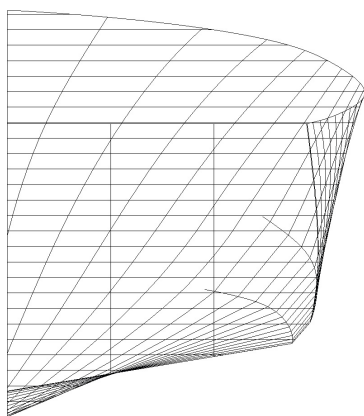




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ & ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΤΑΧΥΠΛΟΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ
ΣΕ ΤΥΧΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ



Χαράλαμπος Γ. Μπαρτσώτας

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

Αθήνα 2013



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΤΑΧΥΠΛΟΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ
ΣΕ ΤΥΧΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ**

Χαράλαμπος Γ. Μπαρτσώτας

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

Αθήνα 2013

*Στην οικογενειά μου.
τον Γιώργο, την Σοφία ,
τον Βασίλη, την Γιώτα .*

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα κύριο Γρηγορόπουλο Γρηγόρη, Καθηγητή του Τομέα Υδροδυναμικής της Σχολής Ν.Μ.Μ. του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την άριστη συνεργασία μας, τις χρήσιμες συμβουλές του και την καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της. Ευχαριστώ επίσης τα μέλη του εργαστηρίου κύριο Συνετό Διονύσιο, μέλος Ε.Ε.ΔΙ.Π της σχολής Ν.Μ.Μ. του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κύριο Τραχανά Ιωάννη, μέλος Ε.Τ.Ε.Π. Σχολής Ν.Μ.Μ. του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Κασάπη Φώτη, μέλος Ε.Ε.ΔΙ.Π. της σχολής Ν.Μ.Μ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Λιαροκάπη Δημήτρη, υποψήφιο διδάκτορα της σχολής Ν.Μ.Μ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Δαμάλα Δήμητρα, υποψήφια διδάκτορα της σχολής Ν.Μ.Μ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Μυλωνά Γιώργο, υπεύθυνο κατασκευής των πειραματικών μοντέλων καθώς και τους Γεώργιο Τζαμπίρα, Καθηγητή Σχολής Ν.Μ.Μ του Ε.Μ.Π και Κωνσταντίνο Μπελιμπασάκη Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Ν.Μ.Μ του Ε.Μ.Π, μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, για την πολύτιμη και εποικοδομητική συνεργασία μας.

Χαράλαμπος Γ. Μπαρτσώτας

Περιεχόμενα

Συμβολισμοί	vi
Εισαγωγή	vii
1 Θεωρία	1
1.1 Θεωρία κυματισμών	1
1.2 Αρμονικοί κυματισμοί	1
1.3 Τυχαίοι Κυματισμοί - Φάσματα Στοχαστικών Διαδικασιών	2
1.4 Πρόσθετη Αντίσταση - Αντίσταση Κυματισμών	6
1.5 Κινήσεις Πλοίου	7
1.6 Συστηματική Σειρά NTUA	9
2 Πειραματική διαδικασία - Προετοιμασία μοντέλου	15
2.1 Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός - Πειραματική διάταξη	15
2.2 Βαθμονόμηση Οργάνων	18
2.3 Συναρτήσεις Μεταφοράς	19
2.4 Εκτόπισμα-Ίσαλος	20
2.5 Υπολογισμός Ακτίνας Αδρανείας και Περιόδου Ιδιοταλάντωσης	21
2.6 Υπολογισμός Αποφόρτισης	22
3 Πειράματα	23
3.1 Εισαγωγή	23
3.2 Πειραματικά αποτελέσματα	24
3.2.1 Επίδραση της ταχύτητας στις αποκρίσεις του πλοίου	25
3.2.2 Επίδραση του λόγου L/B στις αποκρίσεις του πλοίου	34
4 Παράρτημα πειραματικών μετρήσεων	38
4.1 Εισαγωγή	38
4.2 Διεξαγωγή Ανάλυσης	39
4.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 097/94	40
4.3.1 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ - $F_n = 0.34$	40
4.3.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ $F_n = 0.68$	48
4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 116/96	56
4.4.1 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - $F_n = 0.38$	56
4.4.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - $F_n = 0.76$	63
4.5 Συμπεράσματα	70

4.5.1 Σημείωση	70
Βιβλιογραφία	72

Συμβολισμοί

V	ταχύτητα [m/s]
a	κάθετη επιτάχυνση
A	πλάτος κύματος
B	πλάτος άνω ακμής
B_{WL}	μέγιστο πλάτος ισάλου επιφανείας
C_B	συντελεστής γάστρας
L, L_{OA}	ολικό μήκος
L_{WL}	μήκος ισάλου
T	μέσο βύθισμα
Δ	εκτόπισμα
∇	όγκος εκτοπίσματος
C_{DL}	$= \frac{\nabla}{(0.1L_{WL})^3}$ συντελεστής εκτοπίσματος
g	επιτάχυνση βαρύτητας
F_n	$= \frac{V}{\sqrt{gL_{WL}}}$, Αριθμός Froude
$H_{1/3}, H_s$	σημαντικό ύψος κύματος [m]
λ	μήκος κύματος
k	$= \frac{2\pi}{\lambda}$, κυματικός αριθμός
LCG	διαμήκες κέντρο βαρύτητας
RAO	συντελεστής απόκρισης (Response amplitude operator)
R_{AW}	πρόσθετη αντίσταση
RMS	μέση τετραγωνική τιμή
$S(\omega)$	συνάρτηση πυκνότητας φάσματος
ω_p	κυκλική συχνότητα κορυφής του φάσματος [rad/sec]
T_P	$= \frac{2\pi}{\omega_p}$, περίοδος κορυφής κύματος
T_P'	$= \frac{T_P}{\sqrt{\frac{L_{BP}}{g}}}$, αδιάστατη περίοδος
ζ_0	πλάτος ανύψωσης κυματισμού
ρ	πυκνότητα νερού
β	γωνία πρόσχρουσης κυματισμού, (όπου $\beta = 180^\circ$ για ορθόπλωρο κυματισμό)

Εισαγωγή

Παραδοσιακά η αντίσταση γάστρας εκτιμάται σε συνθήκες ήρεμου νερού και δίνει πολύτιμες πληροφορίες για την απόδοση ενός πλοίου στο πρώιμο σχεδιαστικό στάδιο. Όμως οι συνθήκες ήρεμου νερού απέχουν από τις πραγματικές συνθήκες στην ανοικτή θάλασσα. Ο πλους στην ανοικτή θάλασσα μπορεί να επιφέρει μεγάλες κινήσεις στον πλοίο, να αυξήσει την αντίσταση και να μειώσει τον βαθμό απόδοσης της πρόωσης. Οι κινήσεις και οι αποκρίσεις λοιπόν ενός πλοίου θεωρούνται σημαντικές στον τομέα της ασφάλειας, ενώ παράλληλα η αυξημένη αντίσταση και η μειωμένη ταχύτητα παίζουν ρόλο στον οικονομικό τομέα. Συνεπώς η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς ενός πλοίου σε θαλάσσιους κυματισμούς είναι ένα ουσιαστικό κομμάτι της σχεδίασής του.

Έχει παρατηρηθεί ότι οι θεωρητικές μέθοδοι υπολογισμού της δυναμικής συμπεριφοράς πλοίων, όπως η 'Θεωρία Λωρίδων' δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα και συνεπώς προτιμούνται λόγω χρόνου και κόστους για την προκαταρκτική μελέτη, εξακολουθώντας όμως να απαρτίζουν το πρώτο κομμάτι αυτής. Είναι σύνηθες, πριν την τελική φάση της κατασκευής, να πραγματοποιούνται μετρήσεις σε πειραματικές δεξαμενές προκειμένου να γίνει έλεγχος των θεωρητικών υπολογισμών και παράλληλα να έχουμε μία πιο ρεαλιστική προσέγγιση της συμπεριφοράς του πλοίου στις ζητούμενες συνθήκες.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζουμε τη δυναμική συμπεριφορά δύο μοντέλων ταχύπλων γαστρών της συστηματικής σειράς διπλής ακμής, που αναπτύχθηκε στο Ε.Ν.Θ.Υ. του Πολυτεχνείου, σε τυχαίους κυματισμούς.

Απότερος σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι η δημιουργία βάσης δεδομένων της συστηματικής σειράς, όπου ο μελετητής θα μπορεί να ανατρέξει ώστε να υπολογίσει μέσα από τους αδιάστατους συντελεστές των πειραματικών αποτελεσμάτων αντίστασης και δυναμικής συμπεριφοράς για κάθε τύπο της σειράς, όλα εκείνα τα δεδομένα που χρειάζονται ανάλογα με την μελέτη, χωρίς να επαναληφθούν τα πειράματα. Οι αδιάστατοι συντελεστές απόκρισης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με το φάσμα της διέγερσης εφαρμόζοντας την αρχή της υπέρθεσης για να προσδιοριστεί η φασματική κατανομή της απόκρισης απ' όπου με στατιστικές διαδικασίες μπορούν να υπολογιστούν μέγιστες πιθανές τιμές, τιμές R.M.S., μέσες τιμές, γεγονότα κ.ά

Στο παρόν επιλέχθηκε να εξεταστεί η δυσμενέστερη κατάσταση φόρτωσης τύπων σκαφών της Σειράς ΕΜΠ με λόγους $L/B = 5.5$ & $L/B = 7$, σε $C_{DL} = 4.23$ σε ταχύτητες μοντέλου που αντιστοιχούν σε αριθμό F_n 0.34, 0.68

Κεφάλαιο 1

Θεωρία

1.1 Θεωρία κυματισμών

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

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

Ο μηχανισμός δημιουργίας θαλάσσιων κυμάτων είναι εξαιρετικά πολύπλοκος. Υπάρχει άπειρη ποικιλία ως προς το είδος των κυματισμών, ενώ κάθε προσπάθεια καταγραφής τους αποκαλύπτει ακανόνιστη αλληλουχία κορυφών και κοιλάδων σε διάφορες διευθύνσεις με τυχαία εξέλιξη στο πεδίο του χρόνου. Συνεπώς, η ακριβής περιγραφή ενεργειακού φάσματος δεδομένης θαλάσσιας περιοχής είναι εξαιρετικά δύσκολη. Για το λόγο αυτό, ο μόνος τρόπος μιας ολοκληρωμένης στατιστικής ανάλυσης των κυματικών διεγέρσεων είναι τα πιθανοθεωρητικά μοντέλα στοχαστικών διαδικασιών. Έτσι είμαστε σε θέση να περιγράψουμε και να αναλύσουμε με ακρίβεια μια δεδομένη κατάσταση θάλασσας. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στα δύο κύρια είδη κυματισμών.

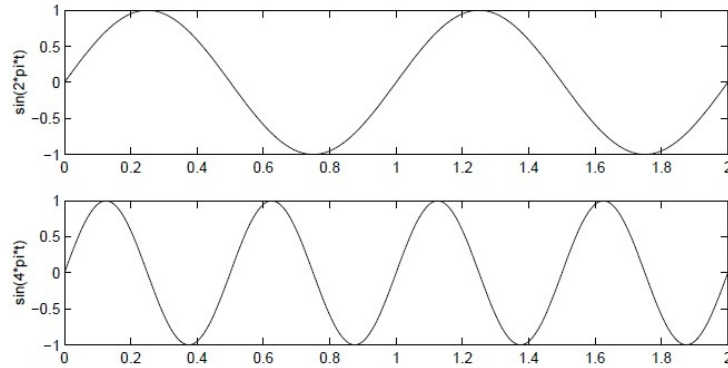
1.2 Αρμονικοί κυματισμοί

Η μορφή τους είναι απλή ημιτονοειδής ή συνημιτονοειδής. Κύριες παράμετροι περιγραφής τους είναι η περίοδος T , η συχνότητα f , το μήκος κύματος λ και το ύψος κύματος H .

Με τη βοήθεια της εξίσωσης διασποράς βρίσκουμε ότι η συχνότητα δίνεται από τη σχέση:

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

ενώ μεταξύ περιόδου - συχνότητας ισχύει η γνωστή σχέση $T = \frac{1}{f}$.



Σχήμα 1.1: Αρμονικοί κυματισμοί - Ημίτονα

1.3 Τυχαίοι Κυματισμοί - Φάσματα Στοχαστικών Διαδικασιών

Ο άνεμος κατά το χρονικό διάστημα που φυσάει πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας ή γενικότερα πάνω από κάθε υδάτινη επιφάνεια μεταφέρει στο νερό ένα μέρος από την ενέργειά του. Η μεταφορά αυτή ενέργειας γίνεται μέσω συνεκτικών δυνάμεων και δυνάμεων κάθετης πίεσης στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο ρευστών και έχει σαν συνέπεια τη δημιουργία επιφανειακών κυματισμών στο νερό. Σε αντίθεση προς την εύκολη περιγραφή της επιφάνειας ενός απλού κύματος βαρύτητας, η μορφή της επιφάνειας των κυμάτων ανέμου δεν παρουσιάζει καμία κανονικότητα, αλλά μεταβάλλεται συνεχώς τοπικά και χρονικά, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να περιγράψουμε με τις συνηθισμένες αναλυτικές και προσδιοριστικές μεθόδους τα κύματα ανέμου (wind waves). Συναρτήσεις του χρόνου (time series) που παρουσιάζουν την παραπάνω έλλειψη κάθε κανονικότητας στη μορφή τους, ονομάζουμε στοχαστικές διαδικασίες (stochastic processes).

Μια βαθύτερη έννοια των στοχαστικών διαδικασιών είναι ότι προκειμένου κανείς να τις περιγράψει θα πρέπει να θεωρήσει την ολότητα των πιθανών μορφών τους, που θα μπορούσαν να παραχθούν κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Αν εκτελέσουμε το ίδιο ακριβώς πείραμα πολλές φορές και τα αποτελέσματα είναι ακριβώς επαναλήψιμα, λέμε ότι πρόκειται για προσδιοριστική διαδικασία (deterministic process). Αν όμως, όπως συμβαίνει με τα κύματα ανέμου, τα αποτελέσματα των πειραμάτων είναι διαφορετικής μορφής, ενώ όλες οι συνθήκες που βρίσκονται κάτω από τον έλεγχο του πειραματιστή παραμένουν σταθερές, λέμε ότι πρόκειται για στοχαστική διαδικασία. Στην περίπτωση αυτή δεν είναι τόσο χρήσιμη η μορφή του αποτελέσματος ενός πειράματος, όσο η στατιστική περιγραφή των αποτελεσμάτων όλων των πιθανών πειραμάτων.

Ο μόνος γνωστός τρόπος πλήρους στατιστικής περιγραφής τέτοιων τυχαίων διεγέρσεων, είναι η θεωρία στοχαστικών διαδικασιών, που προέκυψε σαν επέκταση της θεωρίας των πιθανοτήτων και εφαρμόζεται στη μελέτη όλων των πρακτικών προβλημάτων που περιέχουν τέτοιες τυχαίες διεγέρσεις (π.χ. μεγάλων μεταλλικών κατασκευών που καταπονούνται από δυνάμεις ανέμου και πλοίων που καταπονούνται από κύματα ανέμου). Η βασική έννοια μιας στοχαστικής διαδικασίας $f(t)$ είναι ότι πρέπει να περιγραφεί όχι μόνο η χρονική ιστορία ενός δείγματός της, αλλά όλη η οικογένεια ή ολότητα των χρονικών

ιστοριών των πιθανών πειραμάτων που χαρακτηρίζουν τη στοχαστική διαδικασία. Το κάθε μέλος αυτής της οικογένειας ονομάζεται συνάρτηση- δείγμα.

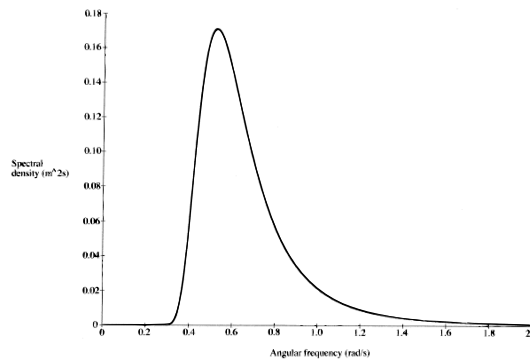
Για την μελέτη λοιπόν τυχαίων κυμάτων χρησιμοποιούνται στοχαστικές μέθοδοι. Η ανύψωση της θαλάσσιας επιφάνειας απεικονίζεται με τη βοήθεια του μοντέλου των Longuet - Higgins. Σύμφωνα με αυτό, το σύνθετο κυματικό προφίλ προκύπτει από την επαλληλία ημιτονικών κυμάτων πλήθους i της μορφής:

$$X(t) = X_i \cos(\omega_i t + \phi_i)$$

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

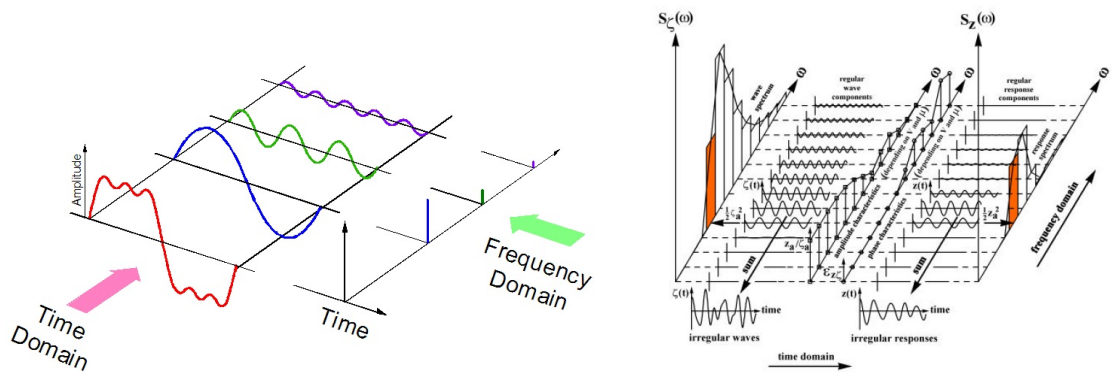
Η τυπική μορφή ενός φάσματος θάλασσας φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 1 και περιγράφεται από την σχέση:

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



Σχήμα 1.2: Φάσμα Πυκνότητας Πιθανότητας

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



Σχήμα 1.3: Ανάλυση φάσματος στον χώρο των συχνοτήτων

Σχετικά με την εξάρτηση της $S(\omega)$ από τη χρονική διάρκεια πνοής του ανέμου, διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

Πλήρως αναπτυγμένες θάλασσες (fully developed seas): Όταν ο άνεμος έχει πνεύσει σταθερός και ανεμπόδιστος για μακρύ χρονικό διάστημα, και έχουμε φτάσει σε μία κατάσταση ισορροπίας.

Αναπτυσσόμενες θάλασσες (developing seas): Όταν ο άνεμος έχει πνεύσει για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα.

Αποσβενδόμενες θάλασσες (decaying seas): Όταν έχει παύσει ή περιοριστεί η ταχύτητα του ανέμου, οπότε η ενέργεια των κυματισμών καταστρέφεται βαθμιαία λόγω συνεκτικών δυνάμεων.

Τα πειράματα που περιλαμβάνονται στο παρόν έγιναν σε τυχαίους κυματισμούς, σε πλήρως ανεπτυγμένες θάλασσες αν και όπως έχει αποδείξει ο Philips υπάρχουν μόνο πλήρως ανεπτυγμένοι συνιστώντες κυματισμοί μικρής περιόδου. Από τα πιο γνωστά είναι αυτό των Pierson-Moskowitz και έχει παρατηρηθεί ότι αυτή η μορφή της συνάρτησης πυκνότητας φάσματος πλήρως αναπτυγμένων θαλασσών μπορεί να περιγράψει κάθε είδους κατάσταση θάλασσας. Μειονέκτημα είναι πως είναι μονοπαραμετρικό (συνάρτηση του ω) αφού βασίζεται μόνο στον άνεμο σαν παράμετρο με συνέπεια να δίνει μικρότερη τιμή για την συχνότητα κορυφής ω_p από την πραγματική. Στην αυτή περίπτωση της διπλώματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε διπαραμετρικό φάσμα Bretschneider το οποίο αποτελεί μία παρόμοια μορφή του παραπάνω και ορίζεται ως:

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

και εξαρτάται από το σημαντικό ύψος κύματος $\bar{H}^{1/3}$ και από το ω_p με συνέπεια να περιγράφει θάλασσες σε όλες τις φάσεις τη εξέλιξής τους.

Τα κυριότερα στατιστικά μεγέθη ενός κυματικού φάσματος παρουσιάζονται παρακάτω:

$$\text{Μέσο ύψος κύματος : } \bar{H} = 2.5 \cdot \sqrt{m_0}$$

$$\text{Το σημαντικό ύψος κύματος : } \bar{H}^{1/3}$$

(significant wave height) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν χαρακτηριστική παράμετρος των φασμάτων των κυματισμών γιατί συνδέεται με την επιφάνεια m_0 κάτω από την καμπύλη του φάσματός τους με τη σχέση

$$\bar{H}_{1/3} = H_S = 4\sqrt{m_0}$$

$$\text{Μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης : } T_{02} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$$

$$\text{Μέση περίοδος κορυφών: } T_{24} = 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{m_4}}$$

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

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega^n S(\omega) d\omega = \sigma^2$$

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

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

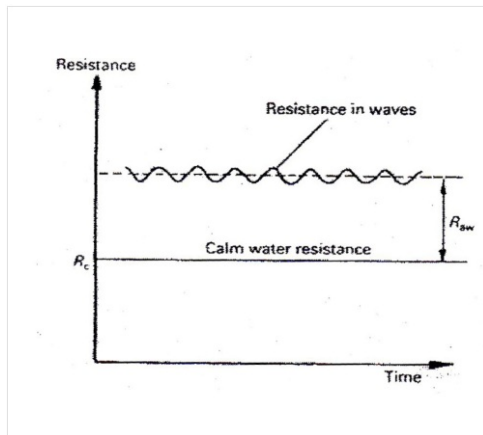
η οποία είναι η τυπική απόκλιση ή αλλιώς η ρίζα της μέσης τετραγωνικής τιμής του φάσματος (root mean square - rms).

$$\sigma_x = rms = \sqrt{m_0}$$

Συνεπώς η μέση τετραγωνική τιμή δηλώνει το εμβαδό κάτω από την φασματική συνάρτηση.

