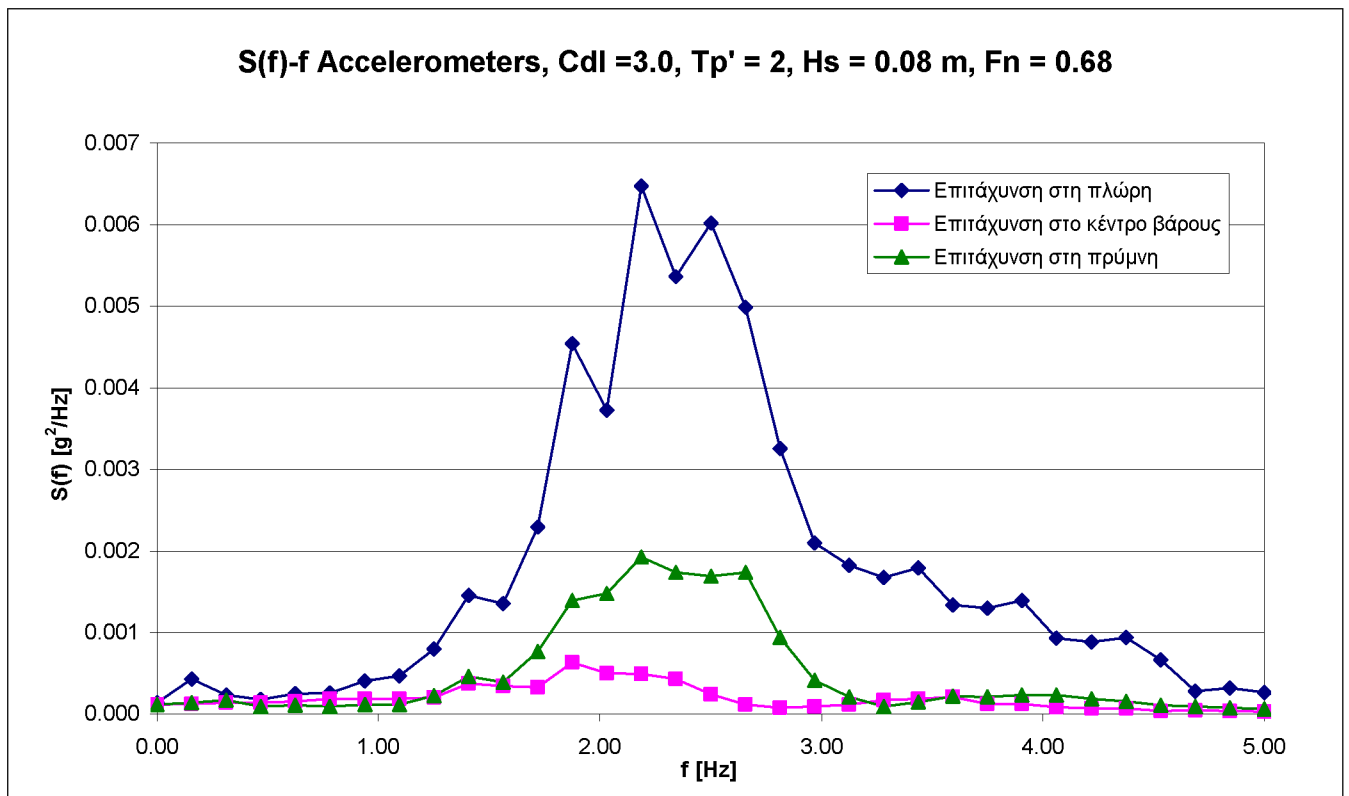


Σχήμα 5.28 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού

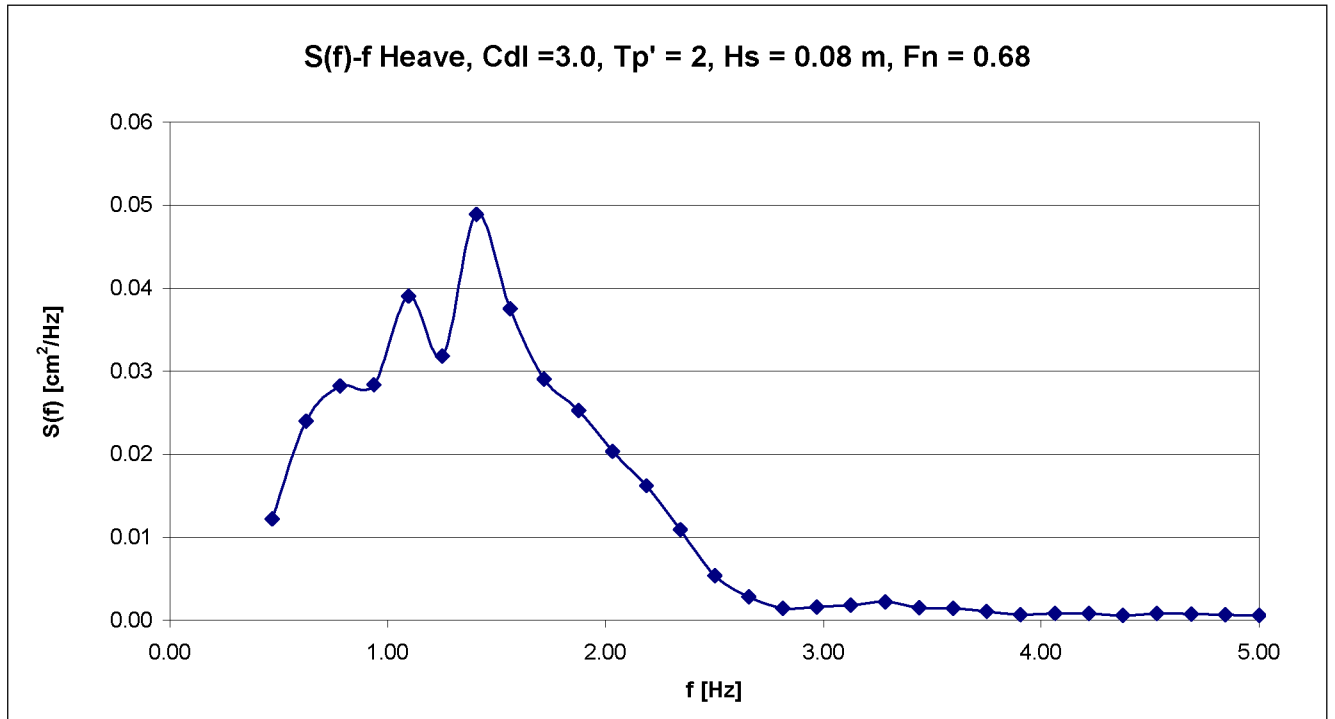
**Αποτελέσματα μοντέλου NTUA-113/95 (L/B=4.00) για
Cdl=3.00 και Fn=0.68**



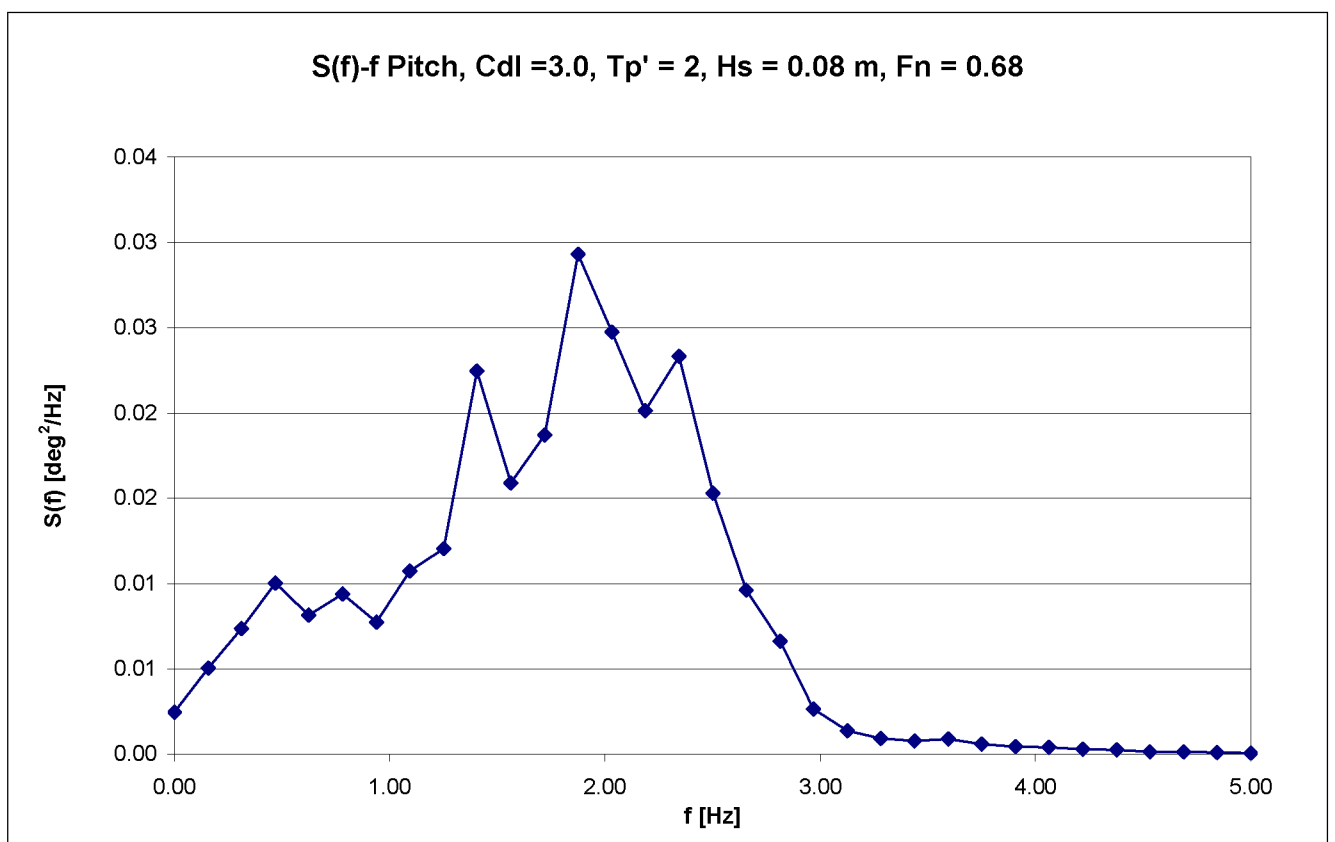
Σχήμα 5.29 : Τροφοδοτηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



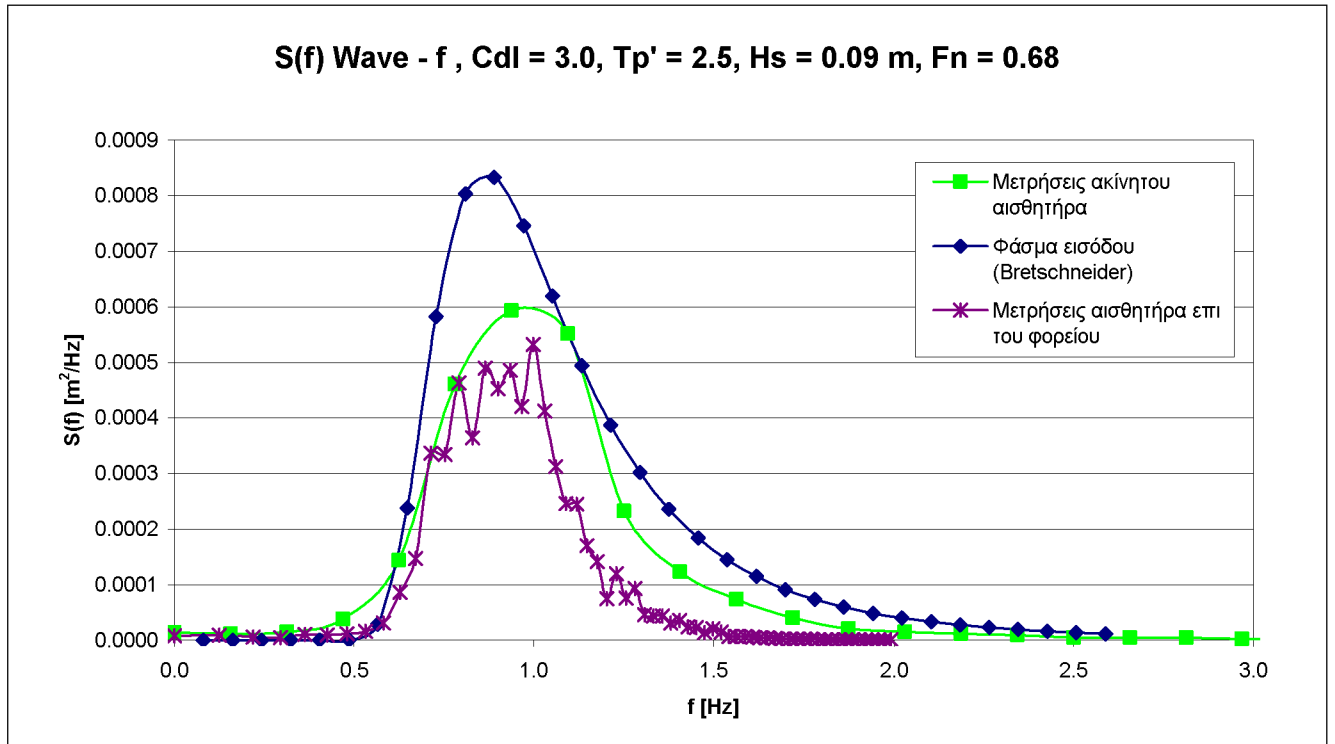
Σχήμα 5.30 : Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



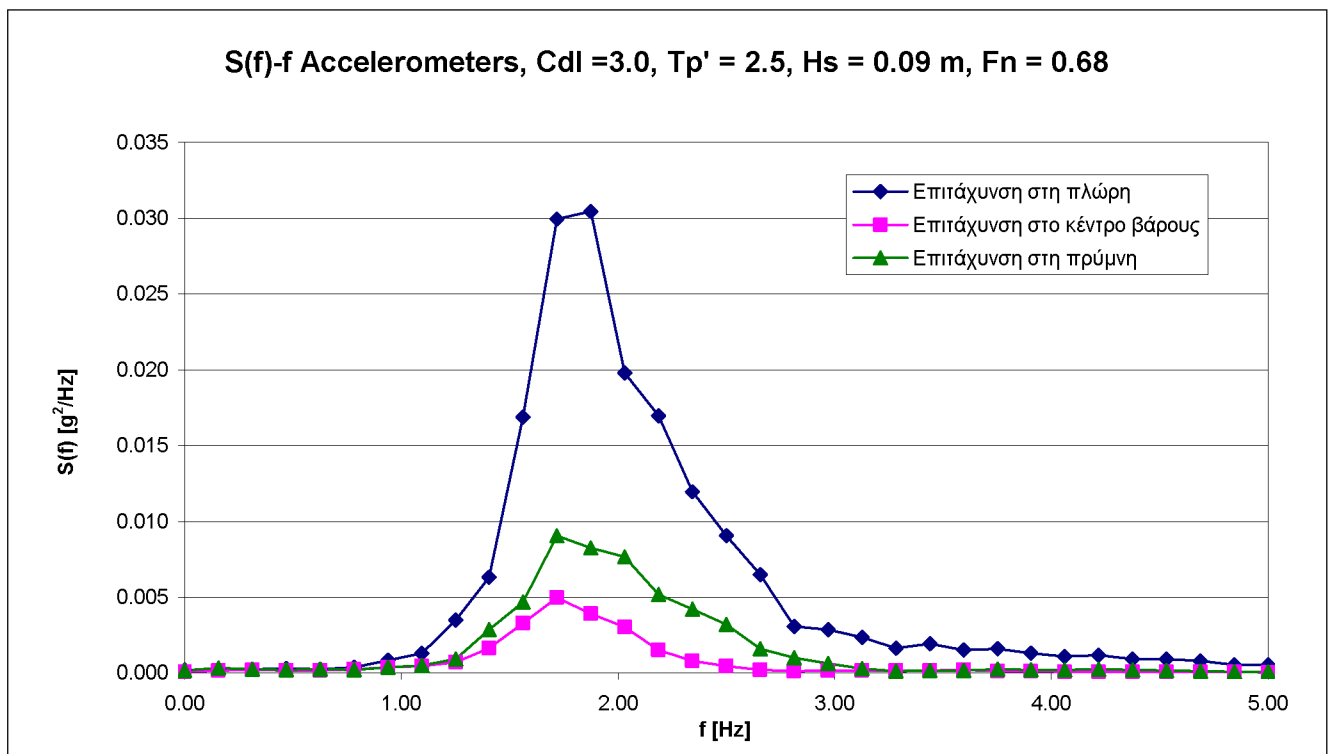
Σχήμα 5.31 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



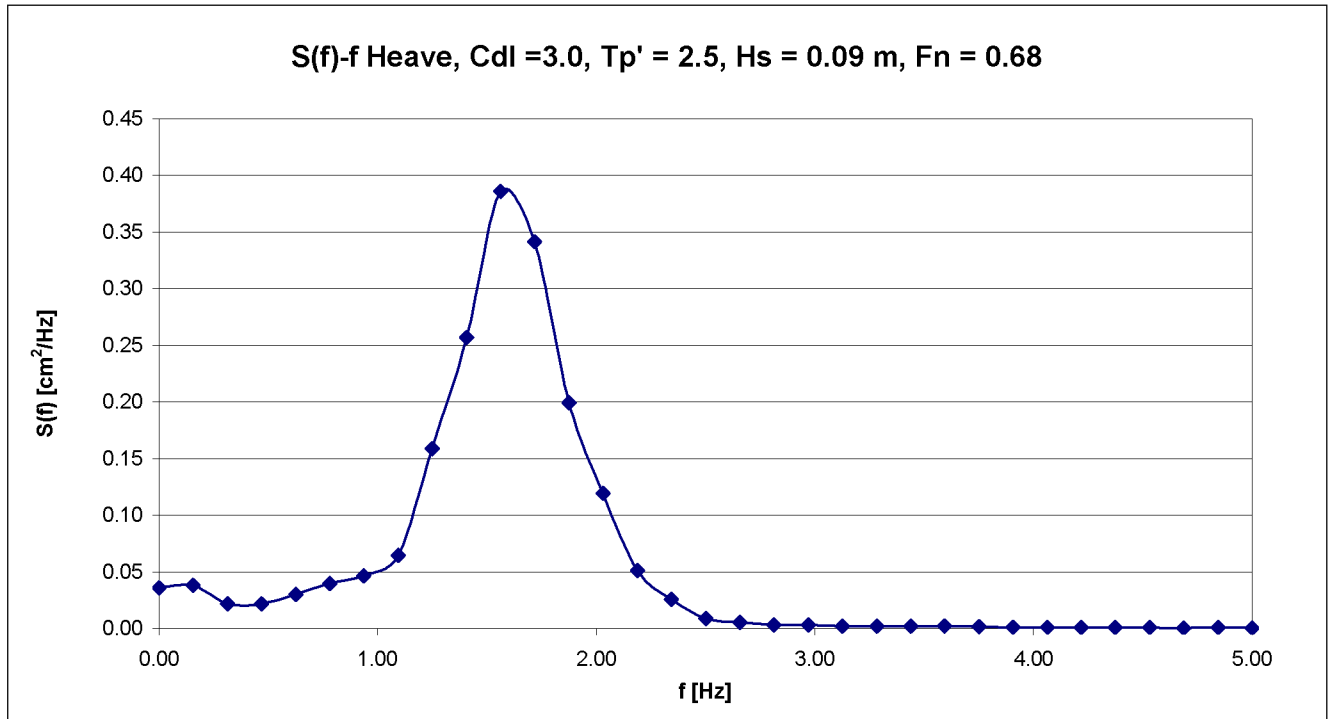
Σχήμα 5.32 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



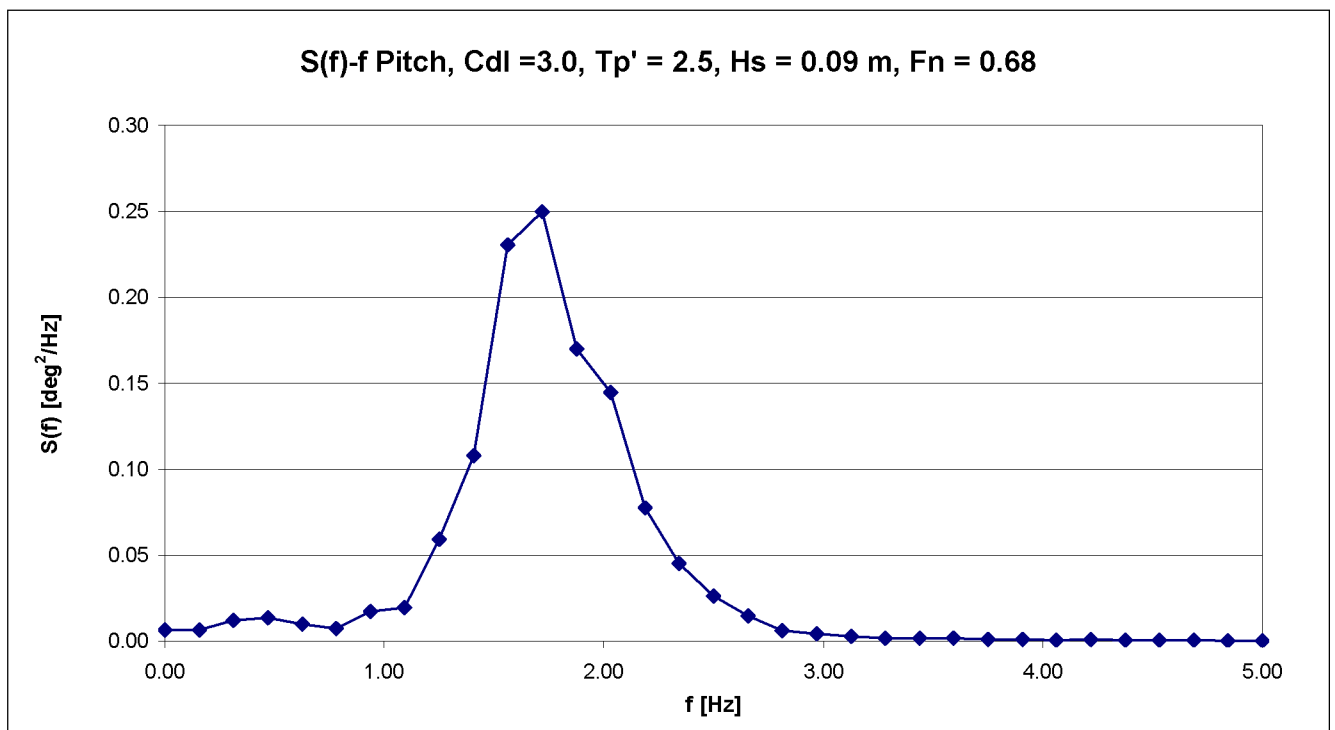
Σχήμα 5.33 :Τροφοδοθηείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



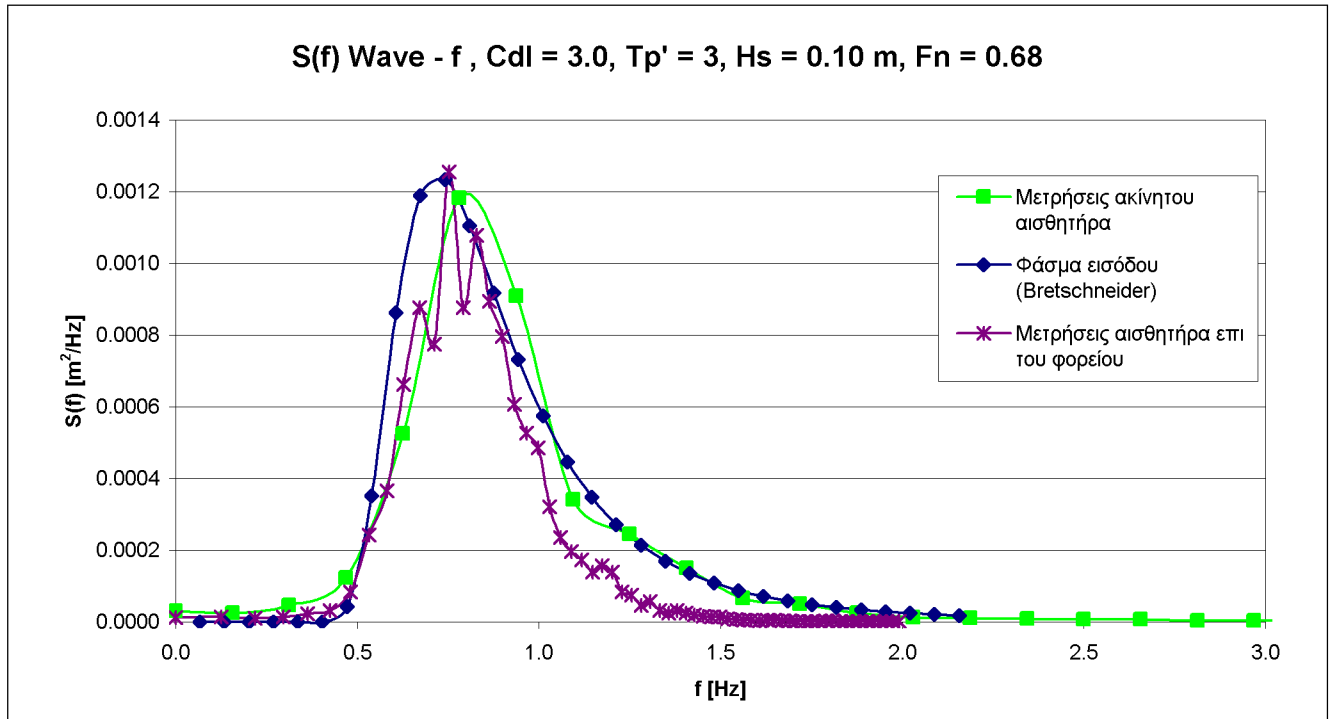
Σχήμα 5.34 :Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



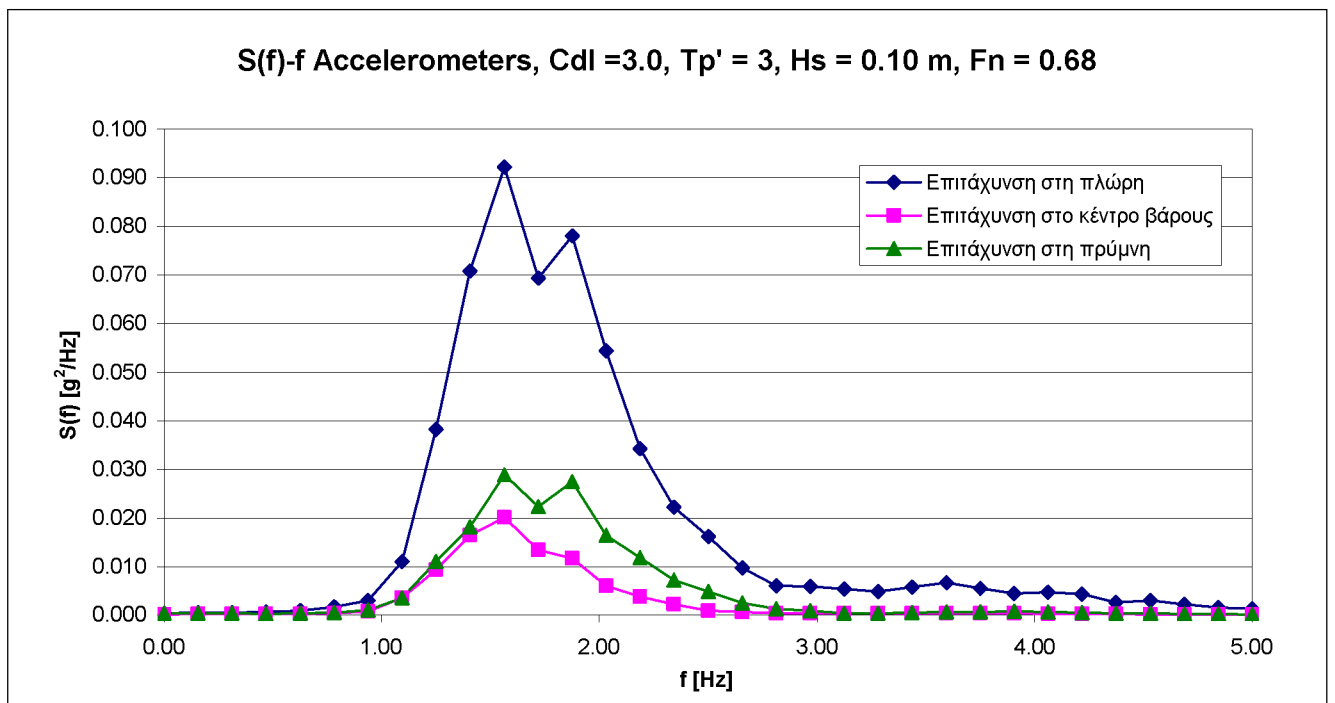
Σχήμα 5.35 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



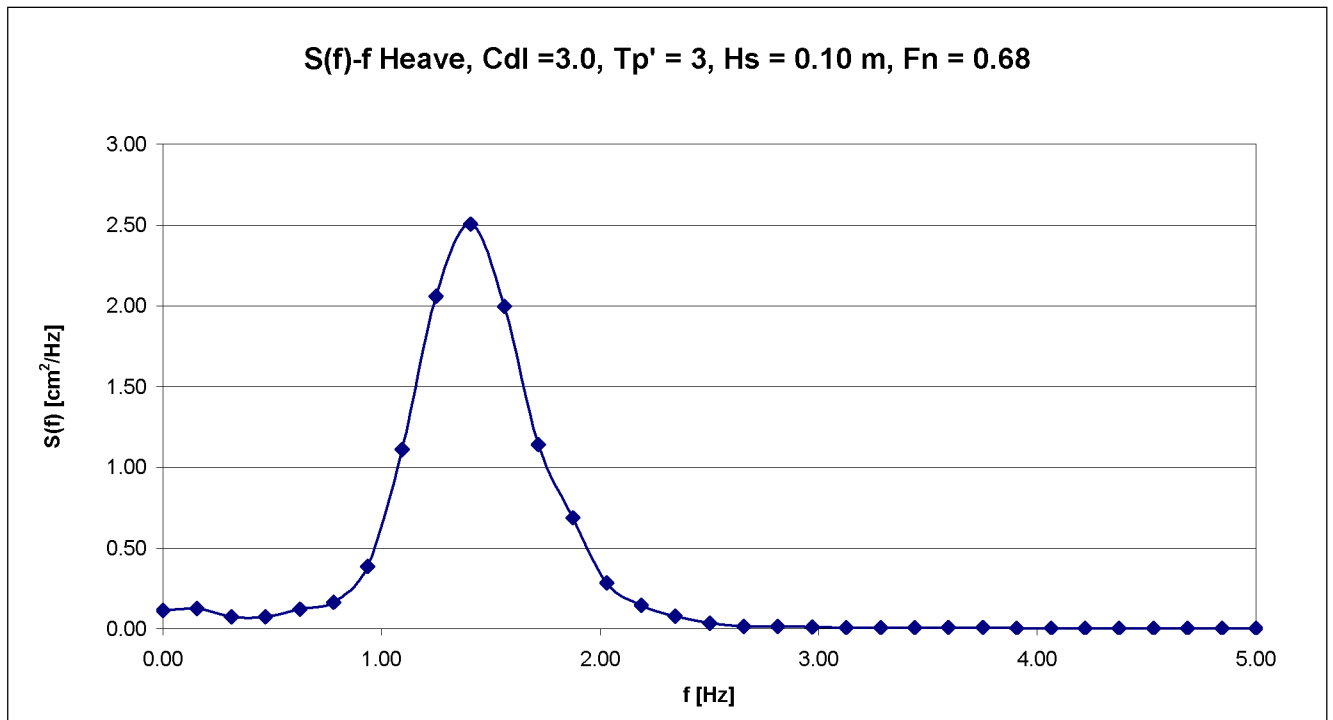
Σχήμα 5.36 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



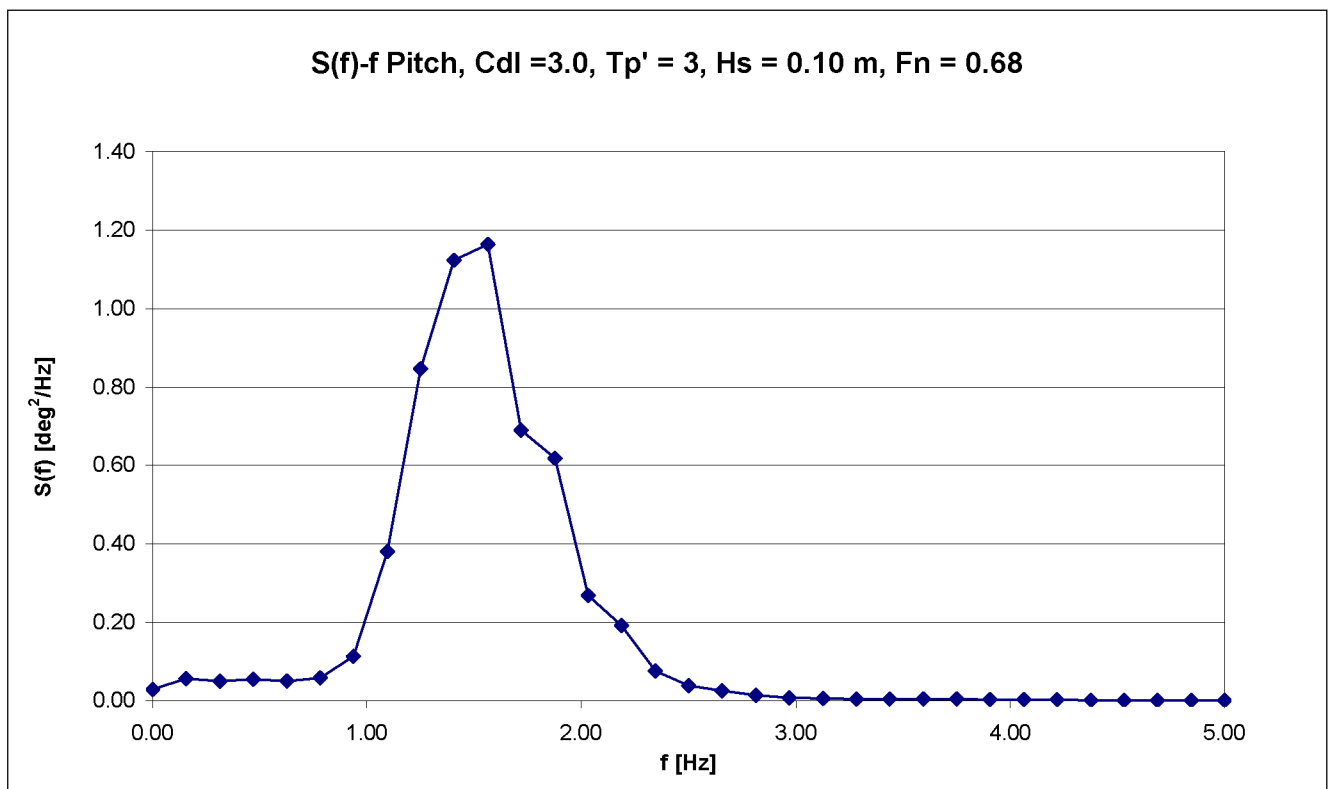
Σχήμα 5.37 : Τροφοδοθηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



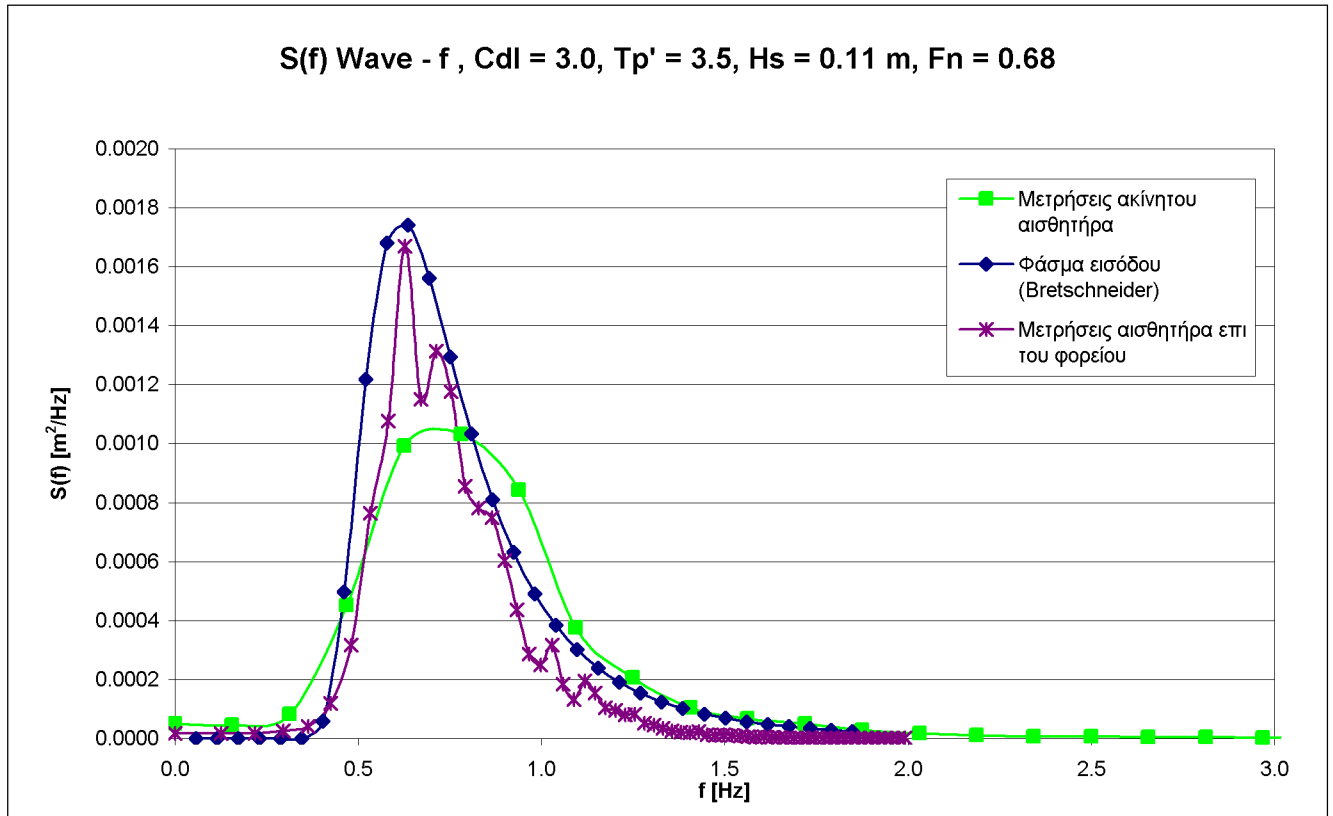
Σχήμα 5.38 : Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



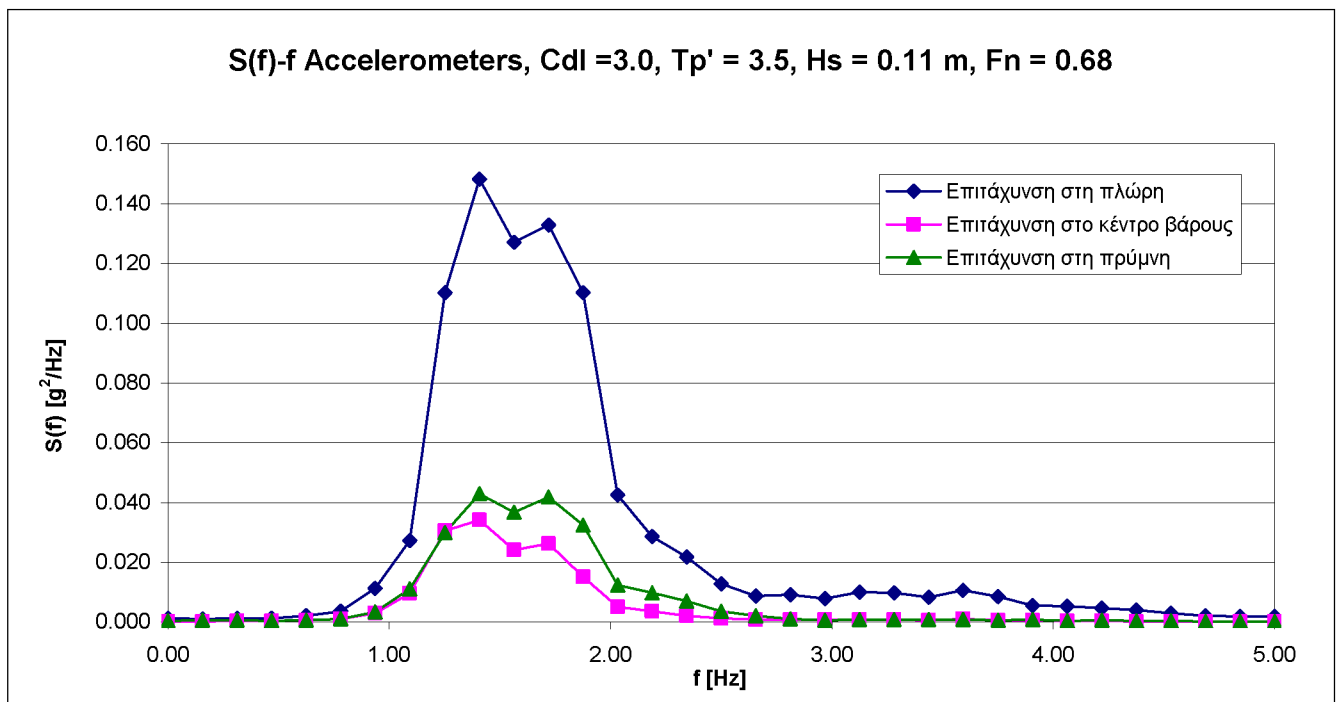
Σχήμα 5.39 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



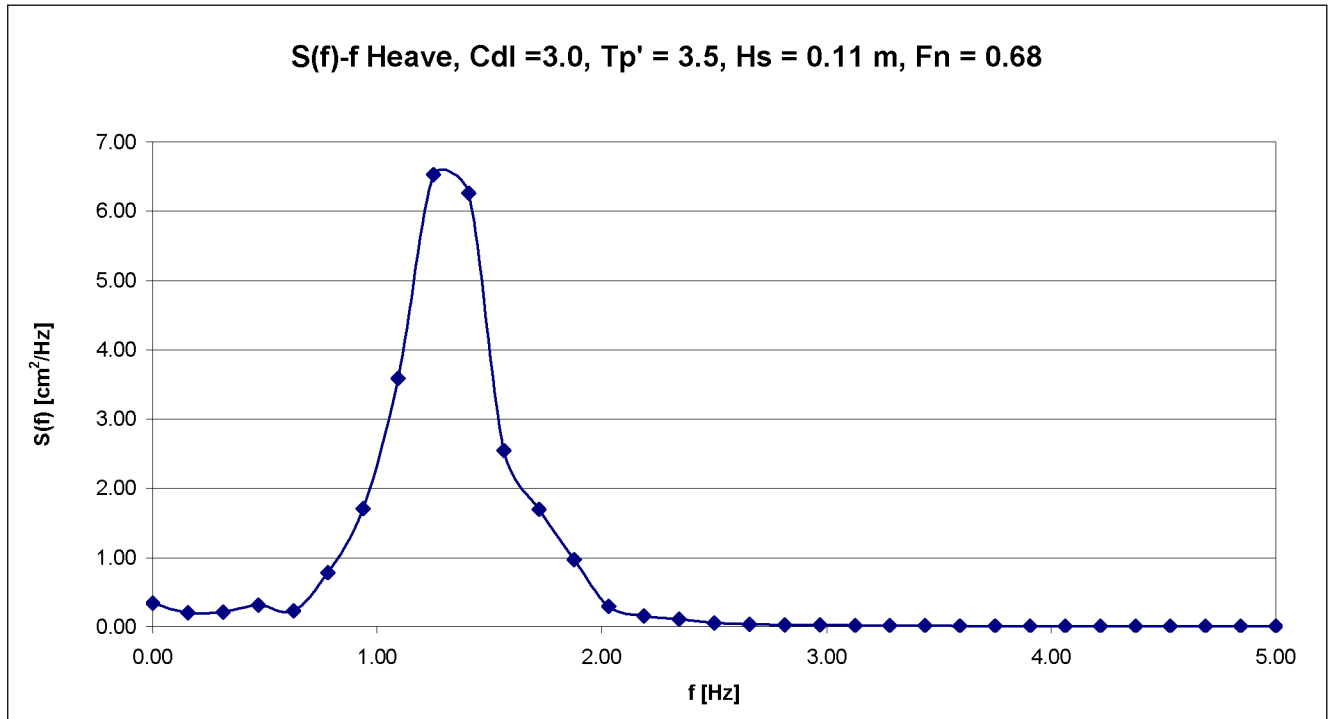
Σχήμα 5.40 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



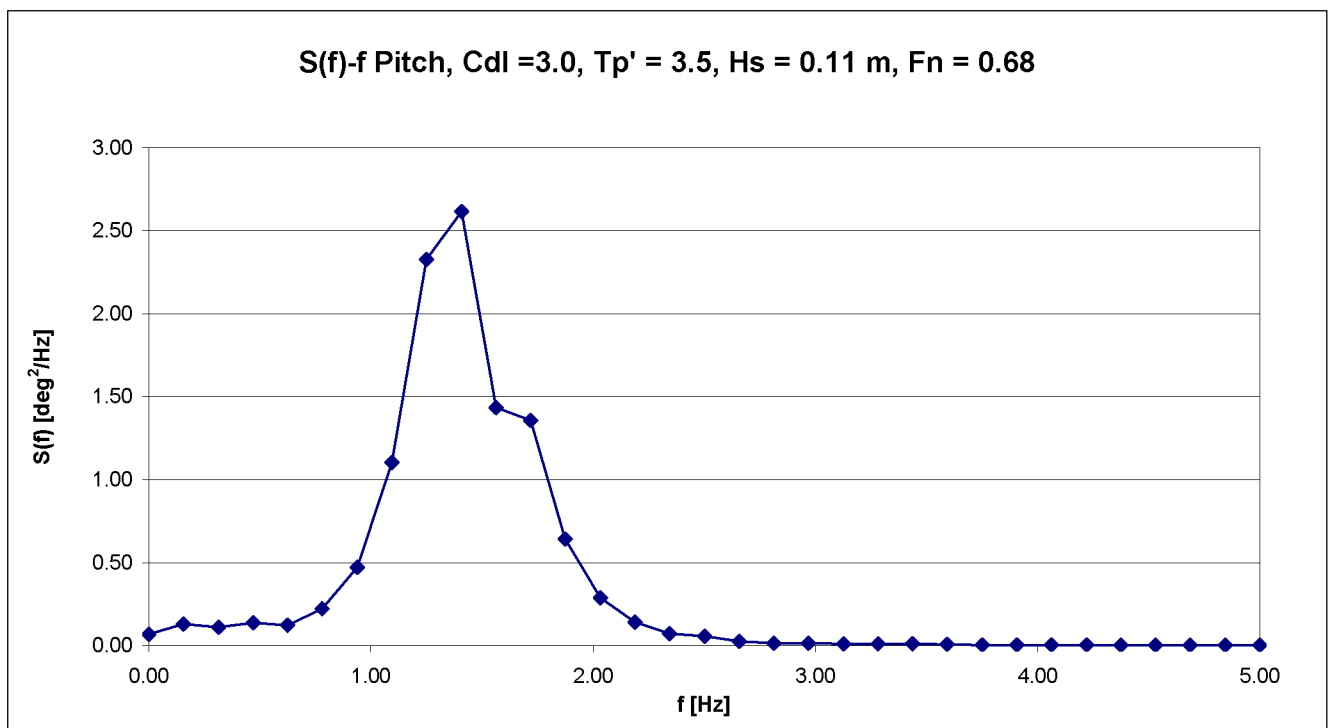
Σχήμα 5.41 : Τροφοδοθηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



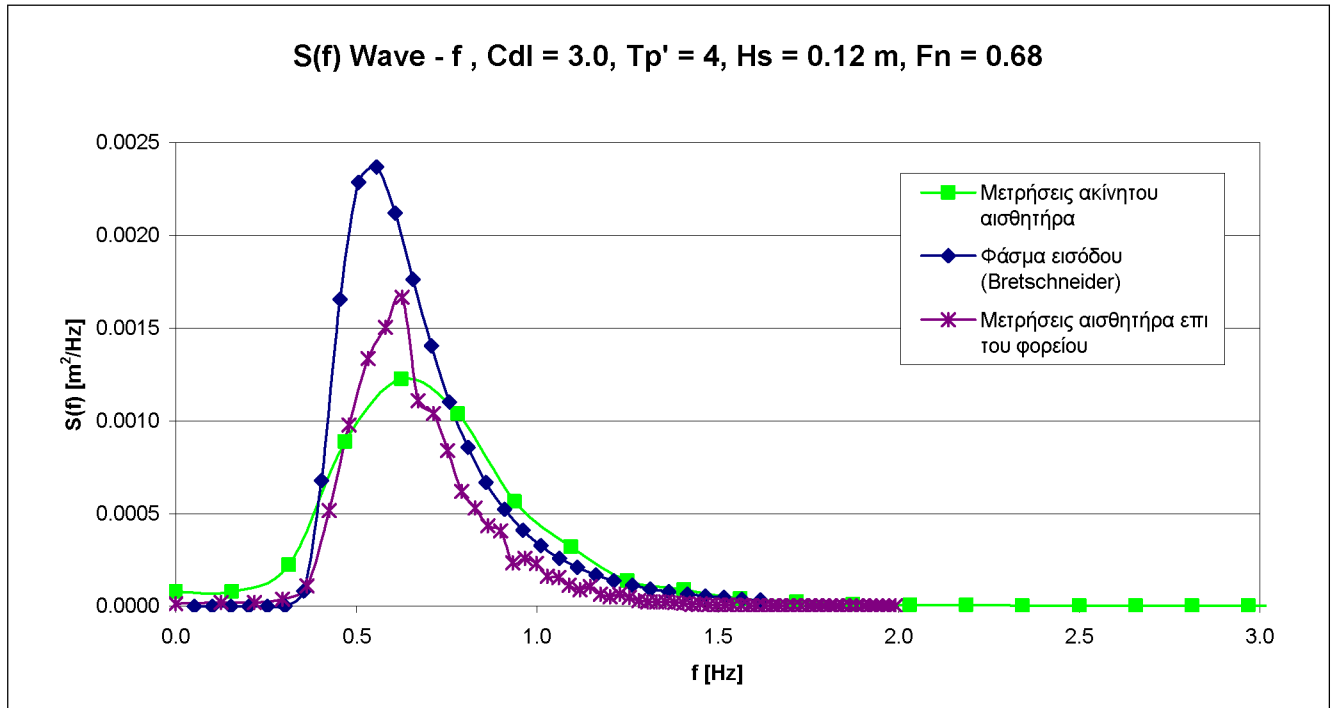
Σχήμα 5.42 : Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



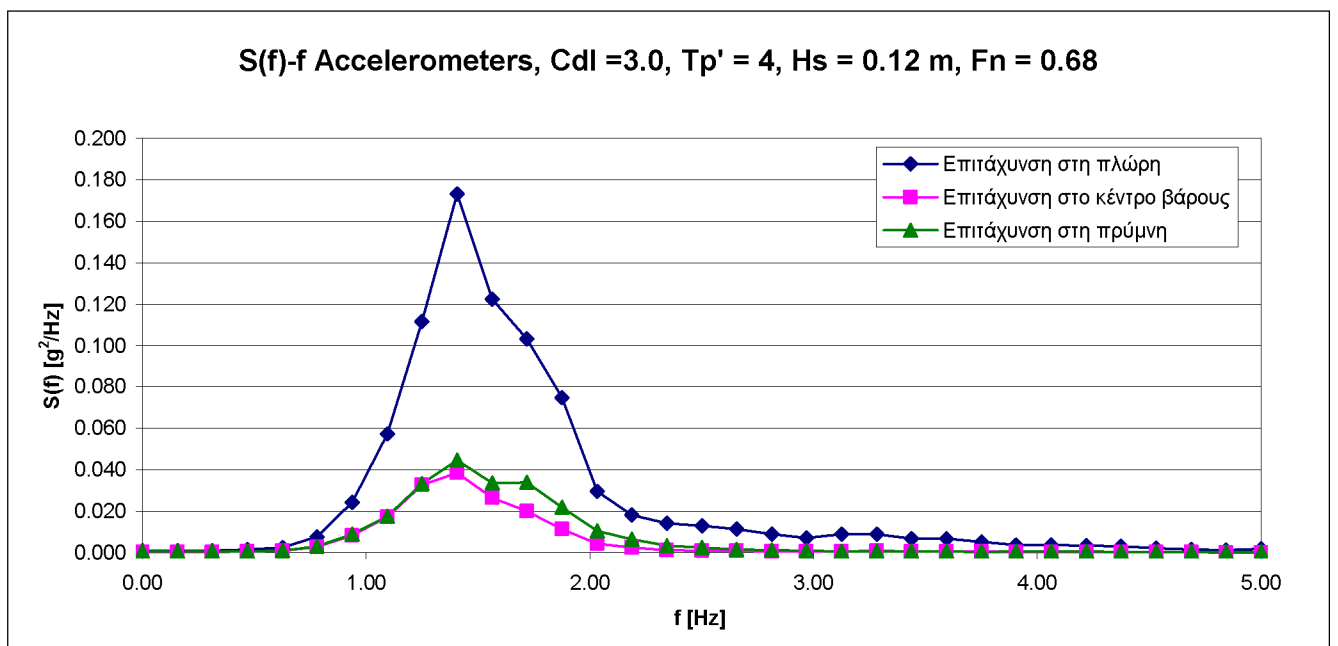
Σχήμα 5.43 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



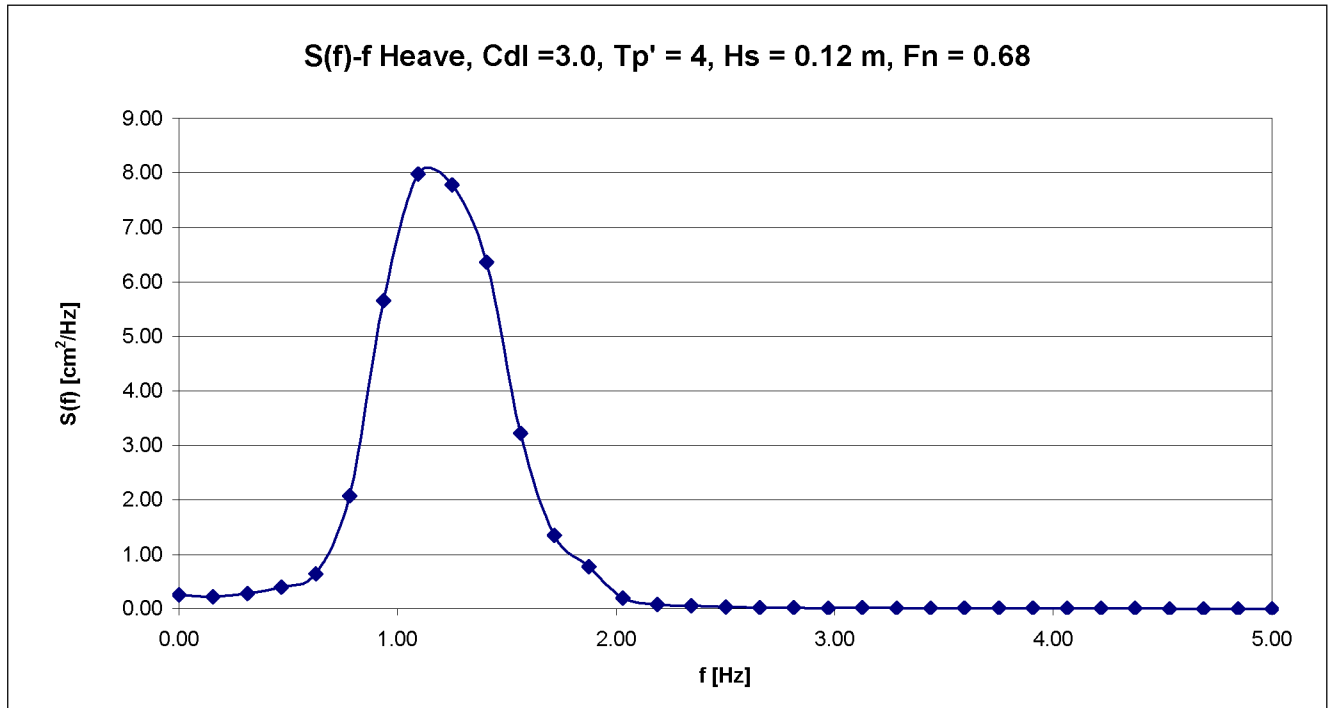
Σχήμα 5.44 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



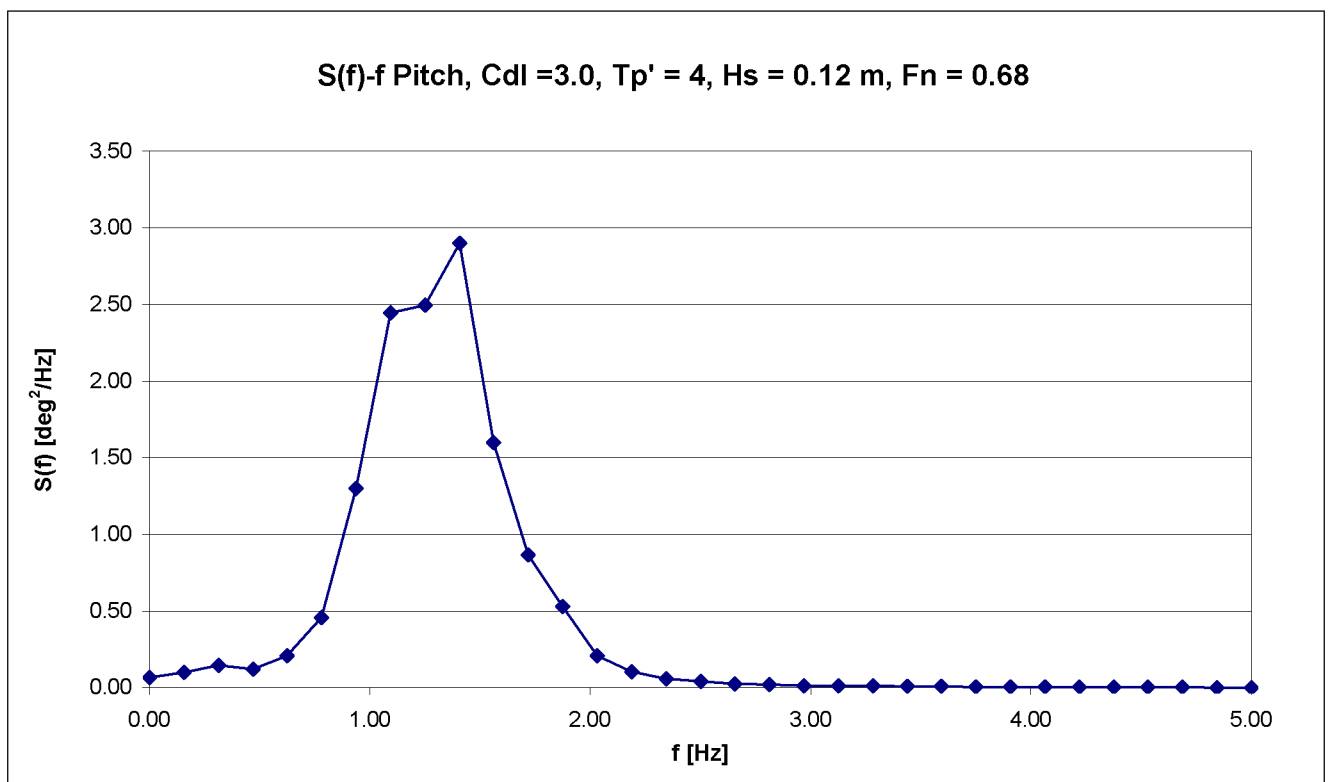
Σχήμα 5.45 :Τροφοδοθηείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



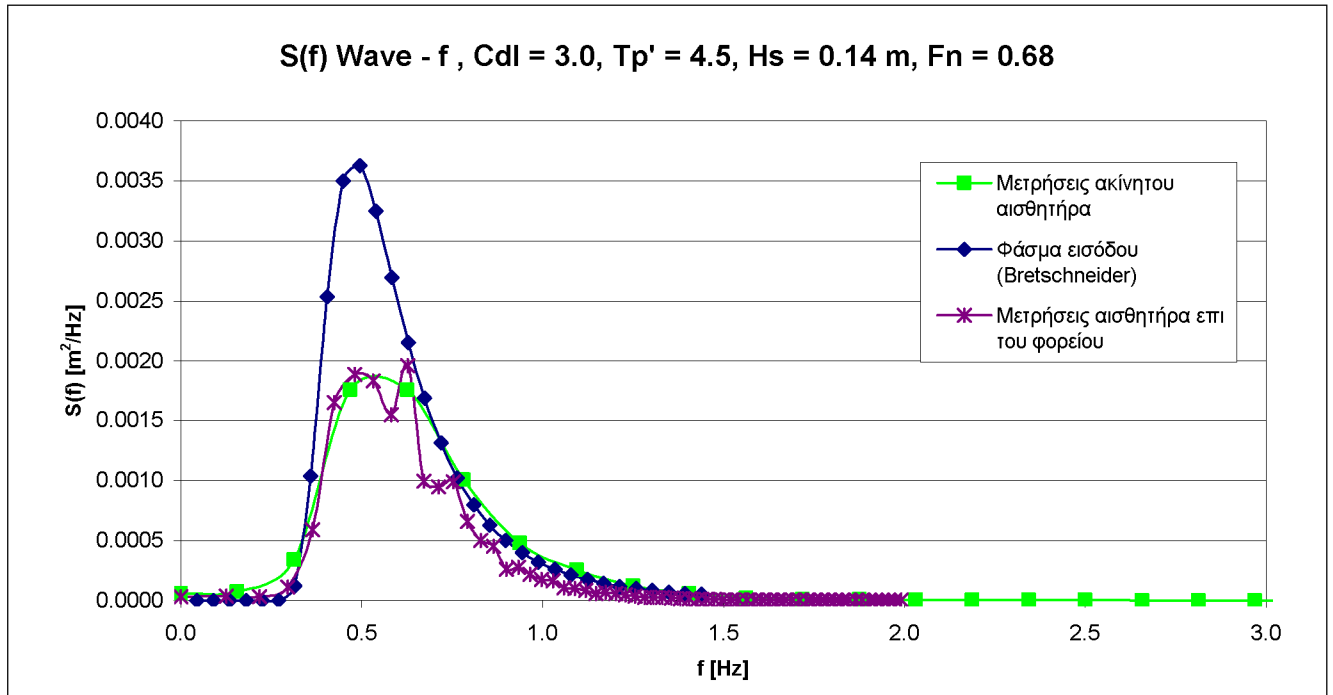
Σχήμα 5.46 :Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



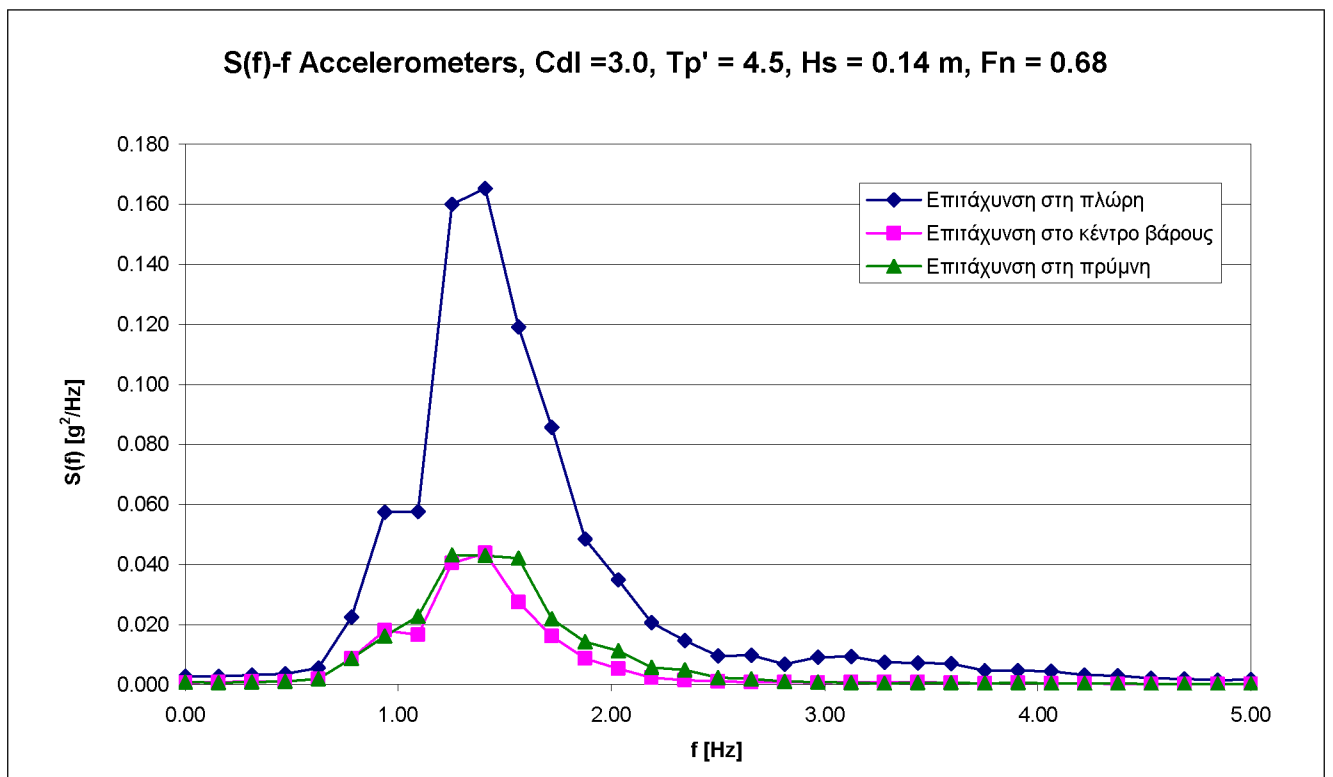
Σχήμα 5.47 :Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



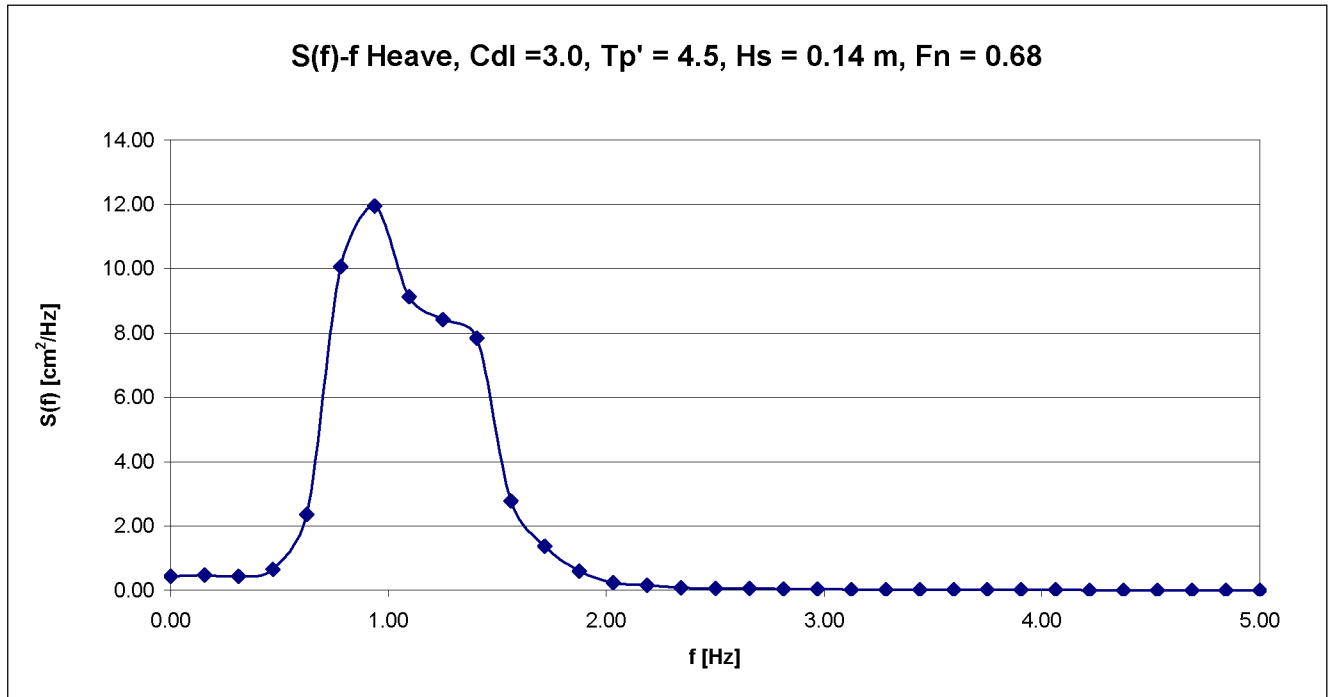
Σχήμα 5.48 :Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



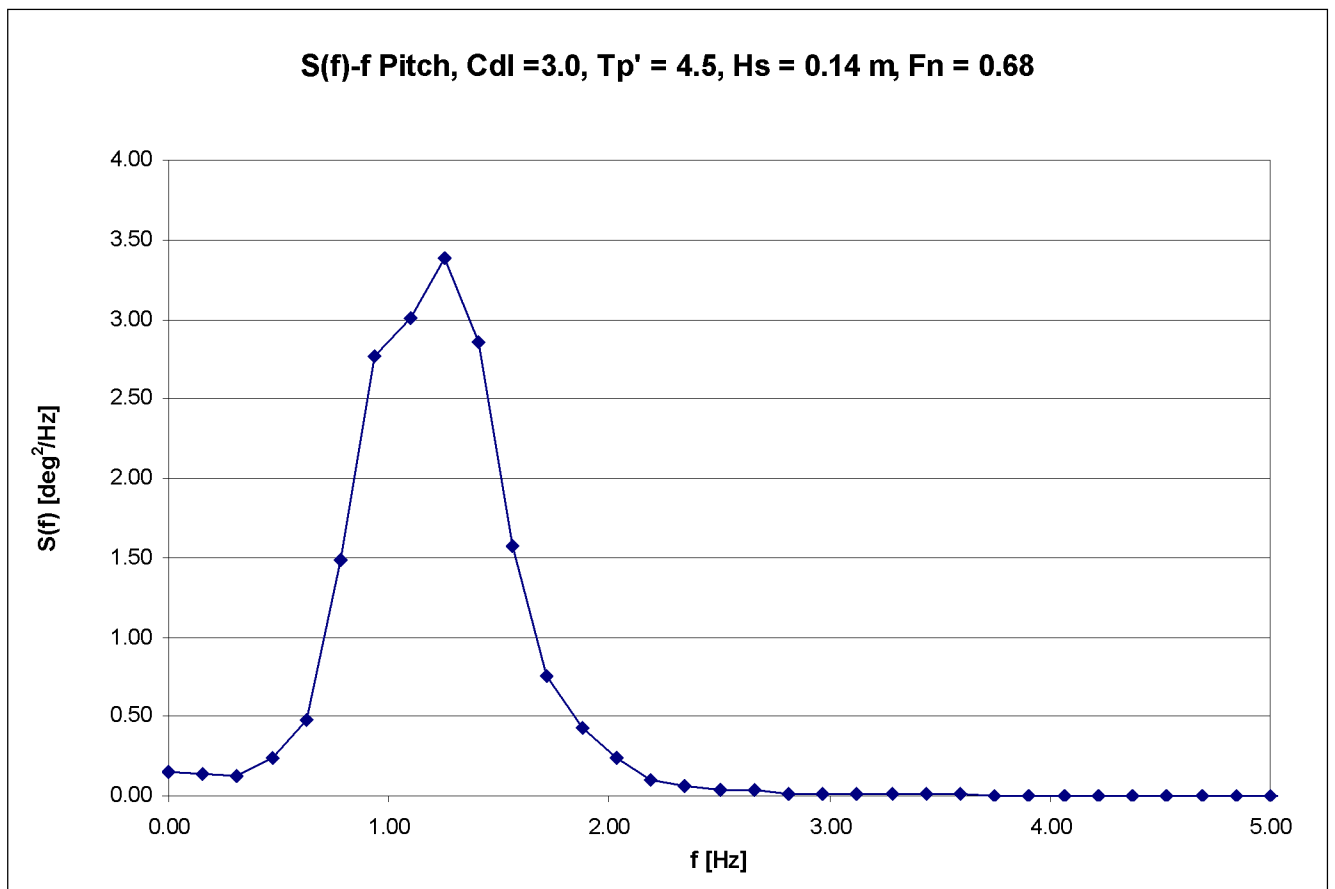
Σχήμα 5.49: Τροφοδοθηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



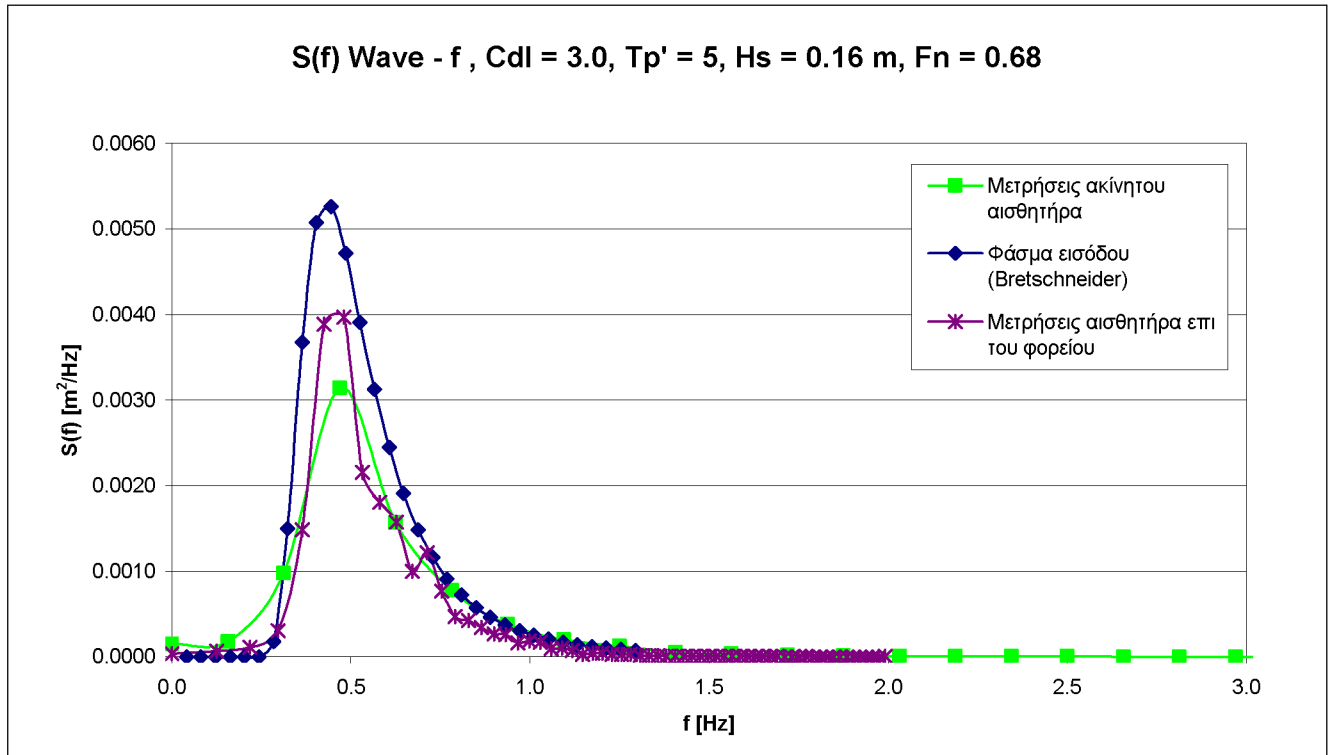
Σχήμα 5.50: Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



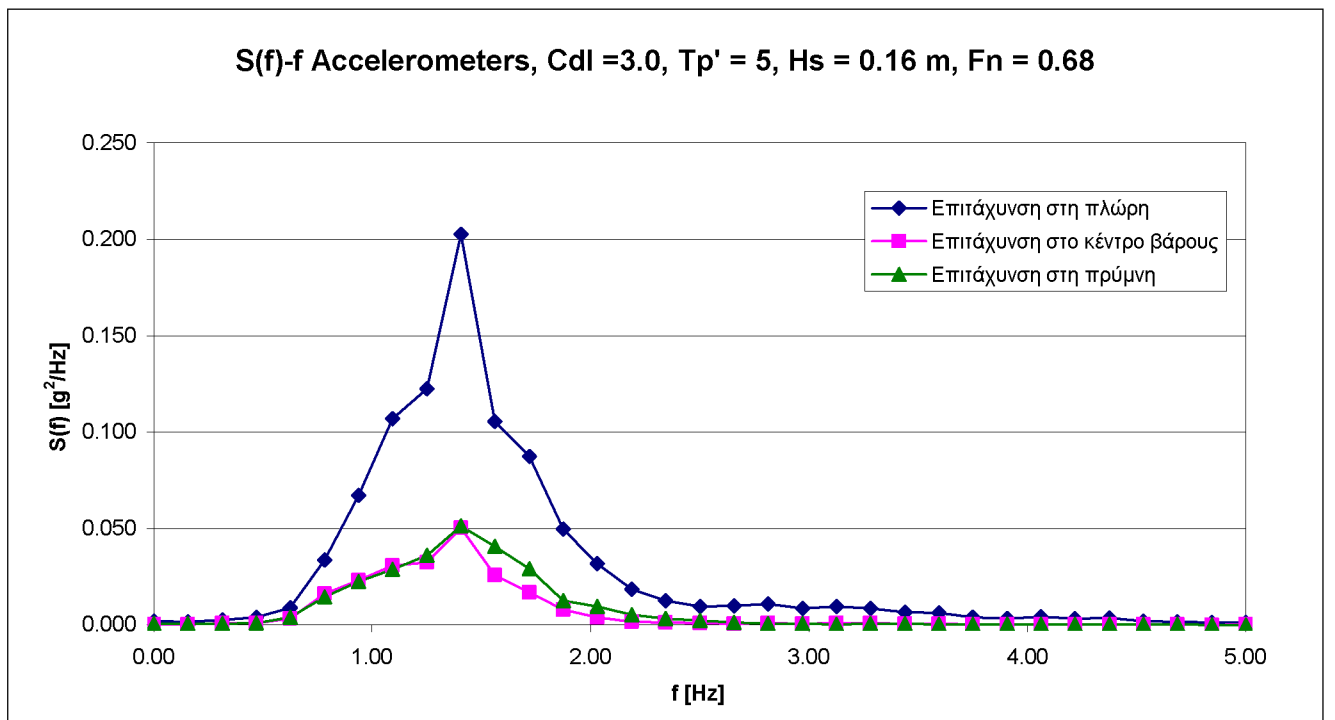
Σχήμα 5.51: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



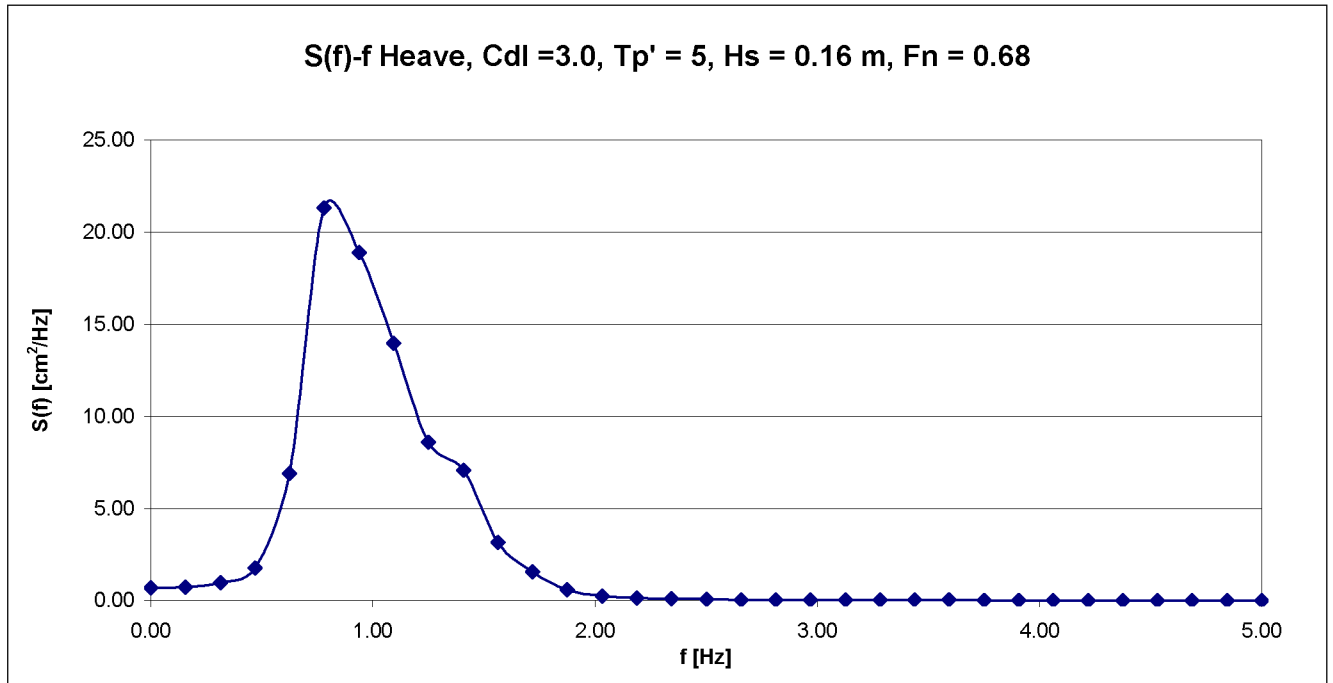
Σχήμα 5.52: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



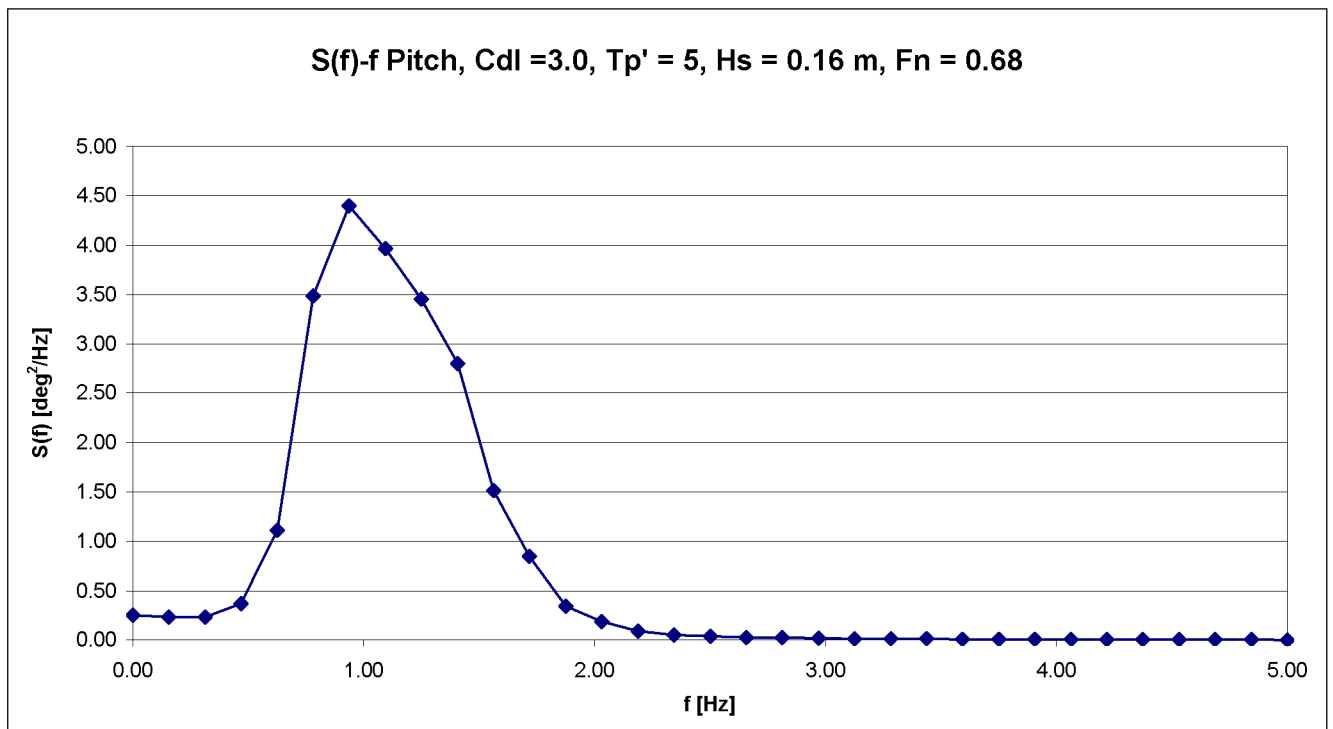
Σχήμα 5.53: Τροφοδοθηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



Σχήμα 5.54: Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)

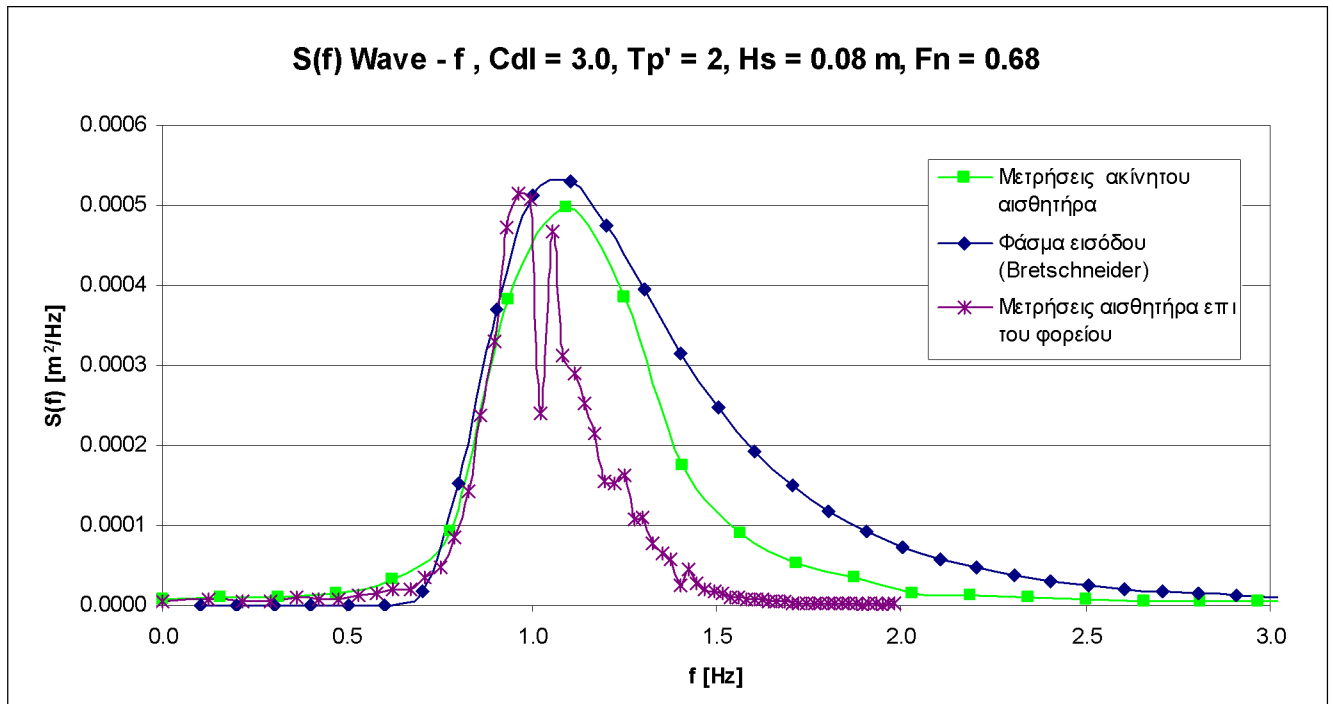


Σχήμα 5.55: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης

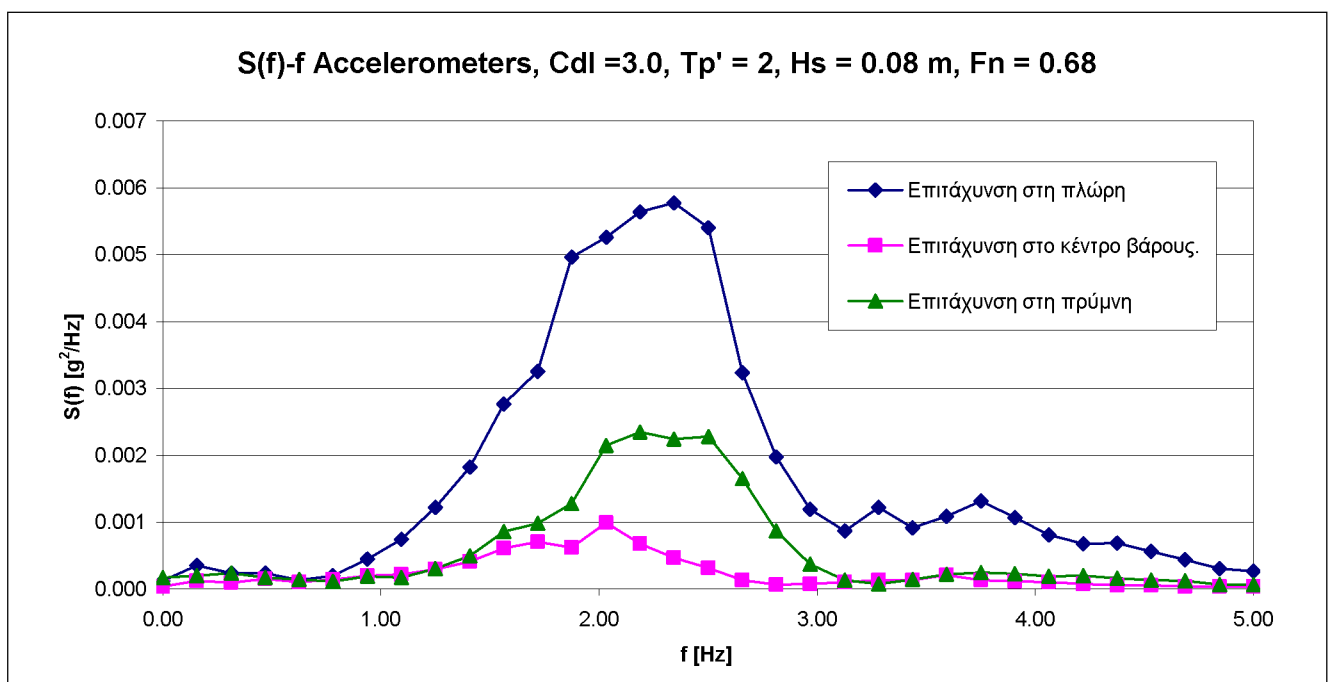


Σχήμα 5.56: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού

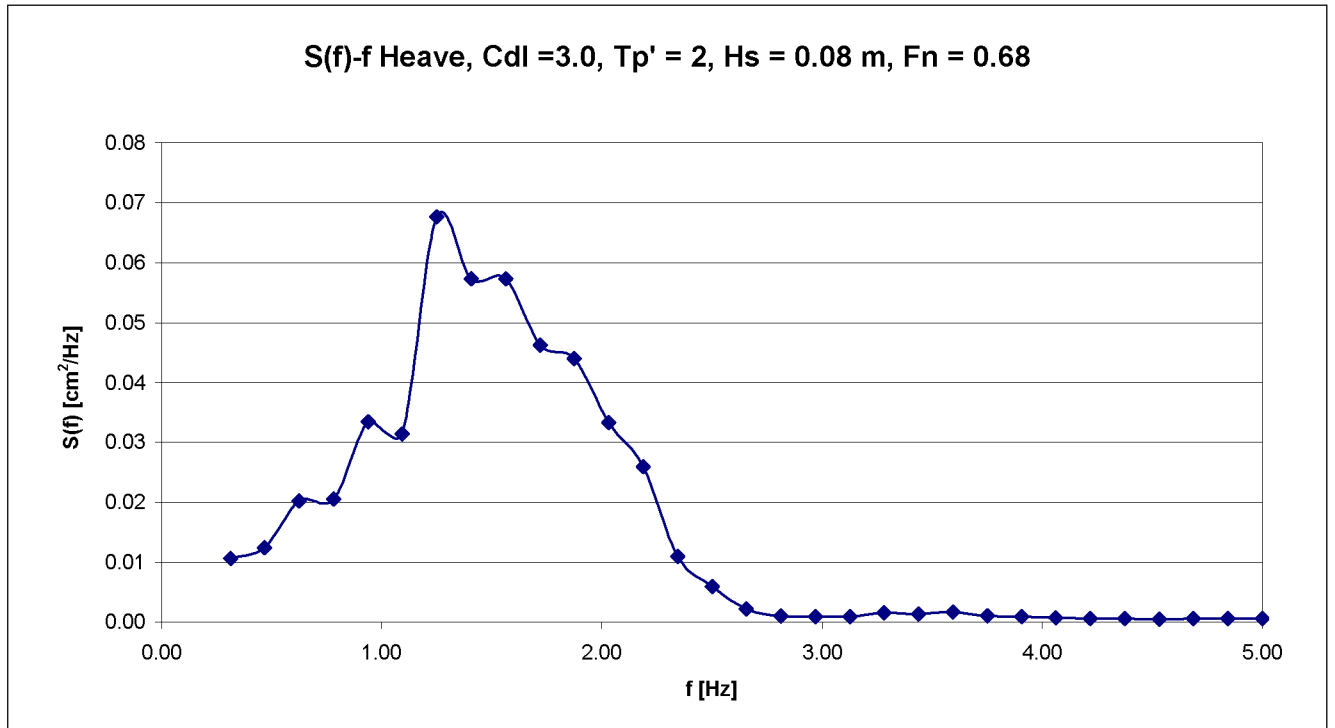
**Αποτελέσματα μοντέλου NTUA-097/94 (L/B=5.50) για
Cdl=3.00 και Fn=0.68**



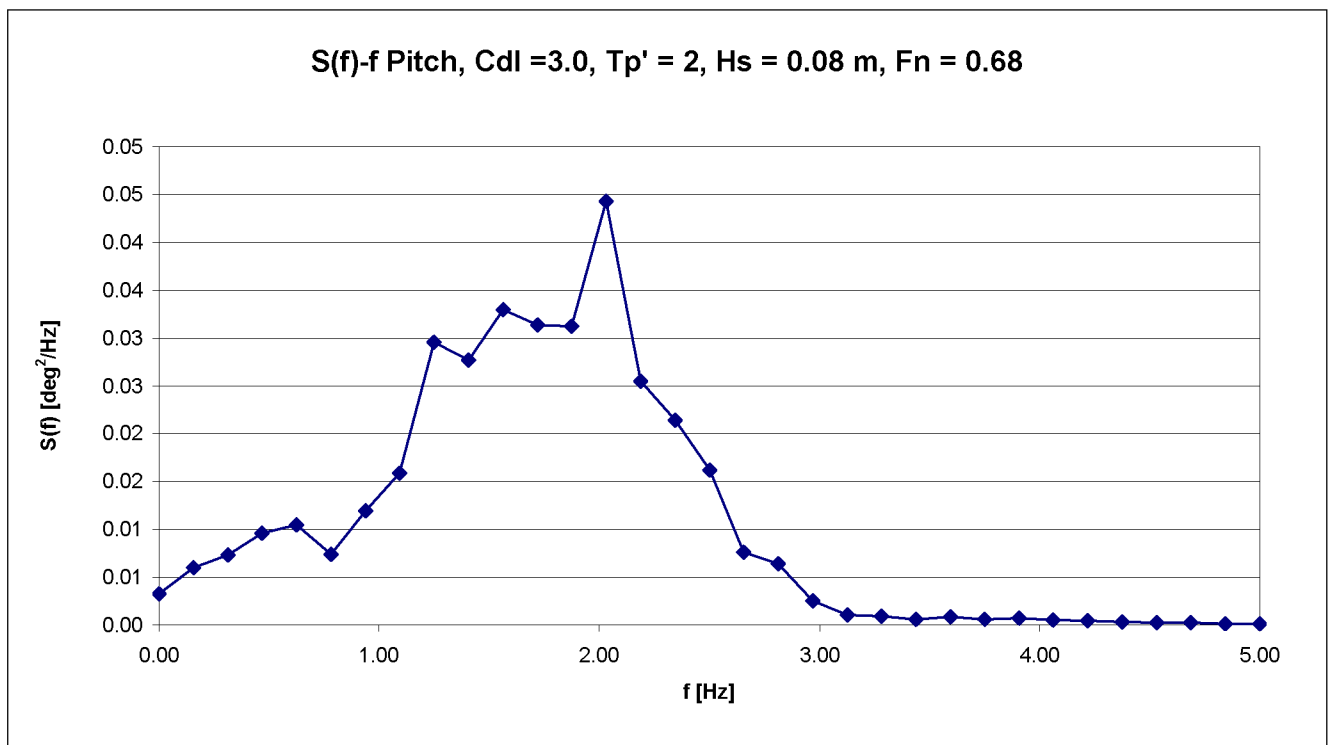
Σχήμα 5.57: Τροφοδοθηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



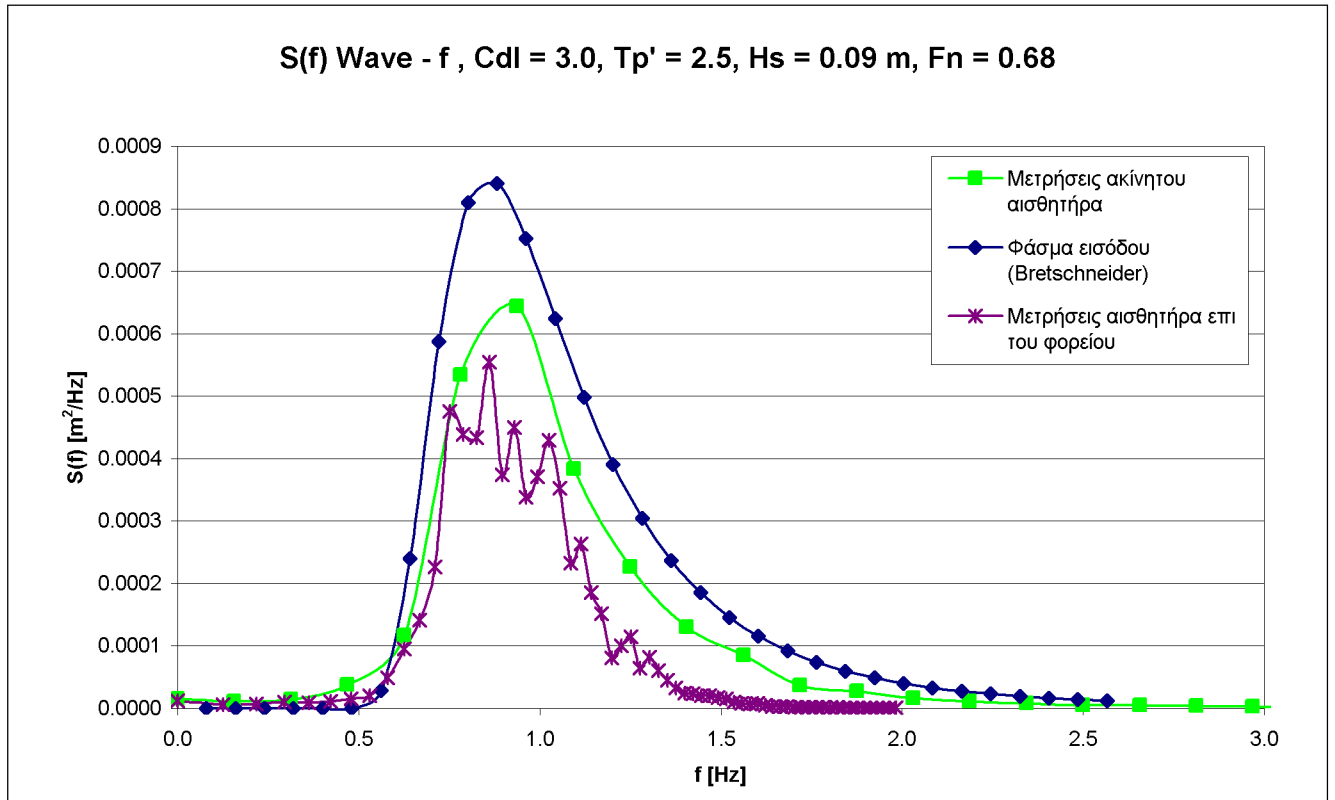
Σχήμα 5.58: Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



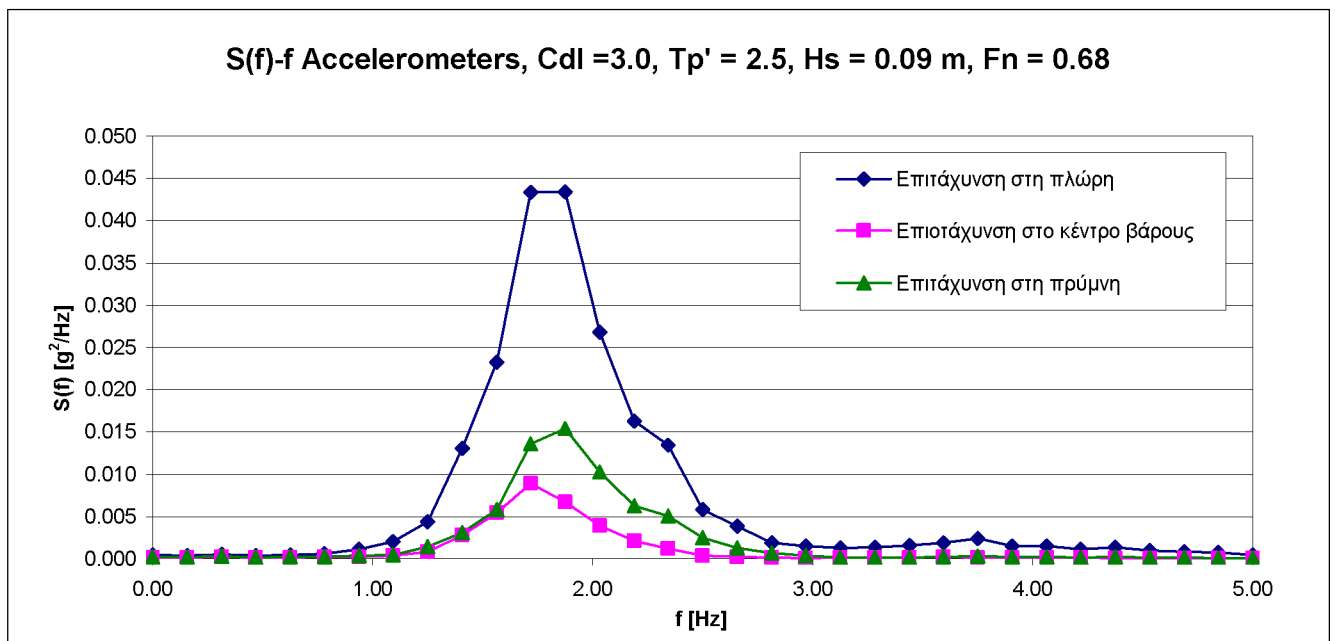
Σχήμα 5.59: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



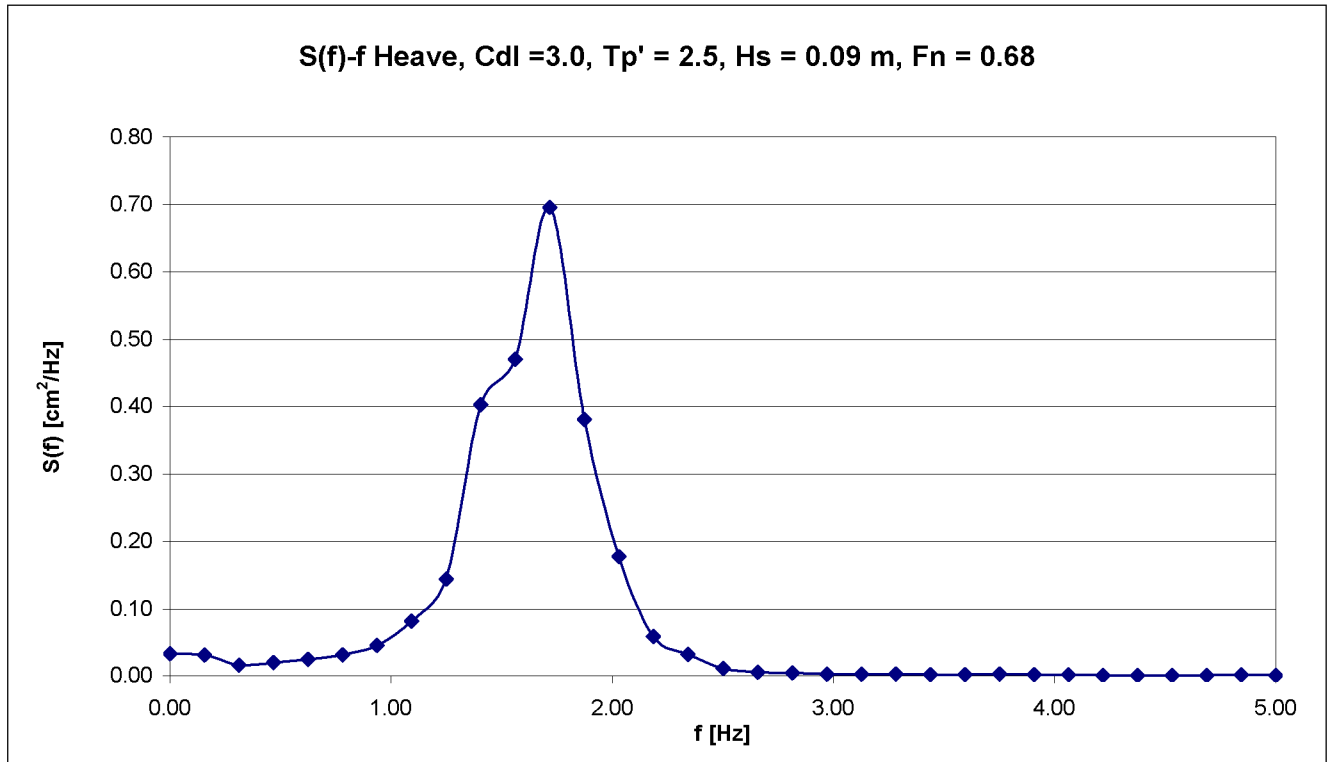
Σχήμα 5.60: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



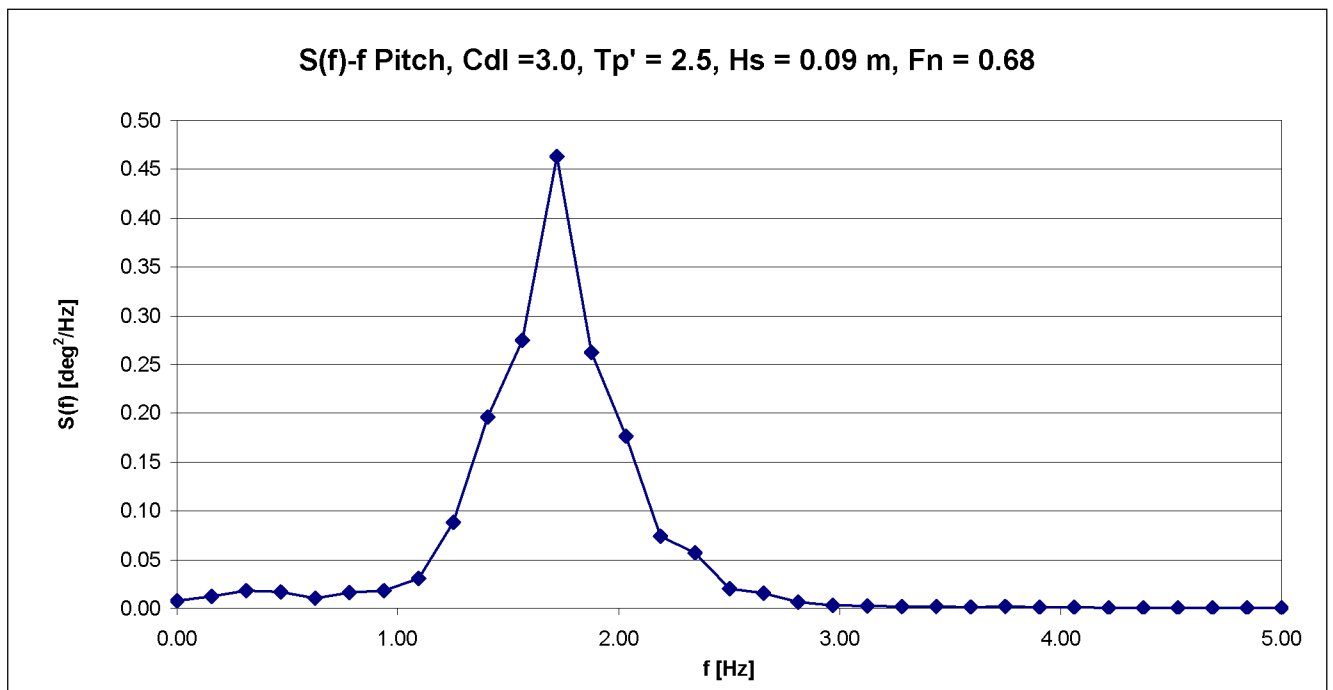
Σχήμα 5.61: Τροφοδοθηείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



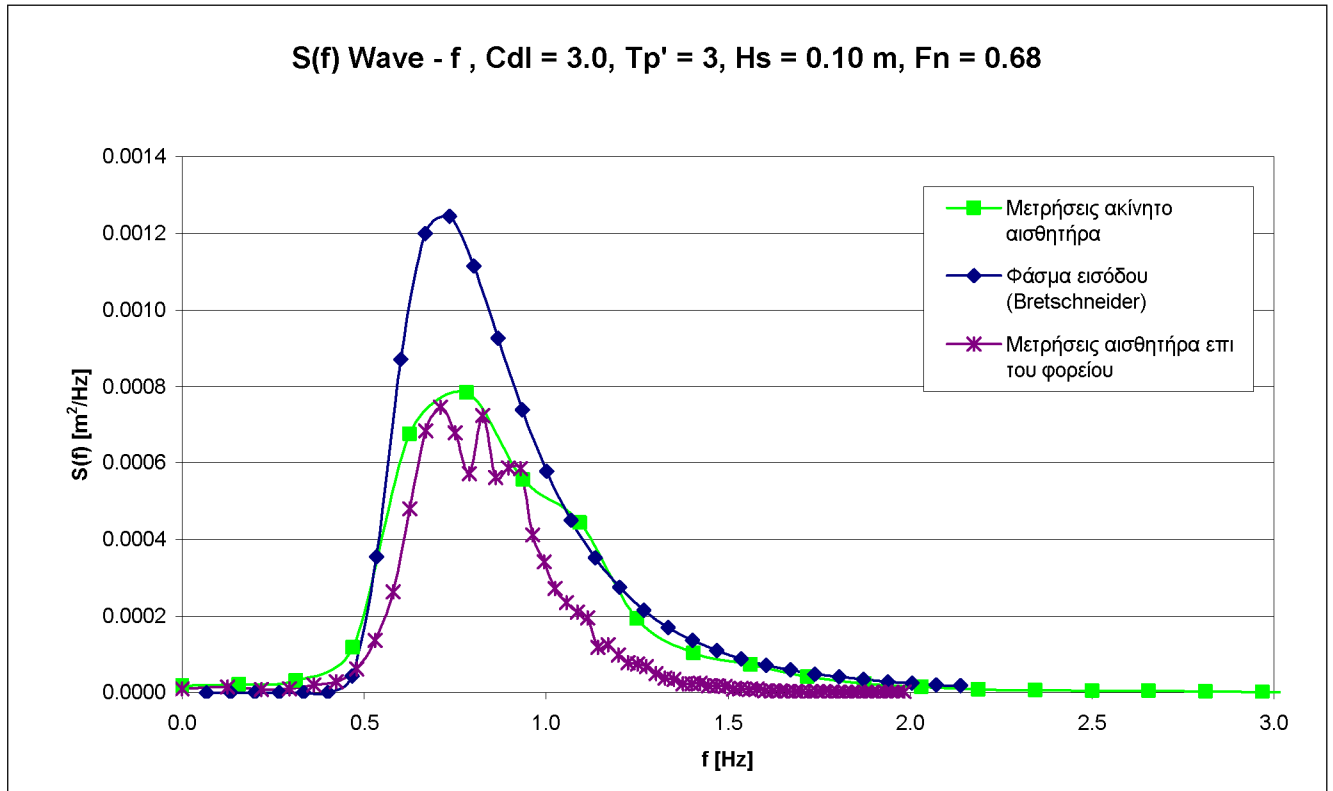
Σχήμα 5.62: Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



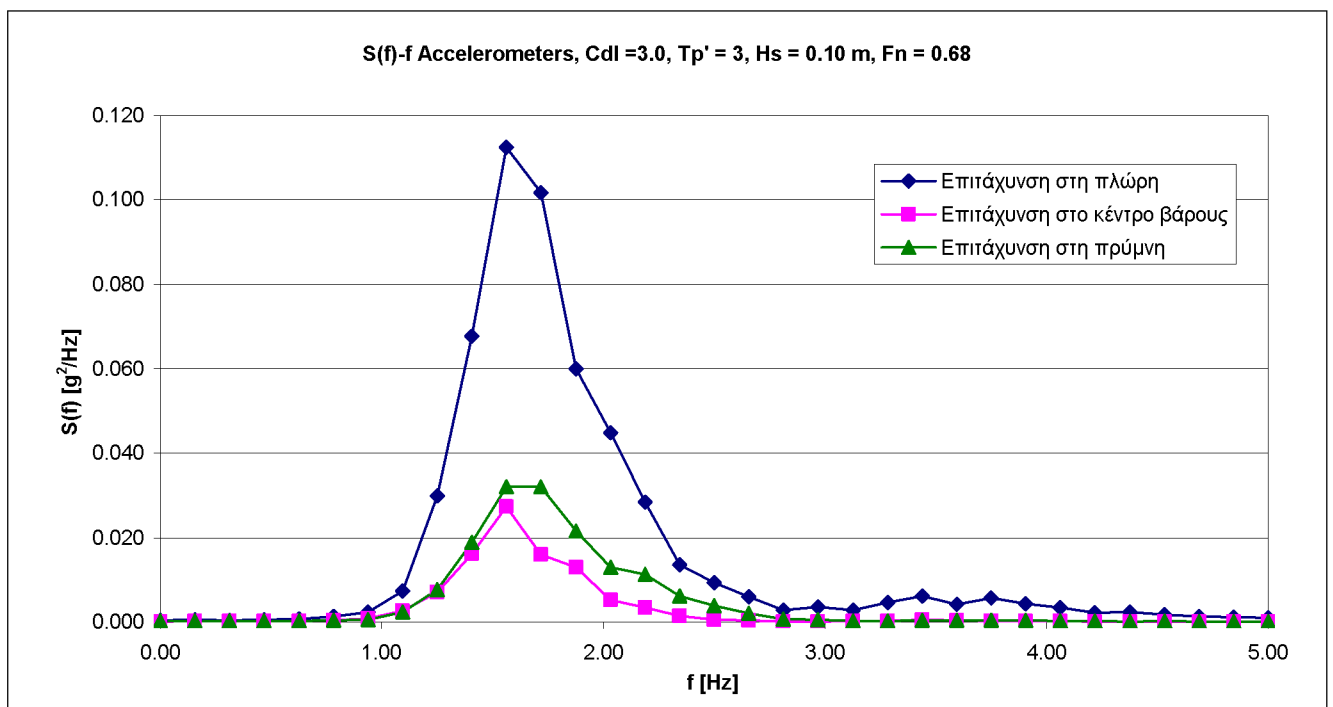
Σχήμα 5.63: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



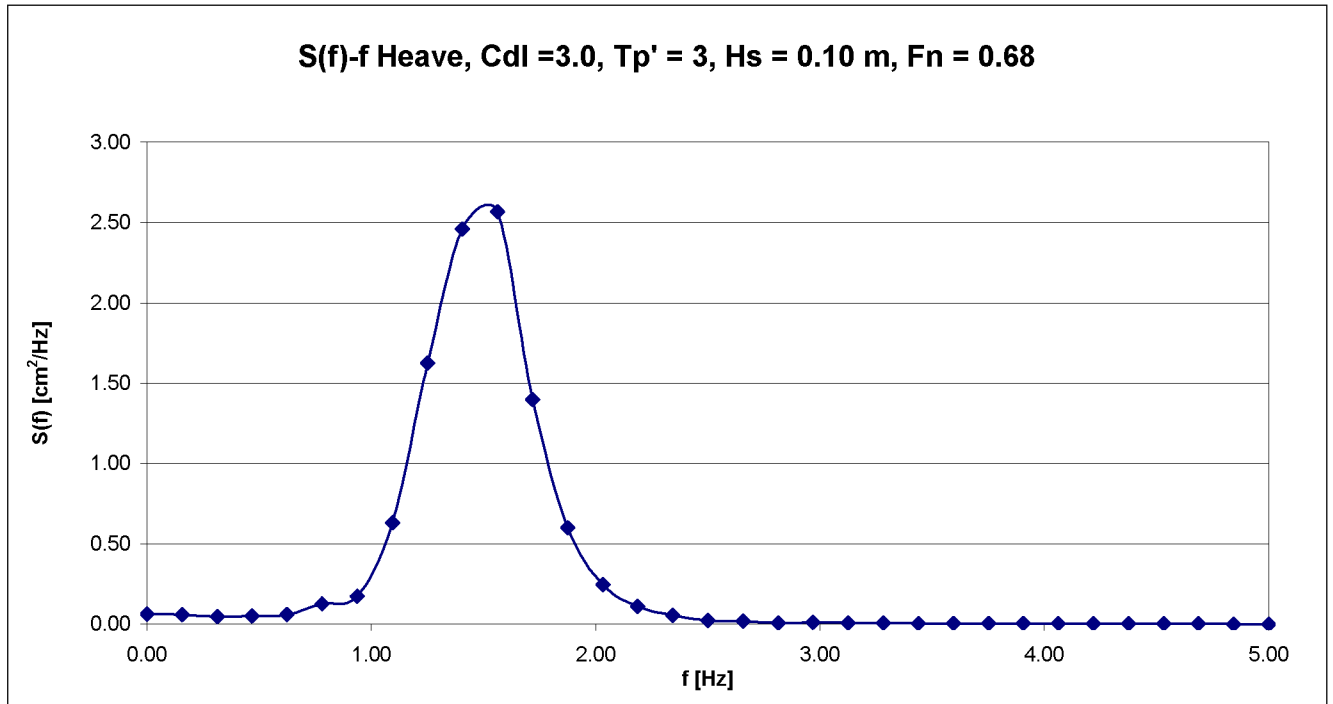
Σχήμα 5.64: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



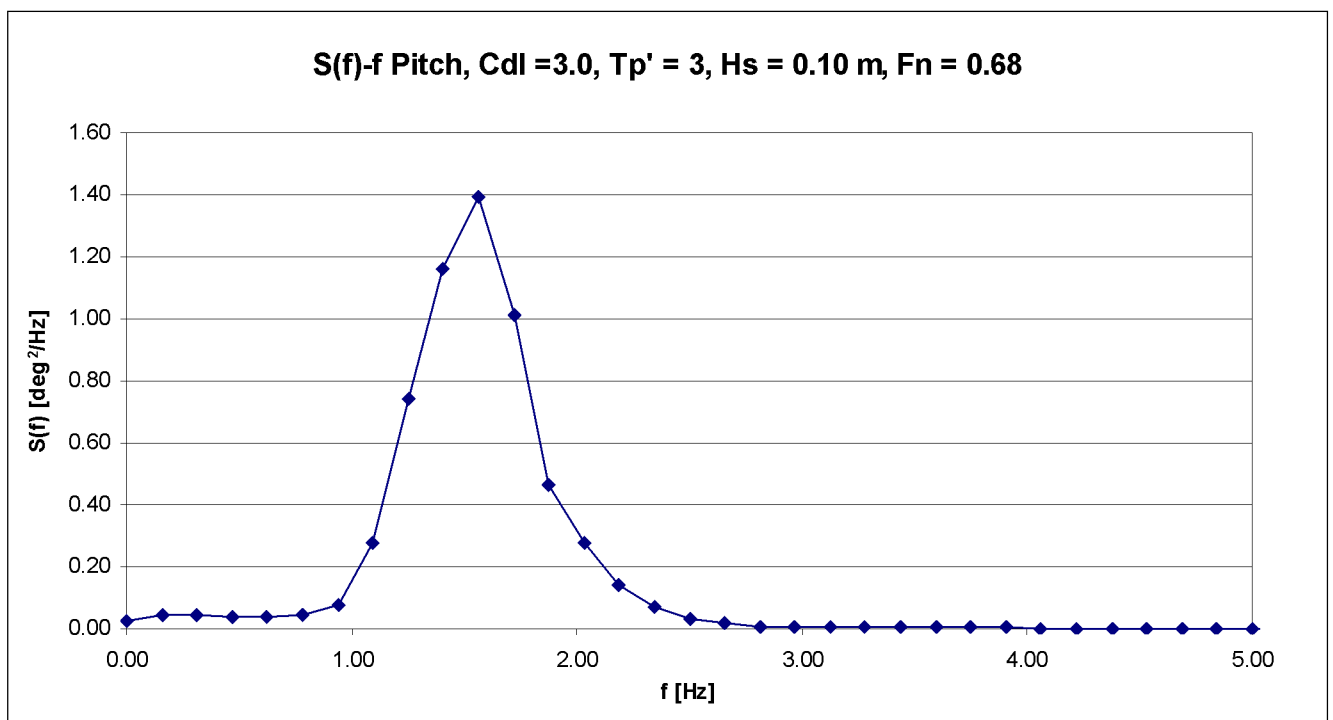
Σχήμα 5.65: Τροφοδοθηείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



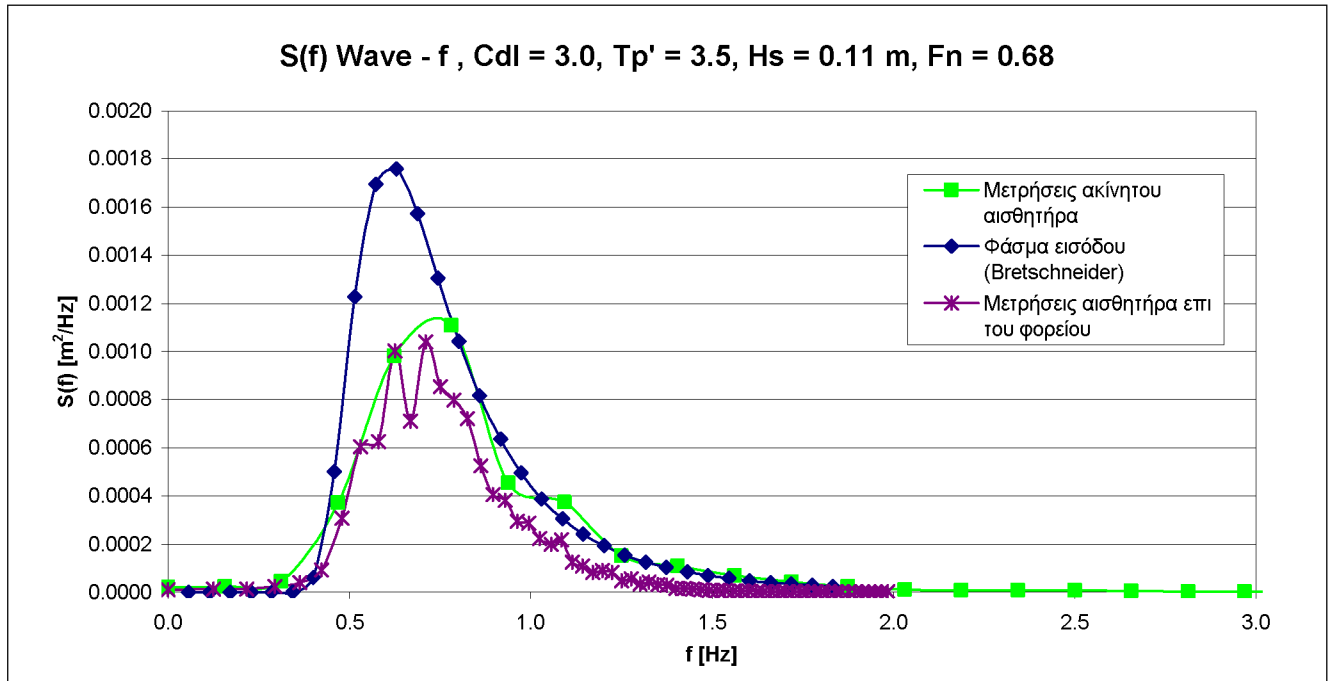
Σχήμα 5.66: Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



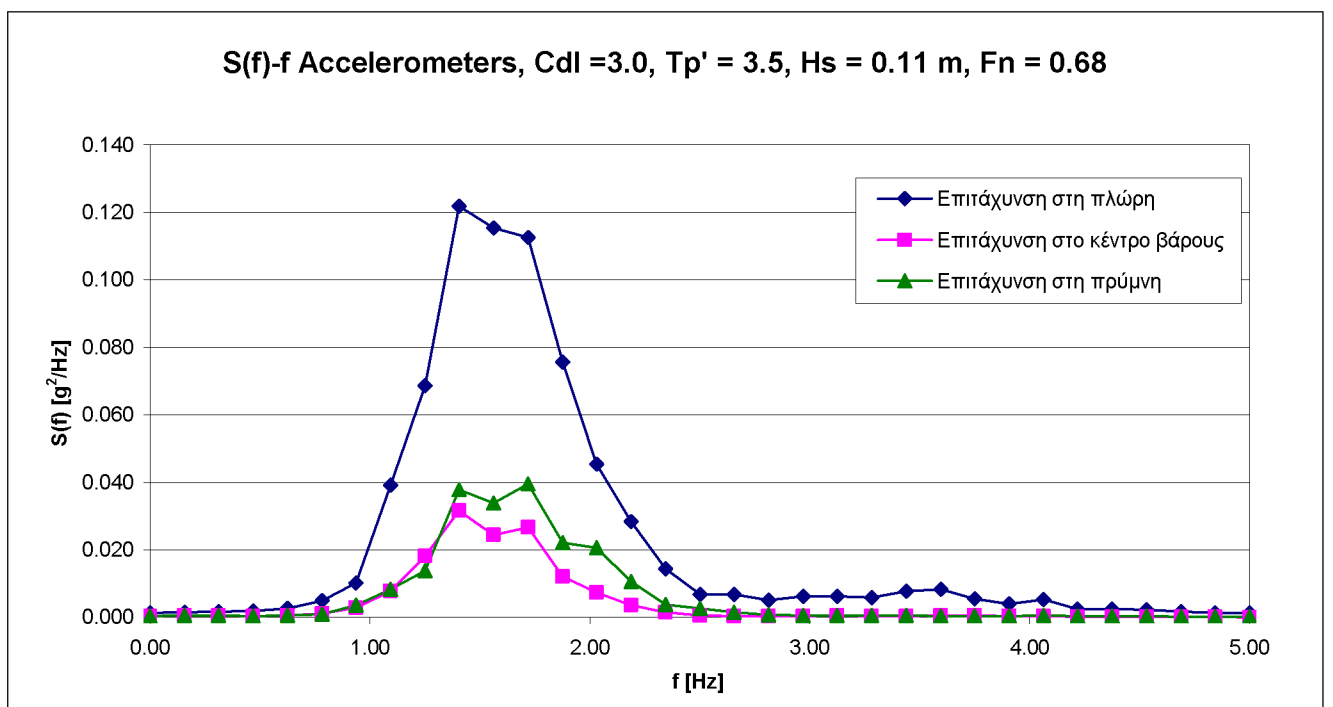
Σχήμα 5.67: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



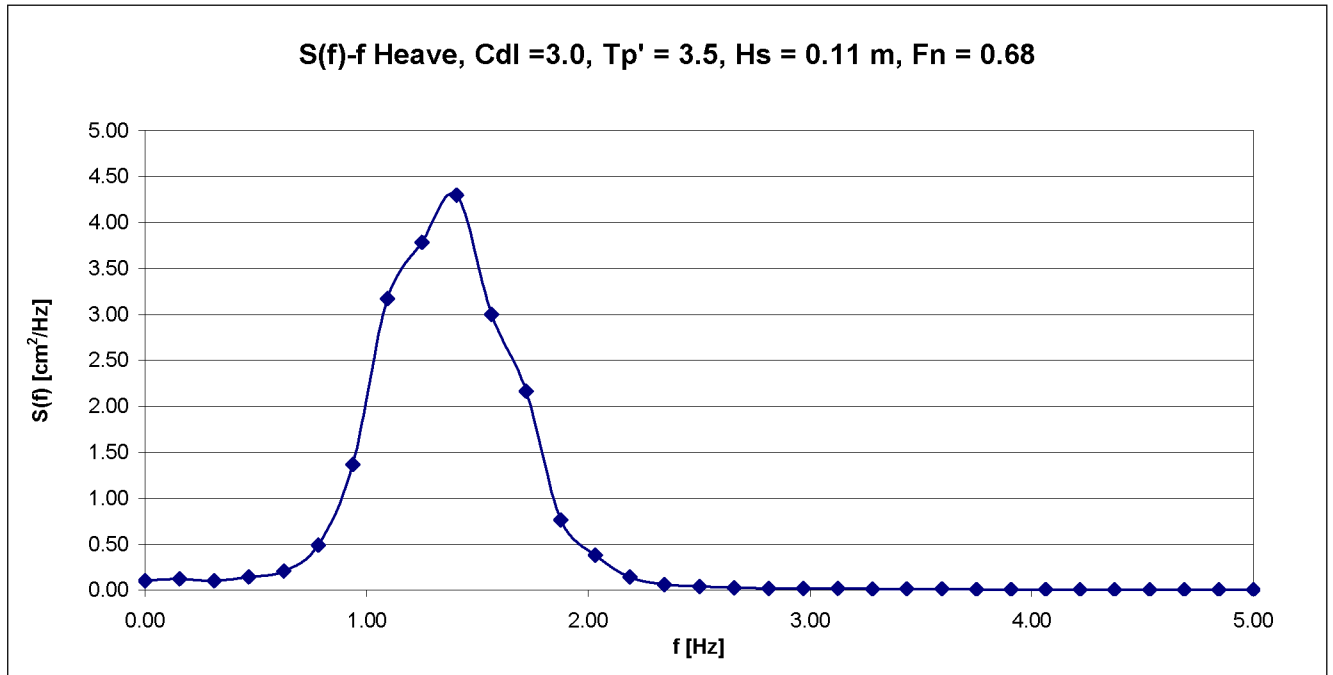
Σχήμα 5.68: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



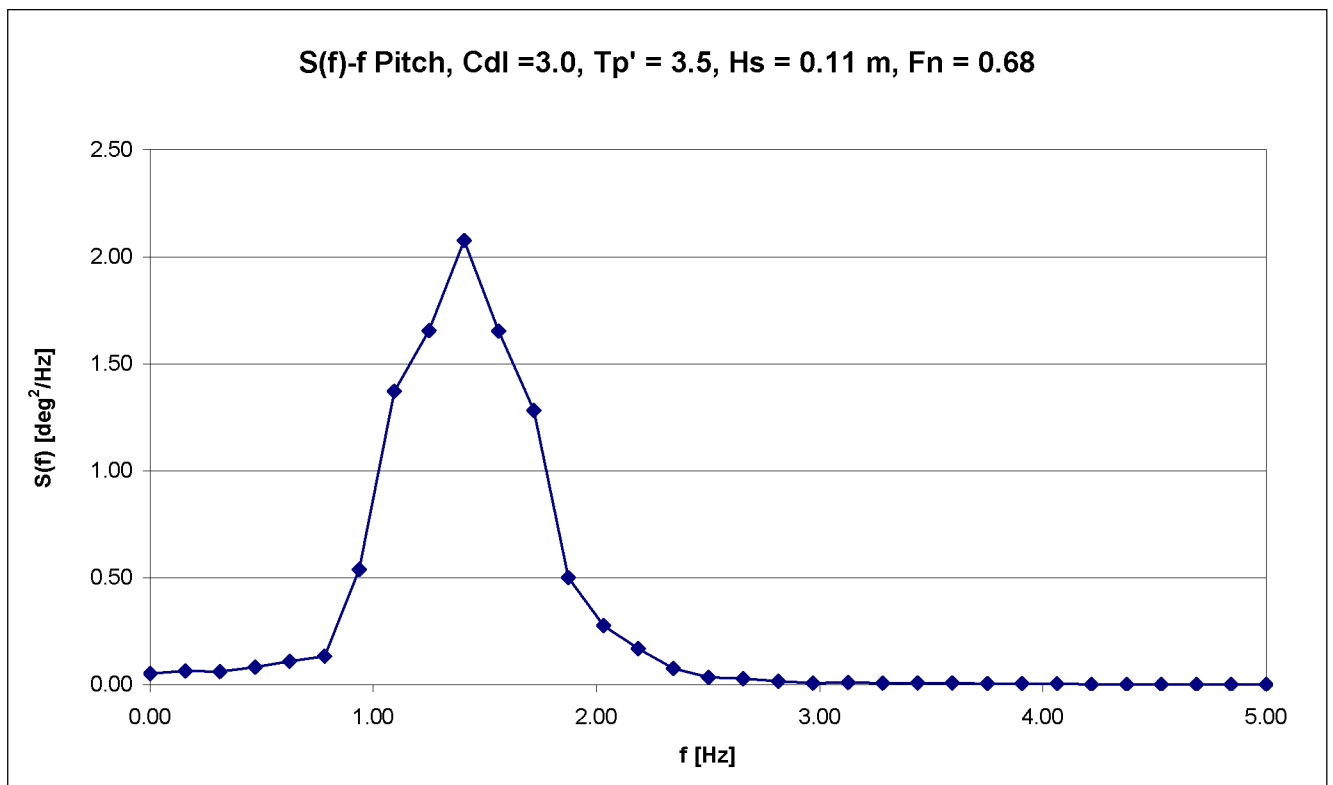
Σχήμα 5.69: Τροφοδοθηείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



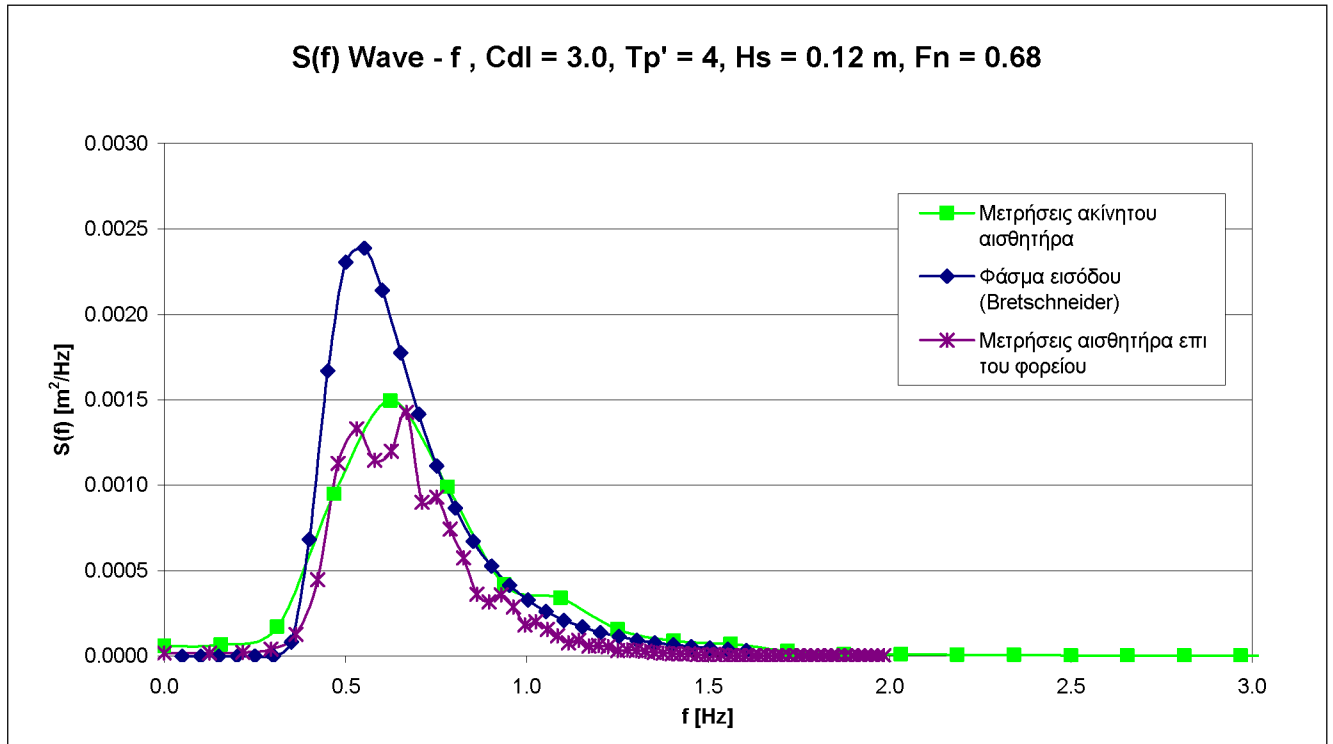
Σχήμα 5.70: Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



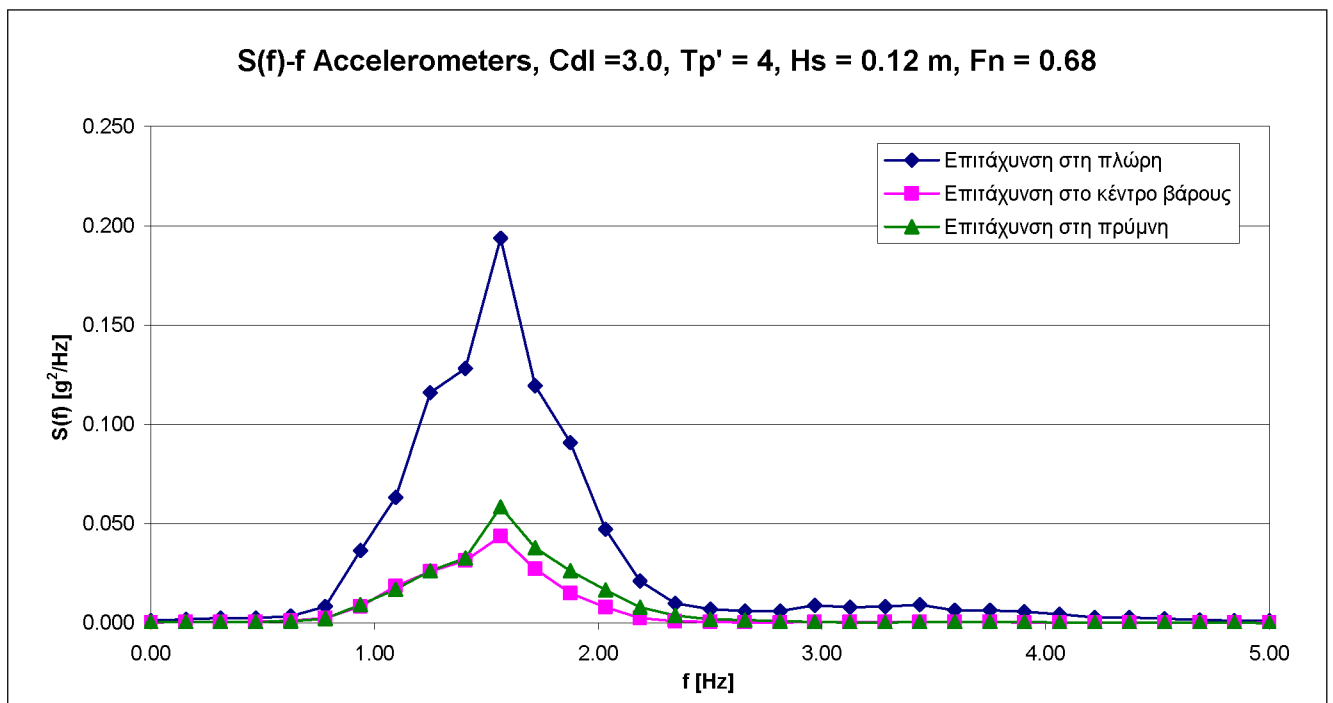
Σχήμα 5.71: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



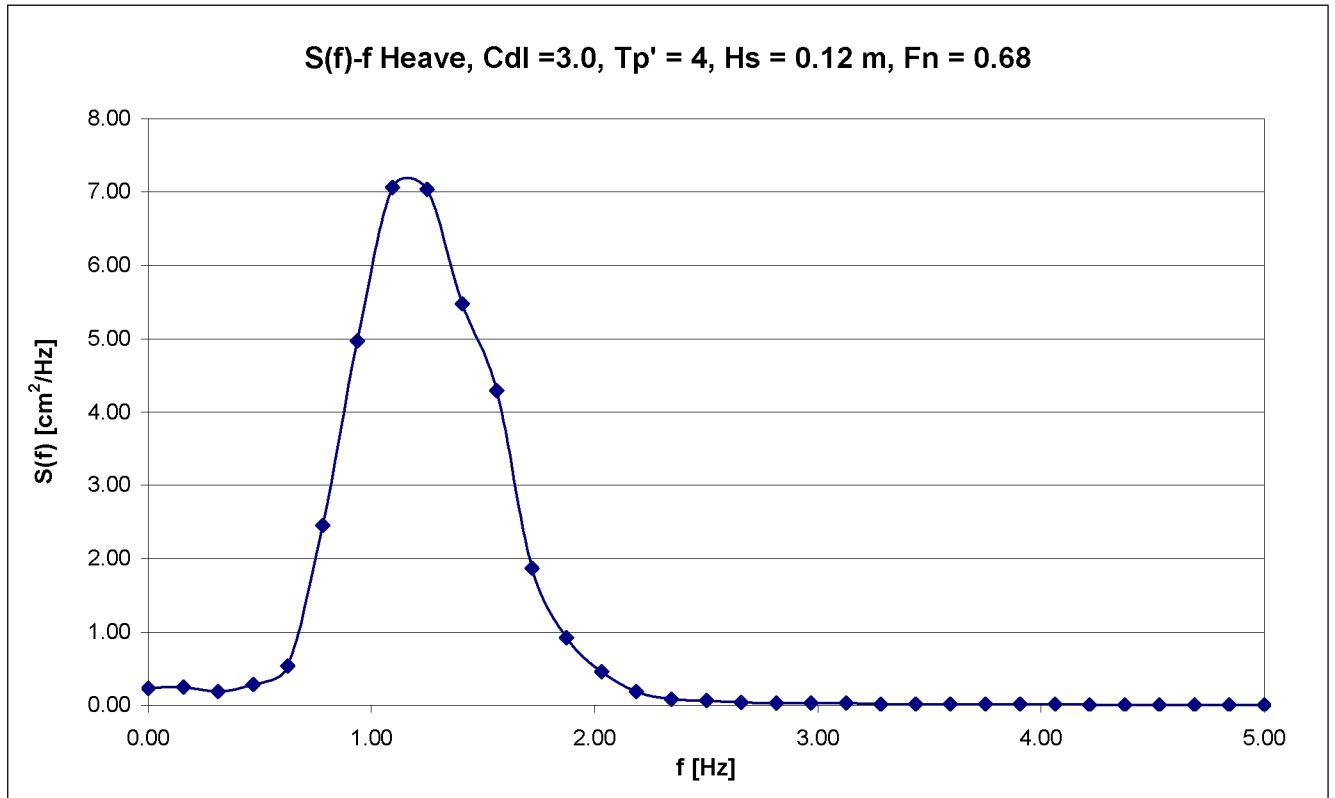
Σχήμα 5.72: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



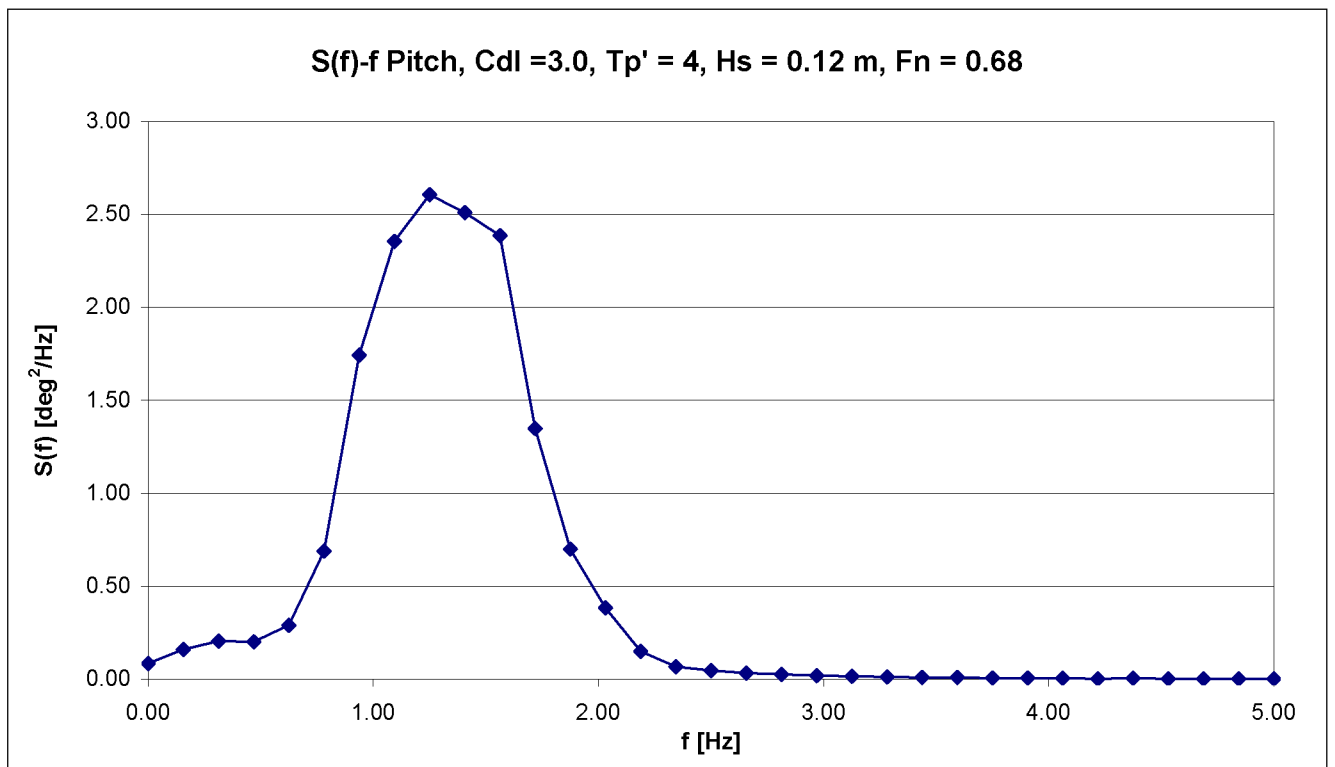
Σχήμα 5.73: Τροφοδοθηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



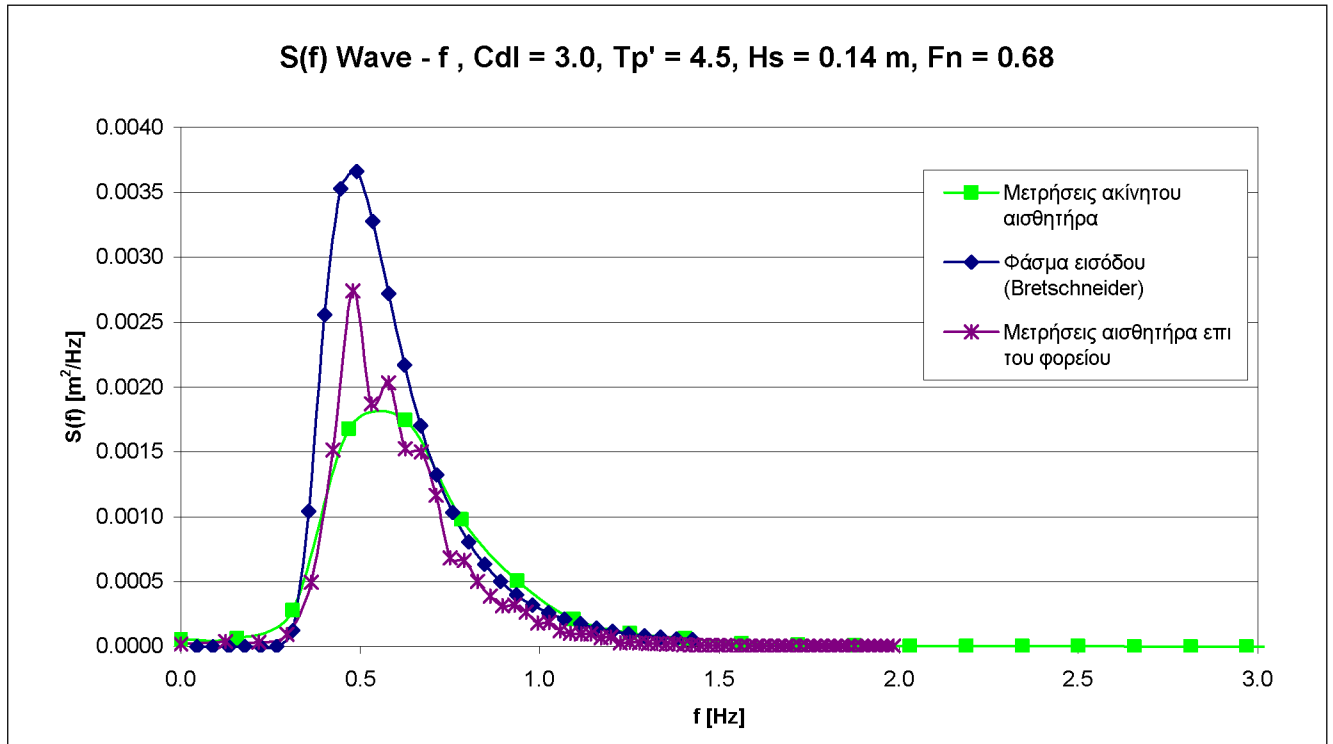
Σχήμα 5.74: Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



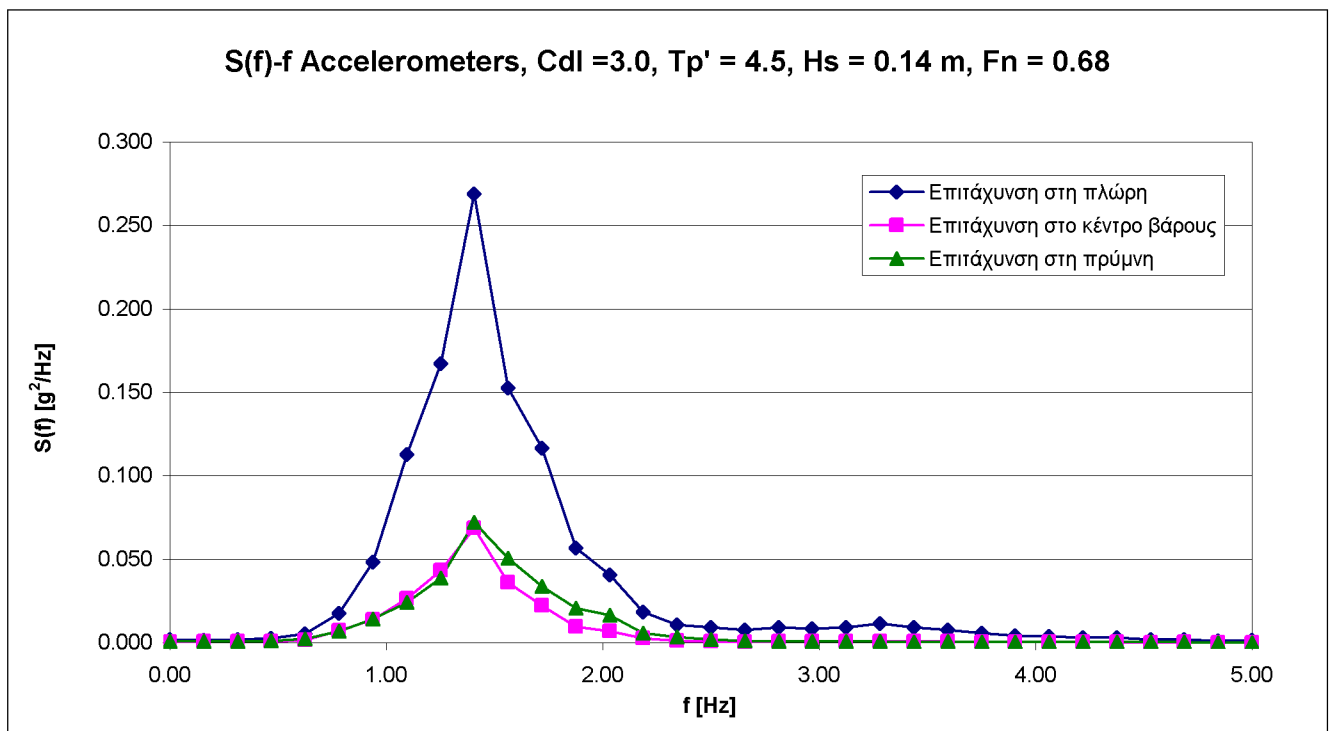
Σχήμα 5.75: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



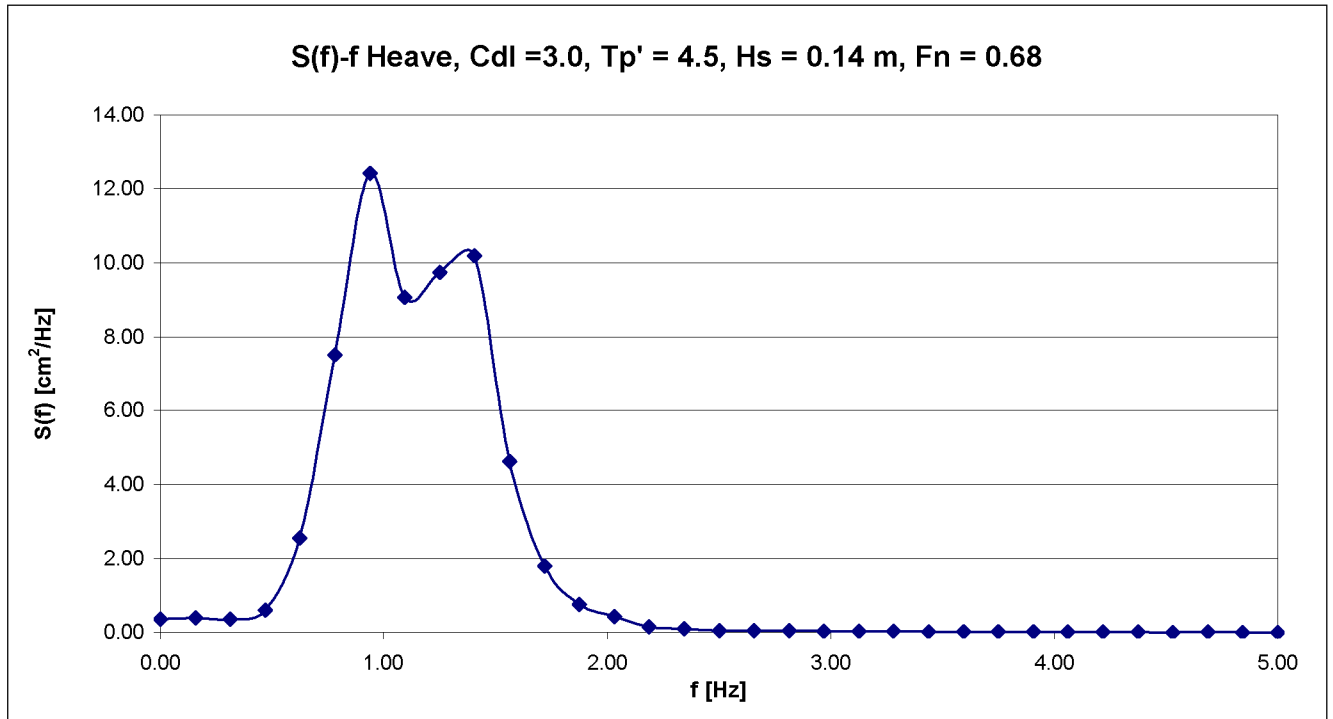
Σχήμα 5.76: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



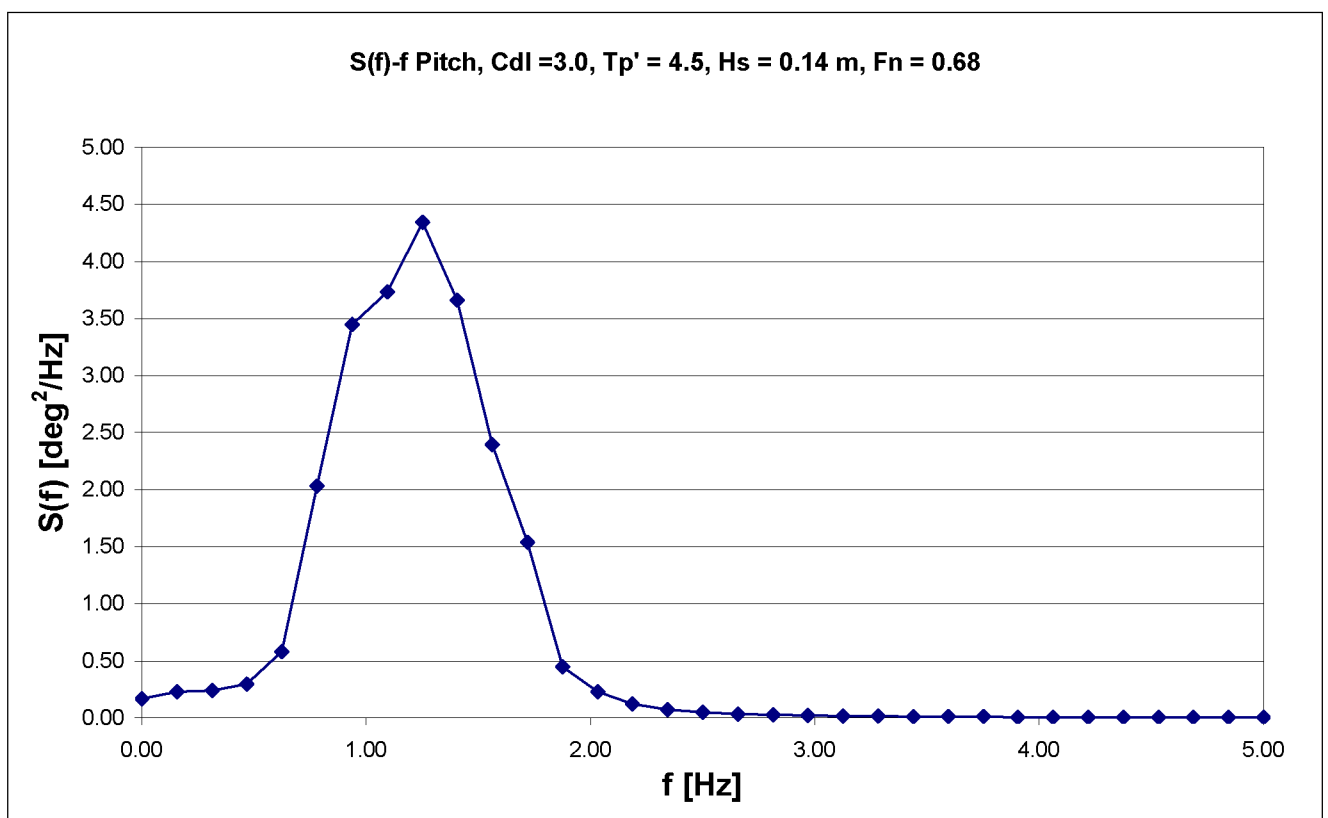
Σχήμα 5.77: Τροφοδοθηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



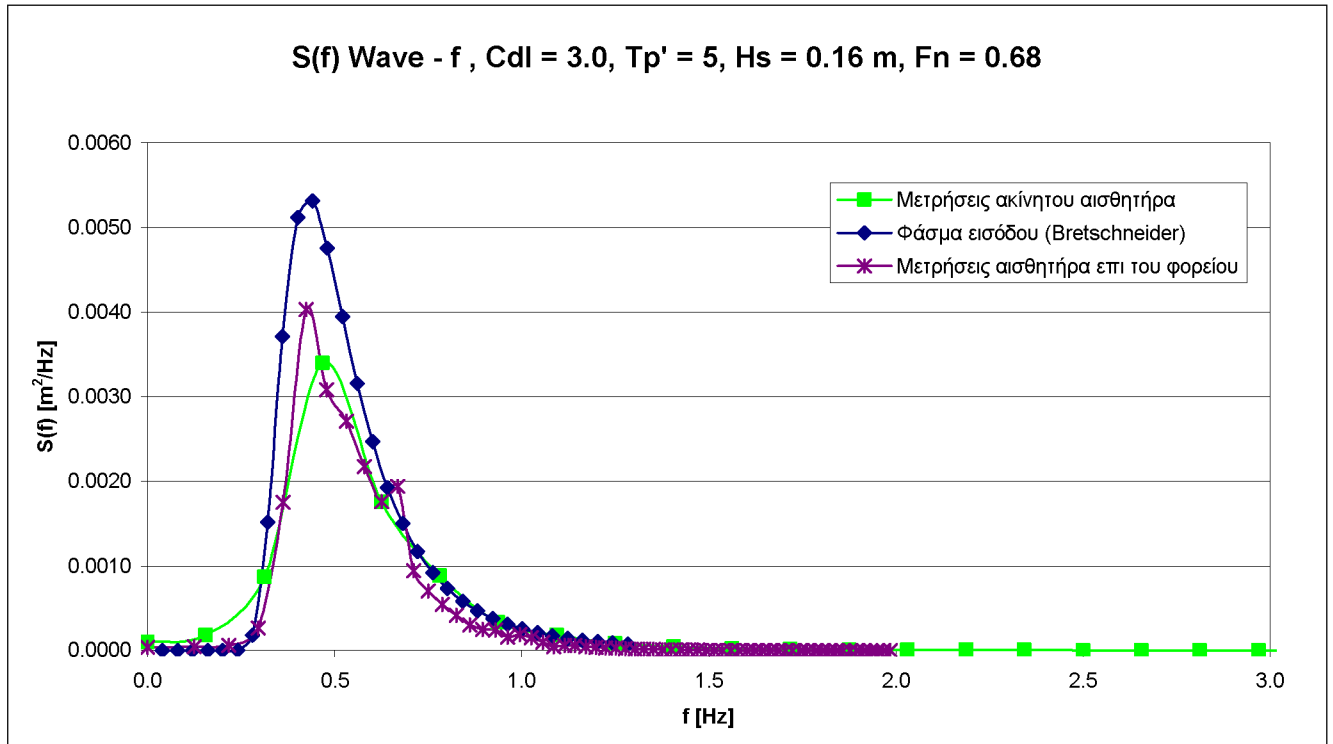
Σχήμα 5.78: Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



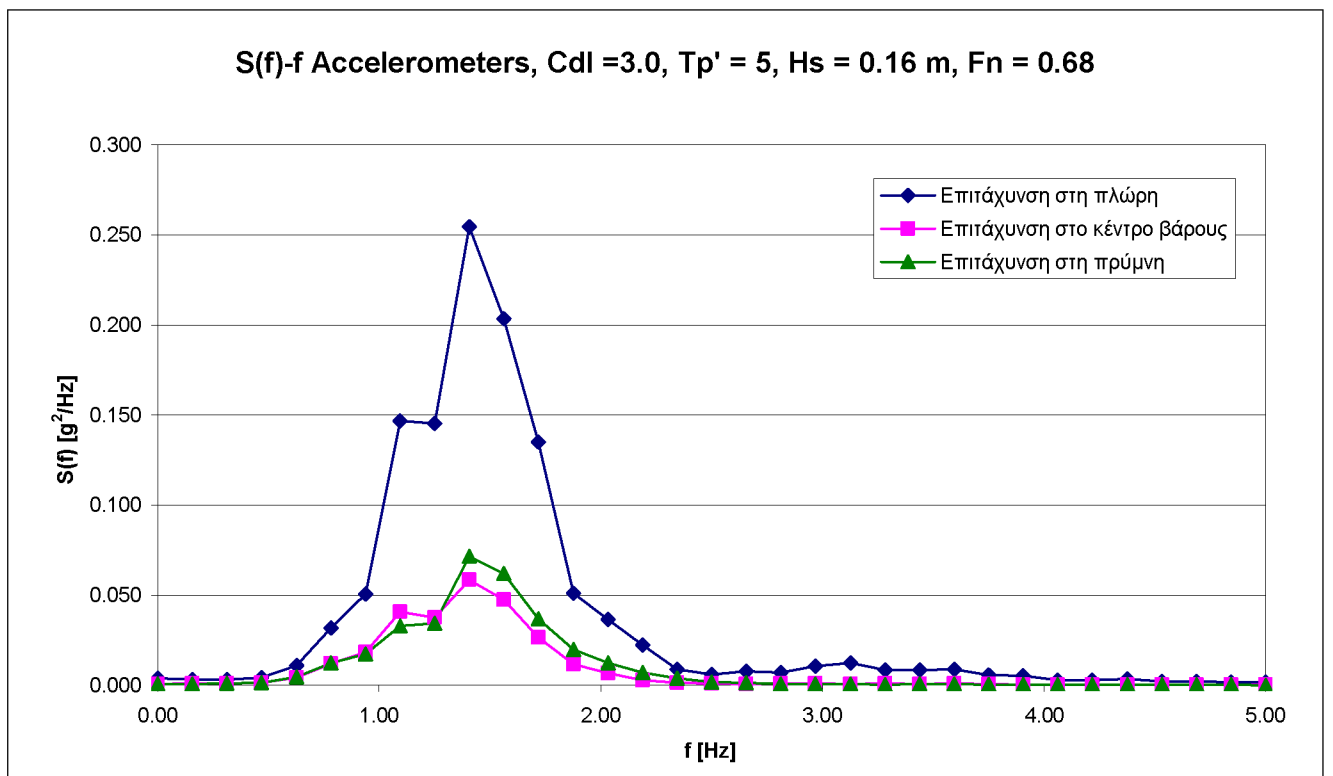
Σχήμα 5.79: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



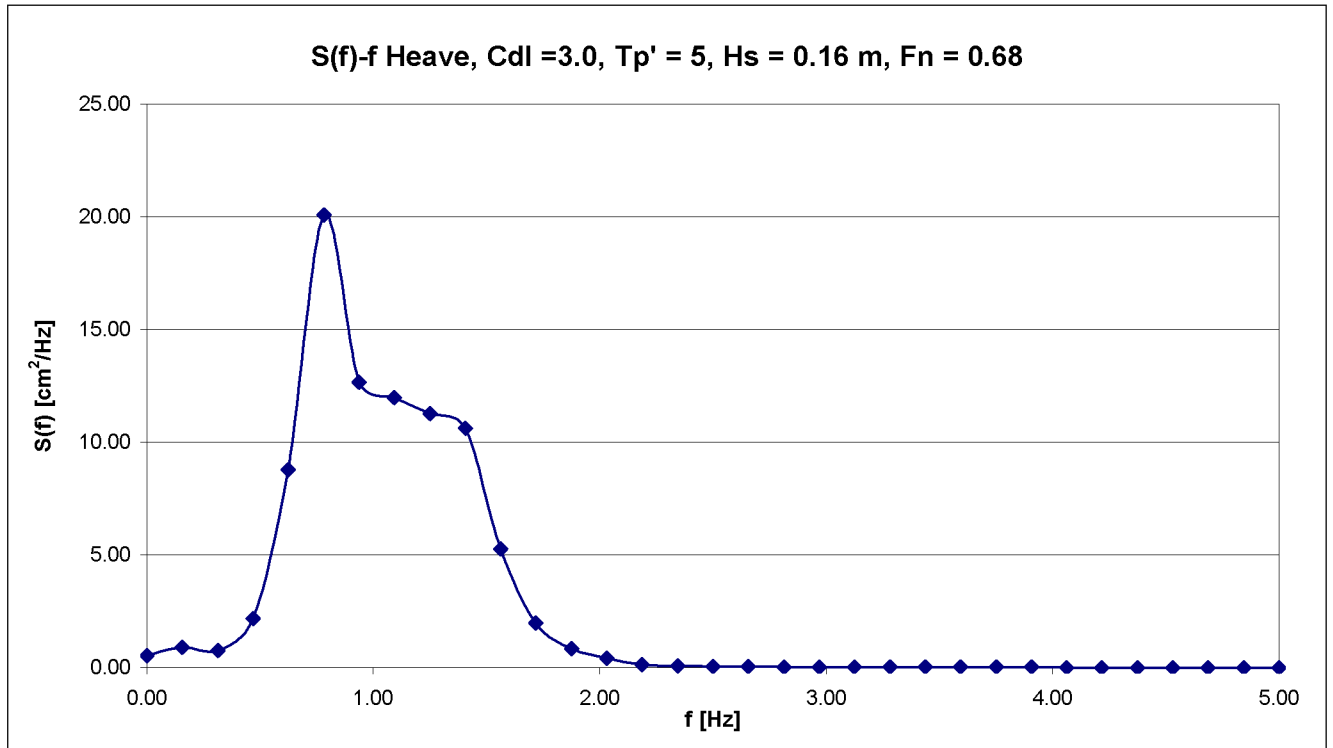
Σχήμα 5.80: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης



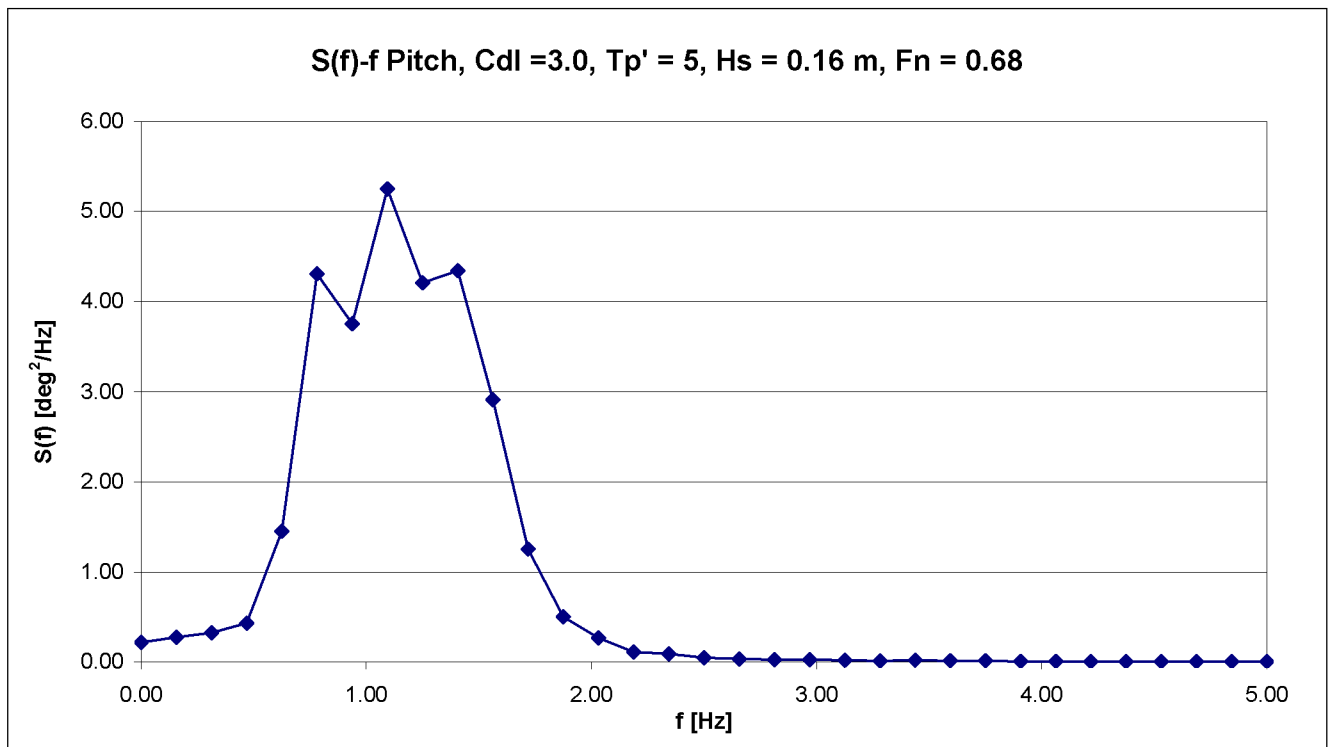
Σχήμα 5.81: Τροφοδοθηθείσα και καταγραφείσα συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



Σχήμα 5.82: Συνάρτηση πυκνότητας φασμάτων τριών κατακόρυφων επιταχύνσεων (πλώρη, μέση, πρύμνη)



Σχήμα 5.83: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος προνευτασμού



Σχήμα 5.84: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης κίνησης

5.3. Σύγκριση-σχολιασμός αποτελεσμάτων

Κατά την ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων εκτός από τα φάσματα $S(f)$ των δυναμικών αποκρίσεων συναρτήσει της συχνότητας f , υπολογίστηκαν και οι μέσες τετραγωνικές τιμές (rms) τιμές των μετρούμενων μεγεθών για τις διάφορες καταστάσεις θάλασσας και ταχύτητες. Αυτά τα αποτελέσματα αν παρουσιαστούν συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου, η οποία υπενθυμίζουμε ότι είναι:

$$T_p' = \frac{T_p}{\sqrt{\frac{L_{BP}}{g}}}$$

που χρησιμοποιείται ώστε το μέγεθος να μην έχει μονάδες μέτρησης, μπορούν να είναι άμεσα συγκρίσιμα ανεξαρτήτως του μοντέλου δοκιμών. Έτσι μπορούμε, πρώτων να συγκρίνουμε τα μοντέλα της σειράς και να αξιολογήσουμε τη δυναμική τους συμπεριφορά σε σχέση με τις βασικές σχεδιαστικές παραμέτρους και δεύτερον να εξετάσουμε την επίδραση των παραμέτρων αυτών στη συμπεριφορά των μοντέλων. Ακόμη οι αποκρίσεις των μετρούμενων μεγεθών έχουν διαιρεθεί με το σημαντικό ύψος κύματος H_s για να έχουμε καλύτερη εποπτεία.