1.4 Πρόσθετη Αντίσταση - Αντίσταση Κυματισμών

Η πραγματική θάλασσα δεν αποτελείται από μια σειρά ομοιόμορφων κυμάτων σταθερού μήκους και πλάτους, αλλά είναι μία σύνθεση διαφορετικών χαρακτηριστικών και κατεύθυνσης. Σε αυτές τις συνθήκες ο υπολογισμός της πρόσθετης αντίστασης είναι αρκετά περίπλοκος αφού πρέπει να συνυπολογίζουμε τις κινήσεις Roll, Yaw & Sway. Η πειραματική δεξαμενή του Ε.Μ.Π μπορεί να δημιουργήσει ημιτονικούς ή τυχαίους μετωπικούς κυματισμούς. Αν και δεν αντιπροσωπεύουν σε πλήρη μορφή την πραγματική θάλασσα μπορούμε να υποθέσουμε ότι σε μετωπικούς κυματισμούς το πλοίο εμφανίζει την μέγιστη πρόσθετη αντίσταση. Είναι γνωστό ότι ένα κινούμενο πλοίο παράγει κυματισμούς που οφείλονται στην κίνησή του στο ήρεμο νερό καθώς και στην κίνησή του λόγω των κυματισμών. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι η ενέργεια που χρειάζεται ένα πλοίο να κινηθεί σε κυματισμούς είναι μεγαλύτερη από την αντίσταση σε ήρεμο νερό. Για την διερεύνηση αυτού του φαινομένου, ρυμουλκούμε πρότυπα μοντέλα πλοίων με σταθερή ταχύτητα, σε καταστάσεις θάλασσας αντίστοιχων χαρακτηριστικών με την πραγματική θάλασσα. Η διαφορά της μετρούμενης αντίστασης με την αντίσταση σε ήρεμο νερό, ορίζεται ως πρόσθετη αντίσταση σε κυματισμούς.



Σχήμα 1.4: Δυναμόμετρο R-47 τοποθετημένο στο μοντέλο 116/96

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

Η μετρούμενη αντίσταση, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$R_{aw} = R_w - R_{sw}$$

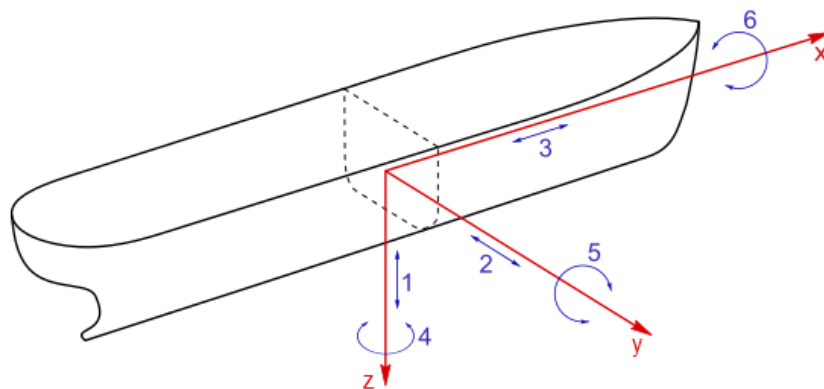
Όπου, R_w , είναι η αντίσταση σε κυματισμούς R_{sw} , είναι η αντίσταση σε ήρεμο νερό και R_{aw} , είναι η πρόσθετη αντίσταση

1.5 Κινήσεις Πλοίου

Το φαινόμενο της δυναμικής συμπεριφοράς πλοίου σε τυχαίους κυματισμούς είναι αρκετά σύνθετο και πολύπλοκο. Και αυτό διότι όντας ελεύθερο στο νερό, έχει έξι βαθμούς ελευθερίας. Αυτοί είναι μεν ανεξάρτητοι μεταξύ τους, αλλά στην πραγματικότητα η μία κίνηση επηρεάζει κάποια άλλη λόγω της δεδομένης κατάστασης θάλασσας. Συνέπεια είναι ταυτόχρονα να κάνει πολλές κινήσεις μαζί, το οποίο δυσκολεύει την παρατήρηση.

Οι έξι βαθμοί ελευθερίας του πλοίου (που είναι οι κινήσεις του) περιγράφονται παρακάτω:

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



Σχήμα 1.5: Βαθμοί ελευθερίας πλοίου

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 αστάθειας, κακή πηδαλιουχία, διαβροχή καταστρώματος κ.α.) που με τη σειρά τους επηρεάζουν την άνεση των επιβατών.

Πιο αναλυτικά και στην περίπτωση ταχύπλων σκαφών η Κατακόρυφη Κίνηση (Heave) και ο Προνευτασμός (Pitch) παίρνουν τις μεγαλύτερες τιμές τους στις ταχύτητες όπου οι ολισθήατοι συμπεριφέρονται σαν γάστρες εκτοπίσματος και η περίοδος συνάντησης του κύματος συμπίπτει με τη φυσική περίοδο σε κατακόρυφη κίνηση και/ή προνευτασμό, οπότε το σκάφος τείνει να ακολουθήσει το περίγραμμα του κύματος. Αντιθέτως, στις ταχύτητες ολίσθησης, όταν το σκάφος κινείται πάνω στις κορυφές του κύματος, οι κινήσεις είναι κατά προσέγγιση σταθερές με την ταχύτητα και, κατά το μάλλον ή ήττον, οι μισές σε μέγεθος από τις αντίστοιχες όταν το σκάφος πλέει σε ταχύτητες όπου κυριαρχεί το εκτόπισμα. Σ' αυτή την περίπτωση, οι κινήσεις φαίνεται ότι γίνονται μέγιστες όταν τα μήκη κύματος είναι διπλάσια ή τριπλάσια του μήκους του σκάφους, 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.

Στην περίπτωση των δυναμικών αποκρίσεων υπάρχουν κάποια γενικά κριτήρια εφαρμογής τα οποία έχουν προσδιοριστεί με βάση τις πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί από μετρήσεις σε φυσική κλίμακα και έχουν εμπλουτιστεί με τα αποτελέσματα διεξαγωγής πειραμάτων σε πρότυπα. Τετοια κριτήρια είναι κατά NORDIC για την δικιά μας περίπτωση τα εξής:

	Εμπορικά Πλοία	Πολεμικά Πλοία	Μικρά Ταχύπλοα
Κατακόρυφη επιτάχυνση στην πλώρη (rms)	0.275g	0.275g	0.65g
Κατακόρυφη επιτάχυνση στη γέφυρα (rms)	0.15g	0.2g	0.275g
Εγκάρσια επιτάχυνση στη γέφυρα (rms)	0.12g	0.1g	0.1g

Η κατακόρυφη επιτάχυνση στην πρωράα κάθετο χρησιμοποιείται ως κριτήριο για την σύγκριση μεταξύ εναλλακτικών σχεδιάσεων ή ακόμα ως κριτήριο για την 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 διαβροχή του καταστρώματος ή η σφυρόχρουση στον πυθμένα της πλώρης μπορεί να λαμβάνουν κρίσιμες τιμές. Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται οι τιμές της κατακόρυφης επιτάχυνσης που χρησιμοποιούνται ως κριτήρια λειτουργησιμότητας για τα εμπορικά σκάφη ως συνάρτηση του μήκους μεταξύ καθέτων. Το κριτήριο για την κατακόρυφη επιτάχυνση στη γέφυρα σχετίζεται με τις βασικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα εκεί, όπως πηδαλιουχία, παρατήρηση και πλοήγηση.

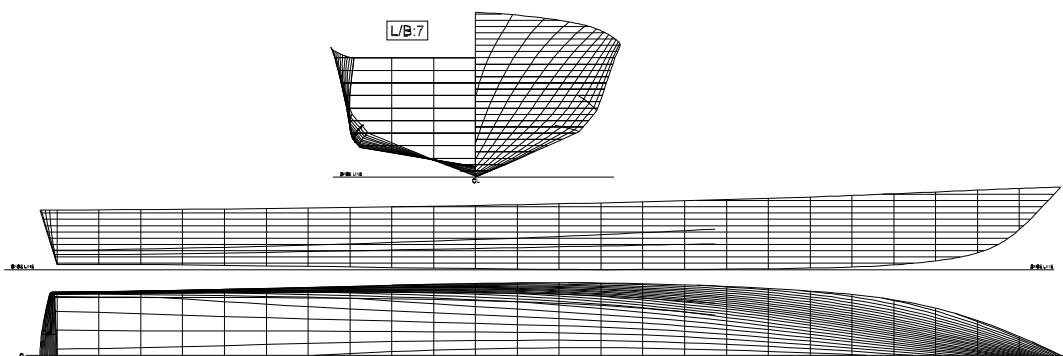
1.6 Συστηματική Σειρά NTUA

Η σειρά εμπνεύστηκε έπειτα από πρόταση του Savitsky κ.α.(1972), ώστε να δώσει μια εύχρηστη βάση για τον σχεδιασμό μέσων και μεγάλων πλοίων ημιεκτοπίσματος. Χαρακτηριστικά της σειράς είναι η διπλή ακμή με μεγάλο καθρέπτη, στρεβλή επιφάνεια ολίσθησης και μεγάλη γωνία ανύψωσης πυθμένα.

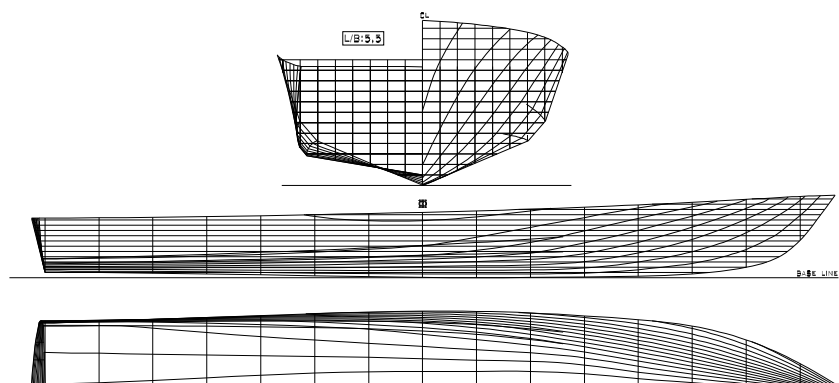
Η απόφαση και επιλογή της σειράς έγινε έπειτα από εξέταση διαφόρων τύπων γαστρών όπου και τελικά κρίθηκε συνολικά να παρουσιάζει τα πιο αξιόλογα αποτελέσματα και θεωρήθηκε ως η σημαντικότερη για την δημιουργία της αυτής βάσης δεδομένων.

Η σειρά απαρτίζεται από πέντε συνολικά τύπους γαστρών με L/B 4.00, 4.75, 5.5, 6.25 & 7, με πατρικό σκάφος το $L/B = 5.5$ από το οποίο και προέκυψαν τα υπόλοιπα, κρατώντας σταθερό το πλάτος B . Ο κάθε τύπος θα μελετηθεί σε έξι διαφορετικά

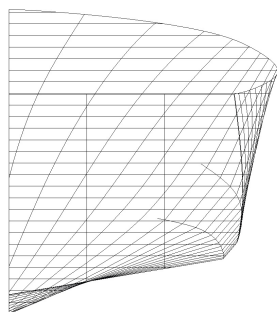
$C_{DL} = \frac{\nabla}{(0.1L_{WL})^3}$, τα οποία και προσδιορίζουν ουσιαστικά την κατάσταση φόρτωσης αντίστοιχα. Η μελέτη αντίστασης αυτών έχει ολοκληρωθεί, ενώ η πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς σε αρμονικούς και τυχαίους κυματισμούς είναι υπό εξέλιξη, κάτι που αποτελεί και αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας. Τα πρότυπα που κατασκευάστηκαν αποτελούνται περαιτέρω από μικρής και μεγάλης κλίμακας ($big = \frac{5}{3} \cdot small$) για κάθε λόγο L/B , για να είναι εφικτό να ικανοποιηθούν όλες οι δεδομένες καταστάσεις φόρτωσης χωρίς να παρουσιάζουν προβλήματα κατά την πειραματική διαδικασία. Επίσης έχουν σχεδιαστεί κατά τους κανόνες της ITCC (International Towing Tank Conference) με μήκος μεγαλύτερο των 2m



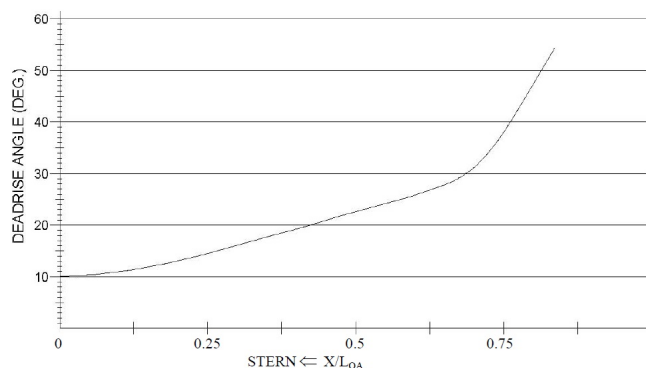
Σχήμα 1.6: Σχέδιο Γραμμών γάστρας $L/B = 7$ της συστηματικής σειράς ΕΜΠ [Το bodyplan είναι μεγενθυμένο με συντελεστή δύο]



Σχήμα 1.7: Σχέδιο Γραμμών του πατρικού σκάφους $L/B = 5.5$ της συστηματικής σειράς ΕΜΠ [bodyplan x 2]



Σχήμα 1.8: Bodyplan σειράς προτύπων ΝΤΥΑ. Φαίνονται καθαρά τα δυο chines



Σχήμα 1.9: Deadrise Angle συναρτήσεως του λόγου μήκους θέσης γωνίας προς το ολικό μήκος x/L_{OA}

Το πατρικό σκάφος, όπως φαίνεται και στο (σχήμα 1.7), έχει δύο ακμές που εκτείνονται από τον καθρέπτη έως περίπου το 70% του μήκους στην πλώρη. Η γάστρα έχει πλατύ καθρέπτη και κοίλες πλευρές στην περιοχή της πλώρης καθώς και μεταβλητή γωνία ανύψωσης πυθμένα η οποία ξεκινάει από 10° στον καθρέπτη και φτάνει έως και 70° στην πλώρη, (σχήμα 1.9). Τα μέλη της σειράς προέκυψαν από το πατρικό κρατώντας την ίδια μορφή στη μέση τομή και μετατρέποντας κατάλληλα τα υπόλοιπα μεγέθη. Η σειρά είναι κατάλληλη για την προκαταρκτική σχεδίαση μονόγαστρων σκαφών σε κατάσταση «προ-ολίσθησης» που λειτουργούν σαν εμπορικά (επιβατηγά, ΕΓ/ΟΓ, κρουαζιερόπλοια και πλοία αναψυχής) ή πολεμικά και λειτουργούν σε μεγάλες ταχύτητες σχεδίασης

Άλλες συστηματικές σειρές σκαφών είναι:

1. Η συστηματική σειρά NPL (National Physical Laboratory) (ημι-εκτοπίσματος)
2. Η συστηματική σειρά 63 Clement & Blount (ημι-εκτοπίσματος)
3. Η συστηματική σειρά SSPA (ημι-εκτοπίσματος)
4. Η συστηματική σειρά 62 (απλή ακμή)
5. Η σειρά Keuning & Gerritsma (Deep V) (απλή ακμή)
6. Διπλής ακμής και πλατύ καθρέπτη κατά Savitsky et all
7. Παραλλαγή της προηγούμενης με στρογγυλό πυθμένα και πλατύ καθρέπτη, Grigoropoulos & Loukakis
8. Διπλής ακμής, βασισμένη στη σειρά 62, Grigoropoulos & Loukakis

Οι σειρές 4-8 είναι αυτές που συγκρίθηκαν από τους Grigoropoulos - Loukakis για να αποφανθεί η δημιουργία της σειράς NTUA με και χωρίς αντιδιαβροχικές λωρίδες, με τα ποτελέσματα ήταν επιτυχεί, με ο πρότυπο με διπλή ακμή και πλατύ καθρέπτη, παρουσιάζει καλύτερα χαρακτηριστικά αντίστασης πριν την περιοχή ολίσθησης με τις αντιδιαβροχικές λωρίδες να μην είναι απαραίτητες.

Παρακάτω στον (Πίνακα 1) παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των προτύπων της σειράς Διπλής Ακμής του ΕΜΠ

Πίνακας 1: Τα χαρακτηριστικά των προτύπων της Συστηματικής Σειράς Ε.Μ.Π.

L/B	4.00-big (163/01) 3.820 m	4.00-small (113/95) 2.292 m	4.75-big (150/99A) 3.820 m	4.75-small (154/99) 2.292 m	5.50-big (118/96) 3.820 m	5.50-small (097/94) 2.292 m	6.25-big (164/01) 4.3417	6.25-small (146/98) 2.605 m	7.00-big (166/01) 4.8617	7.00-small (116/96) 2.917 m
L _{OA}	3.392 1.323		3.415 1.348		3.430 1.365		3.968 1.718		4.457 2.083	
C _{BL}	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	
1.61	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
	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
2.23	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
	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
3.00	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
	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
4.23		2.123 0.903		2.150 0.859		2.175 0.834		2.509 1.074		2.834 1.355
		40.462		42.039		43.530		66.752		96.134
		-0.305 0.096		-0.294 0.100		-0.280 0.106		-0.297 0.129		-0.309 0.152

Σημείωση:

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

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

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

Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί περιέχονται τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά των προτύπων N.T.U.A - 116/96 με λόγο L/B=7.00 και 097/94 με λόγο L/B=5.50 αντίστοιχα:

NTUA 116 / 96, L/B = 7.0		NTUA 097 / 94, L/B = 5.5
$L_{OA}=2.917$ m	ΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	$L_{OA}=2.292$ m
$B_{OA}=0.416$ m	ΜΗΚΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΘΕΤΩΝ Ή ΟΛΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	$L_{BP}=2.154$ m
$L_{P2}=1.884$ m	ΜΗΚΟΣ ΑΝΩ ΑΚΜΗΣ	$L_{P2}=1.48$ m
$L_{P1}=1.884$ m	ΜΗΚΟΣ ΚΑΤΩ ΑΚΜΗΣ	$L_{P1}=1.48$ m
$B_{P2}=0.354$ m	ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΑΝΩ ΑΚΜΗΣ	$B_{P2}=0.360$ m (section 5)
$B_{P1}=0.322$ m	ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΚΑΤΩ ΑΚΜΗΣ	$B_{P1}=0.322$ m (section 2)
$b_0 = 9.5^\circ$ (section 0)	ΑΝΥΨΩΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΡΥΜΝΗ	$b_0 = 9.5^\circ$ (section 0)
$B_7 = 23^\circ$ (section 7)	ΑΝΥΨΩΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΟ ΜΕΣΟΝ	$B_7 = 23^\circ$ (section 7)

Πίνακας 2

Στον (Πίνακα 3) που ακολουθεί ενφαινόνται όλες οι καταστάσεις θάλασσας (seastates) κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα σε κάθε μοντέλο, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους.

SEASTATES for L/B = 5.5 (small)

Cdl=	4,23	Scale=	50	Lship=	108,75	Lmodel=	2,175
Tp'	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Tpship	6,66	8,32	9,99	11,65	13,32	14,98	16,65
Tpmodel	0,942	1,177	1,413	1,648	1,883	2,119	2,354
Fmodel(Hz)	1,062	0,850	0,708	0,607	0,531	0,472	0,425
Hsmodel(m)	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,16
file	h8tp2.s50	h9tp25.s50	h10tp3.s50	h11tp35.s50	h12tp4.s50	h14tp45.s50	h16tp5.s50
S.F. 0.34	1,27	1,22	1,0	1,04	1,05	1,0	1,0
S.F. 0.68	1,27	1,22	1,0	1,04	1,0	1,0	1,0

SEASTATES for L/B = 7.0 (small)

Cdl=	4,23	Scale=	50	Lship=	141,7	Lmodel=	2,834
Tp'	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Tpship	7,60	9,50	11,40	13,30	15,20	17,10	19,00
Tpmodel	1,075	1,344	1,612	1,881	2,150	2,419	2,687
Fmodel(Hz)	0,930	0,744	0,620	0,532	0,465	0,413	0,372
Hsmodel(m)	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,16
file 034	h8tp2.s50	h9tp25.7.s50	h10tp3.7.s50	h11tp35.7.s50	h12tp4.7.s50	h14tp45.7.s50	x
file 068	h8tb2b	h9tb25b	h10tb3b	h11tb35b	h12tp4.7.s50	h14tb45b	x
S.F. 0.38	1,23	1,12	1,12	1,09	1,0	1,0	1,0
S.F. 0.76	1,0	1,0	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0

Πίνακας 3

Όπως φαίνεται παραπάνω η κλίμακα κατασκευής των προτύπων είναι 1/50. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι πολλά μεγέθη δεν ακολουθούν την γραμμικότητα της κλίμακας για την μεταφορά των αποτελεσμάτων στο πλοίο. Έτσι παρατίθενται όλες οι σχέσεις αναλογίας μεταξύ προτύπου και πλοίου.

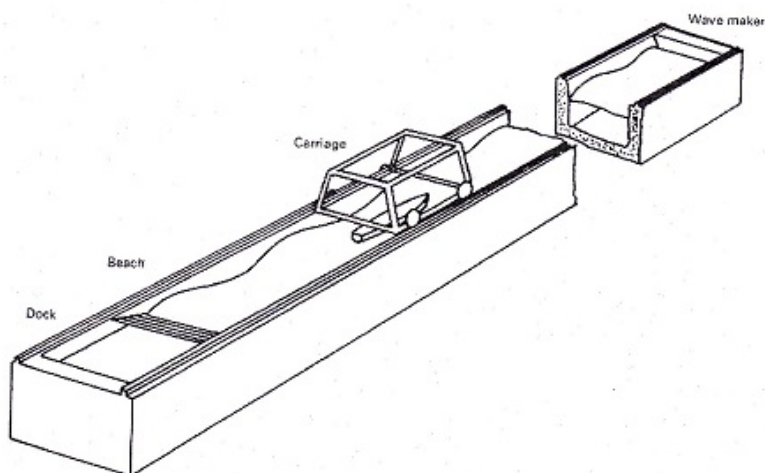
Κλίμακα	$\frac{L_s}{L_m} = \gamma$
Εκτόπισμα πλοίου	$\frac{\Delta_s}{\Delta_m} = \gamma^3 \cdot 1.025$
Διαστάσεις πλοίου, Heave, μήκος κύματος λ	$\frac{B_s}{B_m} = \frac{Heave_s}{Heave_m} = \frac{\lambda_s}{\lambda_m} = \gamma$
Περίοδος κύματος - αποκρίσεων	$\frac{T_s}{T_m} = \sqrt{\gamma}$
Ταχύτητα πλεύσης	$\frac{V_s}{V_m} = \sqrt{\gamma}$
Κατακόρυφες επιταχύνσεις πλώρας, κεντρου βάρους και πρύμνης	$\gamma = 1$
Συχνότητα κύματος συνάντησης	$\frac{f_s}{f_m} = \frac{1}{\sqrt{\gamma}}$
Πρόσθετη Αντίσταση	$\frac{R_{AWs}}{R_{AWm}} = \gamma^3 \cdot 1.025$
Froude Number	$\frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} = \frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}}$

Κεφάλαιο 2

Πειραματική διαδικασία - Προετοιμασία μοντέλου

2.1 Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός - Πειραματική διάταξη

Τα πειράματα εκτελέστηκαν στην πειραματική δεξαμενή του Ε.Ν.Θ.Υ. του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου η οποία έχει ολικό μήκος 91m και πλάτος 4.55 m και βάθους 3m , όπου στο τέλος έχει τοποθετημένη την γεννήτρια κυμάτων(μπορεί να δημιουργήσει, πέρα από τυχαίους κυματισμούς, κανονικούς αρμονικούς κυματισμούς με μήκη από 0.5 m έως και 13 m, μέγιστο πλάτος κύματος 35cm και συχνότητες από 0.3 Hz έως 1.4 Hz, και στην αρχή των αποσβεστήρα αυτών.



Σχήμα 2.1: Πειραματική δεξαμενή

Το μοντέλο τοποθετείται στο δυναμόμετρο $R - 47$, το οποίο και είναι πακτωμένο πάνω στο φορείο, όπου και εδράζεται όλος ο ηλεκτρονικός - ηλεκτρολογικός εξοπλισμός. Διαθέτει 3 άξονες ελευθερίας (κίνηση κατά το διάμηκες, κίνηση κατά το κατακόρυφο και περιστροφή περί τον κατακόρυφο άξονα) και χρησιμοποιήθηκε για τα εν λόγω πειράματα. Αποτελείται από τρία μέρη- ένα μόνιμα σταθερό, ένα εν δυνάμει σταθερό που

κατά τη διάρκεια των πειραμάτων παραμένει σταθερό και ένα κινούμενο μέρος. Διαθέτει τρεις αισθητήρες οι οποίοι μετράνε τα μεγέθη της αντίστασης R , της γωνίας διαγωγιμότητας (pitch) και της ανύψωσης ή βύθισης (heave). Η μέτρηση της αντίστασης πραγματοποιείται μέσω μιας γέφυρας Wheatstone, η οποία αποτελείται από τέσσερα strain gages που συνδέονται με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν κύκλωμα. Το σταθερό κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μέρος του δυναμόμετρου μπορεί να εκτελεί απειροστά μικρές κινήσεις ως προς το μόνιμο σταθερό μέρος του δυναμόμετρου κατά το διαμήκη άξονα της δεξαμενής που οφείλονται στην αντίσταση που συναντά το μοντέλο κατά τη κίνηση του στο νερό. Οι μικρές αυτές κινήσεις μεταφέρονται στον αισθητήρα και με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η μέτρηση της αντίστασης. Η μέτρηση της ανύψωσης του κέντρου πρόσδεσης του σώματος πραγματοποιείται με τη χρήση ενός αισθητήρα (γραμμικού ποτενσιόμετρου), το οποίο είναι ένα αναλογικό ηλεκτρονικό εξάρτημα που χρησιμεύει στα κυκλώματα ως μεταβλητή αντίσταση. Συγκεκριμένα, το ποτενσιόμετρο λαμβάνοντας την σχετική κατακόρυφη κίνηση μεταξύ του κινούμενου μέρους του δυναμόμετρου και του σταθερού στα πειράματα μέρους του δυναμόμετρου μεταβάλλει την αντίσταση του με αποτέλεσμα και τη μεταβολή του διαρρέοντος σε αυτό ρεύματος. Η μεταβολή του ρεύματος στη συνέχεια μεταφράζεται σε μεταβολή τάσης και είναι αυτή που μετρά ο ενισχυτής. Σημειώνεται επίσης πως το εύρος της μετρούμενης τάσης κυμαίνεται από 0 έως 10 V. Το πόδι του δυναμομέτρου προσδένεται σε μία αλουμινένια πλάκα που έχει τοποθετηθεί στο μοντέλο, στο μέσο του πλάτους κατά το εγκάρσιο (CL) και στην θέση του διαμήκους κέντρου άντωσης (LCB) κατά το διάμηκες. Η τελευταία αυτή θέση επιλέχθηκε καθώς βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφη ευθεία με το κέντρο βάρους του πλοίου (LCG), όσο και γιατί, για συνήθεις μορφές πλοίων, βρίσκεται κοντά στο κέντρο πλευστότητας, γύρω από το οποίο γίνονται οι περιστροφές, σύμφωνα με την θεωρία μικρών μεταβολών.



Σχήμα 2.2: Δυναμόμετρο R-47 τοποθετημένο στο μοντέλο 116/96



Σχήμα 2.3: Το δυναμόμετρο R-47 εδρασημένο στο φορείο που κινεί το μοντέλο

Το φορείο είναι αναπόσπαστο κομμάτι της πειραματικής δεξαμενής και φέρει το μετρητικό εξοπλισμό, όπως τα δυναμόμετρα πάνω στα οποία δένονται τα πρότυπα και τους Η/Υ που ψηφιοποιούν τα αποτελέσματα των μετρητικών οργάνων. Το βάρος του φορείου είναι 5.5 τόνοι και κινείται πάνω σε σιδηροτροχιές κατά μήκος της δεξαμενής με ταχύτητα έως και 5.5 m/s. Η ταχύτητά του μετρείται με έναν αισθητήρα φωτεινών παλμών, οι οποίοι δημιουργούνται από ένα ειδικό σύστημα που φωτίζει ένα βαθμονομημένο τροχό σε

επαφή με τις σιδηροτροχιές. Η ακρίβεια μέτρησης της ταχύτητας είναι της τάξεως του 0.1 mm/s. Τέλος, στο πίσω μέρος του φορείου ακολουθεί ένας μηχανισμός βίαιης απόσβεσης υψηλών κυματισμών που δημιουργεί το πρότυπο (σιδερώστρα). Η απόσβεση επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση της σιδερώστρας εφαπτομενικά της επιφάνειας του νερού κατά την επιστροφή του φορείου στη θέση εκκίνησης, μειώνοντας τον χρόνο αναμονής για την διεξαγωγή του επόμενου πειράματος.



Σχήμα 2.4: Γεννήτρια Κυμάτων-Κυματιστήρας



Σχήμα 2.5: Φορείο μεταφοράς των προτύπων στην δεξαμενή

Στο κατάστρωμα του μοντέλου και με οριζόντια διεύθυνση πακτώνονται τρία όργανα μέτρησης επιτάχυνσης, με εύρος από 0-10 g και για πεδίο μέτρησης από 0.1 -100 Hz. Πιο αναλυτικά τα επιταχυνσιόμετρα τοποθετούνται στη μέση (MID), την πλώρη (BOW) και την πρύμνη (AFT) του μοντέλου για την καταγραφή των καθέτων επιταχύνσεων. Αν και η μέγιστη συχνότητα δειγματοληψίας του οργάνου είναι τα 100 Hz, μετά από ανάλυση του σήματος, κρίθηκε ότι η δειγματοληψία 20 Hz είναι επαρκής λόγω μη ύπαρξης χροστικών φαινομένων. Μάλιστα εκτελέστηκαν και κάποια πειράματα σε 300 καθώς και σε 333 Hz

Η μέτρηση του ύψους κύματος πραγματοποιήθηκε με την χρήση μετρητικών ύψους κύματος (wave probes) που αποτελούν μία από τις βασικές μετρητικές διατάξεις με τα οποία διεξάγονται πειράματα καταγραφής της ελεύθερης επιφάνειας και δυναμικής συμπεριφοράς των κυμάτων που παράγονται από τον κυματιστήρα (seakeeping). Το καθένα από αυτά αποτελείται από δύο παράλληλα τοποθετημένα λεπτά σύρματα κάθετα στην επιφάνεια του νερού με μήκος 40 cm. Τα σύρματα ενώνονται στο άνω άκρο τους μέσω ενός κυκλώματος ενώ στο κάτω άκρο τους υπάρχει ασυνέχεια. Το κύκλωμα κλείνει μέσω της επιφάνειας του νερού. Βυθίζοντας το όργανο μεταβάλλεται το ποσοστό του βρεχόμενου σύρματος και του σύρματος που είναι πάνω από την επιφάνεια του νερού. Μεταβάλλεται έτσι η ολική αντίσταση του κυκλώματος και κατ' επέκταση η μετρούμενη τάση, η οποία μέσω κατάλληλης βαθμονόμησης μεταφράζεται σε ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας.

Τα Wave probes είναι τοποθετημένα στο τοιχίο της δεξαμενής σε μικρή απόσταση από τον κυματιστήρα για τη μέτρηση του παραγόμενου κύματος και λειτουργούν και ως επαλήθευση θεωρητικού (input) και πραγματικά παραγόμενου κύματος (output). Σε αυτά τα πειράματα έγινε και μια πρώτη απόπειρα μέτρησης του ύψους κύματος που

συναντά το μοντέλο με ένα καινούργιο μετρητικό όργανο υπερήχων. Αυτό βαθμονομείται ως προς το μηδέν το οποίο μεταφράζεται σε ήρεμο νερό και μετρά ουσιαστικά τον χρόνο που κάνει ο υπέρηχος να επιστρέψει στην συσκευή. Λόγω όμως ανακλάσεων και μη χρήσης κάποιου φίλτρου δεν ήταν δυνατή η χρήση των μετρήσεων γιατί εμφάνιζαν τοπικά κάποιες τιμές εκτός φάσματος με συνέπεια να μην μπορεί να αναλυθεί αφού η χρονική ιστορία δεν ήταν σωστή.

Περαιτέρω βαθμονομούνται καθημερινά τα όργανα που βρίσκονται στο δυναμόμετρο $R - 47$, δηλαδή ο αισθητήρας PITCH (Διαγωγής), και RESISTANSE (Αντίστασης), ενώ ο αισθητήρας του HEAVE(Ανύψωσης) παρατηρήθηκε ότι δεν έχει μεταβολές οπότε και βαθμονομείται κάθε φορά πριν από την έναρξη ενός (SET) μετρήσεων. Να σημειωθεί ότι όλοι οι αισθητήρες είναι γραμμικοί, με συνάρτηση μεταφοράς πολυώνυμο 1ου βαθμού.

2.2 Βαθμονόμηση Οργάνων

Για τη σωστή λήψη των πειραματικών μετρήσεων είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση των μετρητικών αισθητήρων και οργάνων της πειραματικής διάταξης. Σε γενικές γραμμές, οι φυσικές μεταβολές κάθε μετρούμενου μεγέθους που λαμβάνουν χώρα κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων γίνονται αντιληπτές από το αντίστοιχο όργανο ως μεταβολές ρεύματος που στη συνέχεια μεταφράζονται σε διαφορά τάσης και μετριοούνται σε Volt. Οι μετρούμενες αυτές τάσεις σε Volt για να βρουν αντιστοιχία στις πραγματικές μονάδες στο σύστημα S.I που εκφράζουν χρειάζονται μια συνάρτηση μεταφοράς, δηλαδή μια συνάρτηση όπου εισάγοντας ως ανεξάρτητη μεταβλητή τα Volt που λαμβάνονται από τον αισθητήρα του εκάστοτε οργάνου θα προκύπτει ως εξαρτημένη μεταβλητή το μετρούμενο μέγεθος σε πραγματικές φυσικές μονάδες στο σύστημα S.I. Οι συναρτήσεις μεταφοράς είναι γραμμικές συναρτήσεις της μορφής $y = a \cdot x + b$ και προκύπτουν από τις βαθμονομήσεις των αισθητήρων, όπου αυτοί μετρώντας πρότυπα φυσικά μεγέθη δίνουν αποτελέσματα σε Volt και μέσω αυτών των ζευγών τιμών προκύπτουν οι αντίστοιχες συναρτήσεις.

Μετά τον προσδιορισμό των εξισώσεων μεταφοράς, πριν την πραγματοποίηση κάθε ομάδας τρεξιμάτων του μοντέλου στην δεξαμενή, λαμβανόταν μια μηδενική μέτρηση σε πλήρη κατάσταση ηρεμίας, ώστε να ληφθούν οι αποκρίσεις των αισθητήρων των οργάνων στην κατάσταση αυτή και στη συνέχεια εισάγονταν οι τιμές των Volt που λαμβάνονταν από τους αισθητήρες στις κατάλληλες εξισώσεις μεταφοράς ώστε να καταγραφούν οι μηδενικές φυσικές τιμές των μετρούμενων μεγεθών. Είναι αναγκαίος ο συνεχής έλεγχος των οργάνων για τη διασφάλιση της γραμμικότητας των μετρούμενων τιμών.

- Βαθμονόμηση wave probes

Η βαθμονόμηση του wave probe πραγματοποιούταν καθημερινά πριν την έναρξη των πειραμάτων και ενώ το νερό της πειραματικής δεξαμενής ήταν ήρεμο. Για τα wave probe της δεξαμενής υπάρχει ένας αποστάτης ο οποίος έχει οπές σε σταθερή απόσταση 2 εκατοστών που επιτρέπουν την σταδιακή κατακόρυφη μετατόπιση του αισθητήρα σε συγκεκριμένα βυθίσματα,. Από τις διαδοχικές αυτές μετακινήσεις, λαμβάνονταν μετρήσεις προκειμένου να κατασκευαστεί η συνάρτηση μεταφοράς, το αποτέλεσμα της οποίας ήταν γραμμικό. Αντίστοιχα βαθμονομήθηκαν και τα προσαρτημένα στο μοντέλο wave probe, με τη διαφορά ότι η κατακόρυφη μετατόπιση τους γινόταν με βύθιση και ανύψωση όλης της πρότυπης κατασκευής χειροκίνητα και

προσεγγιστικά. Συγκεκριμένα το δυναμόμετρο, με αρχική μηδενική θέση αναφοράς αυτή στην οποία αντιστοιχούσε το επιθυμητό βύθισμα του μοντέλου, μετακινούταν κατακόρυφα (βύθιση και ανύψωση) και σταθεροποιούνταν στις επιμέρους θέσεις όπου και λαμβάνονταν μετρήσεις για την κατασκευή των συναρτήσεων μεταφοράς. Πρέπει να σημειωθεί ότι λίγο μετά την έναρξη των πειραμάτων, το Wave Probe του φορείου υπέστη βλάβη και δεν χρησιμοποιήθηκε τελικά στα πειράματα

- Βαθμονόμηση του οργάνου της αντίστασης (resistance)

Η βαθμονόμηση των αισθητήρων resistance πραγματοποιήθηκε μια φορά για το δυναμόμετρο, πριν την έναρξη των αντίστοιχων πειραμάτων. Η ορθή διαδικασία βαθμονόμησης πραγματοποιείται με το πρότυπο μοντέλο δεμένο στο δυναμόμετρο. Η διαδικασία βαθμονόμησης εκτός δεξαμενής δεν επηρεάζει τη συνάρτηση μεταφοράς, απλώς μας δίνει μια διαφορετική αρχική μηδενική τιμή. Στην περίπτωση του ελεύθερου δυναμόμετρου η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε με το μοντέλο δεμένο στο πόδι του δυναμόμετρου.

- Βαθμονόμηση του οργάνου της κατακόρυφης μετατόπισης (heave)

Η βαθμονόμηση του αισθητήρα heave πραγματοποιήθηκε πριν την έναρξη κάθε διεξαγωγής ενός set μετρήσεων πειραμάτων. Η βαθμονόμηση του αισθητήρα heave βασίζεται στην ορισμένη κίνηση του ελεύθερου μέρους του οργάνου R47. Κατά αυτόν τον τρόπο μεταβάλλεται η αντίσταση του αισθητήρα heave με συνέπεια και τη μεταβολή της μετρούμενης τάσης. Για να επιτευχθεί αυτό, είτε θα έπρεπε να αυξομειώνεται η στάθμη του νερού της δεξαμενής είτε θα έπρεπε να ανυψώνονταν και να βυθιζόταν το μοντέλο μέσα στο νερό. Επειδή καμιά από τις δύο μεθόδους δεν είναι εφικτή, για τη βαθμονόμηση του heave το εν δυνάμει σταθερό μέρος του δυναμόμετρου μετατοπιζόταν κατά τον κατακόρυφο άξονα προκαλώντας διαφορετικές σχετικές μετατοπίσεις μεταξύ αυτού και του κινητού μέρους του δυναμόμετρου. Η κατακόρυφη κίνηση του εν δυνάμει σταθερού μέρους του δυναμόμετρου πραγματοποιούνταν μέσω ενός κοχλία ευρισκόμενου στο πάνω μέρος, ενώ η ακριβής κατακόρυφη μετατόπισή του ήταν δυνατό να προσδιοριστεί μέσω ενός μεταλλικού χάρακα που ήταν πακτωμένος κατακόρυφα σε κατάλληλο σημείο στο σταθερό μέρος του δυναμόμετρου.

2.3 Συναρτήσεις Μεταφοράς

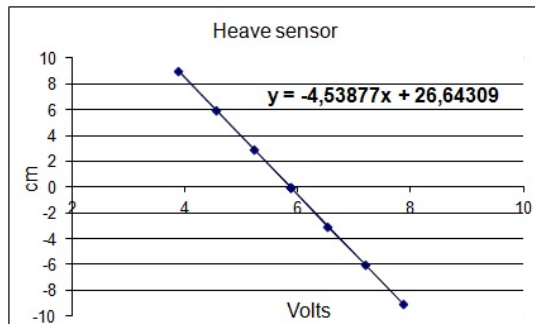
Στο φορείο υπάρχουν μετρητικά συστήματα, τα οποία κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, λαμβάνουν μετρήσεις για διάφορα μεγέθη, όπως της αντίστασης ρυμούλκησης (resistance), της γωνίας διαγωγής (pitch) και της ανύψωσης (heave) του προτύπου. Οι μετρήσεις αυτές οι οποίες είναι σε Volts ανάγονται στις φυσικές μονάδες μέτρησης των μετρούμενων μεγεθών που είναι σε kg, μίρες και cm αντίστοιχα, με την βοήθεια μια συνάρτησης μεταφοράς, η οποία προκύπτει από τη διαδικασία της βαθμονόμησης και προηγείται του πειράματος. Κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης, από γνωστά ζεύγη τιμών (x,y), όπου x οι μετρήσεις σε Volts των γνωστών y φυσικών μεγεθών, προκύπτουν οι τρεις συναρτήσεις μεταφοράς που είναι γραμμικές, δηλαδή της μορφής:

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

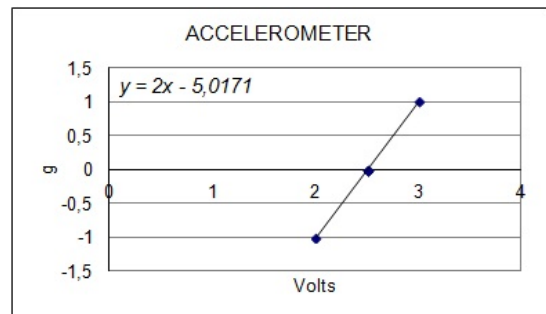
Κατά τη διάρκεια της κύριας πειραματικής διαδικασίας, πριν από κάθε ρυμούλκηση, λαμβάνεται μηδενική μέτρηση x_0 σε κατάσταση ακινησίας για κάθε μετρούμενο μέγεθος. Κατά τη ρυμούλκηση μετράται τιμή x_1 , οπότε το ζητούμενο φυσικό μέγεθος προκύπτει από:

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

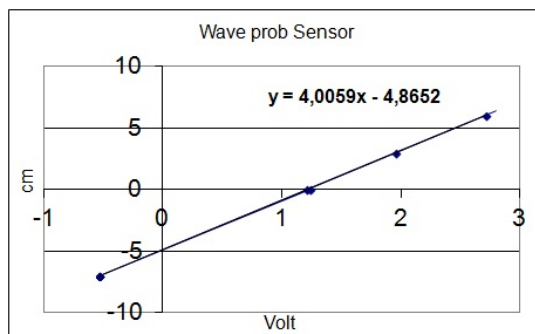
Η εξαγωγή και χρήση της συνάρτησης μεταφοράς για τον υπολογισμό της τελικής τιμής της μέτρησης γίνεται αφενός για να ληφθούν υπόψη διαταραχές που επηρεάζουν το σύστημα μέτρησης - όπως η συχνότητα και η τάση του δικτύου τροφοδοσίας ρεύματος, η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας των οργάνων κλπ. - και αφετέρου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



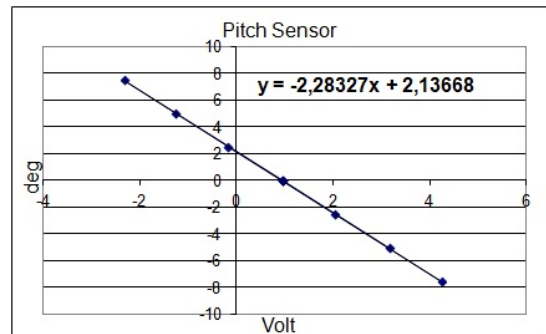
Σχήμα 2.6: Βαθμονόμηση Heave



Σχήμα 2.7: Βαθμονόμηση Accerelometer



Σχήμα 2.8: Βαθμονόμηση Wave prob



Σχήμα 2.9: Βαθμονόμηση Pitch

2.4 Εκτόπισμα-Ίσαλος

Το εκτόπισμα για την κατάσταση φόρτωσης, των μοντέλων 096/94 και 116/96, $C_{DL} = 4.23$, έχει υπολογιστεί ίσο με $\Delta = 43.530kg$ και $\Delta = 96.134kg$ αντίστοιχα, όπου και

επιτυγχάνεται με τοποθέτηση βαρών μέσα στην γάστρα τους. Στα μοντέλα έχει χαρακτηριστεί εκ των προταίρων η ίσαλος γραμμή που αντιστοιχεί στα παραπάνω βυθίσματα και ελέγχεται στη δεξαμενή, προσθαφαιρώντας βάρη μες στο νερό, έχοντας τοποθετημένο και το δυναμόμετρο που θα χρησιμοποιηθεί για τα πειράγματα ώστε να συνυπολογιστεί και το βάρος του. Η διαγωγή των μοντέλων στην οποία έγινε η μελέτη είναι μηδενική.

2.5 Υπολογισμός Ακτίνας Αδρανείας και Περιόδου Ιδιοταλάντωσης

Το μοντέλο πρέπει να φορτωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί τη σχέση της περιόδου ιδιοταλάντωσης όπως περιγράφεται παρακάτω :

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

T_{θ} : 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-ιμάντων ανάρτησης

a : η ημιαπόσταση μεταξύ στελεχών (γύρω από το κέντρο βάρους)

Σκοπός της διαδικασίας είναι να επιτύχουμε τέτοια κατανομή βαρών ούτως ώστε να έχουμε το επιθυμητό βύθισμα και διαγωγή αλλά και το μοντέλο να έχει την επιθυμητή ιδιοταλάντωση με αυτήν που υπολογίστηκε παραπάνω. Τα πρόσθετα βάρη τοποθετούνταν αρχικά συμμετρικά ως προς το κέντρο βάρους του προτύπου προκειμένου να αποφευχθεί ενδεχόμενη εγκάρσια κλίση του αλλά και για να επιτευχθεί η κατανομή εκείνη η οποία θα αντιστοιχεί σε ακτίνα αδρανείας ίση περίπου με $r_{zz} = 0.25L_W L$. Σε αντίθετη περίπτωση, τα βάρη μετακινούνταν με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθούν οι δύο αυτοί παράμετροι.