Μια από τις αποκρίσεις που θα παρουσιαστούν παρακάτω είναι αυτή της Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance). Η τιμή της υπολογίστηκε αφαιρώντας την αντίσταση του μοντέλου σε ήρεμο νερό από την μέση τιμή της συνολικής αντίστασης που μετρήθηκε στα πειράματα.

$$R_{ADDED\ RESISTANCE} = R_{TOTAL} - R_{CALM_WATER}$$

Για τον υπολογισμό λοιπόν αυτού του σημαντικού μεγέθους ήταν απαραίτητη η γνώση της αντίστασης σε ήρεμο νερό των μοντέλων που δοκιμάστηκαν. Αυτό επέβαλε την πραγματοποίηση πειραμάτων αντίστασης και στα δύο μοντέλα.

Ακόμη παρατηρούμε ότι το σημαντικό ύψος κύματος που μετρήθηκε και υπολογίστηκε από τη σχέση $H^{1/3} = 4 \cdot RMS_{WAVE}$ διαφέρει από το αρχικά επιδιωκόμενο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας διορθωτικός συντελεστής κ , που είναι ο λόγος της επιδιωκόμενης τιμής προς την πραγματική τιμή που προέκυψε απ' τις μετρήσεις. Τα μεγέθη τροποποιήθηκαν με τις παρακάτω σχέσεις ώστε να γίνει αναγωγή τους στις επιδιωκόμενες τιμές:

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

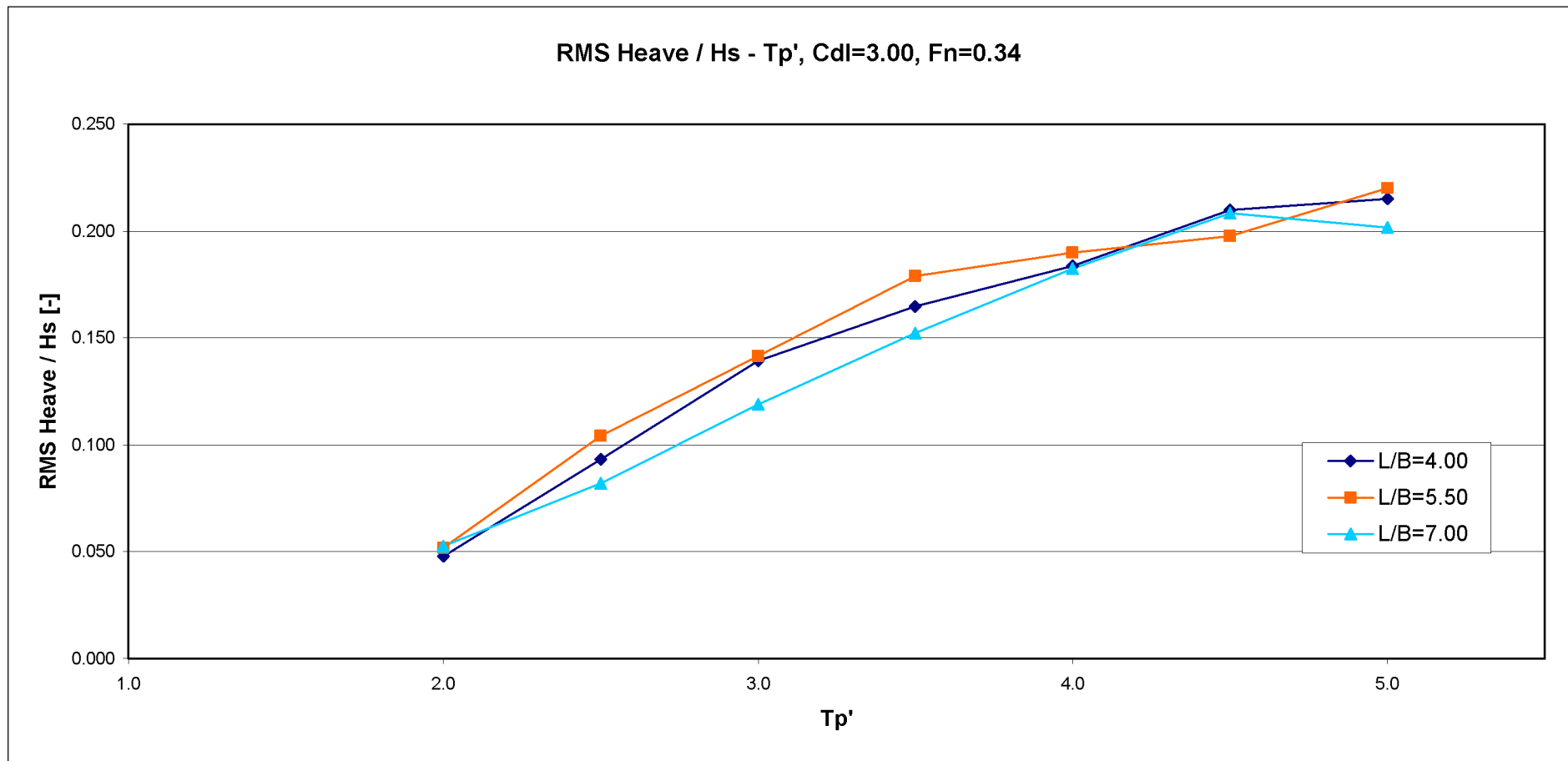
$$R_{ADDED\ RESIST\ \text{διορθωμένο}} = R_{ADDED\ RESIST\ \text{μέτρησης}} \cdot \kappa^2$$

5.3.1. Η επίδραση του λόγου μήκος προς πλάτος

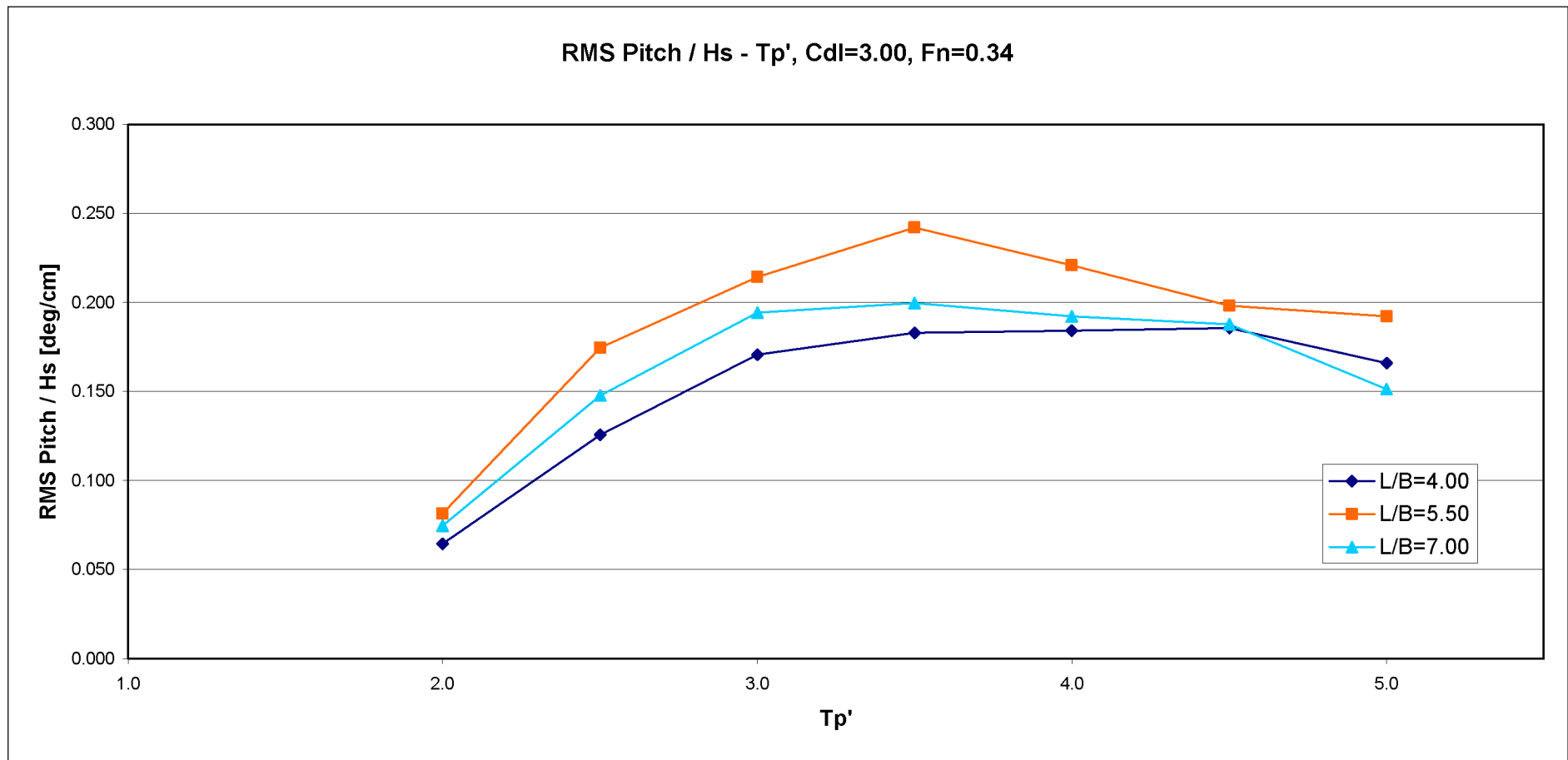
Όπως έχει είδη αναφερθεί ο λόγος L/B αποτελεί τη βασική παράμετρο της συστηματικής σειράς του Ε.Μ.Π. Η γνώση λοιπόν της επίδρασης αυτής της παραμέτρου στη δυναμική συμπεριφορά των προτύπων της σειράς είναι πρωταρχικής σημασίας. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται, για τον ίδιο συντελεστή φόρτωσης ($C_{DL}=3,00$) και για τις δύο ταχύτητες, συγκριτικά διαγράμματα στα μοντέλα *NTUA-113/95*, *NTUA-097/94* και *NTUA-116/96* με $L/B= 4.00$, $L/B= 5.50$ και $L/B= 7.00$ αντίστοιχα, των rms τιμών της κάθε απόκρισης για αυξανόμενη περίοδο κορυφής και αυξανόμενο σημαντικό ύψος κύματος. Στη συνέχεια των διαγραμμάτων ακολουθεί σχολιασμός της επίδρασης του λόγου μήκος προς πλάτος για ίδια αδιάστατη περίοδο και σημαντικό ύψος κύματος.

Έτσι παρουσιάζονται τα εξής διαγράμματα στους δύο αριθμούς Froude 0.34 και 0.68:

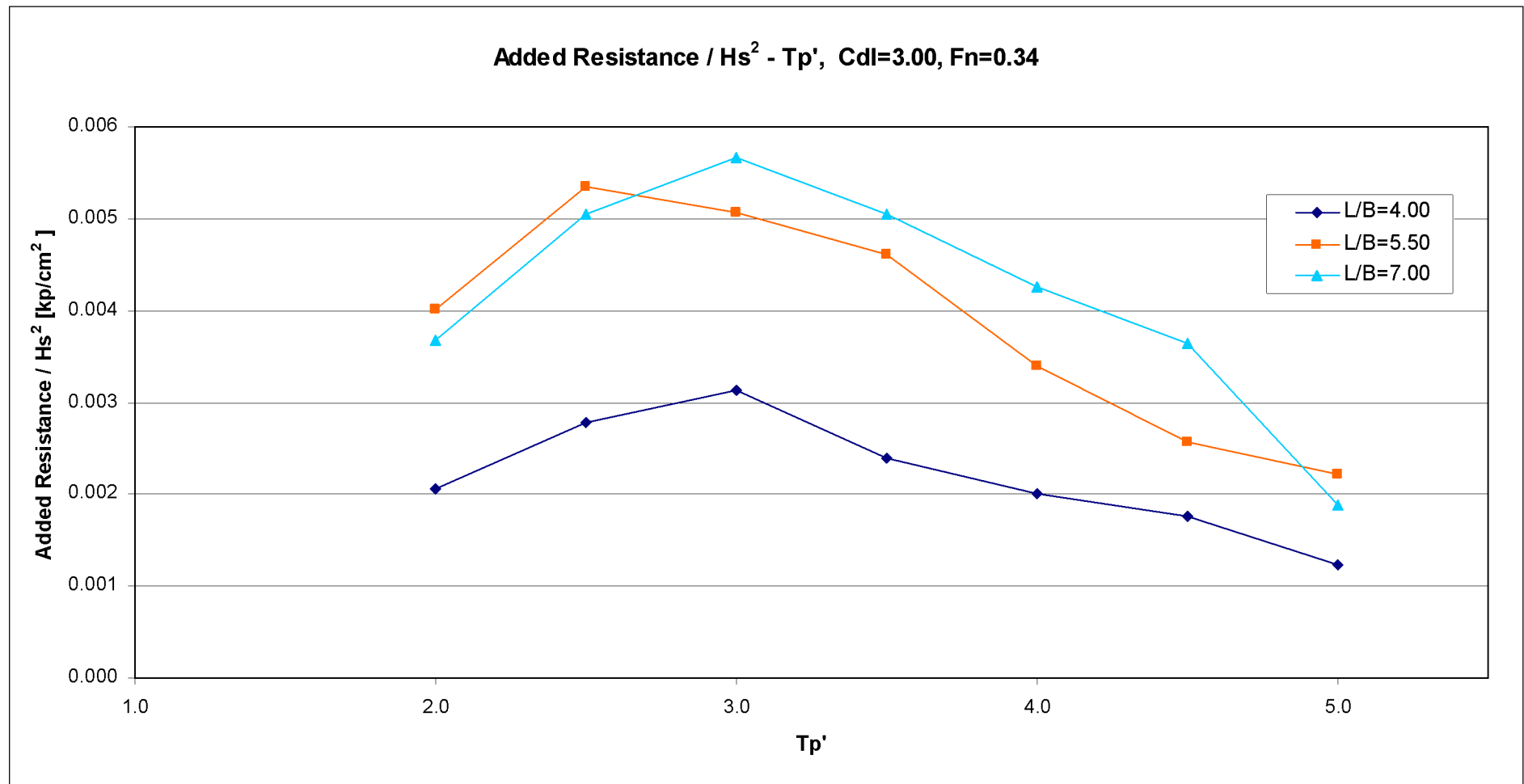
- RMS τιμή Κατακόρυφης Κίνησης (Heave) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [cm/cm] της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κίνησης Προνευτασμού (Pitch) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [deg/cm] συναρτήσει της της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [kp/cm²] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (Acceleration Bow) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (Acceleration Mid) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη (Acceleration Stern) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')



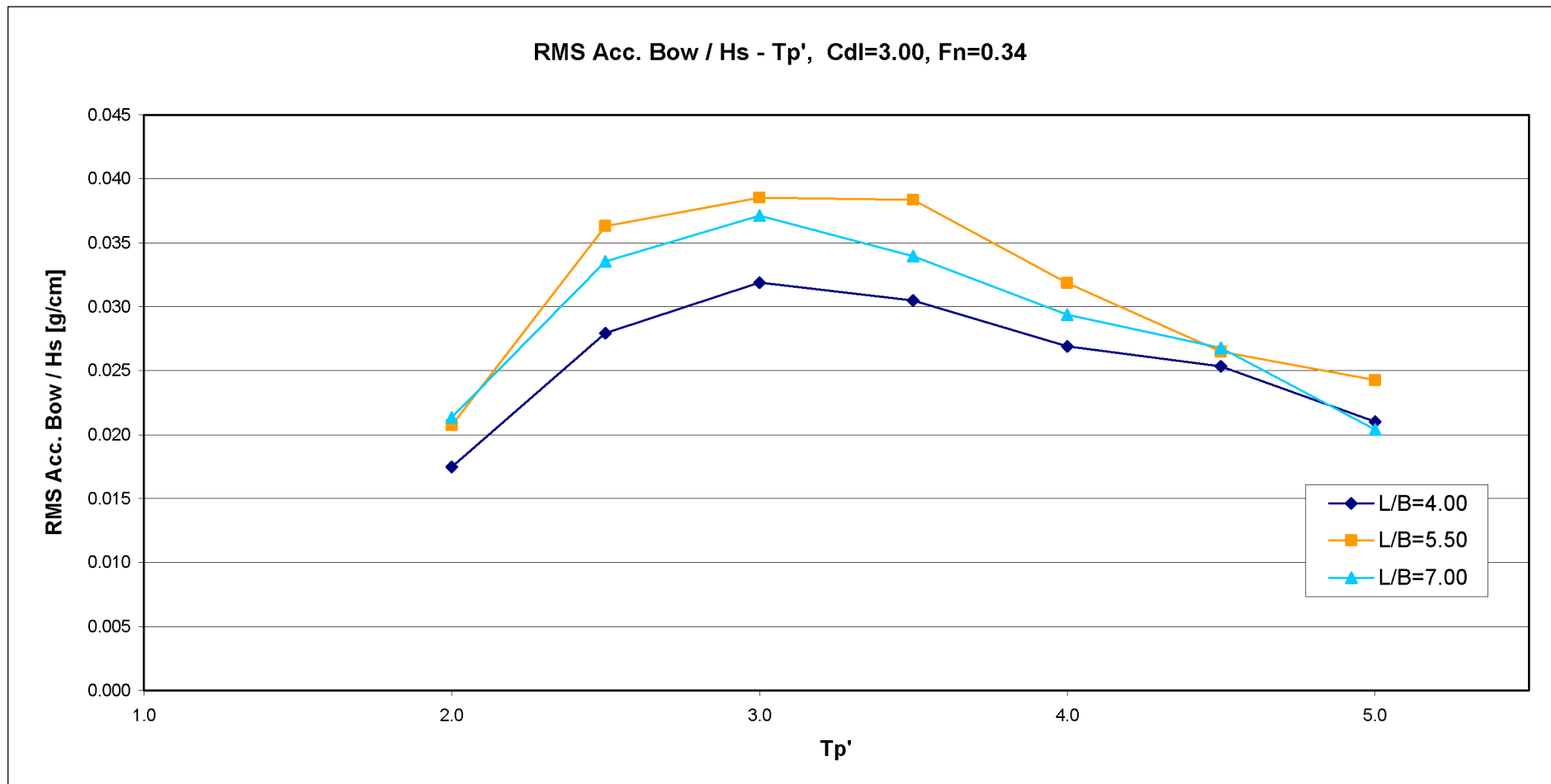
Σχήμα 5.85: RMS τιμή Κατακόρυφης Κίνησης (Heave) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [cm/cm] της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



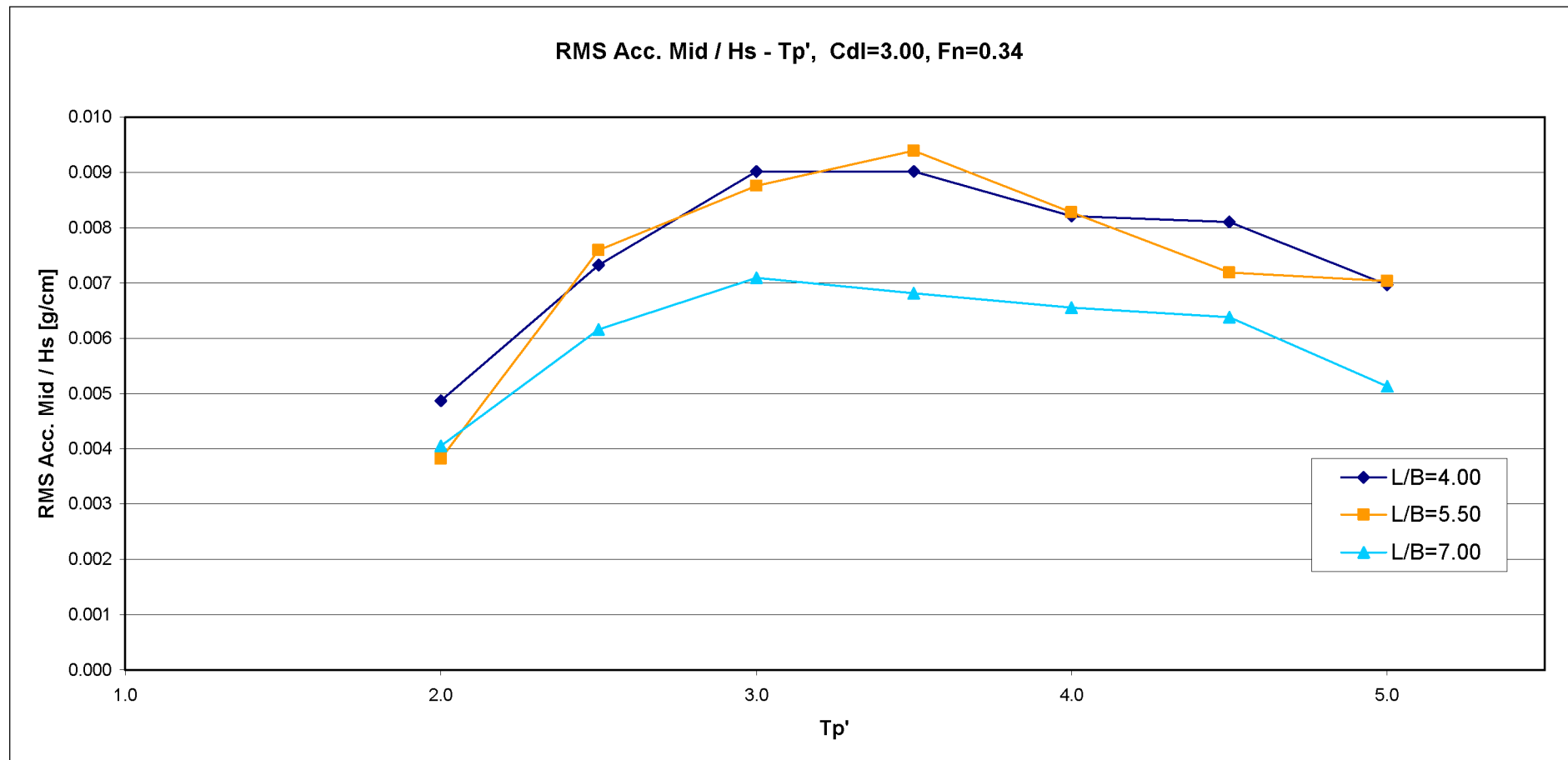
Σχήμα 5.86: RMS τιμή Κίνησης Προνευτασμού (Pitch) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος Hs [deg/cm] συναρτήσει της της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



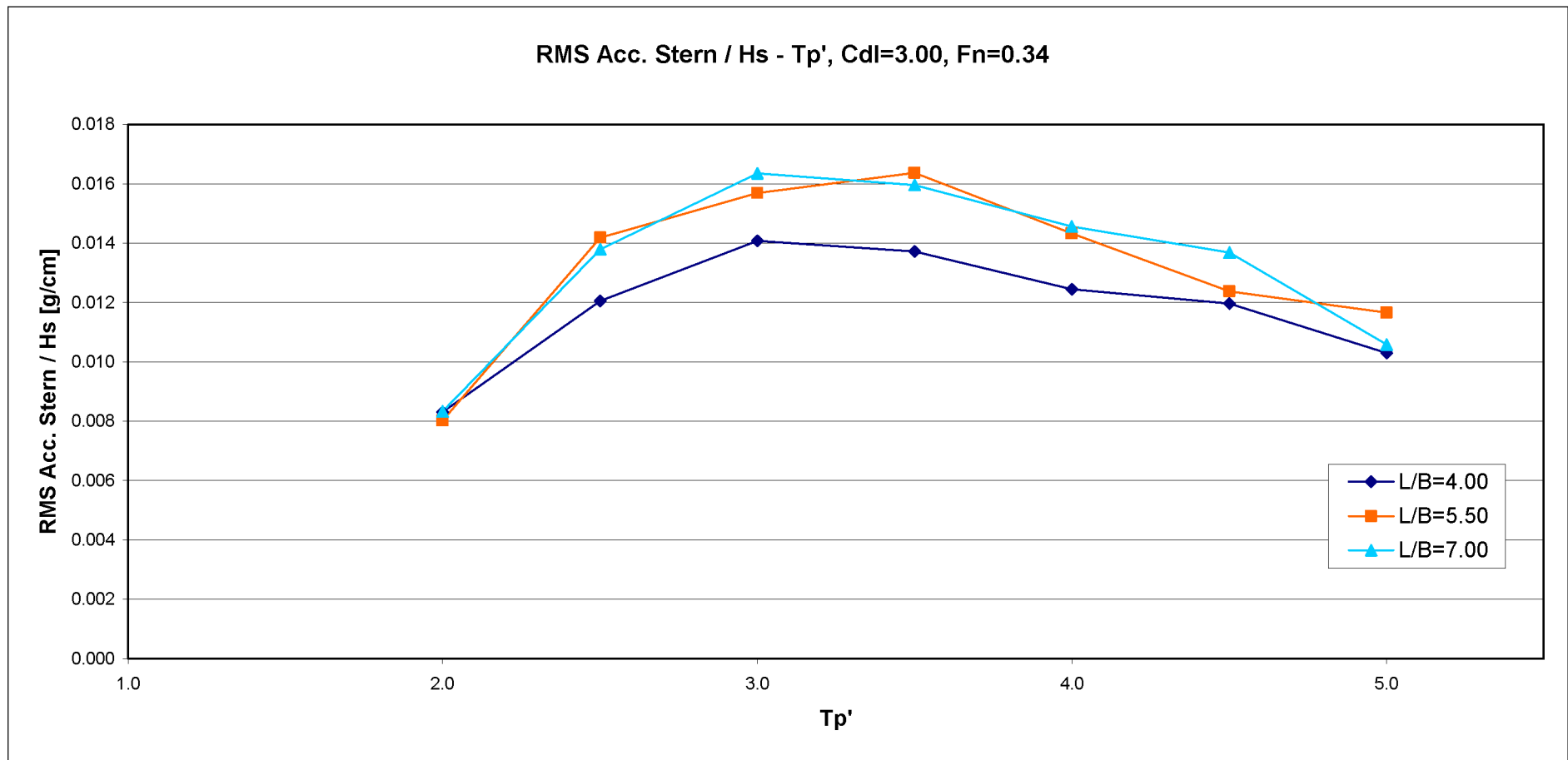
Σχήμα 5.87: Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance) διατεταμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [kp/cm^2] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak})



Σχήμα 5.88: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (Acceleration Bow) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



Σχήμα 5.89: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (Acceleration Mid) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



Σχήμα 5.70: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη (Acceleration Stern) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Όπως παρατηρούμε από τα παραπάνω διαγράμματα, όσον αφορά τη μικρή ταχύτητα που αντιστοιχεί σε αριθμό $F_n=0.34$ ισχύουν τα εξής:

Οι rms τιμές **κατακόρυφης κίνησης (Heave)** αυξάνονται ανάλογα και στα τρία μοντέλα, με την αύξηση της αδιάστατης περιόδου. Το μοντέλο με λόγο $L/B=5,50$ έχει τις μεγαλύτερες αποκρίσεις σε όλο το εύρος των περιόδων εκτός απ' την 4,5 όπου έχει τη μικρότερη τιμή σε σχέση με τα υπόλοιπα σκάφη. Το μοντέλο με το μεγάλο λόγο μήκους προς πλάτος έχει τις μικρότερες τιμές παντού, ενώ εμφανίζει ίδια συμπεριφορά με το $L/B=4,00$ μετά την $T_p'=4,0$, το οποίο παρουσιάζει ενδιάμεσες τιμές για τις μικρότερες αδιάστατες περιόδους (σχήμα 5.88).

Οι rms τιμές κίνησης σε **προνευτασμό (Pitch)** ακολουθούν την ίδια λογική με μικρές διαφορές και για τους τρεις λόγους L/B . Πιο συγκεκριμένα μικρότερες τιμές παίρνει το μοντέλο με τον μικρό λόγο L/B , τις μέγιστες το μοντέλο με $L/B=5,50$ και ενδιάμεσες το μοντέλο με $L/B=7,00$ (σχήμα 5.89).

Οι τιμές της **πρόσθετης αντίστασης (added resistance)** λόγω κυματισμών είναι μεγαλύτερες για το μοντέλο $L/B=7,00$ εκτός από την περιοχή με $T_p'=2,0-2,5$ όπου τη μεγαλύτερη πρόσθετη αντίσταση εμφανίζεται να έχει το πατρικό μοντέλο της σειράς, το οποίο έχει ελαφρός μικρότερη αντίσταση στην υπόλοιπη περιοχή. Το μοντέλο με $L/B=4,00$ εμφανίζει περίπου τη μισή πρόσθετη αντίσταση σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα ως την αδιάστατη περίοδο $T_p'=4,0$ από όπου οι τιμές για τους δύο μεγαλύτερους λόγους μειώνονται αισθητά και τελικά συγκλίνουν για $T_p'=5,0$. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι η πρόσθετη αντίσταση και για τα τρία μοντέλα ακολουθεί την πορεία του προνευτασμού, δηλαδή ξεκινά από χαμηλά στις μικρές αδιάστατες περιόδους, αυξάνεται στη συνέχεια και τέλος μειώνεται. Αυτό έχει φυσική εξήγηση αφού όταν αυξάνεται πολύ η γωνία διαγωγής αυξάνεται και η αντίσταση του σκάφους (σχήμα 5.90).

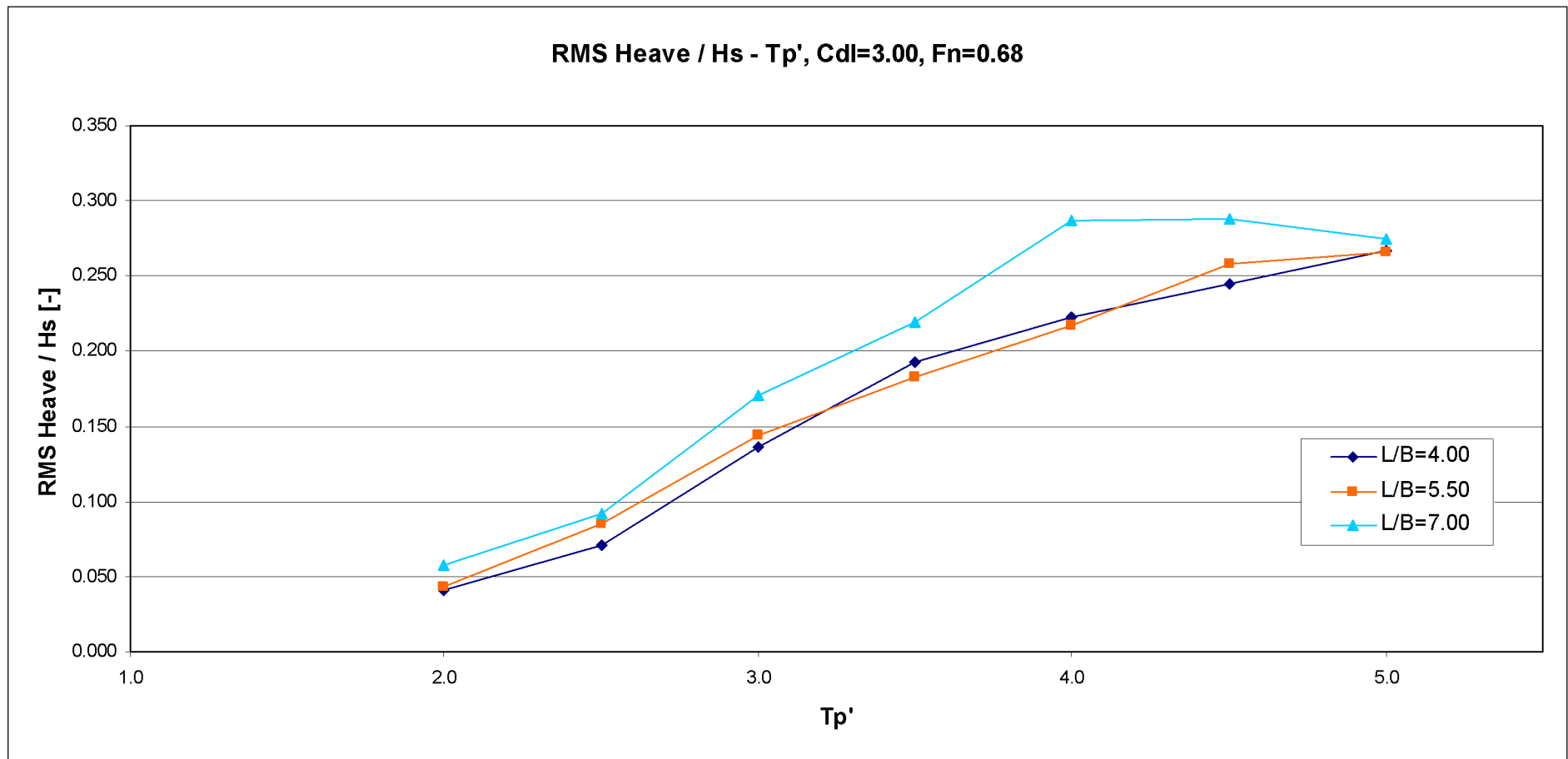
Οι αποκρίσεις στις **κατακόρυφες επιταχύνσεις (Vertical Accelerations)** σαν απόλυτα μεγέθη είναι μεγαλύτερες και για τους τρεις λόγους L/B στην πλώρη, σχεδόν οι μισές στην πρύμνη και ακόμη χαμηλότερες στο κέντρο βάρους των μοντέλων όπου η επίδραση του pitch είναι μηδενική. Και στις τρεις θέσεις (πρώραθεν, πρύμνηθεν και στο κέντρο βάρους) οι αποκρίσεις στις κατακόρυφες επιταχύνσεις μεγιστοποιούνται στην περιοχή των αδιάστατων περιόδων $T_p'=3$ και 3,5 ενώ στις μεγαλύτερες περιόδους εμφανίζουν φθίνουσα πορεία. Ειδικότερα, για κάθε κατακόρυφη επιτάχυνση ξεχωριστά παρατηρήθηκαν τα εξής:

Κατακόρυφη επιτάχυνση στην πλώρη (Bow Acceleration): Σε όλο το εύρος των αδιάστατων περιόδων το μοντέλο με λόγο $L/B=5,50$ παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αποκρίσεις. Αντίθετα τις μικρότερες τιμές παρουσιάζει το σκάφος με τον μικρότερο λόγο $L/B=4,00$. Τέλος οι αποκρίσεις του μοντέλου με λόγο $L/B=7,00$ κινούνται σε ενδιάμεσες τιμές σε σχέση με τους προηγούμενους στις ενδιάμεσες περιόδους, ενώ στις αδιάστατες περιόδους 2,0 και 4,5 ταυτίζεται με τις τιμές του λόγου $L/B=5,5$. Το ίδιο συμβαίνει και στην αδιάστατη περίοδο $T_p'=5,0$ όπου ταυτίζεται με την τιμή του $L/B=4,00$ (σχήμα 5.85).

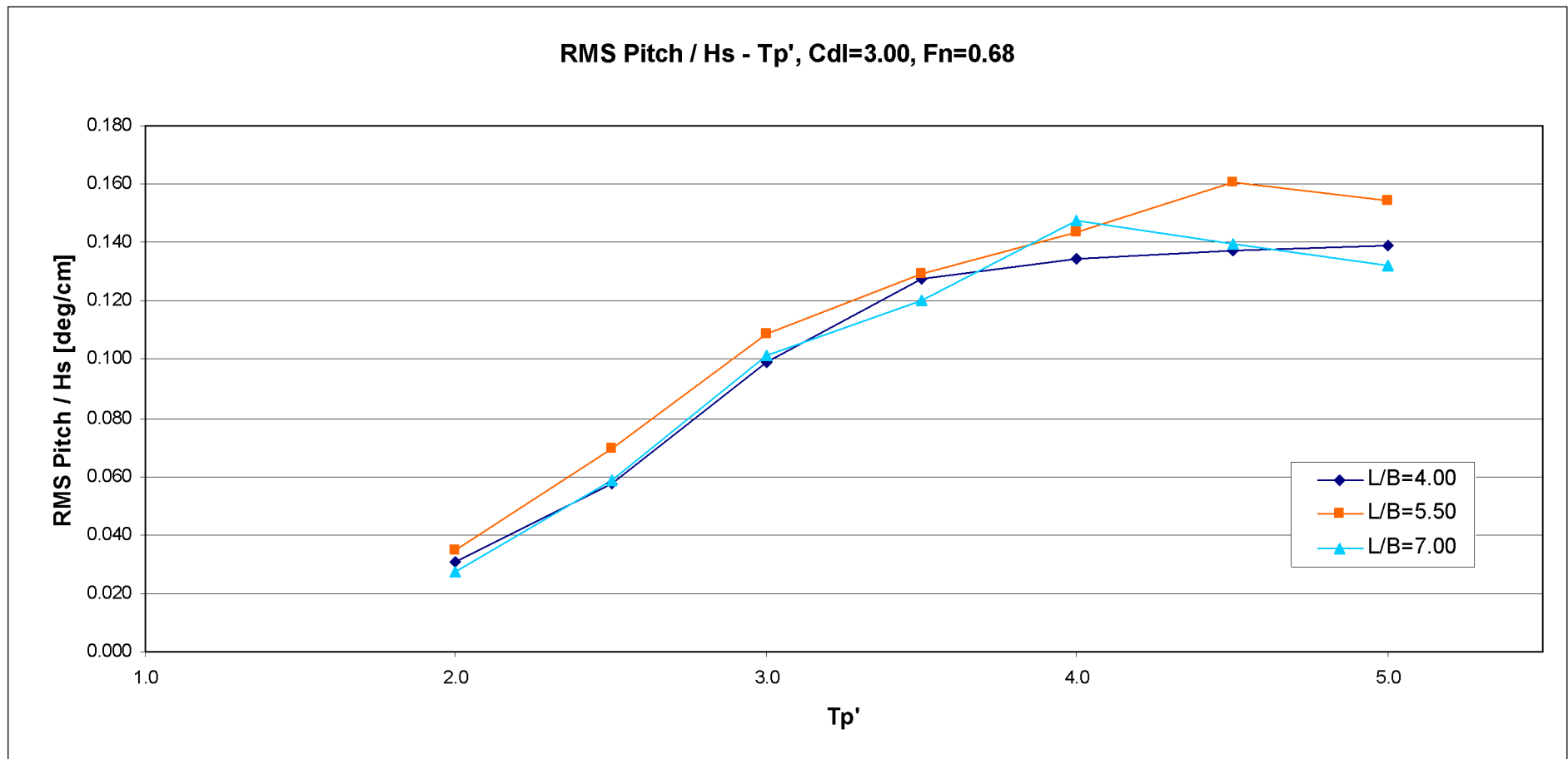
Κατακόρυφη επιτάχυνση στο κέντρο βάρους (Mid Acceleration): Τις μικρότερες αποκρίσεις σε αυτό το σημείο εμφανίζει το μοντέλο με $L/B=7,00$, ενώ τα άλλα δύο

μοντέλο παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά με μεγαλύτερες αποκρίσεις (σχήμα 5.86).

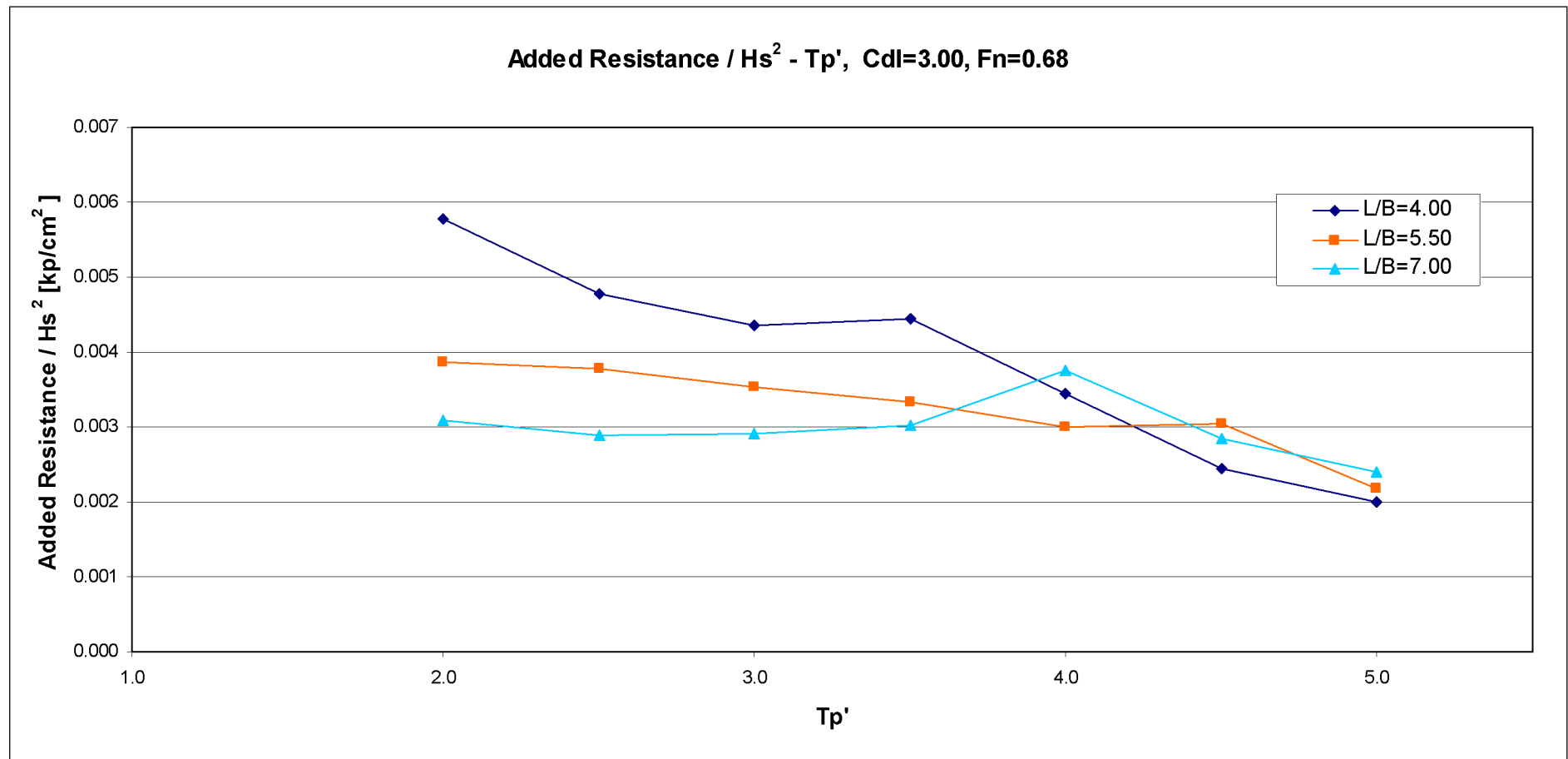
Κατακόρυφη επιτάχυνση στην πρύμνη (Stern Acceleration): Εδώ τις μικρότερες αποκρίσεις έχει το μοντέλο με τον μικρό λόγο L/B . Όπως συμβαίνει και με τις επιταχύνσεις στο κέντρο βάρους, οι άλλοι δυο λόγοι L/B παρουσιάζουν τις ίδιες τιμές, μεγαλύτερες όμως από αυτές του μοντέλου με $L/B=4,00$ (σχήμα 5.87).



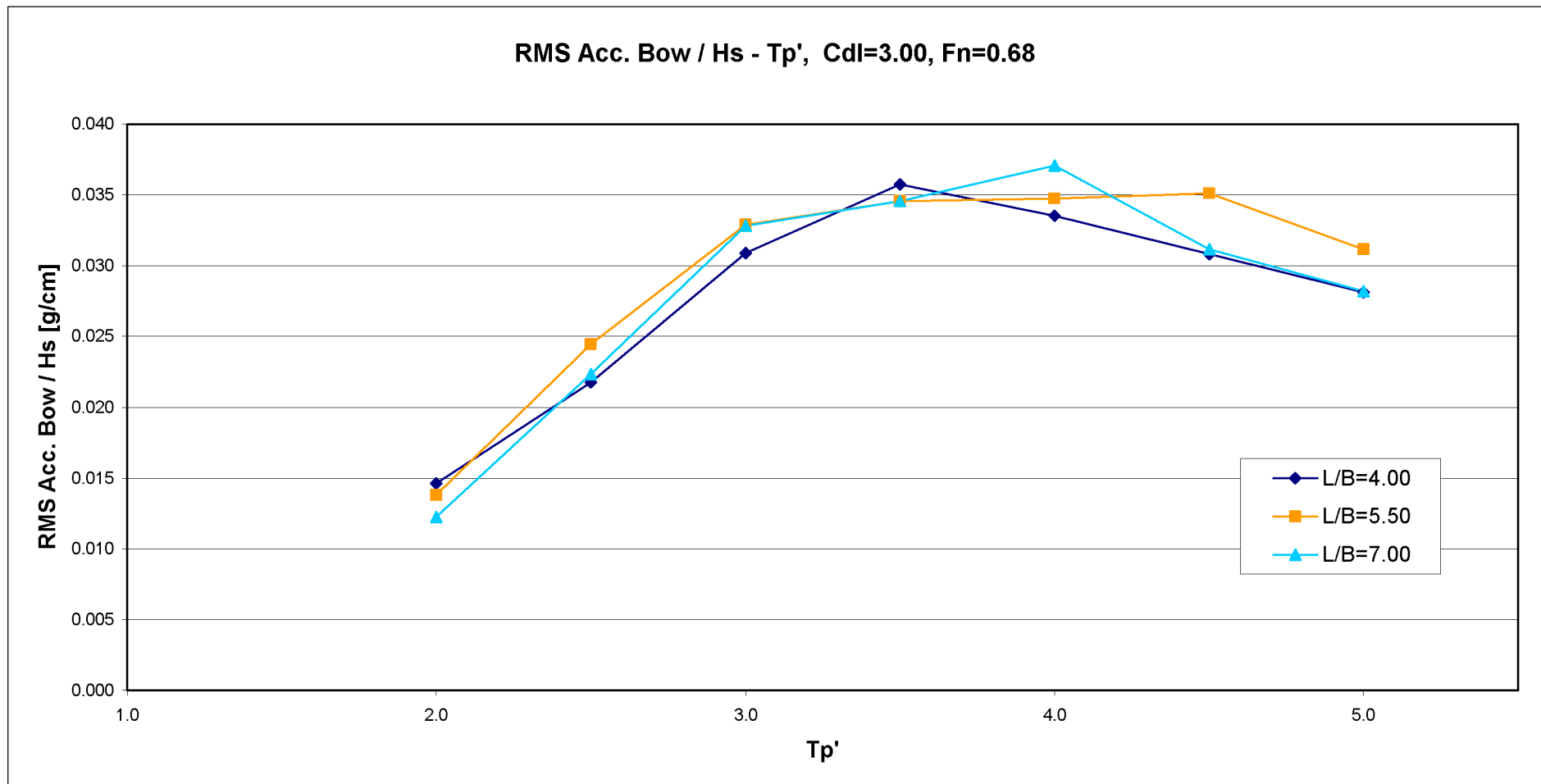
Σχήμα 5.91: RMS τιμή Κατακόρυφης Κίνησης (Heave) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [cm/cm] της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



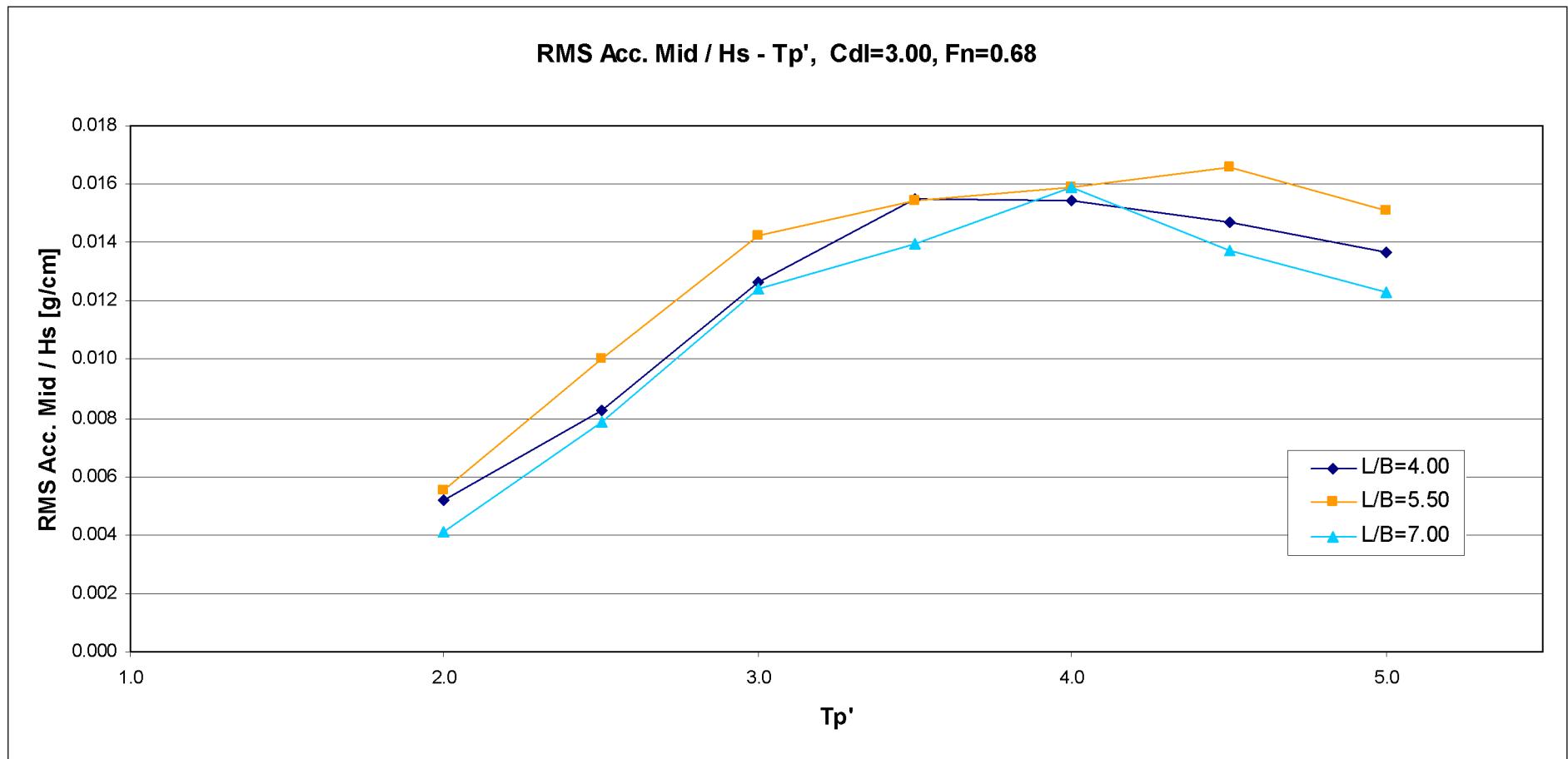
Σχήμα 5.92: RMS τιμή Κίνησης Προνευτασμού (Pitch) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος Hs [deg/cm] συναρτήσει της της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



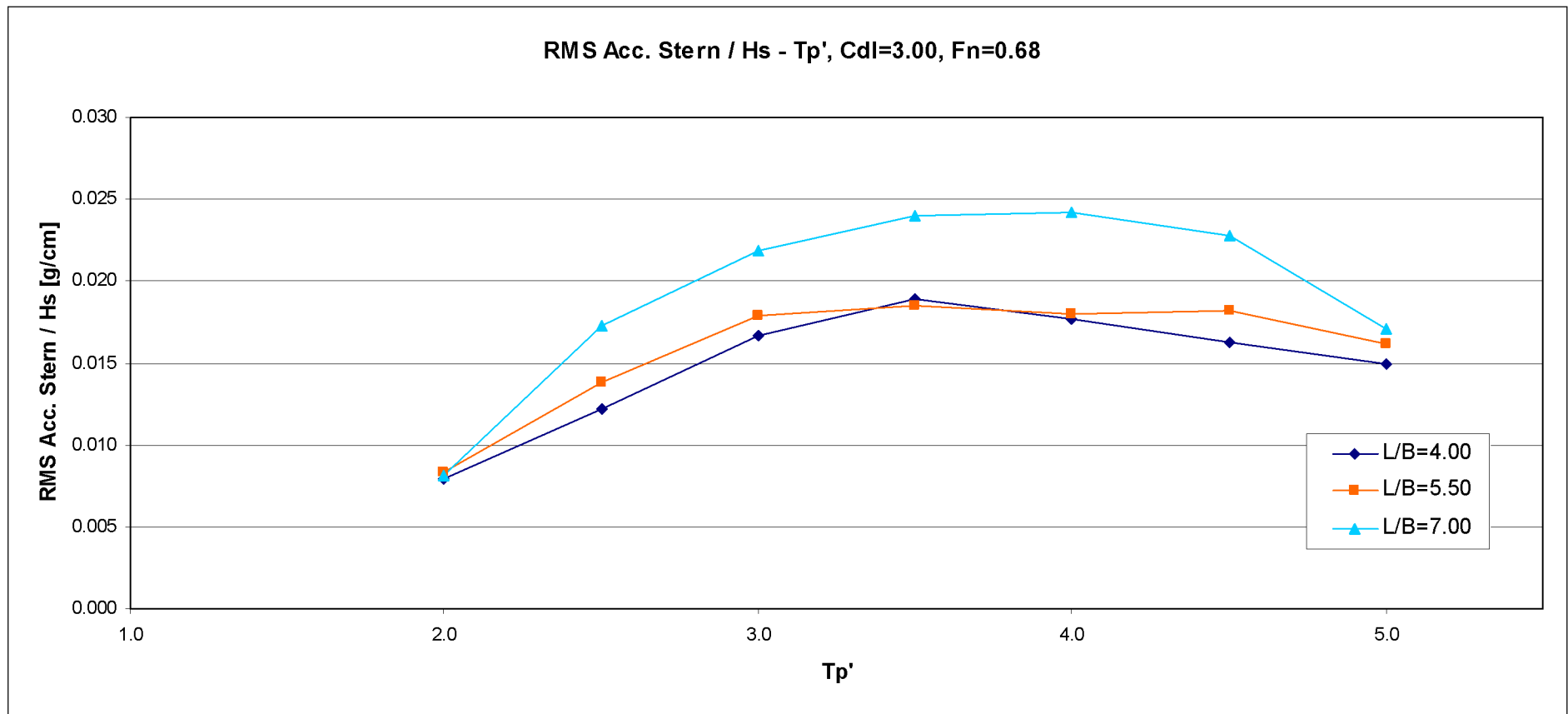
Σχήμα 5.93: Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance) διαμεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [kp/cm^2] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak})



Σχήμα 5.94: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (Acceleration Bow) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



Σχήμα 5.95: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (Acceleration Mid) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος Hs [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



Σχήμα 5.96: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη (Acceleration Stern) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Όσον αφορά τη μεγάλη ταχύτητα που αντιστοιχεί σε αριθμό $Fn=0.68$:

Οι rms τιμές **κατακόρυφης κίνησης (Heave)** αυξάνονται ανάλογα και στα τρία μοντέλα, με την αύξηση της αδιάστατης περιόδου. Το μοντέλο με λόγο $L/B=7,00$ έχει τις μεγαλύτερες αποκρίσεις σε όλο το εύρος των περιόδων. Το μοντέλο με το μεγάλο λόγο μήκους προς πλάτος εμφανίζει ίδια συμπεριφορά με το $L/B=4,00$ και έχουν μικρότερες τιμές παντού εκτός από την $T_p'=5,0$ όπου οι αποκρίσεις και των τριών μοντέλων συγκλίνουν στην ίδια τιμή (σχήμα 5.94).

Οι rms τιμές κίνησης σε **προνευτασμό (Pitch)** ακολουθούν την ίδια λογική με μικρές διαφορές και για τους τρεις λόγους L/B . Πιο συγκεκριμένα μεγαλύτερες τιμές παίρνει το μοντέλο με τον λόγο $L/B=5,50$, ενώ οι αποκρίσεις των άλλων δύο μοντέλων είναι μικρότερες για όλες τις αδιάστατες περιόδους. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές των τελευταίων ταυτίζονται μέχρι την αδιάστατη περίοδο $T_p'=3,00$ (σχήμα 5.95).

Οι τιμές της **πρόσθετης αντίστασης (added resistance)** λόγω κυματισμών δεν παρουσιάζουν εναλλαγές ως την αδιάστατη περίοδο $T_p'=3,05$. Μέχρι εδώ μεγαλύτερη πρόσθετη αντίσταση έχει το μοντέλο με λόγο $L/B=4,00$, ακολουθεί το μοντέλο με $L/B=5,50$ και τέλος τη μικρότερη αντίσταση παρουσιάζει το μοντέλο με $L/B=7,00$. Μια μέση διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της αντίστασης σε αυτή τη περιοχή των αδιάστατων περιόδων είναι της τάξης του 40%. Από εκεί και πέρα οι ακραίες τιμές αντιστρέφονται και φτάνουμε στις μεγάλες αδιάστατες περιόδους να έχουμε μεγαλύτερη αντίσταση στο λεπτόγραμμο μοντέλο (σχήμα 5.96).

Οι αποκρίσεις στις **κατακόρυφες επιταχύνσεις (Vertical Accelerations)** σαν απόλυτα μεγέθη όπως συμβαίνει και στη μικρή ταχύτητα, είναι μεγαλύτερες και για τους τρεις λόγους L/B στην πλώρη, σχεδόν οι μισές στην πρύμνη και ακόμη χαμηλότερες στο κέντρο βάρους των μοντέλων όπου η επίδραση του pitch είναι μηδενική. Και στις τρεις θέσεις (πρώραθεν, πρύμνηθεν και στο κέντρο βάρους) οι αποκρίσεις στις κατακόρυφες επιταχύνσεις μεγιστοποιούνται μετά την αδιάστατη περίοδο $T_p'=3$ ενώ τείνουν να σταθεροποιηθούν κοντά στις μέγιστες τιμές στις μεγαλύτερες περιόδους. Ειδικότερα, για κάθε κατακόρυφη επιτάχυνση ξεχωριστά παρατηρήθηκαν τα εξής:

Κατακόρυφη επιτάχυνση στην πλώρη (Bow Acceleration): Σε όλο το εύρος των αδιάστατων περιόδων τα τρία μοντέλα εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές με μικρές διακυμάνσεις στις διάφορες αδιάστατες περιόδους. (σχήμα 5.91).

Κατακόρυφη επιτάχυνση στο κέντρο βάρους (Mid Acceleration): Το μοντέλο με λόγο $L/B=5,50$ παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αποκρίσεις και σε αυτή την ταχύτητα. Μικρότερες τιμές παρουσιάζουν τα μοντέλα με λόγους $L/B=4,00$ και $L/B=7,00$ αντίστοιχα των οποίων οι αποκρίσεις είναι σχεδόν ίδιες (σχήμα 5.92).

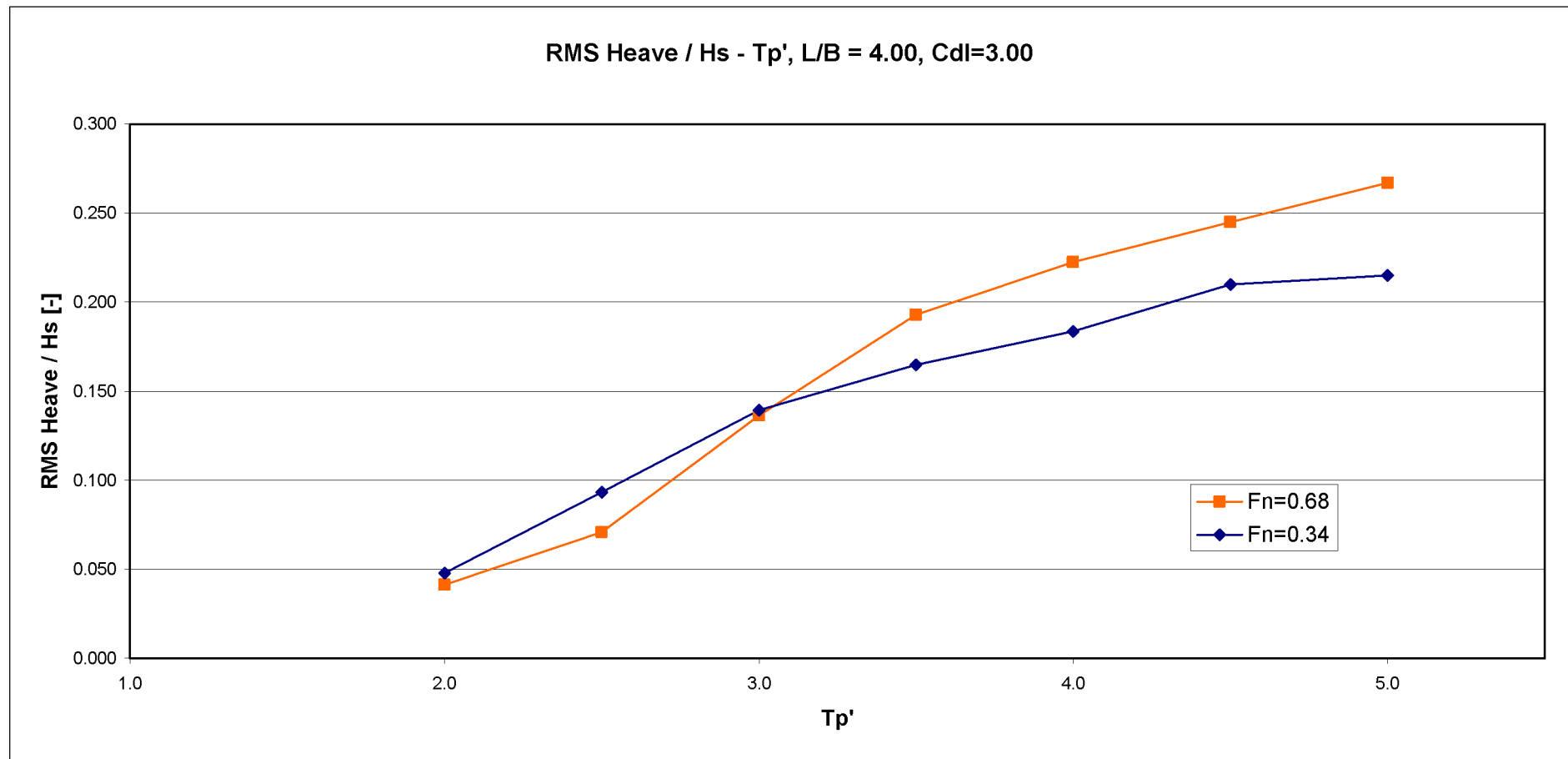
Κατακόρυφη επιτάχυνση στην πρύμνη (Stern Acceleration): Τις μεγαλύτερες αποκρίσεις σε αυτό το σημείο της γάστρας εμφανίζει το μοντέλο με $L/B=7,00$, ενώ τα άλλα δύο μοντέλα παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά με ελαφρός μικρότερες (σχήμα 5.93).

5.3.2. Η επίδραση της ταχύτητας

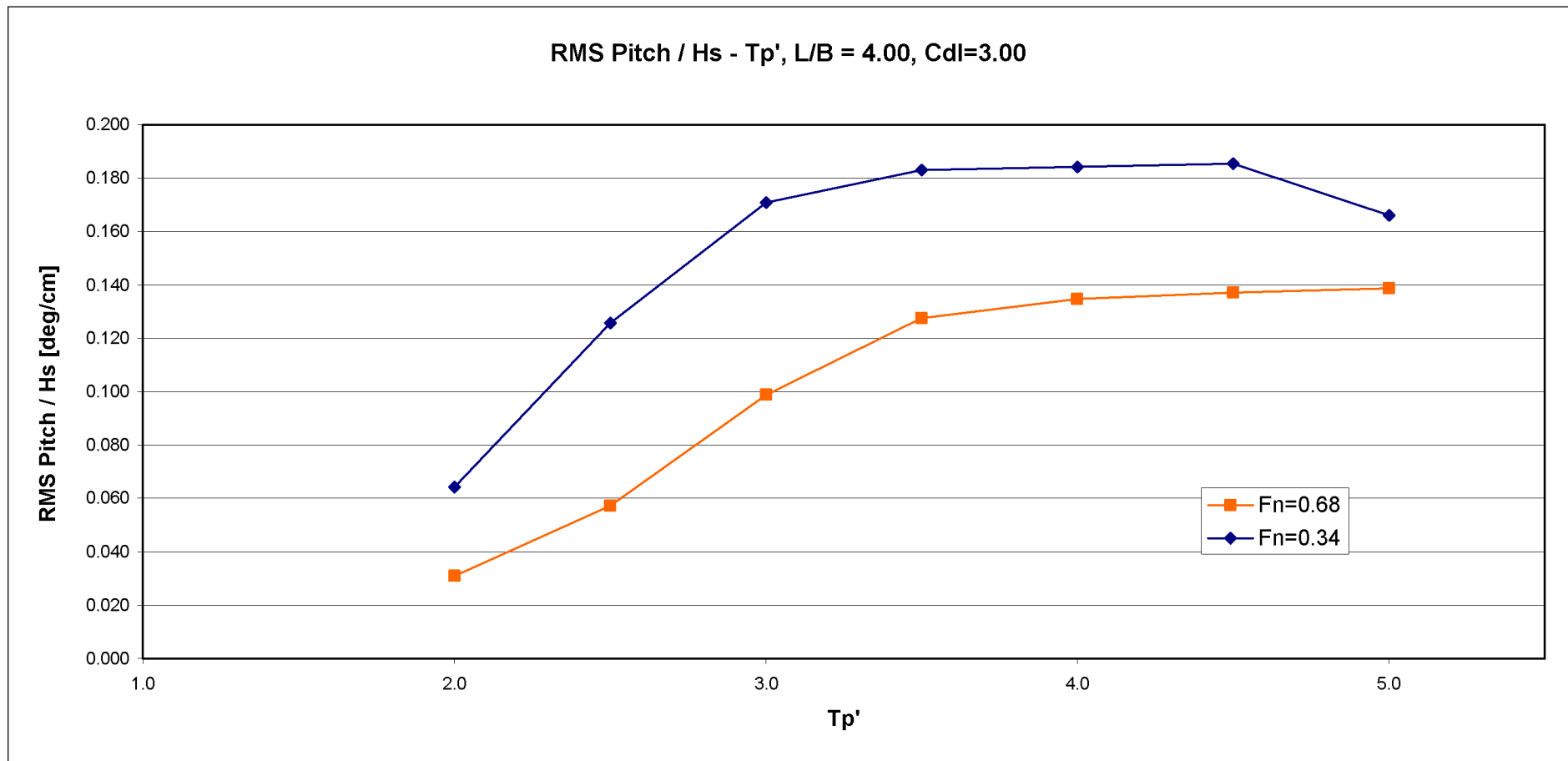
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται, για τα μοντέλα *NTUA-113/95* με $L/B=4.00$ και *NTUA-097/94* με $L/B=5.50$, με $C_{DL}=3,00$ συγκριτικά διαγράμματα στις δύο ταχύτητες των rms τιμών της κάθε απόκρισης για αυξανόμενη περίοδο κορυφής και αυξανόμενο σημαντικό ύψος κύματος και ακολουθεί σχολιασμός της επίδρασης της ταχύτητας για ίδια περίοδο και σημαντικό ύψος κύματος.