Η ροπή αδρανείας είναι γνωστό ότι υπολογίζεται από τον τύπο:

$$I_{ZZ} = r_{ZZ}^2 \cdot \Delta$$

r_{ZZ} : η ακτίνα αδρανείας, η οποία από την ανάλυση της κατανομής βαρών των υπαρχόντων πλοίων έχει προσδιοριστεί ότι είναι περίπου $r_{ZZ} = 0.25 \cdot L_{BP}$

Οπότε και προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Για το μοντέλο NTUA-097/94 : $T_{\theta} = 2.920sec$

όπου :

$$r_{ZZ} = 0.709, l = 4.037m, a = 0.750m, g = 9.81m/sec^2$$

Για το μοντέλο NTUA-116/96 : $T_{\theta} = 3.810sec$

όπου :

$$r_{ZZ} = 0.544, l = 4.026m, a = 0.750m, g = 9.81m/sec^2$$

2.6 Υπολογισμός Αποφόρτισης

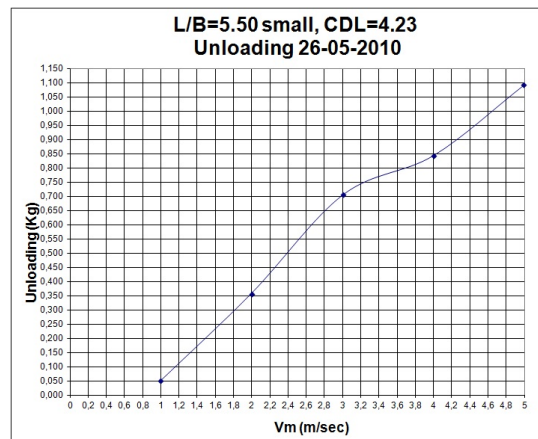
Σε ταχύπλοα σκάφη με συμβατικά συστήματα πρόωσης ο άξονας της έλικας βρίσκεται υπό κλίση. Στη περίπτωση του πειράματός μας δεχόμαστε μια τυπική κλίση της τάξης των $6, 5^{\circ}$ ως προς το βασικό επίπεδο αναφοράς. Λόγω της κλίσης αυτής, η ώση που παρέχεται από την έλικα αποτελείται από δύο συνιστώσες: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

όπου :

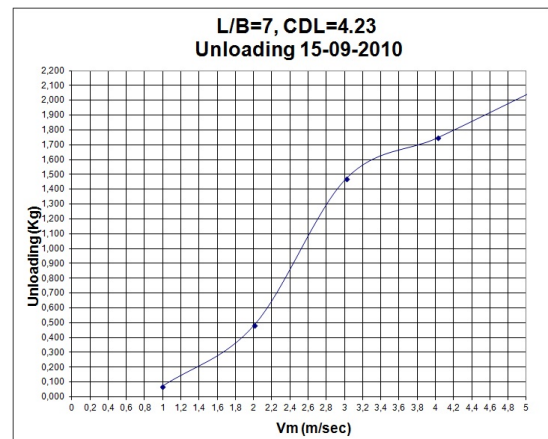
$$T_n = T_H \tan(\tau + 6, 5^{\circ}) = R_t \cdot \tan(\tau + 6, 5^{\circ})$$

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

Για να υπολογίσουμε τις αποφορτίσεις των μοντέλων μας, πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης σε διάφορες ταχύτητες και πήραμε τα παρακάτω διαγράμματα:



Σχήμα 2.10: Καμπύλη αποφόρτισης για το πρότυπο $L/B = 5.5$



Σχήμα 2.11: Καμπύλη αποφόρτισης για το πρότυπο $L/B = 7$

Με γραμμική παρεμβολή βρίσκουμε τις τιμές αντίστασης διαγωγής και για τις δυο ταχύτητες του πειράματός μας :

a/a	Ταχύτητα Προτύ- που Vm [m/s]	Αντίσταση [Kp]	RT	Δυναμική Διαγω- γή τ [deg]	Αποφόρτιση [kgf]
097/94	1,57	1.453		-0.359	0.230
097/94	3,14	4.45		-3.27	0.720
116/96	2	3.875		-0.6	0.480
116/96	4	10.77		-2.7	1.740

Κεφάλαιο 3

Πειράματα

3.1 Εισαγωγή

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην πειραματική δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής με την βοήθεια του προσωπικού του Εργαστηρίου. Πριν την εκτέλεση των πειραμάτων γινόταν έλεγχος των φασμάτων των παραγόμενων κυματισμών. Καθημερινά γινόταν έλεγχος του μοντέλου για τυχόν ρωγμές (cracks), πριν την τοποθέτησή του στο νερό. Έπειτα από έλεγχο το φορείου, ξεκινούσε η βαθμονόμηση των οργάνων όπως αυτή αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Ενδιάμεσα τοποθετήσαμε το μοντέλο στο πόδι του δυναμομέτρου. Επιπροσθέτως, γινόταν καθαρισμός του αισθητήρα ανύψωσης κύματος Wave Tank Probe και ύστερα βαθμονόμηση του. Ακολουθούσε βαθμονόμηση των υπολοίπων οργάνων μέτρησης, και συμπληρωνόταν το ειδικό Φύλλο Βαθμονομήσεων και υπολογίζοντας τη συνάρτηση μεταφοράς με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Μετά το πέρας αυτών των προκαταρκτικών διαδικασιών ενεργοποιούσαμε το επιθυμητό φάσμα και ο κυματιστήρας παρήγαγε τα δεδομένα κύματα. Όταν τα κύματα έφταναν στο άλλο άκρο της δεξαμενής όπου βρισκόταν το φορείο με το μοντέλο, ξεκινούσαμε το φορείο και η μέτρηση ξεκινούσε μόλις είχε αναπτυχθεί η επιθυμητή ταχύτητα. Το πέρας του πειράματος γινόταν αυτόματα. Μετά από κάθε πείραμα ήταν αναγκαία η αναμονή περίπου δεκαπέντε (15) λεπτών μέχρι να ξεκινήσει το επόμενο πείραμα, ώστε να ηρεμήσει το νερό της δεξαμενής λόγω της ενέργειας των προηγούμενων κυματισμών αλλά και τους κυματισμούς που δημιουργήσε το μοντέλο μας. Σε κάθε επανάληψη του πειράματος ο κυματιστήρας δημιουργούσε το νέο κύμα από ηρεμία. Όλα τα πειράματα καθώς και οι λεπτομέρειες αυτών καταγράφονταν καθημερινά σε ειδικό Φύλλο Πειραμάτων Δυναμικής Συμπεριφοράς σε Κυματισμούς.

Παρακάτω φαίνονται πόσα πειράματα έγιναν σε κάθε ταχύτητα :

a/a	Fn	Ταχύτητα Vm [m/s]	Προτύπου	Χρόνος/RUN[sec]	Χρόνος/SET[sec]
097/94	0.34	1,57		35	280
097/94	0.68	3,14		15	270
116/96	0.38	2		25	275
116/96	0.68	4		10	280

3.2 Πειραματικά αποτελέσματα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται, για το πρότυπο NTUA 097/94 με $C_D L = 4.23$, συγκριτικά διαγράμματα στους δύο αριθμούς $Fn = 0.34$ και $Fn = 0.68$ και για το πρότυπο των 116/96, διαγράμματα για αριθμούς $Fn = 0.38$ και $Fn = 0.76$ rms τιμών της κάθε απόκρισης, για αυξανόμενη περίοδο κορυφής και αυξανόμενο σημαντικό ύψος κύματος. Στη συνέχεια ακολουθεί σχολιασμός της επίδρασης της ταχύτητας για ίδια αδιάστατη περίοδο και σημαντικό ύψος κύματος. Όπως έχει αναφερθεί, για την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων έγινε ανάλυση κατά Fourier με τη βοήθεια ειδικού κώδικα γραμμένου σε Φορτραν. Το πρόγραμμα δίνει για όλα τα μεγέθη τις μέσες τετραγωνικές τιμές των αποκρίσεων rms. Η πρόσθετη αντίσταση υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή της συνολικής αντίστασης από τη γνωστή σχέση:

$$R_{aw} = R_w - R_{sw}$$

Παρατηρούμε ότι το σημαντικό ύψος κύματος, που μετρήθηκε και υπολογίστηκε από τη σχέση $\bar{H}_{1/3} = H_S = 4\sqrt{m_0} = 4 \cdot RMS_{WAVE}$ διαφέρει από το αρχικά επιδιωκόμενο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας διορθωτικός συντελεστής k , που είναι ο λόγος της επιδιωκόμενης τιμής προς την πραγματική τιμή μέτρησης. Τα μεγέθη τροποποιήθηκαν με τις παρακάτω σχέσεις για να γίνει η αναγωγή τους στις πραγματικές τιμές:

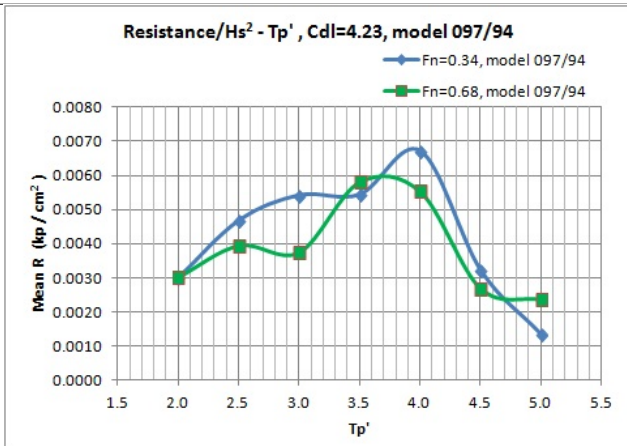
$$\begin{aligned} RMS_{\text{διορθωμένο}} &= RMS_{\text{μέτρησης}} \cdot k \\ R_{AW\text{διορθωμένο}} &= R_{AW\text{μέτρησης}} \cdot k^2 \end{aligned}$$

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα ακόλουθα διαγράμματα:

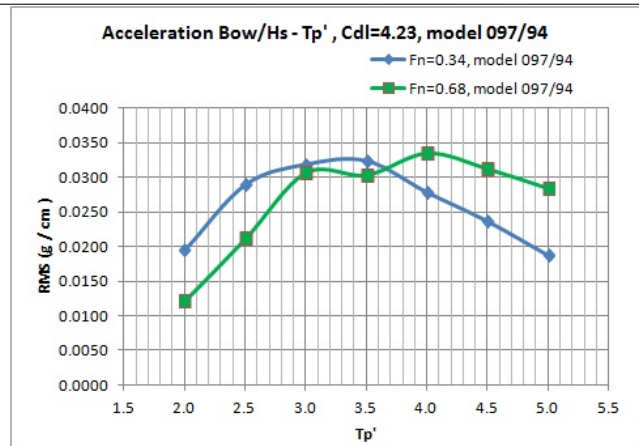
- RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη (Acceleration Bow) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s , [g/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak”).
- RMS τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους (Acceleration Mid.) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s , [g/cm] συναρτήσει 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] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak”).
- RMS τιμή Κίνησης Προνευτασμού (Pitch) διαιρεμένη με το σημαντικό ύψος κύματος H_s , [deg/cm] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak”).
- Μέση τιμή Πρόσθετης Αντίστασης (Added Resistance) διαιρεμένη με το τετράγωνο του σημαντικού ύψους κύματος H_s^2 , [kp/cm^2] συναρτήσει της αδιάστατης περιόδου κορυφής (Tpeak”).

3.2.1 Επίδραση της ταχύτητας στις αποκρίσεις του πλοίου

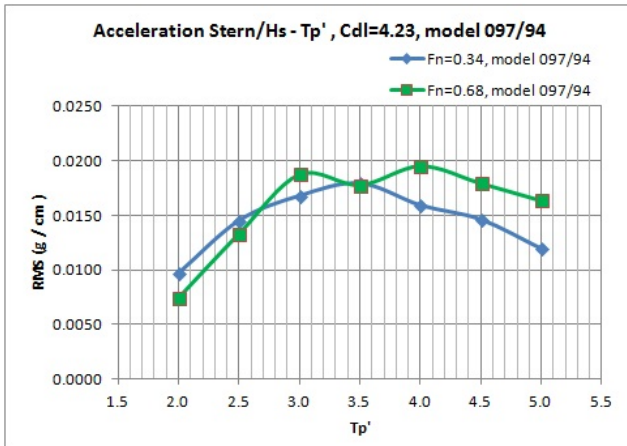
Πίνακας 3.1: Πρότυπο 097/94 : $F_n = 0.34 - 0.68 - \bar{H}_s = 8 - 16 - T_p' = 2 - 5$



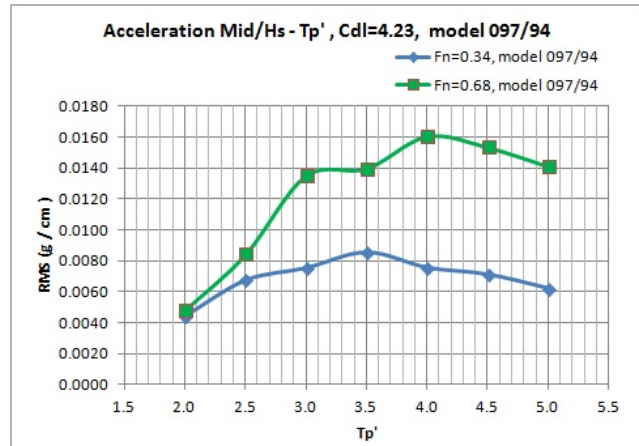
Σχήμα 1. Μέση Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης(Added Resistance),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



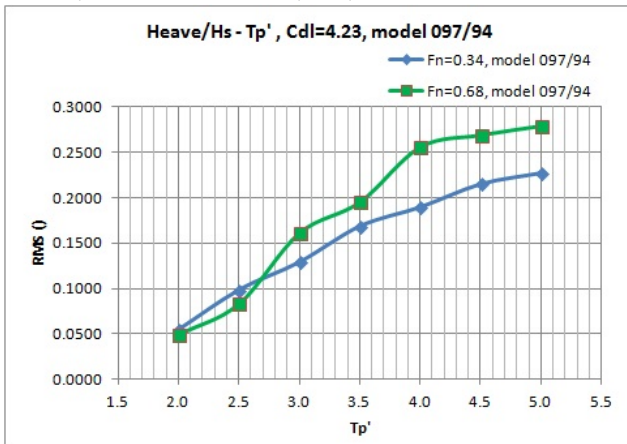
Σχήμα 2. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη BOW, ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



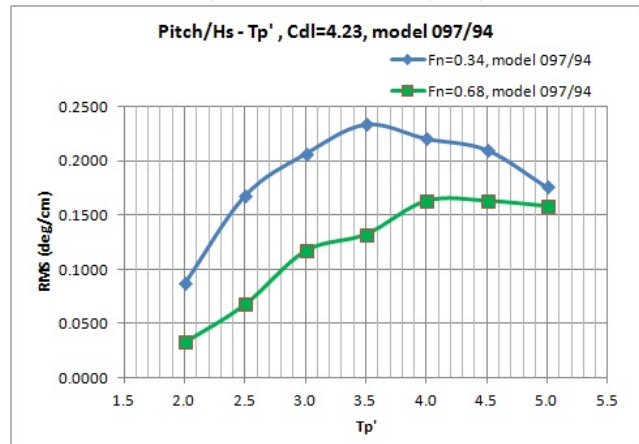
Σχήμα 3. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη STERN,ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



Σχήμα 4. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο πλευστότητας LCF,ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



Σχήμα 5. RMS Τιμή Κατακόρυφης Ανύψωσης (Heave),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



Σχήμα 6. RMS Τιμή Προνευτασμού (Pitch),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'

Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται στους συγκριτικούς πίνακες παρακάτω:

Πίνακας 3.2: Πίνακας συντελεστών αποκρίσεων - Πρότυπο 097/94

MODEL 097/94

$F_n = 0.34$ $L/B = 5,5$ $C_{DL} = 4.23$ Αντίσταση σε ήρεμο νερό = 1.453 kp

T_p'	Hs	Acc. Bow/ Hs	Acc. Mid/ Hs	Acc. Stern/ Hs	Added Res. / Hs^2	Heave / Hs	Pitch / Hs
-	cm	g / cm	g / cm	g / cm	kp / cm^2	cm / cm	deg / cm
2.0	8.0	0.0195	0.0044	0.0097	0.0030	0.0548	0.0866
2.5	9.0	0.0290	0.0067	0.0145	0.0047	0.0987	0.1681
3.0	10.0	0.0319	0.0075	0.0168	0.0054	0.1293	0.2069
3.5	11.0	0.0324	0.0086	0.0180	0.0054	0.1688	0.2340
4.0	12.0	0.0279	0.0076	0.0159	0.0067	0.1899	0.2209
4.5	14.0	0.0237	0.0071	0.0146	0.0032	0.2153	0.2105
5.0	16.0	0.0188	0.0062	0.0120	0.0013	0.2275	0.1757

27

$F_n = 0.68$ $L/B = 5,5$ $CDL = 4.23$ Αντίσταση σε ήρεμο νερό = 4,45 kp

T_p'	Hs	Acc. Bow/ Hs	Acc. Mid/ Hs	Acc. Stern/ Hs	Added Res. / Hs^2	Heave / Hs	Pitch / Hs
-	cm	g / cm	g / cm	g / cm	kp / cm^2	cm / cm	deg / cm
2.0	8.0	0.0121	0.0048	0.0074	0.0030	0.0494	0.0329
2.5	9.0	0.0211	0.0084	0.0133	0.0039	0.0833	0.0680
3.0	10.0	0.0307	0.0135	0.0187	0.0038	0.1611	0.1172
3.5	11.0	0.0303	0.0140	0.0178	0.0058	0.1952	0.1326
4.0	12.0	0.0335	0.0160	0.0195	0.0055	0.2558	0.1633
4.5	14.0	0.0312	0.0153	0.0179	0.0027	0.2690	0.1635
5.0	16.0	0.0284	0.0141	0.0163	0.0024	0.2790	0.1586

Στους παραπάνω (πίνακες 3.1, 3.2) και διαγράμματα έχουμε μια σύγκριση των αποτελεσμάτων κάτω από την ίδια κατάσταση φόρτωσης σε μικρή και μεγάλη ταχύτητα του πατρικού σκάφους του ΕΜΠ. Παρατηρούμε λοιπόν τα εξής:

Πρόσθετη Αντίσταση: Όπως ελέχθει και στη θεωρία, περιμέναμε στην μεγάλη ταχύτητα να έχουμε στις καταστάσεις θάλασσας με μικρό σημαντικό ύψος κύματος, μικρότερη πρόσθετη αντίσταση το οποίο και επιβεβαιώνεται σχεδόν σε όλο το φάσμα της Tr'

Εγκάρσια Επιτάχυνση Πλώρης: Παρατηρείται ότι μέχρι και το $Tr'=3.5$ η απόκριση των εγκάρσιων επιταχύνσεων στην πλώρη είναι μικρότερη, το οποίο σημαίνει πως το σκάφος δεν αντιδρά βίαια σε μεγάλες ταχύτητες με μικρό σημαντικό ύψος κύματος. Ενώ αυξάνει σταδιακά και γίνεται μεγαλύτερη για $Tr' > 3.5$

Εγκάρσια Επιτάχυνση Πρύμνης: Ανάλογα με την απόκριση της επιτάχυνσης στην πλώρη συμπεριφέρεται και αυτή στην πρύμνη του προτύπου

Εγκάρσια Επιτάχυνση Κέντρου Πλευστότητας: Αντίθετα η απόκριση της Εγκάρσιας Επιτάχυνσης του Κέντρου Πλευστότητας είναι παντού μεγαλύτερη στην μεγάλη ταχύτητα, συγκριτικά με τις τιμές της μικρής ταχύτητας.

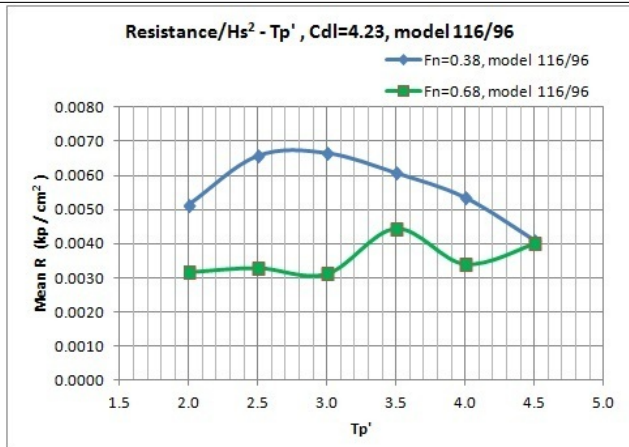
Εγκάρσια Ανύψωση HEAVE: Στην μεγάλη ταχύτητα Froude παρατηρείται ότι το πρότυπο μέχρι και λίγο πάνω από $Tr'=2.5$ συμπεριφέρεται καλύτερα το οποίο επιβεβαιώνει τα διαγράμματα των επιταχύνσεων έχοντας μικρότερη απόκριση ανύψωσης.

Προνευτασμός PITCH: Τέλος παρατηρείται πως στην πρόνευση έχουμε συνολικά πολύ μικρότερη απόκριση στην μεγάλη ταχύτητα. Αυτό επιβεβαιώνει και τις τιμές των αποκρίσεων της πλώρης και πρύμνης η οποίες είναι κρατούνται και αυτές χαμηλά παρά την αύξηση της ταχύτητας

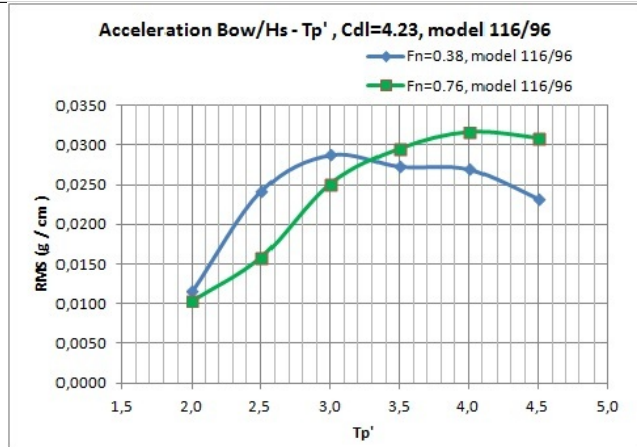
Συμπερασματικά παρατηρείται ότι το σκάφος σε μεγάλες ταχύτητες τίνει να παρουσιάσει μία εγκάρσια μόνο κίνηση ως προς ο επίπεδο του νερού αυξανόμενη ανάλογα με το ύψος κύματος, παρουσιάζοντας σημαντικά μειωμένη απόκριση προνευτασμού. Ενώ παράλληλα στις μικρές ταχύτητες παρουσιάζει σημαντικά αυξημένη πρόσθετη αντίσταση ενώ οι αποκρίσεις της επιτάχυνσης στο κέντρο πλευστότητας σταθερές.

Οι επιταχύνσεις σύμφωνα με τα κριτήρια λειτουργικότητας εμφανίζονται μέσα στα όρια για την επιτάχυνση στο μέσο του πλοίου, ενώ οι επιταχύνσεις της πλώρης είναι μεγαλύτερες. Για το τύπο του σκάφους όμως κρίνονται ικανοποιητικές.