Έτσι παρουσιάζονται τα εξής διαγράμματα για τους δύο λόγους L/B :

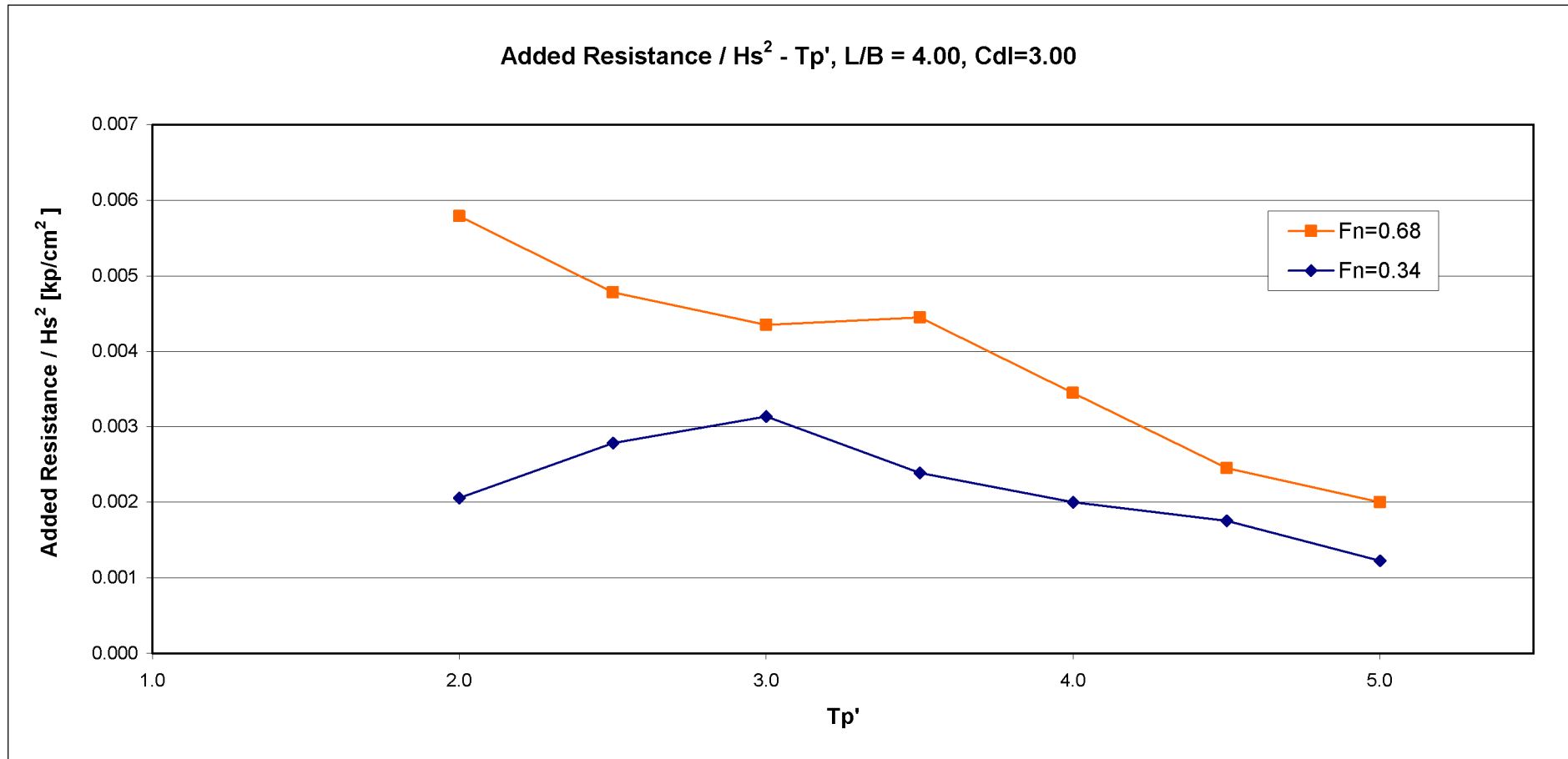
- RMS τιμή Κατακόρυφης Κίνησης (Heave) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [cm/cm] της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κίνησης Προνευτασμού (Pitch) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [deg/cm] συναρτήσει της της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [kp/cm²] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (Acceleration Bow) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (Acceleration Mid) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη (Acceleration Stern) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')



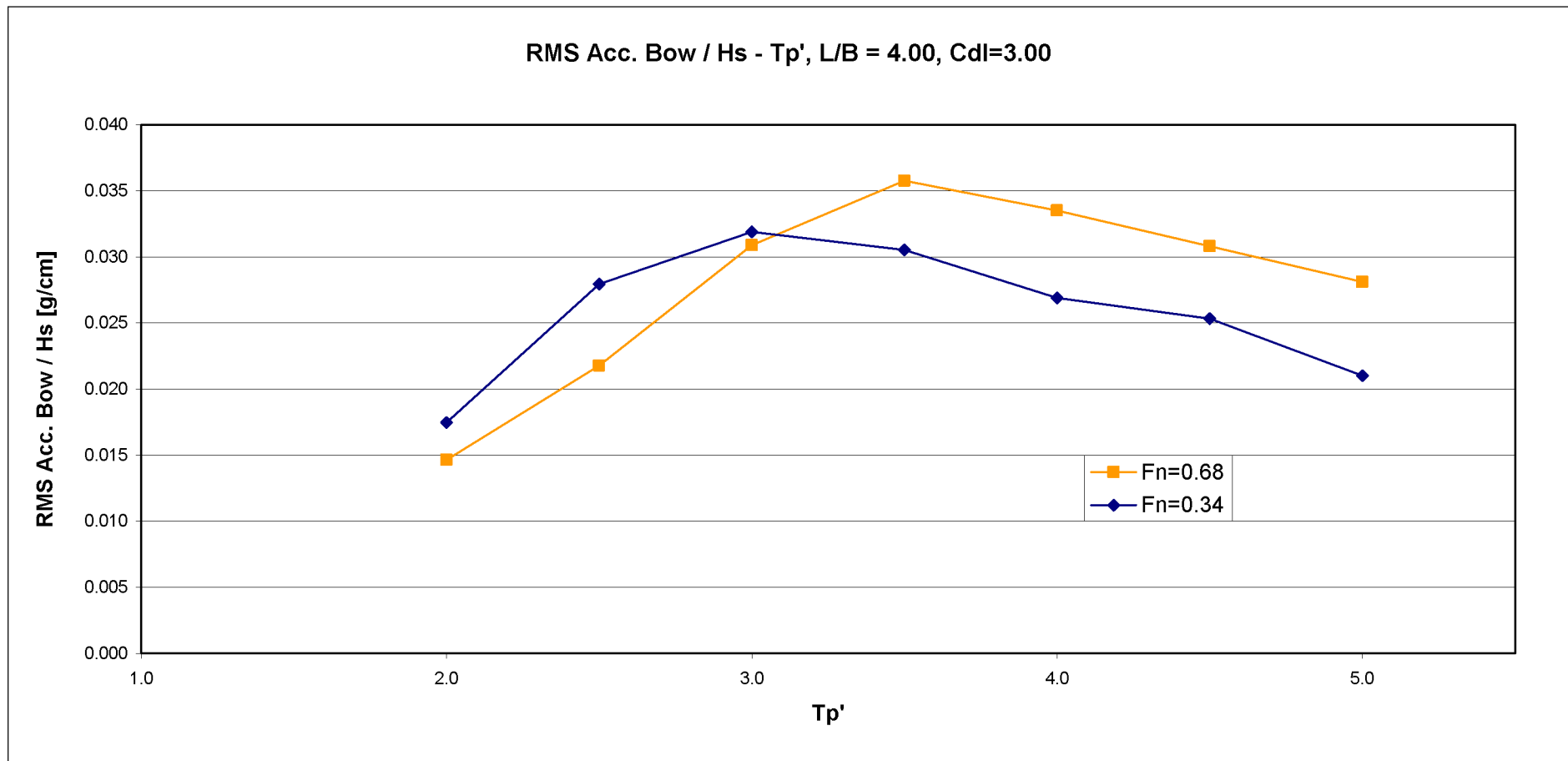
Σχήμα 5.97: RMS τιμή Κατακόρυφης Κίνησης (Heave) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [cm/cm] της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



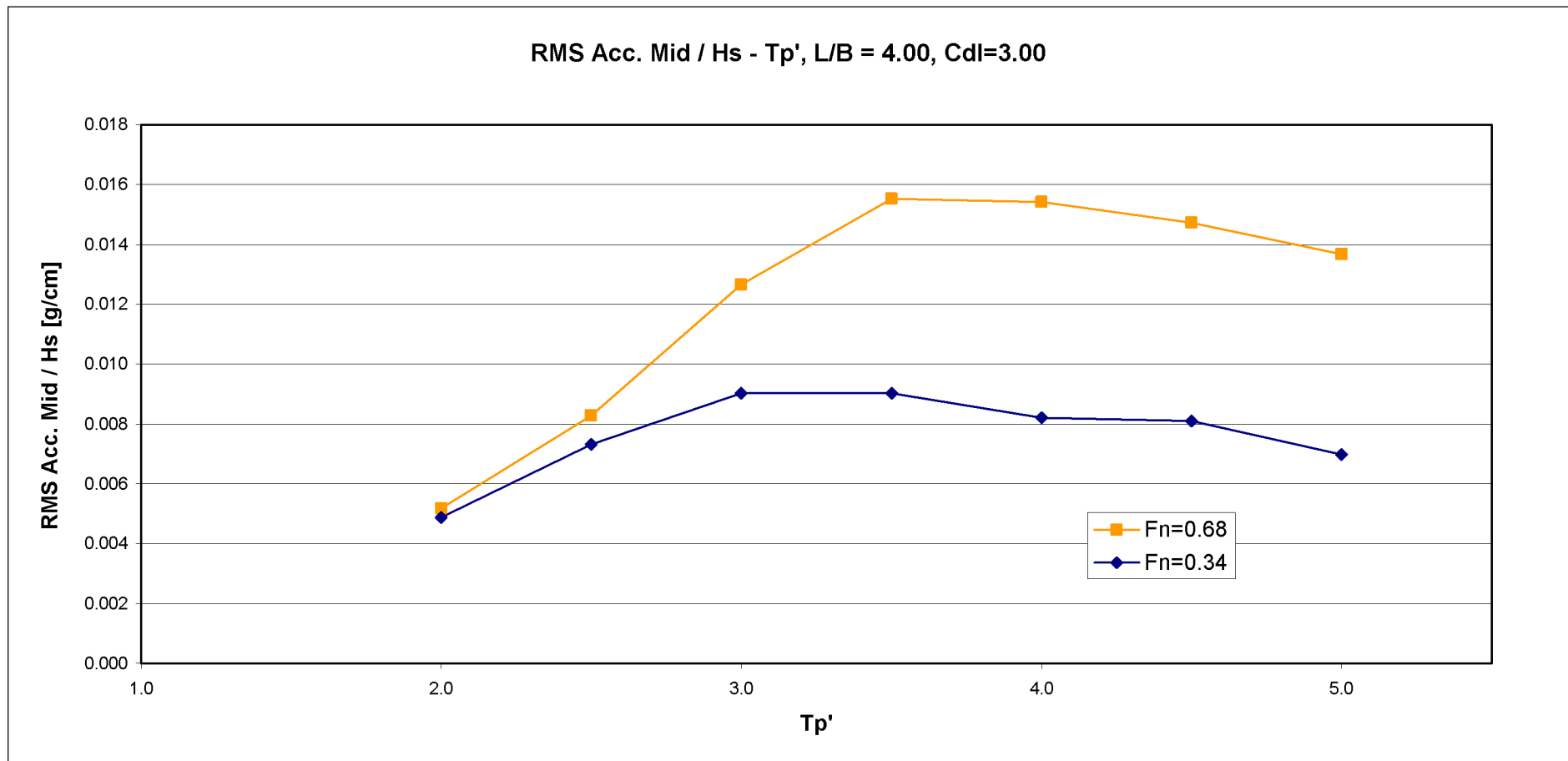
Σχήμα 5.98: RMS τιμή Κίνησης Προνευτασμού (Pitch) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [deg/cm] συναρτήσει της της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



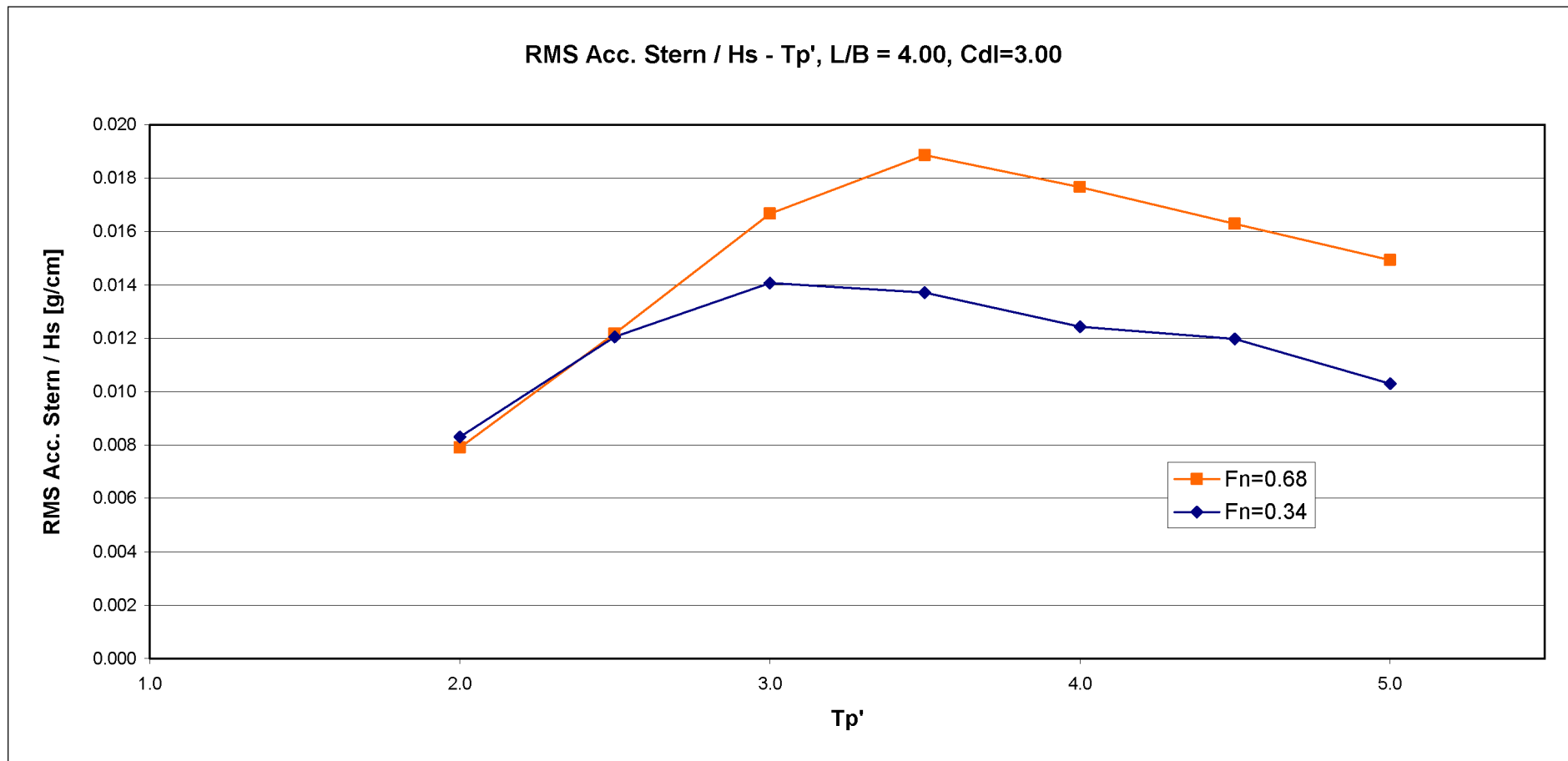
Σχήμα 5.99: Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance) διατεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [kp/cm²] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak})



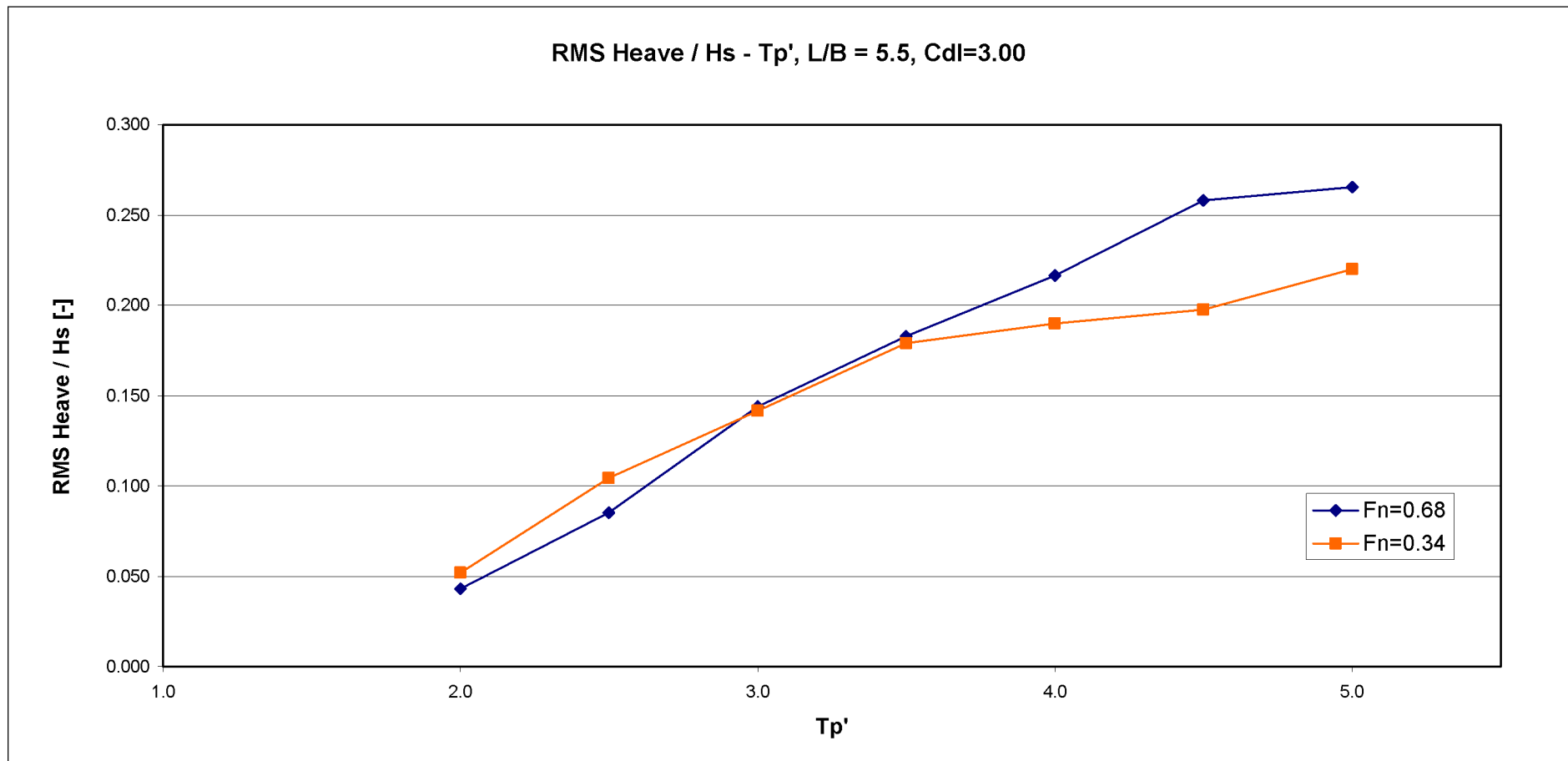
Σχήμα 5.100: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (Acceleration Bow) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



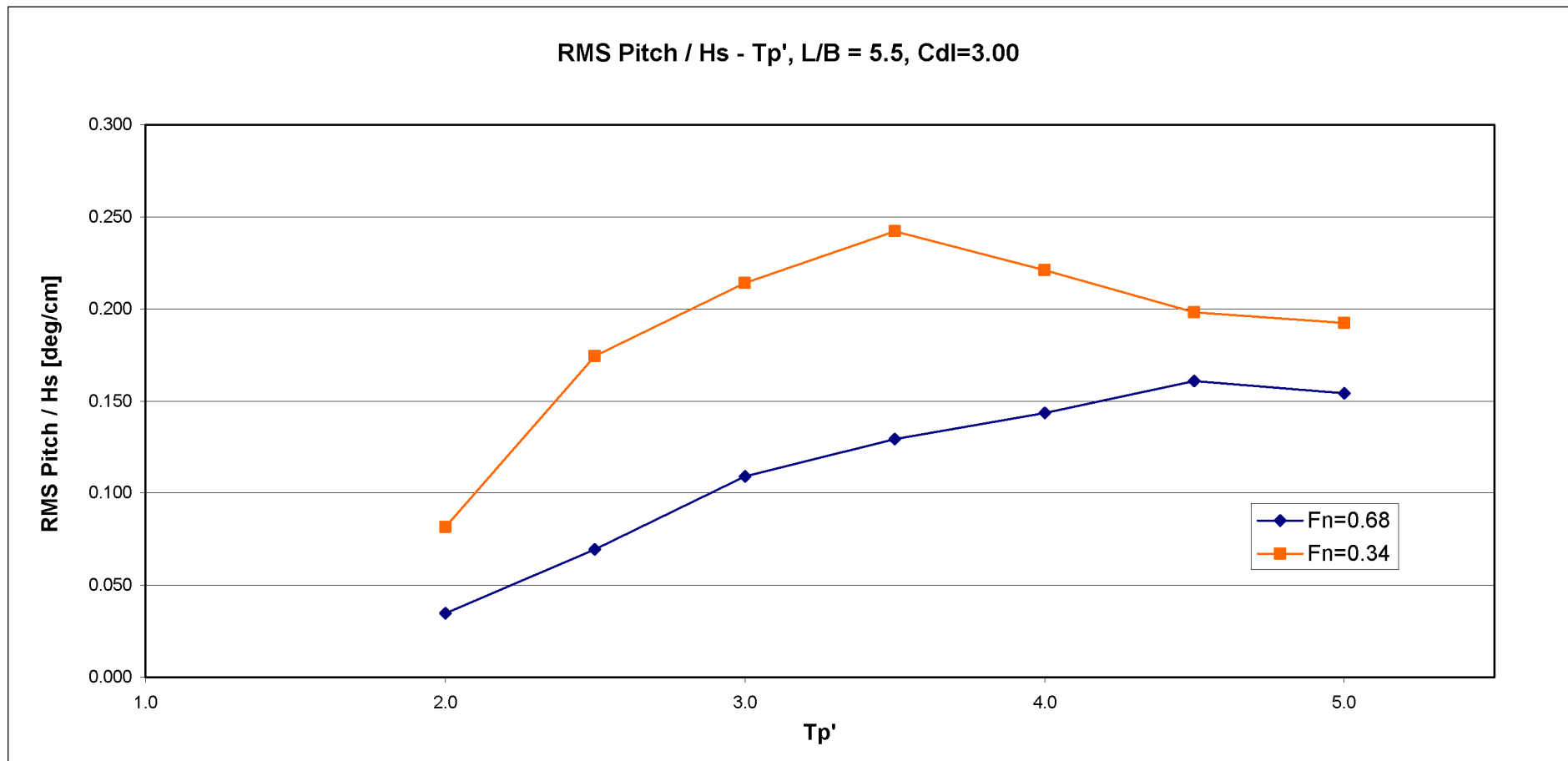
Σχήμα 5.101: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (Acceleration Mid) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος Hs [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



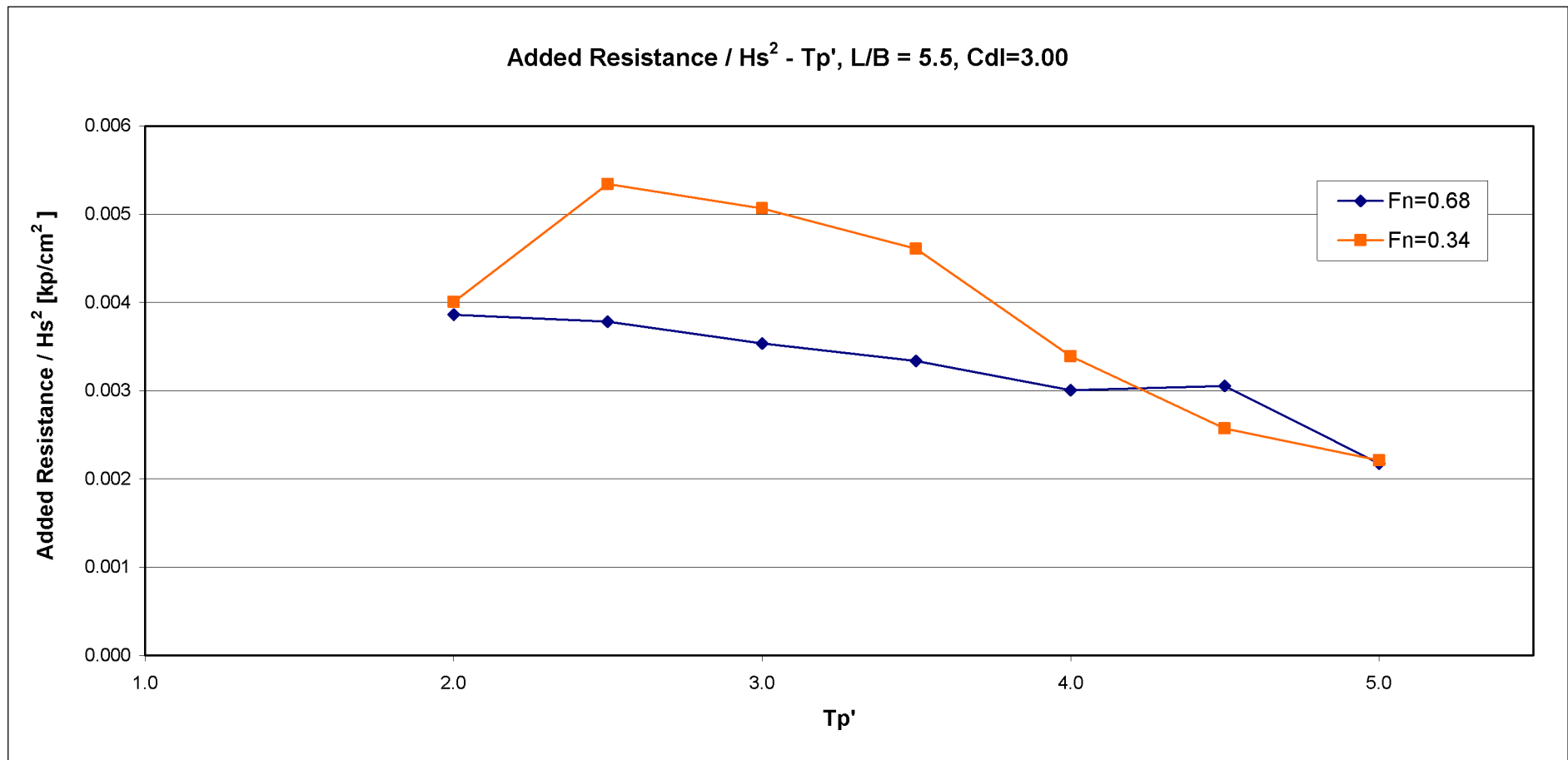
Σχήμα 5.102: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη (Acceleration Stern) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



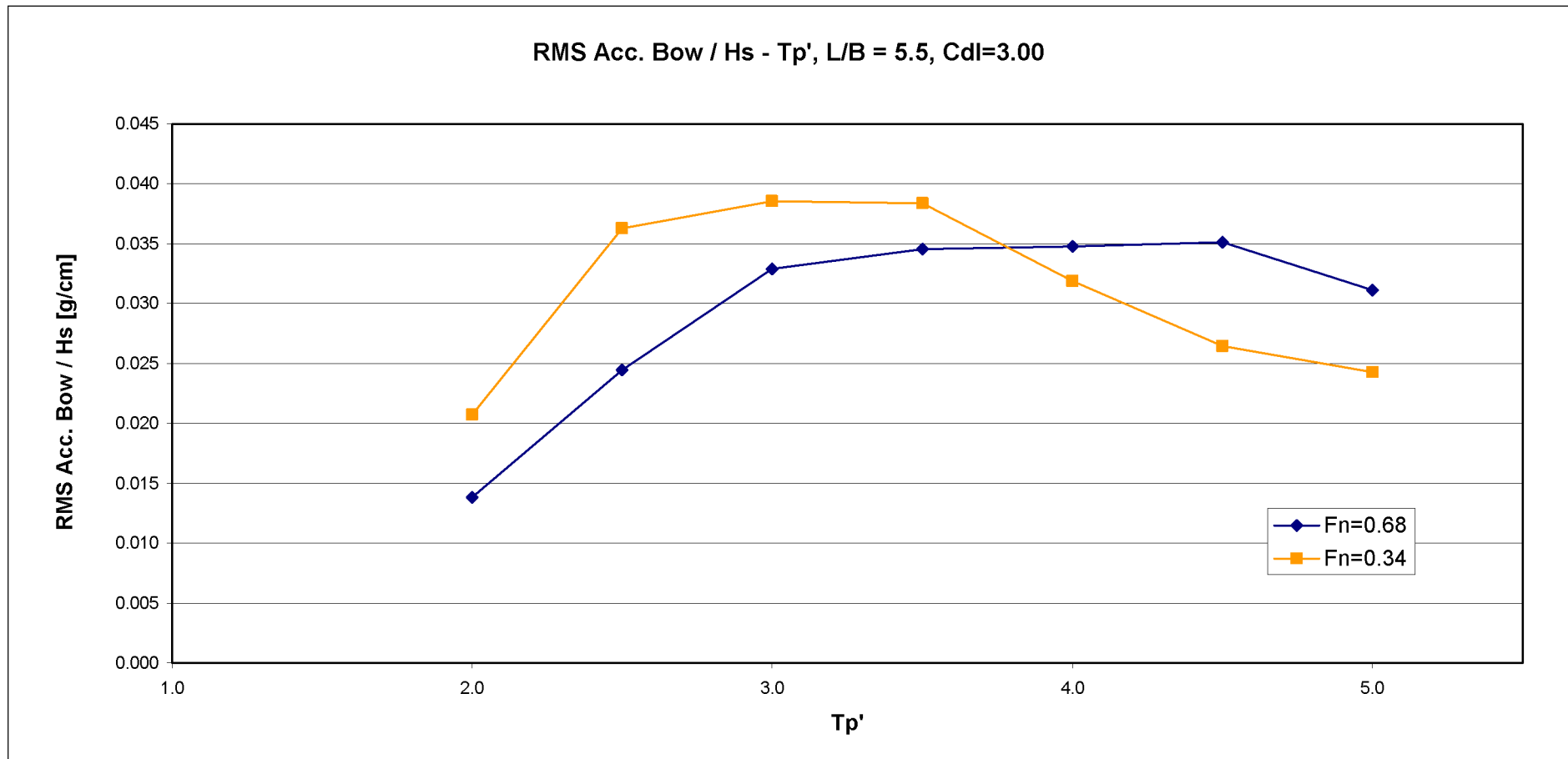
Σχήμα 5.103: RMS τιμή Κατακόρυφης Κίνησης (Heave) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [cm/cm] της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



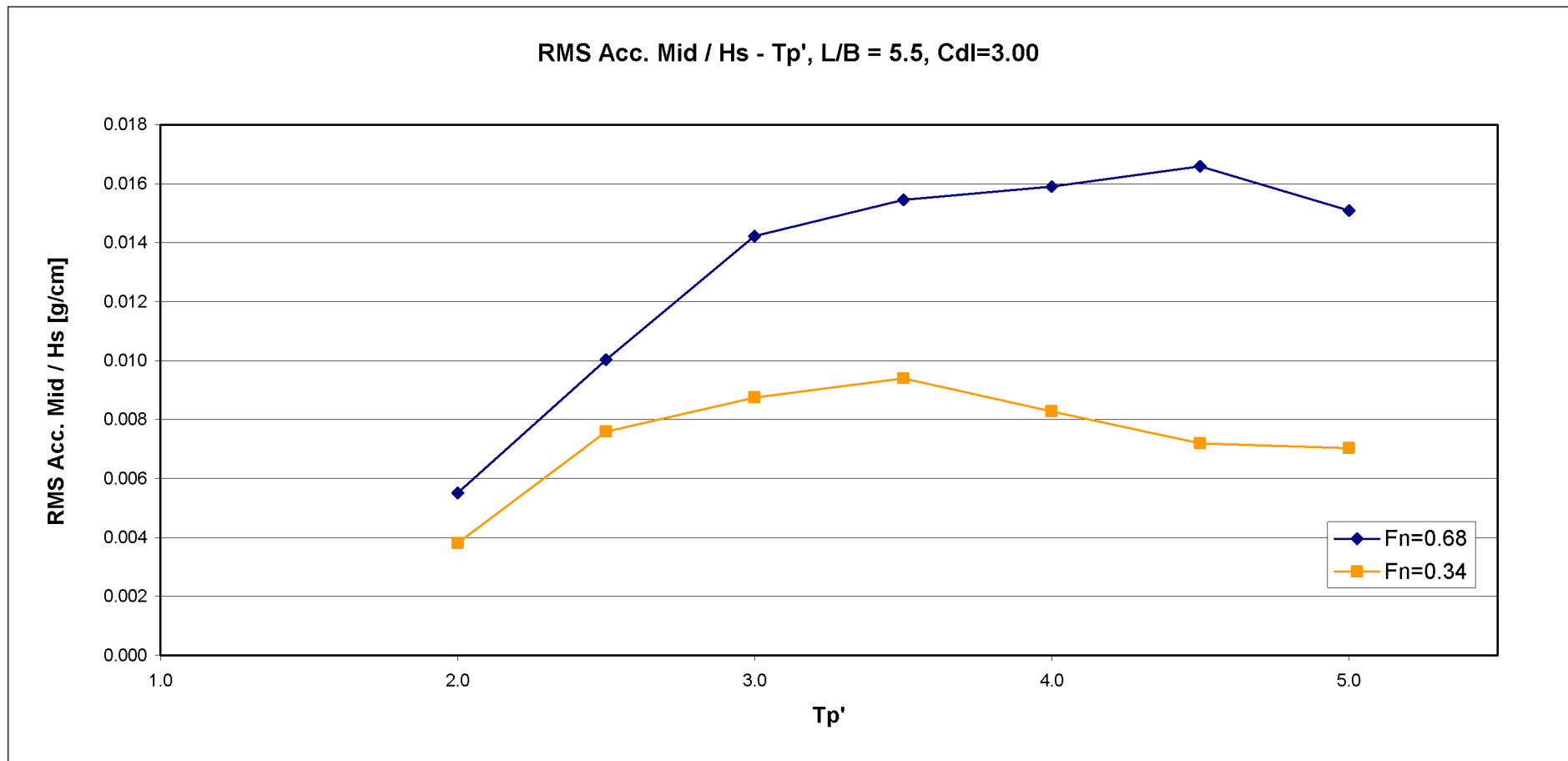
Σχήμα 5.104: RMS τιμή Κίνησης Προνευτασμού (Pitch) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος Hs [deg/cm] συναρτήσει της της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



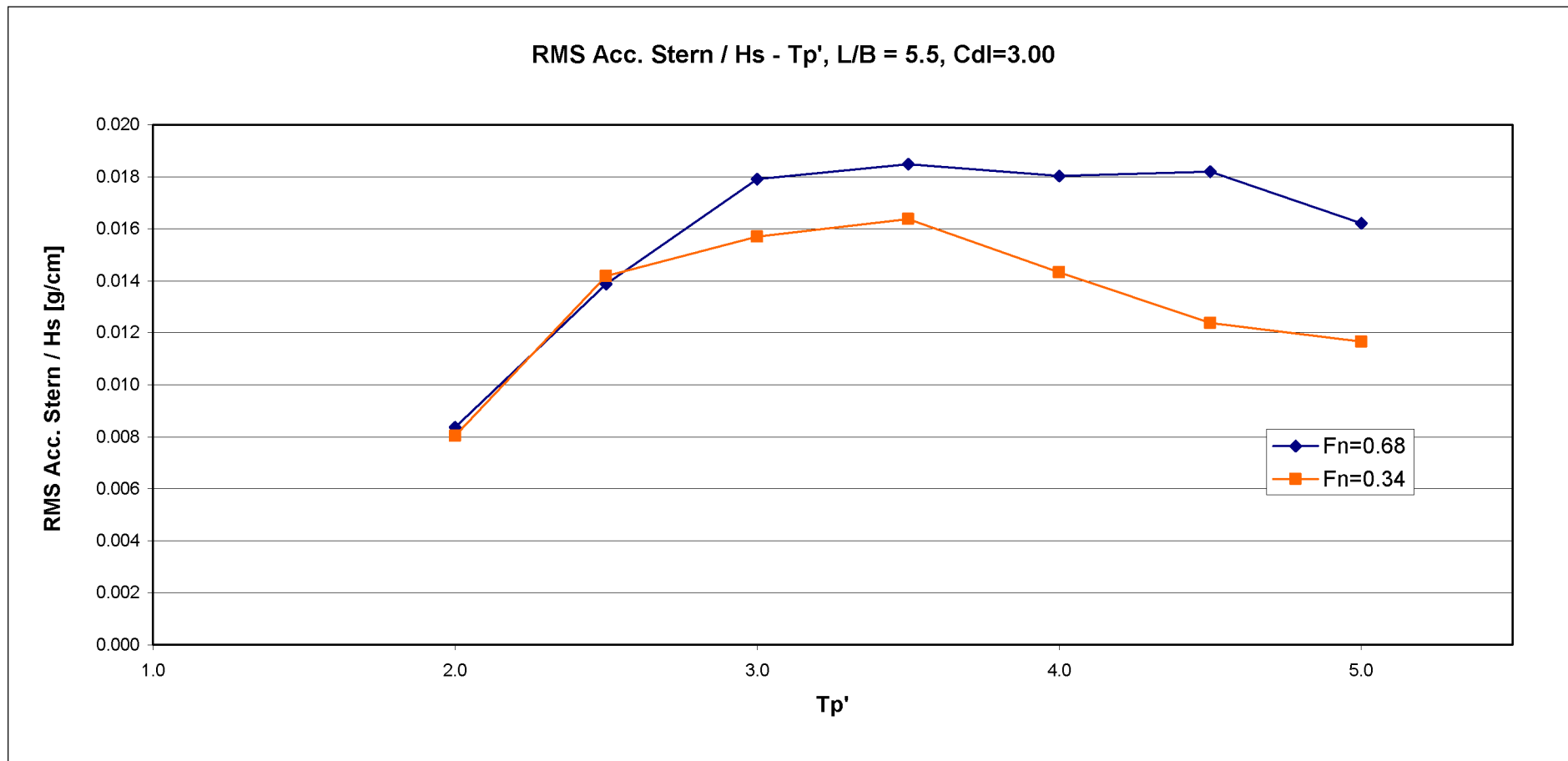
Σχήμα 5.105: Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance) διατεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [kp/cm²] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak)



Σχήμα 5.106: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (Acceleration Bow) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



Σχήμα 5.107: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (Acceleration Mid) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος Hs [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tp')



Σχήμα 5.108: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη (Acceleration Stern) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Γενικά Συμπεράσματα:

Όσον αφορά το μοντέλο με λόγο $L/B=4,00$, παρατηρούνται τα παρακάτω:

Το σκάφος όταν πλέει στη μεγάλη ταχύτητα με $F_n = 0.68$ εν γένει έχει λίγο πιο μεγάλες αποκρίσεις στις κατακόρυφες επιταχύνσεις στις μεγάλες αδιάστατες περιόδους και παρόμοιες αποκρίσεις στις μικρές περιόδους σε σχέση με τη μικρότερη ταχύτητα. Οι τιμή της απόκρισης σε κατακόρυφη κίνηση είναι ίδια και για τις δύο ταχύτητες για αδιάστατη περίοδο $Tr'=3,0$, ενώ για μικρότερες περιόδους μεγαλύτερες είναι οι τιμές στη μικρή ταχύτητα. Το αντίθετο συμβαίνει στις μεγαλύτερες αδιάστατες περιόδους. Κατά την ταλάντωση περί τον εγκάρσιο άξονα (Pitch) το μοντέλο στη μεγάλη ταχύτητα έχει εμφανώς μικρότερες αποκρίσεις σε σχέση με τη μικρότερη ταχύτητα, η διαφορά των οποίων παραμένει περίπου σταθερή. Τέλος, το σκάφος στη μεγαλύτερη ταχύτητα έχει αυξημένη πρόσθετη αντίσταση που μειώνεται με την αύξηση της αδιάστατης περιόδου. Στη μικρότερη ταχύτητα εμφανίζεται ένα μέγιστο της αντίστασης για $Tr'=3,0$ που εν συνεχεία μειώνεται.

Όσον αφορά το μοντέλο με λόγο $L/B=5,50$, παρατηρούνται τα παρακάτω:

Το σκάφος όταν πλέει στη μεγάλη ταχύτητα με $F_n = 0.68$ εν γένει έχει λίγο πιο μεγάλες αποκρίσεις στις κατακόρυφες επιταχύνσεις στην πρύμνη και το κέντρο βάρους, στις μεγάλες αδιάστατες περιόδους και παρόμοιες αποκρίσεις στις μικρές περιόδους σε σχέση με τη μικρότερη ταχύτητα, ενώ το ίδιο παρατηρείται και για την κατακόρυφη κίνηση. Δεν ισχύει όμως και για τις επιταχύνσεις στην πλώρη όπου στη μικρή ταχύτητα έχουμε μεγαλύτερες τιμές μέχρι την αδιάστατη περίοδο $Tr'=3,5$ ενώ στην υπόλοιπη περιοχή η συμπεριφορά αντιστρέφεται. Κατά την ταλάντωση περί τον εγκάρσιο άξονα (Pitch) το μοντέλο στη μεγάλη ταχύτητα έχει εμφανώς μικρότερες αποκρίσεις σε σχέση με τη μικρότερη ταχύτητα, η διαφορά των οποίων παραμένει περίπου σταθερή, γεγονός που συμβαίνει και στο μικρότερο λόγο L/B . Τέλος, το σκάφος στη μικρότερη ταχύτητα έχει αυξημένη πρόσθετη αντίσταση μέχρι και την αδιάστατη περίοδο $Tr'=4,0$, μετά την οποία μεγαλύτερη είναι η πρόσθετη αντίσταση στη μεγάλη ταχύτητα.

5.3.3. Η επίδραση του εκτοπίσματος

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται, για το μοντέλο *NTUA-097/94* με $L/B=5.50$ σε $C_{DL}=3,00$ και το μοντέλο *NTUA-118/96* σε $C_{DL}=1,61$ στη ταχύτητα που αντιστοιχεί σε αριθμό Froude=0.68, συγκριτικά διαγράμματα στις δύο ταχύτητες των rms τιμών της κάθε απόκρισης για αυξανόμενη περίοδο κορυφής και αυξανόμενο σημαντικό ύψος κύματος. Ακολουθεί σχολιασμός της επίδρασης του εκτοπίσματος για ίδια περίοδο και σημαντικό ύψος κύματος.

Έτσι παρουσιάζονται τα εξής διαγράμματα στους δύο συντελεστές φόρτωσης, για αριθμό Froude $Fn=0.68$:

- RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (Acceleration Bow) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (Acceleration Mid) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη (Acceleration Stern) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κατακόρυφης Κίνησης (Heave) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [cm/cm] της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- RMS τιμή Κίνησης Προνευτασμού (Pitch) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [deg/cm] συναρτήσει της της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak')
- **Σημείωση:** τα διαγράμματα του συντελεστή $C_{DL}=1,61$ φτάνουν μέχρι την αδιάστατη περίοδο $Tr'=4,0$. αυτό συμβαίνει διότι τα διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα δεν περιλαμβάνουν μεγαλύτερες αδιάστατες περιόδους.

Η συστηματική σειρά του Ε.Μ.Π. όπως έχει αναφερθεί, αποτελείται από μοντέλα μικρής και μεγάλης κλίμακας. Τα διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα προέρχονται από το μοντέλο μεγάλης κλίμακας (big scale) για το συντελεστή $C_{DL}=1,61$ και από μοντέλο μικρής κλίμακας (small scale) για το συντελεστή $C_{DL}=3,00$. Για να συγκρίνουμε επομένως τις δυο καταστάσεις φόρτωσης πρέπει τα αποτελέσματα να αναχθούν σε μια απ' τις δυο κλίμακες. Στην ενότητα αυτή τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται έχουν αναχθεί στη κλίμακα του μεγάλου μοντέλου, που είναι τα 5/3 του μικρότερου. Η αναγωγή αυτή γίνεται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

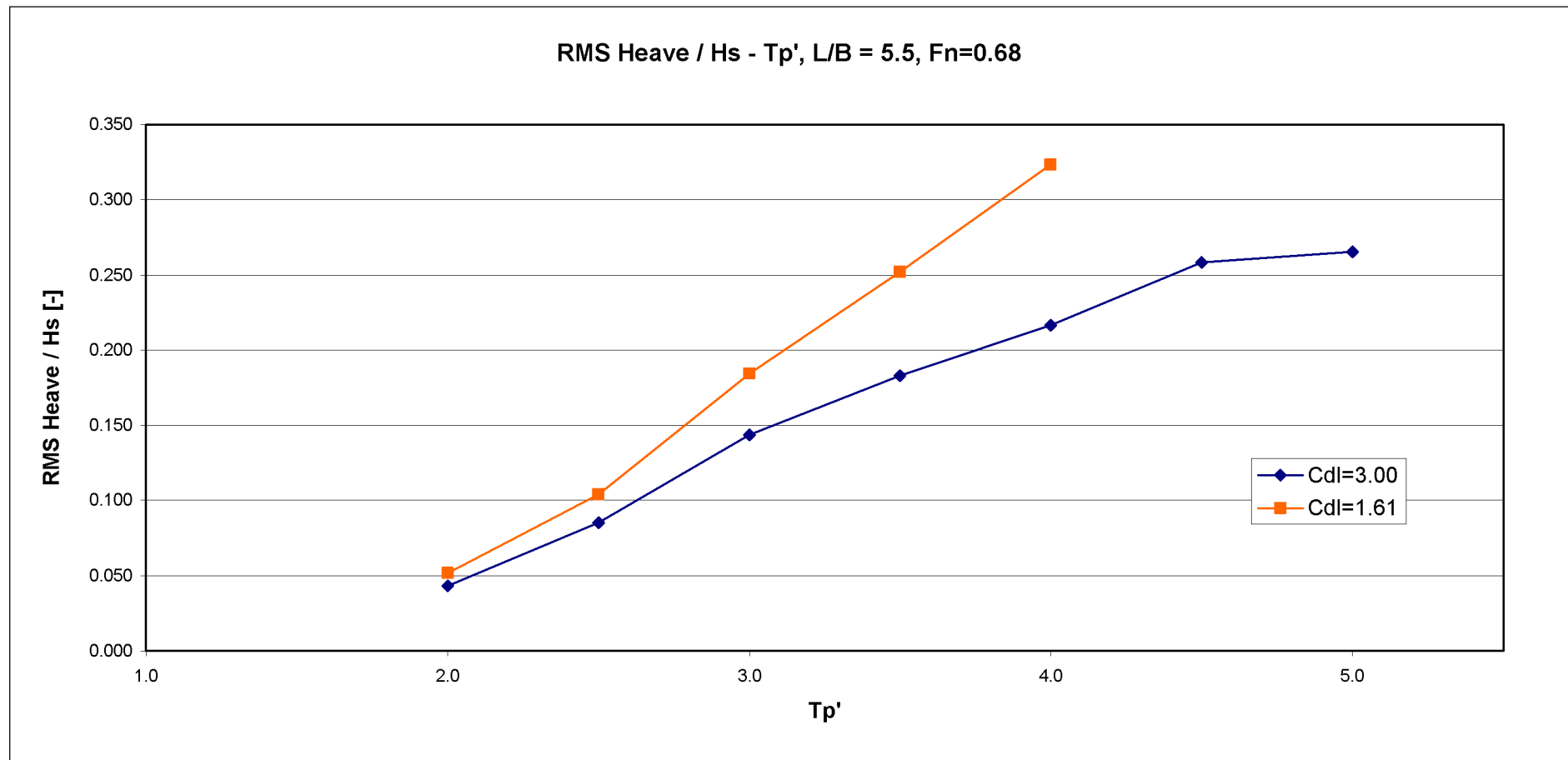
$$\text{RMS ανύψωσης κύματος (cm): } \text{RMS}_{\text{big}} = \lambda \cdot \text{RMS}_{\text{small}}$$

$$\text{RMS accelerations (g): } \text{RMS}_{\text{big}} = \text{RMS}_{\text{small}}$$

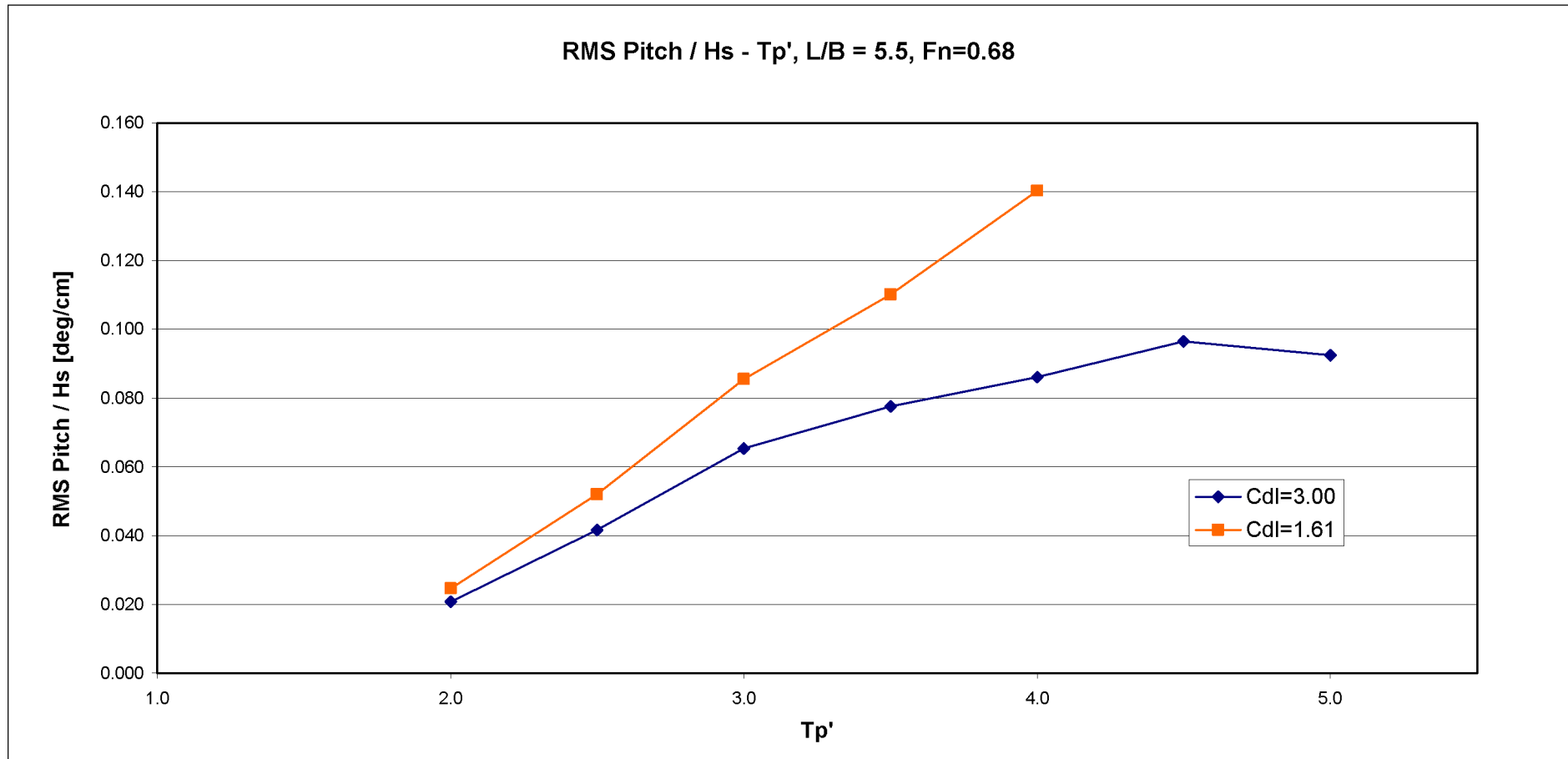
$$\text{RMS heave (cm): } \text{RMS}_{\text{big}} = \lambda \cdot \text{RMS}_{\text{small}}$$

$$\text{RMS pitch (deg): } \text{RMS}_{\text{big}} = \text{RMS}_{\text{small}}$$

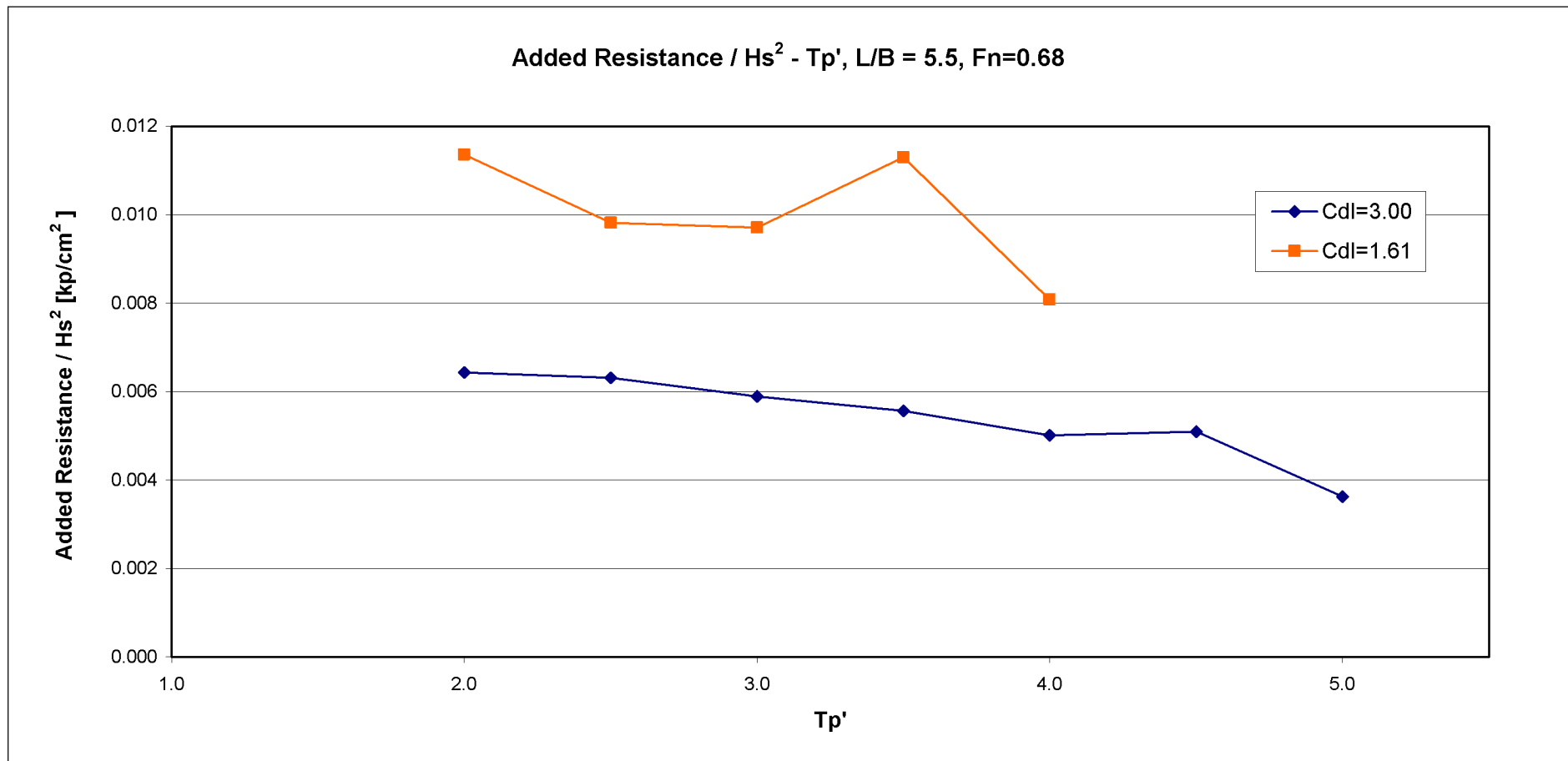
$$\text{RMS added resistance (kp): } \text{RMS}_{\text{big}} = \lambda^3 \cdot \text{RMS}_{\text{small}}$$



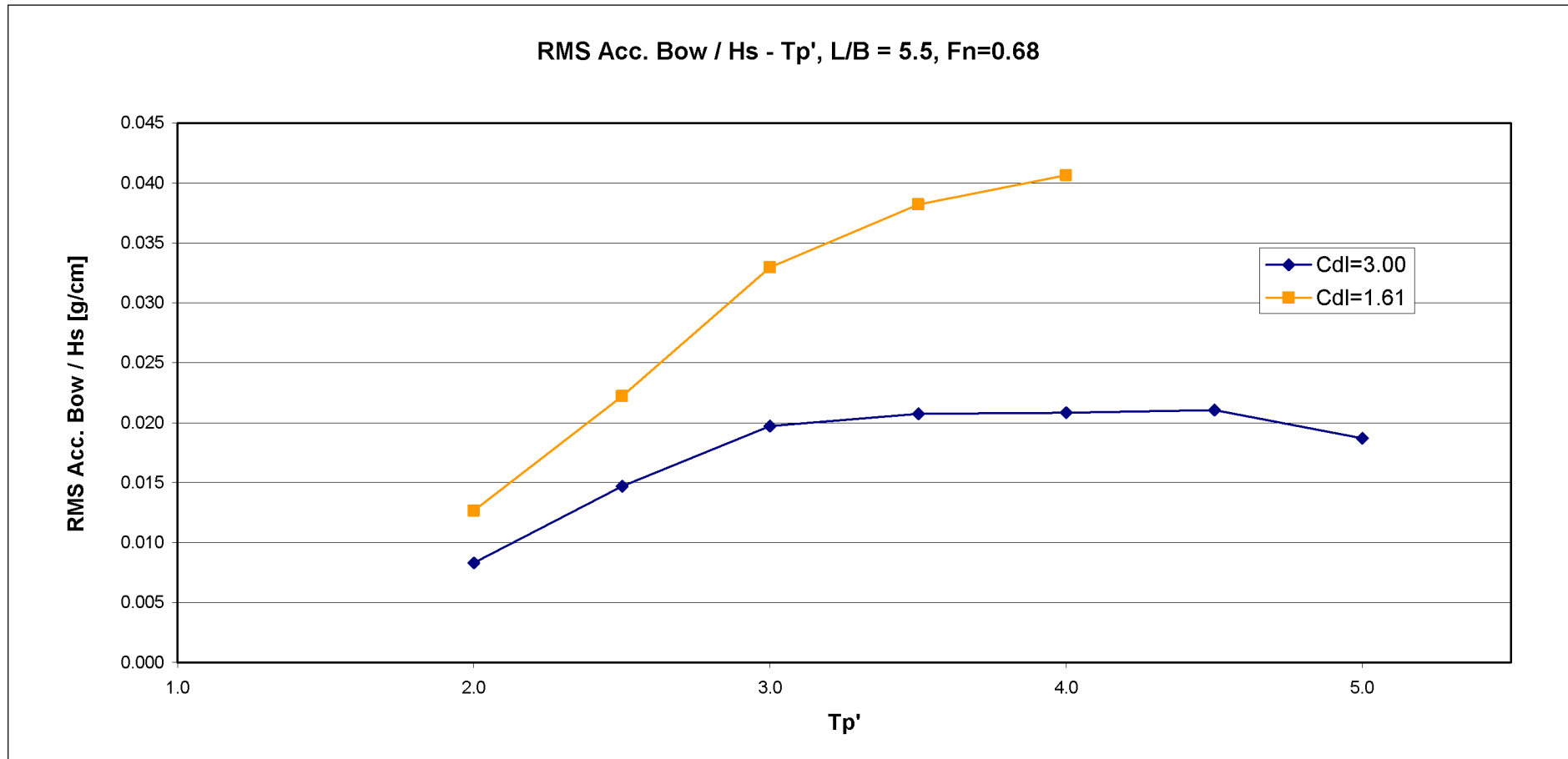
Σχήμα 5.109: RMS τιμή Κατακόρυφης Κίνησης (Heave) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [cm/cm] της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



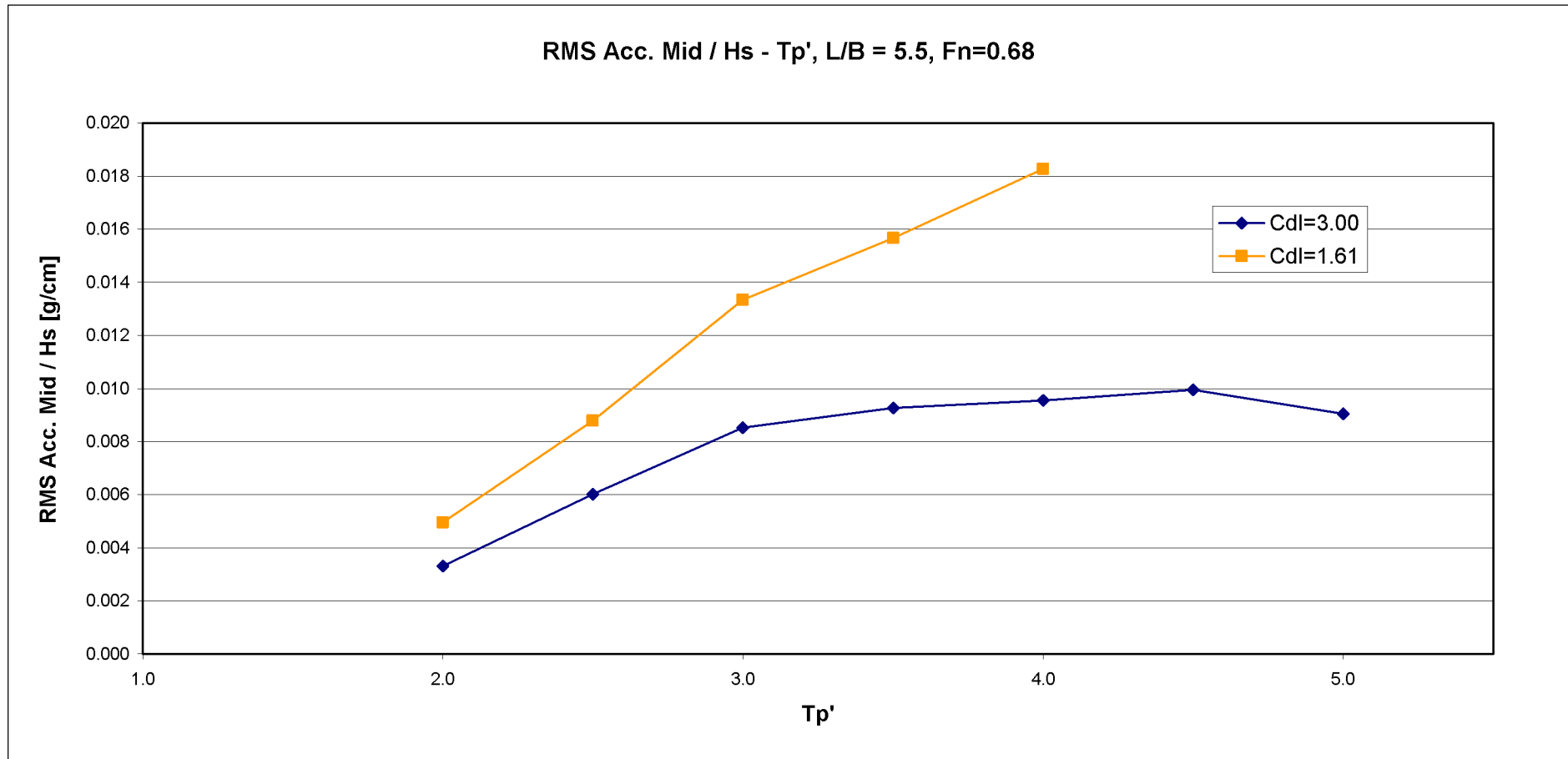
Σχήμα 5.110: RMS τιμή Κίνησης Προνευτασμού (Pitch) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος Hs [deg/cm] συναρτήσει της της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tp')



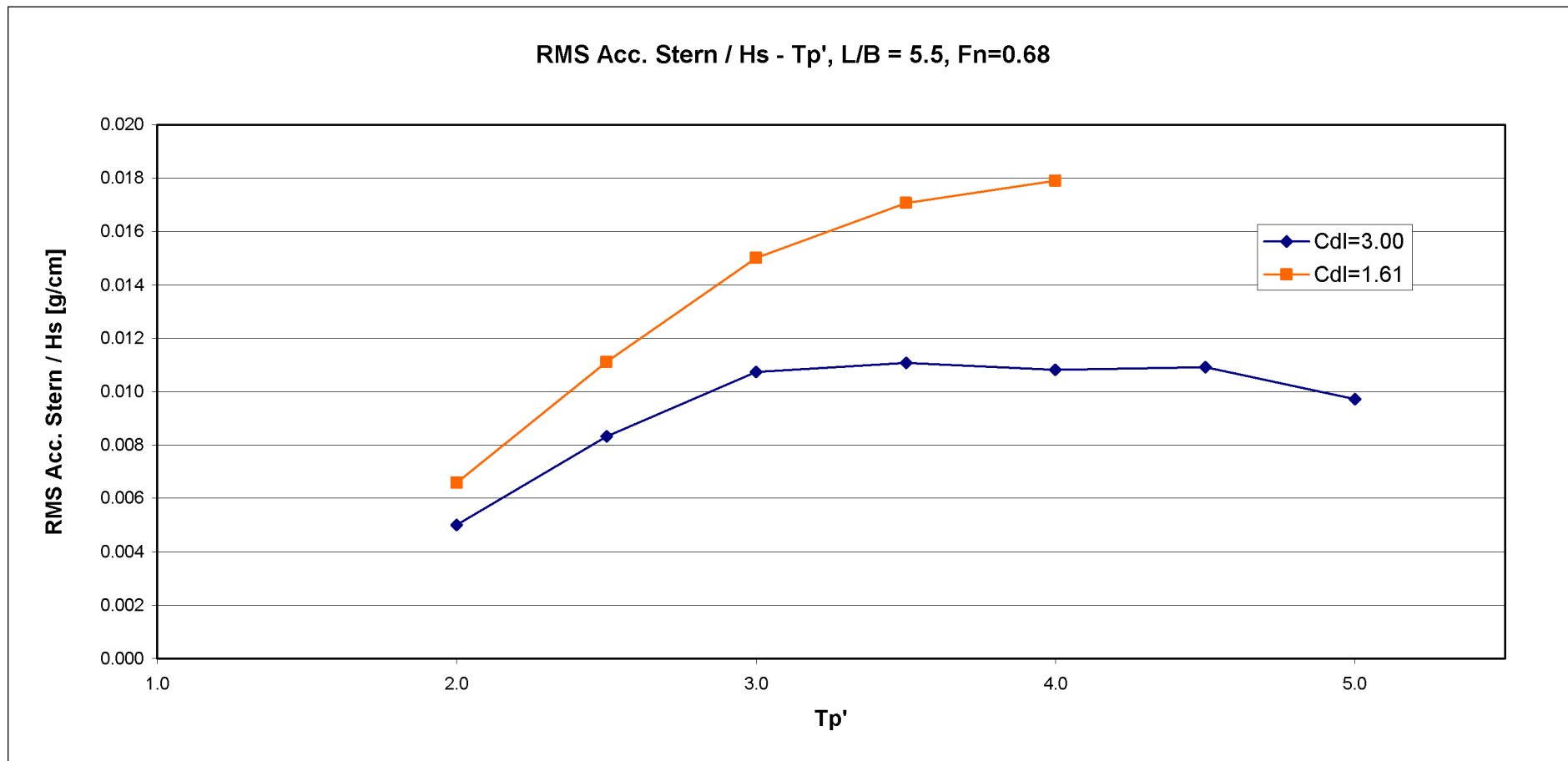
Σχήμα 5.111: Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [kp/cm²] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak})



Σχήμα 5.112: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (Acceleration Bow) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



Σχήμα 5.113: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (Acceleration Mid) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος Hs [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')



Σχήμα 5.114: RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη (Acceleration Stern) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T_{peak}')

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Γενικά Συμπεράσματα:

Γενική διαπίστωση αποτελεί το γεγονός ότι το μοντέλο με το μικρότερο C_{DL} παρουσιάζει μεγαλύτερες αποκρίσεις σε όλα τα μετρούμενα μεγέθη. Στην κατακόρυφη κίνηση (heave) έχουμε αύξηση των αποκρίσεων με την αύξηση των αδιάστατων περιόδων και για τους δύο συντελεστές εκτοπίσματος. Η άνοδος των τιμών των αποκρίσεων του μοντέλου με $C_{DL}=3,00$ σταματά στην αδιάστατη περίοδο $T_p'=4,5$ και τίνει να σταθεροποιηθεί. Το ίδιο παρατηρείται και στην κίνηση του προνευτασμού (pitch), όμως εδώ η αποκρίσεις μειώνονται μετά την $T_p'=4,5$. όσον αφορά την πρόσθετη αντίσταση λόγω κυματισμού το μοντέλο με την ελαφρύτερη κατάσταση φόρτωσης εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές, ενώ η πρόσθετη αντίσταση του μοντέλου με $C_{DL}=3,00$ μειώνεται με σταθερό ρυθμό με την αύξηση της αδιάστατης περιόδου. Οι αποκρίσεις στις κατακόρυφες επιταχύνσεις παρουσιάζουν σχεδόν την ίδια μορφή και στις τρεις θέσεις των επιταχυνσιομέτρων, διαφέροντας μόνο ως προς το μέγεθος. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως το μοντέλο με το μικρό συντελεστή εμφανίζει σχεδόν διπλάσιες αποκρίσεις από την αδιάστατη περίοδο $T_p'=3,0$ και έπειτα.

6. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1. Χρήση του κώδικα SWAN2

Όπως γνωρίζουμε, η πειραματική μέθοδος για την πρόβλεψη της δυναμικής συμπεριφοράς ενός ταχυπλόου σκάφους σε κυματισμούς δεν είναι κάτι πολύ απλό να πραγματοποιηθεί, εφόσον υπάρχουν λίγα ιδρύματα ή πανεπιστήμια στον κόσμο που να διαθέτουν πειραματική δεξαμενή και τον ανάλογο εξοπλισμό, αλλά και κάτι που απαιτεί πολύ χρόνο και κόστος. Για αυτόν τον λόγο έχουν δημιουργηθεί κάποια προγράμματα τα οποία προσπαθούν να προσομοιώσουν το πρόβλημα, δηλαδή την κίνηση-συμπεριφορά του σκάφους στο περιβάλλον της θάλασσας και να προβλέψουν τη δυναμική συμπεριφορά αυτού. Αυτά τα προγράμματα αναλυτικού υπολογισμού της δυναμικής συμπεριφοράς είναι εξίσου πολύπλοκα στην κατασκευή και δεν επιλύουν απόλυτα το πρόβλημα και προφανώς δεν δίνουν τόσο έγκυρα αποτελέσματα όσο τα πειράματα με πρότυπα. Παρόλα αυτά είναι σχετικά γρήγορα και εύκολα στη χρήση χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις σε υπολογιστικά συστήματα. Επομένως συνδυασμός πειραματικών και αναλυτικών αποτελεσμάτων, όπως γίνεται στη παρούσα διπλωματική, μπορούν να δώσουν πολύ καλές προβλέψεις της δυναμικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς.

Ένα τέτοιο πρόγραμμα είναι και ο κώδικας SWAN2 όπως παρουσιάστηκε και στο 1^ο Κεφάλαιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ο οποίος κάνει προσομοίωση στο πεδίο του χρόνου (time domain). Όπως είχε προαναφερθεί, η μοντελοποίηση του προβλήματος από τον κώδικα αυτόν γίνεται με κατανομή τετραπλεύρων (panels) Rankine. Ο κώδικας μπορεί έχοντας ως δεδομένα την αντίσταση κυματισμών, το βύθισμα, τη γωνία διαγωγής, τον ομόρρου του σκάφους, τους έξι βαθμούς ελευθερίας του σκάφους και τις φορτίσεις λόγω κυματισμών, μπορεί και υπολογίζει όλες τις υδροδυναμικές δυνάμεις και τους συντελεστές του υπό μελέτη σκάφους.

Προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι πιο αξιόπιστα προηγείται πριν την πρόβλεψη σε κυματισμούς μελέτη σύγκλισης ως προς τη βύθιση (sinkage) και τη διαγωγή (trim) του σκάφους στην ευσταθή κατάσταση (stable condition) από το ίδιο πρόγραμμα. Αμέσως μετά, τρέχουμε τον κώδικα στην ασταθή κατάσταση (unsteady condition) εφαρμόζοντας 5 *Κύρια Βήματα*. Αυτά είναι τα εξής:

1^ο Βήμα: Μέγεθος Πεδίου Ελεύθερης Επιφάνειας (Free Surface Domain Size)

- Επιλογή είδους πλοίου:
 - Μονόγαστρο (Monohull)
 - Καταμαράν (Catamaran)
 - Τριμαράν (Trimaran)
 - SES (Surface Effect Ship)
- Αποστάσεις ορίων ελεύθερης επιφάνειας διαιρεμένες με το μήκος μεταξύ καθέτων L_{PP}

2^ο Βήμα: Ορισμός Γάστρας και Βάθους νερού (Hull and Water Depth Definition)

- Ορισμός Γάστρας (Hull Definition)
- Βάθος νερού (Water Depth)

- Όνομα αρχείου (File Name)

3^ο Βήμα: Ονόματα Αρχείων και Χαρακτηριστικά Πλοίου (File Names and Ship Particulars)

- Ονόματα αρχείων (File Names)
- Χαρακτηριστικά Πλοίου (Ship Particulars)
- Κατάσταση Γάστρας (Hull Conditions)

4^ο Βήμα: Περιβάλλοντα (Environments)

- Πυκνότητα Νερού (Water Density)
- Περίοδοι Κύματος (Wave Periods)
- Βήμα Κύματος (Wave Headings)
- Αποκρίσεις Κύματος (Wave Amplitudes)

5^ο Βήμα: Έλεγχος αποτελεσμάτων (Output Controls)

- Απόνερα (Wake Wash)
- Σχετική Ανύψωση Κύματος (Relative Wave Elevation)
- Κινηματική Κινήσεων Πλοίου (Ship Motion Kinematics)
- Έλεγχοι Προσομείωσης (Simulation Controls)
- Δομικά φορτία (Structural loads)
- Όργανα ελέγχου κινήσεων (Motion Control Device)

Αφού λοιπόν συμπληρωθούν λοιπόν τα παραπάνω στοιχεία στα 5 βήματα, το πρόγραμμα δημιουργεί την επιφάνεια του πλοίου με τα όριά του (χρησιμοποιώντας το αρχείο `pln`), το οποίο μπορεί να πλοταριστεί σε τρισδιάστατη μορφή με τη βοήθεια του προγράμματος `Tecplot`. Ύστερα τρέχουμε τον υποκώδικα `SETUP` και τέλος τον υποκώδικα `SOLVE` που κάνει την επίλυση του προβλήματος και δίνει τα αρχεία με τα αποτελέσματα. Κατά το τρέξιμο του κώδικα εξάγονται κάποια ενδιάμεσα αρχεία αλλά τα τελικά αποτελέσματα που μας ενδιαφέρουν βρίσκονται στα εξής αρχεία:

- «`_out`»: Το αρχείο αυτό περιέχει όλες τις πληροφορίες για το πλέγμα έχει δημιουργήσει, τα κύρια υδροστατικά χαρακτηριστικά του σκάφους και τις ιδιότητες της μάζας αυτού.
- «`_rao`»: Περιέχει όλα τα RAO των ζητηθεισών κινήσεων καθώς και τις γωνίες φάσεων αυτών.
- «`_mot`»: Περιέχει τη χρονική ιστορία όλων των κινήσεων του σκάφους που έχει καταγράψει.
- «`fort.40`»: Περιέχει όλα τα RAO των κατακόρυφων επιταχύνσεων στα ορισμένα από τον χρήστη σημεία του σκάφους καθώς και τις γωνίες φάσεων αυτών.

Στην περίπτωση μας έγινε αναλυτικός υπολογισμός της δυναμικής συμπεριφοράς του μοντέλου NTUA-113/95 για τις δύο ταχύτητες που έγιναν και τα πειράματα. Το αρχείο `pln` που περιγράφει τη γάστρα του μοντέλου και περιέχει τη μέγιστη δυνατή πληροφορία, δημιουργήθηκε εξ αρχής για τις ανάγκες της εργασίας. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν καθώς και τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες.

6.2. Υπολογισμός δυναμικής ανύψωσης και δυναμικής διαγωγής (Sinkage, Trim)

Το sinkage και το trim που είναι η δυναμική ανύψωση και η δυναμική διαγωγή του σκάφους αντίστοιχα υπολογίζονται από το πρόγραμμα (outputs) όταν κάνουμε τρεξίματα σε ήρεμο νερό (steady) για κάποια ταχύτητα. Όταν όμως θέλουμε να τρέξουμε το πρόγραμμα σε αρμονικούς και μη κυματισμούς, προκειμένου να βελτιστοποιήσουμε τα αποτελέσματα πρέπει να εισάγουμε τα μεγέθη αυτά (inputs), προσομοιώνοντας καλύτερα την πραγματική κατάσταση. Αυτό συμβαίνει γιατί το πλοίο-μοντέλο ταξιδεύοντας σε κάποια ταχύτητα θα έχει αποκτήσει συγκεκριμένα δυναμικά χαρακτηριστικά με τα οποία θα συναντήσει τους κυματισμούς.

Για να υπολογίσουμε λοιπόν τα δύο αυτά μεγέθη τρέξαμε το πρόγραμμα για πλοίο σε ήρεμο νερό, αρκετές φορές στις δύο ταχύτητες ($F_n=0.34$ και $F_n=0.68$) μέχρι να συγκλείνουν τα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

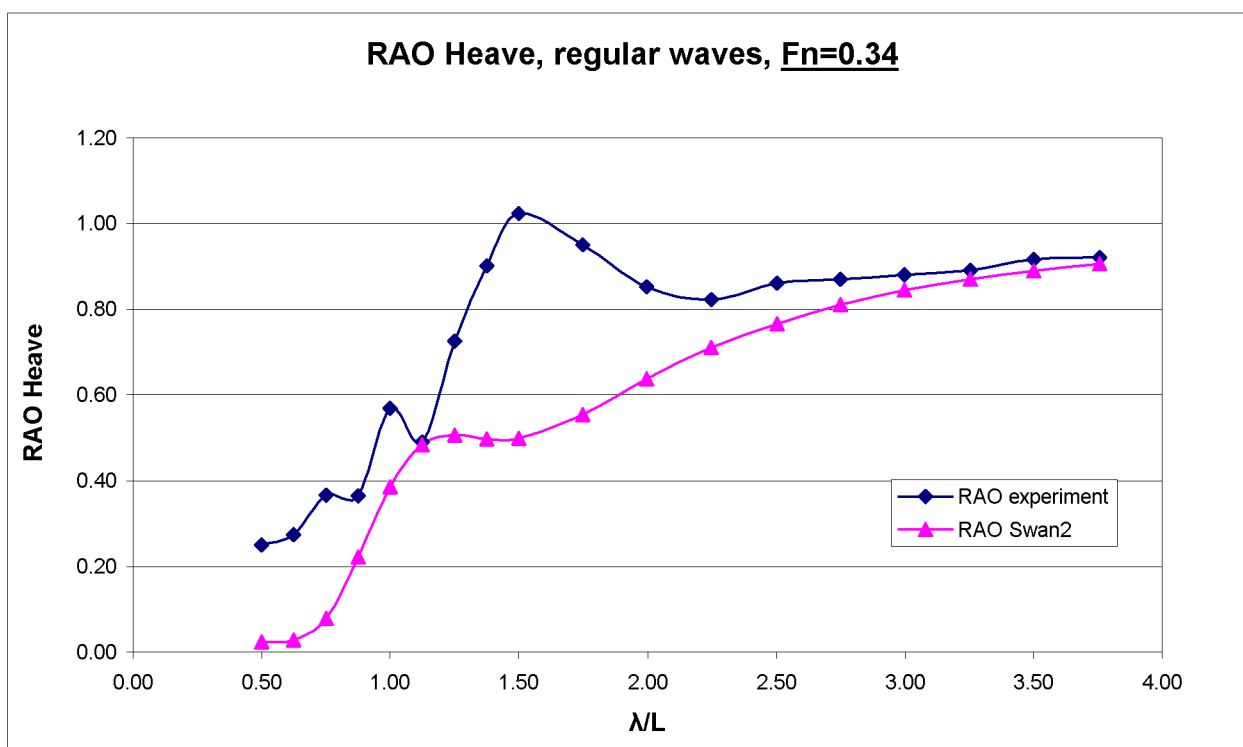
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1

| Υπολογισμός Sinkage & Trim | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|----------------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------------|
| <u>Fn=0.34</u> | | | | | | | |
| Τρεξίματα: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Final | |
| | <i>input</i> | <i>outputs</i> | | | | | |
| SINKAGE | 0 | -0.002623 | -0.002603 | -0.002562 | -0.002553 | -0.002551 | -0.002550 |
| TRIM | 0 | -0.276700 | -0.328700 | -0.338000 | -0.339200 | -0.339400 | -0.339600 |
| <u>Fn=0.68</u> | | | | | | | |
| Τρεξίματα: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Final | |
| | <i>input</i> | <i>outputs</i> | | | | | |
| SINKAGE | 0 | -0.002466 | 0.000359 | 0.001144 | 0.001123 | 0.001069 | 0.001066 |
| TRIM | 0 | -0.713100 | -0.889400 | -0.885900 | -0.872400 | -0.870900 | -0.870000 |

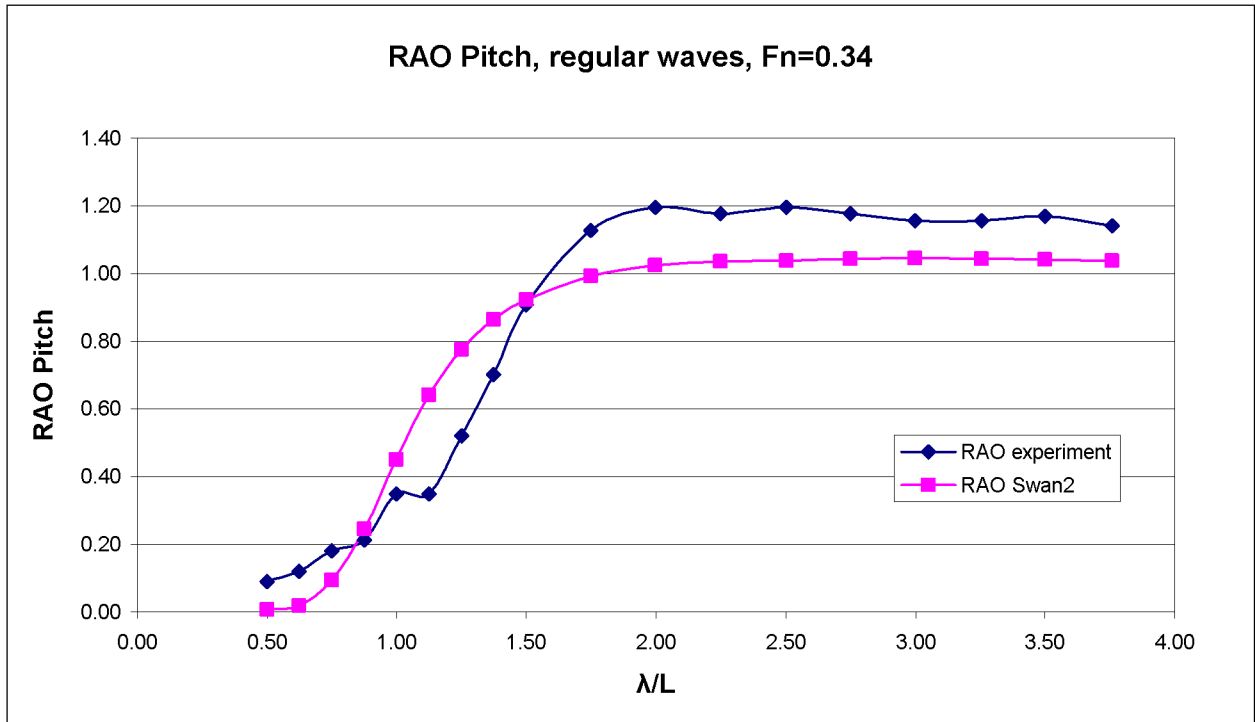
6.3. Υπολογισμός αποκρίσεων σε αρμονικούς κυματισμούς

Με τη χρήση του προγράμματος αυτού έγιναν τρεξίματα του κώδικα για την απόκριση του σκάφους σε αρμονικούς μετωπικούς κυματισμούς και κατόπιν σύγκριση των RAO που εξήγαγε το πρόγραμμα με τα πειραματικά RAO που έχουμε από πειράματα που έχουν γίνει στο $L/B = 4,00$, στο $C_{DL} = 3,00$ στις δύο ταχύτητες για $F_n = 0.34$ και $F_n = 0.68$. Αυτή η σύγκριση έχει σαν σκοπό να διαπιστώσουμε αν το πρόγραμμα δίνει σχετικά καλά αποτελέσματα στις επιθυμητές ταχύτητες σε αρμονικούς κυματισμούς, που είναι προφανώς πιο απλό πρόβλημα απ' το αντίστοιχο των μη αρμονικών. Αν τα αποτελέσματα αυτά είναι σχετικά κοντά στα πειραματικά τότε έχει νόημα να προχωρήσουμε και στον αναλυτικό υπολογισμό για μη αρμονικούς κυματισμούς. Τα αδιαστατοποιημένα αποτελέσματα που παρατίθενται παρακάτω με τη μορφή διαγραμμάτων εμφανίζουν κάποιες αποκλίσεις ειδικά στις αποκρίσεις της κατακόρυφης κίνησης και των επιταχύνσεων στο κέντρο βάρους και στη πρύμνη. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στις επόμενες σελίδες.

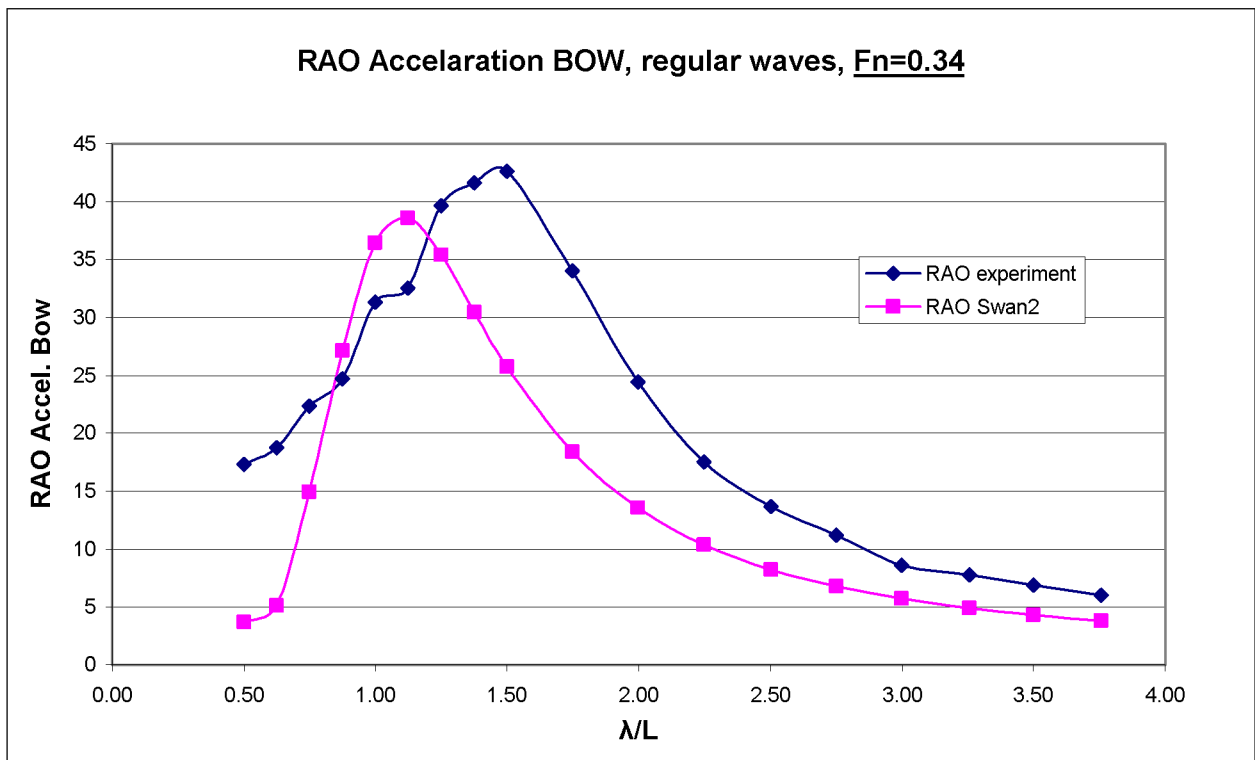
Αποτελέσματα για $CDL = 3.00$, $F_n = 0.34$
σε αρμονικούς κυματισμούς



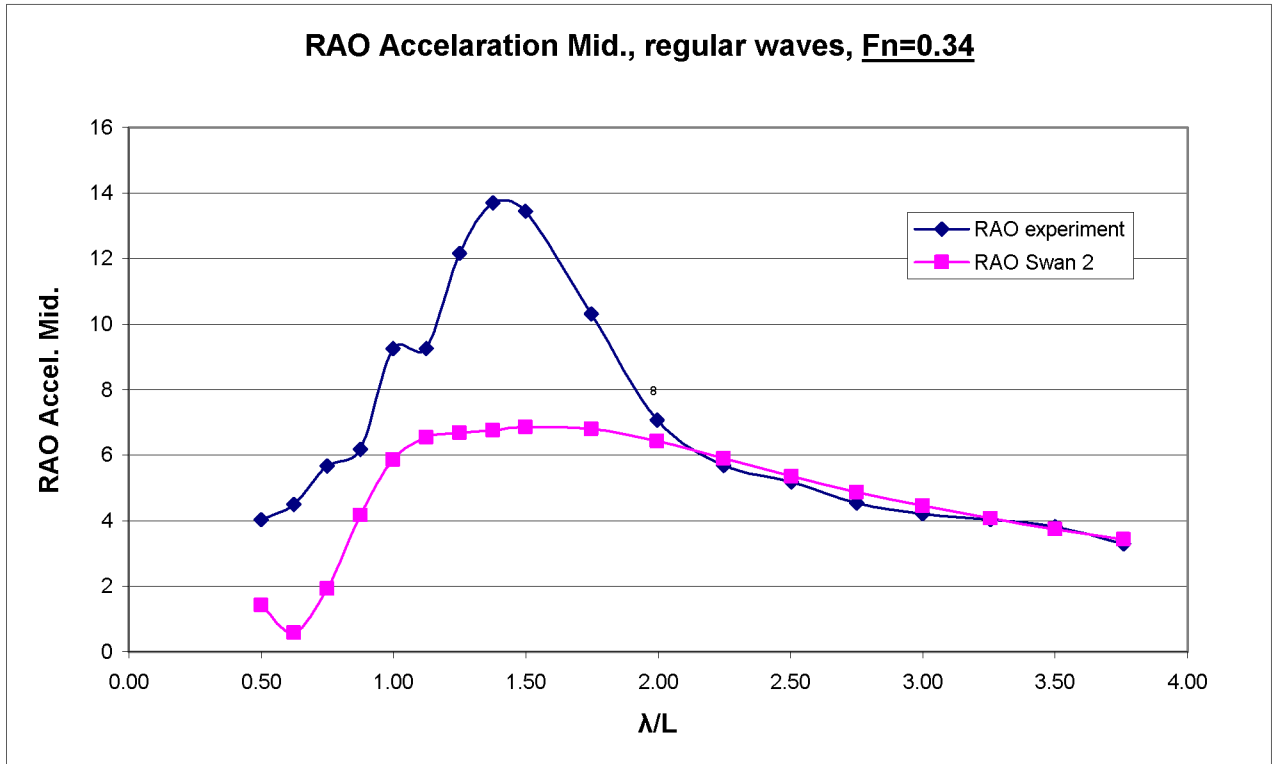
Σχήμα 6.1: Συντελεστής απόκρισης κατακόρυφης κίνησης για $F_n = 0,34$



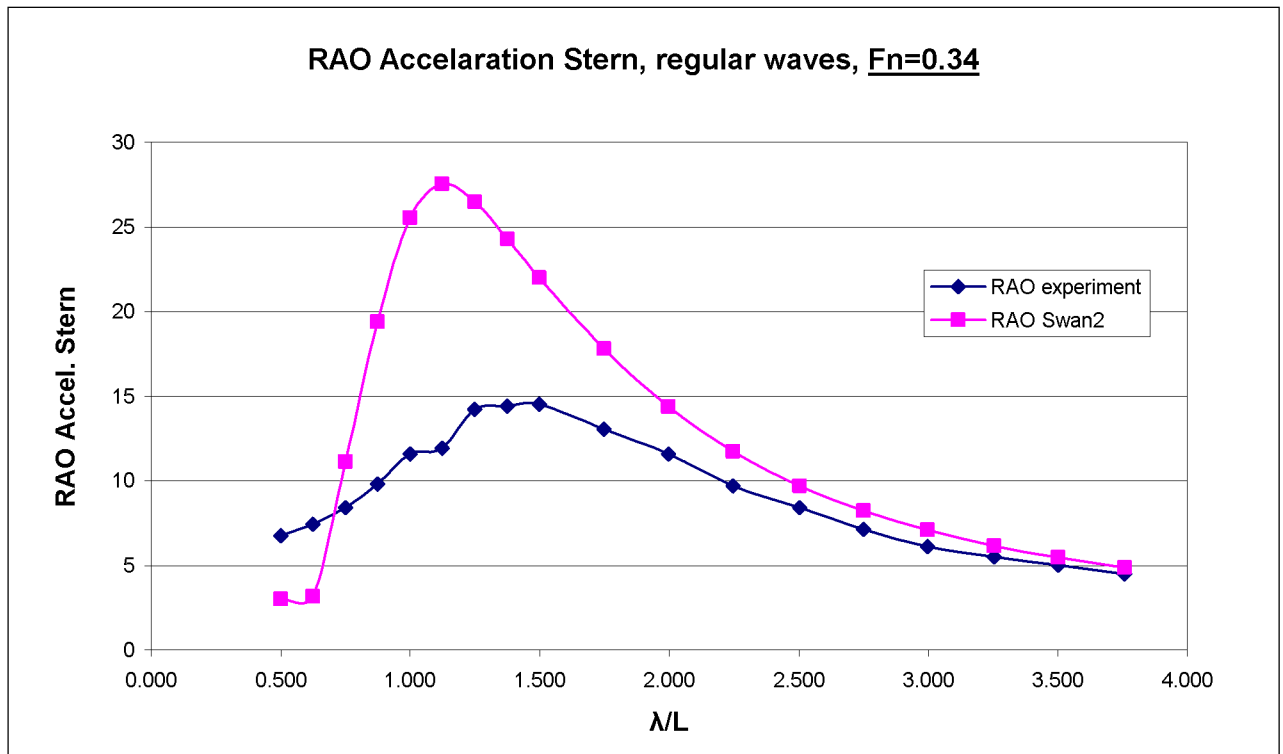
Σχήμα 6.2: Συντελεστής απόκρισης προνευτασμού για $F_n = 0.34$



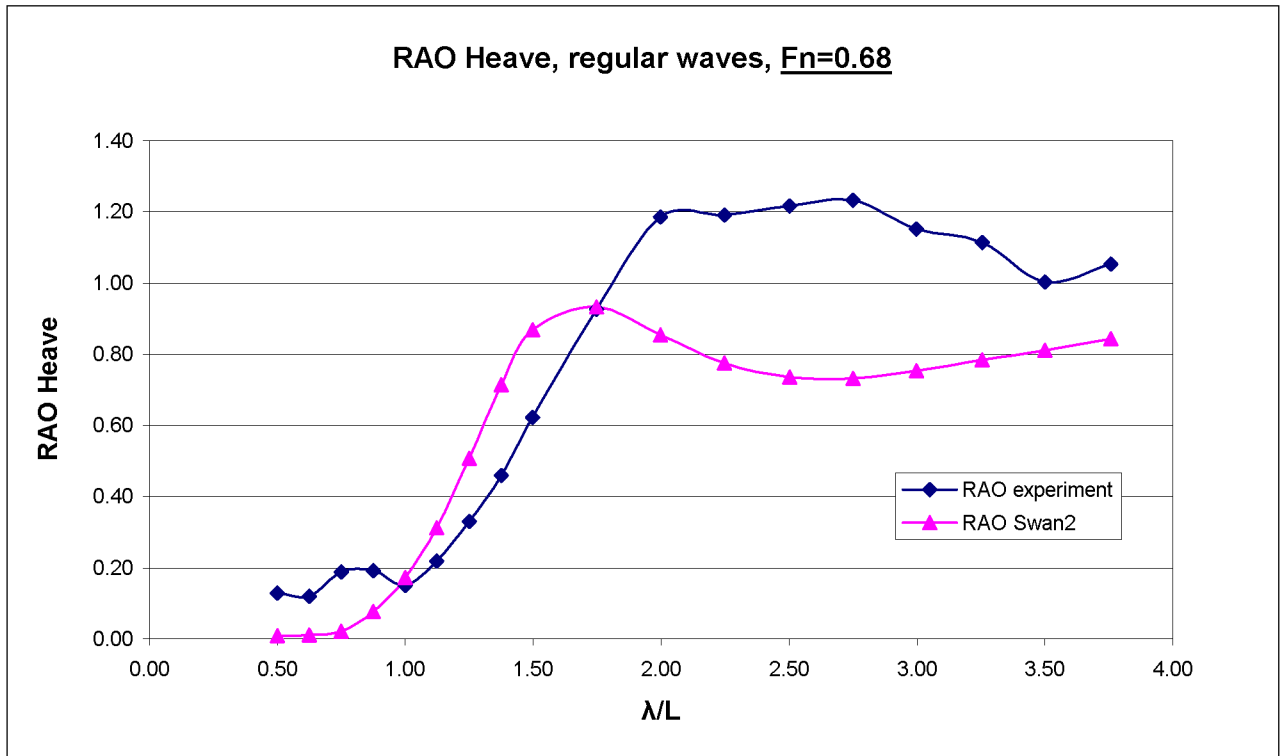
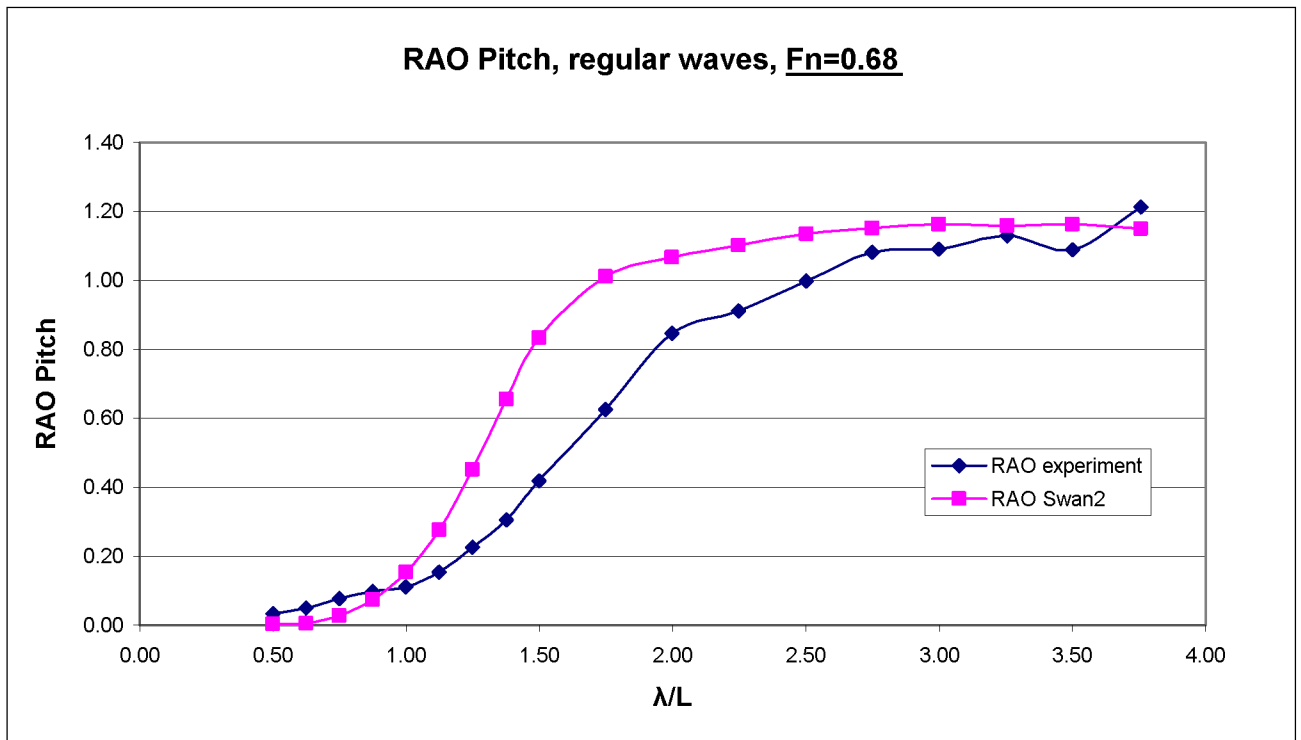
Σχήμα 6.3: Συντελεστής απόκρισης κατακόρυφης επιτάχυνσης πλώρης για $F_n = 0.34$

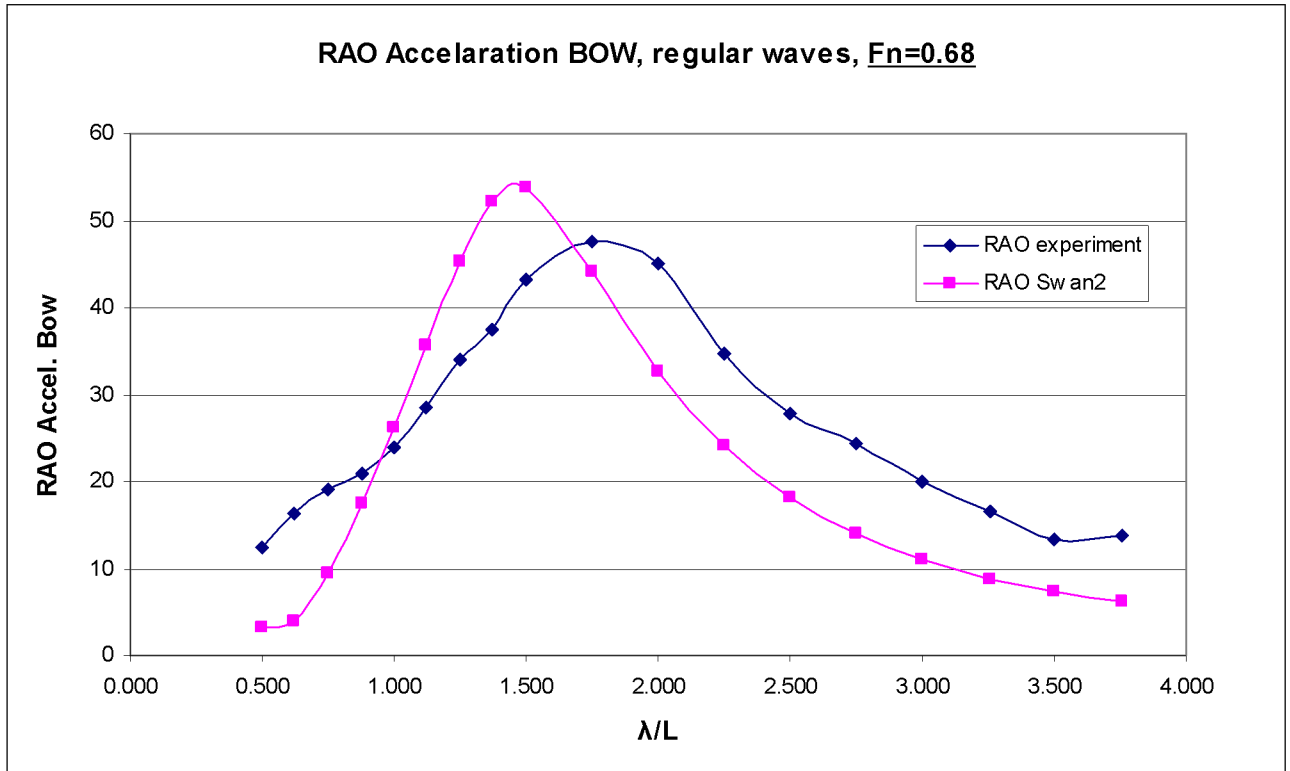


Σχήμα 6.4: Συντελεστής απόκρισης κατακόρυφης επιτάχυνσης κέντρου βάρους για $F_n = 0.34$

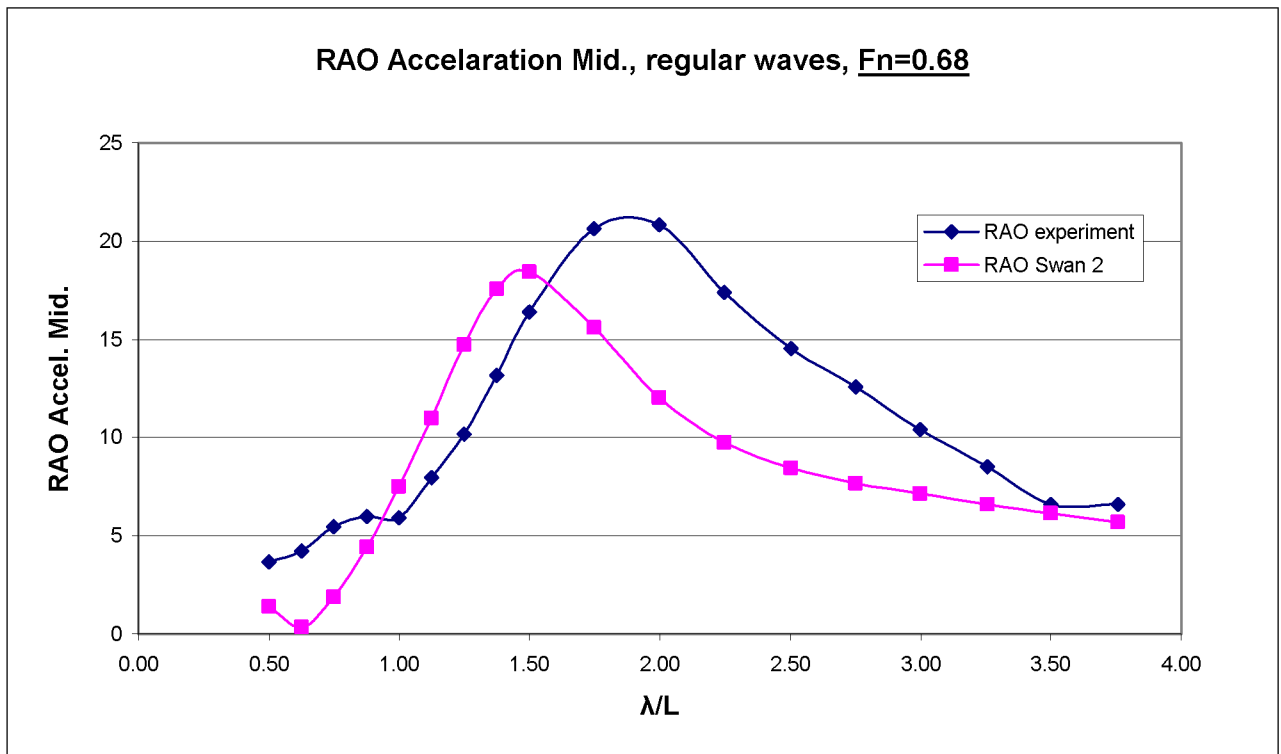


Σχήμα 6.5: Συντελεστής απόκρισης κατακόρυφης επιτάχυνσης πρύμνης για $F_n = 0.34$

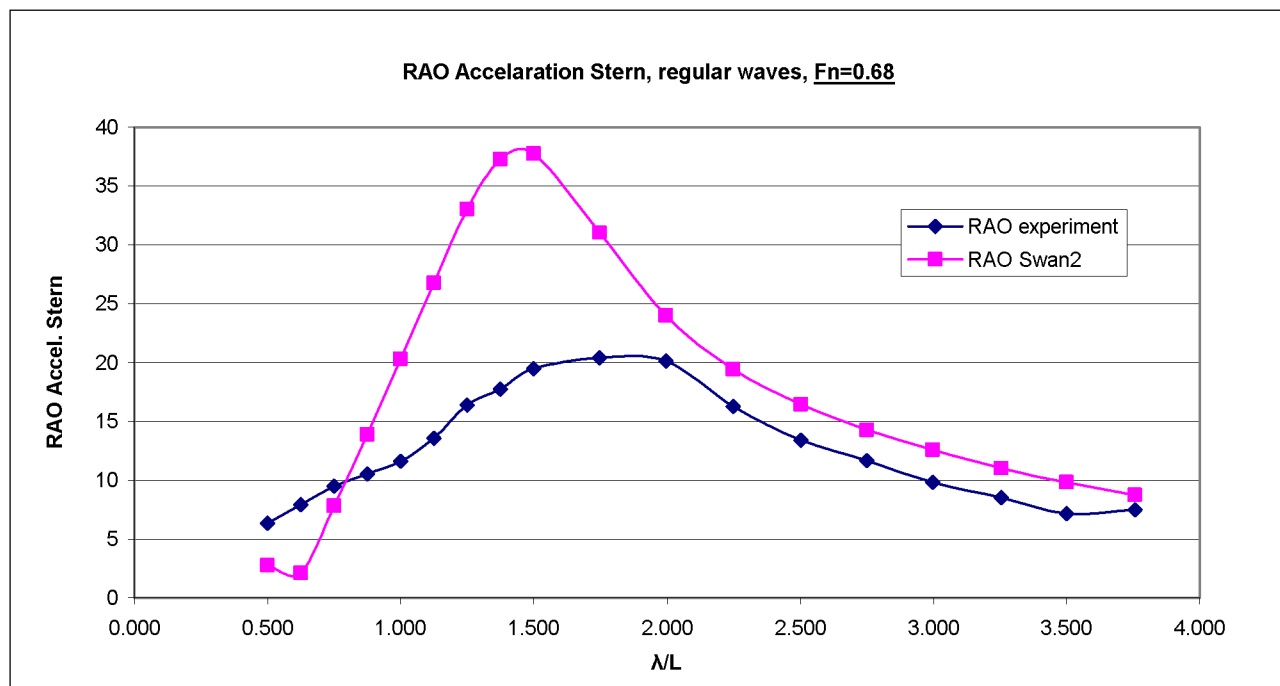
**Αποτελέσματα για $CDL = 3.00$, $F_n = 0.68$
σε αρμονικούς κυματισμούς**Σχήμα 6.6: Συντελεστής απόκρισης κατακόρυφης κίνησης για $F_n = 0.68$ Σχήμα 6.7: Συντελεστής απόκρισης προνευτασμού για $F_n = 0.68$



Σχήμα 6.8: Συντελεστής απόκρισης κατακόρυφης επιτάχυνσης πλώρης για $F_n = 0.68$



Σχήμα 6.9: Συντελεστής απόκρισης κατακόρυφης επιτάχυνσης κέντρου βάρους για $F_n = 0.68$



Σχήμα 6.10: Συντελεστής απόκρισης κατακόρυφης επιτάχυνσης πρύμνης για $F_n = 0.68$

6.4. Υπολογισμός rms τιμών της κατακόρυφης κίνησης και του προνευτασμού

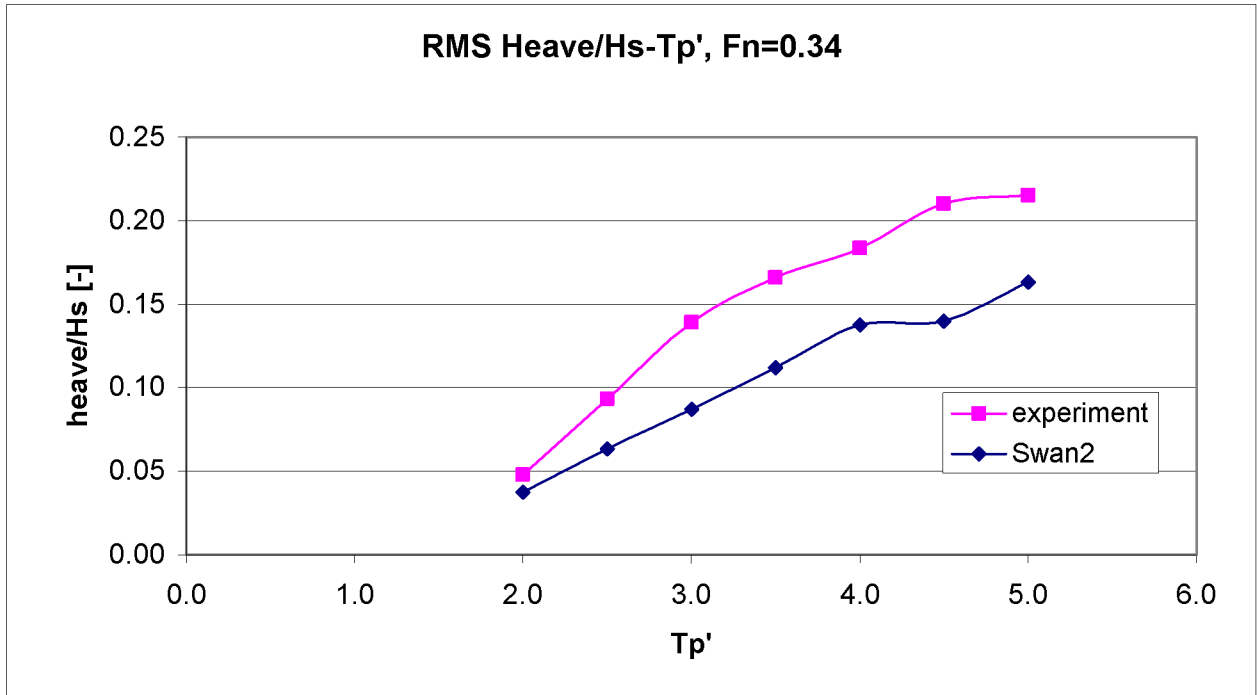
Με χρήση του κώδικα SWAN2 έγινε προσπάθεια προσομοίωσης των καταστάσεων θάλασσας στις οποίες έγιναν τα πειράματα στη δεξαμενή. Για τον σκοπό αυτό δώσαμε στο πρόγραμμα τα πλάτη των αποκρίσεων και τις αντίστοιχες περιόδους αυτών επιλέγοντας μετωπικούς κυματισμούς (Heading = 180°) και το τρέξαμε για 100 δευτερόλεπτα (simulation time=100 sec) με βήμα 0,0093 δευτερόλεπτα (time step = 0.0093 sec) και στις δύο ταχύτητες. Ο χρόνος προσομοίωσης δεν ήταν ο ίδιος με τον χρόνο πειραμάτων στη δεξαμενή για όλα τα είδη φασμάτων. Αυτό δεν κρίθηκε απαραίτητο αφού τρέχοντας το πρόγραμμα και για χρόνο ίσο με αυτόν των πειραμάτων, έδινε τα ίδια αποτελέσματα. Η συχνότητα δειγματοληψίας που ισούται με $1/[\text{βήμα}]$ είναι πενταπλάσια από την αντίστοιχη των πειραμάτων καθώς το πρόγραμμα απαιτούσε περισσότερες μετρήσεις το δευτερόλεπτο προκειμένου να είναι ευσταθές το σύστημα και να συγκλίνουν τα ζητηθέντα αποτελέσματα.

Το αρχείο «_mot», όπως προαναφέρθηκε περιέχει τη χρονική ιστορία όλων των κινήσεων του σκάφους που έχει καταγράψει, έτσι λοιπόν είχαμε στη διάθεσή μας τη χρονική ιστορία της κατακόρυφης κίνησης και του προνευτασμού. Αυτήν, την αναλύσαμε κατά Fourier με τη βοήθεια ανάλογου προγράμματος σε γλώσσα Fortran με το πρόγραμμα «Fortran Powerstation 4.0», όπως ακριβώς κάναμε και για τα πειραματικά αποτελέσματα. Η ανάλυση έγινε με 256 σημεία για μεγαλύτερη ακρίβεια. Μετά την ανάλυση δημιουργούνται δύο αρχεία το ένα εκ των οποίων περιέχει τις rms τιμές της κατακόρυφης κίνησης και του προνευτασμού, που είναι και οι ζητούμενες για την παρούσα ενότητα.

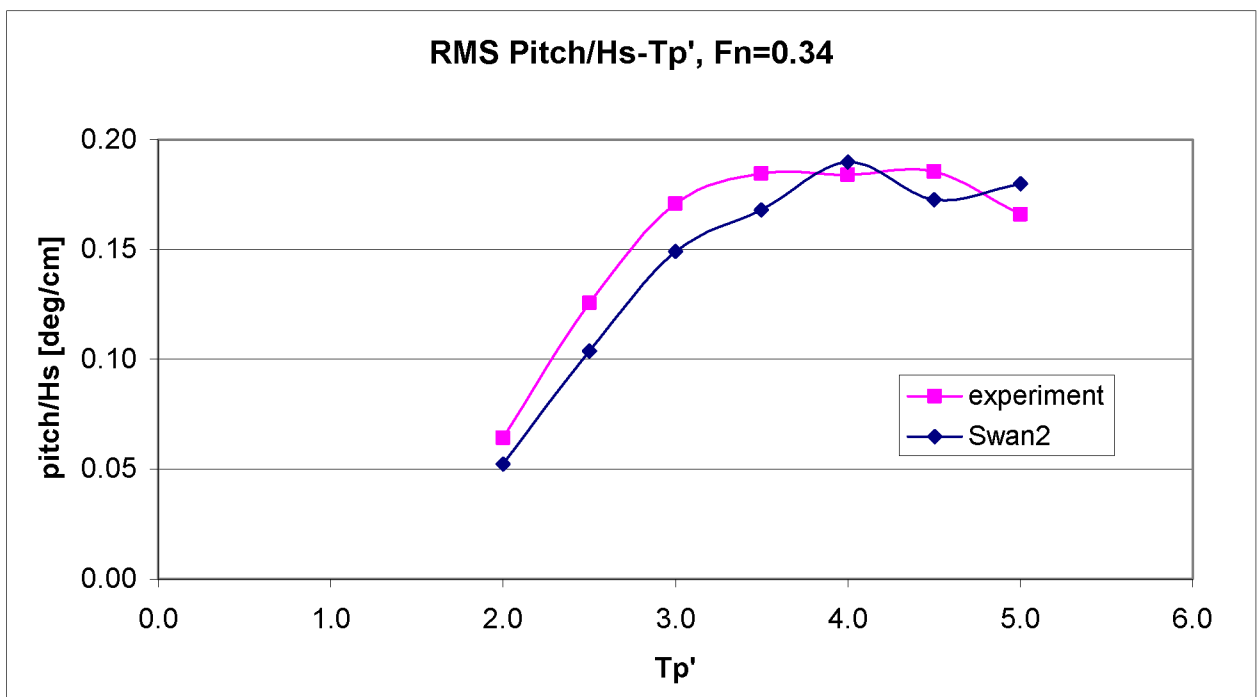
Στα επόμενα διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα του κώδικα SWAN2 για τις κινήσεις Heave και Pitch σε σύγκριση με τα πειραματικά για ίδια φάσματα κυμάτων. Όμως, ο κώδικας δεν μας δίνει σε κάποιο αρχείο τη χρονική ιστορία του κύματος ούτε των κατακόρυφων επιταχύνσεων για αυτό τον λόγο δεν παρατίθενται τέτοια στοιχεία.

Τα διαγράμματα που ακολουθούν είναι ένα για κάθε ταχύτητα και είναι τα εξής:

- *RMS τιμή Κατακόρυφης Κίνησης (Heave) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [m/m] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T'_{peak})*
- *RMS τιμή Κίνησης Προνευσμού (Pitch) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s [deg/m] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (T'_{peak})*

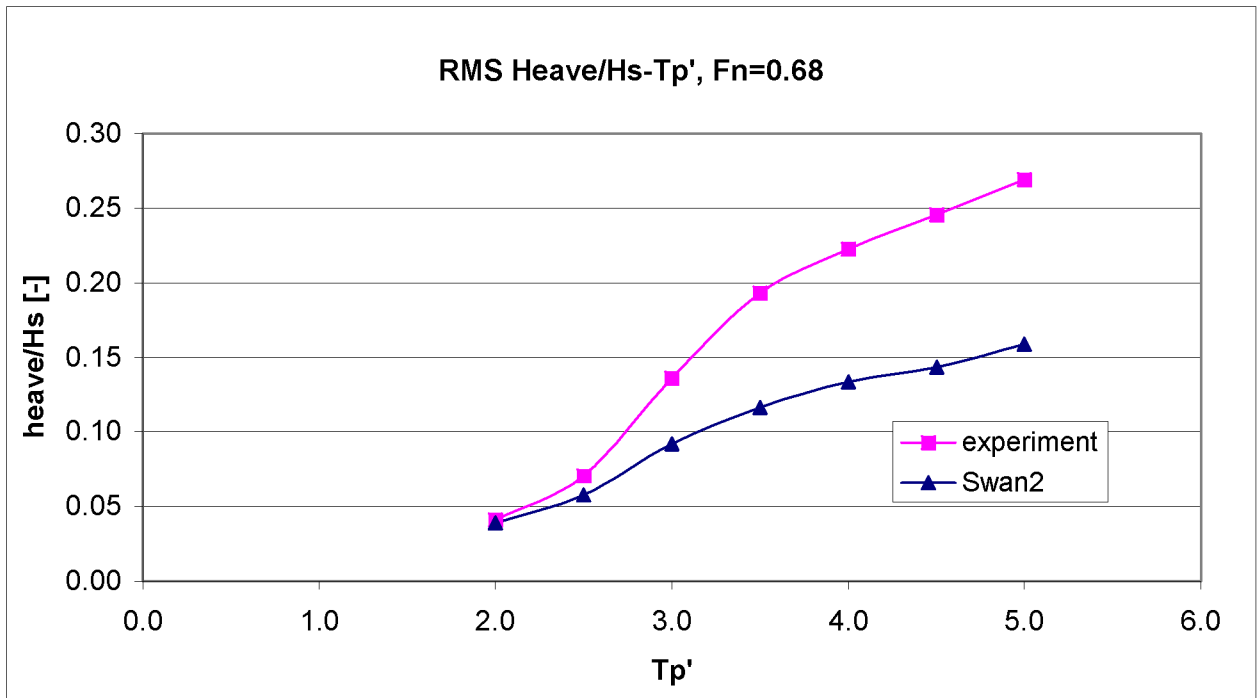
**Αποτελέσματα για $CDL = 3.00$, $F_n = 0.34$
σε τυχαίους κυματισμούς**

Σχήμα 6.11: RMS τιμές κατακόρυφης κίνησης (Heave)

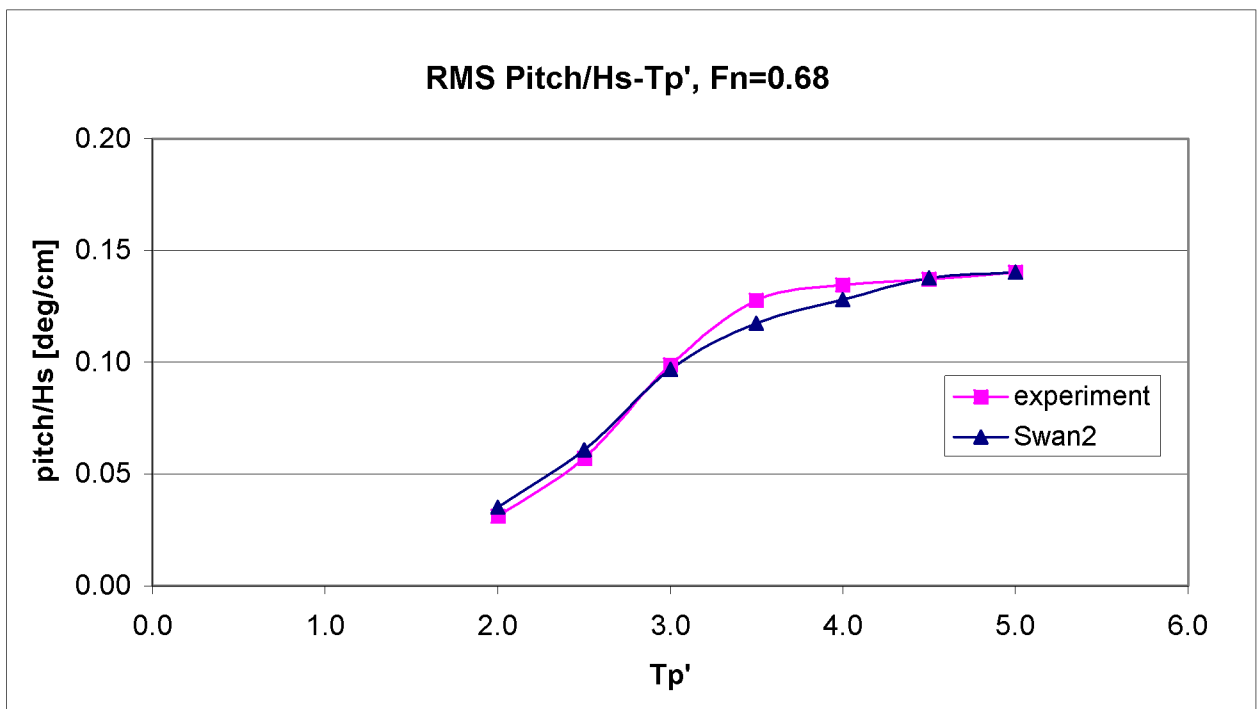


Σχήμα 6.12: RMS τιμές προνευτασμού (Pitch)

**Αποτελέσματα για $CDL = 3,00$, $F_n = 0.68$
σε τυχαίους κυματισμούς**



Σχήμα 6.13: RMS τιμές κατακόρυφης κίνησης (Heave)



Σχήμα 6.14: RMS τιμές προνευτασμού (Pitch)

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε τα εξής:

- Όσον αφορά τις **rms τιμές της κατακόρυφης κίνησης (Heave)** το SWAN2 σε γενικές γραμμές δίνει σχετικά καλά αποτελέσματα με γενική διαπίστωση ότι υποεκτιμά τις αποκρίσεις του μοντέλου στην συγκεκριμένη κίνηση. Στο μικρό αριθμό Froude έχει δώσει πολύ κοντινά, στα πειραματικά, αποτελέσματα στις μικρές αδιάστατες περιόδους $Tr' = 2,0$ και $Tr' = 2,5$, ενώ στις μεγαλύτερες περιόδους οι τιμές αποκλίνουν σημαντικά. Στον μεγαλύτερο αριθμό Froude ο κώδικας και πάλι έχει δώσει σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα με τα πειραματικά στις μικρές αδιάστατες περιόδους μέχρι και $Tr' = 2.5$, όμως στις μεγαλύτερες περιόδους έχει δώσει αρκετά μικρότερα αποτελέσματα σε σχέση με τα πειραματικά. Το τελευταίο είναι αναμενόμενο γιατί η θεωρία στην οποία είναι βασισμένη το πρόγραμμα δεν μπορεί να περιγράψει πλήρως το φαινόμενο σε αυτές τις ταχύτητες, αν και θεωρητικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε μεγαλύτερες ταχύτητες.
- Στην **κίνηση σε προνευτασμό (Pitch)** οι rms τιμές που έχει δώσει ο κώδικας SWAN2 είναι πάρα πολύ καλές τόσο στη μικρή όσο και στη μεγάλη ταχύτητα καθώς είναι πολύ κοντά με τις πειραματικές σε όλο το εύρος των αδιάστατων περιόδων. Για την ταχύτητα μάλιστα που αντιστοιχεί σε αριθμό $Fn=0.68$ οι τιμές ταυτίζονται με τις πειραματικές στις 5 από τις 7 αδιάστατες περιόδους.

Παρατηρήσεις

Δοκιμάστηκε όπως προαναφέρθηκε, το πρόγραμμα να κάνει προσομοίωση και για μεγαλύτερο χρόνο (εκτός από τα 100 sec), για χρόνο 500 sec διαπιστώθηκε όμως ότι το φάσμα της απόκρισης των κινήσεων Heave και Pitch ήταν και πάλι το ίδιο το οποίο μας οδήγησε σε δύο συμπεράσματα:

- a) Στα 100 sec το πρόγραμμα έχει προλάβει να σταθεροποιήσει το μοντέλο προσομοίωσης και να δώσει σωστά αποτελέσματα
- b) Εφόσον οι χρονικές ιστορίες βγαίνουν ίδιες και στους δύο χρόνους προσομοίωσης, αυτό σημαίνει ότι το πρόγραμμα παίρνει συγκεκριμένες φάσεις κύματος κάθε φορά και όχι τελείως τυχαίες.
- c) Εκφράζοντας την αδιάστατη περίοδο σε σχέση με την αδιαστατοποίηση λ/L που χρησιμοποιούμε στους αρμονικούς κυματισμούς, μπορούμε σε ορισμένες περιπτώσεις να συσχετίσουμε την συμπεριφορά σε αρμονικούς κυματισμούς με την αντίστοιχη σε μη αρμονικούς κυματισμούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

«Υδροδυναμική Σχεδίαση Μικρών Σκαφών»: Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1996

«Υδροδυναμική και Δυναμική Θαλασσιών Συστημάτων»: Θ.Α. Λουκάκης, Γ. Αθανασούλης, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997

«Υδροδυναμική Πλοίου»: Θ.Α. Λουκάκης, Γ. Αθανασούλης, Γ. Γάνος, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1985

«Εφαρμογές της Δυναμικής Συμπεριφοράς Πλοίων σε Κυματισμούς», Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2000

«Υδροδυναμική Πλοίου, Αντίσταση – Πρόωση (Σημειώσεις)»: Θ.Α. Λουκάκης, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2001

«Υδροδυναμική Πλοίου, (Αντίσταση – Πρόωση), Στοιχεία για Υπολογισμούς»: Θ.Α. Λουκάκης, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2002

«Η Υδροδυναμική της Πρόωσης του Πλοίου»: Γ.Κ. Πολίτης, Γ.Ν. Λαμπρινίδης, Εκδόσεις Αστέρως, Αθήνα 1993

«Operability of Ferries in the Aegean Sea, The Limiting Case of Weather Dependent (Official) Sailing Restrictions»: Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Δ.Π. Δαμάλα, Ελληνική Συνεδρία SNAME, Αθήνα

«Resistance and Seakeeping Characteristics of a Systematic Series in the Pre-planing Condition, Part I»: Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Ετήσια Συνεδρία SNAME στην Βοστώνη 2002

«Seakeeping standard series for oblique seas (a synopsis)»: Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Α.Ν. Περάκης, Αθήνα 1998

«Computation of Wave Ship Interactions, Advances in Marine Hydrodynamics», Sclavounos P.D., 1996, edited by M. Qhksu, Computational Mechanics Publ.

«SWAN 2002 User Manual»: MIT, Boston Marine Consulting, Boston 2002

«Εκτίμηση της Λειτουργισιμότητας των Ταχύπλοων Σκαφών με Διπλή Ακμή», Διπλωματική Εργασία: Πέππα Σοφία, Αθήνα 1996

«Αναλυτική και Πειραματική Διερεύνηση της Δυναμικής Συμπεριφοράς Ταχύπλοων Σκαφών σε Κυματισμούς», Διπλωματική Εργασία: Θεόδωρος Α. Παπαθεοδώρου, Αθήνα 2003

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Πίνακες Πειραματικών Αποτελεσμάτων
- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: Πίνακες Αναλυτικών Υπολογισμών από SWAN2
- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: Πρόγραμμα ανάλυσης κατά Fourier σε γλώσσα Fortran
- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV: Φωτογραφίες προτύπων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

| | |
|-------------|-------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.34 |
| fasma | h008tp2.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 1.64E-01 | 1.91E-01 | 2.19E-04 | 1.01E-04 | 7.08E-04 | 8.45E-02 | 9.52E-03 |
| 1.56E-01 | 4.28E-02 | 7.17E-02 | 2.25E-04 | 1.81E-04 | 9.10E-04 | 2.64E-02 | 1.74E-02 |
| 3.13E-01 | 2.28E-02 | 9.41E-02 | 2.14E-04 | 1.93E-04 | 5.05E-04 | 1.90E-02 | 8.29E-03 |
| 4.69E-01 | 2.21E-02 | 1.04E-01 | 3.04E-04 | 1.39E-04 | 2.73E-04 | 2.24E-02 | 9.25E-03 |
| 6.25E-01 | 4.39E-02 | 1.92E-01 | 2.33E-04 | 2.28E-04 | 1.22E-04 | 3.42E-02 | 1.27E-02 |
| 7.81E-01 | 4.15E-02 | 9.26E-01 | 3.02E-04 | 8.66E-05 | 1.11E-04 | 3.38E-02 | 2.39E-02 |
| 9.38E-01 | 4.75E-02 | 3.31E+00 | 6.68E-04 | 8.24E-05 | 2.17E-04 | 2.83E-02 | 3.09E-02 |
| 1.09E+00 | 6.13E-02 | 5.07E+00 | 1.37E-03 | 1.62E-04 | 3.70E-04 | 3.79E-02 | 6.15E-02 |
| 1.25E+00 | 1.34E-01 | 3.46E+00 | 4.53E-03 | 2.71E-04 | 8.78E-04 | 6.20E-02 | 1.32E-01 |
| 1.41E+00 | 3.08E-01 | 1.90E+00 | 1.25E-02 | 6.99E-04 | 2.17E-03 | 1.04E-01 | 2.46E-01 |
| 1.56E+00 | 5.66E-01 | 9.40E-01 | 1.61E-02 | 8.88E-04 | 2.97E-03 | 7.07E-02 | 1.91E-01 |
| 1.72E+00 | 1.20E+00 | 4.23E-01 | 2.08E-02 | 9.31E-04 | 3.54E-03 | 7.30E-02 | 2.48E-01 |
| 1.88E+00 | 1.20E+00 | 2.68E-01 | 1.23E-02 | 5.29E-04 | 2.67E-03 | 3.19E-02 | 1.05E-01 |
| 2.03E+00 | 1.32E+00 | 1.69E-01 | 5.76E-03 | 1.96E-04 | 1.25E-03 | 9.71E-03 | 3.20E-02 |
| 2.19E+00 | 1.07E+00 | 7.96E-02 | 2.84E-03 | 1.20E-04 | 3.37E-04 | 5.63E-03 | 1.35E-02 |
| 2.34E+00 | 1.19E+00 | 6.71E-02 | 9.39E-04 | 5.21E-05 | 1.61E-04 | 2.53E-03 | 4.26E-03 |
| 2.50E+00 | 8.37E-01 | 4.57E-02 | 3.89E-04 | 3.68E-05 | 7.44E-05 | 1.62E-03 | 2.26E-03 |
| 2.66E+00 | 7.41E-01 | 5.21E-02 | 2.43E-04 | 3.49E-05 | 6.17E-05 | 1.11E-03 | 1.55E-03 |
| 2.81E+00 | 5.64E-01 | 3.50E-02 | 1.43E-04 | 2.99E-05 | 6.96E-05 | 9.41E-04 | 1.12E-03 |
| 2.97E+00 | 5.29E-01 | 2.86E-02 | 1.70E-04 | 2.88E-05 | 4.92E-05 | 8.78E-04 | 8.60E-04 |
| 3.13E+00 | 4.25E-01 | 1.91E-02 | 2.11E-04 | 2.96E-05 | 5.50E-05 | 1.15E-03 | 9.30E-04 |
| 3.28E+00 | 2.32E-01 | 1.87E-02 | 2.85E-04 | 3.14E-05 | 5.35E-05 | 1.03E-03 | 8.49E-04 |
| 3.44E+00 | 1.59E-01 | 1.30E-02 | 5.24E-04 | 5.08E-05 | 8.45E-05 | 9.12E-04 | 7.13E-04 |
| 3.59E+00 | 9.97E-02 | 9.91E-03 | 6.46E-04 | 5.24E-05 | 5.73E-05 | 9.38E-04 | 5.84E-04 |
| 3.75E+00 | 1.12E-01 | 8.56E-03 | 6.70E-04 | 4.97E-05 | 1.05E-04 | 7.80E-04 | 5.54E-04 |
| 3.91E+00 | 9.99E-02 | 6.91E-03 | 5.43E-04 | 5.38E-05 | 8.05E-05 | 6.84E-04 | 5.15E-04 |
| 4.06E+00 | 5.67E-02 | 5.11E-03 | 3.90E-04 | 5.84E-05 | 7.06E-05 | 5.55E-04 | 4.99E-04 |
| 4.22E+00 | 4.75E-02 | 4.46E-03 | 2.31E-04 | 2.64E-05 | 7.87E-05 | 6.40E-04 | 3.37E-04 |
| 4.38E+00 | 3.93E-02 | 4.58E-03 | 1.68E-04 | 2.40E-05 | 4.81E-05 | 6.55E-04 | 2.94E-04 |
| 4.53E+00 | 2.61E-02 | 3.73E-03 | 1.21E-04 | 2.68E-05 | 4.60E-05 | 5.93E-04 | 2.43E-04 |
| 4.69E+00 | 2.21E-02 | 2.53E-03 | 8.47E-05 | 2.90E-05 | 3.58E-05 | 6.51E-04 | 1.97E-04 |
| 4.84E+00 | 1.80E-02 | 2.74E-03 | 5.38E-05 | 2.58E-05 | 3.28E-05 | 6.08E-04 | 2.11E-04 |
| 5.00E+00 | 1.66E-02 | 2.52E-03 | 4.81E-05 | 1.53E-05 | 2.46E-05 | 5.64E-04 | 2.11E-04 |
| 5.16E+00 | 1.34E-02 | 2.12E-03 | 3.56E-05 | 2.19E-05 | 2.69E-05 | 4.78E-04 | 2.15E-04 |
| 5.31E+00 | 1.25E-02 | 1.77E-03 | 3.95E-05 | 2.48E-05 | 2.92E-05 | 7.85E-04 | 1.97E-04 |
| 5.47E+00 | 8.69E-03 | 1.80E-03 | 3.25E-05 | 2.03E-05 | 2.42E-05 | 6.28E-04 | 1.67E-04 |
| 5.63E+00 | 6.06E-03 | 1.66E-03 | 3.13E-05 | 2.40E-05 | 2.51E-05 | 5.37E-04 | 1.48E-04 |
| 5.78E+00 | 5.57E-03 | 1.71E-03 | 2.48E-05 | 2.42E-05 | 2.66E-05 | 5.58E-04 | 1.63E-04 |
| 5.94E+00 | 5.06E-03 | 1.59E-03 | 2.72E-05 | 1.69E-05 | 2.59E-05 | 7.46E-04 | 1.45E-04 |
| 6.09E+00 | 3.70E-03 | 1.28E-03 | 2.35E-05 | 1.84E-05 | 2.32E-05 | 4.65E-04 | 1.39E-04 |
| 6.25E+00 | 4.46E-03 | 1.32E-03 | 2.43E-05 | 2.73E-05 | 2.31E-05 | 4.99E-04 | 1.18E-04 |
| 6.41E+00 | 3.85E-03 | 1.40E-03 | 2.41E-05 | 2.57E-05 | 2.58E-05 | 5.86E-04 | 1.36E-04 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 3.42E-03 | 1.24E-03 | 2.40E-05 | 2.28E-05 | 2.56E-05 | 5.34E-04 | 1.41E-04 |
| 6.72E+00 | 2.44E-03 | 1.19E-03 | 2.57E-05 | 2.55E-05 | 2.71E-05 | 8.00E-04 | 1.30E-04 |
| 6.88E+00 | 2.60E-03 | 1.12E-03 | 1.94E-05 | 2.34E-05 | 1.95E-05 | 4.99E-04 | 1.25E-04 |
| 7.03E+00 | 1.81E-03 | 9.89E-04 | 2.16E-05 | 1.75E-05 | 3.83E-05 | 7.52E-04 | 1.07E-04 |
| 7.19E+00 | 1.85E-03 | 1.08E-03 | 1.67E-05 | 2.30E-05 | 3.02E-05 | 4.63E-04 | 9.38E-05 |
| 7.34E+00 | 2.02E-03 | 1.00E-03 | 2.01E-05 | 2.86E-05 | 2.75E-05 | 4.17E-04 | 1.30E-04 |
| 7.50E+00 | 1.68E-03 | 9.56E-04 | 1.37E-05 | 2.66E-05 | 2.35E-05 | 5.42E-04 | 1.23E-04 |
| 7.66E+00 | 1.80E-03 | 9.75E-04 | 1.67E-05 | 2.34E-05 | 3.60E-05 | 5.03E-04 | 1.03E-04 |
| 7.81E+00 | 1.67E-03 | 9.55E-04 | 1.78E-05 | 2.27E-05 | 2.76E-05 | 5.70E-04 | 1.06E-04 |
| 7.97E+00 | 1.58E-03 | 9.53E-04 | 2.12E-05 | 2.21E-05 | 3.06E-05 | 4.83E-04 | 1.07E-04 |
| 8.13E+00 | 1.47E-03 | 8.67E-04 | 2.42E-05 | 3.44E-05 | 2.80E-05 | 5.84E-04 | 9.81E-05 |
| 8.28E+00 | 1.20E-03 | 9.56E-04 | 2.23E-05 | 3.39E-05 | 3.43E-05 | 6.28E-04 | 1.06E-04 |
| 8.44E+00 | 1.18E-03 | 1.03E-03 | 2.32E-05 | 2.78E-05 | 3.26E-05 | 7.73E-04 | 1.12E-04 |
| 8.59E+00 | 1.10E-03 | 8.37E-04 | 2.27E-05 | 2.54E-05 | 4.00E-05 | 7.68E-04 | 1.02E-04 |
| 8.75E+00 | 1.27E-03 | 9.11E-04 | 2.42E-05 | 3.21E-05 | 3.92E-05 | 6.62E-04 | 1.10E-04 |
| 8.91E+00 | 1.13E-03 | 9.37E-04 | 3.33E-05 | 3.27E-05 | 5.02E-05 | 8.87E-04 | 1.06E-04 |
| 9.06E+00 | 1.23E-03 | 8.90E-04 | 3.10E-05 | 4.39E-05 | 4.66E-05 | 1.07E-03 | 1.46E-04 |
| 9.22E+00 | 1.14E-03 | 8.59E-04 | 4.81E-05 | 5.04E-05 | 6.75E-05 | 8.23E-04 | 1.69E-04 |
| 9.38E+00 | 1.43E-03 | 1.03E-03 | 5.19E-05 | 6.73E-05 | 5.89E-05 | 1.08E-03 | 1.16E-04 |
| 9.53E+00 | 1.37E-03 | 9.85E-04 | 7.03E-05 | 9.46E-05 | 8.12E-05 | 1.94E-03 | 1.80E-04 |
| 9.69E+00 | 1.43E-03 | 1.03E-03 | 1.29E-04 | 1.33E-04 | 1.82E-04 | 2.15E-03 | 2.16E-04 |
| 9.84E+00 | 1.60E-03 | 1.24E-03 | 1.51E-04 | 1.36E-04 | 1.44E-04 | 2.93E-03 | 2.70E-04 |

| | |
|--------------|---------------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.34 |
| fasma | h009tp25.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 2.74E-01 | 5.07E-01 | 5.82E-04 | 1.11E-04 | 5.90E-04 | 1.57E-01 | 9.90E-02 |
| 1.56E-01 | 1.03E-01 | 1.30E-01 | 5.77E-04 | 1.75E-04 | 4.75E-04 | 5.80E-02 | 9.93E-02 |
| 3.13E-01 | 3.71E-02 | 1.84E-01 | 6.29E-04 | 1.08E-04 | 2.93E-04 | 4.23E-02 | 5.72E-02 |
| 4.69E-01 | 4.58E-02 | 3.06E-01 | 7.75E-04 | 1.44E-04 | 2.69E-04 | 5.15E-02 | 4.01E-02 |
| 6.25E-01 | 7.12E-02 | 1.29E+00 | 1.00E-03 | 1.08E-04 | 3.24E-04 | 6.66E-02 | 4.71E-02 |
| 7.81E-01 | 1.12E-01 | 5.48E+00 | 1.72E-03 | 1.49E-04 | 4.23E-04 | 8.24E-02 | 7.90E-02 |
| 9.38E-01 | 3.02E-01 | 8.41E+00 | 4.64E-03 | 3.98E-04 | 1.33E-03 | 1.81E-01 | 2.56E-01 |
| 1.09E+00 | 5.86E-01 | 6.16E+00 | 1.49E-02 | 1.31E-03 | 4.24E-03 | 4.27E-01 | 7.22E-01 |
| 1.25E+00 | 1.72E+00 | 2.69E+00 | 6.14E-02 | 4.69E-03 | 1.03E-02 | 1.08E+00 | 2.02E+00 |
| 1.41E+00 | 2.13E+00 | 9.55E-01 | 8.50E-02 | 5.75E-03 | 1.47E-02 | 9.68E-01 | 1.85E+00 |
| 1.56E+00 | 2.10E+00 | 7.48E-01 | 6.82E-02 | 4.17E-03 | 1.29E-02 | 4.52E-01 | 9.30E-01 |
| 1.72E+00 | 2.93E+00 | 4.54E-01 | 5.78E-02 | 3.21E-03 | 9.11E-03 | 2.41E-01 | 6.30E-01 |
| 1.88E+00 | 1.84E+00 | 2.39E-01 | 1.65E-02 | 7.97E-04 | 4.06E-03 | 5.20E-02 | 1.29E-01 |
| 2.03E+00 | 1.49E+00 | 1.41E-01 | 7.00E-03 | 2.53E-04 | 1.58E-03 | 2.11E-02 | 5.41E-02 |
| 2.19E+00 | 1.35E+00 | 1.23E-01 | 3.72E-03 | 1.55E-04 | 6.50E-04 | 1.03E-02 | 2.73E-02 |
| 2.34E+00 | 1.14E+00 | 7.41E-02 | 1.27E-03 | 7.09E-05 | 3.18E-04 | 6.24E-03 | 9.80E-03 |
| 2.50E+00 | 8.49E-01 | 4.00E-02 | 8.25E-04 | 5.87E-05 | 1.72E-04 | 4.99E-03 | 7.36E-03 |
| 2.66E+00 | 6.02E-01 | 3.84E-02 | 1.21E-03 | 5.92E-05 | 1.92E-04 | 3.66E-03 | 5.77E-03 |
| 2.81E+00 | 4.04E-01 | 2.93E-02 | 1.88E-03 | 1.11E-04 | 1.78E-04 | 3.77E-03 | 5.72E-03 |
| 2.97E+00 | 2.28E-01 | 2.66E-02 | 2.57E-03 | 1.39E-04 | 1.72E-04 | 3.42E-03 | 4.72E-03 |
| 3.13E+00 | 1.78E-01 | 1.93E-02 | 3.15E-03 | 2.20E-04 | 2.62E-04 | 3.65E-03 | 5.22E-03 |
| 3.28E+00 | 1.25E-01 | 1.31E-02 | 3.00E-03 | 1.90E-04 | 2.54E-04 | 3.09E-03 | 3.46E-03 |
| 3.44E+00 | 1.26E-01 | 9.34E-03 | 2.47E-03 | 1.70E-04 | 2.01E-04 | 3.22E-03 | 3.21E-03 |
| 3.59E+00 | 9.63E-02 | 9.98E-03 | 1.64E-03 | 1.22E-04 | 1.64E-04 | 1.84E-03 | 2.00E-03 |
| 3.75E+00 | 6.09E-02 | 6.54E-03 | 1.31E-03 | 1.20E-04 | 1.68E-04 | 1.92E-03 | 1.63E-03 |
| 3.91E+00 | 6.57E-02 | 6.30E-03 | 1.25E-03 | 8.92E-05 | 1.63E-04 | 1.32E-03 | 1.68E-03 |
| 4.06E+00 | 3.70E-02 | 5.95E-03 | 7.00E-04 | 5.31E-05 | 1.05E-04 | 1.89E-03 | 1.11E-03 |
| 4.22E+00 | 2.61E-02 | 5.16E-03 | 5.07E-04 | 4.38E-05 | 8.34E-05 | 1.44E-03 | 1.11E-03 |
| 4.38E+00 | 2.52E-02 | 4.20E-03 | 3.89E-04 | 3.12E-05 | 6.91E-05 | 1.18E-03 | 1.05E-03 |
| 4.53E+00 | 2.24E-02 | 3.91E-03 | 2.50E-04 | 2.41E-05 | 5.60E-05 | 1.16E-03 | 8.35E-04 |
| 4.69E+00 | 1.88E-02 | 3.60E-03 | 2.02E-04 | 2.04E-05 | 5.07E-05 | 1.11E-03 | 7.54E-04 |
| 4.84E+00 | 1.19E-02 | 3.61E-03 | 1.67E-04 | 2.38E-05 | 5.08E-05 | 1.11E-03 | 7.68E-04 |
| 5.00E+00 | 1.32E-02 | 2.90E-03 | 1.62E-04 | 2.44E-05 | 4.86E-05 | 1.03E-03 | 7.05E-04 |
| 5.16E+00 | 1.09E-02 | 2.51E-03 | 1.45E-04 | 2.26E-05 | 5.39E-05 | 1.45E-03 | 6.18E-04 |
| 5.31E+00 | 6.91E-03 | 2.64E-03 | 1.11E-04 | 1.89E-05 | 3.82E-05 | 9.09E-04 | 6.55E-04 |
| 5.47E+00 | 6.05E-03 | 2.39E-03 | 9.08E-05 | 1.76E-05 | 3.13E-05 | 1.05E-03 | 5.20E-04 |
| 5.63E+00 | 3.59E-03 | 2.19E-03 | 8.13E-05 | 2.35E-05 | 3.91E-05 | 1.05E-03 | 6.03E-04 |
| 5.78E+00 | 5.24E-03 | 2.42E-03 | 7.75E-05 | 2.10E-05 | 2.98E-05 | 7.48E-04 | 5.47E-04 |
| 5.94E+00 | 3.46E-03 | 2.19E-03 | 7.44E-05 | 1.83E-05 | 3.62E-05 | 8.20E-04 | 4.56E-04 |
| 6.09E+00 | 3.63E-03 | 2.07E-03 | 8.69E-05 | 2.49E-05 | 2.55E-05 | 9.61E-04 | 5.02E-04 |
| 6.25E+00 | 2.77E-03 | 2.04E-03 | 9.07E-05 | 2.06E-05 | 3.48E-05 | 1.04E-03 | 4.85E-04 |
| 6.41E+00 | 2.42E-03 | 1.94E-03 | 5.33E-05 | 1.92E-05 | 3.43E-05 | 8.81E-04 | 4.30E-04 |
| 6.56E+00 | 2.33E-03 | 1.81E-03 | 5.28E-05 | 2.28E-05 | 2.01E-05 | 8.87E-04 | 3.90E-04 |
| 6.72E+00 | 2.60E-03 | 1.69E-03 | 5.30E-05 | 1.67E-05 | 2.47E-05 | 6.12E-04 | 3.70E-04 |
| 6.88E+00 | 2.08E-03 | 1.66E-03 | 3.38E-05 | 1.78E-05 | 2.36E-05 | 6.94E-04 | 3.86E-04 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 7.03E+00 | 1.83E-03 | 1.65E-03 | 3.28E-05 | 1.79E-05 | 2.52E-05 | 7.95E-04 | 3.70E-04 |
| 7.19E+00 | 1.60E-03 | 1.60E-03 | 4.08E-05 | 1.54E-05 | 2.97E-05 | 5.36E-04 | 3.66E-04 |
| 7.34E+00 | 1.46E-03 | 1.53E-03 | 3.12E-05 | 2.08E-05 | 2.30E-05 | 8.86E-04 | 3.60E-04 |
| 7.50E+00 | 2.01E-03 | 1.48E-03 | 3.46E-05 | 1.55E-05 | 2.87E-05 | 7.30E-04 | 3.20E-04 |
| 7.66E+00 | 1.55E-03 | 1.57E-03 | 3.20E-05 | 1.78E-05 | 2.40E-05 | 7.93E-04 | 3.18E-04 |
| 7.81E+00 | 1.47E-03 | 1.46E-03 | 3.33E-05 | 2.48E-05 | 2.58E-05 | 9.34E-04 | 3.30E-04 |
| 7.97E+00 | 1.32E-03 | 1.48E-03 | 2.59E-05 | 1.64E-05 | 2.24E-05 | 8.56E-04 | 3.09E-04 |
| 8.13E+00 | 1.38E-03 | 1.46E-03 | 2.94E-05 | 2.20E-05 | 1.98E-05 | 8.67E-04 | 3.21E-04 |
| 8.28E+00 | 1.20E-03 | 1.45E-03 | 3.21E-05 | 1.78E-05 | 2.68E-05 | 1.03E-03 | 3.20E-04 |
| 8.44E+00 | 1.22E-03 | 1.34E-03 | 3.77E-05 | 1.54E-05 | 2.30E-05 | 9.89E-04 | 2.97E-04 |
| 8.59E+00 | 1.29E-03 | 1.41E-03 | 3.69E-05 | 2.08E-05 | 1.78E-05 | 7.70E-04 | 2.99E-04 |
| 8.75E+00 | 1.07E-03 | 1.34E-03 | 2.70E-05 | 2.11E-05 | 2.87E-05 | 1.27E-03 | 3.43E-04 |
| 8.91E+00 | 1.07E-03 | 1.22E-03 | 3.07E-05 | 1.88E-05 | 2.92E-05 | 8.79E-04 | 3.18E-04 |
| 9.06E+00 | 1.23E-03 | 1.34E-03 | 3.68E-05 | 3.10E-05 | 3.21E-05 | 1.15E-03 | 2.97E-04 |
| 9.22E+00 | 1.28E-03 | 1.30E-03 | 3.71E-05 | 3.61E-05 | 4.01E-05 | 1.32E-03 | 3.10E-04 |
| 9.38E+00 | 1.33E-03 | 1.28E-03 | 3.79E-05 | 3.16E-05 | 3.42E-05 | 1.28E-03 | 3.07E-04 |
| 9.53E+00 | 1.20E-03 | 1.26E-03 | 4.65E-05 | 5.23E-05 | 5.54E-05 | 1.24E-03 | 3.43E-04 |
| 9.69E+00 | 1.32E-03 | 1.47E-03 | 8.10E-05 | 9.09E-05 | 1.04E-04 | 1.95E-03 | 3.30E-04 |
| 9.84E+00 | 1.51E-03 | 1.64E-03 | 1.14E-04 | 1.28E-04 | 1.04E-04 | 2.42E-03 | 3.74E-04 |

| | |
|-------------|-------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.34 |
| fasma | h010tp3.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 2.98E-01 | 3.77E-01 | 8.94E-04 | 8.65E-05 | 3.78E-04 | 2.43E-01 | 2.03E-01 |
| 1.56E-01 | 1.48E-01 | 1.84E-01 | 9.52E-04 | 1.86E-04 | 4.90E-04 | 1.50E-01 | 2.23E-01 |
| 3.13E-01 | 8.37E-02 | 2.43E-01 | 1.16E-03 | 1.18E-04 | 3.19E-04 | 1.10E-01 | 1.82E-01 |
| 4.69E-01 | 1.14E-01 | 9.98E-01 | 1.34E-03 | 1.75E-04 | 3.05E-04 | 9.80E-02 | 1.79E-01 |
| 6.25E-01 | 1.73E-01 | 6.22E+00 | 1.92E-03 | 2.02E-04 | 4.38E-04 | 1.64E-01 | 1.56E-01 |
| 7.81E-01 | 6.08E-01 | 1.11E+01 | 5.19E-03 | 8.04E-04 | 1.48E-03 | 7.22E-01 | 4.45E-01 |
| 9.38E-01 | 1.70E+00 | 9.39E+00 | 1.52E-02 | 2.20E-03 | 5.50E-03 | 1.50E+00 | 1.66E+00 |
| 1.09E+00 | 3.07E+00 | 3.89E+00 | 7.98E-02 | 6.66E-03 | 1.75E-02 | 2.70E+00 | 4.16E+00 |
| 1.25E+00 | 5.02E+00 | 2.44E+00 | 1.78E-01 | 1.48E-02 | 2.91E-02 | 3.45E+00 | 5.90E+00 |
| 1.41E+00 | 2.87E+00 | 1.29E+00 | 1.05E-01 | 7.99E-03 | 2.57E-02 | 1.45E+00 | 2.19E+00 |
| 1.56E+00 | 3.16E+00 | 9.19E-01 | 1.11E-01 | 7.52E-03 | 1.97E-02 | 9.23E-01 | 1.60E+00 |
| 1.72E+00 | 3.41E+00 | 4.01E-01 | 5.39E-02 | 3.68E-03 | 1.00E-02 | 2.97E-01 | 6.40E-01 |
| 1.88E+00 | 1.69E+00 | 3.06E-01 | 1.75E-02 | 9.91E-04 | 3.84E-03 | 8.17E-02 | 2.15E-01 |
| 2.03E+00 | 1.80E+00 | 2.28E-01 | 6.68E-03 | 3.74E-04 | 1.40E-03 | 4.00E-02 | 9.33E-02 |
| 2.19E+00 | 1.00E+00 | 1.31E-01 | 2.60E-03 | 1.91E-04 | 6.82E-04 | 2.21E-02 | 4.27E-02 |
| 2.34E+00 | 8.16E-01 | 9.67E-02 | 1.44E-03 | 1.14E-04 | 3.11E-04 | 1.19E-02 | 2.85E-02 |
| 2.50E+00 | 5.26E-01 | 7.26E-02 | 1.91E-03 | 1.01E-04 | 2.93E-04 | 1.12E-02 | 2.51E-02 |
| 2.66E+00 | 4.31E-01 | 6.51E-02 | 2.79E-03 | 1.89E-04 | 4.06E-04 | 9.65E-03 | 1.90E-02 |
| 2.81E+00 | 4.00E-01 | 4.79E-02 | 5.13E-03 | 2.51E-04 | 4.29E-04 | 1.05E-02 | 1.71E-02 |
| 2.97E+00 | 2.69E-01 | 3.78E-02 | 5.75E-03 | 4.22E-04 | 4.49E-04 | 8.89E-03 | 1.52E-02 |
| 3.13E+00 | 1.35E-01 | 2.55E-02 | 6.30E-03 | 3.02E-04 | 4.39E-04 | 8.86E-03 | 1.49E-02 |
| 3.28E+00 | 1.46E-01 | 2.89E-02 | 4.79E-03 | 3.62E-04 | 3.00E-04 | 5.90E-03 | 1.27E-02 |
| 3.44E+00 | 1.00E-01 | 1.96E-02 | 3.52E-03 | 3.22E-04 | 2.11E-04 | 5.99E-03 | 8.40E-03 |
| 3.59E+00 | 7.19E-02 | 1.86E-02 | 3.27E-03 | 2.40E-04 | 2.61E-04 | 3.85E-03 | 8.17E-03 |
| 3.75E+00 | 5.28E-02 | 1.88E-02 | 1.82E-03 | 1.40E-04 | 2.23E-04 | 3.72E-03 | 6.46E-03 |
| 3.91E+00 | 3.88E-02 | 1.47E-02 | 1.68E-03 | 1.05E-04 | 1.63E-04 | 3.30E-03 | 5.68E-03 |
| 4.06E+00 | 3.37E-02 | 1.47E-02 | 1.77E-03 | 1.02E-04 | 1.64E-04 | 3.22E-03 | 5.34E-03 |
| 4.22E+00 | 3.35E-02 | 1.11E-02 | 1.21E-03 | 9.83E-05 | 1.72E-04 | 2.87E-03 | 4.36E-03 |
| 4.38E+00 | 2.04E-02 | 1.00E-02 | 7.49E-04 | 7.28E-05 | 1.20E-04 | 2.69E-03 | 4.33E-03 |
| 4.53E+00 | 2.02E-02 | 1.01E-02 | 7.00E-04 | 5.80E-05 | 1.00E-04 | 2.40E-03 | 4.04E-03 |
| 4.69E+00 | 1.44E-02 | 9.43E-03 | 4.87E-04 | 5.21E-05 | 5.84E-05 | 2.22E-03 | 3.62E-03 |
| 4.84E+00 | 1.28E-02 | 8.86E-03 | 3.89E-04 | 4.69E-05 | 6.10E-05 | 2.04E-03 | 3.33E-03 |
| 5.00E+00 | 1.28E-02 | 8.61E-03 | 4.33E-04 | 4.87E-05 | 6.24E-05 | 2.28E-03 | 3.26E-03 |
| 5.16E+00 | 1.46E-02 | 7.39E-03 | 2.86E-04 | 3.45E-05 | 5.80E-05 | 1.72E-03 | 3.01E-03 |
| 5.31E+00 | 8.37E-03 | 7.43E-03 | 3.24E-04 | 4.50E-05 | 4.77E-05 | 1.73E-03 | 2.76E-03 |
| 5.47E+00 | 8.13E-03 | 7.41E-03 | 2.37E-04 | 3.53E-05 | 5.07E-05 | 1.69E-03 | 2.82E-03 |
| 5.63E+00 | 6.60E-03 | 5.92E-03 | 2.90E-04 | 4.49E-05 | 4.71E-05 | 1.75E-03 | 2.57E-03 |
| 5.78E+00 | 7.34E-03 | 6.14E-03 | 2.70E-04 | 3.81E-05 | 5.20E-05 | 1.39E-03 | 2.43E-03 |
| 5.94E+00 | 4.68E-03 | 5.67E-03 | 1.88E-04 | 2.97E-05 | 3.49E-05 | 1.51E-03 | 2.43E-03 |
| 6.09E+00 | 5.45E-03 | 5.48E-03 | 2.19E-04 | 3.57E-05 | 4.15E-05 | 1.26E-03 | 2.29E-03 |
| 6.25E+00 | 4.58E-03 | 5.51E-03 | 1.62E-04 | 3.44E-05 | 4.40E-05 | 1.51E-03 | 2.15E-03 |
| 6.41E+00 | 4.05E-03 | 5.01E-03 | 1.24E-04 | 2.59E-05 | 3.41E-05 | 1.17E-03 | 2.24E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 3.70E-03 | 5.02E-03 | 1.58E-04 | 2.31E-05 | 3.24E-05 | 1.42E-03 | 2.06E-03 |
| 6.72E+00 | 3.42E-03 | 4.73E-03 | 1.02E-04 | 2.56E-05 | 3.45E-05 | 1.43E-03 | 2.00E-03 |
| 6.88E+00 | 3.07E-03 | 4.60E-03 | 7.60E-05 | 2.43E-05 | 2.18E-05 | 1.25E-03 | 1.97E-03 |
| 7.03E+00 | 3.93E-03 | 4.55E-03 | 8.27E-05 | 2.58E-05 | 2.51E-05 | 1.27E-03 | 1.77E-03 |
| 7.19E+00 | 2.71E-03 | 4.69E-03 | 7.05E-05 | 2.73E-05 | 3.43E-05 | 1.59E-03 | 1.79E-03 |
| 7.34E+00 | 2.61E-03 | 4.53E-03 | 8.63E-05 | 2.80E-05 | 3.05E-05 | 1.16E-03 | 1.69E-03 |
| 7.50E+00 | 2.46E-03 | 4.30E-03 | 5.60E-05 | 2.62E-05 | 2.93E-05 | 1.58E-03 | 1.76E-03 |
| 7.66E+00 | 2.63E-03 | 4.31E-03 | 5.24E-05 | 2.61E-05 | 2.55E-05 | 1.25E-03 | 1.79E-03 |
| 7.81E+00 | 2.55E-03 | 4.00E-03 | 6.74E-05 | 2.88E-05 | 3.75E-05 | 1.55E-03 | 1.64E-03 |
| 7.97E+00 | 2.76E-03 | 4.18E-03 | 6.23E-05 | 1.91E-05 | 3.02E-05 | 1.28E-03 | 1.67E-03 |
| 8.13E+00 | 2.53E-03 | 3.81E-03 | 4.68E-05 | 2.19E-05 | 2.53E-05 | 1.14E-03 | 1.62E-03 |
| 8.28E+00 | 2.43E-03 | 4.07E-03 | 4.85E-05 | 2.29E-05 | 2.11E-05 | 1.21E-03 | 1.59E-03 |
| 8.44E+00 | 2.30E-03 | 3.85E-03 | 5.35E-05 | 3.24E-05 | 3.36E-05 | 1.32E-03 | 1.48E-03 |
| 8.59E+00 | 2.37E-03 | 3.95E-03 | 5.63E-05 | 2.78E-05 | 2.87E-05 | 1.20E-03 | 1.56E-03 |
| 8.75E+00 | 2.30E-03 | 3.96E-03 | 6.41E-05 | 2.87E-05 | 2.81E-05 | 1.33E-03 | 1.44E-03 |
| 8.91E+00 | 2.58E-03 | 3.82E-03 | 4.39E-05 | 2.58E-05 | 3.53E-05 | 1.32E-03 | 1.46E-03 |
| 9.06E+00 | 2.28E-03 | 3.93E-03 | 5.44E-05 | 2.58E-05 | 3.85E-05 | 1.08E-03 | 1.48E-03 |
| 9.22E+00 | 2.10E-03 | 3.66E-03 | 5.56E-05 | 3.79E-05 | 4.32E-05 | 1.42E-03 | 1.44E-03 |
| 9.38E+00 | 2.04E-03 | 3.63E-03 | 6.46E-05 | 5.20E-05 | 6.13E-05 | 1.45E-03 | 1.54E-03 |
| 9.53E+00 | 2.20E-03 | 3.71E-03 | 7.83E-05 | 7.94E-05 | 6.58E-05 | 1.75E-03 | 1.54E-03 |
| 9.69E+00 | 2.30E-03 | 4.00E-03 | 1.39E-04 | 1.09E-04 | 1.09E-04 | 2.57E-03 | 1.51E-03 |
| 9.84E+00 | 2.70E-03 | 3.92E-03 | 1.14E-04 | 1.61E-04 | 1.12E-04 | 3.51E-03 | 1.65E-03 |

| | |
|-------------|--------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.34 |
| fasma | h011tp35.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 4.04E-01 | 9.96E-01 | 1.66E-03 | 3.05E-04 | 1.24E-03 | 3.25E-01 | 2.63E-01 |
| 1.56E-01 | 2.18E-01 | 4.13E-01 | 1.67E-03 | 4.97E-04 | 6.64E-04 | 2.16E-01 | 3.12E-01 |
| 3.13E-01 | 1.71E-01 | 7.14E-01 | 1.98E-03 | 3.72E-04 | 7.38E-04 | 1.92E-01 | 2.41E-01 |
| 4.69E-01 | 2.90E-01 | 5.28E+00 | 2.60E-03 | 3.43E-04 | 6.29E-04 | 2.44E-01 | 2.27E-01 |
| 6.25E-01 | 1.46E+00 | 9.91E+00 | 4.05E-03 | 6.60E-04 | 1.19E-03 | 9.32E-01 | 4.15E-01 |
| 7.81E-01 | 3.10E+00 | 1.39E+01 | 1.15E-02 | 2.67E-03 | 5.62E-03 | 3.27E+00 | 1.73E+00 |
| 9.38E-01 | 5.40E+00 | 5.94E+00 | 6.56E-02 | 6.86E-03 | 1.56E-02 | 5.03E+00 | 6.06E+00 |
| 1.09E+00 | 5.32E+00 | 5.64E+00 | 1.15E-01 | 1.08E-02 | 2.54E-02 | 3.93E+00 | 5.73E+00 |
| 1.25E+00 | 4.64E+00 | 1.79E+00 | 1.36E-01 | 1.00E-02 | 2.47E-02 | 2.77E+00 | 4.56E+00 |
| 1.41E+00 | 4.29E+00 | 1.14E+00 | 1.54E-01 | 1.42E-02 | 3.08E-02 | 2.06E+00 | 3.28E+00 |
| 1.56E+00 | 3.23E+00 | 6.44E-01 | 9.82E-02 | 6.76E-03 | 1.66E-02 | 9.87E-01 | 1.59E+00 |
| 1.72E+00 | 2.28E+00 | 3.30E-01 | 4.15E-02 | 3.06E-03 | 8.47E-03 | 3.20E-01 | 5.16E-01 |
| 1.88E+00 | 1.37E+00 | 2.69E-01 | 1.30E-02 | 7.41E-04 | 2.68E-03 | 8.93E-02 | 1.63E-01 |
| 2.03E+00 | 1.20E+00 | 1.67E-01 | 7.97E-03 | 4.47E-04 | 1.88E-03 | 5.50E-02 | 8.71E-02 |
| 2.19E+00 | 8.12E-01 | 1.10E-01 | 3.08E-03 | 2.00E-04 | 7.54E-04 | 3.29E-02 | 4.58E-02 |
| 2.34E+00 | 6.09E-01 | 6.66E-02 | 2.18E-03 | 1.19E-04 | 5.26E-04 | 2.44E-02 | 3.06E-02 |
| 2.50E+00 | 5.30E-01 | 6.55E-02 | 3.06E-03 | 1.29E-04 | 3.43E-04 | 1.85E-02 | 2.68E-02 |
| 2.66E+00 | 2.57E-01 | 4.66E-02 | 4.37E-03 | 2.05E-04 | 3.75E-04 | 1.73E-02 | 2.38E-02 |
| 2.81E+00 | 2.01E-01 | 4.19E-02 | 5.16E-03 | 2.47E-04 | 4.52E-04 | 1.64E-02 | 1.92E-02 |
| 2.97E+00 | 1.52E-01 | 3.71E-02 | 5.45E-03 | 2.85E-04 | 3.34E-04 | 1.28E-02 | 1.80E-02 |
| 3.13E+00 | 1.76E-01 | 2.83E-02 | 4.31E-03 | 3.01E-04 | 4.11E-04 | 1.11E-02 | 1.51E-02 |
| 3.28E+00 | 1.21E-01 | 2.40E-02 | 3.21E-03 | 2.45E-04 | 2.88E-04 | 8.78E-03 | 9.71E-03 |
| 3.44E+00 | 1.11E-01 | 1.87E-02 | 2.22E-03 | 1.62E-04 | 2.39E-04 | 8.64E-03 | 9.56E-03 |
| 3.59E+00 | 5.62E-02 | 1.95E-02 | 3.14E-03 | 2.15E-04 | 2.59E-04 | 6.74E-03 | 8.79E-03 |
| 3.75E+00 | 6.41E-02 | 1.72E-02 | 2.28E-03 | 2.02E-04 | 2.68E-04 | 5.97E-03 | 7.07E-03 |
| 3.91E+00 | 3.46E-02 | 1.54E-02 | 1.71E-03 | 1.18E-04 | 1.97E-04 | 5.62E-03 | 5.97E-03 |
| 4.06E+00 | 3.38E-02 | 1.25E-02 | 1.51E-03 | 1.08E-04 | 1.68E-04 | 4.25E-03 | 5.71E-03 |
| 4.22E+00 | 2.90E-02 | 1.16E-02 | 1.11E-03 | 6.80E-05 | 1.47E-04 | 4.41E-03 | 5.14E-03 |
| 4.38E+00 | 2.39E-02 | 1.14E-02 | 9.56E-04 | 6.33E-05 | 1.27E-04 | 4.43E-03 | 4.86E-03 |
| 4.53E+00 | 1.91E-02 | 9.90E-03 | 7.46E-04 | 7.20E-05 | 1.04E-04 | 3.89E-03 | 4.27E-03 |
| 4.69E+00 | 1.60E-02 | 8.90E-03 | 5.35E-04 | 4.12E-05 | 8.78E-05 | 4.00E-03 | 4.22E-03 |
| 4.84E+00 | 1.54E-02 | 8.02E-03 | 4.34E-04 | 3.03E-05 | 7.22E-05 | 3.74E-03 | 3.78E-03 |
| 5.00E+00 | 1.06E-02 | 7.68E-03 | 3.38E-04 | 3.94E-05 | 6.53E-05 | 3.76E-03 | 3.54E-03 |
| 5.16E+00 | 8.19E-03 | 7.65E-03 | 3.62E-04 | 3.64E-05 | 6.50E-05 | 3.47E-03 | 3.30E-03 |
| 5.31E+00 | 7.59E-03 | 6.87E-03 | 3.97E-04 | 4.29E-05 | 6.62E-05 | 2.94E-03 | 3.21E-03 |
| 5.47E+00 | 6.56E-03 | 6.93E-03 | 3.54E-04 | 4.19E-05 | 5.54E-05 | 2.81E-03 | 3.00E-03 |
| 5.63E+00 | 6.86E-03 | 6.22E-03 | 3.25E-04 | 3.80E-05 | 6.26E-05 | 2.83E-03 | 2.92E-03 |
| 5.78E+00 | 5.62E-03 | 5.76E-03 | 3.00E-04 | 4.05E-05 | 6.37E-05 | 2.87E-03 | 2.55E-03 |
| 5.94E+00 | 4.28E-03 | 5.66E-03 | 2.34E-04 | 4.60E-05 | 6.16E-05 | 2.42E-03 | 2.65E-03 |
| 6.09E+00 | 4.04E-03 | 5.67E-03 | 2.29E-04 | 3.51E-05 | 3.16E-05 | 2.51E-03 | 2.33E-03 |
| 6.25E+00 | 4.40E-03 | 5.43E-03 | 2.15E-04 | 2.49E-05 | 6.39E-05 | 2.48E-03 | 2.45E-03 |
| 6.41E+00 | 3.82E-03 | 4.97E-03 | 1.87E-04 | 3.07E-05 | 4.75E-05 | 2.43E-03 | 2.19E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 2.86E-03 | 4.88E-03 | 1.47E-04 | 3.85E-05 | 3.90E-05 | 2.29E-03 | 2.26E-03 |
| 6.72E+00 | 3.13E-03 | 4.81E-03 | 1.65E-04 | 2.62E-05 | 4.45E-05 | 1.85E-03 | 2.04E-03 |
| 6.88E+00 | 2.95E-03 | 4.66E-03 | 1.59E-04 | 3.05E-05 | 4.85E-05 | 2.38E-03 | 1.99E-03 |
| 7.03E+00 | 2.31E-03 | 4.81E-03 | 1.27E-04 | 2.73E-05 | 4.04E-05 | 2.08E-03 | 1.91E-03 |
| 7.19E+00 | 2.46E-03 | 4.73E-03 | 9.85E-05 | 2.88E-05 | 3.11E-05 | 2.08E-03 | 2.06E-03 |
| 7.34E+00 | 2.48E-03 | 4.45E-03 | 1.15E-04 | 2.50E-05 | 3.66E-05 | 1.98E-03 | 1.84E-03 |
| 7.50E+00 | 2.25E-03 | 4.02E-03 | 1.02E-04 | 2.38E-05 | 3.65E-05 | 2.03E-03 | 1.90E-03 |
| 7.66E+00 | 2.10E-03 | 4.20E-03 | 8.67E-05 | 2.19E-05 | 3.12E-05 | 1.88E-03 | 1.64E-03 |
| 7.81E+00 | 2.08E-03 | 4.07E-03 | 8.36E-05 | 2.71E-05 | 3.41E-05 | 1.87E-03 | 1.82E-03 |
| 7.97E+00 | 2.22E-03 | 4.34E-03 | 8.52E-05 | 2.39E-05 | 3.55E-05 | 1.92E-03 | 1.69E-03 |
| 8.13E+00 | 2.09E-03 | 3.99E-03 | 7.38E-05 | 2.88E-05 | 3.67E-05 | 2.04E-03 | 1.76E-03 |
| 8.28E+00 | 2.16E-03 | 3.85E-03 | 9.28E-05 | 2.52E-05 | 3.66E-05 | 2.07E-03 | 1.67E-03 |
| 8.44E+00 | 1.94E-03 | 3.84E-03 | 7.96E-05 | 2.72E-05 | 2.75E-05 | 1.81E-03 | 1.68E-03 |
| 8.59E+00 | 1.95E-03 | 3.83E-03 | 8.03E-05 | 3.46E-05 | 3.78E-05 | 1.71E-03 | 1.48E-03 |
| 8.75E+00 | 1.95E-03 | 3.85E-03 | 7.13E-05 | 3.16E-05 | 5.44E-05 | 2.13E-03 | 1.65E-03 |
| 8.91E+00 | 1.71E-03 | 3.77E-03 | 8.68E-05 | 2.96E-05 | 4.62E-05 | 2.22E-03 | 1.51E-03 |
| 9.06E+00 | 1.95E-03 | 3.64E-03 | 5.66E-05 | 3.18E-05 | 4.83E-05 | 2.24E-03 | 1.66E-03 |
| 9.22E+00 | 1.78E-03 | 3.65E-03 | 7.56E-05 | 5.22E-05 | 5.62E-05 | 1.95E-03 | 1.47E-03 |
| 9.38E+00 | 1.89E-03 | 3.56E-03 | 7.38E-05 | 4.78E-05 | 5.60E-05 | 2.30E-03 | 1.73E-03 |
| 9.53E+00 | 2.13E-03 | 3.95E-03 | 1.00E-04 | 6.44E-05 | 6.99E-05 | 2.60E-03 | 1.46E-03 |
| 9.69E+00 | 1.96E-03 | 3.89E-03 | 1.69E-04 | 9.05E-05 | 1.29E-04 | 3.15E-03 | 1.74E-03 |
| 9.84E+00 | 2.00E-03 | 3.53E-03 | 1.18E-04 | 1.19E-04 | 1.52E-04 | 3.92E-03 | 1.53E-03 |