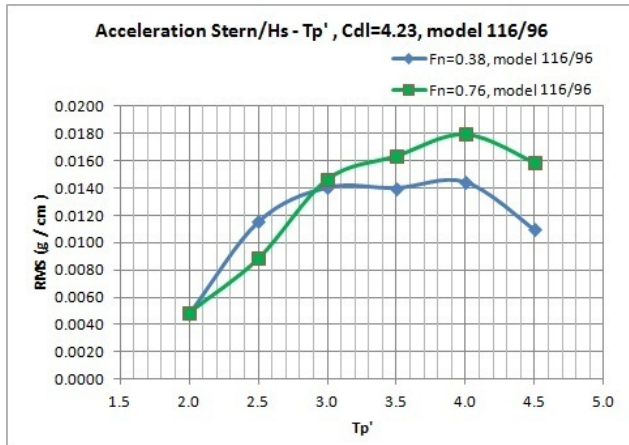
Πίνακας 3.3: Πρότυπο 116/96 : $F_n = 0.38 - 0.76 - \bar{H}_s = 8 - 14 - T_p' = 2 - 4.5$



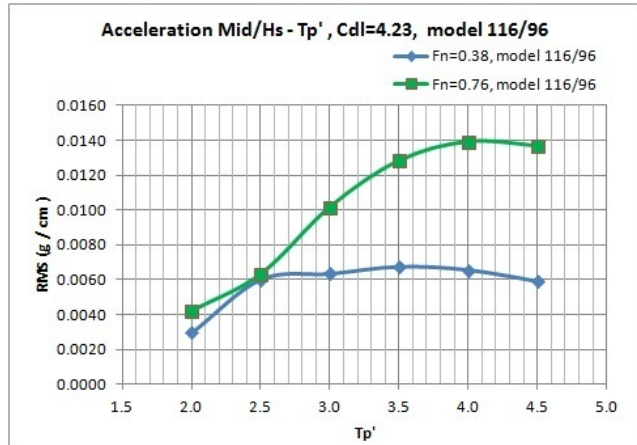
Σχήμα 1. Μέση Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης(Added Resistance),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



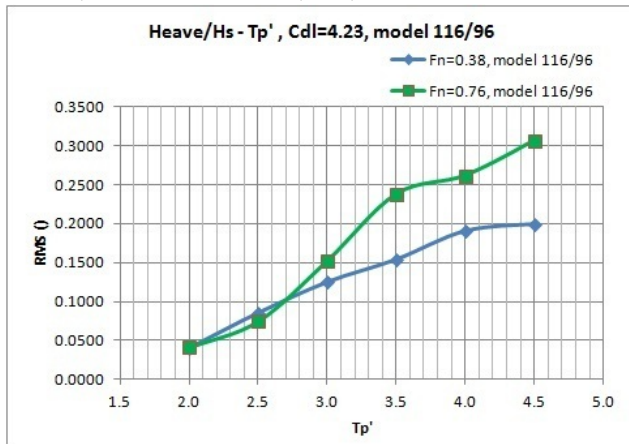
Σχήμα 2. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη BOW, ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



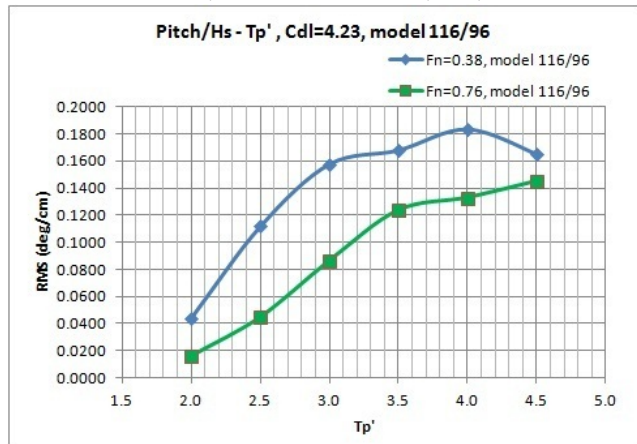
Σχήμα 3. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη STERN,ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



Σχήμα 4. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο πλευστότητας LCF,ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



Σχήμα 5. RMS Τιμή Κατακόρυφης Ανύψωσης (Heave),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



Σχήμα 6. RMS Τιμή Προνευτασμού (Pitch),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'

Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται στους συγκριτικούς πίνακες παρακάτω:

Πίνακας 3.4: Πίνακας συντελεστών αποκρίσεων - Πρότυπο 097/94

MODEL 097/94

$F_n = 0.34$ $L/B = 5,5$

$C_{DL} = 4.23$

Αντίσταση σε ήρεμο νερό = 1.453 kp

T_p'	Hs	Acc. Bow/ Hs	Acc. Mid/ Hs	Acc. Stern/ Hs	Added Res. / Hs^2	Heave / Hs	Pitch / Hs
-	cm	g / cm	g / cm	g / cm	kp / cm^2	cm / cm	deg / cm
2.0	8.0	0.0195	0.0044	0.0097	0.0030	0.0548	0.0866
2.5	9.0	0.0290	0.0067	0.0145	0.0047	0.0987	0.1681
3.0	10.0	0.0319	0.0075	0.0168	0.0054	0.1293	0.2069
3.5	11.0	0.0324	0.0086	0.0180	0.0054	0.1688	0.2340
4.0	12.0	0.0279	0.0076	0.0159	0.0067	0.1899	0.2209
4.5	14.0	0.0237	0.0071	0.0146	0.0032	0.2153	0.2105
5.0	16.0	0.0188	0.0062	0.0120	0.0013	0.2275	0.1757

$F_n = 0.68$ $L/B = 5,5$

$CDL = 4.23$

Αντίσταση σε ήρεμο νερό = 4,45 kp

T_p'	Hs	Acc. Bow/ Hs	Acc. Mid/ Hs	Acc. Stern/ Hs	Added Res. / Hs^2	Heave / Hs	Pitch / Hs
-	cm	g / cm	g / cm	g / cm	kp / cm^2	cm / cm	deg / cm
2.0	8.0	0.0121	0.0048	0.0074	0.0030	0.0494	0.0329
2.5	9.0	0.0211	0.0084	0.0133	0.0039	0.0833	0.0680
3.0	10.0	0.0307	0.0135	0.0187	0.0038	0.1611	0.1172
3.5	11.0	0.0303	0.0140	0.0178	0.0058	0.1952	0.1326
4.0	12.0	0.0335	0.0160	0.0195	0.0055	0.2558	0.1633
4.5	14.0	0.0312	0.0153	0.0179	0.0027	0.2690	0.1635
5.0	16.0	0.0284	0.0141	0.0163	0.0024	0.2790	0.1586

Στους παραπάνω (πίνακες 3.3, 3.4) και διαγράμματα έχουμε μια σύγκριση των αποτελεσμάτων κάτω από την ίδια κατάσταση φόρτωσης σε μικρή και μεγάλη ταχύτητα του προτύπου 116/96, $L/B = 7$. Παρατηρούμε λοιπόν τα εξής:

Πρόσθετη Αντίσταση: Όπως και στο πρότυπο 097/94 περιμέναμε στην μεγάλη ταχύτητα μικρότερη πρόσθετη αντίσταση το οποίο και επιβεβαιώνεται σε όλο το φάσμα της Tr' συγκριτικά με το πατρικό πρότυπο.

Εγκάρσια Επιτάχυνση Πλώρης: Παρατηρείται ότι μέχρι και το $Tr'=3$ η απόκριση των εγκάρσιων επιταχύνσεων στην πλώρη είναι μικρότερες, το οποίο σημαίνει πως το σκάφος δεν αντιδρά βίαια σε μεγάλες ταχύτητες με μικρό σημαντικό ύψος κύματος. Ενώ αυξάνει σταδιακά και γίνεται μεγαλύτερη για $Tr' > 3.5$

Εγκάρσια Επιτάχυνση Πρύμνης: Ανάλογα με την απόκριση της επιτάχυνσης στην πλώρη συμπεριφέρεται και αυτή στην πρύμη του προτύπου

Εγκάρσια Επιτάχυνση Κέντρου Πλευστότητας: Αντίθετα η απόκριση της Εγκάρσιας Επιτάχυνσης του Κέντρου Πλευστότητας για $Tr' > 1.5$ είναι παντού μεγαλύτερη στην μεγάλη ταχύτητα, συγκριτικά με τις τιμές της μικρής ταχύτητας.

Εγκάρσια Ανύψωση HEAVE: Στην μεγάλη ταχύτητα Froude παρατηρείται ότι το πρότυπο μέχρι και λίγο πάνω από $Tr'=2.5$ συμπεριφέρεται καλύτερα το οποίο επιβεβαιώνει τα διαγράμματα των επιταχύνσεων έχοντας μικρότερη απόκριση ανύψωσης.

Προνευτασμός PITCH: Τέλος παρατηρείται πως στην πρόνευση έχουμε συνολικά πολύ μικρότερη απόκριση στην μεγάλη ταχύτητα. Αυτό επιβεβαιώνει και τις τιμές των αποκρίσεων της πλώρης και πρύμνης οι οποίες είναι κρατούνται και αυτές χαμηλά παρά την αύξηση της ταχύτητας

Συμπερασματικά παρατηρείται ότι το πρότυπο σε μεγάλες ταχύτητες τείνει να παρουσιάσει μία εγκάρσια μόνο κίνηση ως προς ο επίπεδο του νερού αυξανόμενη ανάλογα με το ύψος κύματος, παρουσιάζοντας σημαντικά μειωμένη απόκριση προνευτασμού. Παρόλληλα σε μικρό αριθμό Froude παρουσιάζει διπλάσια σχεδόν πρόσθετη αντίσταση ενώ οι αποκρίσεις της επιτάχυνσης στο κέντρο πλευστότητας είναι σταθερές.

Οι επιταχύνσεις σύμφωνα με τα κριτήρια λειτουργικότητας εμφανίζονται μέσα στα όρια για την επιτάχυνση στο μέσο του πλοίου, ενώ οι επιταχύνσεις της πλώρης είναι μεγαλύτερες. Για το τύπο του σκάφους όμως κρίνονται ικανοποιητικές.

Πίνακας 3.5: Συγκεντρωτικός Πίνακας RMS Τιμών - Πρότυπο 097/94

MODEL 097/94

$F_n = 0.34$ $L/B = 5,5$ $CDL = 4.23$ Αντίσταση σε ήρεμο νερό 1.453 kp

Tp model	Tp'	Hs model	Wave Car	Wave Tank	Acc. Bow	Acc. Mid	Acc. Stern	Added Res.	Heave	Pitch	K
sec	-	cm	cm	cm	g	g	g	kp	cm	deg	-
0.942	2.0	8.0	6.973	8.000	0.156	0.035	0.078	0.192	0.438	0.693	1.045
1.177	2.5	9.0	8.174	9.000	0.261	0.061	0.131	0.378	0.836	1.424	0.941
1.413	3.0	10.0	9.470	10.000	0.319	0.075	0.168	0.541	1.293	2.069	1.060
1.648	3.5	11.0	11.004	11.000	0.357	0.094	0.198	0.657	1.857	2.574	1.025
1.883	4.0	12.0	11.737	12.000	0.334	0.091	0.191	0.966	2.279	2.651	0.975
2.119	4.5	14.0	14.175	14.000	0.332	0.100	0.205	0.628	3.015	2.947	1.062
2.354	5.0	16.0	-	16.000	0.300	0.099	0.191	0.341	3.640	2.811	1.067

$F_n = 0.68$ $L/B = 5,5$ $CDL = 4.23$ Αντίσταση σε ήρεμο νερό 4.45 kp

Tp model	Tp'	Hs model	Wave Car	Wave Tank	Acc. Bow	Acc. Mid	Acc. Stern	Added Res.	Heave	Pitch	K
sec	-	cm	cm	cm	g	g	g	kp	cm	deg	-
0.942	2.0	8.0	-	7.999	0.097	0.038	0.060	0.194	0.395	0.263	1.023
1.177	2.5	9.0	-	9.000	0.190	0.076	0.120	0.320	0.750	0.612	0.907
1.413	3.0	10.0	-	10.000	0.307	0.135	0.187	0.375	1.611	1.172	1.059
1.648	3.5	11.0	-	11.001	0.334	0.154	0.195	0.704	2.147	1.459	0.890
1.883	4.0	12.0	-	12.000	0.402	0.192	0.234	0.797	3.069	1.960	0.919
2.119	4.5	14.0	13.161	14.000	0.437	0.215	0.251	0.526	3.765	2.289	0.952
2.354	5.0	16.0	-	16.000	0.455	0.226	0.261	0.605	4.463	2.538	0.989

Πίνακας 3.6: Συγκεντρωτικός Πίνακας RMS Τιμών - Πρότυπο 116/96

MODEL 116/96

$F_n = 0.38$ $L/B = 7$ $CDL = 4.23$ Αντίσταση σε ήρεμο νερό 3.875 kp

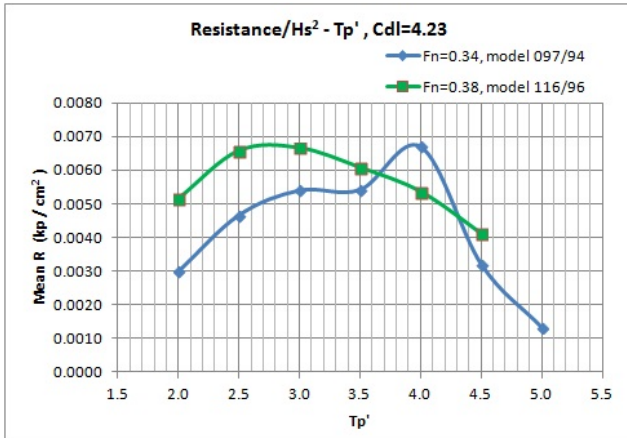
Tp model	Tp'	Hs model	Wave Car	Wave Tank	Acc. Bow	Acc. Mid	Acc. Stern	Added Res.	Heave	Pitch	K
sec	-	cm	cm	cm	g	g	g	kp	cm	deg	-
1.075	2.0	8.0	2.372	8.000	0.093	0.024	0.039	0.33	0.33	0.35	0.949
1.344	2.5	9.0	4.444	9.001	0.218	0.054	0.104	0.53	0.77	1.01	0.991
1.612	3.0	10.0	6.262	10.000	0.288	0.064	0.141	0.67	1.25	1.58	0.961
1.881	3.5	11.0	1.811	11.001	0.301	0.074	0.155	0.74	1.70	1.85	0.958
2.150	4.0	12.0	3.202	12.001	0.324	0.079	0.174	0.77	2.29	2.20	1.064
2.419	4.5	14.0	3.751	14.000	0.326	0.083	0.154	0.81	2.79	2.32	1.011

$F_n = 0.76$ $L/B = 7$ $CDL = 4.23$ Αντίσταση σε ήρεμο νερό 10.77 kp

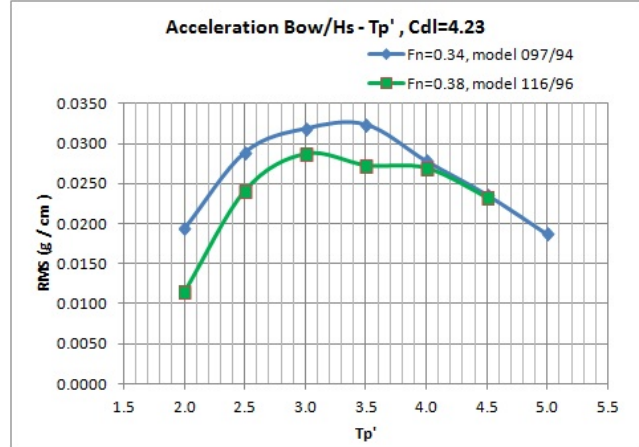
Tp model	Tp'	Hs model	Wave Car	Wave Tank	Acc. Bow	Acc. Mid	Acc. Stern	Added Res.	Heave	Pitch	K
sec	-	cm	cm	cm	g	g	g	kp	cm	deg	-
1.075	2.0	8.0	2.213	8.000	0.083	0.034	0.039	0.20	0.33	0.13	1.041
1.344	2.5	9.0	1.724	9.000	0.143	0.057	0.079	0.27	0.67	0.41	0.971
1.612	3.0	10.0	4.537	10.001	0.251	0.102	0.146	0.31	1.52	0.87	0.958
1.881	3.5	11.0	2.007	11.000	0.325	0.141	0.180	0.54	2.62	1.36	1.004
2.150	4.0	12.0	2.068	11.999	0.379	0.167	0.215	0.49	3.14	1.60	0.975
2.419	4.5	14.0	1.852	14.001	0.432	0.191	0.222	0.78	4.29	2.04	1.016

3.2.2 Επίδραση του λόγου L/B στις αποκρίσεις του πλοίου

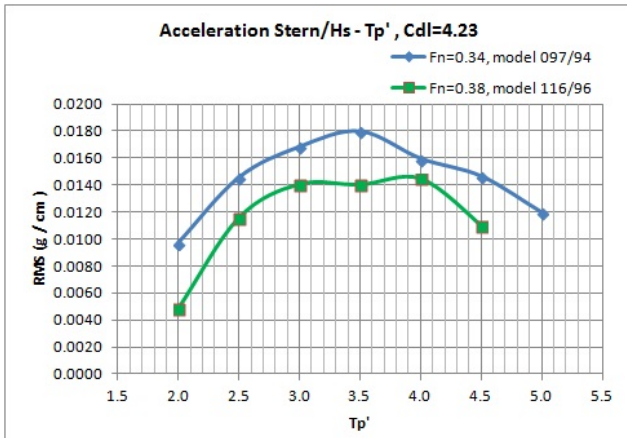
Πίνακας 3.7: Πρότυπο 097/94 - 116/96 : $F_n = 0.34 - 0.38 - \bar{H}_s = 8 - 16 - T_p' = 2 - 5$



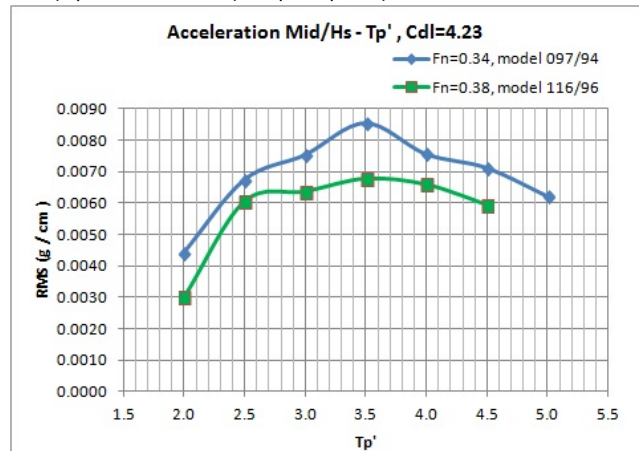
Σχήμα 1. Μέση Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης(Added Resistance),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



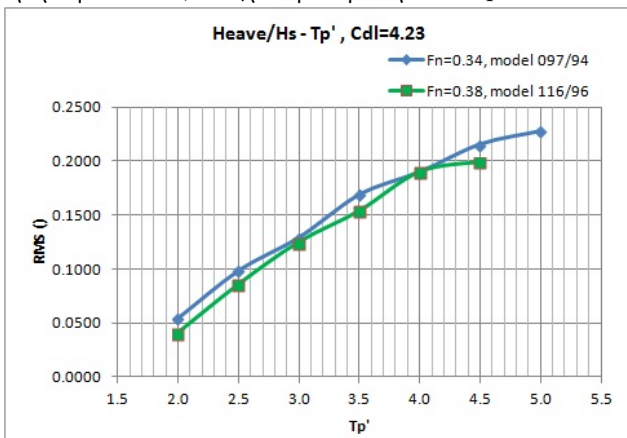
Σχήμα 2. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη BOW, ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



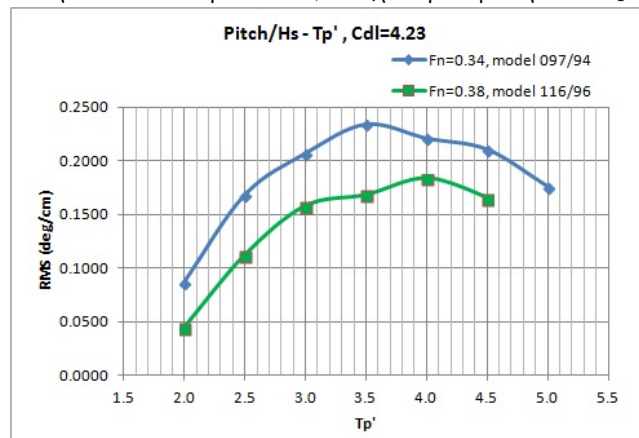
Σχήμα 3. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμνη STERN,ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



Σχήμα 4. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο πλευστότητας LCF,ανοιγμένη στην περίοδο T_p'

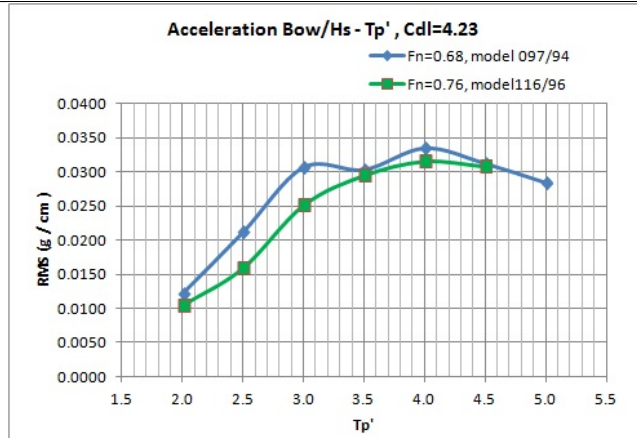
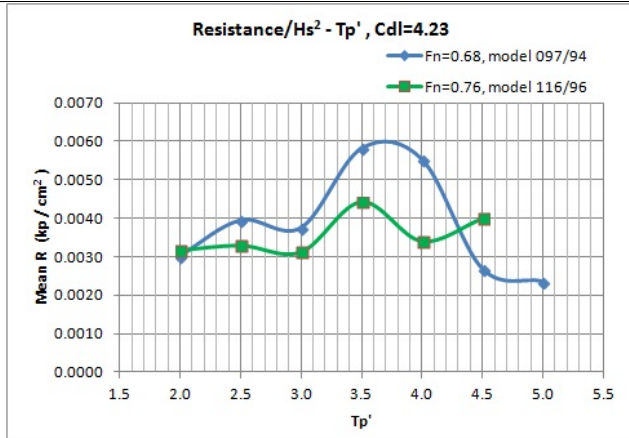


Σχήμα 5. RMS Τιμή Κατακόρυφης Ανύψωσης (Heave),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