| | |
|-------------|-------------|
| Fn | 0.34 |
| fasma | h012tp4.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 3.63E-01 | 6.98E-01 | 9.56E-04 | 3.47E-04 | 6.61E-04 | 3.46E-01 | 3.03E-01 |
| 1.56E-01 | 2.76E-01 | 6.69E-01 | 1.04E-03 | 3.79E-04 | 7.42E-04 | 3.12E-01 | 3.71E-01 |
| 3.13E-01 | 3.16E-01 | 1.68E+00 | 1.41E-03 | 3.77E-04 | 7.65E-04 | 3.82E-01 | 2.59E-01 |
| 4.69E-01 | 8.98E-01 | 1.29E+01 | 2.32E-03 | 6.22E-04 | 9.78E-04 | 9.02E-01 | 3.62E-01 |
| 6.25E-01 | 5.08E+00 | 1.93E+01 | 6.89E-03 | 2.24E-03 | 4.10E-03 | 4.76E+00 | 1.64E+00 |
| 7.81E-01 | 7.20E+00 | 1.03E+01 | 2.60E-02 | 5.59E-03 | 9.65E-03 | 7.70E+00 | 4.34E+00 |
| 9.38E-01 | 6.66E+00 | 6.58E+00 | 5.48E-02 | 5.53E-03 | 1.47E-02 | 6.42E+00 | 6.58E+00 |
| 1.09E+00 | 6.58E+00 | 3.49E+00 | 1.36E-01 | 1.41E-02 | 3.33E-02 | 4.43E+00 | 7.33E+00 |
| 1.25E+00 | 5.29E+00 | 1.62E+00 | 1.84E-01 | 1.39E-02 | 3.43E-02 | 3.88E+00 | 6.51E+00 |
| 1.41E+00 | 3.27E+00 | 9.67E-01 | 1.44E-01 | 1.08E-02 | 2.51E-02 | 2.06E+00 | 3.17E+00 |
| 1.56E+00 | 2.56E+00 | 4.68E-01 | 5.43E-02 | 3.59E-03 | 9.58E-03 | 6.42E-01 | 9.10E-01 |
| 1.72E+00 | 1.58E+00 | 3.06E-01 | 2.20E-02 | 1.83E-03 | 5.50E-03 | 1.73E-01 | 3.15E-01 |
| 1.88E+00 | 1.25E+00 | 2.01E-01 | 1.10E-02 | 9.84E-04 | 2.55E-03 | 6.84E-02 | 1.29E-01 |
| 2.03E+00 | 7.66E-01 | 1.13E-01 | 5.81E-03 | 4.20E-04 | 8.15E-04 | 4.67E-02 | 5.20E-02 |
| 2.19E+00 | 5.87E-01 | 8.97E-02 | 2.92E-03 | 2.39E-04 | 5.91E-04 | 3.31E-02 | 3.97E-02 |
| 2.34E+00 | 3.78E-01 | 6.84E-02 | 1.80E-03 | 1.33E-04 | 3.19E-04 | 2.42E-02 | 2.45E-02 |
| 2.50E+00 | 3.77E-01 | 5.24E-02 | 2.03E-03 | 1.14E-04 | 2.90E-04 | 1.95E-02 | 2.06E-02 |
| 2.66E+00 | 3.27E-01 | 4.99E-02 | 3.22E-03 | 1.96E-04 | 3.85E-04 | 1.80E-02 | 1.73E-02 |
| 2.81E+00 | 2.14E-01 | 3.87E-02 | 3.75E-03 | 2.47E-04 | 3.47E-04 | 1.78E-02 | 1.80E-02 |
| 2.97E+00 | 1.70E-01 | 3.27E-02 | 3.99E-03 | 2.72E-04 | 2.74E-04 | 1.64E-02 | 1.18E-02 |
| 3.13E+00 | 1.03E-01 | 2.52E-02 | 3.48E-03 | 2.55E-04 | 2.97E-04 | 1.19E-02 | 1.09E-02 |
| 3.28E+00 | 9.51E-02 | 2.34E-02 | 3.30E-03 | 1.84E-04 | 2.32E-04 | 1.04E-02 | 1.04E-02 |
| 3.44E+00 | 8.68E-02 | 1.91E-02 | 2.39E-03 | 2.09E-04 | 1.95E-04 | 8.56E-03 | 7.60E-03 |
| 3.59E+00 | 7.85E-02 | 1.78E-02 | 2.67E-03 | 1.64E-04 | 2.08E-04 | 7.70E-03 | 8.52E-03 |
| 3.75E+00 | 5.00E-02 | 1.54E-02 | 2.09E-03 | 1.07E-04 | 1.81E-04 | 6.95E-03 | 6.95E-03 |
| 3.91E+00 | 2.57E-02 | 1.36E-02 | 1.45E-03 | 1.12E-04 | 1.71E-04 | 7.14E-03 | 5.40E-03 |
| 4.06E+00 | 3.77E-02 | 1.28E-02 | 1.13E-03 | 8.55E-05 | 1.57E-04 | 6.89E-03 | 5.22E-03 |
| 4.22E+00 | 2.40E-02 | 1.22E-02 | 9.10E-04 | 5.97E-05 | 1.01E-04 | 5.34E-03 | 4.68E-03 |
| 4.38E+00 | 2.88E-02 | 1.10E-02 | 8.37E-04 | 8.12E-05 | 7.84E-05 | 4.88E-03 | 4.00E-03 |
| 4.53E+00 | 1.86E-02 | 1.03E-02 | 3.56E-04 | 3.71E-05 | 9.06E-05 | 4.66E-03 | 4.10E-03 |
| 4.69E+00 | 1.58E-02 | 9.36E-03 | 2.79E-04 | 3.58E-05 | 4.60E-05 | 4.41E-03 | 3.88E-03 |
| 4.84E+00 | 1.22E-02 | 9.24E-03 | 4.01E-04 | 3.60E-05 | 5.25E-05 | 3.94E-03 | 3.32E-03 |
| 5.00E+00 | 9.91E-03 | 8.57E-03 | 3.93E-04 | 3.37E-05 | 4.33E-05 | 4.10E-03 | 3.21E-03 |
| 5.16E+00 | 1.06E-02 | 8.48E-03 | 2.63E-04 | 4.06E-05 | 5.97E-05 | 3.78E-03 | 3.03E-03 |
| 5.31E+00 | 7.81E-03 | 8.05E-03 | 2.33E-04 | 2.62E-05 | 4.27E-05 | 3.87E-03 | 3.02E-03 |
| 5.47E+00 | 7.73E-03 | 7.46E-03 | 3.84E-04 | 4.29E-05 | 5.09E-05 | 3.50E-03 | 2.82E-03 |
| 5.63E+00 | 6.36E-03 | 7.32E-03 | 3.21E-04 | 4.14E-05 | 5.37E-05 | 3.30E-03 | 2.71E-03 |
| 5.78E+00 | 6.58E-03 | 6.78E-03 | 2.44E-04 | 2.99E-05 | 4.26E-05 | 3.42E-03 | 2.62E-03 |
| 5.94E+00 | 6.39E-03 | 6.71E-03 | 2.13E-04 | 3.16E-05 | 3.62E-05 | 3.25E-03 | 2.47E-03 |
| 6.09E+00 | 6.31E-03 | 6.68E-03 | 2.53E-04 | 2.89E-05 | 4.88E-05 | 3.18E-03 | 2.34E-03 |
| 6.25E+00 | 5.41E-03 | 6.09E-03 | 1.95E-04 | 3.29E-05 | 4.37E-05 | 3.02E-03 | 2.17E-03 |
| 6.41E+00 | 5.07E-03 | 5.93E-03 | 1.10E-04 | 1.70E-05 | 3.41E-05 | 3.00E-03 | 2.19E-03 |
| 6.56E+00 | 5.42E-03 | 5.82E-03 | 1.03E-04 | 1.76E-05 | 3.50E-05 | 2.75E-03 | 2.12E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.72E+00 | 4.88E-03 | 5.50E-03 | 1.25E-04 | 2.49E-05 | 3.03E-05 | 2.80E-03 | 1.96E-03 |
| 6.88E+00 | 4.82E-03 | 5.37E-03 | 1.15E-04 | 2.64E-05 | 2.76E-05 | 2.88E-03 | 1.90E-03 |
| 7.03E+00 | 4.73E-03 | 5.22E-03 | 7.60E-05 | 2.50E-05 | 2.89E-05 | 2.34E-03 | 1.89E-03 |
| 7.19E+00 | 4.61E-03 | 5.22E-03 | 1.01E-04 | 2.02E-05 | 2.66E-05 | 2.74E-03 | 1.82E-03 |
| 7.34E+00 | 4.13E-03 | 4.96E-03 | 1.05E-04 | 2.05E-05 | 3.31E-05 | 2.20E-03 | 1.78E-03 |
| 7.50E+00 | 4.44E-03 | 5.27E-03 | 8.62E-05 | 1.69E-05 | 3.27E-05 | 2.53E-03 | 1.70E-03 |
| 7.66E+00 | 4.23E-03 | 4.89E-03 | 7.68E-05 | 2.01E-05 | 2.93E-05 | 2.26E-03 | 1.70E-03 |
| 7.81E+00 | 4.07E-03 | 4.83E-03 | 7.03E-05 | 2.19E-05 | 2.89E-05 | 2.44E-03 | 1.73E-03 |
| 7.97E+00 | 3.79E-03 | 4.69E-03 | 6.65E-05 | 2.94E-05 | 2.75E-05 | 2.23E-03 | 1.65E-03 |
| 8.13E+00 | 4.00E-03 | 4.61E-03 | 6.55E-05 | 2.43E-05 | 2.59E-05 | 2.21E-03 | 1.63E-03 |
| 8.28E+00 | 3.58E-03 | 4.45E-03 | 6.46E-05 | 2.48E-05 | 3.17E-05 | 2.14E-03 | 1.61E-03 |
| 8.44E+00 | 3.81E-03 | 4.56E-03 | 8.45E-05 | 2.33E-05 | 2.09E-05 | 2.20E-03 | 1.62E-03 |
| 8.59E+00 | 3.80E-03 | 4.48E-03 | 7.27E-05 | 2.53E-05 | 2.34E-05 | 2.22E-03 | 1.58E-03 |
| 8.75E+00 | 3.66E-03 | 4.53E-03 | 6.06E-05 | 2.60E-05 | 2.64E-05 | 2.26E-03 | 1.51E-03 |
| 8.91E+00 | 3.26E-03 | 4.33E-03 | 5.98E-05 | 3.06E-05 | 3.06E-05 | 2.17E-03 | 1.58E-03 |
| 9.06E+00 | 3.83E-03 | 4.28E-03 | 7.10E-05 | 3.35E-05 | 3.61E-05 | 2.59E-03 | 1.61E-03 |
| 9.22E+00 | 3.85E-03 | 4.10E-03 | 6.07E-05 | 3.76E-05 | 5.30E-05 | 2.15E-03 | 1.55E-03 |
| 9.38E+00 | 3.68E-03 | 4.28E-03 | 6.01E-05 | 4.22E-05 | 8.47E-05 | 3.06E-03 | 1.47E-03 |
| 9.53E+00 | 3.53E-03 | 4.14E-03 | 9.37E-05 | 7.57E-05 | 7.67E-05 | 3.98E-03 | 1.54E-03 |
| 9.69E+00 | 3.94E-03 | 4.84E-03 | 1.77E-04 | 1.45E-04 | 1.64E-04 | 5.23E-03 | 1.62E-03 |
| 9.84E+00 | 3.73E-03 | 4.67E-03 | 1.61E-04 | 1.31E-04 | 1.87E-04 | 4.19E-03 | 1.50E-03 |

| | |
|-------------|---------|
| Fn | 0.34 |
| fasma | htp.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 4.73E-01 | 8.82E-01 | 1.02E-03 | 2.91E-04 | 8.34E-04 | 3.76E-01 | 4.32E-01 |
| 1.56E-01 | 5.80E-01 | 7.57E-01 | 1.10E-03 | 4.02E-04 | 5.16E-04 | 5.62E-01 | 4.09E-01 |
| 3.13E-01 | 6.38E-01 | 4.02E+00 | 1.37E-03 | 5.48E-04 | 5.18E-04 | 6.55E-01 | 3.53E-01 |
| 4.69E-01 | 4.58E+00 | 2.28E+01 | 2.56E-03 | 8.11E-04 | 9.01E-04 | 3.33E+00 | 5.68E-01 |
| 6.25E-01 | 1.07E+01 | 1.68E+01 | 8.09E-03 | 3.47E-03 | 5.27E-03 | 1.15E+01 | 2.39E+00 |
| 7.81E-01 | 1.12E+01 | 1.18E+01 | 3.38E-02 | 8.12E-03 | 1.49E-02 | 1.10E+01 | 6.64E+00 |
| 9.38E-01 | 8.83E+00 | 5.37E+00 | 7.61E-02 | 9.95E-03 | 2.20E-02 | 8.37E+00 | 8.39E+00 |
| 1.09E+00 | 7.10E+00 | 2.74E+00 | 1.33E-01 | 1.14E-02 | 3.23E-02 | 5.54E+00 | 8.01E+00 |
| 1.25E+00 | 5.34E+00 | 1.56E+00 | 1.65E-01 | 1.46E-02 | 2.98E-02 | 3.68E+00 | 5.88E+00 |
| 1.41E+00 | 2.87E+00 | 6.29E-01 | 1.20E-01 | 1.01E-02 | 2.26E-02 | 1.71E+00 | 2.69E+00 |
| 1.56E+00 | 2.41E+00 | 2.61E-01 | 7.50E-02 | 5.03E-03 | 1.16E-02 | 7.31E-01 | 1.14E+00 |
| 1.72E+00 | 1.29E+00 | 1.64E-01 | 2.66E-02 | 1.96E-03 | 5.26E-03 | 1.83E-01 | 3.34E-01 |
| 1.88E+00 | 1.21E+00 | 1.20E-01 | 9.35E-03 | 6.64E-04 | 2.42E-03 | 9.48E-02 | 1.35E-01 |
| 2.03E+00 | 8.62E-01 | 9.98E-02 | 5.35E-03 | 3.26E-04 | 1.07E-03 | 5.60E-02 | 5.92E-02 |
| 2.19E+00 | 5.76E-01 | 6.33E-02 | 2.71E-03 | 2.57E-04 | 5.01E-04 | 3.80E-02 | 4.37E-02 |
| 2.34E+00 | 4.83E-01 | 4.84E-02 | 1.81E-03 | 1.25E-04 | 3.10E-04 | 3.05E-02 | 2.92E-02 |
| 2.50E+00 | 3.89E-01 | 4.28E-02 | 2.19E-03 | 9.85E-05 | 3.72E-04 | 2.34E-02 | 2.47E-02 |
| 2.66E+00 | 3.12E-01 | 4.10E-02 | 3.10E-03 | 1.16E-04 | 3.38E-04 | 2.23E-02 | 2.50E-02 |
| 2.81E+00 | 1.40E-01 | 3.29E-02 | 3.83E-03 | 2.10E-04 | 4.09E-04 | 2.18E-02 | 2.13E-02 |
| 2.97E+00 | 1.44E-01 | 2.55E-02 | 4.01E-03 | 2.50E-04 | 3.05E-04 | 1.89E-02 | 1.90E-02 |
| 3.13E+00 | 1.01E-01 | 2.43E-02 | 3.58E-03 | 2.73E-04 | 3.58E-04 | 1.54E-02 | 1.62E-02 |
| 3.28E+00 | 9.01E-02 | 1.89E-02 | 3.84E-03 | 2.50E-04 | 3.88E-04 | 1.43E-02 | 1.22E-02 |
| 3.44E+00 | 9.21E-02 | 1.91E-02 | 3.07E-03 | 2.27E-04 | 2.82E-04 | 1.24E-02 | 1.13E-02 |
| 3.59E+00 | 6.26E-02 | 1.78E-02 | 2.13E-03 | 1.54E-04 | 2.38E-04 | 1.02E-02 | 1.00E-02 |
| 3.75E+00 | 3.92E-02 | 1.50E-02 | 2.32E-03 | 1.35E-04 | 2.63E-04 | 1.08E-02 | 1.02E-02 |
| 3.91E+00 | 2.45E-02 | 1.38E-02 | 2.10E-03 | 1.52E-04 | 1.55E-04 | 8.44E-03 | 8.07E-03 |
| 4.06E+00 | 2.38E-02 | 1.37E-02 | 1.21E-03 | 8.72E-05 | 1.84E-04 | 7.62E-03 | 6.74E-03 |
| 4.22E+00 | 2.37E-02 | 1.23E-02 | 8.89E-04 | 7.60E-05 | 1.50E-04 | 7.95E-03 | 6.34E-03 |
| 4.38E+00 | 1.75E-02 | 1.14E-02 | 6.54E-04 | 6.02E-05 | 1.24E-04 | 6.55E-03 | 6.33E-03 |
| 4.53E+00 | 1.64E-02 | 1.07E-02 | 5.30E-04 | 7.12E-05 | 8.31E-05 | 7.46E-03 | 5.66E-03 |
| 4.69E+00 | 1.36E-02 | 1.02E-02 | 3.69E-04 | 5.38E-05 | 6.93E-05 | 6.82E-03 | 5.29E-03 |
| 4.84E+00 | 1.40E-02 | 9.39E-03 | 3.22E-04 | 3.68E-05 | 6.35E-05 | 5.76E-03 | 4.81E-03 |
| 5.00E+00 | 1.05E-02 | 8.89E-03 | 3.40E-04 | 4.73E-05 | 5.73E-05 | 6.06E-03 | 4.67E-03 |
| 5.16E+00 | 1.08E-02 | 8.93E-03 | 2.38E-04 | 4.43E-05 | 7.73E-05 | 5.20E-03 | 4.61E-03 |
| 5.31E+00 | 9.39E-03 | 8.77E-03 | 3.16E-04 | 4.27E-05 | 7.49E-05 | 5.35E-03 | 4.12E-03 |
| 5.47E+00 | 1.09E-02 | 7.64E-03 | 2.74E-04 | 3.68E-05 | 5.94E-05 | 4.97E-03 | 4.05E-03 |
| 5.63E+00 | 8.71E-03 | 7.68E-03 | 2.74E-04 | 3.58E-05 | 6.06E-05 | 4.27E-03 | 3.86E-03 |
| 5.78E+00 | 8.49E-03 | 7.58E-03 | 2.19E-04 | 4.67E-05 | 8.44E-05 | 4.26E-03 | 3.62E-03 |
| 5.94E+00 | 7.91E-03 | 6.81E-03 | 2.71E-04 | 4.89E-05 | 4.17E-05 | 4.41E-03 | 3.62E-03 |
| 6.09E+00 | 7.30E-03 | 6.52E-03 | 2.18E-04 | 4.46E-05 | 4.63E-05 | 4.28E-03 | 3.26E-03 |
| 6.25E+00 | 7.28E-03 | 6.44E-03 | 1.64E-04 | 3.59E-05 | 7.53E-05 | 4.04E-03 | 3.16E-03 |
| 6.41E+00 | 6.45E-03 | 6.33E-03 | 1.59E-04 | 3.57E-05 | 5.81E-05 | 4.15E-03 | 3.25E-03 |
| 6.56E+00 | 6.43E-03 | 5.90E-03 | 1.51E-04 | 2.99E-05 | 4.89E-05 | 3.60E-03 | 3.10E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.72E+00 | 6.57E-03 | 6.12E-03 | 1.26E-04 | 3.96E-05 | 6.18E-05 | 4.20E-03 | 2.93E-03 |
| 6.88E+00 | 5.87E-03 | 5.62E-03 | 1.03E-04 | 2.72E-05 | 4.96E-05 | 3.72E-03 | 2.91E-03 |
| 7.03E+00 | 5.54E-03 | 5.61E-03 | 6.61E-05 | 2.68E-05 | 4.82E-05 | 3.56E-03 | 2.73E-03 |
| 7.19E+00 | 5.87E-03 | 5.24E-03 | 7.65E-05 | 2.47E-05 | 3.24E-05 | 3.17E-03 | 2.67E-03 |
| 7.34E+00 | 5.32E-03 | 5.30E-03 | 7.75E-05 | 2.19E-05 | 5.40E-05 | 3.82E-03 | 2.66E-03 |
| 7.50E+00 | 5.38E-03 | 5.31E-03 | 7.63E-05 | 2.60E-05 | 5.41E-05 | 3.08E-03 | 2.65E-03 |
| 7.66E+00 | 5.24E-03 | 5.14E-03 | 6.75E-05 | 2.83E-05 | 4.49E-05 | 3.50E-03 | 2.54E-03 |
| 7.81E+00 | 5.37E-03 | 4.84E-03 | 7.09E-05 | 3.02E-05 | 5.09E-05 | 3.17E-03 | 2.42E-03 |
| 7.97E+00 | 4.94E-03 | 5.17E-03 | 7.22E-05 | 3.25E-05 | 3.36E-05 | 2.77E-03 | 2.50E-03 |
| 8.13E+00 | 4.72E-03 | 4.75E-03 | 5.48E-05 | 2.60E-05 | 3.34E-05 | 3.35E-03 | 2.43E-03 |
| 8.28E+00 | 4.91E-03 | 4.74E-03 | 8.62E-05 | 3.11E-05 | 4.47E-05 | 3.78E-03 | 2.39E-03 |
| 8.44E+00 | 5.11E-03 | 4.69E-03 | 5.49E-05 | 2.58E-05 | 5.48E-05 | 2.82E-03 | 2.43E-03 |
| 8.59E+00 | 4.79E-03 | 4.57E-03 | 6.34E-05 | 2.61E-05 | 4.22E-05 | 2.92E-03 | 2.41E-03 |
| 8.75E+00 | 4.96E-03 | 4.88E-03 | 7.11E-05 | 3.01E-05 | 6.45E-05 | 3.17E-03 | 2.33E-03 |
| 8.91E+00 | 4.59E-03 | 4.64E-03 | 5.57E-05 | 2.88E-05 | 6.82E-05 | 3.15E-03 | 2.45E-03 |
| 9.06E+00 | 4.79E-03 | 4.53E-03 | 4.58E-05 | 4.21E-05 | 4.99E-05 | 3.03E-03 | 2.23E-03 |
| 9.22E+00 | 4.63E-03 | 4.67E-03 | 7.64E-05 | 4.53E-05 | 9.09E-05 | 3.77E-03 | 2.08E-03 |
| 9.38E+00 | 4.40E-03 | 4.37E-03 | 7.42E-05 | 6.23E-05 | 7.19E-05 | 3.63E-03 | 2.24E-03 |
| 9.53E+00 | 4.22E-03 | 4.62E-03 | 8.92E-05 | 7.14E-05 | 7.46E-05 | 4.76E-03 | 2.27E-03 |
| 9.69E+00 | 5.00E-03 | 5.02E-03 | 1.19E-04 | 1.22E-04 | 1.66E-04 | 5.65E-03 | 2.16E-03 |
| 9.84E+00 | 4.49E-03 | 5.07E-03 | 1.44E-04 | 1.78E-04 | 2.09E-04 | 6.63E-03 | 2.57E-03 |

| | |
|-------------|-------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.34 |
| fasma | h016tp5.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 8.35E-01 | 1.41E+00 | 1.48E-03 | 3.21E-04 | 1.06E-03 | 6.85E-01 | 3.56E-01 |
| 1.56E-01 | 5.67E-01 | 1.71E+00 | 1.61E-03 | 4.06E-04 | 8.01E-04 | 8.77E-01 | 5.37E-01 |
| 3.13E-01 | 1.46E+00 | 1.32E+01 | 2.29E-03 | 5.14E-04 | 8.58E-04 | 1.55E+00 | 6.02E-01 |
| 4.69E-01 | 9.16E+00 | 3.70E+01 | 5.47E-03 | 1.38E-03 | 2.34E-03 | 9.35E+00 | 1.66E+00 |
| 6.25E-01 | 2.29E+01 | 2.31E+01 | 1.81E-02 | 7.78E-03 | 1.09E-02 | 2.52E+01 | 5.26E+00 |
| 7.81E-01 | 1.64E+01 | 1.19E+01 | 4.27E-02 | 9.51E-03 | 1.94E-02 | 1.54E+01 | 9.54E+00 |
| 9.38E-01 | 1.09E+01 | 4.29E+00 | 6.93E-02 | 1.11E-02 | 2.49E-02 | 8.26E+00 | 8.16E+00 |
| 1.09E+00 | 5.71E+00 | 3.62E+00 | 1.19E-01 | 1.31E-02 | 3.15E-02 | 5.08E+00 | 7.28E+00 |
| 1.25E+00 | 6.11E+00 | 1.76E+00 | 1.84E-01 | 1.35E-02 | 3.10E-02 | 4.01E+00 | 6.37E+00 |
| 1.41E+00 | 3.30E+00 | 7.04E-01 | 1.21E-01 | 8.79E-03 | 2.20E-02 | 1.67E+00 | 2.85E+00 |
| 1.56E+00 | 1.87E+00 | 4.37E-01 | 6.70E-02 | 4.92E-03 | 1.26E-02 | 7.00E-01 | 9.59E-01 |
| 1.72E+00 | 1.47E+00 | 2.82E-01 | 1.94E-02 | 1.67E-03 | 4.27E-03 | 3.37E-01 | 2.79E-01 |
| 1.88E+00 | 8.20E-01 | 1.99E-01 | 1.00E-02 | 7.35E-04 | 2.09E-03 | 1.41E-01 | 1.35E-01 |
| 2.03E+00 | 7.97E-01 | 1.50E-01 | 6.50E-03 | 4.31E-04 | 9.64E-04 | 1.02E-01 | 8.69E-02 |
| 2.19E+00 | 5.93E-01 | 1.00E-01 | 3.07E-03 | 2.06E-04 | 6.75E-04 | 6.14E-02 | 4.41E-02 |
| 2.34E+00 | 3.94E-01 | 8.86E-02 | 1.94E-03 | 1.66E-04 | 3.37E-04 | 5.06E-02 | 2.90E-02 |
| 2.50E+00 | 4.10E-01 | 7.33E-02 | 1.90E-03 | 1.48E-04 | 3.03E-04 | 4.56E-02 | 2.30E-02 |
| 2.66E+00 | 2.88E-01 | 6.37E-02 | 3.02E-03 | 1.77E-04 | 3.18E-04 | 3.35E-02 | 2.12E-02 |
| 2.81E+00 | 1.56E-01 | 4.81E-02 | 3.30E-03 | 2.64E-04 | 3.81E-04 | 3.25E-02 | 2.06E-02 |
| 2.97E+00 | 1.36E-01 | 4.23E-02 | 3.99E-03 | 2.88E-04 | 3.12E-04 | 2.75E-02 | 1.87E-02 |
| 3.13E+00 | 6.67E-02 | 3.96E-02 | 3.75E-03 | 2.06E-04 | 1.80E-04 | 2.50E-02 | 1.55E-02 |
| 3.28E+00 | 5.43E-02 | 3.05E-02 | 3.10E-03 | 2.41E-04 | 2.78E-04 | 2.29E-02 | 1.38E-02 |
| 3.44E+00 | 6.25E-02 | 2.81E-02 | 2.59E-03 | 1.65E-04 | 2.82E-04 | 1.82E-02 | 1.11E-02 |
| 3.59E+00 | 3.42E-02 | 2.56E-02 | 2.29E-03 | 1.62E-04 | 2.28E-04 | 1.66E-02 | 9.80E-03 |
| 3.75E+00 | 3.81E-02 | 2.40E-02 | 1.98E-03 | 1.25E-04 | 2.09E-04 | 1.67E-02 | 7.53E-03 |
| 3.91E+00 | 2.14E-02 | 2.25E-02 | 1.22E-03 | 9.59E-05 | 1.21E-04 | 1.29E-02 | 7.91E-03 |
| 4.06E+00 | 2.57E-02 | 2.07E-02 | 1.39E-03 | 8.93E-05 | 1.64E-04 | 1.18E-02 | 6.35E-03 |
| 4.22E+00 | 2.46E-02 | 2.02E-02 | 9.10E-04 | 5.74E-05 | 1.42E-04 | 1.18E-02 | 5.90E-03 |
| 4.38E+00 | 1.47E-02 | 1.93E-02 | 6.29E-04 | 5.01E-05 | 8.34E-05 | 1.05E-02 | 5.94E-03 |
| 4.53E+00 | 1.77E-02 | 1.74E-02 | 4.30E-04 | 3.17E-05 | 8.12E-05 | 9.35E-03 | 5.42E-03 |
| 4.69E+00 | 1.50E-02 | 1.69E-02 | 2.74E-04 | 2.73E-05 | 6.17E-05 | 9.37E-03 | 5.26E-03 |
| 4.84E+00 | 1.27E-02 | 1.51E-02 | 1.86E-04 | 4.00E-05 | 6.95E-05 | 9.68E-03 | 4.78E-03 |
| 5.00E+00 | 1.30E-02 | 1.47E-02 | 2.66E-04 | 3.86E-05 | 5.94E-05 | 9.19E-03 | 4.37E-03 |
| 5.16E+00 | 1.14E-02 | 1.38E-02 | 3.07E-04 | 3.73E-05 | 6.47E-05 | 8.59E-03 | 4.44E-03 |
| 5.31E+00 | 1.09E-02 | 1.32E-02 | 2.07E-04 | 4.49E-05 | 5.98E-05 | 8.62E-03 | 3.91E-03 |
| 5.47E+00 | 9.57E-03 | 1.23E-02 | 3.51E-04 | 3.88E-05 | 4.94E-05 | 7.89E-03 | 3.83E-03 |
| 5.63E+00 | 9.39E-03 | 1.21E-02 | 2.26E-04 | 3.52E-05 | 6.34E-05 | 7.06E-03 | 3.89E-03 |
| 5.78E+00 | 1.02E-02 | 1.17E-02 | 2.43E-04 | 4.37E-05 | 5.10E-05 | 6.93E-03 | 3.43E-03 |
| 5.94E+00 | 9.83E-03 | 1.11E-02 | 1.95E-04 | 2.92E-05 | 5.43E-05 | 7.20E-03 | 3.47E-03 |
| 6.09E+00 | 7.65E-03 | 1.06E-02 | 1.37E-04 | 2.77E-05 | 4.97E-05 | 5.96E-03 | 3.11E-03 |
| 6.25E+00 | 7.68E-03 | 1.03E-02 | 1.23E-04 | 3.46E-05 | 5.18E-05 | 5.70E-03 | 3.09E-03 |
| 6.41E+00 | 8.01E-03 | 9.98E-03 | 1.23E-04 | 3.83E-05 | 3.70E-05 | 5.78E-03 | 2.93E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 7.61E-03 | 9.47E-03 | 8.98E-05 | 2.78E-05 | 4.55E-05 | 6.01E-03 | 2.85E-03 |
| 6.72E+00 | 6.95E-03 | 9.48E-03 | 1.01E-04 | 2.67E-05 | 4.12E-05 | 6.00E-03 | 2.90E-03 |
| 6.88E+00 | 6.63E-03 | 9.28E-03 | 1.05E-04 | 2.50E-05 | 3.62E-05 | 5.88E-03 | 2.65E-03 |
| 7.03E+00 | 6.70E-03 | 8.97E-03 | 8.87E-05 | 4.14E-05 | 3.76E-05 | 6.35E-03 | 2.73E-03 |
| 7.19E+00 | 6.32E-03 | 8.47E-03 | 8.45E-05 | 2.00E-05 | 3.88E-05 | 5.99E-03 | 2.51E-03 |
| 7.34E+00 | 6.16E-03 | 8.68E-03 | 7.72E-05 | 2.40E-05 | 3.95E-05 | 5.16E-03 | 2.45E-03 |
| 7.50E+00 | 5.91E-03 | 8.45E-03 | 7.25E-05 | 3.22E-05 | 3.84E-05 | 5.57E-03 | 2.40E-03 |
| 7.66E+00 | 5.94E-03 | 8.47E-03 | 6.17E-05 | 3.14E-05 | 4.17E-05 | 5.30E-03 | 2.43E-03 |
| 7.81E+00 | 5.64E-03 | 8.01E-03 | 5.27E-05 | 2.23E-05 | 4.19E-05 | 5.19E-03 | 2.35E-03 |
| 7.97E+00 | 5.91E-03 | 7.97E-03 | 5.36E-05 | 2.46E-05 | 3.56E-05 | 4.67E-03 | 2.41E-03 |
| 8.13E+00 | 5.65E-03 | 7.78E-03 | 5.97E-05 | 2.36E-05 | 4.63E-05 | 4.37E-03 | 2.23E-03 |
| 8.28E+00 | 5.52E-03 | 7.70E-03 | 6.89E-05 | 2.84E-05 | 3.28E-05 | 4.74E-03 | 2.26E-03 |
| 8.44E+00 | 5.35E-03 | 7.57E-03 | 5.81E-05 | 2.80E-05 | 4.31E-05 | 4.93E-03 | 2.16E-03 |
| 8.59E+00 | 5.31E-03 | 7.77E-03 | 6.00E-05 | 2.68E-05 | 4.49E-05 | 4.61E-03 | 2.22E-03 |
| 8.75E+00 | 5.37E-03 | 7.60E-03 | 7.27E-05 | 3.41E-05 | 4.06E-05 | 5.09E-03 | 2.08E-03 |
| 8.91E+00 | 5.23E-03 | 7.37E-03 | 5.50E-05 | 2.78E-05 | 3.67E-05 | 5.40E-03 | 2.24E-03 |
| 9.06E+00 | 4.79E-03 | 7.42E-03 | 6.25E-05 | 4.28E-05 | 5.45E-05 | 5.08E-03 | 2.17E-03 |
| 9.22E+00 | 5.16E-03 | 7.07E-03 | 7.73E-05 | 4.98E-05 | 5.48E-05 | 4.96E-03 | 2.13E-03 |
| 9.38E+00 | 5.27E-03 | 7.24E-03 | 8.89E-05 | 5.51E-05 | 8.10E-05 | 5.83E-03 | 2.12E-03 |
| 9.53E+00 | 5.04E-03 | 6.88E-03 | 1.10E-04 | 7.84E-05 | 9.68E-05 | 5.36E-03 | 2.18E-03 |
| 9.69E+00 | 5.27E-03 | 7.40E-03 | 1.49E-04 | 1.43E-04 | 1.72E-04 | 6.52E-03 | 2.21E-03 |
| 9.84E+00 | 5.39E-03 | 7.02E-03 | 1.42E-04 | 1.36E-04 | 1.59E-04 | 8.63E-03 | 2.49E-03 |

| | |
|-------------|-------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h008tp2.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 1.46E-01 | 1.63E-01 | 1.45E-04 | 1.20E-04 | 1.15E-04 | 4.68E-02 | 2.46E-03 |
| 1.56E-01 | 5.86E-02 | 8.00E-02 | 4.31E-04 | 1.25E-04 | 1.39E-04 | 3.48E-02 | 5.05E-03 |
| 3.13E-01 | 2.59E-02 | 1.06E-01 | 2.34E-04 | 1.44E-04 | 1.76E-04 | 1.49E-02 | 7.37E-03 |
| 4.69E-01 | 2.65E-02 | 1.59E-01 | 1.78E-04 | 1.45E-04 | 9.25E-05 | 1.23E-02 | 1.00E-02 |
| 6.25E-01 | 3.91E-02 | 3.00E-01 | 2.47E-04 | 1.58E-04 | 1.08E-04 | 2.40E-02 | 8.17E-03 |
| 7.81E-01 | 4.01E-02 | 1.04E+00 | 2.55E-04 | 1.85E-04 | 9.33E-05 | 2.83E-02 | 9.40E-03 |
| 9.38E-01 | 3.40E-02 | 3.83E+00 | 4.07E-04 | 1.89E-04 | 1.15E-04 | 2.84E-02 | 7.76E-03 |
| 1.09E+00 | 3.17E-02 | 3.85E+00 | 4.72E-04 | 1.86E-04 | 1.16E-04 | 3.91E-02 | 1.08E-02 |
| 1.25E+00 | 4.86E-02 | 3.98E+00 | 7.96E-04 | 2.05E-04 | 2.26E-04 | 3.18E-02 | 1.21E-02 |
| 1.41E+00 | 4.51E-02 | 1.93E+00 | 1.46E-03 | 3.76E-04 | 4.65E-04 | 4.89E-02 | 2.25E-02 |
| 1.56E+00 | 3.92E-02 | 7.71E-01 | 1.36E-03 | 3.43E-04 | 3.92E-04 | 3.76E-02 | 1.59E-02 |
| 1.72E+00 | 7.80E-02 | 4.92E-01 | 2.30E-03 | 3.29E-04 | 7.64E-04 | 2.91E-02 | 1.87E-02 |
| 1.88E+00 | 1.42E-01 | 2.25E-01 | 4.54E-03 | 6.32E-04 | 1.39E-03 | 2.53E-02 | 2.93E-02 |
| 2.03E+00 | 2.37E-01 | 1.63E-01 | 3.72E-03 | 5.01E-04 | 1.48E-03 | 2.04E-02 | 2.47E-02 |
| 2.19E+00 | 3.67E-01 | 1.08E-01 | 6.47E-03 | 4.96E-04 | 1.92E-03 | 1.62E-02 | 2.01E-02 |
| 2.34E+00 | 4.24E-01 | 8.16E-02 | 5.36E-03 | 4.30E-04 | 1.74E-03 | 1.09E-02 | 2.33E-02 |
| 2.50E+00 | 6.32E-01 | 6.74E-02 | 6.02E-03 | 2.46E-04 | 1.69E-03 | 5.41E-03 | 1.53E-02 |
| 2.66E+00 | 9.90E-01 | 3.61E-02 | 4.99E-03 | 1.16E-04 | 1.74E-03 | 2.84E-03 | 9.61E-03 |
| 2.81E+00 | 8.92E-01 | 3.45E-02 | 3.25E-03 | 8.04E-05 | 9.39E-04 | 1.49E-03 | 6.64E-03 |
| 2.97E+00 | 7.63E-01 | 2.02E-02 | 2.10E-03 | 9.67E-05 | 4.15E-04 | 1.60E-03 | 2.67E-03 |
| 3.13E+00 | 6.80E-01 | 1.63E-02 | 1.83E-03 | 1.16E-04 | 2.11E-04 | 1.87E-03 | 1.38E-03 |
| 3.28E+00 | 8.29E-01 | 1.80E-02 | 1.68E-03 | 1.75E-04 | 9.49E-05 | 2.24E-03 | 9.32E-04 |
| 3.44E+00 | 4.49E-01 | 1.23E-02 | 1.79E-03 | 1.85E-04 | 1.52E-04 | 1.56E-03 | 8.04E-04 |
| 3.59E+00 | 6.20E-01 | 9.37E-03 | 1.34E-03 | 2.08E-04 | 2.17E-04 | 1.42E-03 | 9.01E-04 |
| 3.75E+00 | 3.94E-01 | 8.62E-03 | 1.30E-03 | 1.22E-04 | 2.11E-04 | 1.11E-03 | 5.94E-04 |
| 3.91E+00 | 3.76E-01 | 7.42E-03 | 1.39E-03 | 1.25E-04 | 2.37E-04 | 7.25E-04 | 4.58E-04 |
| 4.06E+00 | 4.38E-01 | 6.36E-03 | 9.34E-04 | 8.83E-05 | 2.36E-04 | 8.24E-04 | 3.98E-04 |
| 4.22E+00 | 2.03E-01 | 4.77E-03 | 8.82E-04 | 6.72E-05 | 1.85E-04 | 8.17E-04 | 2.84E-04 |
| 4.38E+00 | 2.50E-01 | 4.34E-03 | 9.43E-04 | 6.98E-05 | 1.59E-04 | 6.33E-04 | 2.61E-04 |
| 4.53E+00 | 1.51E-01 | 3.10E-03 | 6.66E-04 | 3.95E-05 | 1.09E-04 | 8.33E-04 | 1.60E-04 |
| 4.69E+00 | 1.19E-01 | 3.52E-03 | 2.83E-04 | 4.32E-05 | 9.44E-05 | 7.83E-04 | 1.37E-04 |
| 4.84E+00 | 1.17E-01 | 2.75E-03 | 3.21E-04 | 3.83E-05 | 7.53E-05 | 6.85E-04 | 1.02E-04 |
| 5.00E+00 | 7.23E-02 | 2.61E-03 | 2.64E-04 | 3.43E-05 | 6.22E-05 | 6.53E-04 | 8.04E-05 |
| 5.16E+00 | 7.23E-02 | 2.81E-03 | 1.89E-04 | 4.15E-05 | 4.37E-05 | 6.57E-04 | 7.16E-05 |
| 5.31E+00 | 5.29E-02 | 2.24E-03 | 1.83E-04 | 3.54E-05 | 6.18E-05 | 7.15E-04 | 7.80E-05 |
| 5.47E+00 | 5.36E-02 | 2.06E-03 | 1.43E-04 | 3.70E-05 | 3.96E-05 | 6.98E-04 | 5.46E-05 |
| 5.63E+00 | 4.16E-02 | 1.95E-03 | 8.63E-05 | 3.22E-05 | 3.49E-05 | 5.11E-04 | 6.49E-05 |
| 5.78E+00 | 3.26E-02 | 1.95E-03 | 8.13E-05 | 2.91E-05 | 4.50E-05 | 7.27E-04 | 5.87E-05 |
| 5.94E+00 | 2.65E-02 | 1.80E-03 | 6.31E-05 | 3.03E-05 | 4.27E-05 | 6.29E-04 | 5.77E-05 |
| 6.09E+00 | 1.95E-02 | 1.47E-03 | 6.43E-05 | 3.01E-05 | 3.12E-05 | 4.17E-04 | 4.91E-05 |
| 6.25E+00 | 1.22E-02 | 1.48E-03 | 6.09E-05 | 3.13E-05 | 4.63E-05 | 5.77E-04 | 5.19E-05 |
| 6.41E+00 | 1.09E-02 | 1.44E-03 | 5.67E-05 | 2.74E-05 | 4.00E-05 | 6.16E-04 | 4.74E-05 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 1.22E-02 | 1.37E-03 | 4.55E-05 | 2.75E-05 | 3.54E-05 | 7.11E-04 | 4.97E-05 |
| 6.72E+00 | 1.15E-02 | 1.21E-03 | 3.21E-05 | 2.84E-05 | 3.46E-05 | 7.87E-04 | 5.23E-05 |
| 6.88E+00 | 5.83E-03 | 1.31E-03 | 3.18E-05 | 3.48E-05 | 3.83E-05 | 7.49E-04 | 3.73E-05 |
| 7.03E+00 | 6.72E-03 | 1.31E-03 | 3.18E-05 | 2.49E-05 | 2.84E-05 | 7.82E-04 | 5.25E-05 |
| 7.19E+00 | 5.74E-03 | 1.15E-03 | 2.62E-05 | 2.58E-05 | 2.86E-05 | 7.64E-04 | 4.22E-05 |
| 7.34E+00 | 6.91E-03 | 1.26E-03 | 2.06E-05 | 2.08E-05 | 2.79E-05 | 6.75E-04 | 5.26E-05 |
| 7.50E+00 | 5.51E-03 | 1.11E-03 | 2.49E-05 | 2.78E-05 | 3.02E-05 | 5.86E-04 | 4.09E-05 |
| 7.66E+00 | 4.36E-03 | 1.15E-03 | 2.48E-05 | 3.01E-05 | 2.67E-05 | 4.87E-04 | 3.99E-05 |
| 7.81E+00 | 3.52E-03 | 1.10E-03 | 2.03E-05 | 2.77E-05 | 4.01E-05 | 5.12E-04 | 4.34E-05 |
| 7.97E+00 | 3.14E-03 | 1.04E-03 | 2.79E-05 | 3.09E-05 | 3.16E-05 | 6.07E-04 | 4.46E-05 |
| 8.13E+00 | 2.48E-03 | 1.06E-03 | 1.70E-05 | 3.45E-05 | 3.96E-05 | 6.55E-04 | 4.68E-05 |
| 8.28E+00 | 2.25E-03 | 1.05E-03 | 1.69E-05 | 3.20E-05 | 3.37E-05 | 6.23E-04 | 3.31E-05 |
| 8.44E+00 | 2.12E-03 | 1.09E-03 | 1.74E-05 | 3.17E-05 | 2.76E-05 | 7.20E-04 | 5.58E-05 |
| 8.59E+00 | 2.06E-03 | 9.72E-04 | 1.47E-05 | 2.63E-05 | 2.93E-05 | 6.33E-04 | 4.74E-05 |
| 8.75E+00 | 1.79E-03 | 9.73E-04 | 2.08E-05 | 3.53E-05 | 3.61E-05 | 6.43E-04 | 5.05E-05 |
| 8.91E+00 | 1.95E-03 | 9.06E-04 | 2.36E-05 | 3.87E-05 | 4.09E-05 | 7.34E-04 | 5.01E-05 |
| 9.06E+00 | 1.67E-03 | 1.07E-03 | 1.99E-05 | 3.59E-05 | 5.29E-05 | 6.27E-04 | 5.12E-05 |
| 9.22E+00 | 1.31E-03 | 1.05E-03 | 2.25E-05 | 4.08E-05 | 4.02E-05 | 7.86E-04 | 4.95E-05 |
| 9.38E+00 | 1.53E-03 | 9.75E-04 | 2.93E-05 | 5.13E-05 | 5.31E-05 | 9.87E-04 | 6.71E-05 |
| 9.53E+00 | 1.37E-03 | 1.00E-03 | 4.16E-05 | 6.06E-05 | 7.07E-05 | 1.46E-03 | 9.37E-05 |
| 9.69E+00 | 1.71E-03 | 9.98E-04 | 6.36E-05 | 7.73E-05 | 7.53E-05 | 1.55E-03 | 1.03E-04 |
| 9.84E+00 | 1.63E-03 | 1.18E-03 | 9.04E-05 | 1.02E-04 | 1.54E-04 | 2.56E-03 | 1.71E-04 |

| | |
|-------------|--------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h009tp25.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 7.52E-02 | 1.38E-01 | 2.04E-04 | 9.37E-05 | 1.48E-04 | 3.59E-02 | 6.80E-03 |
| 1.56E-01 | 5.90E-02 | 1.11E-01 | 2.57E-04 | 1.83E-04 | 3.27E-04 | 3.83E-02 | 6.74E-03 |
| 3.13E-01 | 3.17E-02 | 1.48E-01 | 2.66E-04 | 1.95E-04 | 2.48E-04 | 2.18E-02 | 1.23E-02 |
| 4.69E-01 | 2.17E-02 | 3.82E-01 | 3.04E-04 | 1.59E-04 | 1.95E-04 | 2.21E-02 | 1.36E-02 |
| 6.25E-01 | 4.33E-02 | 1.44E+00 | 2.45E-04 | 1.70E-04 | 2.36E-04 | 3.04E-02 | 1.01E-02 |
| 7.81E-01 | 3.58E-02 | 4.61E+00 | 3.83E-04 | 2.47E-04 | 2.09E-04 | 4.02E-02 | 7.27E-03 |
| 9.38E-01 | 4.04E-02 | 5.93E+00 | 8.28E-04 | 3.86E-04 | 3.83E-04 | 4.68E-02 | 1.73E-02 |
| 1.09E+00 | 5.22E-02 | 5.52E+00 | 1.31E-03 | 4.79E-04 | 4.93E-04 | 6.47E-02 | 1.97E-02 |
| 1.25E+00 | 9.39E-02 | 2.32E+00 | 3.51E-03 | 7.30E-04 | 9.31E-04 | 1.59E-01 | 5.95E-02 |
| 1.41E+00 | 2.49E-01 | 1.23E+00 | 6.30E-03 | 1.66E-03 | 2.85E-03 | 2.57E-01 | 1.08E-01 |
| 1.56E+00 | 4.03E-01 | 7.33E-01 | 1.69E-02 | 3.27E-03 | 4.67E-03 | 3.86E-01 | 2.31E-01 |
| 1.72E+00 | 8.82E-01 | 3.98E-01 | 3.00E-02 | 4.96E-03 | 9.06E-03 | 3.41E-01 | 2.50E-01 |
| 1.88E+00 | 8.41E-01 | 2.03E-01 | 3.04E-02 | 3.93E-03 | 8.28E-03 | 1.99E-01 | 1.70E-01 |
| 2.03E+00 | 1.12E+00 | 1.53E-01 | 1.98E-02 | 3.05E-03 | 7.68E-03 | 1.19E-01 | 1.45E-01 |
| 2.19E+00 | 8.52E-01 | 1.09E-01 | 1.70E-02 | 1.51E-03 | 5.17E-03 | 5.11E-02 | 7.76E-02 |
| 2.34E+00 | 1.11E+00 | 9.18E-02 | 1.20E-02 | 7.87E-04 | 4.20E-03 | 2.57E-02 | 4.51E-02 |
| 2.50E+00 | 9.93E-01 | 5.14E-02 | 9.04E-03 | 4.67E-04 | 3.21E-03 | 9.13E-03 | 2.64E-02 |
| 2.66E+00 | 1.03E+00 | 4.61E-02 | 6.47E-03 | 2.07E-04 | 1.62E-03 | 5.63E-03 | 1.50E-02 |
| 2.81E+00 | 8.72E-01 | 4.15E-02 | 3.08E-03 | 1.09E-04 | 9.90E-04 | 3.42E-03 | 6.40E-03 |
| 2.97E+00 | 1.08E+00 | 2.60E-02 | 2.87E-03 | 1.61E-04 | 6.34E-04 | 3.22E-03 | 4.30E-03 |
| 3.13E+00 | 8.12E-01 | 2.43E-02 | 2.36E-03 | 1.66E-04 | 2.75E-04 | 2.37E-03 | 3.12E-03 |
| 3.28E+00 | 6.01E-01 | 1.81E-02 | 1.66E-03 | 1.75E-04 | 1.13E-04 | 2.51E-03 | 1.75E-03 |
| 3.44E+00 | 4.62E-01 | 1.37E-02 | 1.92E-03 | 1.63E-04 | 1.52E-04 | 2.10E-03 | 1.99E-03 |
| 3.59E+00 | 4.51E-01 | 1.31E-02 | 1.51E-03 | 1.97E-04 | 1.77E-04 | 2.00E-03 | 1.71E-03 |
| 3.75E+00 | 3.08E-01 | 1.05E-02 | 1.60E-03 | 1.17E-04 | 2.39E-04 | 1.87E-03 | 1.04E-03 |
| 3.91E+00 | 2.51E-01 | 8.61E-03 | 1.32E-03 | 1.09E-04 | 2.30E-04 | 1.16E-03 | 1.23E-03 |
| 4.06E+00 | 1.30E-01 | 7.97E-03 | 1.11E-03 | 9.84E-05 | 2.17E-04 | 1.14E-03 | 7.74E-04 |
| 4.22E+00 | 2.05E-01 | 6.51E-03 | 1.16E-03 | 9.66E-05 | 2.37E-04 | 9.22E-04 | 9.51E-04 |
| 4.38E+00 | 1.27E-01 | 7.08E-03 | 9.06E-04 | 6.44E-05 | 1.94E-04 | 9.47E-04 | 8.10E-04 |
| 4.53E+00 | 1.54E-01 | 6.37E-03 | 9.45E-04 | 6.96E-05 | 1.85E-04 | 9.01E-04 | 5.80E-04 |
| 4.69E+00 | 7.44E-02 | 5.82E-03 | 7.98E-04 | 6.92E-05 | 1.40E-04 | 7.97E-04 | 5.79E-04 |
| 4.84E+00 | 7.03E-02 | 4.85E-03 | 5.46E-04 | 6.62E-05 | 9.67E-05 | 1.03E-03 | 5.15E-04 |
| 5.00E+00 | 6.81E-02 | 4.40E-03 | 5.43E-04 | 3.70E-05 | 9.35E-05 | 8.04E-04 | 3.76E-04 |
| 5.16E+00 | 4.87E-02 | 4.08E-03 | 3.31E-04 | 5.57E-05 | 7.14E-05 | 8.88E-04 | 3.23E-04 |
| 5.31E+00 | 5.43E-02 | 4.01E-03 | 2.43E-04 | 4.99E-05 | 5.45E-05 | 6.90E-04 | 3.13E-04 |
| 5.47E+00 | 3.54E-02 | 3.36E-03 | 1.94E-04 | 4.50E-05 | 3.69E-05 | 6.06E-04 | 2.54E-04 |
| 5.63E+00 | 3.34E-02 | 3.35E-03 | 1.91E-04 | 4.02E-05 | 5.60E-05 | 8.15E-04 | 2.88E-04 |
| 5.78E+00 | 2.01E-02 | 3.28E-03 | 1.76E-04 | 3.50E-05 | 4.99E-05 | 6.44E-04 | 2.61E-04 |
| 5.94E+00 | 2.94E-02 | 3.29E-03 | 1.42E-04 | 4.44E-05 | 4.93E-05 | 7.75E-04 | 2.25E-04 |
| 6.09E+00 | 2.06E-02 | 3.16E-03 | 1.05E-04 | 4.01E-05 | 5.35E-05 | 7.33E-04 | 1.97E-04 |
| 6.25E+00 | 1.05E-02 | 2.85E-03 | 9.78E-05 | 4.03E-05 | 4.94E-05 | 8.94E-04 | 2.65E-04 |
| 6.41E+00 | 1.01E-02 | 3.01E-03 | 7.44E-05 | 4.45E-05 | 5.24E-05 | 6.37E-04 | 2.68E-04 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 9.58E-03 | 2.75E-03 | 7.48E-05 | 3.03E-05 | 5.02E-05 | 8.60E-04 | 2.60E-04 |
| 6.72E+00 | 7.81E-03 | 2.68E-03 | 5.77E-05 | 4.04E-05 | 4.35E-05 | 6.00E-04 | 2.07E-04 |
| 6.88E+00 | 6.32E-03 | 2.41E-03 | 6.42E-05 | 3.71E-05 | 3.80E-05 | 7.64E-04 | 1.95E-04 |
| 7.03E+00 | 6.00E-03 | 2.61E-03 | 5.25E-05 | 2.80E-05 | 3.50E-05 | 6.71E-04 | 1.95E-04 |
| 7.19E+00 | 5.25E-03 | 2.43E-03 | 5.00E-05 | 3.72E-05 | 5.42E-05 | 5.81E-04 | 1.68E-04 |
| 7.34E+00 | 3.10E-03 | 2.28E-03 | 5.18E-05 | 2.80E-05 | 3.70E-05 | 6.22E-04 | 1.87E-04 |
| 7.50E+00 | 3.10E-03 | 2.25E-03 | 4.64E-05 | 3.83E-05 | 5.42E-05 | 1.16E-03 | 1.71E-04 |
| 7.66E+00 | 2.66E-03 | 2.21E-03 | 5.34E-05 | 3.44E-05 | 4.97E-05 | 1.13E-03 | 2.20E-04 |
| 7.81E+00 | 2.38E-03 | 2.21E-03 | 3.96E-05 | 3.54E-05 | 3.74E-05 | 9.82E-04 | 1.53E-04 |
| 7.97E+00 | 2.45E-03 | 2.24E-03 | 4.32E-05 | 3.41E-05 | 4.36E-05 | 1.42E-03 | 1.63E-04 |
| 8.13E+00 | 1.92E-03 | 2.13E-03 | 4.55E-05 | 3.88E-05 | 5.79E-05 | 8.14E-04 | 2.95E-04 |
| 8.28E+00 | 1.77E-03 | 1.93E-03 | 3.89E-05 | 4.72E-05 | 6.00E-05 | 1.20E-03 | 1.85E-04 |
| 8.44E+00 | 1.54E-03 | 2.24E-03 | 2.66E-05 | 6.68E-05 | 5.37E-05 | 1.39E-03 | 2.08E-04 |
| 8.59E+00 | 1.55E-03 | 2.04E-03 | 5.50E-05 | 5.30E-05 | 1.13E-04 | 1.62E-03 | 2.72E-04 |
| 8.75E+00 | 1.35E-03 | 2.25E-03 | 6.81E-05 | 6.28E-05 | 1.20E-04 | 2.15E-03 | 2.76E-04 |
| 8.91E+00 | 1.56E-03 | 1.97E-03 | 9.36E-05 | 8.86E-05 | 1.54E-04 | 4.24E-03 | 6.31E-04 |
| 9.06E+00 | 1.84E-03 | 2.55E-03 | 1.38E-04 | 1.16E-04 | 1.88E-04 | 5.19E-03 | 3.23E-04 |
| 9.22E+00 | 1.63E-03 | 2.77E-03 | 1.24E-04 | 1.13E-04 | 2.06E-04 | 4.65E-03 | 3.01E-04 |
| 9.38E+00 | 1.45E-03 | 2.32E-03 | 1.26E-04 | 1.62E-04 | 2.31E-04 | 5.37E-03 | 3.61E-04 |
| 9.53E+00 | 1.40E-03 | 2.07E-03 | 8.35E-05 | 1.75E-04 | 1.51E-04 | 4.40E-03 | 4.77E-04 |
| 9.69E+00 | 1.29E-03 | 2.34E-03 | 1.46E-04 | 1.50E-04 | 1.68E-04 | 3.69E-03 | 4.01E-04 |
| 9.84E+00 | 1.52E-03 | 2.33E-03 | 1.44E-04 | 1.35E-04 | 1.52E-04 | 2.98E-03 | 4.13E-04 |

| | |
|--------------|--------------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h010tp3.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 1.22E-01 | 2.96E-01 | 4.15E-04 | 9.73E-05 | 3.52E-04 | 1.15E-01 | 3.00E-02 |
| 1.56E-01 | 9.00E-02 | 2.45E-01 | 4.64E-04 | 2.72E-04 | 4.26E-04 | 1.27E-01 | 5.76E-02 |
| 3.13E-01 | 5.44E-02 | 4.61E-01 | 5.60E-04 | 2.03E-04 | 3.58E-04 | 7.47E-02 | 5.04E-02 |
| 4.69E-01 | 6.30E-02 | 1.23E+00 | 6.58E-04 | 2.71E-04 | 2.07E-04 | 7.38E-02 | 5.52E-02 |
| 6.25E-01 | 9.30E-02 | 5.25E+00 | 9.18E-04 | 2.27E-04 | 3.62E-04 | 1.21E-01 | 5.07E-02 |
| 7.81E-01 | 1.22E-01 | 1.18E+01 | 1.68E-03 | 3.57E-04 | 5.09E-04 | 1.68E-01 | 5.93E-02 |
| 9.38E-01 | 2.87E-01 | 9.09E+00 | 3.01E-03 | 8.12E-04 | 1.00E-03 | 3.88E-01 | 1.14E-01 |
| 1.09E+00 | 7.79E-01 | 3.41E+00 | 1.11E-02 | 3.50E-03 | 3.56E-03 | 1.11E+00 | 3.82E-01 |
| 1.25E+00 | 1.11E+00 | 2.44E+00 | 3.83E-02 | 9.29E-03 | 1.10E-02 | 2.06E+00 | 8.46E-01 |
| 1.41E+00 | 1.90E+00 | 1.49E+00 | 7.08E-02 | 1.64E-02 | 1.81E-02 | 2.51E+00 | 1.12E+00 |
| 1.56E+00 | 2.40E+00 | 6.66E-01 | 9.23E-02 | 2.01E-02 | 2.89E-02 | 2.00E+00 | 1.16E+00 |
| 1.72E+00 | 2.03E+00 | 4.93E-01 | 6.94E-02 | 1.34E-02 | 2.24E-02 | 1.14E+00 | 6.90E-01 |
| 1.88E+00 | 3.15E+00 | 2.58E-01 | 7.81E-02 | 1.17E-02 | 2.74E-02 | 6.87E-01 | 6.19E-01 |
| 2.03E+00 | 2.12E+00 | 1.33E-01 | 5.44E-02 | 6.04E-03 | 1.64E-02 | 2.85E-01 | 2.69E-01 |
| 2.19E+00 | 2.52E+00 | 1.08E-01 | 3.44E-02 | 3.88E-03 | 1.19E-02 | 1.45E-01 | 1.92E-01 |
| 2.34E+00 | 2.02E+00 | 9.22E-02 | 2.22E-02 | 2.26E-03 | 7.18E-03 | 8.08E-02 | 7.63E-02 |
| 2.50E+00 | 1.75E+00 | 7.80E-02 | 1.61E-02 | 8.86E-04 | 4.82E-03 | 3.36E-02 | 3.93E-02 |
| 2.66E+00 | 1.29E+00 | 6.53E-02 | 9.78E-03 | 6.64E-04 | 2.45E-03 | 1.66E-02 | 2.65E-02 |
| 2.81E+00 | 1.09E+00 | 4.23E-02 | 6.06E-03 | 3.47E-04 | 1.30E-03 | 1.43E-02 | 1.50E-02 |
| 2.97E+00 | 9.82E-01 | 3.14E-02 | 5.89E-03 | 3.46E-04 | 8.91E-04 | 1.21E-02 | 8.57E-03 |
| 3.13E+00 | 6.35E-01 | 2.37E-02 | 5.33E-03 | 4.39E-04 | 3.74E-04 | 9.63E-03 | 7.15E-03 |
| 3.28E+00 | 4.53E-01 | 1.84E-02 | 4.83E-03 | 4.37E-04 | 4.42E-04 | 9.69E-03 | 4.88E-03 |
| 3.44E+00 | 3.69E-01 | 1.97E-02 | 5.75E-03 | 4.05E-04 | 5.19E-04 | 8.27E-03 | 4.57E-03 |
| 3.59E+00 | 3.18E-01 | 1.33E-02 | 6.71E-03 | 4.34E-04 | 5.97E-04 | 6.70E-03 | 4.70E-03 |
| 3.75E+00 | 2.50E-01 | 1.35E-02 | 5.56E-03 | 4.00E-04 | 6.61E-04 | 7.09E-03 | 4.66E-03 |
| 3.91E+00 | 2.77E-01 | 1.24E-02 | 4.52E-03 | 3.58E-04 | 7.39E-04 | 5.10E-03 | 3.24E-03 |
| 4.06E+00 | 2.43E-01 | 1.05E-02 | 4.76E-03 | 3.09E-04 | 6.05E-04 | 3.77E-03 | 2.49E-03 |
| 4.22E+00 | 1.44E-01 | 9.11E-03 | 4.30E-03 | 2.75E-04 | 5.73E-04 | 3.93E-03 | 2.69E-03 |
| 4.38E+00 | 1.24E-01 | 8.30E-03 | 2.68E-03 | 1.97E-04 | 3.37E-04 | 3.49E-03 | 1.95E-03 |
| 4.53E+00 | 7.62E-02 | 6.60E-03 | 2.97E-03 | 1.65E-04 | 3.91E-04 | 3.14E-03 | 1.48E-03 |
| 4.69E+00 | 9.18E-02 | 6.62E-03 | 2.24E-03 | 1.53E-04 | 2.86E-04 | 2.85E-03 | 1.32E-03 |
| 4.84E+00 | 5.13E-02 | 6.90E-03 | 1.61E-03 | 1.26E-04 | 2.19E-04 | 2.44E-03 | 1.15E-03 |
| 5.00E+00 | 3.82E-02 | 5.82E-03 | 1.28E-03 | 1.12E-04 | 1.75E-04 | 2.51E-03 | 9.34E-04 |
| 5.16E+00 | 4.90E-02 | 4.70E-03 | 1.16E-03 | 8.86E-05 | 1.55E-04 | 2.69E-03 | 9.14E-04 |
| 5.31E+00 | 3.69E-02 | 4.74E-03 | 7.93E-04 | 7.36E-05 | 1.25E-04 | 2.16E-03 | 8.27E-04 |
| 5.47E+00 | 3.08E-02 | 5.01E-03 | 6.66E-04 | 6.49E-05 | 9.55E-05 | 2.04E-03 | 7.86E-04 |
| 5.63E+00 | 2.35E-02 | 5.04E-03 | 6.94E-04 | 7.13E-05 | 1.28E-04 | 1.98E-03 | 7.56E-04 |
| 5.78E+00 | 2.08E-02 | 4.38E-03 | 6.74E-04 | 6.31E-05 | 1.02E-04 | 1.67E-03 | 6.88E-04 |
| 5.94E+00 | 1.93E-02 | 3.79E-03 | 5.25E-04 | 6.40E-05 | 7.39E-05 | 2.19E-03 | 6.08E-04 |
| 6.09E+00 | 1.39E-02 | 3.66E-03 | 4.32E-04 | 6.01E-05 | 8.11E-05 | 2.00E-03 | 6.00E-04 |
| 6.25E+00 | 1.12E-02 | 3.79E-03 | 4.55E-04 | 5.61E-05 | 7.01E-05 | 1.59E-03 | 6.25E-04 |
| 6.41E+00 | 7.76E-03 | 3.78E-03 | 2.55E-04 | 4.15E-05 | 6.02E-05 | 1.62E-03 | 5.51E-04 |
| 6.56E+00 | 7.97E-03 | 3.61E-03 | 2.51E-04 | 4.16E-05 | 5.40E-05 | 1.45E-03 | 5.09E-04 |
| 6.72E+00 | 4.96E-03 | 3.35E-03 | 1.89E-04 | 4.66E-05 | 5.97E-05 | 1.64E-03 | 4.77E-04 |
| 6.88E+00 | 6.72E-03 | 3.39E-03 | 2.27E-04 | 4.04E-05 | 5.24E-05 | 1.97E-03 | 5.69E-04 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 7.03E+00 | 6.56E-03 | 3.24E-03 | 2.22E-04 | 3.89E-05 | 4.51E-05 | 1.55E-03 | 5.26E-04 |
| 7.19E+00 | 4.52E-03 | 3.09E-03 | 2.04E-04 | 4.66E-05 | 5.63E-05 | 1.45E-03 | 5.13E-04 |
| 7.34E+00 | 4.82E-03 | 3.23E-03 | 1.80E-04 | 5.05E-05 | 5.90E-05 | 1.82E-03 | 4.56E-04 |
| 7.50E+00 | 3.43E-03 | 3.06E-03 | 1.07E-04 | 4.15E-05 | 4.55E-05 | 1.72E-03 | 4.71E-04 |
| 7.66E+00 | 3.02E-03 | 3.02E-03 | 1.26E-04 | 6.66E-05 | 4.78E-05 | 1.50E-03 | 4.84E-04 |
| 7.81E+00 | 2.60E-03 | 2.79E-03 | 1.20E-04 | 6.02E-05 | 6.83E-05 | 1.76E-03 | 5.05E-04 |
| 7.97E+00 | 2.69E-03 | 2.81E-03 | 1.19E-04 | 5.95E-05 | 6.14E-05 | 2.31E-03 | 4.32E-04 |
| 8.13E+00 | 3.40E-03 | 2.91E-03 | 1.30E-04 | 6.51E-05 | 7.05E-05 | 1.88E-03 | 4.75E-04 |
| 8.28E+00 | 3.28E-03 | 2.74E-03 | 1.01E-04 | 3.10E-05 | 5.06E-05 | 1.86E-03 | 4.24E-04 |
| 8.44E+00 | 2.68E-03 | 2.73E-03 | 1.08E-04 | 5.43E-05 | 6.80E-05 | 2.16E-03 | 4.40E-04 |
| 8.59E+00 | 2.62E-03 | 2.67E-03 | 9.57E-05 | 5.15E-05 | 4.92E-05 | 2.36E-03 | 3.56E-04 |
| 8.75E+00 | 2.04E-03 | 2.49E-03 | 9.56E-05 | 4.71E-05 | 5.25E-05 | 2.45E-03 | 4.79E-04 |
| 8.91E+00 | 2.32E-03 | 2.70E-03 | 1.30E-04 | 7.44E-05 | 8.72E-05 | 2.00E-03 | 4.03E-04 |
| 9.06E+00 | 2.32E-03 | 2.85E-03 | 8.92E-05 | 4.13E-05 | 4.47E-05 | 1.76E-03 | 4.35E-04 |
| 9.22E+00 | 2.08E-03 | 2.51E-03 | 1.02E-04 | 5.70E-05 | 9.69E-05 | 2.33E-03 | 4.27E-04 |
| 9.38E+00 | 2.25E-03 | 2.19E-03 | 1.15E-04 | 7.03E-05 | 6.72E-05 | 2.88E-03 | 4.77E-04 |
| 9.53E+00 | 2.27E-03 | 2.54E-03 | 9.59E-05 | 1.23E-04 | 1.02E-04 | 2.33E-03 | 4.90E-04 |
| 9.69E+00 | 2.31E-03 | 2.94E-03 | 2.05E-04 | 1.57E-04 | 1.79E-04 | 4.50E-03 | 5.15E-04 |
| 9.84E+00 | 2.22E-03 | 2.80E-03 | 1.68E-04 | 1.38E-04 | 1.70E-04 | 3.54E-03 | 4.75E-04 |

| | |
|-------------|--------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h011tp35.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 1.78E-01 | 5.07E-01 | 1.25E-03 | 2.73E-04 | 4.44E-04 | 3.41E-01 | 7.01E-02 |
| 1.56E-01 | 1.16E-01 | 4.58E-01 | 1.14E-03 | 3.07E-04 | 5.65E-04 | 2.05E-01 | 1.31E-01 |
| 3.13E-01 | 9.18E-02 | 8.29E-01 | 1.35E-03 | 3.32E-04 | 5.49E-04 | 2.10E-01 | 1.12E-01 |
| 4.69E-01 | 1.25E-01 | 4.52E+00 | 1.33E-03 | 3.29E-04 | 4.44E-04 | 3.09E-01 | 1.40E-01 |
| 6.25E-01 | 1.69E-01 | 9.93E+00 | 2.07E-03 | 6.26E-04 | 6.51E-04 | 2.32E-01 | 1.22E-01 |
| 7.81E-01 | 4.48E-01 | 1.03E+01 | 3.60E-03 | 1.13E-03 | 9.77E-04 | 7.83E-01 | 2.24E-01 |
| 9.38E-01 | 1.09E+00 | 8.44E+00 | 1.14E-02 | 2.92E-03 | 3.38E-03 | 1.70E+00 | 4.73E-01 |
| 1.09E+00 | 2.46E+00 | 3.76E+00 | 2.74E-02 | 9.66E-03 | 1.10E-02 | 3.58E+00 | 1.10E+00 |
| 1.25E+00 | 3.26E+00 | 2.07E+00 | 1.10E-01 | 3.05E-02 | 3.00E-02 | 6.53E+00 | 2.33E+00 |
| 1.41E+00 | 4.79E+00 | 1.05E+00 | 1.48E-01 | 3.41E-02 | 4.29E-02 | 6.26E+00 | 2.62E+00 |
| 1.56E+00 | 3.15E+00 | 6.74E-01 | 1.27E-01 | 2.42E-02 | 3.68E-02 | 2.55E+00 | 1.43E+00 |
| 1.72E+00 | 3.44E+00 | 4.99E-01 | 1.33E-01 | 2.62E-02 | 4.20E-02 | 1.69E+00 | 1.36E+00 |
| 1.88E+00 | 2.96E+00 | 2.85E-01 | 1.10E-01 | 1.53E-02 | 3.24E-02 | 9.66E-01 | 6.44E-01 |
| 2.03E+00 | 2.07E+00 | 1.70E-01 | 4.25E-02 | 5.13E-03 | 1.24E-02 | 2.93E-01 | 2.88E-01 |
| 2.19E+00 | 1.83E+00 | 1.06E-01 | 2.87E-02 | 3.71E-03 | 9.81E-03 | 1.56E-01 | 1.41E-01 |
| 2.34E+00 | 1.70E+00 | 6.52E-02 | 2.18E-02 | 2.05E-03 | 7.06E-03 | 1.11E-01 | 7.40E-02 |
| 2.50E+00 | 1.32E+00 | 6.33E-02 | 1.28E-02 | 1.25E-03 | 3.62E-03 | 5.93E-02 | 5.60E-02 |
| 2.66E+00 | 9.30E-01 | 5.00E-02 | 8.67E-03 | 7.53E-04 | 2.22E-03 | 3.82E-02 | 2.56E-02 |
| 2.81E+00 | 5.94E-01 | 4.05E-02 | 9.11E-03 | 8.76E-04 | 1.16E-03 | 3.08E-02 | 1.71E-02 |
| 2.97E+00 | 5.05E-01 | 2.86E-02 | 7.85E-03 | 7.50E-04 | 7.26E-04 | 2.95E-02 | 1.42E-02 |
| 3.13E+00 | 6.25E-01 | 2.89E-02 | 1.01E-02 | 9.28E-04 | 7.67E-04 | 2.26E-02 | 1.30E-02 |
| 3.28E+00 | 3.53E-01 | 2.04E-02 | 9.84E-03 | 8.70E-04 | 7.62E-04 | 2.10E-02 | 1.08E-02 |
| 3.44E+00 | 2.51E-01 | 1.98E-02 | 8.37E-03 | 7.44E-04 | 8.14E-04 | 1.65E-02 | 1.10E-02 |
| 3.59E+00 | 3.61E-01 | 1.52E-02 | 1.07E-02 | 9.77E-04 | 9.22E-04 | 1.38E-02 | 7.06E-03 |
| 3.75E+00 | 2.78E-01 | 1.42E-02 | 8.52E-03 | 5.79E-04 | 6.14E-04 | 1.13E-02 | 5.25E-03 |
| 3.91E+00 | 1.84E-01 | 1.28E-02 | 5.49E-03 | 5.45E-04 | 8.06E-04 | 9.39E-03 | 4.94E-03 |
| 4.06E+00 | 1.64E-01 | 1.16E-02 | 5.37E-03 | 3.70E-04 | 5.26E-04 | 7.34E-03 | 4.12E-03 |
| 4.22E+00 | 1.36E-01 | 1.06E-02 | 4.67E-03 | 3.60E-04 | 5.81E-04 | 8.11E-03 | 3.18E-03 |
| 4.38E+00 | 1.36E-01 | 9.62E-03 | 3.99E-03 | 2.83E-04 | 5.29E-04 | 7.17E-03 | 2.87E-03 |
| 4.53E+00 | 8.54E-02 | 8.39E-03 | 2.91E-03 | 2.10E-04 | 4.45E-04 | 6.02E-03 | 2.86E-03 |
| 4.69E+00 | 7.29E-02 | 7.88E-03 | 2.11E-03 | 2.02E-04 | 2.46E-04 | 5.35E-03 | 2.23E-03 |
| 4.84E+00 | 5.60E-02 | 7.27E-03 | 1.90E-03 | 1.76E-04 | 2.94E-04 | 5.90E-03 | 1.98E-03 |
| 5.00E+00 | 3.97E-02 | 7.31E-03 | 2.00E-03 | 1.58E-04 | 2.32E-04 | 5.87E-03 | 2.02E-03 |
| 5.16E+00 | 3.21E-02 | 6.52E-03 | 1.60E-03 | 1.48E-04 | 1.79E-04 | 4.94E-03 | 1.78E-03 |
| 5.31E+00 | 2.92E-02 | 6.30E-03 | 1.50E-03 | 1.47E-04 | 2.39E-04 | 4.63E-03 | 1.73E-03 |
| 5.47E+00 | 3.57E-02 | 6.16E-03 | 1.13E-03 | 1.07E-04 | 1.96E-04 | 4.34E-03 | 1.58E-03 |
| 5.63E+00 | 1.88E-02 | 5.37E-03 | 7.63E-04 | 8.94E-05 | 1.14E-04 | 4.38E-03 | 1.43E-03 |
| 5.78E+00 | 1.58E-02 | 5.15E-03 | 7.76E-04 | 9.17E-05 | 1.25E-04 | 4.37E-03 | 1.28E-03 |
| 5.94E+00 | 1.75E-02 | 5.06E-03 | 8.90E-04 | 8.28E-05 | 1.30E-04 | 4.14E-03 | 1.35E-03 |
| 6.09E+00 | 1.61E-02 | 5.07E-03 | 6.35E-04 | 9.17E-05 | 9.00E-05 | 3.78E-03 | 1.22E-03 |
| 6.25E+00 | 1.18E-02 | 4.85E-03 | 6.83E-04 | 7.33E-05 | 8.68E-05 | 3.99E-03 | 1.10E-03 |
| 6.41E+00 | 7.57E-03 | 4.48E-03 | 5.01E-04 | 7.02E-05 | 9.95E-05 | 3.48E-03 | 1.16E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 7.46E-03 | 4.38E-03 | 5.85E-04 | 6.66E-05 | 7.40E-05 | 3.56E-03 | 1.10E-03 |
| 6.72E+00 | 8.55E-03 | 4.29E-03 | 3.58E-04 | 6.54E-05 | 6.57E-05 | 3.26E-03 | 1.12E-03 |
| 6.88E+00 | 6.35E-03 | 4.18E-03 | 4.26E-04 | 6.05E-05 | 7.59E-05 | 3.23E-03 | 1.03E-03 |
| 7.03E+00 | 5.26E-03 | 4.19E-03 | 3.19E-04 | 7.81E-05 | 1.14E-04 | 2.90E-03 | 9.19E-04 |
| 7.19E+00 | 3.57E-03 | 3.99E-03 | 3.46E-04 | 5.27E-05 | 7.75E-05 | 3.35E-03 | 9.94E-04 |
| 7.34E+00 | 3.72E-03 | 3.87E-03 | 1.95E-04 | 5.38E-05 | 7.78E-05 | 2.86E-03 | 8.07E-04 |
| 7.50E+00 | 4.11E-03 | 3.76E-03 | 2.36E-04 | 4.79E-05 | 5.91E-05 | 2.87E-03 | 1.00E-03 |
| 7.66E+00 | 2.92E-03 | 3.79E-03 | 1.89E-04 | 6.70E-05 | 9.03E-05 | 2.82E-03 | 7.22E-04 |
| 7.81E+00 | 3.63E-03 | 3.51E-03 | 1.83E-04 | 6.12E-05 | 7.23E-05 | 2.77E-03 | 8.71E-04 |
| 7.97E+00 | 2.51E-03 | 3.42E-03 | 1.97E-04 | 6.47E-05 | 8.76E-05 | 3.07E-03 | 8.17E-04 |
| 8.13E+00 | 3.14E-03 | 3.61E-03 | 1.74E-04 | 7.42E-05 | 7.19E-05 | 2.92E-03 | 8.11E-04 |
| 8.28E+00 | 2.81E-03 | 3.71E-03 | 1.49E-04 | 5.37E-05 | 9.54E-05 | 2.73E-03 | 9.53E-04 |
| 8.44E+00 | 2.64E-03 | 3.51E-03 | 1.08E-04 | 7.49E-05 | 9.88E-05 | 3.35E-03 | 7.76E-04 |
| 8.59E+00 | 2.56E-03 | 3.68E-03 | 1.53E-04 | 5.02E-05 | 1.09E-04 | 4.25E-03 | 9.54E-04 |
| 8.75E+00 | 1.90E-03 | 3.48E-03 | 1.40E-04 | 5.64E-05 | 7.62E-05 | 2.89E-03 | 8.40E-04 |
| 8.91E+00 | 2.02E-03 | 2.93E-03 | 1.02E-04 | 5.74E-05 | 8.32E-05 | 3.32E-03 | 8.09E-04 |
| 9.06E+00 | 1.94E-03 | 3.24E-03 | 1.17E-04 | 6.44E-05 | 9.74E-05 | 3.53E-03 | 8.16E-04 |
| 9.22E+00 | 2.36E-03 | 3.51E-03 | 1.47E-04 | 7.45E-05 | 1.02E-04 | 3.61E-03 | 9.11E-04 |
| 9.38E+00 | 2.44E-03 | 3.44E-03 | 1.14E-04 | 7.65E-05 | 9.47E-05 | 3.11E-03 | 8.64E-04 |
| 9.53E+00 | 1.74E-03 | 3.41E-03 | 1.44E-04 | 1.41E-04 | 2.05E-04 | 4.64E-03 | 6.95E-04 |
| 9.69E+00 | 2.48E-03 | 3.25E-03 | 1.66E-04 | 1.75E-04 | 1.94E-04 | 3.87E-03 | 7.80E-04 |
| 9.84E+00 | 2.55E-03 | 3.87E-03 | 2.93E-04 | 1.73E-04 | 3.47E-04 | 4.57E-03 | 6.78E-04 |

| | |
|-------------|-------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h012tp4.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 1.31E-01 | 7.80E-01 | 9.78E-04 | 2.84E-04 | 4.77E-04 | 2.61E-01 | 6.64E-02 |
| 1.56E-01 | 1.45E-01 | 7.83E-01 | 1.04E-03 | 3.63E-04 | 5.31E-04 | 2.26E-01 | 9.88E-02 |
| 3.13E-01 | 1.10E-01 | 2.23E+00 | 9.48E-04 | 3.38E-04 | 5.28E-04 | 2.75E-01 | 1.45E-01 |
| 4.69E-01 | 1.81E-01 | 8.88E+00 | 1.48E-03 | 5.58E-04 | 7.51E-04 | 3.95E-01 | 1.20E-01 |
| 6.25E-01 | 4.46E-01 | 1.23E+01 | 2.50E-03 | 8.19E-04 | 8.51E-04 | 6.41E-01 | 2.09E-01 |
| 7.81E-01 | 1.92E+00 | 1.04E+01 | 7.82E-03 | 2.67E-03 | 3.13E-03 | 2.07E+00 | 4.57E-01 |
| 9.38E-01 | 3.37E+00 | 5.64E+00 | 2.44E-02 | 8.44E-03 | 9.02E-03 | 5.66E+00 | 1.30E+00 |
| 1.09E+00 | 4.30E+00 | 3.20E+00 | 5.74E-02 | 1.74E-02 | 1.75E-02 | 7.98E+00 | 2.44E+00 |
| 1.25E+00 | 4.56E+00 | 1.39E+00 | 1.11E-01 | 3.26E-02 | 3.34E-02 | 7.78E+00 | 2.49E+00 |
| 1.41E+00 | 4.78E+00 | 9.04E-01 | 1.73E-01 | 3.84E-02 | 4.48E-02 | 6.37E+00 | 2.90E+00 |
| 1.56E+00 | 3.03E+00 | 3.99E-01 | 1.22E-01 | 2.64E-02 | 3.34E-02 | 3.22E+00 | 1.60E+00 |
| 1.72E+00 | 2.72E+00 | 2.54E-01 | 1.03E-01 | 2.00E-02 | 3.39E-02 | 1.35E+00 | 8.66E-01 |
| 1.88E+00 | 2.11E+00 | 1.01E-01 | 7.50E-02 | 1.13E-02 | 2.18E-02 | 7.70E-01 | 5.31E-01 |
| 2.03E+00 | 1.50E+00 | 8.57E-02 | 2.95E-02 | 4.41E-03 | 1.04E-02 | 2.05E-01 | 2.07E-01 |
| 2.19E+00 | 1.23E+00 | 5.71E-02 | 1.81E-02 | 2.41E-03 | 6.38E-03 | 8.46E-02 | 1.03E-01 |
| 2.34E+00 | 9.80E-01 | 4.45E-02 | 1.41E-02 | 1.19E-03 | 3.47E-03 | 5.90E-02 | 6.02E-02 |
| 2.50E+00 | 8.89E-01 | 5.08E-02 | 1.30E-02 | 9.59E-04 | 2.54E-03 | 3.81E-02 | 4.18E-02 |
| 2.66E+00 | 5.02E-01 | 3.42E-02 | 1.16E-02 | 9.45E-04 | 1.58E-03 | 2.65E-02 | 2.54E-02 |
| 2.81E+00 | 5.36E-01 | 2.37E-02 | 8.84E-03 | 6.84E-04 | 1.20E-03 | 2.13E-02 | 1.98E-02 |
| 2.97E+00 | 4.68E-01 | 2.33E-02 | 7.06E-03 | 6.95E-04 | 8.88E-04 | 1.73E-02 | 1.25E-02 |
| 3.13E+00 | 3.18E-01 | 2.11E-02 | 9.02E-03 | 6.37E-04 | 5.52E-04 | 1.98E-02 | 1.28E-02 |
| 3.28E+00 | 3.01E-01 | 1.77E-02 | 8.94E-03 | 9.81E-04 | 5.95E-04 | 1.67E-02 | 1.12E-02 |
| 3.44E+00 | 2.12E-01 | 1.56E-02 | 6.91E-03 | 6.26E-04 | 6.16E-04 | 1.29E-02 | 8.23E-03 |
| 3.59E+00 | 1.62E-01 | 1.46E-02 | 6.63E-03 | 7.08E-04 | 6.11E-04 | 1.22E-02 | 6.61E-03 |
| 3.75E+00 | 1.93E-01 | 1.43E-02 | 5.33E-03 | 5.18E-04 | 4.14E-04 | 9.89E-03 | 5.18E-03 |
| 3.91E+00 | 1.17E-01 | 1.11E-02 | 3.70E-03 | 3.29E-04 | 4.79E-04 | 6.78E-03 | 4.00E-03 |
| 4.06E+00 | 9.00E-02 | 1.08E-02 | 3.69E-03 | 3.31E-04 | 5.38E-04 | 8.05E-03 | 4.29E-03 |
| 4.22E+00 | 1.10E-01 | 1.13E-02 | 3.45E-03 | 3.47E-04 | 4.71E-04 | 6.71E-03 | 3.28E-03 |
| 4.38E+00 | 7.83E-02 | 9.78E-03 | 2.96E-03 | 2.26E-04 | 3.65E-04 | 6.45E-03 | 3.00E-03 |
| 4.53E+00 | 5.22E-02 | 7.93E-03 | 2.25E-03 | 1.83E-04 | 2.24E-04 | 5.18E-03 | 2.92E-03 |
| 4.69E+00 | 3.74E-02 | 8.00E-03 | 1.65E-03 | 1.68E-04 | 2.34E-04 | 5.58E-03 | 2.09E-03 |
| 4.84E+00 | 3.95E-02 | 8.77E-03 | 1.31E-03 | 1.30E-04 | 2.35E-04 | 4.68E-03 | 1.94E-03 |
| 5.00E+00 | 4.01E-02 | 7.08E-03 | 1.85E-03 | 1.43E-04 | 1.77E-04 | 4.58E-03 | 2.00E-03 |
| 5.16E+00 | 3.36E-02 | 6.21E-03 | 9.59E-04 | 1.32E-04 | 1.52E-04 | 4.11E-03 | 1.75E-03 |
| 5.31E+00 | 2.51E-02 | 6.49E-03 | 9.17E-04 | 9.38E-05 | 1.09E-04 | 3.64E-03 | 1.39E-03 |
| 5.47E+00 | 1.75E-02 | 6.63E-03 | 8.60E-04 | 1.05E-04 | 1.52E-04 | 3.82E-03 | 1.59E-03 |
| 5.63E+00 | 2.04E-02 | 5.67E-03 | 7.43E-04 | 1.08E-04 | 1.35E-04 | 3.67E-03 | 1.44E-03 |
| 5.78E+00 | 1.23E-02 | 5.28E-03 | 7.27E-04 | 1.05E-04 | 1.39E-04 | 3.65E-03 | 1.32E-03 |
| 5.94E+00 | 9.68E-03 | 5.73E-03 | 6.36E-04 | 9.84E-05 | 1.01E-04 | 4.12E-03 | 1.33E-03 |
| 6.09E+00 | 1.01E-02 | 5.72E-03 | 5.30E-04 | 9.59E-05 | 1.06E-04 | 3.47E-03 | 1.48E-03 |
| 6.25E+00 | 8.71E-03 | 4.67E-03 | 5.76E-04 | 9.17E-05 | 1.47E-04 | 3.55E-03 | 1.44E-03 |
| 6.41E+00 | 8.39E-03 | 4.56E-03 | 6.47E-04 | 8.84E-05 | 9.99E-05 | 3.70E-03 | 1.26E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 6.38E-03 | 5.42E-03 | 4.14E-04 | 7.00E-05 | 1.02E-04 | 3.19E-03 | 1.24E-03 |
| 6.72E+00 | 4.93E-03 | 4.75E-03 | 3.60E-04 | 6.28E-05 | 9.61E-05 | 2.77E-03 | 1.17E-03 |
| 6.88E+00 | 4.90E-03 | 4.06E-03 | 2.80E-04 | 7.83E-05 | 1.13E-04 | 3.03E-03 | 1.13E-03 |
| 7.03E+00 | 5.05E-03 | 5.08E-03 | 3.08E-04 | 6.90E-05 | 8.64E-05 | 2.79E-03 | 8.84E-04 |
| 7.19E+00 | 5.14E-03 | 5.02E-03 | 2.07E-04 | 1.12E-04 | 1.78E-04 | 2.65E-03 | 1.07E-03 |
| 7.34E+00 | 4.34E-03 | 3.96E-03 | 2.57E-04 | 7.52E-05 | 1.05E-04 | 2.72E-03 | 1.09E-03 |
| 7.50E+00 | 4.22E-03 | 4.05E-03 | 2.67E-04 | 1.22E-04 | 2.01E-04 | 3.36E-03 | 1.01E-03 |
| 7.66E+00 | 3.97E-03 | 4.59E-03 | 2.21E-04 | 5.85E-05 | 1.25E-04 | 2.69E-03 | 9.82E-04 |
| 7.81E+00 | 3.74E-03 | 4.22E-03 | 1.86E-04 | 1.27E-04 | 1.02E-04 | 4.02E-03 | 1.06E-03 |
| 7.97E+00 | 3.16E-03 | 3.85E-03 | 1.47E-04 | 1.32E-04 | 1.58E-04 | 3.51E-03 | 8.06E-04 |
| 8.13E+00 | 3.59E-03 | 4.50E-03 | 2.76E-04 | 1.06E-04 | 1.21E-04 | 3.70E-03 | 8.76E-04 |
| 8.28E+00 | 2.92E-03 | 4.30E-03 | 1.93E-04 | 1.74E-04 | 1.55E-04 | 4.52E-03 | 9.76E-04 |
| 8.44E+00 | 3.99E-03 | 3.95E-03 | 2.78E-04 | 1.33E-04 | 9.46E-05 | 3.74E-03 | 1.03E-03 |
| 8.59E+00 | 2.71E-03 | 3.86E-03 | 3.28E-04 | 2.56E-04 | 1.18E-04 | 4.21E-03 | 9.22E-04 |
| 8.75E+00 | 3.83E-03 | 4.74E-03 | 2.44E-04 | 2.88E-04 | 2.69E-04 | 5.93E-03 | 9.80E-04 |
| 8.91E+00 | 2.98E-03 | 4.60E-03 | 2.32E-04 | 2.05E-04 | 2.99E-04 | 6.96E-03 | 1.11E-03 |
| 9.06E+00 | 3.57E-03 | 3.98E-03 | 2.40E-04 | 2.39E-04 | 3.93E-04 | 6.06E-03 | 1.01E-03 |
| 9.22E+00 | 3.40E-03 | 3.74E-03 | 2.13E-04 | 2.06E-04 | 3.13E-04 | 6.69E-03 | 1.01E-03 |
| 9.38E+00 | 2.89E-03 | 4.11E-03 | 2.40E-04 | 2.18E-04 | 1.85E-04 | 5.77E-03 | 9.83E-04 |
| 9.53E+00 | 3.25E-03 | 3.79E-03 | 2.18E-04 | 2.25E-04 | 2.43E-04 | 5.36E-03 | 8.82E-04 |
| 9.69E+00 | 2.70E-03 | 3.46E-03 | 1.86E-04 | 1.87E-04 | 1.98E-04 | 6.11E-03 | 9.60E-04 |
| 9.84E+00 | 3.11E-03 | 3.41E-03 | 2.57E-04 | 1.78E-04 | 2.82E-04 | 8.26E-03 | 9.04E-04 |

| | |
|-------------|--------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h014tp45.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 3.36E-01 | 5.80E-01 | 2.66E-03 | 7.05E-04 | 8.26E-04 | 4.30E-01 | 1.56E-01 |
| 1.56E-01 | 2.60E-01 | 7.30E-01 | 2.73E-03 | 8.72E-04 | 7.04E-04 | 4.83E-01 | 1.44E-01 |
| 3.13E-01 | 1.80E-01 | 3.38E+00 | 3.10E-03 | 9.89E-04 | 8.84E-04 | 4.44E-01 | 1.32E-01 |
| 4.69E-01 | 5.20E-01 | 1.76E+01 | 3.56E-03 | 1.00E-03 | 1.05E-03 | 6.55E-01 | 2.42E-01 |
| 6.25E-01 | 2.41E+00 | 1.76E+01 | 5.49E-03 | 2.02E-03 | 2.01E-03 | 2.37E+00 | 4.82E-01 |
| 7.81E-01 | 6.15E+00 | 1.01E+01 | 2.26E-02 | 8.73E-03 | 8.62E-03 | 1.01E+01 | 1.48E+00 |
| 9.38E-01 | 6.50E+00 | 4.80E+00 | 5.75E-02 | 1.80E-02 | 1.61E-02 | 1.20E+01 | 2.77E+00 |
| 1.09E+00 | 5.90E+00 | 2.57E+00 | 5.78E-02 | 1.65E-02 | 2.27E-02 | 9.13E+00 | 3.01E+00 |
| 1.25E+00 | 4.70E+00 | 1.22E+00 | 1.60E-01 | 4.04E-02 | 4.32E-02 | 8.43E+00 | 3.38E+00 |
| 1.41E+00 | 5.62E+00 | 5.93E-01 | 1.65E-01 | 4.38E-02 | 4.30E-02 | 7.84E+00 | 2.85E+00 |
| 1.56E+00 | 2.72E+00 | 2.16E-01 | 1.19E-01 | 2.75E-02 | 4.22E-02 | 2.79E+00 | 1.57E+00 |
| 1.72E+00 | 2.48E+00 | 1.17E-01 | 8.58E-02 | 1.62E-02 | 2.20E-02 | 1.38E+00 | 7.53E-01 |
| 1.88E+00 | 2.49E+00 | 9.48E-02 | 4.86E-02 | 8.67E-03 | 1.43E-02 | 6.04E-01 | 4.30E-01 |
| 2.03E+00 | 1.60E+00 | 5.91E-02 | 3.48E-02 | 5.30E-03 | 1.14E-02 | 2.33E-01 | 2.34E-01 |
| 2.19E+00 | 1.17E+00 | 5.77E-02 | 2.06E-02 | 2.33E-03 | 5.74E-03 | 1.66E-01 | 9.77E-02 |
| 2.34E+00 | 1.03E+00 | 4.45E-02 | 1.46E-02 | 1.53E-03 | 4.92E-03 | 8.48E-02 | 6.42E-02 |
| 2.50E+00 | 5.76E-01 | 3.10E-02 | 9.54E-03 | 1.04E-03 | 2.36E-03 | 6.38E-02 | 3.93E-02 |
| 2.66E+00 | 5.94E-01 | 2.57E-02 | 9.87E-03 | 8.37E-04 | 1.83E-03 | 5.43E-02 | 3.46E-02 |
| 2.81E+00 | 4.49E-01 | 2.25E-02 | 6.80E-03 | 7.83E-04 | 1.05E-03 | 3.72E-02 | 1.80E-02 |
| 2.97E+00 | 3.56E-01 | 1.97E-02 | 9.11E-03 | 7.13E-04 | 8.37E-04 | 3.34E-02 | 1.17E-02 |
| 3.13E+00 | 3.28E-01 | 1.47E-02 | 9.32E-03 | 8.18E-04 | 5.35E-04 | 2.67E-02 | 1.32E-02 |
| 3.28E+00 | 2.08E-01 | 1.73E-02 | 7.38E-03 | 8.43E-04 | 4.89E-04 | 2.12E-02 | 1.23E-02 |
| 3.44E+00 | 1.90E-01 | 1.55E-02 | 7.25E-03 | 7.78E-04 | 6.20E-04 | 2.12E-02 | 9.66E-03 |
| 3.59E+00 | 1.52E-01 | 1.34E-02 | 6.96E-03 | 7.44E-04 | 6.93E-04 | 1.45E-02 | 1.02E-02 |
| 3.75E+00 | 1.09E-01 | 1.17E-02 | 4.77E-03 | 4.72E-04 | 3.96E-04 | 1.26E-02 | 6.02E-03 |
| 3.91E+00 | 1.23E-01 | 1.00E-02 | 4.60E-03 | 6.03E-04 | 5.42E-04 | 1.23E-02 | 5.22E-03 |
| 4.06E+00 | 1.01E-01 | 9.80E-03 | 4.41E-03 | 4.69E-04 | 3.47E-04 | 1.06E-02 | 3.97E-03 |
| 4.22E+00 | 7.93E-02 | 8.85E-03 | 3.29E-03 | 3.82E-04 | 3.39E-04 | 9.28E-03 | 3.93E-03 |
| 4.38E+00 | 6.30E-02 | 8.36E-03 | 2.89E-03 | 2.82E-04 | 3.29E-04 | 8.84E-03 | 3.27E-03 |
| 4.53E+00 | 4.78E-02 | 8.41E-03 | 2.07E-03 | 2.15E-04 | 2.54E-04 | 7.13E-03 | 3.06E-03 |
| 4.69E+00 | 4.29E-02 | 7.73E-03 | 1.82E-03 | 2.31E-04 | 2.05E-04 | 7.26E-03 | 3.27E-03 |
| 4.84E+00 | 4.61E-02 | 7.38E-03 | 1.42E-03 | 1.76E-04 | 1.99E-04 | 6.45E-03 | 2.81E-03 |
| 5.00E+00 | 3.06E-02 | 6.96E-03 | 1.61E-03 | 1.69E-04 | 1.89E-04 | 6.52E-03 | 2.58E-03 |
| 5.16E+00 | 2.86E-02 | 6.27E-03 | 1.23E-03 | 1.35E-04 | 1.64E-04 | 5.45E-03 | 2.49E-03 |
| 5.31E+00 | 2.16E-02 | 6.16E-03 | 1.02E-03 | 1.17E-04 | 1.27E-04 | 5.48E-03 | 2.08E-03 |
| 5.47E+00 | 1.60E-02 | 5.88E-03 | 1.02E-03 | 1.31E-04 | 1.39E-04 | 5.34E-03 | 1.87E-03 |
| 5.63E+00 | 1.59E-02 | 5.99E-03 | 7.75E-04 | 1.61E-04 | 9.78E-05 | 5.49E-03 | 1.87E-03 |
| 5.78E+00 | 1.29E-02 | 5.49E-03 | 6.82E-04 | 1.34E-04 | 1.20E-04 | 5.06E-03 | 1.78E-03 |
| 5.94E+00 | 8.74E-03 | 5.63E-03 | 6.92E-04 | 9.63E-05 | 8.80E-05 | 4.27E-03 | 1.69E-03 |
| 6.09E+00 | 1.05E-02 | 5.06E-03 | 5.51E-04 | 9.79E-05 | 1.12E-04 | 4.11E-03 | 1.70E-03 |
| 6.25E+00 | 8.65E-03 | 4.78E-03 | 5.00E-04 | 6.89E-05 | 6.35E-05 | 4.34E-03 | 1.67E-03 |
| 6.41E+00 | 7.17E-03 | 4.55E-03 | 5.76E-04 | 8.88E-05 | 9.82E-05 | 4.08E-03 | 1.51E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 8.12E-03 | 4.74E-03 | 3.80E-04 | 6.22E-05 | 6.90E-05 | 4.21E-03 | 1.46E-03 |
| 6.72E+00 | 7.33E-03 | 4.63E-03 | 3.44E-04 | 7.59E-05 | 8.83E-05 | 4.51E-03 | 1.35E-03 |
| 6.88E+00 | 6.73E-03 | 4.61E-03 | 3.50E-04 | 6.78E-05 | 8.75E-05 | 3.83E-03 | 1.31E-03 |
| 7.03E+00 | 6.40E-03 | 4.00E-03 | 2.56E-04 | 4.82E-05 | 6.74E-05 | 3.74E-03 | 1.28E-03 |
| 7.19E+00 | 6.84E-03 | 4.10E-03 | 2.89E-04 | 7.56E-05 | 5.74E-05 | 3.64E-03 | 1.29E-03 |
| 7.34E+00 | 6.34E-03 | 3.89E-03 | 2.29E-04 | 7.27E-05 | 6.99E-05 | 3.86E-03 | 1.26E-03 |
| 7.50E+00 | 6.14E-03 | 3.90E-03 | 1.95E-04 | 4.93E-05 | 7.58E-05 | 3.54E-03 | 1.16E-03 |
| 7.66E+00 | 5.82E-03 | 3.76E-03 | 1.51E-04 | 4.81E-05 | 7.09E-05 | 4.17E-03 | 1.24E-03 |
| 7.81E+00 | 5.61E-03 | 3.86E-03 | 1.98E-04 | 6.34E-05 | 8.85E-05 | 3.83E-03 | 1.20E-03 |
| 7.97E+00 | 5.38E-03 | 3.95E-03 | 1.64E-04 | 5.49E-05 | 5.82E-05 | 3.23E-03 | 1.16E-03 |
| 8.13E+00 | 5.34E-03 | 4.05E-03 | 1.50E-04 | 6.18E-05 | 5.56E-05 | 3.74E-03 | 1.16E-03 |
| 8.28E+00 | 5.67E-03 | 3.46E-03 | 1.47E-04 | 7.19E-05 | 1.01E-04 | 3.87E-03 | 1.22E-03 |
| 8.44E+00 | 5.62E-03 | 3.54E-03 | 1.18E-04 | 7.74E-05 | 1.04E-04 | 3.93E-03 | 1.29E-03 |
| 8.59E+00 | 5.39E-03 | 3.60E-03 | 1.41E-04 | 9.24E-05 | 1.03E-04 | 3.91E-03 | 1.12E-03 |
| 8.75E+00 | 5.72E-03 | 3.75E-03 | 1.12E-04 | 1.22E-04 | 1.00E-04 | 4.20E-03 | 1.04E-03 |
| 8.91E+00 | 5.64E-03 | 3.41E-03 | 2.14E-04 | 1.13E-04 | 1.01E-04 | 4.53E-03 | 1.15E-03 |
| 9.06E+00 | 5.58E-03 | 4.02E-03 | 2.77E-04 | 1.52E-04 | 2.62E-04 | 4.56E-03 | 1.21E-03 |
| 9.22E+00 | 5.24E-03 | 4.14E-03 | 1.81E-04 | 1.63E-04 | 1.12E-04 | 4.60E-03 | 1.48E-03 |
| 9.38E+00 | 5.36E-03 | 3.54E-03 | 1.95E-04 | 9.94E-05 | 1.71E-04 | 6.53E-03 | 1.61E-03 |
| 9.53E+00 | 5.97E-03 | 3.82E-03 | 2.26E-04 | 2.37E-04 | 2.50E-04 | 5.45E-03 | 1.18E-03 |
| 9.69E+00 | 5.35E-03 | 3.84E-03 | 2.23E-04 | 2.03E-04 | 2.32E-04 | 4.75E-03 | 9.93E-04 |
| 9.84E+00 | 5.41E-03 | 3.93E-03 | 1.77E-04 | 2.04E-04 | 2.16E-04 | 3.98E-03 | 1.21E-03 |

| | |
|-------------|-------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h016tp5.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 3.84E-01 | 1.48E+00 | 1.91E-03 | 3.94E-04 | 7.23E-04 | 6.97E-01 | 2.53E-01 |
| 1.56E-01 | 4.71E-01 | 1.83E+00 | 1.69E-03 | 4.38E-04 | 6.01E-04 | 7.36E-01 | 2.31E-01 |
| 3.13E-01 | 6.10E-01 | 9.78E+00 | 2.60E-03 | 8.43E-04 | 6.62E-04 | 9.70E-01 | 2.30E-01 |
| 4.69E-01 | 1.40E+00 | 3.14E+01 | 4.00E-03 | 9.95E-04 | 1.05E-03 | 1.76E+00 | 3.69E-01 |
| 6.25E-01 | 6.09E+00 | 1.56E+01 | 8.89E-03 | 3.21E-03 | 4.11E-03 | 6.91E+00 | 1.11E+00 |
| 7.81E-01 | 1.45E+01 | 7.74E+00 | 3.37E-02 | 1.61E-02 | 1.45E-02 | 2.13E+01 | 3.49E+00 |
| 9.38E-01 | 1.37E+01 | 3.82E+00 | 6.73E-02 | 2.32E-02 | 2.25E-02 | 1.89E+01 | 4.40E+00 |
| 1.09E+00 | 6.93E+00 | 1.98E+00 | 1.07E-01 | 3.09E-02 | 2.90E-02 | 1.40E+01 | 3.96E+00 |
| 1.25E+00 | 5.47E+00 | 1.25E+00 | 1.22E-01 | 3.25E-02 | 3.60E-02 | 8.61E+00 | 3.45E+00 |
| 1.41E+00 | 4.51E+00 | 5.38E-01 | 2.03E-01 | 5.04E-02 | 5.12E-02 | 7.08E+00 | 2.80E+00 |
| 1.56E+00 | 2.74E+00 | 3.43E-01 | 1.06E-01 | 2.57E-02 | 4.07E-02 | 3.17E+00 | 1.51E+00 |
| 1.72E+00 | 3.18E+00 | 2.02E-01 | 8.74E-02 | 1.68E-02 | 2.90E-02 | 1.56E+00 | 8.47E-01 |
| 1.88E+00 | 1.93E+00 | 1.18E-01 | 4.97E-02 | 8.03E-03 | 1.26E-02 | 5.86E-01 | 3.44E-01 |
| 2.03E+00 | 1.15E+00 | 1.07E-01 | 3.19E-02 | 4.11E-03 | 9.48E-03 | 2.44E-01 | 1.90E-01 |
| 2.19E+00 | 9.90E-01 | 5.84E-02 | 1.86E-02 | 1.78E-03 | 5.25E-03 | 1.26E-01 | 9.20E-02 |
| 2.34E+00 | 7.74E-01 | 6.26E-02 | 1.24E-02 | 1.20E-03 | 3.21E-03 | 1.01E-01 | 5.13E-02 |
| 2.50E+00 | 5.83E-01 | 4.60E-02 | 9.57E-03 | 8.82E-04 | 2.18E-03 | 7.65E-02 | 4.12E-02 |
| 2.66E+00 | 5.59E-01 | 3.21E-02 | 9.92E-03 | 7.76E-04 | 1.28E-03 | 4.66E-02 | 2.54E-02 |
| 2.81E+00 | 3.46E-01 | 3.41E-02 | 1.10E-02 | 9.55E-04 | 8.16E-04 | 3.22E-02 | 2.64E-02 |
| 2.97E+00 | 3.80E-01 | 2.78E-02 | 8.71E-03 | 8.21E-04 | 6.12E-04 | 3.10E-02 | 1.91E-02 |
| 3.13E+00 | 3.41E-01 | 2.47E-02 | 9.65E-03 | 9.20E-04 | 4.20E-04 | 2.66E-02 | 1.46E-02 |
| 3.28E+00 | 1.88E-01 | 2.34E-02 | 8.59E-03 | 8.55E-04 | 5.36E-04 | 2.33E-02 | 1.31E-02 |
| 3.44E+00 | 1.97E-01 | 1.95E-02 | 6.67E-03 | 6.38E-04 | 5.28E-04 | 2.09E-02 | 1.21E-02 |
| 3.59E+00 | 1.43E-01 | 1.85E-02 | 6.23E-03 | 5.97E-04 | 3.56E-04 | 1.86E-02 | 8.07E-03 |
| 3.75E+00 | 5.71E-02 | 1.68E-02 | 3.92E-03 | 4.23E-04 | 4.43E-04 | 1.66E-02 | 7.34E-03 |
| 3.91E+00 | 7.87E-02 | 1.55E-02 | 3.19E-03 | 3.67E-04 | 3.83E-04 | 1.18E-02 | 5.39E-03 |
| 4.06E+00 | 7.36E-02 | 1.42E-02 | 4.40E-03 | 3.87E-04 | 3.74E-04 | 1.37E-02 | 6.03E-03 |
| 4.22E+00 | 4.90E-02 | 1.31E-02 | 3.17E-03 | 3.49E-04 | 3.88E-04 | 1.12E-02 | 5.26E-03 |
| 4.38E+00 | 4.40E-02 | 1.18E-02 | 3.77E-03 | 2.82E-04 | 3.24E-04 | 9.95E-03 | 4.48E-03 |
| 4.53E+00 | 4.36E-02 | 1.11E-02 | 2.02E-03 | 1.77E-04 | 2.31E-04 | 9.01E-03 | 3.95E-03 |
| 4.69E+00 | 2.20E-02 | 1.09E-02 | 1.51E-03 | 2.15E-04 | 1.81E-04 | 8.94E-03 | 3.35E-03 |
| 4.84E+00 | 1.96E-02 | 9.80E-03 | 1.40E-03 | 1.57E-04 | 1.05E-04 | 7.90E-03 | 3.50E-03 |
| 5.00E+00 | 2.13E-02 | 9.41E-03 | 1.44E-03 | 1.74E-04 | 9.47E-05 | 6.91E-03 | 3.10E-03 |
| 5.16E+00 | 1.49E-02 | 9.08E-03 | 1.18E-03 | 1.53E-04 | 1.31E-04 | 6.76E-03 | 2.94E-03 |
| 5.31E+00 | 1.18E-02 | 8.86E-03 | 9.93E-04 | 1.11E-04 | 8.09E-05 | 6.49E-03 | 2.82E-03 |
| 5.47E+00 | 1.08E-02 | 8.73E-03 | 9.78E-04 | 1.53E-04 | 9.03E-05 | 6.38E-03 | 2.66E-03 |
| 5.63E+00 | 9.25E-03 | 8.03E-03 | 1.00E-03 | 1.21E-04 | 9.67E-05 | 5.92E-03 | 2.45E-03 |
| 5.78E+00 | 9.19E-03 | 7.40E-03 | 5.70E-04 | 8.86E-05 | 7.88E-05 | 5.72E-03 | 2.54E-03 |
| 5.94E+00 | 7.45E-03 | 7.33E-03 | 7.84E-04 | 8.91E-05 | 8.90E-05 | 5.10E-03 | 2.28E-03 |
| 6.09E+00 | 8.06E-03 | 7.09E-03 | 7.55E-04 | 1.03E-04 | 7.15E-05 | 5.05E-03 | 2.10E-03 |
| 6.25E+00 | 6.52E-03 | 7.03E-03 | 6.33E-04 | 6.93E-05 | 9.26E-05 | 5.46E-03 | 2.15E-03 |
| 6.41E+00 | 6.58E-03 | 6.67E-03 | 4.51E-04 | 6.45E-05 | 6.85E-05 | 4.80E-03 | 2.16E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 6.15E-03 | 6.25E-03 | 3.42E-04 | 6.35E-05 | 7.52E-05 | 5.19E-03 | 1.93E-03 |
| 6.72E+00 | 5.87E-03 | 5.91E-03 | 2.49E-04 | 4.84E-05 | 3.99E-05 | 4.80E-03 | 1.83E-03 |
| 6.88E+00 | 5.92E-03 | 6.14E-03 | 3.37E-04 | 6.10E-05 | 5.70E-05 | 4.41E-03 | 1.66E-03 |
| 7.03E+00 | 5.61E-03 | 6.12E-03 | 2.75E-04 | 5.85E-05 | 4.58E-05 | 4.22E-03 | 1.83E-03 |
| 7.19E+00 | 5.11E-03 | 5.83E-03 | 1.96E-04 | 3.96E-05 | 4.32E-05 | 4.22E-03 | 1.74E-03 |
| 7.34E+00 | 5.18E-03 | 5.42E-03 | 2.22E-04 | 4.60E-05 | 3.94E-05 | 4.24E-03 | 1.65E-03 |
| 7.50E+00 | 4.78E-03 | 5.48E-03 | 1.95E-04 | 4.39E-05 | 3.81E-05 | 4.12E-03 | 1.59E-03 |
| 7.66E+00 | 4.38E-03 | 5.49E-03 | 2.30E-04 | 4.43E-05 | 3.93E-05 | 4.10E-03 | 1.55E-03 |
| 7.81E+00 | 4.29E-03 | 5.38E-03 | 1.67E-04 | 2.99E-05 | 3.59E-05 | 3.54E-03 | 1.62E-03 |
| 7.97E+00 | 4.92E-03 | 5.19E-03 | 1.66E-04 | 4.01E-05 | 3.58E-05 | 3.86E-03 | 1.54E-03 |
| 8.13E+00 | 4.30E-03 | 5.22E-03 | 1.40E-04 | 3.27E-05 | 3.63E-05 | 3.87E-03 | 1.56E-03 |
| 8.28E+00 | 4.17E-03 | 5.05E-03 | 1.26E-04 | 3.66E-05 | 3.52E-05 | 3.46E-03 | 1.58E-03 |
| 8.44E+00 | 4.46E-03 | 5.26E-03 | 9.87E-05 | 2.51E-05 | 3.70E-05 | 3.79E-03 | 1.57E-03 |
| 8.59E+00 | 4.21E-03 | 5.08E-03 | 9.76E-05 | 3.17E-05 | 3.73E-05 | 4.01E-03 | 1.47E-03 |
| 8.75E+00 | 4.25E-03 | 4.75E-03 | 1.00E-04 | 3.48E-05 | 3.89E-05 | 3.58E-03 | 1.47E-03 |
| 8.91E+00 | 4.37E-03 | 4.58E-03 | 1.27E-04 | 3.90E-05 | 3.77E-05 | 3.97E-03 | 1.46E-03 |
| 9.06E+00 | 4.13E-03 | 4.76E-03 | 1.44E-04 | 4.22E-05 | 3.23E-05 | 3.76E-03 | 1.30E-03 |
| 9.22E+00 | 4.12E-03 | 4.72E-03 | 9.27E-05 | 4.35E-05 | 4.86E-05 | 4.46E-03 | 1.37E-03 |
| 9.38E+00 | 3.89E-03 | 4.83E-03 | 1.23E-04 | 5.90E-05 | 4.31E-05 | 3.60E-03 | 1.32E-03 |
| 9.53E+00 | 4.10E-03 | 4.78E-03 | 1.79E-04 | 7.60E-05 | 7.28E-05 | 3.91E-03 | 1.47E-03 |
| 9.69E+00 | 4.18E-03 | 5.20E-03 | 1.54E-04 | 1.02E-04 | 1.02E-04 | 4.25E-03 | 1.29E-03 |
| 9.84E+00 | 4.29E-03 | 4.71E-03 | 1.92E-04 | 1.14E-04 | 1.16E-04 | 5.59E-03 | 1.49E-03 |

| | |
|-------------|-----------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h8tp2.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 5.20E-02 | 6.74E-02 | 1.21E-04 | 3.70E-05 | 1.69E-04 | 2.86E-02 | 3.28E-03 |
| 1.56E-01 | 4.37E-02 | 1.04E-01 | 3.56E-04 | 1.28E-04 | 2.01E-04 | 2.18E-02 | 6.01E-03 |
| 3.13E-01 | 2.14E-02 | 1.01E-01 | 2.36E-04 | 9.86E-05 | 2.36E-04 | 1.07E-02 | 7.32E-03 |
| 4.69E-01 | 2.50E-02 | 1.48E-01 | 2.42E-04 | 1.54E-04 | 1.76E-04 | 1.24E-02 | 9.61E-03 |
| 6.25E-01 | 3.82E-02 | 3.26E-01 | 1.36E-04 | 1.04E-04 | 1.41E-04 | 2.03E-02 | 1.05E-02 |
| 7.81E-01 | 3.02E-02 | 9.31E-01 | 2.02E-04 | 1.42E-04 | 1.14E-04 | 2.05E-02 | 7.43E-03 |
| 9.38E-01 | 2.64E-02 | 3.83E+00 | 4.45E-04 | 2.04E-04 | 1.96E-04 | 3.35E-02 | 1.20E-02 |
| 1.09E+00 | 3.88E-02 | 4.99E+00 | 7.40E-04 | 2.20E-04 | 1.73E-04 | 3.14E-02 | 1.59E-02 |
| 1.25E+00 | 4.64E-02 | 3.85E+00 | 1.22E-03 | 2.98E-04 | 3.08E-04 | 6.76E-02 | 2.95E-02 |
| 1.41E+00 | 5.39E-02 | 1.74E+00 | 1.82E-03 | 4.14E-04 | 4.93E-04 | 5.73E-02 | 2.77E-02 |
| 1.56E+00 | 5.40E-02 | 9.10E-01 | 2.77E-03 | 6.09E-04 | 8.56E-04 | 5.74E-02 | 3.30E-02 |
| 1.72E+00 | 9.43E-02 | 5.15E-01 | 3.25E-03 | 7.06E-04 | 9.88E-04 | 4.63E-02 | 3.14E-02 |
| 1.88E+00 | 1.21E-01 | 3.45E-01 | 4.96E-03 | 6.19E-04 | 1.28E-03 | 4.40E-02 | 3.12E-02 |
| 2.03E+00 | 2.07E-01 | 1.61E-01 | 5.26E-03 | 9.92E-04 | 2.15E-03 | 3.34E-02 | 4.43E-02 |
| 2.19E+00 | 3.30E-01 | 1.16E-01 | 5.64E-03 | 6.80E-04 | 2.35E-03 | 2.60E-02 | 2.55E-02 |
| 2.34E+00 | 5.36E-01 | 9.20E-02 | 5.78E-03 | 4.65E-04 | 2.24E-03 | 1.10E-02 | 2.14E-02 |
| 2.50E+00 | 7.18E-01 | 7.68E-02 | 5.40E-03 | 3.18E-04 | 2.28E-03 | 5.99E-03 | 1.62E-02 |
| 2.66E+00 | 1.00E+00 | 5.41E-02 | 3.24E-03 | 1.30E-04 | 1.65E-03 | 2.24E-03 | 7.58E-03 |
| 2.81E+00 | 1.06E+00 | 5.38E-02 | 1.97E-03 | 6.88E-05 | 8.70E-04 | 1.02E-03 | 6.43E-03 |
| 2.97E+00 | 1.02E+00 | 4.49E-02 | 1.19E-03 | 7.26E-05 | 3.77E-04 | 9.69E-04 | 2.52E-03 |
| 3.13E+00 | 4.69E-01 | 2.39E-02 | 8.74E-04 | 1.05E-04 | 1.31E-04 | 9.49E-04 | 1.06E-03 |
| 3.28E+00 | 8.96E-01 | 2.18E-02 | 1.23E-03 | 1.31E-04 | 8.06E-05 | 1.58E-03 | 9.35E-04 |
| 3.44E+00 | 5.86E-01 | 2.06E-02 | 9.17E-04 | 1.38E-04 | 1.48E-04 | 1.34E-03 | 6.05E-04 |
| 3.59E+00 | 5.32E-01 | 1.34E-02 | 1.09E-03 | 2.08E-04 | 2.18E-04 | 1.69E-03 | 9.00E-04 |
| 3.75E+00 | 4.52E-01 | 1.17E-02 | 1.32E-03 | 1.36E-04 | 2.45E-04 | 1.09E-03 | 6.21E-04 |
| 3.91E+00 | 3.77E-01 | 1.01E-02 | 1.07E-03 | 1.14E-04 | 2.27E-04 | 9.80E-04 | 7.08E-04 |
| 4.06E+00 | 2.70E-01 | 9.04E-03 | 8.12E-04 | 1.01E-04 | 1.91E-04 | 7.05E-04 | 5.17E-04 |
| 4.22E+00 | 2.59E-01 | 6.56E-03 | 6.79E-04 | 7.53E-05 | 1.97E-04 | 6.07E-04 | 4.42E-04 |
| 4.38E+00 | 2.72E-01 | 6.98E-03 | 6.87E-04 | 5.60E-05 | 1.58E-04 | 6.01E-04 | 3.22E-04 |
| 4.53E+00 | 1.77E-01 | 5.85E-03 | 5.66E-04 | 5.58E-05 | 1.31E-04 | 5.12E-04 | 2.74E-04 |
| 4.69E+00 | 1.77E-01 | 5.28E-03 | 4.43E-04 | 3.79E-05 | 1.26E-04 | 6.24E-04 | 2.68E-04 |
| 4.84E+00 | 1.24E-01 | 6.31E-03 | 3.09E-04 | 4.03E-05 | 6.79E-05 | 6.41E-04 | 1.55E-04 |
| 5.00E+00 | 1.01E-01 | 4.98E-03 | 2.72E-04 | 4.06E-05 | 6.24E-05 | 6.45E-04 | 1.61E-04 |
| 5.16E+00 | 8.71E-02 | 4.52E-03 | 2.51E-04 | 3.63E-05 | 5.74E-05 | 7.09E-04 | 1.26E-04 |
| 5.31E+00 | 3.96E-02 | 4.67E-03 | 1.46E-04 | 3.47E-05 | 5.07E-05 | 5.76E-04 | 1.22E-04 |
| 5.47E+00 | 6.63E-02 | 4.34E-03 | 1.23E-04 | 4.10E-05 | 5.78E-05 | 7.09E-04 | 1.10E-04 |
| 5.63E+00 | 3.99E-02 | 4.44E-03 | 1.01E-04 | 3.33E-05 | 6.07E-05 | 5.98E-04 | 9.20E-05 |
| 5.78E+00 | 2.91E-02 | 4.11E-03 | 8.75E-05 | 3.13E-05 | 4.68E-05 | 6.05E-04 | 1.01E-04 |
| 5.94E+00 | 2.39E-02 | 3.44E-03 | 9.30E-05 | 3.54E-05 | 4.97E-05 | 4.81E-04 | 1.13E-04 |
| 6.09E+00 | 1.96E-02 | 3.20E-03 | 7.80E-05 | 2.64E-05 | 3.91E-05 | 4.26E-04 | 9.00E-05 |
| 6.25E+00 | 1.57E-02 | 3.20E-03 | 5.24E-05 | 3.45E-05 | 4.47E-05 | 6.45E-04 | 9.60E-05 |
| 6.41E+00 | 1.37E-02 | 3.08E-03 | 6.08E-05 | 3.20E-05 | 3.59E-05 | 5.26E-04 | 6.65E-05 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 1.16E-02 | 2.98E-03 | 4.59E-05 | 3.11E-05 | 4.33E-05 | 5.49E-04 | 8.95E-05 |
| 6.72E+00 | 9.68E-03 | 2.79E-03 | 3.31E-05 | 2.77E-05 | 2.96E-05 | 5.45E-04 | 7.50E-05 |
| 6.88E+00 | 1.04E-02 | 2.71E-03 | 3.00E-05 | 3.41E-05 | 3.67E-05 | 6.27E-04 | 6.87E-05 |
| 7.03E+00 | 6.88E-03 | 2.72E-03 | 3.37E-05 | 3.24E-05 | 3.52E-05 | 6.36E-04 | 6.71E-05 |
| 7.19E+00 | 5.26E-03 | 2.57E-03 | 2.95E-05 | 2.50E-05 | 4.37E-05 | 4.57E-04 | 7.51E-05 |
| 7.34E+00 | 5.85E-03 | 2.50E-03 | 2.41E-05 | 2.58E-05 | 2.63E-05 | 5.07E-04 | 6.19E-05 |
| 7.50E+00 | 4.38E-03 | 2.55E-03 | 2.45E-05 | 3.28E-05 | 3.58E-05 | 6.20E-04 | 7.56E-05 |
| 7.66E+00 | 3.89E-03 | 2.43E-03 | 2.01E-05 | 3.20E-05 | 4.31E-05 | 7.41E-04 | 7.47E-05 |
| 7.81E+00 | 2.48E-03 | 2.52E-03 | 1.82E-05 | 3.26E-05 | 4.21E-05 | 4.88E-04 | 6.59E-05 |
| 7.97E+00 | 3.18E-03 | 2.19E-03 | 2.06E-05 | 2.47E-05 | 3.38E-05 | 6.98E-04 | 7.81E-05 |
| 8.13E+00 | 2.58E-03 | 2.26E-03 | 2.37E-05 | 2.54E-05 | 3.60E-05 | 5.15E-04 | 7.79E-05 |
| 8.28E+00 | 2.23E-03 | 2.21E-03 | 2.36E-05 | 2.42E-05 | 4.25E-05 | 5.32E-04 | 7.18E-05 |
| 8.44E+00 | 1.99E-03 | 2.25E-03 | 2.37E-05 | 3.01E-05 | 3.78E-05 | 5.57E-04 | 8.08E-05 |
| 8.59E+00 | 1.74E-03 | 2.16E-03 | 2.41E-05 | 2.84E-05 | 5.20E-05 | 6.13E-04 | 9.58E-05 |
| 8.75E+00 | 1.59E-03 | 2.21E-03 | 2.04E-05 | 3.65E-05 | 3.21E-05 | 6.64E-04 | 9.99E-05 |
| 8.91E+00 | 1.74E-03 | 2.15E-03 | 2.59E-05 | 4.47E-05 | 3.54E-05 | 6.35E-04 | 7.71E-05 |
| 9.06E+00 | 1.37E-03 | 2.03E-03 | 2.84E-05 | 4.92E-05 | 4.19E-05 | 8.80E-04 | 8.04E-05 |
| 9.22E+00 | 1.46E-03 | 2.06E-03 | 3.97E-05 | 6.06E-05 | 7.49E-05 | 1.02E-03 | 1.15E-04 |
| 9.38E+00 | 1.51E-03 | 2.31E-03 | 4.86E-05 | 7.30E-05 | 7.26E-05 | 8.91E-04 | 8.45E-05 |
| 9.53E+00 | 1.40E-03 | 2.17E-03 | 5.36E-05 | 8.43E-05 | 7.13E-05 | 1.26E-03 | 1.05E-04 |
| 9.69E+00 | 1.52E-03 | 2.22E-03 | 8.75E-05 | 1.20E-04 | 1.42E-04 | 1.82E-03 | 1.87E-04 |
| 9.84E+00 | 1.43E-03 | 2.21E-03 | 1.45E-04 | 1.35E-04 | 1.77E-04 | 1.93E-03 | 1.65E-04 |

| | |
|--------------|-------------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h9tp25.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 1.20E-01 | 1.52E-01 | 4.34E-04 | 1.23E-04 | 2.43E-04 | 3.33E-02 | 8.14E-03 |
| 1.56E-01 | 4.29E-02 | 1.08E-01 | 3.77E-04 | 1.49E-04 | 2.14E-04 | 3.14E-02 | 1.25E-02 |
| 3.13E-01 | 4.05E-02 | 1.47E-01 | 5.03E-04 | 1.95E-04 | 2.73E-04 | 1.58E-02 | 1.83E-02 |
| 4.69E-01 | 4.55E-02 | 3.80E-01 | 3.99E-04 | 1.33E-04 | 1.47E-04 | 1.99E-02 | 1.69E-02 |
| 6.25E-01 | 3.74E-02 | 1.17E+00 | 4.29E-04 | 1.84E-04 | 1.99E-04 | 2.43E-02 | 1.06E-02 |
| 7.81E-01 | 4.22E-02 | 5.34E+00 | 6.00E-04 | 1.90E-04 | 1.93E-04 | 3.15E-02 | 1.64E-02 |
| 9.38E-01 | 5.22E-02 | 6.44E+00 | 1.15E-03 | 2.55E-04 | 3.55E-04 | 4.59E-02 | 1.81E-02 |
| 1.09E+00 | 6.55E-02 | 3.83E+00 | 2.03E-03 | 3.50E-04 | 4.84E-04 | 8.16E-02 | 3.09E-02 |
| 1.25E+00 | 1.48E-01 | 2.26E+00 | 4.40E-03 | 8.62E-04 | 1.43E-03 | 1.44E-01 | 8.85E-02 |
| 1.41E+00 | 2.72E-01 | 1.30E+00 | 1.30E-02 | 2.78E-03 | 3.09E-03 | 4.03E-01 | 1.96E-01 |
| 1.56E+00 | 3.86E-01 | 8.53E-01 | 2.33E-02 | 5.47E-03 | 5.81E-03 | 4.71E-01 | 2.75E-01 |
| 1.72E+00 | 5.90E-01 | 3.70E-01 | 4.33E-02 | 8.88E-03 | 1.36E-02 | 6.95E-01 | 4.63E-01 |
| 1.88E+00 | 1.19E+00 | 2.77E-01 | 4.34E-02 | 6.69E-03 | 1.54E-02 | 3.81E-01 | 2.63E-01 |
| 2.03E+00 | 1.06E+00 | 1.68E-01 | 2.68E-02 | 3.90E-03 | 1.03E-02 | 1.77E-01 | 1.77E-01 |
| 2.19E+00 | 1.01E+00 | 1.14E-01 | 1.63E-02 | 2.12E-03 | 6.24E-03 | 5.88E-02 | 7.39E-02 |
| 2.34E+00 | 1.25E+00 | 7.75E-02 | 1.34E-02 | 1.18E-03 | 5.03E-03 | 3.26E-02 | 5.70E-02 |
| 2.50E+00 | 8.18E-01 | 5.64E-02 | 5.84E-03 | 3.86E-04 | 2.51E-03 | 1.17E-02 | 2.01E-02 |
| 2.66E+00 | 9.54E-01 | 4.99E-02 | 3.85E-03 | 2.31E-04 | 1.30E-03 | 5.73E-03 | 1.57E-02 |
| 2.81E+00 | 6.99E-01 | 3.86E-02 | 1.89E-03 | 1.14E-04 | 6.42E-04 | 4.35E-03 | 6.74E-03 |
| 2.97E+00 | 7.47E-01 | 2.82E-02 | 1.52E-03 | 9.87E-05 | 3.59E-04 | 2.76E-03 | 3.50E-03 |
| 3.13E+00 | 8.42E-01 | 2.34E-02 | 1.31E-03 | 1.62E-04 | 1.67E-04 | 2.97E-03 | 2.47E-03 |
| 3.28E+00 | 6.76E-01 | 1.49E-02 | 1.38E-03 | 1.86E-04 | 1.40E-04 | 3.21E-03 | 1.86E-03 |
| 3.44E+00 | 4.36E-01 | 1.55E-02 | 1.55E-03 | 1.71E-04 | 1.40E-04 | 2.29E-03 | 1.71E-03 |
| 3.59E+00 | 4.83E-01 | 1.10E-02 | 1.87E-03 | 1.92E-04 | 1.93E-04 | 2.28E-03 | 1.63E-03 |
| 3.75E+00 | 3.33E-01 | 9.90E-03 | 2.38E-03 | 1.85E-04 | 2.83E-04 | 2.40E-03 | 1.67E-03 |
| 3.91E+00 | 2.67E-01 | 8.88E-03 | 1.51E-03 | 1.29E-04 | 2.30E-04 | 1.74E-03 | 1.18E-03 |
| 4.06E+00 | 1.40E-01 | 7.26E-03 | 1.51E-03 | 1.17E-04 | 2.34E-04 | 2.19E-03 | 1.23E-03 |
| 4.22E+00 | 1.71E-01 | 5.77E-03 | 1.12E-03 | 1.15E-04 | 1.74E-04 | 1.35E-03 | 8.88E-04 |
| 4.38E+00 | 1.92E-01 | 5.59E-03 | 1.38E-03 | 9.98E-05 | 2.55E-04 | 1.40E-03 | 9.43E-04 |
| 4.53E+00 | 1.06E-01 | 5.53E-03 | 9.51E-04 | 8.63E-05 | 1.74E-04 | 1.36E-03 | 7.46E-04 |
| 4.69E+00 | 1.32E-01 | 5.12E-03 | 8.23E-04 | 8.42E-05 | 1.46E-04 | 1.36E-03 | 6.05E-04 |
| 4.84E+00 | 9.56E-02 | 4.49E-03 | 7.75E-04 | 7.63E-05 | 1.08E-04 | 1.44E-03 | 5.81E-04 |
| 5.00E+00 | 7.05E-02 | 4.14E-03 | 4.26E-04 | 5.56E-05 | 7.32E-05 | 1.08E-03 | 4.05E-04 |
| 5.16E+00 | 5.01E-02 | 4.12E-03 | 4.28E-04 | 6.71E-05 | 7.61E-05 | 1.65E-03 | 4.54E-04 |
| 5.31E+00 | 3.80E-02 | 3.29E-03 | 2.56E-04 | 6.08E-05 | 6.78E-05 | 1.25E-03 | 4.47E-04 |
| 5.47E+00 | 3.53E-02 | 3.27E-03 | 2.98E-04 | 6.59E-05 | 6.47E-05 | 9.93E-04 | 3.52E-04 |
| 5.63E+00 | 3.07E-02 | 3.09E-03 | 2.30E-04 | 5.15E-05 | 6.03E-05 | 1.05E-03 | 3.28E-04 |
| 5.78E+00 | 2.91E-02 | 2.70E-03 | 2.16E-04 | 4.32E-05 | 5.40E-05 | 1.24E-03 | 3.66E-04 |
| 5.94E+00 | 2.49E-02 | 2.61E-03 | 1.76E-04 | 3.76E-05 | 4.51E-05 | 9.55E-04 | 2.91E-04 |
| 6.09E+00 | 2.22E-02 | 2.26E-03 | 1.65E-04 | 4.37E-05 | 4.50E-05 | 8.30E-04 | 2.38E-04 |
| 6.25E+00 | 1.48E-02 | 2.46E-03 | 1.49E-04 | 4.14E-05 | 5.03E-05 | 6.52E-04 | 2.92E-04 |
| 6.41E+00 | 1.16E-02 | 2.25E-03 | 9.29E-05 | 2.58E-05 | 3.38E-05 | 7.11E-04 | 2.51E-04 |
| 6.56E+00 | 9.93E-03 | 1.95E-03 | 9.66E-05 | 5.03E-05 | 4.19E-05 | 7.09E-04 | 2.36E-04 |
| 6.72E+00 | 1.15E-02 | 2.04E-03 | 1.07E-04 | 2.84E-05 | 3.87E-05 | 6.71E-04 | 2.31E-04 |
| 6.88E+00 | 6.72E-03 | 2.24E-03 | 8.08E-05 | 3.60E-05 | 4.43E-05 | 5.78E-04 | 2.49E-04 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 7.03E+00 | 4.28E-03 | 2.16E-03 | 6.79E-05 | 3.50E-05 | 4.40E-05 | 5.22E-04 | 2.14E-04 |
| 7.19E+00 | 3.79E-03 | 2.22E-03 | 5.13E-05 | 4.32E-05 | 3.37E-05 | 6.83E-04 | 2.22E-04 |
| 7.34E+00 | 4.05E-03 | 2.04E-03 | 4.88E-05 | 3.51E-05 | 3.73E-05 | 9.26E-04 | 2.03E-04 |
| 7.50E+00 | 3.18E-03 | 2.10E-03 | 6.28E-05 | 3.79E-05 | 4.84E-05 | 9.17E-04 | 1.92E-04 |
| 7.66E+00 | 2.89E-03 | 1.96E-03 | 4.40E-05 | 2.68E-05 | 3.62E-05 | 8.01E-04 | 2.17E-04 |
| 7.81E+00 | 2.47E-03 | 1.86E-03 | 4.46E-05 | 3.10E-05 | 3.80E-05 | 9.67E-04 | 2.08E-04 |
| 7.97E+00 | 2.38E-03 | 1.87E-03 | 3.88E-05 | 3.63E-05 | 3.40E-05 | 1.05E-03 | 1.87E-04 |
| 8.13E+00 | 2.05E-03 | 1.86E-03 | 3.45E-05 | 3.04E-05 | 4.90E-05 | 1.09E-03 | 2.27E-04 |
| 8.28E+00 | 1.67E-03 | 1.91E-03 | 3.26E-05 | 4.07E-05 | 4.66E-05 | 1.07E-03 | 1.85E-04 |
| 8.44E+00 | 1.90E-03 | 1.68E-03 | 3.38E-05 | 3.29E-05 | 3.14E-05 | 9.38E-04 | 2.18E-04 |
| 8.59E+00 | 1.41E-03 | 1.74E-03 | 3.68E-05 | 5.00E-05 | 2.65E-05 | 1.22E-03 | 1.91E-04 |
| 8.75E+00 | 1.46E-03 | 1.66E-03 | 3.41E-05 | 4.01E-05 | 3.88E-05 | 9.79E-04 | 1.73E-04 |
| 8.91E+00 | 1.55E-03 | 1.66E-03 | 2.35E-05 | 3.48E-05 | 3.98E-05 | 1.05E-03 | 1.47E-04 |
| 9.06E+00 | 1.29E-03 | 1.67E-03 | 3.82E-05 | 3.62E-05 | 4.17E-05 | 1.20E-03 | 2.04E-04 |
| 9.22E+00 | 1.37E-03 | 1.63E-03 | 4.07E-05 | 3.65E-05 | 6.81E-05 | 1.03E-03 | 2.10E-04 |
| 9.38E+00 | 1.44E-03 | 1.64E-03 | 4.85E-05 | 5.60E-05 | 6.33E-05 | 1.10E-03 | 1.74E-04 |
| 9.53E+00 | 1.23E-03 | 1.65E-03 | 5.25E-05 | 5.92E-05 | 8.13E-05 | 1.49E-03 | 2.56E-04 |
| 9.69E+00 | 1.50E-03 | 1.78E-03 | 6.43E-05 | 9.90E-05 | 1.15E-04 | 1.68E-03 | 1.95E-04 |
| 9.84E+00 | 1.34E-03 | 1.83E-03 | 1.17E-04 | 1.45E-04 | 1.71E-04 | 2.63E-03 | 3.92E-04 |

| | |
|--------------|-------------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h10tp3.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 1.05E-01 | 1.91E-01 | 3.89E-04 | 1.87E-04 | 3.13E-04 | 6.16E-02 | 2.74E-02 |
| 1.56E-01 | 9.77E-02 | 2.22E-01 | 5.58E-04 | 2.52E-04 | 3.00E-04 | 6.03E-02 | 4.78E-02 |
| 3.13E-01 | 4.50E-02 | 3.09E-01 | 4.16E-04 | 2.54E-04 | 2.96E-04 | 4.75E-02 | 4.61E-02 |
| 4.69E-01 | 4.94E-02 | 1.18E+00 | 6.02E-04 | 3.73E-04 | 2.66E-04 | 5.23E-02 | 3.89E-02 |
| 6.25E-01 | 8.32E-02 | 6.76E+00 | 8.25E-04 | 2.65E-04 | 3.68E-04 | 6.08E-02 | 3.96E-02 |
| 7.81E-01 | 1.04E-01 | 7.85E+00 | 1.32E-03 | 4.18E-04 | 4.32E-04 | 1.25E-01 | 4.68E-02 |
| 9.38E-01 | 2.10E-01 | 5.57E+00 | 2.37E-03 | 8.52E-04 | 6.31E-04 | 1.73E-01 | 7.43E-02 |
| 1.09E+00 | 4.36E-01 | 4.44E+00 | 7.44E-03 | 2.74E-03 | 2.39E-03 | 6.32E-01 | 2.80E-01 |
| 1.25E+00 | 7.94E-01 | 1.93E+00 | 2.99E-02 | 7.04E-03 | 7.75E-03 | 1.62E+00 | 7.43E-01 |
| 1.41E+00 | 1.38E+00 | 1.03E+00 | 6.77E-02 | 1.61E-02 | 1.89E-02 | 2.46E+00 | 1.16E+00 |
| 1.56E+00 | 1.86E+00 | 7.30E-01 | 1.12E-01 | 2.73E-02 | 3.20E-02 | 2.57E+00 | 1.39E+00 |
| 1.72E+00 | 1.94E+00 | 4.25E-01 | 1.02E-01 | 1.60E-02 | 3.21E-02 | 1.40E+00 | 1.01E+00 |
| 1.88E+00 | 1.70E+00 | 2.33E-01 | 6.00E-02 | 1.30E-02 | 2.16E-02 | 5.98E-01 | 4.67E-01 |
| 2.03E+00 | 1.38E+00 | 1.50E-01 | 4.49E-02 | 5.34E-03 | 1.30E-02 | 2.47E-01 | 2.77E-01 |
| 2.19E+00 | 1.69E+00 | 7.90E-02 | 2.84E-02 | 3.43E-03 | 1.13E-02 | 1.11E-01 | 1.44E-01 |
| 2.34E+00 | 1.27E+00 | 6.10E-02 | 1.36E-02 | 1.57E-03 | 6.15E-03 | 5.37E-02 | 6.88E-02 |
| 2.50E+00 | 1.28E+00 | 4.66E-02 | 9.30E-03 | 5.94E-04 | 3.89E-03 | 2.54E-02 | 3.19E-02 |
| 2.66E+00 | 1.24E+00 | 4.58E-02 | 6.09E-03 | 3.84E-04 | 2.15E-03 | 1.80E-02 | 1.82E-02 |
| 2.81E+00 | 8.51E-01 | 3.25E-02 | 2.90E-03 | 2.03E-04 | 7.34E-04 | 9.53E-03 | 8.70E-03 |
| 2.97E+00 | 6.89E-01 | 2.29E-02 | 3.55E-03 | 2.14E-04 | 5.49E-04 | 1.10E-02 | 7.75E-03 |
| 3.13E+00 | 5.34E-01 | 1.56E-02 | 2.94E-03 | 2.48E-04 | 3.24E-04 | 8.85E-03 | 4.88E-03 |
| 3.28E+00 | 4.52E-01 | 1.68E-02 | 4.62E-03 | 3.54E-04 | 3.44E-04 | 7.65E-03 | 5.47E-03 |
| 3.44E+00 | 3.94E-01 | 1.14E-02 | 6.26E-03 | 5.85E-04 | 3.98E-04 | 4.86E-03 | 5.34E-03 |
| 3.59E+00 | 3.58E-01 | 1.18E-02 | 4.25E-03 | 3.97E-04 | 3.94E-04 | 5.02E-03 | 4.27E-03 |
| 3.75E+00 | 2.12E-01 | 9.36E-03 | 5.68E-03 | 3.12E-04 | 4.50E-04 | 4.16E-03 | 3.48E-03 |
| 3.91E+00 | 2.19E-01 | 6.15E-03 | 4.44E-03 | 2.81E-04 | 4.84E-04 | 3.87E-03 | 3.45E-03 |
| 4.06E+00 | 1.69E-01 | 6.19E-03 | 3.50E-03 | 3.50E-04 | 3.59E-04 | 2.80E-03 | 3.08E-03 |
| 4.22E+00 | 1.34E-01 | 6.59E-03 | 2.23E-03 | 2.13E-04 | 2.94E-04 | 2.94E-03 | 2.37E-03 |
| 4.38E+00 | 1.26E-01 | 6.52E-03 | 2.36E-03 | 1.93E-04 | 2.13E-04 | 2.07E-03 | 1.94E-03 |
| 4.53E+00 | 1.11E-01 | 5.58E-03 | 1.81E-03 | 1.17E-04 | 2.29E-04 | 2.13E-03 | 1.28E-03 |
| 4.69E+00 | 8.17E-02 | 4.53E-03 | 1.35E-03 | 1.32E-04 | 2.06E-04 | 2.18E-03 | 1.02E-03 |
| 4.84E+00 | 6.11E-02 | 4.36E-03 | 1.17E-03 | 1.11E-04 | 1.57E-04 | 1.71E-03 | 1.16E-03 |
| 5.00E+00 | 5.43E-02 | 4.17E-03 | 1.04E-03 | 1.01E-04 | 1.28E-04 | 1.83E-03 | 1.04E-03 |
| 5.16E+00 | 3.72E-02 | 3.72E-03 | 8.85E-04 | 8.00E-05 | 1.33E-04 | 2.11E-03 | 9.28E-04 |
| 5.31E+00 | 3.56E-02 | 3.75E-03 | 8.77E-04 | 7.74E-05 | 9.93E-05 | 2.05E-03 | 8.62E-04 |
| 5.47E+00 | 3.72E-02 | 3.54E-03 | 6.44E-04 | 5.52E-05 | 1.05E-04 | 1.53E-03 | 6.77E-04 |
| 5.63E+00 | 2.67E-02 | 3.27E-03 | 4.27E-04 | 5.54E-05 | 7.17E-05 | 1.77E-03 | 6.89E-04 |
| 5.78E+00 | 2.57E-02 | 3.17E-03 | 4.12E-04 | 6.21E-05 | 8.29E-05 | 1.78E-03 | 6.67E-04 |
| 5.94E+00 | 2.31E-02 | 3.37E-03 | 4.61E-04 | 5.83E-05 | 6.83E-05 | 1.76E-03 | 6.41E-04 |
| 6.09E+00 | 1.53E-02 | 2.94E-03 | 3.59E-04 | 4.81E-05 | 8.32E-05 | 1.51E-03 | 6.15E-04 |
| 6.25E+00 | 1.68E-02 | 2.76E-03 | 3.12E-04 | 4.64E-05 | 6.01E-05 | 1.29E-03 | 5.40E-04 |
| 6.41E+00 | 1.12E-02 | 2.87E-03 | 3.24E-04 | 5.03E-05 | 6.50E-05 | 1.08E-03 | 5.40E-04 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 1.32E-02 | 2.66E-03 | 2.61E-04 | 3.61E-05 | 5.48E-05 | 1.23E-03 | 4.87E-04 |
| 6.72E+00 | 6.21E-03 | 2.58E-03 | 2.67E-04 | 4.55E-05 | 6.76E-05 | 1.32E-03 | 5.37E-04 |
| 6.88E+00 | 6.78E-03 | 2.53E-03 | 1.77E-04 | 3.22E-05 | 4.14E-05 | 1.17E-03 | 5.07E-04 |
| 7.03E+00 | 6.75E-03 | 2.39E-03 | 2.13E-04 | 3.87E-05 | 4.34E-05 | 1.24E-03 | 4.46E-04 |
| 7.19E+00 | 5.33E-03 | 2.32E-03 | 1.44E-04 | 3.03E-05 | 4.35E-05 | 1.31E-03 | 4.48E-04 |
| 7.34E+00 | 3.35E-03 | 2.35E-03 | 1.04E-04 | 2.89E-05 | 4.99E-05 | 1.32E-03 | 4.95E-04 |
| 7.50E+00 | 3.75E-03 | 2.21E-03 | 1.18E-04 | 4.73E-05 | 5.06E-05 | 1.13E-03 | 4.68E-04 |
| 7.66E+00 | 3.04E-03 | 2.10E-03 | 9.85E-05 | 4.59E-05 | 3.31E-05 | 1.13E-03 | 4.04E-04 |
| 7.81E+00 | 3.95E-03 | 1.97E-03 | 9.25E-05 | 4.18E-05 | 4.88E-05 | 1.24E-03 | 3.97E-04 |
| 7.97E+00 | 3.44E-03 | 2.21E-03 | 1.00E-04 | 3.06E-05 | 4.70E-05 | 1.00E-03 | 4.20E-04 |
| 8.13E+00 | 3.08E-03 | 2.13E-03 | 6.80E-05 | 3.30E-05 | 3.65E-05 | 9.88E-04 | 3.74E-04 |
| 8.28E+00 | 2.75E-03 | 2.07E-03 | 8.66E-05 | 3.77E-05 | 4.06E-05 | 1.09E-03 | 4.29E-04 |
| 8.44E+00 | 2.78E-03 | 2.15E-03 | 7.43E-05 | 4.61E-05 | 5.87E-05 | 1.32E-03 | 4.00E-04 |
| 8.59E+00 | 2.14E-03 | 2.16E-03 | 8.69E-05 | 2.62E-05 | 5.25E-05 | 1.13E-03 | 3.58E-04 |
| 8.75E+00 | 2.42E-03 | 1.93E-03 | 7.16E-05 | 4.50E-05 | 5.06E-05 | 7.69E-04 | 3.76E-04 |
| 8.91E+00 | 2.70E-03 | 1.90E-03 | 7.68E-05 | 3.34E-05 | 3.47E-05 | 1.09E-03 | 3.99E-04 |
| 9.06E+00 | 2.21E-03 | 1.98E-03 | 6.13E-05 | 3.64E-05 | 5.72E-05 | 1.10E-03 | 3.32E-04 |
| 9.22E+00 | 2.04E-03 | 1.77E-03 | 7.67E-05 | 4.88E-05 | 7.09E-05 | 1.10E-03 | 3.05E-04 |
| 9.38E+00 | 2.48E-03 | 2.12E-03 | 7.17E-05 | 5.94E-05 | 8.69E-05 | 1.24E-03 | 3.53E-04 |
| 9.53E+00 | 1.97E-03 | 2.15E-03 | 8.33E-05 | 7.91E-05 | 8.57E-05 | 1.36E-03 | 4.07E-04 |
| 9.69E+00 | 2.18E-03 | 1.87E-03 | 1.15E-04 | 8.52E-05 | 1.01E-04 | 2.21E-03 | 5.54E-04 |
| 9.84E+00 | 2.23E-03 | 2.13E-03 | 1.81E-04 | 1.78E-04 | 2.13E-04 | 3.22E-03 | 6.24E-04 |

| | |
|-------------|--------------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h11tp35.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 1.18E-01 | 2.03E-01 | 1.34E-03 | 3.27E-04 | 3.88E-04 | 1.06E-01 | 5.49E-02 |
| 1.56E-01 | 9.07E-02 | 2.30E-01 | 1.57E-03 | 5.15E-04 | 5.28E-04 | 1.23E-01 | 6.54E-02 |
| 3.13E-01 | 7.15E-02 | 4.58E-01 | 1.64E-03 | 4.88E-04 | 5.81E-04 | 1.03E-01 | 6.13E-02 |
| 4.69E-01 | 1.07E-01 | 3.72E+00 | 1.81E-03 | 4.21E-04 | 4.38E-04 | 1.48E-01 | 8.32E-02 |
| 6.25E-01 | 1.58E-01 | 9.80E+00 | 2.60E-03 | 5.76E-04 | 6.62E-04 | 2.09E-01 | 1.11E-01 |
| 7.81E-01 | 3.40E-01 | 1.11E+01 | 4.89E-03 | 1.06E-03 | 8.74E-04 | 4.92E-01 | 1.33E-01 |
| 9.38E-01 | 1.05E+00 | 4.53E+00 | 1.02E-02 | 2.92E-03 | 3.65E-03 | 1.37E+00 | 5.39E-01 |
| 1.09E+00 | 1.93E+00 | 3.74E+00 | 3.91E-02 | 7.79E-03 | 8.27E-03 | 3.17E+00 | 1.37E+00 |
| 1.25E+00 | 1.89E+00 | 1.50E+00 | 6.86E-02 | 1.82E-02 | 1.38E-02 | 3.79E+00 | 1.66E+00 |
| 1.41E+00 | 2.87E+00 | 1.09E+00 | 1.22E-01 | 3.15E-02 | 3.79E-02 | 4.30E+00 | 2.08E+00 |
| 1.56E+00 | 1.94E+00 | 6.91E-01 | 1.15E-01 | 2.44E-02 | 3.39E-02 | 3.00E+00 | 1.65E+00 |
| 1.72E+00 | 2.71E+00 | 4.29E-01 | 1.13E-01 | 2.66E-02 | 3.96E-02 | 2.16E+00 | 1.28E+00 |
| 1.88E+00 | 2.14E+00 | 2.32E-01 | 7.58E-02 | 1.20E-02 | 2.22E-02 | 7.66E-01 | 5.00E-01 |
| 2.03E+00 | 1.92E+00 | 1.17E-01 | 4.54E-02 | 7.40E-03 | 2.05E-02 | 3.84E-01 | 2.76E-01 |
| 2.19E+00 | 1.68E+00 | 9.28E-02 | 2.85E-02 | 3.56E-03 | 1.05E-02 | 1.45E-01 | 1.70E-01 |
| 2.34E+00 | 1.19E+00 | 7.66E-02 | 1.43E-02 | 1.61E-03 | 3.76E-03 | 6.38E-02 | 7.70E-02 |
| 2.50E+00 | 8.86E-01 | 6.95E-02 | 6.89E-03 | 6.51E-04 | 2.61E-03 | 4.02E-02 | 3.53E-02 |
| 2.66E+00 | 8.09E-01 | 4.31E-02 | 6.89E-03 | 3.15E-04 | 1.54E-03 | 2.99E-02 | 2.88E-02 |
| 2.81E+00 | 6.07E-01 | 3.65E-02 | 5.04E-03 | 3.51E-04 | 8.33E-04 | 2.05E-02 | 1.82E-02 |
| 2.97E+00 | 5.75E-01 | 2.80E-02 | 6.20E-03 | 4.01E-04 | 5.36E-04 | 2.05E-02 | 1.04E-02 |
| 3.13E+00 | 4.35E-01 | 2.60E-02 | 6.21E-03 | 4.85E-04 | 5.29E-04 | 1.98E-02 | 1.19E-02 |
| 3.28E+00 | 3.79E-01 | 2.24E-02 | 5.82E-03 | 4.54E-04 | 4.77E-04 | 1.58E-02 | 8.75E-03 |
| 3.44E+00 | 4.09E-01 | 2.20E-02 | 7.78E-03 | 4.68E-04 | 4.85E-04 | 1.34E-02 | 9.70E-03 |
| 3.59E+00 | 2.29E-01 | 1.75E-02 | 8.25E-03 | 5.25E-04 | 4.72E-04 | 1.27E-02 | 7.82E-03 |
| 3.75E+00 | 1.95E-01 | 1.56E-02 | 5.49E-03 | 5.77E-04 | 4.66E-04 | 9.96E-03 | 6.25E-03 |
| 3.91E+00 | 1.47E-01 | 1.48E-02 | 4.01E-03 | 3.63E-04 | 3.96E-04 | 7.87E-03 | 5.08E-03 |
| 4.06E+00 | 1.58E-01 | 1.27E-02 | 5.22E-03 | 3.76E-04 | 5.03E-04 | 6.87E-03 | 4.87E-03 |
| 4.22E+00 | 1.38E-01 | 1.28E-02 | 2.42E-03 | 2.10E-04 | 3.39E-04 | 6.99E-03 | 4.19E-03 |
| 4.38E+00 | 8.07E-02 | 1.13E-02 | 2.52E-03 | 1.91E-04 | 3.08E-04 | 5.94E-03 | 3.68E-03 |
| 4.53E+00 | 9.21E-02 | 1.04E-02 | 2.30E-03 | 1.81E-04 | 3.04E-04 | 4.88E-03 | 3.09E-03 |
| 4.69E+00 | 5.73E-02 | 9.52E-03 | 1.62E-03 | 1.64E-04 | 2.27E-04 | 5.38E-03 | 2.53E-03 |
| 4.84E+00 | 6.89E-02 | 9.48E-03 | 1.29E-03 | 1.07E-04 | 1.66E-04 | 4.90E-03 | 2.26E-03 |
| 5.00E+00 | 5.01E-02 | 8.91E-03 | 1.30E-03 | 8.69E-05 | 1.62E-04 | 4.83E-03 | 2.24E-03 |
| 5.16E+00 | 4.65E-02 | 7.98E-03 | 8.02E-04 | 9.41E-05 | 1.27E-04 | 4.12E-03 | 1.93E-03 |
| 5.31E+00 | 2.34E-02 | 8.00E-03 | 1.04E-03 | 6.26E-05 | 9.21E-05 | 3.73E-03 | 1.82E-03 |
| 5.47E+00 | 2.47E-02 | 7.63E-03 | 8.45E-04 | 8.07E-05 | 9.71E-05 | 3.54E-03 | 1.71E-03 |
| 5.63E+00 | 2.09E-02 | 7.45E-03 | 6.86E-04 | 8.47E-05 | 8.70E-05 | 3.83E-03 | 1.70E-03 |
| 5.78E+00 | 1.61E-02 | 7.22E-03 | 8.16E-04 | 8.13E-05 | 8.14E-05 | 3.73E-03 | 1.86E-03 |
| 5.94E+00 | 1.22E-02 | 6.81E-03 | 4.82E-04 | 7.11E-05 | 8.54E-05 | 3.55E-03 | 1.51E-03 |
| 6.09E+00 | 1.23E-02 | 6.27E-03 | 5.28E-04 | 8.77E-05 | 1.12E-04 | 3.69E-03 | 1.47E-03 |
| 6.25E+00 | 1.04E-02 | 6.26E-03 | 6.40E-04 | 5.25E-05 | 9.21E-05 | 3.35E-03 | 1.39E-03 |
| 6.41E+00 | 8.72E-03 | 5.96E-03 | 3.61E-04 | 7.66E-05 | 5.98E-05 | 3.61E-03 | 1.23E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 5.68E-03 | 6.00E-03 | 3.79E-04 | 4.79E-05 | 7.45E-05 | 3.24E-03 | 1.16E-03 |
| 6.72E+00 | 6.14E-03 | 5.49E-03 | 2.62E-04 | 4.55E-05 | 6.16E-05 | 3.14E-03 | 1.06E-03 |
| 6.88E+00 | 4.79E-03 | 5.32E-03 | 2.25E-04 | 4.09E-05 | 5.99E-05 | 2.86E-03 | 1.19E-03 |
| 7.03E+00 | 4.35E-03 | 5.56E-03 | 2.40E-04 | 3.92E-05 | 4.62E-05 | 2.89E-03 | 1.15E-03 |
| 7.19E+00 | 4.34E-03 | 5.17E-03 | 2.21E-04 | 3.97E-05 | 4.37E-05 | 2.58E-03 | 1.10E-03 |
| 7.34E+00 | 3.41E-03 | 4.95E-03 | 1.95E-04 | 4.83E-05 | 3.79E-05 | 2.82E-03 | 1.18E-03 |
| 7.50E+00 | 3.02E-03 | 4.93E-03 | 2.22E-04 | 4.11E-05 | 5.15E-05 | 2.70E-03 | 1.16E-03 |
| 7.66E+00 | 3.14E-03 | 4.65E-03 | 1.91E-04 | 4.64E-05 | 5.49E-05 | 2.59E-03 | 1.02E-03 |
| 7.81E+00 | 2.83E-03 | 4.63E-03 | 2.10E-04 | 2.91E-05 | 3.92E-05 | 2.14E-03 | 1.10E-03 |
| 7.97E+00 | 2.79E-03 | 4.74E-03 | 1.87E-04 | 3.33E-05 | 5.48E-05 | 2.36E-03 | 9.48E-04 |
| 8.13E+00 | 2.69E-03 | 4.57E-03 | 1.13E-04 | 3.22E-05 | 5.50E-05 | 2.49E-03 | 8.96E-04 |
| 8.28E+00 | 2.47E-03 | 4.55E-03 | 1.33E-04 | 3.38E-05 | 4.69E-05 | 2.43E-03 | 9.32E-04 |
| 8.44E+00 | 1.94E-03 | 4.22E-03 | 1.19E-04 | 4.03E-05 | 5.15E-05 | 2.78E-03 | 7.93E-04 |
| 8.59E+00 | 2.31E-03 | 4.31E-03 | 1.30E-04 | 3.67E-05 | 4.84E-05 | 2.39E-03 | 8.53E-04 |
| 8.75E+00 | 2.00E-03 | 4.17E-03 | 1.33E-04 | 3.75E-05 | 4.56E-05 | 2.10E-03 | 8.83E-04 |
| 8.91E+00 | 1.88E-03 | 4.34E-03 | 1.21E-04 | 3.21E-05 | 6.43E-05 | 2.43E-03 | 1.02E-03 |
| 9.06E+00 | 1.78E-03 | 4.36E-03 | 1.07E-04 | 4.14E-05 | 8.30E-05 | 2.38E-03 | 9.60E-04 |
| 9.22E+00 | 1.82E-03 | 4.29E-03 | 1.19E-04 | 5.16E-05 | 6.30E-05 | 2.28E-03 | 9.24E-04 |
| 9.38E+00 | 1.57E-03 | 4.27E-03 | 1.13E-04 | 5.03E-05 | 6.23E-05 | 2.25E-03 | 1.03E-03 |
| 9.53E+00 | 1.80E-03 | 4.49E-03 | 1.62E-04 | 6.89E-05 | 8.84E-05 | 3.43E-03 | 8.32E-04 |
| 9.69E+00 | 1.74E-03 | 4.23E-03 | 1.47E-04 | 7.23E-05 | 1.31E-04 | 3.63E-03 | 8.68E-04 |
| 9.84E+00 | 2.13E-03 | 4.59E-03 | 1.76E-04 | 1.44E-04 | 1.16E-04 | 3.54E-03 | 9.18E-04 |