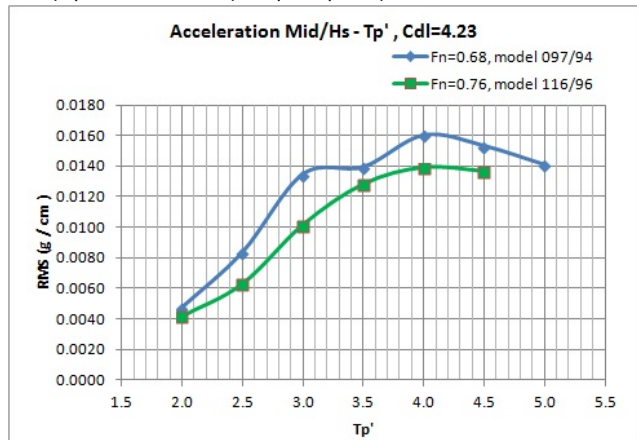
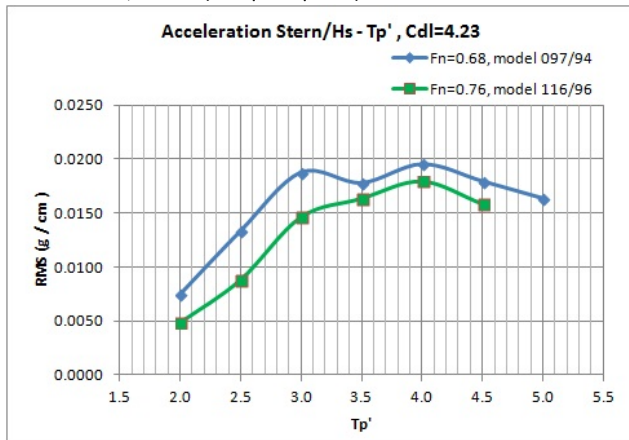
Σχήμα 6. RMS Τιμή Προνευτασμού (Pitch),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'

Πίνακας 3.8: Πρότυπο 097/94 - 116/96 : $F_n = 0.68 - 0.76 - \bar{H}_s = 8 - 16 - T_p' = 2 - 5$



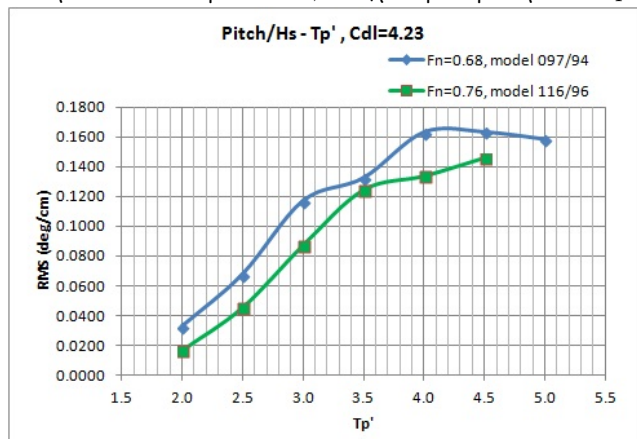
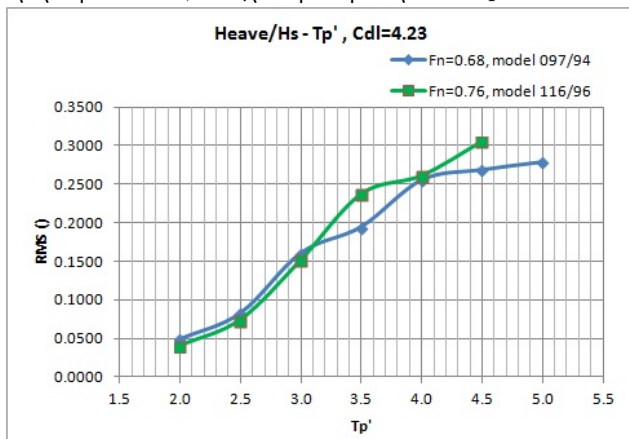
Σχήμα 1. Μέση Τιμή Πρόσθετης Αντίστασης(Added Resistance),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'

Σχήμα 2. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πλώρη BOW, ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



Σχήμα 3. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στην πρύμη STERN,ανοιγμένη στην περίοδο T_p'

Σχήμα 4. RMS Τιμή Κατακόρυφης Επιτάχυνσης στο κέντρο πλευστότητας LCF,ανοιγμένη στην περίοδο T_p'



Σχήμα 5. RMS Τιμή Κατακόρυφης Ανύψωσης (Heave),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'

Σχήμα 6. RMS Τιμή Προνευτασμού (Pitch),ανοιγμένη στην περίοδο T_p'

Παρότι η μικρή και η μεγάλη ταχύτητα δεν είναι στον ίδιο αντίστοιχο αριθμό Froude στους παραπάνω (πίνακες 3.7, 3.8) και διαγράμματα έχουμε μια σύγκριση των αποτελεσμάτων κάτω από την ίδια κατάσταση φόρτωσης των δυο προτύπων 097/94 και 116/96 στις αντίστοιχες τάξης μεγέθους ταχύτητες. Παρατηρούμε λοιπόν τα εξής:

Πρόσθετη Αντίσταση: Το πρότυπο 097/94 παρουσιάζει μικρότερη πρόσθετη αντίσταση στην μικρή ταχύτητα ενώ είναι μεγαλύτερη στην μεγάλη ταχύτητα. το οποίο και επιβεβαιώνεται σχεδόν σε όλο το φάσμα της Tr' συγκριτικά με το 116/96.

Εγκάρσια Επιτάχυνση Πλώρης: Παρατηρείται ότι το πρότυπο 116/96 έχει παντού μικρότερες αποκρίσεις επιταχύνσεων και στις δυο ταχύτητες.

Εγκάρσια Επιτάχυνση Πρύμνης: Ανάλογα με την απόκριση της επιτάχυνσης στην πλώρη συμπεριφέρεται και αυτή στην πρύμνη του προτύπου 116/96

Εγκάρσια Επιτάχυνση Κέντρου Πλευστότητας: Ανάλογα με την απόκριση της επιτάχυνσης στην πλώρη συμπεριφέρεται και αυτή στο κέντρο πλευστότητας του προτύπου 116/96.

Εγκάρσια Ανύψωση HEAVE: Στην μεγάλη ταχύτητα Froude παρατηρείται ότι το πρότυπο 116/96 μέχρι και λίγο πάνω από $Tr'=3$ έχει ίδιες αποκρίσεις ανύψωσης ενώ είναι λίγο μεγαλύτερες για $Tr' > 3$. Στον μικρό αριθμό Froude είναι σχεδόν πανομοιότυπες.

Προνευτασμός PITCH: Τέλος παρατηρείται πως στην πρόνευση έχουμε συνολικά μικρότερη απόκριση για το 116/96 σε όλες τις ταχύτητες. Αυτό επιβεβαιώνει και τις τιμές των αποκρίσεων επιτάχυνσης της πλώρης και πρύμνης οι οποίες κρατούνται και αυτές χαμηλά.

Συμπερασματικά παρατηρείται ότι το πρότυπο $L/B = 7$ παρουσιάζει συνολικά καλύτερες αποκρίσεις για το πατρικό, έχοντας μόνο μεγαλύτερη πρόσθετη αντίσταση στο χαμηλό αριθμό Froude. Παρόλα αυτά όμως δεν ξέρουμε πως επιδρά η αυξημένη ταχύτητα πειραμάτων και αν είναι αυτή η οποία φέρει τα αποτελέσματα να είναι καλύτερα σχεδόν παντού. Παρατηρούμε όμως πως καμπύλες παρουσιάζουν γενικά τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά σε κάθε μέγεθος κάτι που ίσως συμβάλει το μεγάλο C_{DL} (κατάσταση φόρτωσης).

Κεφάλαιο 4

Παράρτημα πειραματικών μετρήσεων

4.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται για κάθε είδος τυχαίου κυματισμού σε κάθε ταχύτητα τα διαγράμματα των φασμάτων $S(f)$ 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:
 1. μετρημένο από τον ακίνητο αισθητήρα που ήταν τοποθετημένος μέσα στη δεξαμενή κοντά στον κυματιστήρα (Wave Tank).
 2. το θεωρητικό φάσμα που είχε ζητηθεί να παραχθεί από τον κυματιστήρα σύμφωνα με την εξίσωση του Bretschneider.
- Φάσματα Κατακόρυφων επιταχύνσεων $S(f)$ σε επιτάχυνση βαρύτητας στο τετράγωνο ανά Hertz (g^2/Hz) συναρτήσει της συχνότητας f σε Hertz στις τρεις θέσεις:
 1. πλώραθεν
 2. στη διαμήκη θέση κέντρου βάρους
 3. 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 Hz (deg^2/Hz) συναρτήσει της συχνότητας f σε Hertz.

4.2 Διεξαγωγή Ανάλυσης

Όλα τα όργανα των μετρήσεων καταγράφονται ως τάσεις μέσω ειδικού προγράμματος στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και το data acquisition system του φορείου. Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων είναι απαραίτητος κάποιος μετασχηματισμός ώστε να δοθούν τα αποτελέσματα από μονάδες μέτρησης Volt σε. Αυτού του είδους η ανάλυση έγινε με Fast Fourier μετασχηματισμούς οι οποίοι γίνονται με τη βοήθεια ειδικού κώδικα γραμμένου σε γλώσσα Fortran ο οποίος έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Ε.Ν.Θ.Υ. Ο κώδικας αποθηκεύεται σε μορφή αρχείου fortran, και μέσω ενός compiler Fortran είναι επεξεργάσιμος. Για να γίνει η ανάλυση κατά Fourier πρέπει να καταχωρηθούν μέσα στον κώδικα οι συναρτήσεις μεταφοράς για κάθε μέγεθος, όπως αυτές υπολογίζονται καθημερινά πριν τα πειράματα, καθώς και το όνομα των αρχείων προς ανάλυση. Το πρόγραμμα δίνει τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης που διεξάγει σε δύο αρχεία. Το ένα έχει όλα τα μεγέθη σε φάσματα $S(f)$ για διάφορες συχνότητες f , ενώ το δεύτερο αρχείο δίνει για όλα τα μεγέθη τις τιμές rms (root mean square) των αποκρίσεων, δηλαδή τις μέσες τετραγωνικές τιμές. Με εκτέλεση της παραπάνω διαδικασίας έγινε όλη η επεξεργασία των αποτελεσμάτων για κάθε κατάσταση θάλασσας στην οποία είχαν γίνει πειράματα. Τα αναλυμένα σε Fourier αποτελέσματα επεξεργάστηκαν σε Microsoft Excel.

Επίσης να σημειωθεί το εξής, ότι προκειμένου να κάνουμε σύγκριση των δύο μετρούμενων φασμάτων κύματος, από τους δύο αισθητήρες της κατακόρυφης ανύψωσης των κυματισμών Wave Car Probe & Wave Tank Probe, χρειάζεται 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 $S(f_o)$ και η συχνότητα f_o . Οι σχέσεις σύμφωνα με τις οποίες γίνεται η μεταφορά από το κινούμενο σύστημα αναφοράς δίνονται παρακάτω:

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

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

Η συχνότητα f_o στο ακίνητο σύστημα αναφοράς συναρτήσει του κινούμενου:

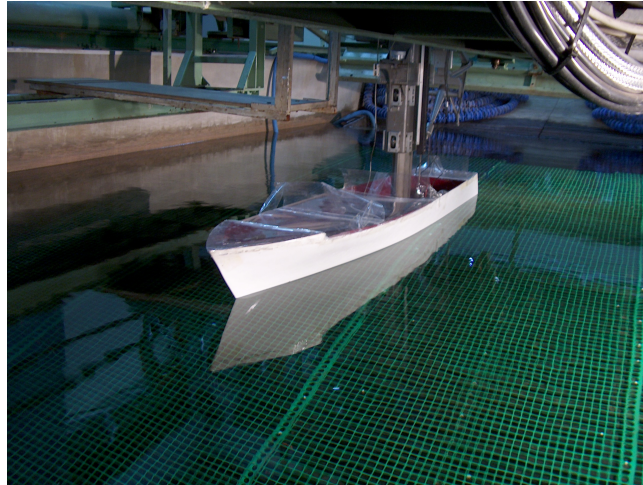
$$f_o = \frac{\frac{-1}{2\pi} \pm \sqrt{\frac{-1}{2\pi} + 4 \cdot \frac{V}{g} \cdot \frac{f_e}{2\pi}}}{2 \cdot \frac{V}{g}}$$

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

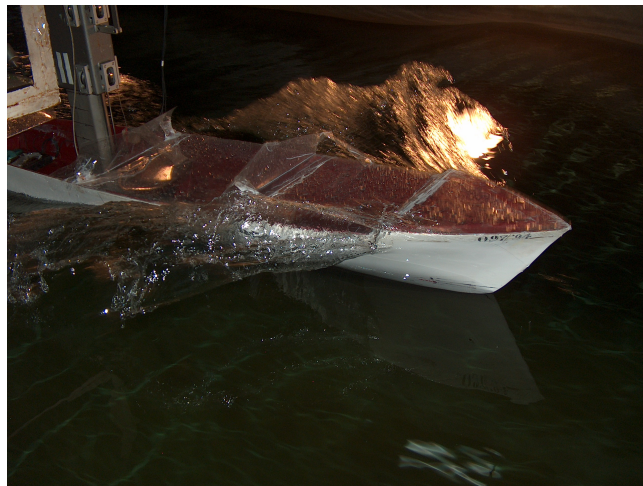
$$S(f_o) = S(f_e) \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot \pi \cdot f_o}{g} \cdot V\right)$$

4.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 097/94

4.3.1 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ - $Fn = 0.34$

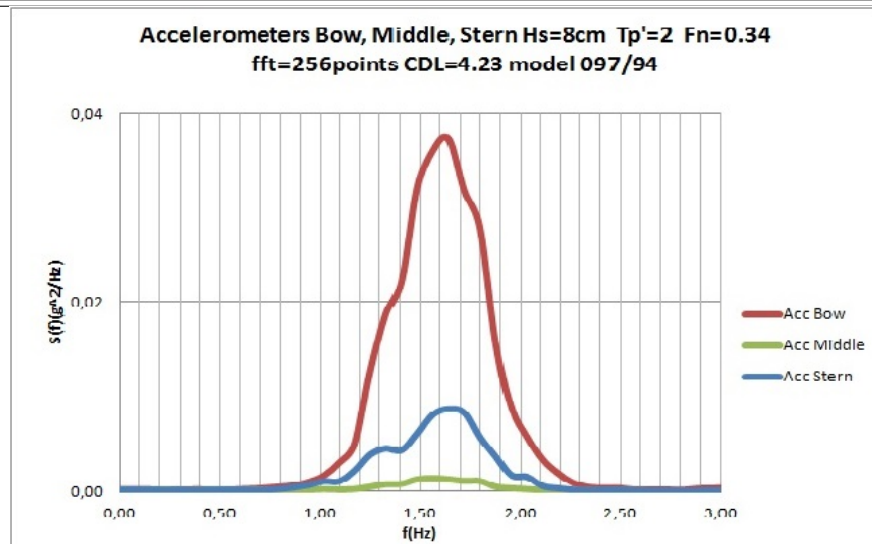
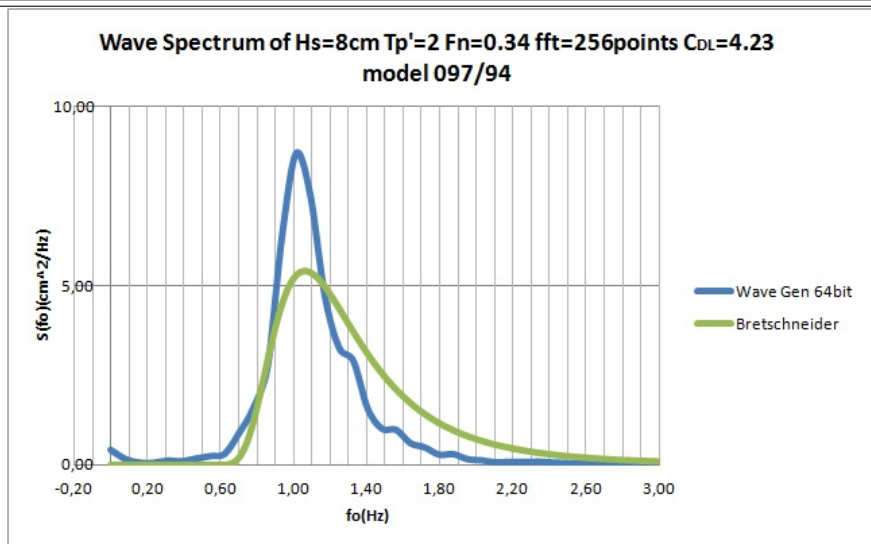


Σχήμα 4.1: Πρότυπο 097/94



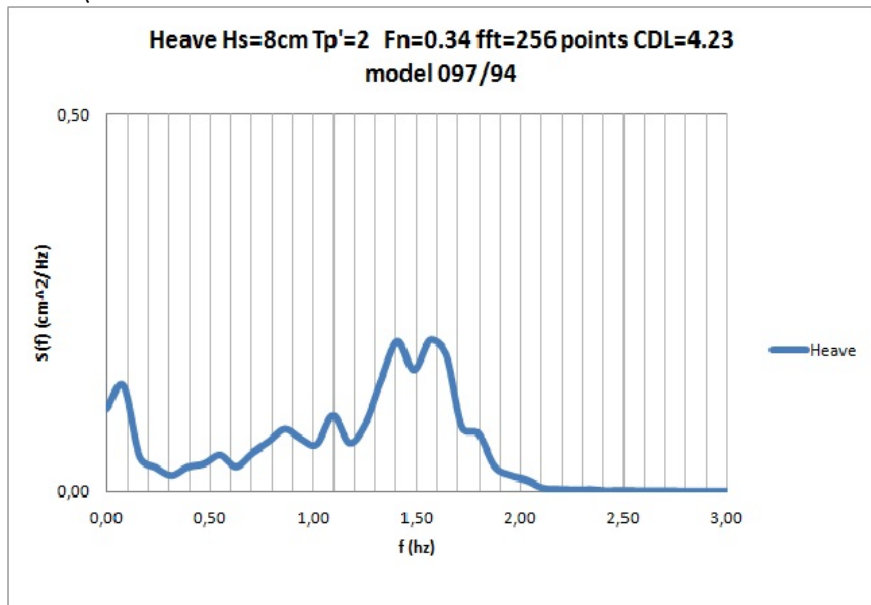
Σχήμα 4.2: Πρότυπο 097/94

Πίνακας 4.1: Πρότυπο 097/94 : $Fn = 0.34 - \bar{H}s = 8 - Tp' = 2$

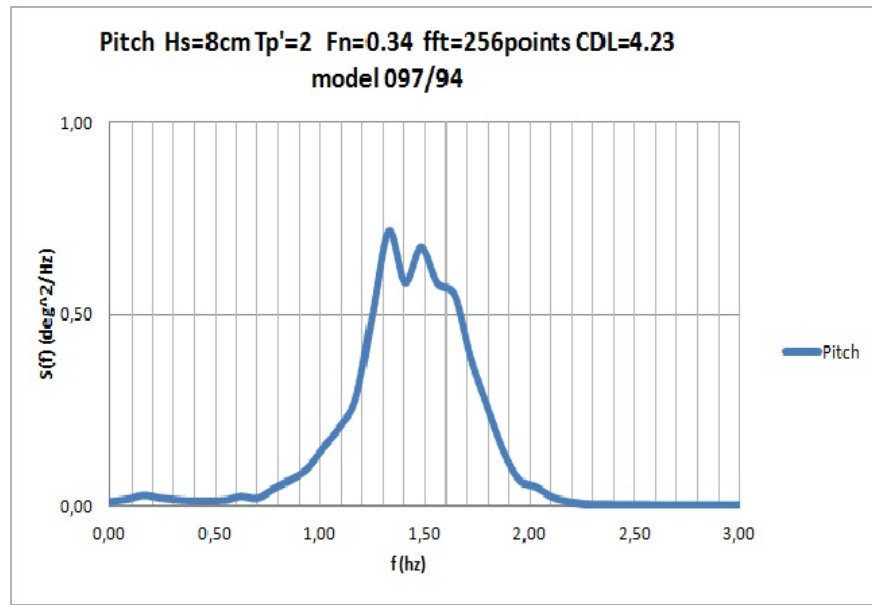


Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης

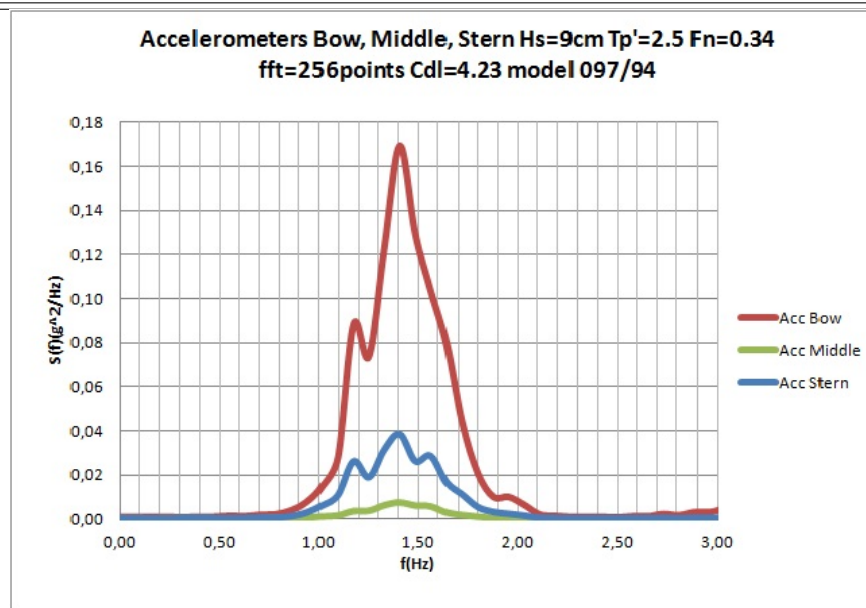
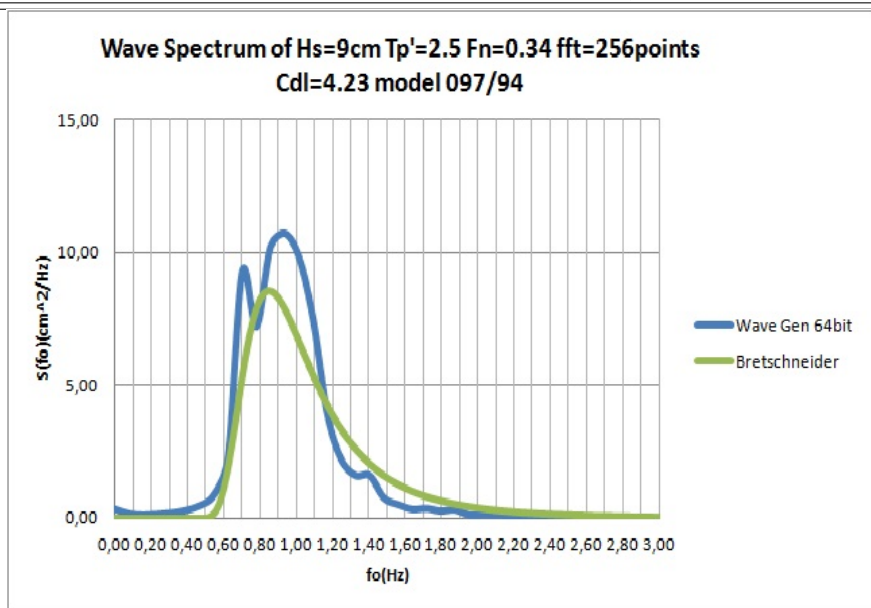


Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)



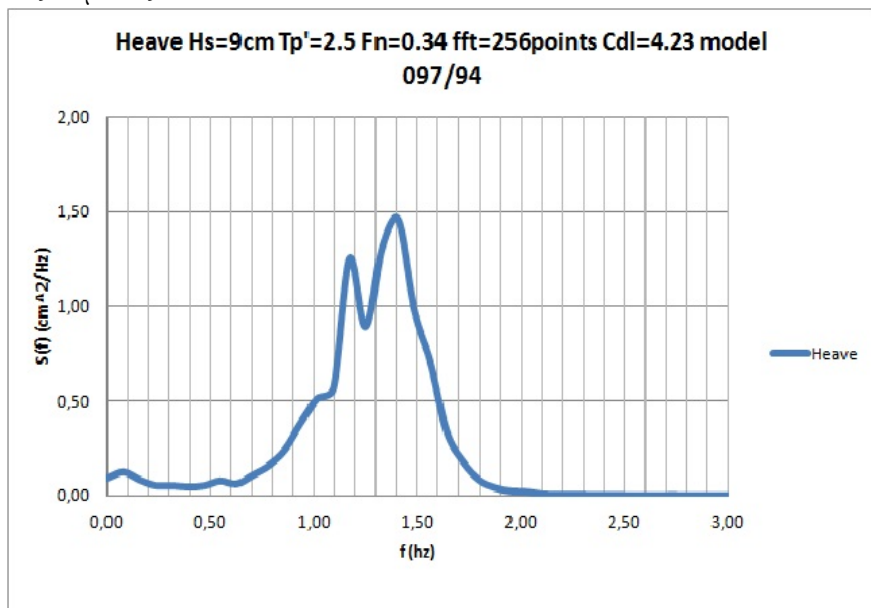
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.2: Πρότυπο 097/94 : $F_n = 0.34 - \bar{H}_s = 9 - T_p' = 2.5$

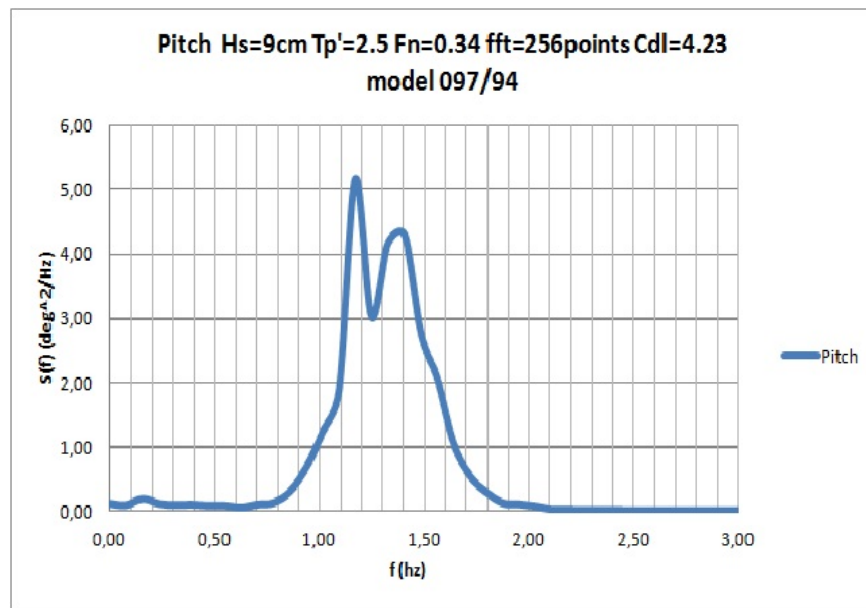


Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης

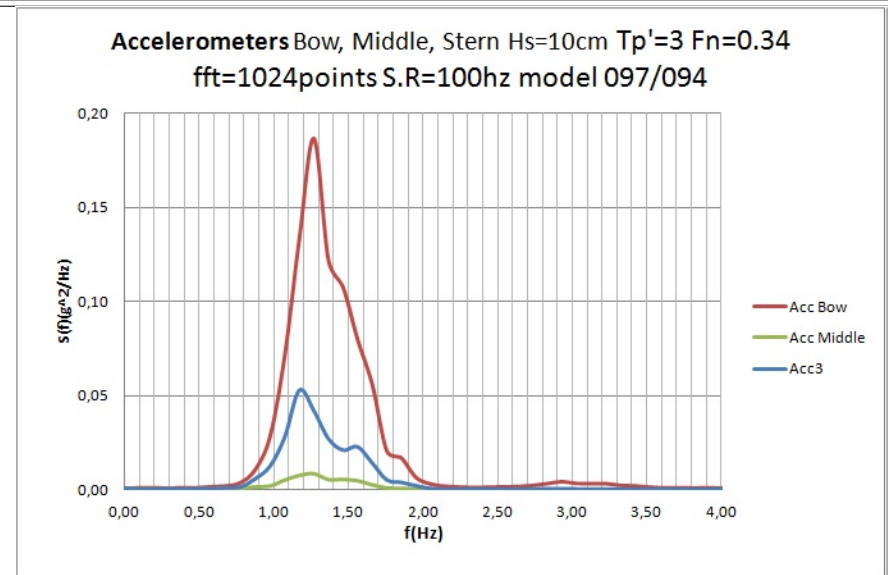
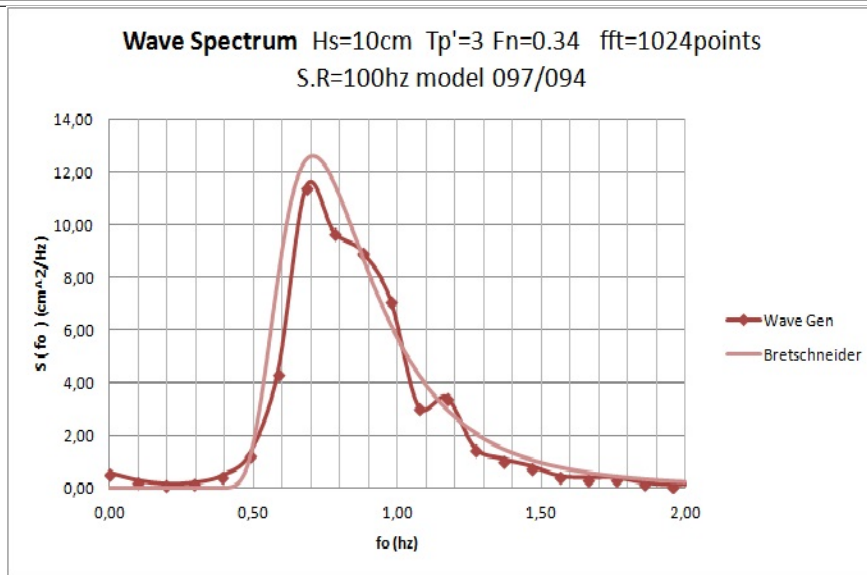


Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)



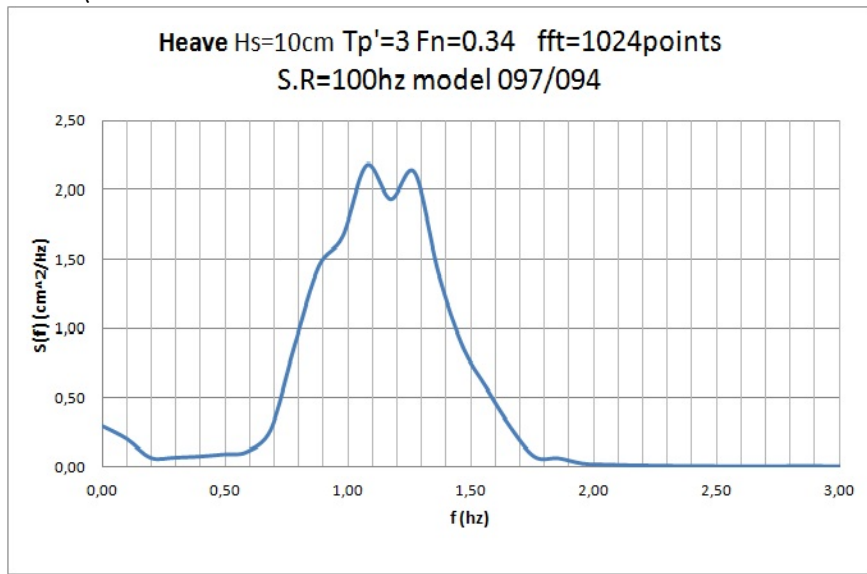
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.3: Πρότυπο 097/94 : $F_n = 0.34 - \bar{H}_s = 10 - T_p' = 3$

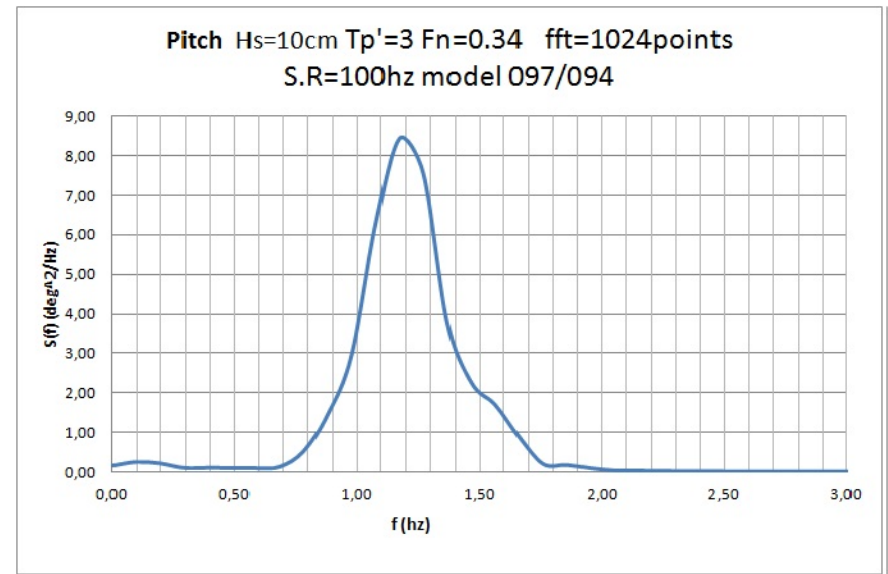


43 Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης

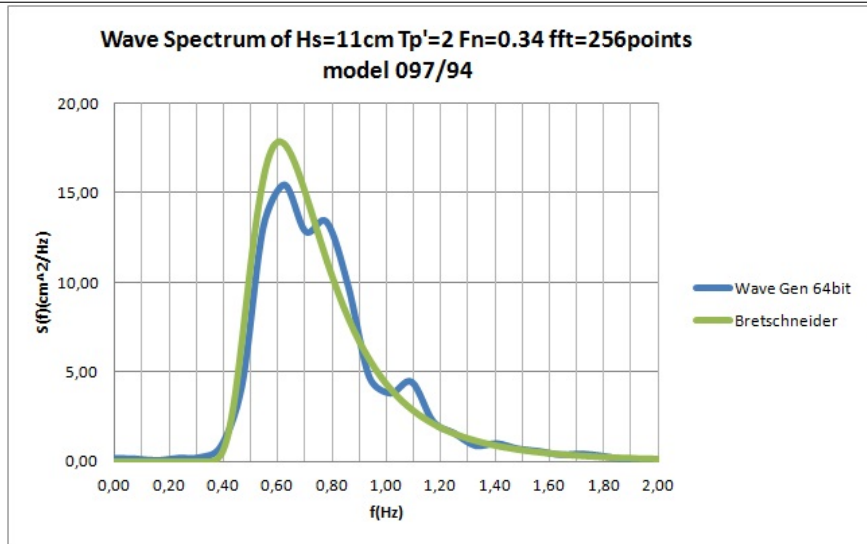


Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

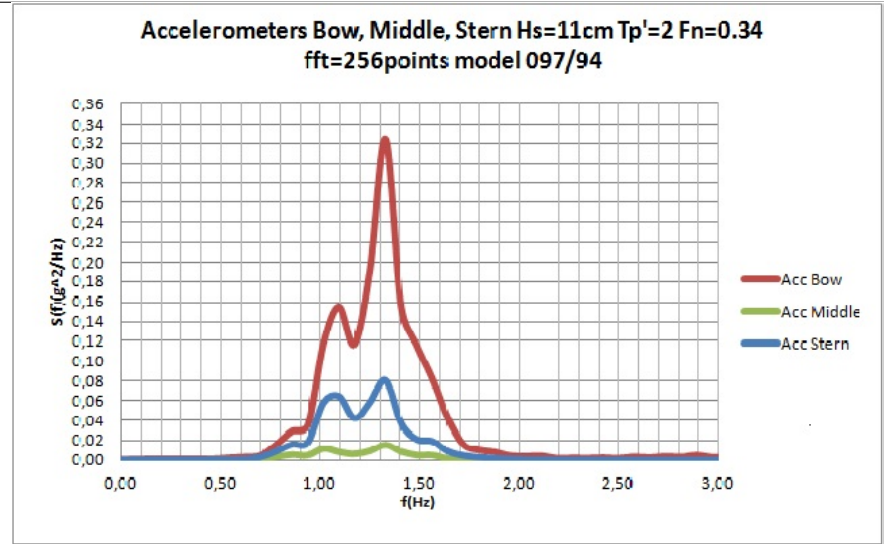


Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευταισμού(Pitch)

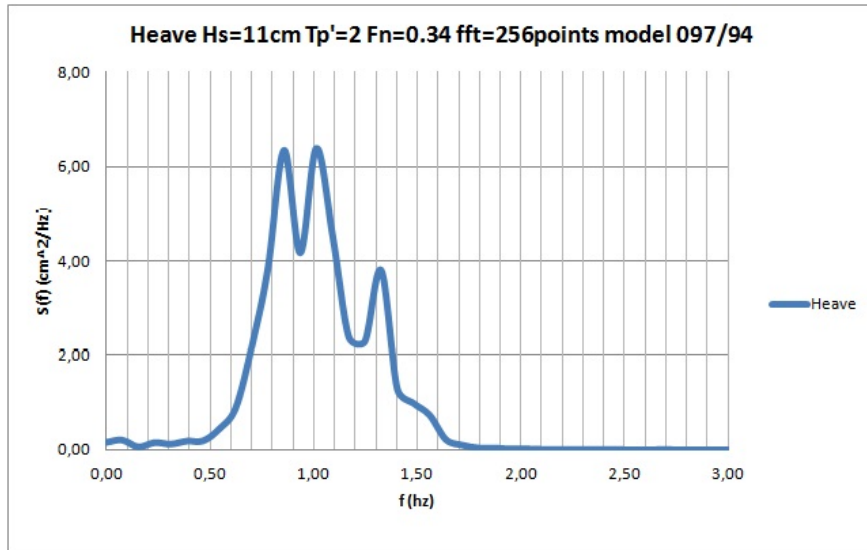
Πίνακας 4.4: Πρότυπο 097/94 : $F_n = 0.34 - \bar{H}_s = 11 - T_p' = 3.5$



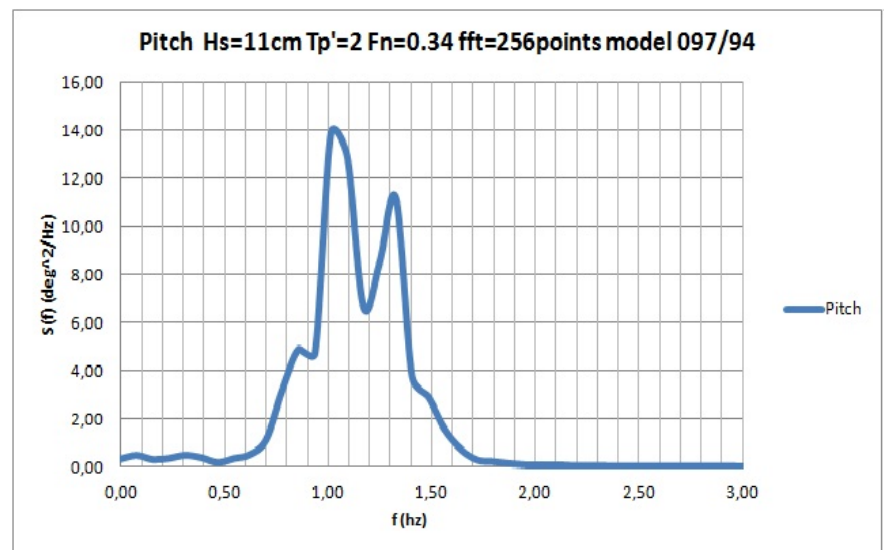
Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης

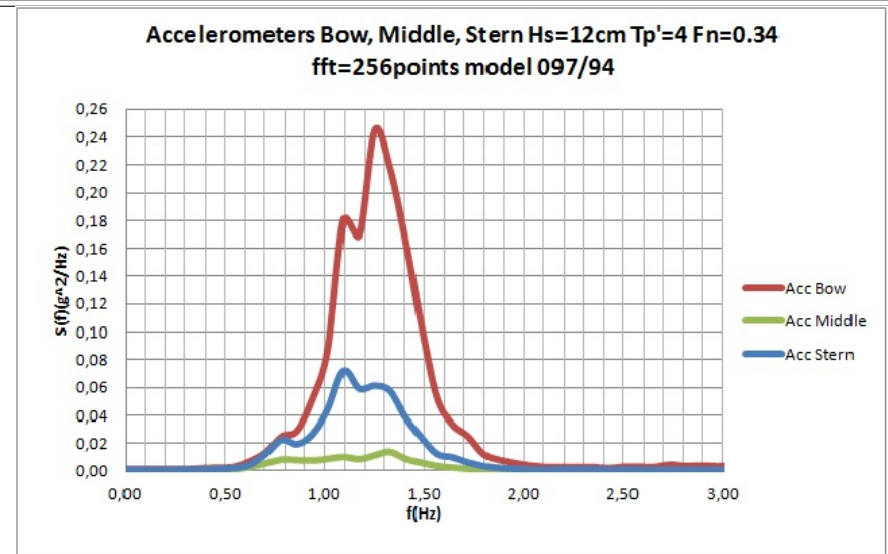
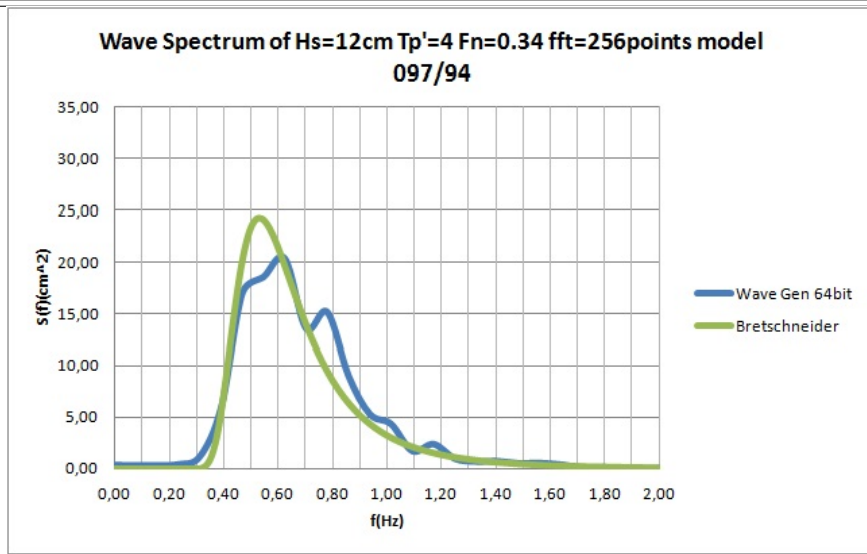


Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)



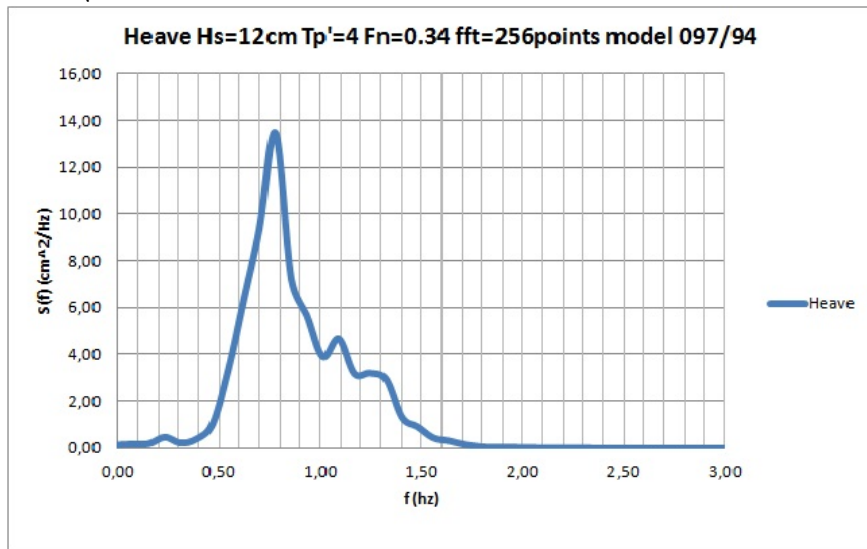
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.5: Πρότυπο 097/94 : $F_n = 0.34 - \bar{H}_s = 12 - T_p' = 4$