| | |
|-------------|-------------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h12tp4.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 1.72E-01 | 5.83E-01 | 1.39E-03 | 3.52E-04 | 6.80E-04 | 2.32E-01 | 8.45E-02 |
| 1.56E-01 | 1.19E-01 | 6.63E-01 | 1.98E-03 | 5.35E-04 | 4.87E-04 | 2.56E-01 | 1.62E-01 |
| 3.13E-01 | 1.14E-01 | 1.73E+00 | 2.52E-03 | 6.41E-04 | 7.81E-04 | 1.93E-01 | 2.06E-01 |
| 4.69E-01 | 1.88E-01 | 9.49E+00 | 2.61E-03 | 6.70E-04 | 6.85E-04 | 2.86E-01 | 2.01E-01 |
| 6.25E-01 | 5.13E-01 | 1.49E+01 | 3.42E-03 | 1.17E-03 | 1.10E-03 | 5.43E-01 | 2.92E-01 |
| 7.81E-01 | 1.67E+00 | 9.91E+00 | 8.38E-03 | 2.68E-03 | 2.27E-03 | 2.45E+00 | 6.89E-01 |
| 9.38E-01 | 3.88E+00 | 4.19E+00 | 3.67E-02 | 8.43E-03 | 9.44E-03 | 4.97E+00 | 1.74E+00 |
| 1.09E+00 | 4.27E+00 | 3.40E+00 | 6.33E-02 | 1.86E-02 | 1.71E-02 | 7.06E+00 | 2.35E+00 |
| 1.25E+00 | 3.46E+00 | 1.57E+00 | 1.16E-01 | 2.59E-02 | 2.62E-02 | 7.04E+00 | 2.61E+00 |
| 1.41E+00 | 3.43E+00 | 8.79E-01 | 1.28E-01 | 3.16E-02 | 3.29E-02 | 5.48E+00 | 2.51E+00 |
| 1.56E+00 | 3.89E+00 | 6.93E-01 | 1.94E-01 | 4.37E-02 | 5.85E-02 | 4.29E+00 | 2.38E+00 |
| 1.72E+00 | 2.35E+00 | 3.13E-01 | 1.19E-01 | 2.74E-02 | 3.80E-02 | 1.87E+00 | 1.35E+00 |
| 1.88E+00 | 2.33E+00 | 1.26E-01 | 9.11E-02 | 1.51E-02 | 2.63E-02 | 9.24E-01 | 7.00E-01 |
| 2.03E+00 | 1.79E+00 | 1.00E-01 | 4.71E-02 | 8.13E-03 | 1.66E-02 | 4.62E-01 | 3.85E-01 |
| 2.19E+00 | 1.34E+00 | 7.99E-02 | 2.13E-02 | 2.57E-03 | 8.18E-03 | 1.88E-01 | 1.50E-01 |
| 2.34E+00 | 8.17E-01 | 5.88E-02 | 1.00E-02 | 9.17E-04 | 3.76E-03 | 8.88E-02 | 6.77E-02 |
| 2.50E+00 | 6.95E-01 | 5.21E-02 | 7.02E-03 | 6.70E-04 | 1.90E-03 | 7.00E-02 | 4.76E-02 |
| 2.66E+00 | 7.64E-01 | 4.51E-02 | 6.19E-03 | 3.91E-04 | 1.59E-03 | 4.71E-02 | 3.40E-02 |
| 2.81E+00 | 5.91E-01 | 3.85E-02 | 5.95E-03 | 3.83E-04 | 1.03E-03 | 3.57E-02 | 2.69E-02 |
| 2.97E+00 | 3.65E-01 | 3.24E-02 | 8.87E-03 | 6.65E-04 | 6.53E-04 | 3.10E-02 | 2.20E-02 |
| 3.13E+00 | 3.93E-01 | 2.66E-02 | 8.13E-03 | 5.86E-04 | 4.80E-04 | 3.28E-02 | 1.63E-02 |
| 3.28E+00 | 3.01E-01 | 2.49E-02 | 8.48E-03 | 6.70E-04 | 4.25E-04 | 2.13E-02 | 1.34E-02 |
| 3.44E+00 | 2.27E-01 | 2.14E-02 | 9.29E-03 | 7.74E-04 | 5.95E-04 | 2.09E-02 | 1.10E-02 |
| 3.59E+00 | 1.45E-01 | 1.72E-02 | 6.31E-03 | 5.61E-04 | 7.26E-04 | 1.67E-02 | 9.41E-03 |
| 3.75E+00 | 1.68E-01 | 1.64E-02 | 6.34E-03 | 7.00E-04 | 6.00E-04 | 1.74E-02 | 7.72E-03 |
| 3.91E+00 | 1.02E-01 | 1.52E-02 | 5.94E-03 | 4.64E-04 | 5.01E-04 | 1.44E-02 | 7.39E-03 |
| 4.06E+00 | 1.09E-01 | 1.45E-02 | 4.39E-03 | 4.02E-04 | 2.98E-04 | 1.35E-02 | 5.90E-03 |
| 4.22E+00 | 9.64E-02 | 1.32E-02 | 2.93E-03 | 2.60E-04 | 2.74E-04 | 1.18E-02 | 4.93E-03 |
| 4.38E+00 | 5.49E-02 | 1.26E-02 | 2.79E-03 | 2.91E-04 | 3.19E-04 | 1.09E-02 | 5.23E-03 |
| 4.53E+00 | 6.30E-02 | 1.16E-02 | 2.28E-03 | 1.89E-04 | 2.08E-04 | 9.49E-03 | 4.69E-03 |
| 4.69E+00 | 5.61E-02 | 1.09E-02 | 1.64E-03 | 1.73E-04 | 2.18E-04 | 9.38E-03 | 4.03E-03 |
| 4.84E+00 | 4.66E-02 | 9.68E-03 | 1.40E-03 | 1.68E-04 | 1.74E-04 | 8.39E-03 | 3.51E-03 |
| 5.00E+00 | 3.72E-02 | 9.67E-03 | 1.35E-03 | 1.89E-04 | 1.44E-04 | 8.19E-03 | 3.15E-03 |
| 5.16E+00 | 3.02E-02 | 9.16E-03 | 1.38E-03 | 1.35E-04 | 1.44E-04 | 7.64E-03 | 3.20E-03 |
| 5.31E+00 | 2.04E-02 | 8.67E-03 | 1.08E-03 | 1.44E-04 | 1.10E-04 | 6.65E-03 | 3.01E-03 |
| 5.47E+00 | 2.09E-02 | 8.55E-03 | 9.88E-04 | 1.05E-04 | 9.82E-05 | 6.56E-03 | 2.74E-03 |
| 5.63E+00 | 2.04E-02 | 7.92E-03 | 9.07E-04 | 1.48E-04 | 1.24E-04 | 6.26E-03 | 2.76E-03 |
| 5.78E+00 | 1.33E-02 | 7.57E-03 | 7.79E-04 | 8.87E-05 | 8.48E-05 | 6.75E-03 | 2.74E-03 |
| 5.94E+00 | 1.34E-02 | 7.17E-03 | 6.96E-04 | 8.86E-05 | 7.13E-05 | 5.72E-03 | 2.74E-03 |
| 6.09E+00 | 1.39E-02 | 7.01E-03 | 5.15E-04 | 9.23E-05 | 7.57E-05 | 5.86E-03 | 2.40E-03 |
| 6.25E+00 | 1.05E-02 | 6.72E-03 | 5.37E-04 | 8.15E-05 | 5.95E-05 | 5.81E-03 | 2.25E-03 |
| 6.41E+00 | 7.35E-03 | 6.32E-03 | 4.04E-04 | 7.38E-05 | 6.71E-05 | 5.59E-03 | 2.13E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 5.90E-03 | 6.17E-03 | 3.99E-04 | 7.15E-05 | 6.76E-05 | 5.40E-03 | 2.18E-03 |
| 6.72E+00 | 5.97E-03 | 6.29E-03 | 3.67E-04 | 7.90E-05 | 6.39E-05 | 4.98E-03 | 2.05E-03 |
| 6.88E+00 | 4.50E-03 | 6.08E-03 | 3.57E-04 | 7.01E-05 | 7.13E-05 | 5.80E-03 | 1.85E-03 |
| 7.03E+00 | 5.14E-03 | 5.80E-03 | 2.66E-04 | 6.45E-05 | 7.73E-05 | 5.45E-03 | 1.80E-03 |
| 7.19E+00 | 4.91E-03 | 5.59E-03 | 2.66E-04 | 6.89E-05 | 7.06E-05 | 5.31E-03 | 1.85E-03 |
| 7.34E+00 | 4.43E-03 | 5.73E-03 | 1.85E-04 | 5.96E-05 | 4.63E-05 | 4.75E-03 | 1.74E-03 |
| 7.50E+00 | 3.86E-03 | 5.52E-03 | 1.92E-04 | 6.66E-05 | 5.76E-05 | 4.91E-03 | 1.67E-03 |
| 7.66E+00 | 3.44E-03 | 5.65E-03 | 1.59E-04 | 6.15E-05 | 5.81E-05 | 4.71E-03 | 1.69E-03 |
| 7.81E+00 | 3.18E-03 | 5.19E-03 | 1.85E-04 | 5.18E-05 | 3.85E-05 | 4.91E-03 | 1.54E-03 |
| 7.97E+00 | 3.17E-03 | 5.26E-03 | 1.56E-04 | 4.79E-05 | 5.29E-05 | 4.23E-03 | 1.57E-03 |
| 8.13E+00 | 2.93E-03 | 5.06E-03 | 1.53E-04 | 5.63E-05 | 4.62E-05 | 4.47E-03 | 1.59E-03 |
| 8.28E+00 | 3.14E-03 | 4.85E-03 | 1.27E-04 | 4.81E-05 | 5.18E-05 | 3.91E-03 | 1.45E-03 |
| 8.44E+00 | 2.56E-03 | 5.01E-03 | 1.21E-04 | 5.25E-05 | 5.71E-05 | 4.28E-03 | 1.57E-03 |
| 8.59E+00 | 2.66E-03 | 4.98E-03 | 1.07E-04 | 5.62E-05 | 4.52E-05 | 3.80E-03 | 1.48E-03 |
| 8.75E+00 | 2.67E-03 | 4.95E-03 | 1.51E-04 | 4.98E-05 | 5.18E-05 | 4.77E-03 | 1.39E-03 |
| 8.91E+00 | 2.90E-03 | 4.86E-03 | 9.23E-05 | 6.74E-05 | 6.26E-05 | 3.77E-03 | 1.43E-03 |
| 9.06E+00 | 2.71E-03 | 4.69E-03 | 1.18E-04 | 5.24E-05 | 6.64E-05 | 4.42E-03 | 1.53E-03 |
| 9.22E+00 | 2.75E-03 | 4.75E-03 | 1.15E-04 | 6.49E-05 | 7.33E-05 | 4.38E-03 | 1.44E-03 |
| 9.38E+00 | 2.65E-03 | 4.51E-03 | 1.57E-04 | 8.33E-05 | 6.90E-05 | 4.55E-03 | 1.63E-03 |
| 9.53E+00 | 2.93E-03 | 4.75E-03 | 1.23E-04 | 9.02E-05 | 1.39E-04 | 5.00E-03 | 1.53E-03 |
| 9.69E+00 | 2.50E-03 | 5.15E-03 | 1.59E-04 | 1.39E-04 | 1.62E-04 | 6.33E-03 | 1.44E-03 |
| 9.84E+00 | 2.50E-03 | 4.87E-03 | 1.58E-04 | 1.34E-04 | 1.21E-04 | 5.04E-03 | 1.53E-03 |

| | |
|-------------|--------------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h14tp45.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 2.09E-01 | 5.34E-01 | 1.81E-03 | 5.48E-04 | 6.93E-04 | 3.55E-01 | 1.70E-01 |
| 1.56E-01 | 2.65E-01 | 6.15E-01 | 1.66E-03 | 7.99E-04 | 8.04E-04 | 3.99E-01 | 2.28E-01 |
| 3.13E-01 | 1.78E-01 | 2.81E+00 | 1.96E-03 | 7.63E-04 | 9.38E-04 | 3.57E-01 | 2.40E-01 |
| 4.69E-01 | 4.29E-01 | 1.68E+01 | 2.82E-03 | 9.44E-04 | 1.07E-03 | 6.13E-01 | 2.95E-01 |
| 6.25E-01 | 2.03E+00 | 1.75E+01 | 5.40E-03 | 1.70E-03 | 2.22E-03 | 2.56E+00 | 5.80E-01 |
| 7.81E-01 | 5.63E+00 | 9.80E+00 | 1.75E-02 | 7.27E-03 | 7.06E-03 | 7.50E+00 | 2.03E+00 |
| 9.38E-01 | 9.41E+00 | 5.05E+00 | 4.84E-02 | 1.40E-02 | 1.43E-02 | 1.24E+01 | 3.45E+00 |
| 1.09E+00 | 6.00E+00 | 2.13E+00 | 1.13E-01 | 2.65E-02 | 2.42E-02 | 9.06E+00 | 3.73E+00 |
| 1.25E+00 | 6.13E+00 | 1.01E+00 | 1.67E-01 | 4.32E-02 | 3.88E-02 | 9.74E+00 | 4.34E+00 |
| 1.41E+00 | 4.36E+00 | 6.42E-01 | 2.69E-01 | 6.87E-02 | 7.22E-02 | 1.02E+01 | 3.66E+00 |
| 1.56E+00 | 4.09E+00 | 2.56E-01 | 1.53E-01 | 3.59E-02 | 5.05E-02 | 4.62E+00 | 2.40E+00 |
| 1.72E+00 | 3.04E+00 | 1.34E-01 | 1.17E-01 | 2.23E-02 | 3.37E-02 | 1.79E+00 | 1.54E+00 |
| 1.88E+00 | 1.72E+00 | 1.04E-01 | 5.67E-02 | 9.62E-03 | 2.08E-02 | 7.56E-01 | 4.48E-01 |
| 2.03E+00 | 1.60E+00 | 5.84E-02 | 4.07E-02 | 6.71E-03 | 1.65E-02 | 4.25E-01 | 2.30E-01 |
| 2.19E+00 | 1.17E+00 | 4.81E-02 | 1.84E-02 | 2.66E-03 | 5.67E-03 | 1.51E-01 | 1.25E-01 |
| 2.34E+00 | 8.70E-01 | 3.98E-02 | 1.07E-02 | 1.22E-03 | 3.33E-03 | 1.01E-01 | 7.07E-02 |
| 2.50E+00 | 6.91E-01 | 2.65E-02 | 9.18E-03 | 6.79E-04 | 1.94E-03 | 5.84E-02 | 5.25E-02 |
| 2.66E+00 | 6.82E-01 | 2.31E-02 | 7.50E-03 | 5.00E-04 | 1.27E-03 | 4.39E-02 | 3.62E-02 |
| 2.81E+00 | 5.51E-01 | 1.76E-02 | 9.13E-03 | 8.10E-04 | 9.04E-04 | 4.44E-02 | 2.68E-02 |
| 2.97E+00 | 3.68E-01 | 1.77E-02 | 8.44E-03 | 5.93E-04 | 7.79E-04 | 3.46E-02 | 2.35E-02 |
| 3.13E+00 | 3.65E-01 | 1.44E-02 | 9.25E-03 | 7.22E-04 | 5.99E-04 | 2.78E-02 | 1.69E-02 |
| 3.28E+00 | 2.37E-01 | 1.34E-02 | 1.14E-02 | 9.59E-04 | 6.02E-04 | 3.21E-02 | 1.72E-02 |
| 3.44E+00 | 1.97E-01 | 1.11E-02 | 9.05E-03 | 6.65E-04 | 5.43E-04 | 2.19E-02 | 1.22E-02 |
| 3.59E+00 | 1.78E-01 | 9.83E-03 | 7.73E-03 | 6.50E-04 | 5.84E-04 | 1.89E-02 | 1.13E-02 |
| 3.75E+00 | 1.73E-01 | 9.31E-03 | 5.77E-03 | 4.25E-04 | 4.90E-04 | 1.62E-02 | 9.13E-03 |
| 3.91E+00 | 1.20E-01 | 8.36E-03 | 4.32E-03 | 5.05E-04 | 3.48E-04 | 1.50E-02 | 6.83E-03 |
| 4.06E+00 | 1.30E-01 | 7.58E-03 | 3.98E-03 | 2.93E-04 | 4.72E-04 | 1.26E-02 | 7.96E-03 |
| 4.22E+00 | 5.40E-02 | 7.21E-03 | 3.16E-03 | 3.40E-04 | 3.45E-04 | 1.11E-02 | 5.86E-03 |
| 4.38E+00 | 5.64E-02 | 6.78E-03 | 3.13E-03 | 2.97E-04 | 2.59E-04 | 9.28E-03 | 6.04E-03 |
| 4.53E+00 | 4.79E-02 | 6.09E-03 | 1.80E-03 | 1.91E-04 | 2.45E-04 | 8.46E-03 | 5.26E-03 |
| 4.69E+00 | 3.89E-02 | 5.98E-03 | 2.06E-03 | 2.45E-04 | 2.21E-04 | 8.67E-03 | 4.33E-03 |
| 4.84E+00 | 3.55E-02 | 5.82E-03 | 1.32E-03 | 1.75E-04 | 1.64E-04 | 7.53E-03 | 4.26E-03 |
| 5.00E+00 | 2.96E-02 | 5.25E-03 | 1.50E-03 | 1.68E-04 | 1.18E-04 | 7.34E-03 | 3.79E-03 |
| 5.16E+00 | 3.49E-02 | 4.95E-03 | 1.42E-03 | 1.52E-04 | 1.05E-04 | 7.01E-03 | 3.37E-03 |
| 5.31E+00 | 2.03E-02 | 4.75E-03 | 9.45E-04 | 1.58E-04 | 1.22E-04 | 6.85E-03 | 3.17E-03 |
| 5.47E+00 | 2.18E-02 | 4.52E-03 | 1.02E-03 | 1.23E-04 | 1.11E-04 | 6.79E-03 | 3.22E-03 |
| 5.63E+00 | 1.80E-02 | 4.45E-03 | 1.02E-03 | 1.27E-04 | 7.81E-05 | 6.01E-03 | 3.15E-03 |
| 5.78E+00 | 1.52E-02 | 4.01E-03 | 1.00E-03 | 1.16E-04 | 8.57E-05 | 5.73E-03 | 2.79E-03 |
| 5.94E+00 | 1.31E-02 | 3.96E-03 | 5.73E-04 | 8.94E-05 | 8.06E-05 | 5.15E-03 | 2.65E-03 |
| 6.09E+00 | 1.10E-02 | 3.98E-03 | 8.00E-04 | 1.21E-04 | 7.93E-05 | 5.03E-03 | 2.49E-03 |
| 6.25E+00 | 8.47E-03 | 3.71E-03 | 5.82E-04 | 9.81E-05 | 9.43E-05 | 5.63E-03 | 2.40E-03 |
| 6.41E+00 | 8.76E-03 | 3.56E-03 | 5.56E-04 | 8.46E-05 | 8.42E-05 | 5.12E-03 | 2.38E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 7.45E-03 | 3.37E-03 | 4.47E-04 | 7.83E-05 | 7.84E-05 | 4.66E-03 | 2.23E-03 |
| 6.72E+00 | 6.59E-03 | 3.53E-03 | 4.30E-04 | 6.71E-05 | 4.90E-05 | 4.77E-03 | 2.21E-03 |
| 6.88E+00 | 6.26E-03 | 3.19E-03 | 2.85E-04 | 6.74E-05 | 5.78E-05 | 4.19E-03 | 2.05E-03 |
| 7.03E+00 | 5.30E-03 | 3.19E-03 | 4.09E-04 | 7.19E-05 | 5.26E-05 | 4.35E-03 | 2.07E-03 |
| 7.19E+00 | 5.96E-03 | 3.06E-03 | 3.26E-04 | 7.56E-05 | 6.95E-05 | 4.35E-03 | 1.94E-03 |
| 7.34E+00 | 5.26E-03 | 3.16E-03 | 3.18E-04 | 7.76E-05 | 5.70E-05 | 4.16E-03 | 1.93E-03 |
| 7.50E+00 | 4.84E-03 | 3.08E-03 | 2.82E-04 | 6.12E-05 | 6.00E-05 | 4.25E-03 | 1.89E-03 |
| 7.66E+00 | 5.27E-03 | 3.03E-03 | 2.13E-04 | 5.52E-05 | 5.50E-05 | 4.60E-03 | 1.86E-03 |
| 7.81E+00 | 5.51E-03 | 2.70E-03 | 2.33E-04 | 6.33E-05 | 6.04E-05 | 4.15E-03 | 1.82E-03 |
| 7.97E+00 | 4.88E-03 | 3.07E-03 | 2.26E-04 | 5.93E-05 | 5.67E-05 | 4.14E-03 | 1.75E-03 |
| 8.13E+00 | 4.61E-03 | 2.91E-03 | 1.82E-04 | 6.33E-05 | 6.56E-05 | 3.36E-03 | 1.82E-03 |
| 8.28E+00 | 4.48E-03 | 2.68E-03 | 1.49E-04 | 4.81E-05 | 4.69E-05 | 3.41E-03 | 1.82E-03 |
| 8.44E+00 | 4.69E-03 | 2.72E-03 | 1.65E-04 | 3.66E-05 | 4.59E-05 | 3.23E-03 | 1.80E-03 |
| 8.59E+00 | 4.49E-03 | 2.73E-03 | 1.52E-04 | 3.92E-05 | 5.34E-05 | 3.60E-03 | 1.88E-03 |
| 8.75E+00 | 4.34E-03 | 2.72E-03 | 1.48E-04 | 4.21E-05 | 4.41E-05 | 3.36E-03 | 1.76E-03 |
| 8.91E+00 | 4.45E-03 | 2.58E-03 | 1.71E-04 | 4.98E-05 | 5.85E-05 | 3.77E-03 | 1.65E-03 |
| 9.06E+00 | 4.53E-03 | 2.69E-03 | 1.39E-04 | 5.64E-05 | 5.84E-05 | 3.22E-03 | 1.70E-03 |
| 9.22E+00 | 4.40E-03 | 2.60E-03 | 1.27E-04 | 5.63E-05 | 6.94E-05 | 4.08E-03 | 1.72E-03 |
| 9.38E+00 | 4.68E-03 | 2.56E-03 | 1.73E-04 | 8.60E-05 | 7.04E-05 | 4.37E-03 | 1.85E-03 |
| 9.53E+00 | 4.46E-03 | 3.20E-03 | 1.52E-04 | 5.99E-05 | 9.68E-05 | 4.13E-03 | 1.66E-03 |
| 9.69E+00 | 4.23E-03 | 2.57E-03 | 1.58E-04 | 1.56E-04 | 1.53E-04 | 4.46E-03 | 1.94E-03 |
| 9.84E+00 | 4.10E-03 | 2.64E-03 | 1.47E-04 | 1.42E-04 | 1.48E-04 | 4.49E-03 | 1.62E-03 |

| | |
|-------------|-------------|
| Cdl | 3.00 |
| Fn | 0.68 |
| fasma | h016tp5.s50 |
| sc.factor | 1 |
| model scale | 50 |

| f [Hz] | S(f) Wave Car [cm ² /Hz] | S(f) Wave Tank [cm ² /Hz] | S(f) Acc. Bow [g ² /Hz] | S(f) Acc. Mid [g ² /Hz] | S(f) Acc. Stern [g ² /Hz] | S(f) Heave [cm ² /Hz] | S(f) Pitch [deg ² /Hz] |
|-----------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.00E+00 | 3.92E-01 | 9.61E-01 | 3.87E-03 | 8.82E-04 | 7.50E-04 | 5.39E-01 | 2.21E-01 |
| 1.56E-01 | 2.82E-01 | 1.78E+00 | 3.22E-03 | 9.01E-04 | 7.71E-04 | 9.20E-01 | 2.76E-01 |
| 3.13E-01 | 3.10E-01 | 8.66E+00 | 3.04E-03 | 9.39E-04 | 9.17E-04 | 7.59E-01 | 3.24E-01 |
| 4.69E-01 | 1.22E+00 | 3.39E+01 | 4.36E-03 | 1.56E-03 | 1.41E-03 | 2.17E+00 | 4.31E-01 |
| 6.25E-01 | 7.16E+00 | 1.75E+01 | 1.11E-02 | 4.27E-03 | 4.56E-03 | 8.79E+00 | 1.45E+00 |
| 7.81E-01 | 1.50E+01 | 8.84E+00 | 3.20E-02 | 1.20E-02 | 1.26E-02 | 2.01E+01 | 4.31E+00 |
| 9.38E-01 | 1.06E+01 | 3.36E+00 | 5.07E-02 | 1.85E-02 | 1.73E-02 | 1.27E+01 | 3.75E+00 |
| 1.09E+00 | 8.67E+00 | 1.83E+00 | 1.47E-01 | 4.09E-02 | 3.30E-02 | 1.20E+01 | 5.25E+00 |
| 1.25E+00 | 6.57E+00 | 8.17E-01 | 1.45E-01 | 3.77E-02 | 3.43E-02 | 1.13E+01 | 4.21E+00 |
| 1.41E+00 | 5.03E+00 | 4.80E-01 | 2.55E-01 | 5.86E-02 | 7.17E-02 | 1.06E+01 | 4.34E+00 |
| 1.56E+00 | 5.28E+00 | 2.16E-01 | 2.04E-01 | 4.76E-02 | 6.20E-02 | 5.26E+00 | 2.91E+00 |
| 1.72E+00 | 2.46E+00 | 1.79E-01 | 1.35E-01 | 2.67E-02 | 3.67E-02 | 1.98E+00 | 1.25E+00 |
| 1.88E+00 | 1.75E+00 | 1.11E-01 | 5.11E-02 | 1.17E-02 | 2.00E-02 | 8.60E-01 | 5.04E-01 |
| 2.03E+00 | 1.31E+00 | 7.88E-02 | 3.66E-02 | 6.74E-03 | 1.23E-02 | 4.29E-01 | 2.71E-01 |
| 2.19E+00 | 9.71E-01 | 5.09E-02 | 2.22E-02 | 2.77E-03 | 7.14E-03 | 1.41E-01 | 1.15E-01 |
| 2.34E+00 | 6.75E-01 | 4.38E-02 | 8.74E-03 | 1.34E-03 | 3.73E-03 | 7.86E-02 | 8.95E-02 |
| 2.50E+00 | 5.39E-01 | 3.65E-02 | 6.12E-03 | 9.87E-04 | 1.71E-03 | 6.25E-02 | 5.18E-02 |
| 2.66E+00 | 5.15E-01 | 3.10E-02 | 7.69E-03 | 6.21E-04 | 1.45E-03 | 4.27E-02 | 3.62E-02 |
| 2.81E+00 | 3.27E-01 | 2.57E-02 | 7.08E-03 | 9.62E-04 | 7.35E-04 | 4.14E-02 | 2.81E-02 |
| 2.97E+00 | 3.77E-01 | 2.27E-02 | 1.06E-02 | 1.11E-03 | 8.22E-04 | 3.67E-02 | 2.54E-02 |
| 3.13E+00 | 2.92E-01 | 2.30E-02 | 1.24E-02 | 8.50E-04 | 6.57E-04 | 3.28E-02 | 2.45E-02 |
| 3.28E+00 | 1.82E-01 | 2.04E-02 | 8.62E-03 | 1.01E-03 | 4.01E-04 | 2.42E-02 | 1.59E-02 |
| 3.44E+00 | 9.12E-02 | 1.79E-02 | 8.67E-03 | 8.84E-04 | 6.74E-04 | 2.37E-02 | 1.89E-02 |
| 3.59E+00 | 1.16E-01 | 1.50E-02 | 8.92E-03 | 9.09E-04 | 7.24E-04 | 1.84E-02 | 1.15E-02 |
| 3.75E+00 | 1.12E-01 | 1.39E-02 | 5.72E-03 | 6.27E-04 | 4.24E-04 | 1.82E-02 | 1.09E-02 |
| 3.91E+00 | 8.22E-02 | 1.34E-02 | 5.49E-03 | 4.32E-04 | 3.69E-04 | 1.56E-02 | 7.84E-03 |
| 4.06E+00 | 6.08E-02 | 1.21E-02 | 2.92E-03 | 4.43E-04 | 3.26E-04 | 1.30E-02 | 7.59E-03 |
| 4.22E+00 | 5.21E-02 | 1.12E-02 | 2.92E-03 | 3.45E-04 | 2.51E-04 | 1.23E-02 | 6.96E-03 |
| 4.38E+00 | 5.19E-02 | 1.05E-02 | 3.55E-03 | 3.59E-04 | 2.66E-04 | 1.15E-02 | 7.46E-03 |
| 4.53E+00 | 4.09E-02 | 9.81E-03 | 2.27E-03 | 3.67E-04 | 2.65E-04 | 9.19E-03 | 6.21E-03 |
| 4.69E+00 | 2.41E-02 | 9.03E-03 | 2.16E-03 | 2.74E-04 | 2.04E-04 | 9.26E-03 | 4.57E-03 |
| 4.84E+00 | 1.92E-02 | 8.65E-03 | 1.66E-03 | 2.42E-04 | 1.93E-04 | 8.78E-03 | 4.75E-03 |
| 5.00E+00 | 1.85E-02 | 8.18E-03 | 1.86E-03 | 2.11E-04 | 1.45E-04 | 9.29E-03 | 4.76E-03 |
| 5.16E+00 | 9.63E-03 | 7.86E-03 | 1.76E-03 | 1.96E-04 | 1.37E-04 | 6.74E-03 | 4.82E-03 |
| 5.31E+00 | 9.15E-03 | 7.57E-03 | 1.36E-03 | 2.00E-04 | 1.05E-04 | 7.28E-03 | 4.27E-03 |
| 5.47E+00 | 8.46E-03 | 7.32E-03 | 1.05E-03 | 1.70E-04 | 1.18E-04 | 6.80E-03 | 4.33E-03 |
| 5.63E+00 | 6.53E-03 | 6.97E-03 | 9.70E-04 | 1.68E-04 | 1.20E-04 | 6.49E-03 | 3.53E-03 |
| 5.78E+00 | 7.49E-03 | 6.92E-03 | 9.05E-04 | 1.23E-04 | 1.01E-04 | 5.87E-03 | 3.24E-03 |
| 5.94E+00 | 4.51E-03 | 6.16E-03 | 6.49E-04 | 1.68E-04 | 9.74E-05 | 5.47E-03 | 3.21E-03 |
| 6.09E+00 | 4.57E-03 | 6.11E-03 | 7.78E-04 | 1.23E-04 | 7.54E-05 | 5.94E-03 | 3.17E-03 |
| 6.25E+00 | 4.92E-03 | 6.15E-03 | 6.14E-04 | 1.26E-04 | 6.95E-05 | 5.61E-03 | 3.28E-03 |
| 6.41E+00 | 4.57E-03 | 5.88E-03 | 5.74E-04 | 1.15E-04 | 7.67E-05 | 4.89E-03 | 3.09E-03 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.56E+00 | 4.01E-03 | 5.26E-03 | 5.74E-04 | 9.23E-05 | 6.65E-05 | 5.39E-03 | 2.86E-03 |
| 6.72E+00 | 3.49E-03 | 5.31E-03 | 4.55E-04 | 1.33E-04 | 6.17E-05 | 5.59E-03 | 2.29E-03 |
| 6.88E+00 | 3.58E-03 | 5.34E-03 | 4.21E-04 | 1.01E-04 | 4.57E-05 | 5.02E-03 | 2.58E-03 |
| 7.03E+00 | 2.85E-03 | 5.05E-03 | 3.93E-04 | 9.03E-05 | 5.41E-05 | 4.14E-03 | 2.62E-03 |
| 7.19E+00 | 2.98E-03 | 4.76E-03 | 3.21E-04 | 9.60E-05 | 6.57E-05 | 4.80E-03 | 2.62E-03 |
| 7.34E+00 | 2.97E-03 | 4.83E-03 | 3.03E-04 | 1.03E-04 | 7.23E-05 | 4.32E-03 | 2.58E-03 |
| 7.50E+00 | 2.50E-03 | 4.84E-03 | 2.58E-04 | 9.41E-05 | 8.56E-05 | 5.01E-03 | 2.64E-03 |
| 7.66E+00 | 2.65E-03 | 4.61E-03 | 2.28E-04 | 6.22E-05 | 6.74E-05 | 4.22E-03 | 2.22E-03 |
| 7.81E+00 | 2.31E-03 | 4.69E-03 | 2.21E-04 | 9.26E-05 | 6.05E-05 | 4.78E-03 | 2.38E-03 |
| 7.97E+00 | 2.99E-03 | 4.39E-03 | 1.53E-04 | 1.02E-04 | 7.70E-05 | 4.80E-03 | 2.38E-03 |
| 8.13E+00 | 2.75E-03 | 4.46E-03 | 1.54E-04 | 9.30E-05 | 6.65E-05 | 4.85E-03 | 2.37E-03 |
| 8.28E+00 | 2.54E-03 | 4.51E-03 | 2.64E-04 | 1.11E-04 | 8.26E-05 | 5.07E-03 | 2.31E-03 |
| 8.44E+00 | 2.53E-03 | 4.47E-03 | 2.00E-04 | 1.19E-04 | 1.11E-04 | 6.09E-03 | 2.20E-03 |
| 8.59E+00 | 1.91E-03 | 4.70E-03 | 1.62E-04 | 1.34E-04 | 1.13E-04 | 4.95E-03 | 1.88E-03 |
| 8.75E+00 | 2.71E-03 | 4.39E-03 | 1.84E-04 | 1.16E-04 | 1.13E-04 | 4.55E-03 | 2.29E-03 |
| 8.91E+00 | 2.44E-03 | 4.31E-03 | 2.79E-04 | 2.03E-04 | 1.55E-04 | 6.12E-03 | 2.26E-03 |
| 9.06E+00 | 2.60E-03 | 4.29E-03 | 2.47E-04 | 1.39E-04 | 1.82E-04 | 5.43E-03 | 2.30E-03 |
| 9.22E+00 | 2.89E-03 | 4.84E-03 | 2.58E-04 | 1.83E-04 | 1.37E-04 | 5.12E-03 | 2.35E-03 |
| 9.38E+00 | 2.13E-03 | 4.49E-03 | 1.72E-04 | 1.44E-04 | 1.59E-04 | 4.70E-03 | 2.22E-03 |
| 9.53E+00 | 2.53E-03 | 4.75E-03 | 2.28E-04 | 2.61E-04 | 1.98E-04 | 5.63E-03 | 2.42E-03 |
| 9.69E+00 | 2.36E-03 | 4.10E-03 | 1.79E-04 | 1.45E-04 | 1.54E-04 | 6.19E-03 | 2.10E-03 |
| 9.84E+00 | 2.15E-03 | 4.00E-03 | 1.88E-04 | 1.34E-04 | 1.91E-04 | 5.09E-03 | 2.25E-03 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΑΠΟ SWAN2

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ 3: RAO Swan2, regular waves, $F_n=0.34$, $C_{DL}=3.00$

| T (sec) | λ/L | RAO | | | | |
|---------|-------------|-------|--------|---------|---------|------------|
| | | heave | pitch | acc.bow | acc.mid | acc. Stern |
| 2.252 | 3.757 | 0.906 | 1.0371 | 3.7930 | 3.4395 | 4.8561 |
| 2.174 | 3.500 | 0.890 | 1.0418 | 4.3089 | 3.7356 | 5.4585 |
| 2.096 | 3.255 | 0.871 | 1.0440 | 4.9231 | 4.0641 | 6.1694 |
| 2.012 | 2.999 | 0.845 | 1.0453 | 5.7539 | 4.4551 | 7.0971 |
| 1.927 | 2.750 | 0.811 | 1.0437 | 6.8066 | 4.8804 | 8.2363 |
| 1.838 | 2.503 | 0.766 | 1.0383 | 8.2128 | 5.3542 | 9.6947 |
| 1.742 | 2.248 | 0.711 | 1.0363 | 10.3872 | 5.9123 | 11.7324 |
| 1.642 | 1.997 | 0.638 | 1.0240 | 13.5584 | 6.4358 | 14.3840 |
| 1.536 | 1.748 | 0.555 | 0.9930 | 18.3969 | 6.8077 | 17.8130 |
| 1.423 | 1.499 | 0.499 | 0.9223 | 25.7277 | 6.8509 | 22.0129 |
| 1.362 | 1.375 | 0.498 | 0.8635 | 30.4427 | 6.7623 | 24.3122 |
| 1.299 | 1.249 | 0.507 | 0.7762 | 35.4230 | 6.6798 | 26.4739 |
| 1.232 | 1.123 | 0.485 | 0.6411 | 38.6248 | 6.5478 | 27.5329 |
| 1.161 | 0.999 | 0.386 | 0.4511 | 36.4309 | 5.8717 | 25.5604 |
| 1.087 | 0.875 | 0.222 | 0.2449 | 27.1208 | 4.1701 | 19.4041 |
| 1.006 | 0.750 | 0.079 | 0.0942 | 14.9511 | 1.9342 | 11.1482 |
| 0.918 | 0.625 | 0.029 | 0.0188 | 5.1052 | 0.5824 | 3.1545 |
| 0.822 | 0.500 | 0.024 | 0.0080 | 3.6756 | 1.4296 | 3.0012 |

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ 4: RAO Swan2, regular waves, $F_n=0.68$, $C_{DL}=3.00$

| T (sec) | λ/L | RAO | | | | |
|---------|-------------|-------|--------|---------|---------|------------|
| | | heave | pitch | acc.bow | acc.mid | acc. Stern |
| 2.252 | 3.757 | 0.843 | 1.1504 | 6.2057 | 5.7046 | 8.7408 |
| 2.174 | 3.500 | 0.811 | 1.1622 | 7.3536 | 6.1404 | 9.8347 |
| 2.096 | 3.255 | 0.784 | 1.1594 | 8.8219 | 6.6065 | 11.0231 |
| 2.012 | 2.999 | 0.753 | 1.1624 | 10.9810 | 7.1373 | 12.5811 |
| 1.927 | 2.750 | 0.732 | 1.1523 | 13.9557 | 7.6836 | 14.2853 |
| 1.838 | 2.503 | 0.736 | 1.1352 | 18.1041 | 8.4560 | 16.4672 |
| 1.742 | 2.248 | 0.776 | 1.1012 | 24.0622 | 9.7463 | 19.4277 |
| 1.642 | 1.997 | 0.854 | 1.0667 | 32.6119 | 12.0351 | 23.9992 |
| 1.536 | 1.748 | 0.933 | 1.0112 | 44.2292 | 15.6201 | 31.0294 |
| 1.423 | 1.499 | 0.868 | 0.8342 | 53.8036 | 18.4489 | 37.7836 |
| 1.362 | 1.375 | 0.715 | 0.6560 | 52.2131 | 17.5395 | 37.2601 |
| 1.299 | 1.249 | 0.508 | 0.4514 | 45.1977 | 14.7239 | 33.0576 |
| 1.232 | 1.123 | 0.313 | 0.2763 | 35.6152 | 10.9784 | 26.7806 |
| 1.161 | 0.999 | 0.172 | 0.1532 | 26.1331 | 7.5064 | 20.2763 |
| 1.087 | 0.875 | 0.078 | 0.0742 | 17.4323 | 4.4255 | 13.9198 |
| 1.006 | 0.750 | 0.022 | 0.0277 | 9.4492 | 1.8820 | 7.8080 |
| 0.918 | 0.625 | 0.010 | 0.0059 | 3.8095 | 0.3659 | 2.1292 |
| 0.822 | 0.500 | 0.009 | 0.0030 | 3.3226 | 1.3957 | 2.7684 |

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ 5: RMS Heave & Pitch , Swan2, irregular waves, $C_{DL}=3.00$

| <i>L/B = 4.00 CDL = 3.00</i> | | | | | |
|-----------------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|
| Tp' | Hs model | Fn = 0.34 | | Fn = 0.68 | |
| | | Heave | Pitch | Heave | Pitch |
| - | cm | m | deg | m | deg |
| 2.0 | 8.0 | 0.0030 | 0.4180 | 0.0031 | 0.2819 |
| 2.5 | 9.0 | 0.0057 | 0.9336 | 0.0052 | 0.5472 |
| 3.0 | 10.0 | 0.0087 | 1.4915 | 0.0092 | 0.9692 |
| 3.5 | 11.0 | 0.0123 | 1.8469 | 0.0128 | 1.2907 |
| 4.0 | 12.0 | 0.0165 | 2.2763 | 0.0160 | 1.5371 |
| 4.5 | 14.0 | 0.0196 | 2.4188 | 0.0201 | 1.9283 |
| 5.0 | 16.0 | 0.0261 | 2.8771 | 0.0254 | 2.2460 |
| Tp' | Hs model | Heave / Hs | Pitch / Hs | Heave / Hs | Pitch / Hs |
| - | cm | cm / cm | deg / cm | cm / cm | deg / cm |
| 2.0 | 8.0 | 0.0375 | 0.0523 | 0.0388 | 0.0352 |
| 2.5 | 9.0 | 0.0633 | 0.1037 | 0.0578 | 0.0608 |
| 3.0 | 10.0 | 0.0870 | 0.1492 | 0.0920 | 0.0969 |
| 3.5 | 11.0 | 0.1118 | 0.1679 | 0.1164 | 0.1173 |
| 4.0 | 12.0 | 0.1375 | 0.1897 | 0.1333 | 0.1281 |
| 4.5 | 14.0 | 0.1400 | 0.1728 | 0.1436 | 0.1377 |
| 5.0 | 16.0 | 0.1631 | 0.1798 | 0.1588 | 0.1404 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΑ FOURIER ΣΕ ΓΛΩΣΣΑ FORTRAN

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΑ FOURIER (fft) ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

C PROGRAM FFTR-MF : IT PERFORMS FFT AND INVERSE FFT
 C PROGRAM ACCEPTS MANY INPUT DATA FILES COMPOSING A SINGLE TIME
 C HISTORY. IT IS ADVISED TO ANALYZE DATA FROM EACH FILE SEPARATELY
 C FFTR-MF IS A VERSION OF FFTAV1 TO INCLUDE PHASE CALCULATIONS

PARAMETER (N1=128, N2=64, N3=24001, NCOL=8)

IMPLICIT REAL (C)

CHARACTER TITLE*80,FNAME*5,ASK*1,sk4*4,sk3*3,sk2*2,sk1*1,ss(10)*1

REAL K,K1,K2,K3

COMMON /SHORT/ K(N1,2),K1(N3),K2(N1),SCOS(N2),SSIN(N2)

DIMENSION F1(N1),K3(N3,NCOL),aa(NCOL),bb(NCOL),rrms(NCOL)

data ss/'0','1','2','3','4','5','6','7','8','9'/

C data wcar,Acc#1 Acc#2 Acc#3 Wave Res Heave Pitch

data aa/3.64605,0.99106,1.04113,0.99156,3.07546,2.59838,

*-4.56333,-4.09045/

data bb/0.19780,0.00471,0.05232,0.00198,-0.13821,-0.01492,

*25.47175,0.45404/

C No of Resistance Column

Ires=6

L=1

NA=1

Scale=1.00

Clock=15.

PI=3.14159265

RAD=180.0/PI

C aa(4)=aa(4)*RAD

C aa(5)=aa(5)*RAD

C aa(6)=aa(6)*RAD

C ISTART=1

C IEND=1

ASK='N'

C WRITE(*,'(A)') ' Perform Inverse FFT (Y/N) ? '

C READ(*,'(A)') ASK

IF (ASK.EQ.'Y'.OR.ASK.EQ.'y') L=0

IF (L.GT.0) THEN

C WRITE (*,'(A)') ' FILE NAME ? '

C READ (*,'(A)') FNAME

FNAME='118h_'

OPEN(3,FILE=FNAME//'.out',STATUS='UNKNOWN')

OPEN(4,FILE=FNAME//'.rms', STATUS='UNKNOWN')

WRITE (*,'(A)') ' STARTING FILE No ? '

READ (*,*) ISTART

WRITE (*,'(A)') ' ENDING FILE No ? '


```

    READ (*,*) IEND
C   IEND=ISTART
    WRITE (*,'(A)') ' No OF POINTS PER RUN ? '
    READ (*,*) IRUN
    ntitle=6
C   WRITE (*,'(A)') ' No OF TITLE LINES ? '
C   READ (*,*) ntitle
    Nfile=IEND-ISTART+1
C   READ (2,1002) No,Clock
C   WRITE(*,'(A)') ' Data Scale (Default Scale=1) ? '
C   READ (*,*) Scale
C   WRITE(*,'(A)') ' Sampling Frequency in [Hz] ? '
C   READ (*,*) Clock
    No=(IEND-ISTART+1)*IRUN
    WRITE (*,1003) No,Clock,Scale

    Ii=0
    DO 900 Lf=ISTART,IEND

        i1=int(Lf/1000)
        i2=int((Lf-i1*1000)/100)
        i3=int((Lf-i1*1000-i2*100)/10)
        i4=Lf-i1*1000-i2*100-i3*10
        if (i1.ne.0) then
            sk4=ss(i1+1)//ss(i2+1)//ss(i3+1)//ss(i4+1)
            OPEN(2,FILE=FNAME//sk4//'.dat')
        elseif (i2.ne.0) then
            sk3=ss(i2+1)//ss(i3+1)//ss(i4+1)
            OPEN(2,FILE=FNAME//sk3//'.dat')
        elseif (i3.ne.0) then
            sk2=ss(i3+1)//ss(i4+1)
            OPEN(2,FILE=FNAME//sk2//'.dat')
        elseif (i3.eq.0) then
            sk1=ss(i4+1)
            OPEN(2,FILE=FNAME//sk1//'.dat')
        endif

        do 11 it=1,ntitle
11    READ (2,1000) TITLE
        write(*,*) fname, sk

        DO 8 I=1,IRUN
            Ii=Ii+1
            READ(2,*) A,(K3(Ii,J), J=1,NCOL)
        8  CONTINUE
        CLOSE(2)

900  CONTINUE

    ENDIF

```

```
DO 600 ICOL=1,NCOL

IF (L.GT.0) THEN

DO 32 I=1,No
32  K1(I)=0.

C  READ (2,*) (K3(I),I=1,NNA)
C  WRITE(*,(A\)) ' Column for FFT Analysis ? '
C  READ (*,*) ICOL
C  WRITE(*,(A\)) ' (A,B) of Y=AX+B TRANSFER FUNCTION ? '
C  READ (*,*) A,B
  A=aa(ICOL)
  B=bb(ICOL)

DO 40 I=1,No
40  K1(I)=A*K3(I,ICOL)+B

  Lfin=0
  DO 45 L=1,Nfile
    IARXH=(L-1)*IRUN+1
    ITELOS=L*IRUN

    SUM=0.
    DO 42 I=IARXH,ITELOS
      SUM=SUM+K1(I)
42  CONTINUE
    SUM=SUM/FLOAT(IRUN)
C  WRITE(*,26) SSUM

    DO 44 I=IARXH,ITELOS
      K1(I)=K1(I)-SUM
44  CONTINUE

    DO 6 I=2,IRUN
      Lk=(L-1)*IRUN+I
      Lk1=Lk-1
      IF (K1(Lk1).LT.0.0.AND.K1(Lk).GT.0.0) THEN
        IARXH=Lk
        GOTO 7
      ENDIF
6  CONTINUE

7  DO 9 I=IRUN,2,-1
    Lk=(L-1)*IRUN+I
    Lk1=Lk-1
    IF (K1(Lk1).LT.0.0.AND.K1(Lk).GT.0.0) THEN
      ITELOS=Lk-1
      GOTO 13
```

```
    ENDIF
9   CONTINUE

13  DO 30 I=IARXH,ITELOS
    Lfin=Lfin+1
    K1(Lfin)=K1(I)
30  CONTINUE

    IF (ICOL.EQ.Ires) THEN
        I0=Lfin-(ITELOS-IARXH)
        DO 34 I=I0,Lfin
            K1(I)=K1(I)+SUM
34  CONTINUE
    ENDIF

    WRITE (*,'(A)') ' NO OF USEFUL POINTS = '
    WRITE (*,'(I4)') Lfin
    WRITE (*,'(A)') ' MEAN VALUE = '
    WRITE (*,'(F10.4)') SUM

45  CONTINUE

    WRITE (*,'(A)') ' TOTAL NO OF USEFUL POINTS = '
    WRITE (*,*) Lfin

ELSE

    NA=1
    WRITE (*,'(A)') ' No of Spectral Ordinates for Inverse FFT ? '
    READ (*,*) N
    WRITE (*,'(A)') ' Cut-off Frequency [Hz] ? '
    READ (*,*) Fcut
    NNA=N*NA
    AV=NA

    DO 50 I=1,NNA
        READ(2,1004) F1(I),K(I,1),K(I,2),K1(I),K2(I)
        IF (F1(I).GT.Fcut) THEN
            K(I,1)=0.
            K(I,2)=0.
        ENDIF
50  CONTINUE

    Clock=F1(2)-F1(1)
    Scale=1.

ENDIF

IF (ICOL.EQ.Ires) THEN
    NNA=Lfin
```

```
GOTO 75
ENDIF

IF (L.GT.0) THEN

C   N=128
    IF (N.GT.Lfin) N=Lfin
    WRITE(*,'(A)') ' No of Data Points per FFT ? '
    READ (*,*) N
    NA=Lfin/N
    WRITE(*,'(A)') ' No of Averages = '
    WRITE(*,*) NA
C   WRITE(*,'(A)') ' No of Averages (Default AV=1) ? '
C   READ (*,*) NA
    NNA=N*NA
    AV=NA

    IF (Lfin.LT.NNA) THEN
        WRITE(*,1006)
        STOP
    ENDIF

ENDIF

AN=FLOAT(N)
P8=ALOG(AN)/ALOG(2.0)+1E-6
M1=INT(P8)
IF((P8-FLOAT(M1)).GE.1E-4) M1=M1+1
P8=FLOAT(M1)
M=2**M1
AM=FLOAT(M)
M2=M/2

DO 5 I=1,M
    K(I,1)=0.
    K(I,2)=0.
5 CONTINUE

DO 60 I=1,M2
    AI=I
    AM=M
    SMA=2.*PI*(AI-1.)/AM
    SCOS(I)=COS(SMA)
    SSIN(I)=SIN(SMA)
60 CONTINUE

IF (L.LE.0) THEN
    DO 70 IS=1,M2
70  SSIN(IS)=-SSIN(IS)
ENDIF
```

```
75 CONTINUE

  IF (L.GT.0) THEN

    SUM=0.
    DO 80 J=1,NNA
      SUM=SUM+K1(J)
80  CONTINUE
    SUM=SUM/FLOAT(NNA)
    SSUM=SUM/Scale
    WRITE(3,26) SSUM
    WRITE(*,26) SSUM

    IF (ICOL.EQ.Ires) THEN
      rrms(Ires)=SSUM
      GOTO 600
    ENDIF

    DO 100 I=1,NNA
      K1(I)=K1(I)-SUM
100  CONTINUE

    AMNSQ=0.
    DO 120 I=1,NNA
      AMNSQ=AMNSQ+K1(I)*K1(I)
120  CONTINUE
    AMNSQ=AMNSQ/FLOAT(NNA)
    RMS=SQRT(AMNSQ)/Scale
    rrms(ICOL)=RMS
    WRITE(3,27) RMS
    WRITE(*,27) RMS

  ENDIF

  DO 200 IH=1,NA

    IF (L.GT.0) THEN
      DO 140 I=1,N
        KH=I+(IH-1)*N
        K(I,1)=K1(KH)/Scale
        K(I,2)=0.
140  CONTINUE
      ENDIF

    CALL FFT (AM,P8,L)

    IF (L.LE.0) THEN
      DT=1./F1(NNA)
      DO 150 I=1,NNA
```

```

      T=(I-1)*DT
      WRITE(3,1005) T,K(I,1),K(I,2)
150  CONTINUE
      STOP
      ENDIF

      IF (IH.EQ.1) THEN
        DO 160 IW=1,M2
          K1(IW)=0.
160   K2(IW)=0.
        ENDIF

        DO 170 I=1,M2

          K1(I)=K1(I)+(K(I,1)*K(I,1)+K(I,2)*K(I,2))/AV

          IF (ABS(K(I,1)).GT.1.E-22) THEN
            ARC=ATAN(K(I,2)/K(I,1))
            IF(K(I,1).LT.0.0) ARC=ARC+PI
            K2(I)=K2(I)+ARC/AV
          ENDIF

170  CONTINUE

200  CONTINUE

      Fstep=Clock/AM

      DO 250 I=1,M2
        K1(I)=2.*K1(I)/Fstep
        F1(I)=Fstep*FLOAT(I-1)
        K2(I)=K2(I)*RAD
        K(I,1)=K(I,1)*Fstep
        K(I,2)=K(I,2)*Fstep
        J=M+1-I
        L=M2+I
        K(J,1)=K(I,1)
        K(J,2)=-K(I,2)
        F1(L)=Fstep*FLOAT(L-1)
250  CONTINUE

      WRITE(3,14) (F1(I),K1(I),I=1,M2)
C   WRITE(3,1004) (F1(I),K(I,1),K(I,2),K1(I),K2(I), I=1,M)
C   WRITE(3,'(//6A//)') 'PHASES'
C   WRITE(3,14) (F1(I),K2(I),I=1,M2)
C   SK=0.
C   DO 280 I=1,M2
C 280  SK=SK+K2(I)
C   SK=SK/FLOAT(M2)
C   WRITE(3,*) 'MEAN PHASE ANGLE [Deg], SK =',SK

```

```

AMNSQ=0.
DO 300 I=1,M2
  AMNSQ=AMNSQ+K1(I)
300 CONTINUE
AMNSQ=(AMNSQ-(K1(1)+K1(M2)))/2.
AMNSQ=AMNSQ*Fstep*AM/AN
RMS=SQRT(AMNSQ)
WRITE(3,29) RMS
WRITE(*,29) RMS

C  CARRY OUT SMOOTHING

ASK='N'
C  WRITE(*,'(A)') ' Carry out Smoothing (Y/N) ? '
C  READ (*,'(A)') ASK

IF (ASK.EQ.'Y'.OR.ASK.EQ.'y') THEN

  M21=M2-1
  DO 320 I=2,M21
320  K2(I)=(K1(I-1)+K1(I)+K1(I+1))/3.
    K2(1)=(K1(1)+K1(2))/2.
    K2(M2)=(K1(M2-1)+K1(M2))/2.
    DO 340 I=1,M2
340  K1(I)=K2(I)
    WRITE(3,(' SMOOTHED SPECTRUM FOLLOWS :'))
    WRITE(*,(' SMOOTHED SPECTRUM FOLLOWS :'))
    WRITE(3,14) (F1(I),K1(I),I=1,M2)

  ENDIF

EM0=0.
EM1=0.
EM2=0.
EM4=0.
DO 400 I=1,M2
  EM0=EM0+K1(I)
  EM1=EM1+F1(I)*K1(I)
  EM2=EM2+F1(I)*F1(I)*K1(I)
  EM4=EM4+F1(I)**4*K1(I)
400 CONTINUE

EM0=EM0*Fstep
EM1=EM1*Fstep
EM2=EM2*Fstep
EM4=EM4*Fstep

AKMAX=0.
DO 500 I=1,M2

```

```

      IF (K1(I).GT.AKMAX) THEN
        AKMAX=K1(I)
        IMAX=I
      END IF
500 CONTINUE

```

```

      IF (IMAX.EQ.1) T0=2./F1(2)
      IF (IMAX.GT.1) T0=1./F1(IMAX)
      T1=EM0/EM1
      T2=SQRT(EM0/EM2)
      WRITE(3,505) EM0,EM1,EM2,EM4
      WRITE(*,505) EM0,EM1,EM2,EM4
      WRITE(3,506) T0,T1,T2
      WRITE(*,506) T0,T1,T2

```

```

600 CONTINUE

```

```

      WRITE(4,1007) (rrms(I), I=1,NCOL)

```

```

      STOP

```

```

12 FORMAT(I5)
14 FORMAT(2(1X,E12.6))
26 FORMAT(1X/' MEAN VALUE = ',F12.6)
27 FORMAT(' INPUT RMS = ',F12.6/1X)
29 FORMAT(1X/' TOTAL RMS = ',F12.6/1X)
505 FORMAT(1X/' ZEROTH MOMENT = ',F12.6,10X,' FIRST MOMENT = ',F12.6
  */ ' SECOND MOMENT = ',F12.6,10X,' FORTH MOMENT = ',F12.6)
506 FORMAT(1X/' MODAL WAVE PERIOD, T0 = ',F12.6/' PERIOD (M0/M1)',
  *' T1 = ',F12.6/' PERIOD SQRT(M0/M2), T2 = ',F12.6)
1000 FORMAT(A80)
1001 FORMAT(F8.0,4F8.3)
1002 FORMAT(2F12.5)
1003 FORMAT(I7,' POINTS SAMPLED AT A RATE OF',F8.3,' Hz. SCALE = ',F8.3)
1004 FORMAT(5F12.5)
1005 FORMAT(3F12.5)
1006 FORMAT(' THERE IS NO SUFFICIENT AMOUNT OF DATA FOR ANALYSIS !')
1007 FORMAT(16F8.4)
      END

```

```

SUBROUTINE FFT (P9,P8,L)
PARAMETER (N1=128, N2=64, N3=24001)
REAL K,K1,K2
COMMON /SHORT/ K(N1,2),K1(N3),K2(N1),SCOS(N2),SSIN(N2)

```

```

C *****

```



```

C ***** START OF FFT *****
C ***** INPUT PARAMETERS *****
C L > 0 ---> FOURIER TRANSFORM
C L <= 0 ---> INVERSE FOURIER TRANSFORM
C K = An array dimensioned K(M1,2) used for data.
C P9 = A power of 2. P9 >= N, the Number of Data Points.
C If N is not a power of 2 then K(*) should be Zero filled.
C P8 : P9 = 2 ^ P8
C ***** OUTPUT PARAMETERS *****
C K = The transformed Data. This means that the initial Data
C is destroyed and replaced with the transformed Data.
C Variables used : All beginning with P or Q

```

```

M=P9
M1=P8
P6=1./P9
Q6=0.5
IF (L.LE.0) P6=1.
P5=P9+1.
Q1=2.*P9
L1=Q1
DO 151 J1=1,M1
C  WRITE(*,*) J1,' OUT OF',M1,' ITERATIONS'
  L1=L1/2
  L2=L1/2
  Q6=Q6*2.
  L6=Q6
  KL5=P5-L1
  DO 151 J2=1,KL5,L1
    L5=-L6+1
    K4=J2-1
    DO 151 K3=1,L2
      L5=L5+L6
      L3=K4+K3
      L4=L3+L2
      Q7=SCOS(L5)
      Q8=SSIN(L5)
      Q9=Q7*(K(L3,1)-K(L4,1))+Q8*(K(L4,2)-K(L3,2))
      Q8=Q7*(K(L3,2)-K(L4,2))+Q8*(K(L3,1)-K(L4,1))
      K(L3,1)=K(L3,1)+K(L4,1)
      K(L3,2)=K(L3,2)+K(L4,2)
      K(L4,1)=Q9
      K(L4,2)=Q8
    151 CONTINUE
  DO 154 J1=1,M
    L3=J1-1
    L4=0
    DO 155 J2=1,M1
      L4=2*L4
      AK4=FLOAT(L3)/2.

```

```

      K4=L3/2
      BK4=K4
      IF(ABS(AK4-BK4).GT.1.E-6) L4=L4+1
      L3=AK4
155  CONTINUE
      L4=L4+1
      IF(L4.LE.J1) GO TO 154
      Q9=K(J1,1)
      Q8=K(J1,2)
      K(J1,1)=K(L4,1)
      K(J1,2)=K(L4,2)
      K(L4,1)=Q9
      K(L4,2)=Q8
154  CONTINUE
      IF (ABS(P6-1.).LT.1.E-6) GO TO 203
      DO 156 J1=1,M
        K(J1,1)=K(J1,1)*P6
        K(J1,2)=K(J1,2)*P6
156  CONTINUE

203  IF (M.LT.4) THEN
      WRITE(3,('THE NUMBER OF GIVEN DATA POINTS IS TOO LOW'))
      RETURN
      END IF

      J2=M
      M2=M/2
      DO 157 J1=2,M2
        Q1=K(J1,1)
        Q2=K(J1,2)
        K(J1,1)=K(J2,1)
        K(J1,2)=K(J2,2)
        K(J2,1)=Q1
        K(J2,2)=Q2
        J2=J2-1
157  CONTINUE
      RETURN
      END

```

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΑ FOURIER ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΤΟΡΙΩΝ HEAVE
ΚΑΙ PITCH ΑΠΟ ΤΟ ΑΡΧΕΙΟ «.MOT» ΤΟΥ SWAN2**

```

C  PROGRAM FFTR-MF : IT PERFORMS FFT AND INVERSE FFT
C  PROGRAM ACCEPTS MANY INPUT DATA FILES COMPOSING A SINGLE TIME
C  HISTORY. IT IS ADVISED TO ANALYZE DATA FROM EACH FILE SEPARATELY

```

C FFTR-MF IS A VERSION OF FFTAV1 TO INCLUDE PHASE CALCULATIONS

c This program is used to perform fft analysis for heave and pitch
 c from the time-histories of
 c the motions computed by SWAN2

PARAMETER (N1=256, N2=128, N3=80001, NCOL=2)

IMPLICIT REAL (C)

CHARACTER TITLE*80,FNAME*7,ASK*1,sk4*4,sk3*3,sk2*2,sk1*1,ss(10)*1

REAL K,K1,K2,K3

COMMON /SHORT/ K(N1,2),K1(N3),K2(N1),SCOS(N2),SSIN(N2)

DIMENSION F1(N1),K3(N3,NCOL),aa(NCOL),bb(NCOL),rrms(NCOL)

data ss/'0','1','2','3','4','5','6','7','8','9'/

C data t,d1,d2,d3,d4,d5,d6

data aa/1.00000,1.00000/

c ,1.00000,1.00000,1.00000,1.00000/

data bb/0.00000,0.00000/

c ,0.00000,0.00000,0.00000,0.00000/

Ires=6

L=1

NA=1

Scale=1.00

Clock=1/0.005

PI=3.14159265

RAD=180.0/PI

ASK='N'

C WRITE(*,'(A)') ' Perform Inverse FFT (Y/N) ? '

C READ(*,'(A)') ASK

IF (ASK.EQ.'Y'.OR.ASK.EQ.'y') L=0

IF (L.GT.0) THEN

C WRITE(*,'(A)') ' FILE NAME ? '

C READ(*,'(A)') FNAME

FNAME='tp40068'

OPEN(3,FILE=FNAME//'.out',STATUS='UNKNOWN')

OPEN(4,FILE=FNAME//'.rms', STATUS='UNKNOWN')

WRITE(*,'(A)') ' STARTING FILE No ? '

READ(*,*) ISTART

C IEND=ISTART

IEND=ISTART

WRITE(*,'(A)') ' No OF POINTS PER RUN ? '

READ(*,*) IRUN

ntitle=3

C WRITE(*,'(A)') ' No OF TITLE LINES ? '

C READ(*,*) ntitle

Nfile=IEND-ISTART+1

C READ(2,1002) No,Clock

```

C   WRITE(*,(A\)) ' Data Scale (Default Scale=1) ? '
C   READ (*,*) Scale
C   WRITE(*,(A\)) ' Sampling Frequency in [Hz] ? '
C   READ (*,*) Clock
    No=(IEND-ISTART+1)*IRUN
    WRITE (*,1003) No,Clock,Scale

    Ii=0
    DO 900 Lf=ISTART,IEND

        i1=int(Lf/1000)
        i2=int((Lf-i1*1000)/100)
        i3=int((Lf-i1*1000-i2*100)/10)
        i4=Lf-i1*1000-i2*100-i3*10
        if (i1.ne.0) then
            sk4=ss(i1+1)//ss(i2+1)//ss(i3+1)//ss(i4+1)
            OPEN(2,FILE=FNAME//sk4//'.mot')
        elseif (i2.ne.0) then
            sk3=ss(i2+1)//ss(i3+1)//ss(i4+1)
            OPEN(2,FILE=FNAME//sk3//'.mot')
        elseif (i3.ne.0) then
            sk2=ss(i3+1)//ss(i4+1)
            OPEN(2,FILE=FNAME//sk2//'.mot')
        elseif (i3.eq.0) then
            sk1=ss(i4+1)
            OPEN(2,FILE=FNAME//sk1//'.mot')
        endif

        do 11 it=1,ntitle
11    READ (2,1000) TITLE
        write(*,*) fname, sk

        DO 8 I=1,IRUN
            Ii=Ii+1
            READ(2,*) A,A,A,K3(Ii,1),A,K3(Ii,2),A
                write(*,*) (K3(Ii,J), J=1,NCOL)

        8   CONTINUE
            CLOSE(2)

900 CONTINUE

    ENDIF

    DO 600 ICOL=1,NCOL

        IF (L.GT.0) THEN

            DO 32 I=1,No
32    K1(I)=0.

```

```

C   READ (2,*) (K3(I),I=1,NNA)
C   WRITE(*,'(A\\)') ' Column for FFT Analysis ? '
C   READ (*,*) ICOL
C   WRITE(*,'(A\\)') ' (A,B) of Y=AX+B TRANSFER FUNCTION ? '
C   READ (*,*) A,B
      A=aa(ICOL)
      B=bb(ICOL)

      DO 40 I=1,No
40   K1(I)=A*K3(I,ICOL)+B

      Lfin=0
      DO 45 L=1,Nfile
        IARXH=(L-1)*IRUN+1
        ITELOS=L*IRUN

        SUM=0.
        DO 42 I=IARXH,ITELOS
          SUM=SUM+K1(I)
42   CONTINUE
        SUM=SUM/FLOAT(IRUN)
C   WRITE(*,26) SSUM

        DO 44 I=IARXH,ITELOS
          K1(I)=K1(I)-SUM
44   CONTINUE

        DO 6 I=2,IRUN
          Lk=(L-1)*IRUN+I
          Lk1=Lk-1
          IF (K1(Lk1).LT.0.0.AND.K1(Lk).GT.0.0) THEN
            IARXH=Lk
            GOTO 7
          ENDIF
6   CONTINUE

7   DO 9 I=IRUN,2,-1
          Lk=(L-1)*IRUN+I
          Lk1=Lk-1
          IF (K1(Lk1).LT.0.0.AND.K1(Lk).GT.0.0) THEN
            ITELOS=Lk-1
            GOTO 13
          ENDIF
9   CONTINUE

13  DO 30 I=IARXH,ITELOS
      Lfin=Lfin+1
      K1(Lfin)=K1(I)
30  CONTINUE

```

```

      IF (ICOL.EQ.Ires) THEN
        I0=Lfin-(ITELOS-IARXH)
        DO 34 I=I0,Lfin
          K1(I)=K1(I)+SUM
34    CONTINUE
      ENDIF

      WRITE (*,'(A)') ' NO OF USEFUL POINTS = '
      WRITE (*,'(I4)') Lfin
      WRITE (*,'(A)') ' MEAN VALUE = '
      WRITE (*,'(F10.4)') SUM

45  CONTINUE

      WRITE (*,'(A)') ' TOTAL NO OF USEFUL POINTS = '
      WRITE (*,*) Lfin

      ELSE

        NA=1
        WRITE (*,'(A)') ' No of Spectral Ordinates for Inverse FFT ? '
        READ (*,*) N
        WRITE (*,'(A)') ' Cut-off Frequency [Hz] ? '
        READ (*,*) Fcut
        NNA=N*NA
        AV=NA

        DO 50 I=1,NNA
          READ(2,1004) F1(I),K(I,1),K(I,2),K1(I),K2(I)
          IF (F1(I).GT.Fcut) THEN
            K(I,1)=0.
            K(I,2)=0.
          ENDIF
50  CONTINUE

        Clock=F1(2)-F1(1)
        Scale=1.

      ENDIF

      IF (ICOL.EQ.Ires) THEN
        NNA=Lfin
        GOTO 75
      ENDIF

      IF (L.GT.0) THEN

        N=256
        IF (N.GT.Lfin) N=Lfin

```

```

c   WRITE(*,'(A\)' ) ' No of Data Points per FFT ? '
c   READ (*,*) N
    NA=Lfin/N
    WRITE(*,'(A\)' ) ' No of Averages = '
    WRITE(*,*) NA
C   WRITE(*,'(A\)' ) ' No of Averages (Default AV=1) ? '
C   READ (*,*) NA
    NNA=N*NA
    AV=NA

    IF (Lfin.LT.NNA) THEN
      WRITE(*,1006)
      STOP
    ENDIF

ENDIF

AN=FLOAT(N)
P8=ALOG(AN)/ALOG(2.0)+1E-6
M1=INT(P8)
IF((P8-FLOAT(M1)).GE.1E-4) M1=M1+1
P8=FLOAT(M1)
M=2**M1
AM=FLOAT(M)
M2=M/2

DO 5 I=1,M
  K(I,1)=0.
  K(I,2)=0.
5 CONTINUE

DO 60 I=1,M2
  AI=I
  AM=M
  SMA=2.*PI*(AI-1.)/AM
  SCOS(I)=COS(SMA)
  SSIN(I)=SIN(SMA)
60 CONTINUE

  IF (L.LE.0) THEN
    DO 70 IS=1,M2
70   SSIN(IS)=-SSIN(IS)
    ENDIF

75 CONTINUE

  IF (L.GT.0) THEN

    SUM=0.
    DO 80 J=1,NNA

```

```
      SUM=SUM+K1(J)
80  CONTINUE
      SUM=SUM/FLOAT(NNA)
      SSUM=SUM/Scale
      WRITE(3,26) SSUM
      WRITE(*,26) SSUM

      IF (ICOL.EQ.Ires) THEN
        rrms(Ires)=SSUM
        GOTO 600
      ENDIF

      DO 100 I=1,NNA
        K1(I)=K1(I)-SUM
100  CONTINUE

      AMNSQ=0.
      DO 120 I=1,NNA
        AMNSQ=AMNSQ+K1(I)*K1(I)
120  CONTINUE
      AMNSQ=AMNSQ/FLOAT(NNA)
      RMS=SQRT(AMNSQ)/Scale
      rrms(ICOL)=RMS
      WRITE(3,27) RMS
      WRITE(*,27) RMS

      ENDIF

      DO 200 IH=1,NA

      IF (L.GT.0) THEN
        DO 140 I=1,N
          KH=I+(IH-1)*N
          K(I,1)=K1(KH)/Scale
          K(I,2)=0.
140  CONTINUE
        ENDIF

      CALL FFT (AM,P8,L)

      IF (L.LE.0) THEN
        DT=1./F1(NNA)
        DO 150 I=1,NNA
          T=(I-1)*DT
          WRITE(3,1005) T,K(I,1),K(I,2)
150  CONTINUE
        STOP
      ENDIF

      IF (IH.EQ.1) THEN
```



```

      DO 160 IW=1,M2
        K1(IW)=0.
160    K2(IW)=0.
      ENDIF

      DO 170 I=1,M2

        K1(I)=K1(I)+(K(I,1)*K(I,1)+K(I,2)*K(I,2))/AV

        IF (ABS(K(I,1)).GT.1.E-22) THEN
          ARC=ATAN(K(I,2)/K(I,1))
          IF(K(I,1).LT.0.0) ARC=ARC+PI
          K2(I)=K2(I)+ARC/AV
        ENDIF

170    CONTINUE

200    CONTINUE

      Fstep=Clock/AM

      DO 250 I=1,M2
        K1(I)=2.*K1(I)/Fstep
        F1(I)=Fstep*FLOAT(I-1)
        K2(I)=K2(I)*RAD
        K(I,1)=K(I,1)*Fstep
        K(I,2)=K(I,2)*Fstep
        J=M+1-I
        L=M2+I
        K(J,1)=K(I,1)
        K(J,2)=-K(I,2)
        F1(L)=Fstep*FLOAT(L-1)
250    CONTINUE

      WRITE(3,14) (F1(I),K1(I),I=1,M2)
C     WRITE(3,1004) (F1(I),K(I,1),K(I,2),K1(I),K2(I), I=1,M)
C     WRITE(3,'(//6A//)') 'PHASES'
C     WRITE(3,14) (F1(I),K2(I),I=1,M2)
C     SK=0.
C     DO 280 I=1,M2
C 280   SK=SK+K2(I)
C     SK=SK/FLOAT(M2)
C     WRITE(3,*) 'MEAN PHASE ANGLE [Deg], SK =',SK

      AMNSQ=0.
      DO 300 I=1,M2
        AMNSQ=AMNSQ+K1(I)
300    CONTINUE
      AMNSQ=AMNSQ-(K1(1)+K1(M2))/2.
      AMNSQ=AMNSQ*Fstep*AM/AN

```

```
RMS=SQRT(AMNSQ)
WRITE(3,29) RMS
WRITE(*,29) RMS

C  CARRY OUT SMOOTHING

ASK='N'
C  WRITE(*,(A)) ' Carry out Smoothing (Y/N) ? '
C  READ (*,(A)) ASK

IF (ASK.EQ.'Y'.OR.ASK.EQ.'y') THEN

    M21=M2-1
    DO 320 I=2,M21
320  K2(I)=(K1(I-1)+K1(I)+K1(I+1))/3.
        K2(1)=(K1(1)+K1(2))/2.
        K2(M2)=(K1(M2-1)+K1(M2))/2.
        DO 340 I=1,M2
340  K1(I)=K2(I)
        WRITE(3,(' SMOOTHED SPECTRUM FOLLOWS :'))
        WRITE(*,(' SMOOTHED SPECTRUM FOLLOWS :'))
        WRITE(3,14) (F1(I),K1(I),I=1,M2)

    ENDIF

    EM0=0.
    EM1=0.
    EM2=0.
    EM4=0.
    DO 400 I=1,M2
        EM0=EM0+K1(I)
        EM1=EM1+F1(I)*K1(I)
        EM2=EM2+F1(I)*F1(I)*K1(I)
        EM4=EM4+F1(I)**4*K1(I)
400  CONTINUE

    EM0=EM0*Fstep
    EM1=EM1*Fstep
    EM2=EM2*Fstep
    EM4=EM4*Fstep

    AKMAX=0.
    DO 500 I=1,M2
        IF (K1(I).GT.AKMAX) THEN
            AKMAX=K1(I)
            IMAX=I
        END IF
500  CONTINUE
```

```

IF (IMAX.EQ.1) T0=2./F1(2)
IF (IMAX.GT.1) T0=1./F1(IMAX)
T1=EM0/EM1
T2=SQRT(EM0/EM2)
WRITE(3,505) EM0,EM1,EM2,EM4
WRITE(*,505) EM0,EM1,EM2,EM4
WRITE(3,506) T0,T1,T2
WRITE(*,506) T0,T1,T2

600 CONTINUE

WRITE(4,1007) (rrms(I), I=1,NCOL)

STOP

12 FORMAT(I5)
14 FORMAT(2(1X,E12.6))
26 FORMAT(1X/' MEAN VALUE = ',F12.6)
27 FORMAT(' INPUT RMS = ',F12.6/1X)
29 FORMAT(1X/' TOTAL RMS = ',F12.6/1X)
505 FORMAT(1X/' ZEROTH MOMENT = ',F12.6,10X,' FIRST MOMENT = ',F12.6
*/ ' SECOND MOMENT = ',F12.6,10X,' FORTH MOMENT = ',F12.6)
506 FORMAT(1X/' MODAL WAVE PERIOD, T0 = ',F12.6/' PERIOD (M0/M1)',
*' T1 = ',F12.6/' PERIOD SQRT(M0/M2), T2 = ',F12.6)
1000 FORMAT(A80)
1001 FORMAT(F8.0,4F8.3)
1002 FORMAT(2F12.5)
1003 FORMAT(I7,' POINTS SAMPLED AT A RATE OF',F8.3,' Hz. SCALE = ',F8.3)
1004 FORMAT(5F12.5)
1005 FORMAT(3F12.5)
1006 FORMAT(' THERE IS NO SUFFICIENT AMOUNT OF DATA FOR ANALYSIS !')
1007 FORMAT(16F8.4)
END

SUBROUTINE FFT (P9,P8,L)
PARAMETER (N1=256, N2=128, N3=80001)
REAL K,K1,K2
COMMON /SHORT/ K(N1,2),K1(N3),K2(N1),SCOS(N2),SSIN(N2)

C *****
C ***** START OF FFT *****
C ***** INPUT PARAMETERS *****
C L > 0 ---> FOURIER TRANSFORM
C L <= 0 ---> INVERSE FOURIER TRANSFORM
C K = An array dimensioned K(M1,2) used for data.
C P9 = A power of 2. P9>=N, the Number of Data Points.
C If N is not a power of 2 then K(*) should be Zero filled.

```

```

C  P8 : P9 = 2 ^ P8
C  ***** OUTPUT PARAMETERS *****
C  K = The transformed Data. This means that the initial Data
C  is destroyed and replaced with the transformed Data.
C  Variables used : All beginning with P or Q

```

```

M=P9
M1=P8
P6=1./P9
Q6=0.5
IF (L.LE.0) P6=1.
P5=P9+1.
Q1=2.*P9
L1=Q1
DO 151 J1=1,M1
C  WRITE(*,*) J1,' OUT OF',M1,' ITERATIONS'
  L1=L1/2
  L2=L1/2
  Q6=Q6*2.
  L6=Q6
  KL5=P5-L1
  DO 151 J2=1,KL5,L1
    L5=-L6+1
    K4=J2-1
    DO 151 K3=1,L2
      L5=L5+L6
      L3=K4+K3
      L4=L3+L2
      Q7=SCOS(L5)
      Q8=SSIN(L5)
      Q9=Q7*(K(L3,1)-K(L4,1))+Q8*(K(L4,2)-K(L3,2))
      Q8=Q7*(K(L3,2)-K(L4,2))+Q8*(K(L3,1)-K(L4,1))
      K(L3,1)=K(L3,1)+K(L4,1)
      K(L3,2)=K(L3,2)+K(L4,2)
      K(L4,1)=Q9
      K(L4,2)=Q8
    151 CONTINUE
  DO 154 J1=1,M
    L3=J1-1
    L4=0
    DO 155 J2=1,M1
      L4=2*L4
      AK4=FLOAT(L3)/2.
      K4=L3/2
      BK4=K4
      IF(ABS(AK4-BK4).GT.1.E-6) L4=L4+1
      L3=AK4
    155 CONTINUE
    L4=L4+1
    IF(L4.LE.J1) GO TO 154

```

```
Q9=K(J1,1)
Q8=K(J1,2)
K(J1,1)=K(L4,1)
K(J1,2)=K(L4,2)
K(L4,1)=Q9
K(L4,2)=Q8
154 CONTINUE
IF (ABS(P6-1.).LT.1.E-6) GO TO 203
DO 156 J1=1,M
  K(J1,1)=K(J1,1)*P6
  K(J1,2)=K(J1,2)*P6
156 CONTINUE

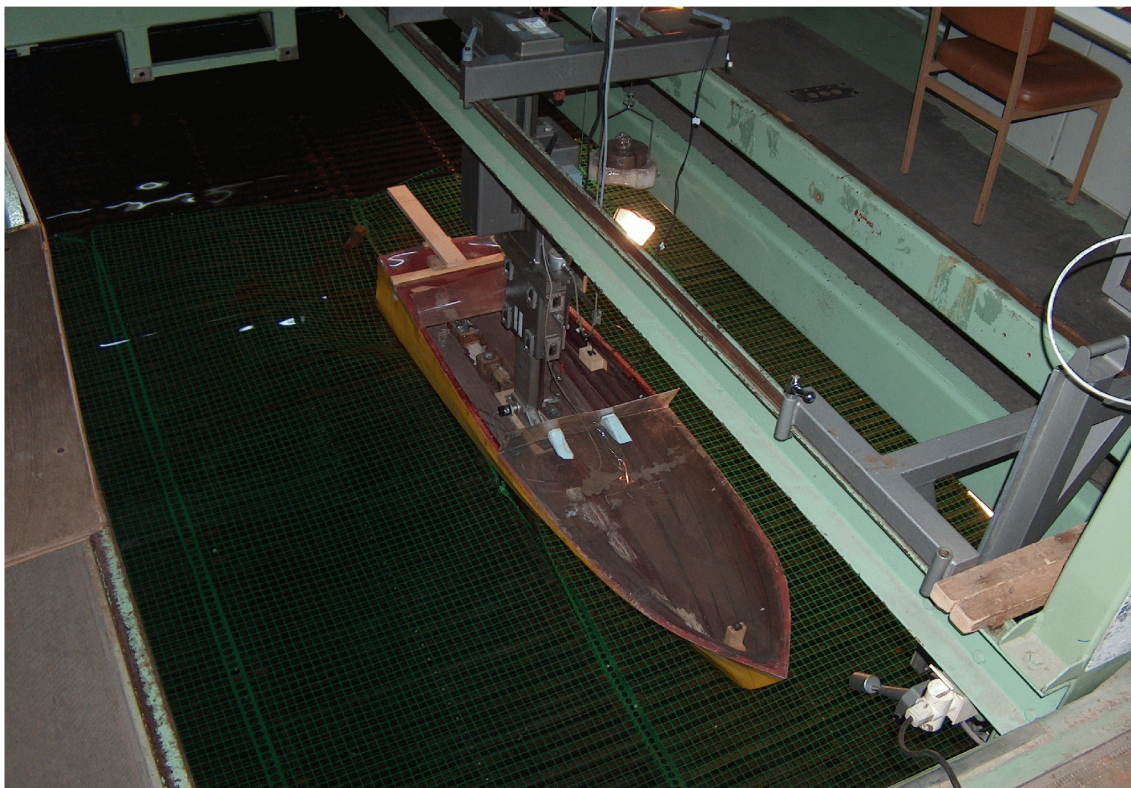
203 IF (M.LT.4) THEN
  WRITE(3,('THE NUMBER OF GIVEN DATA POINTS IS TOO LOW'))
  RETURN
END IF

J2=M
M2=M/2
DO 157 J1=2,M2
  Q1=K(J1,1)
  Q2=K(J1,2)
  K(J1,1)=K(J2,1)
  K(J1,2)=K(J2,2)
  K(J2,1)=Q1
  K(J2,2)=Q2
  J2=J2-1
157 CONTINUE
RETURN
END
```

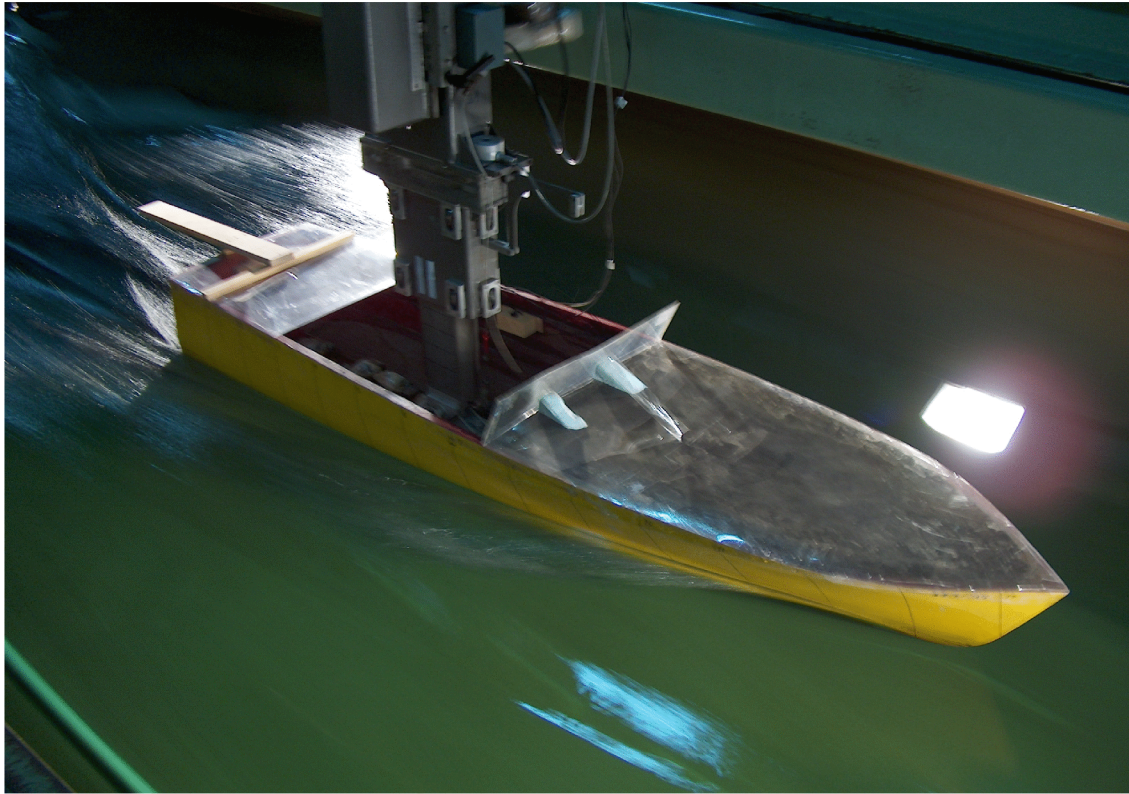
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ



Φωτογραφία III.1: Η πειραματική δεξαμενή εν ώρα λειτουργίας του κυματιστήρα, παράγοντας κύματα με $H_s=0.12$ m



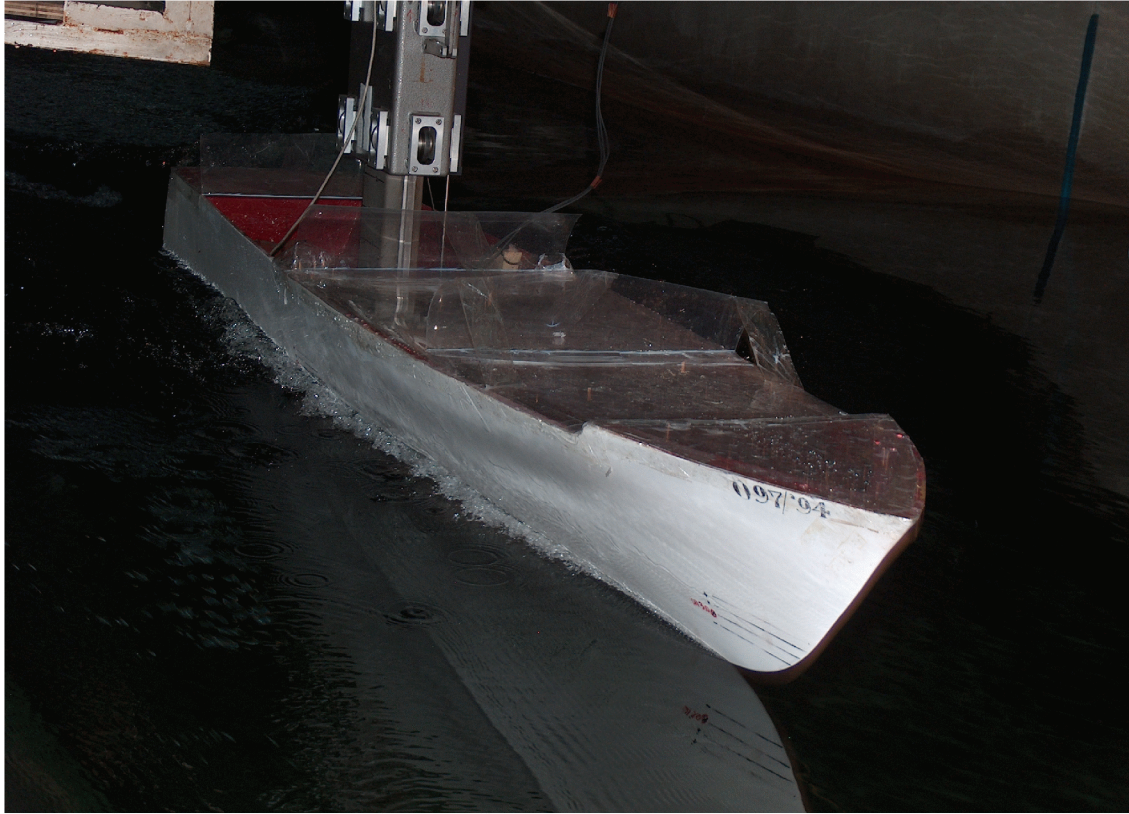
Φωτογραφία III.2: Το πρότυπο NTUA-113/95 με $L/B=4.00$ δεμένο στο πόδι του δυναμομέτρου



Φωτογραφία Π.3: Το πρότυπο NTUA-113/95 με $L/B=4.00$ κινούμενο στη μεγάλη ταχύτητα με $3,093 \text{ m/sec}$



Φωτογραφία Π.4: Το πρότυπο NTUA-097/94 με $L/B=5.50$ κινούμενο στη μεγάλη ταχύτητα με $3,119 \text{ m/sec}$ σε κατάσταση θάλασσας με $H_s=0.14 \text{ m}$



Φωτογραφία III.5: Το πρότυπο NTUA-097/94 με $L/B=5.50$ κινούμενο στη μεγάλη ταχύτητα με $3,119 \text{ m/sec}$ σε κατάσταση θάλασσας με $H_s=0.10 \text{ m}$