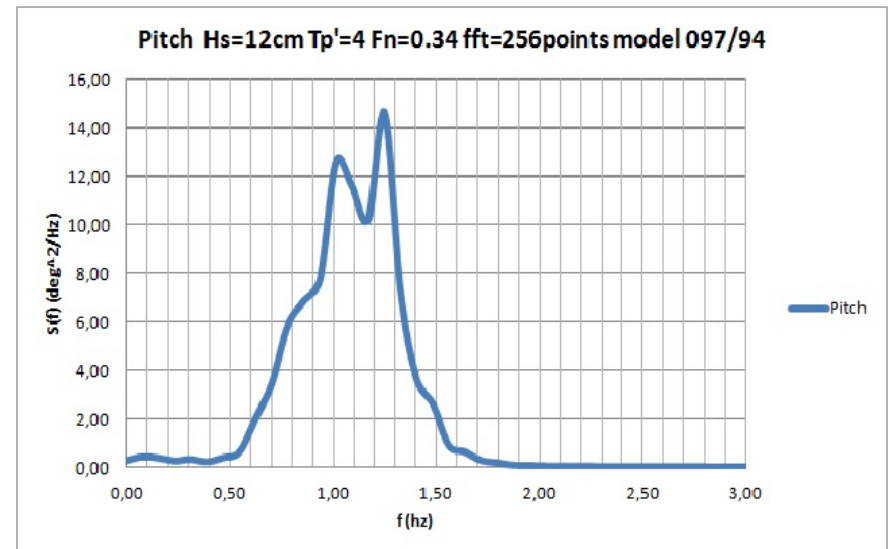


Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης

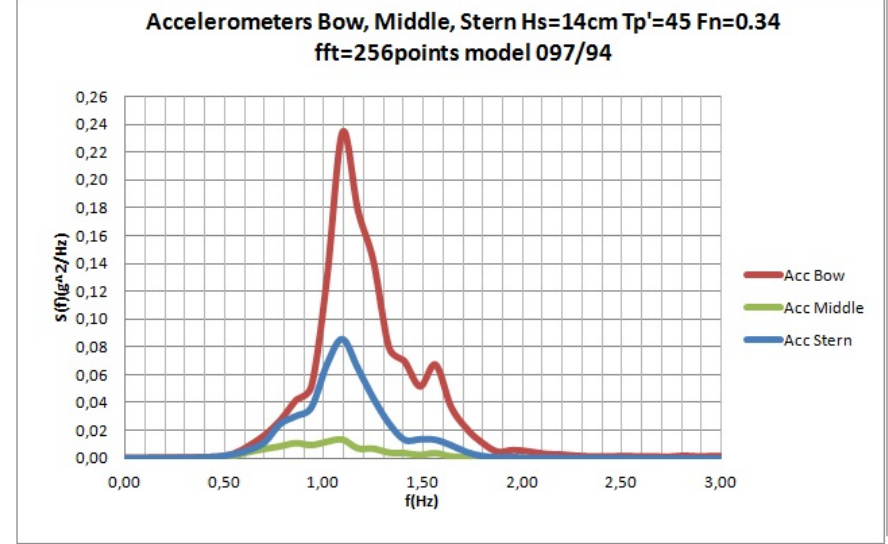
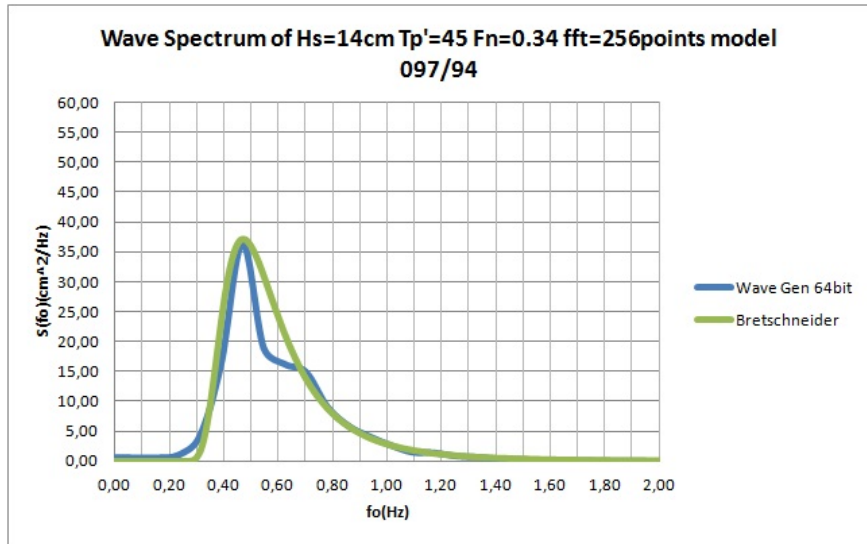


Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)



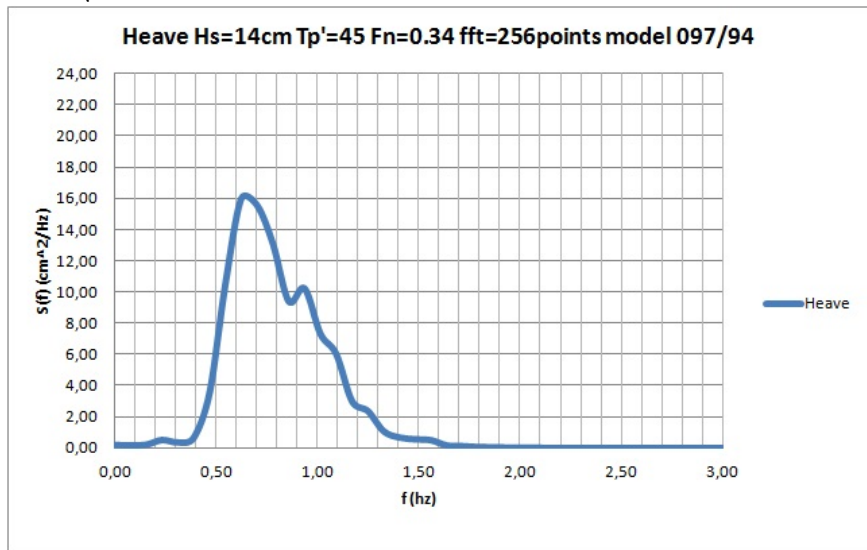
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.6: Πρότυπο 097/94 : $F_n = 0.34 - \bar{H}_s = 14 - T_p' = 4.5$

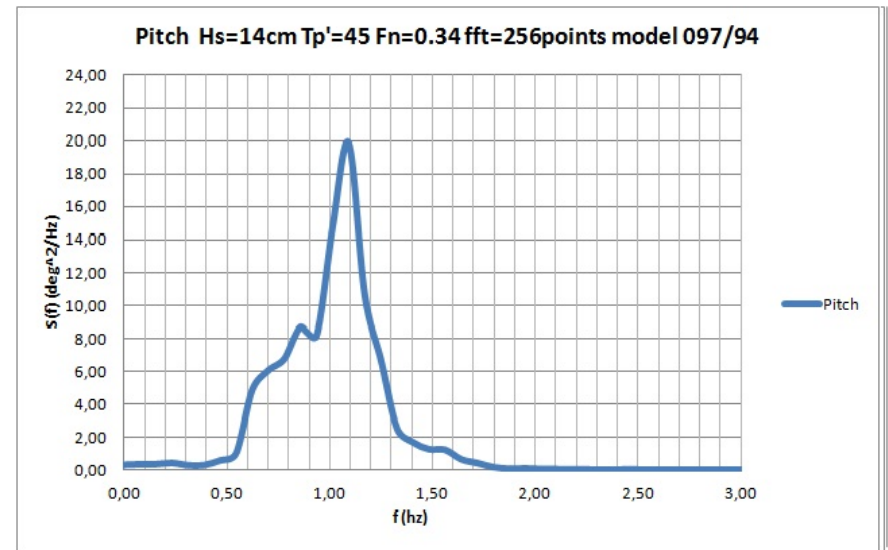


Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης

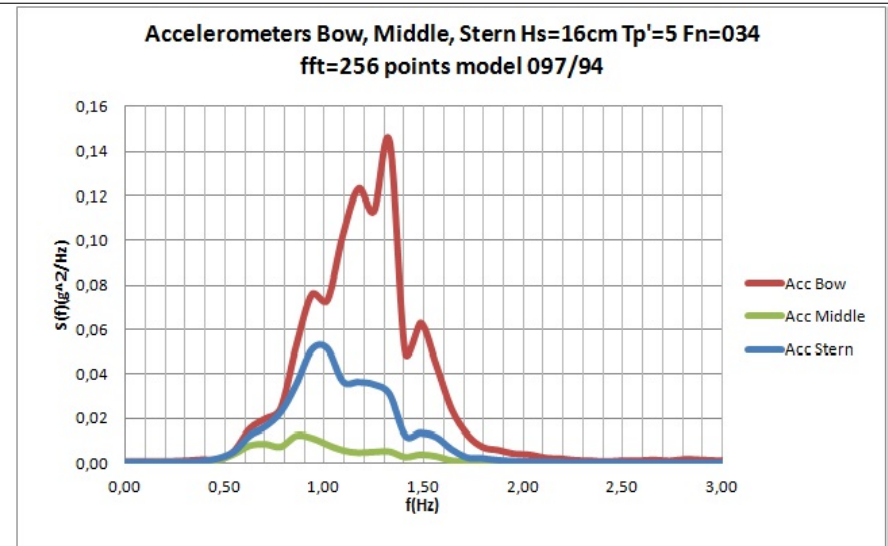
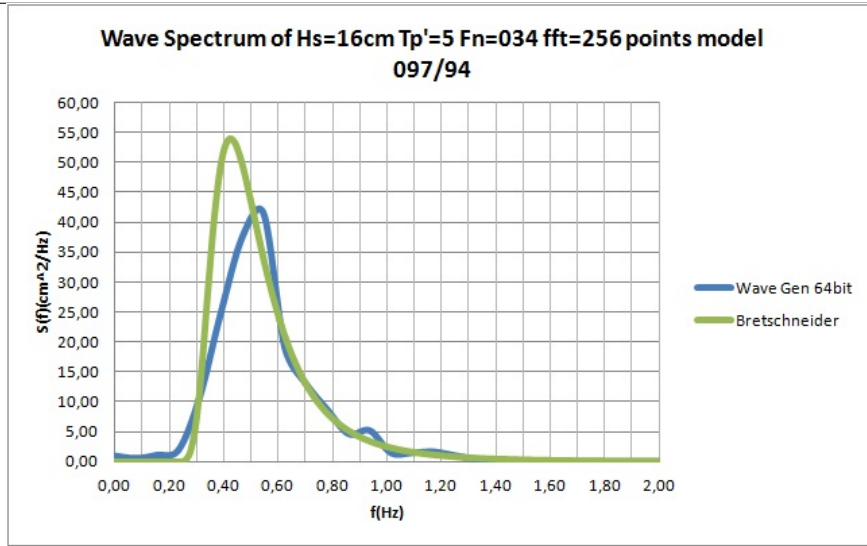


Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)



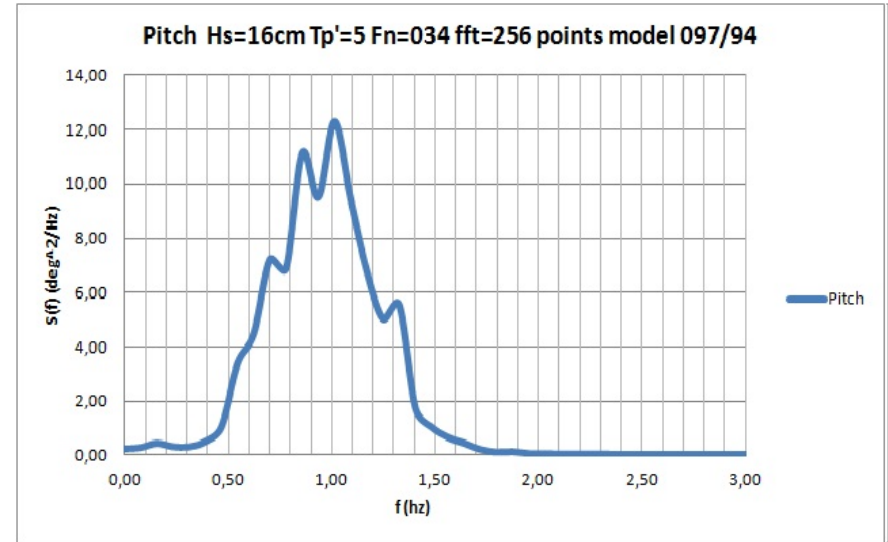
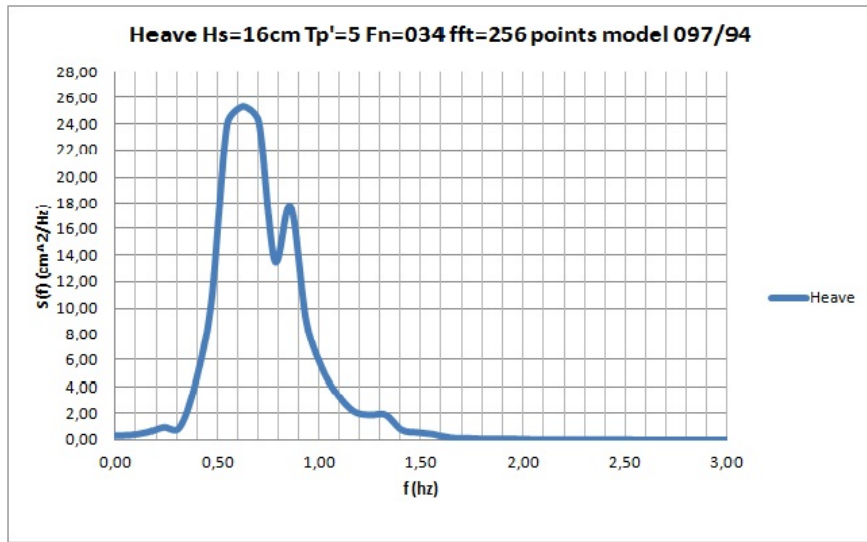
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.7: Πρότυπο 097/94 : $F_n = 0.34 - \bar{H}s = 16 - T_p' = 5$



Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

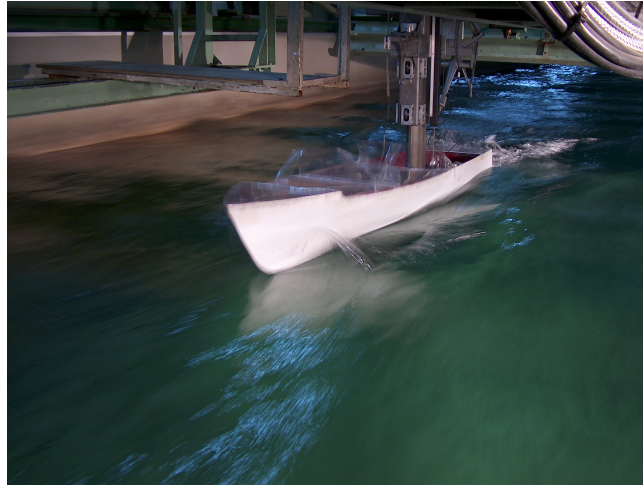
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

4.3.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ $F_n = 0.68$

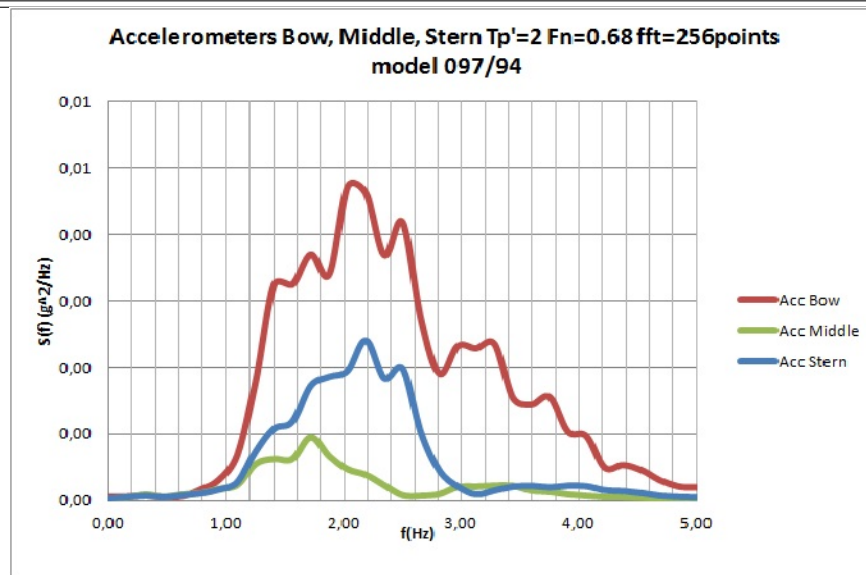
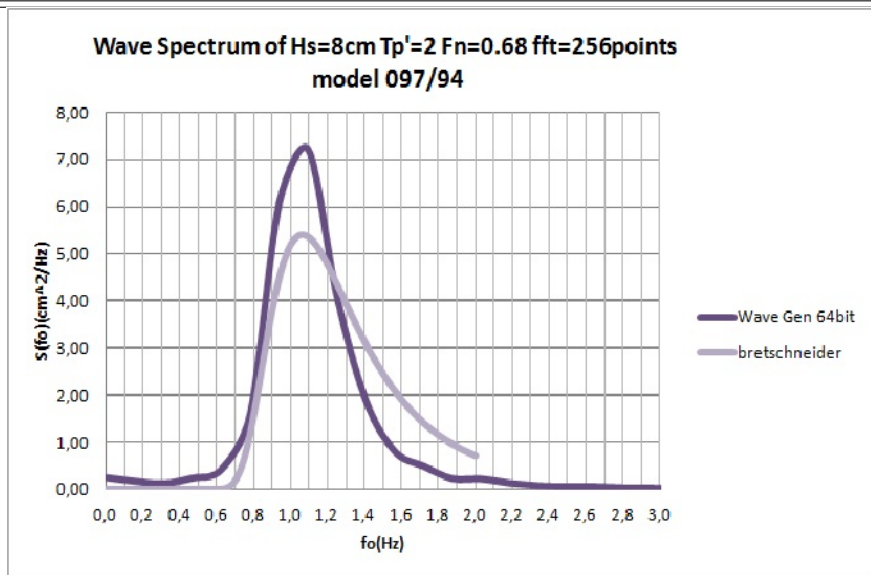


Σχήμα 4.3: Πρότυπο 097/94



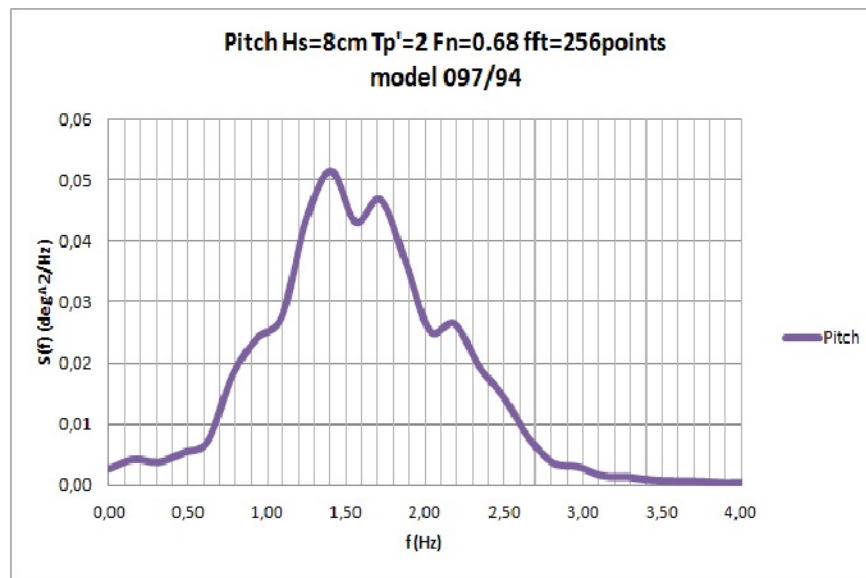
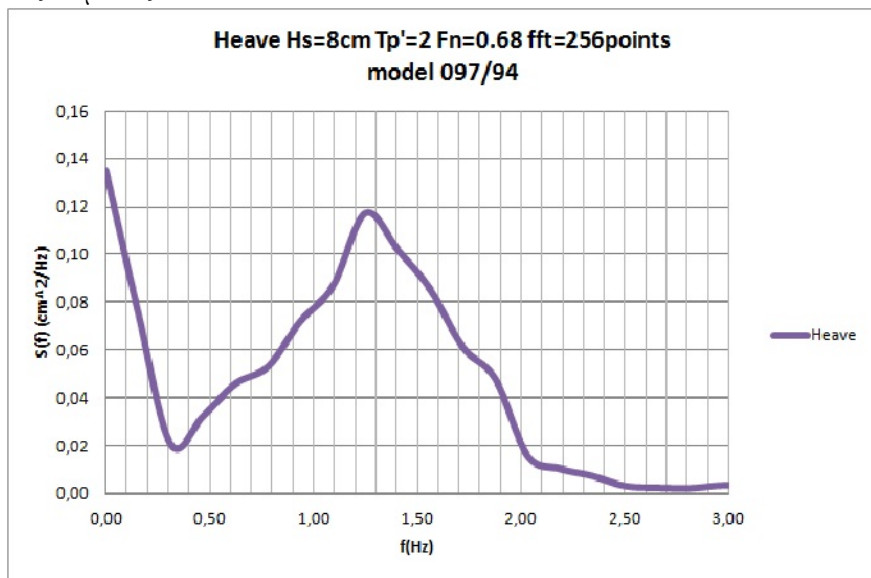
Σχήμα 4.4: Πρότυπο 097/94

Πίνακας 4.8: Πρότυπο 097/94 : $Fn = 0.68 - \bar{H}_s = 8 - Tp' = 2$



49 Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

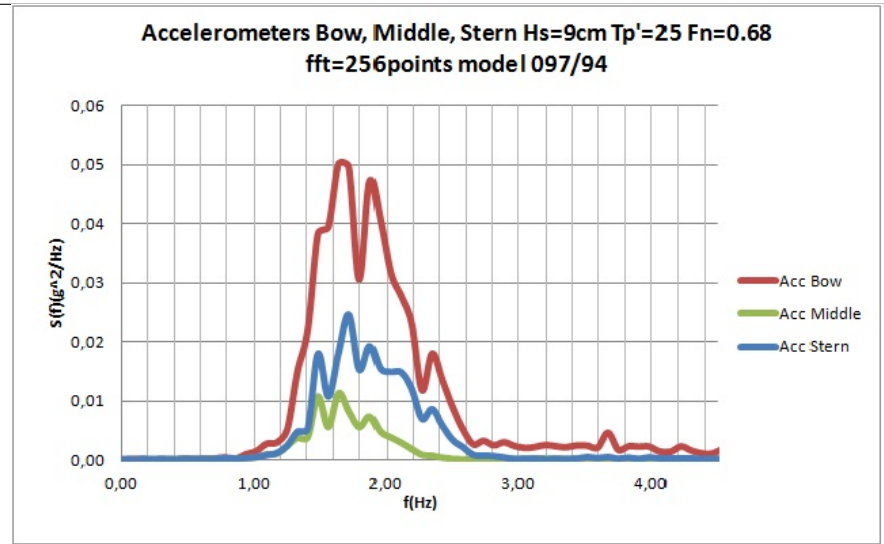
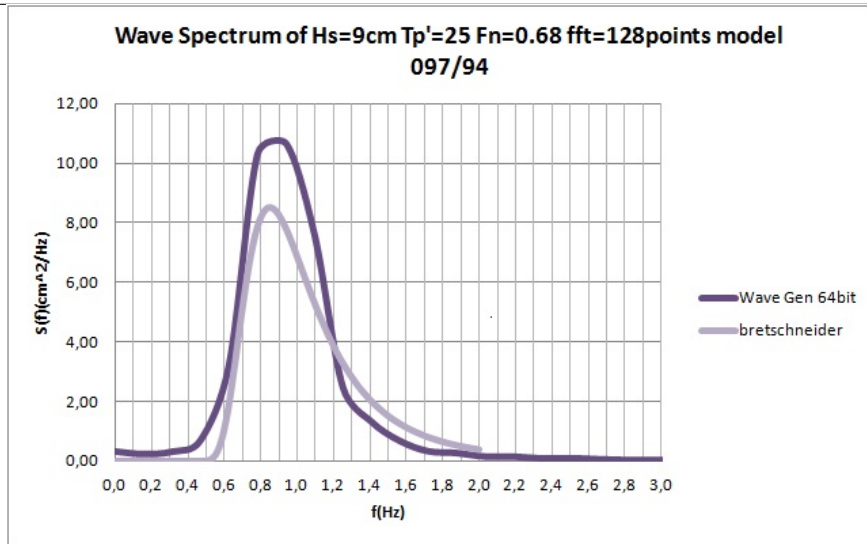
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

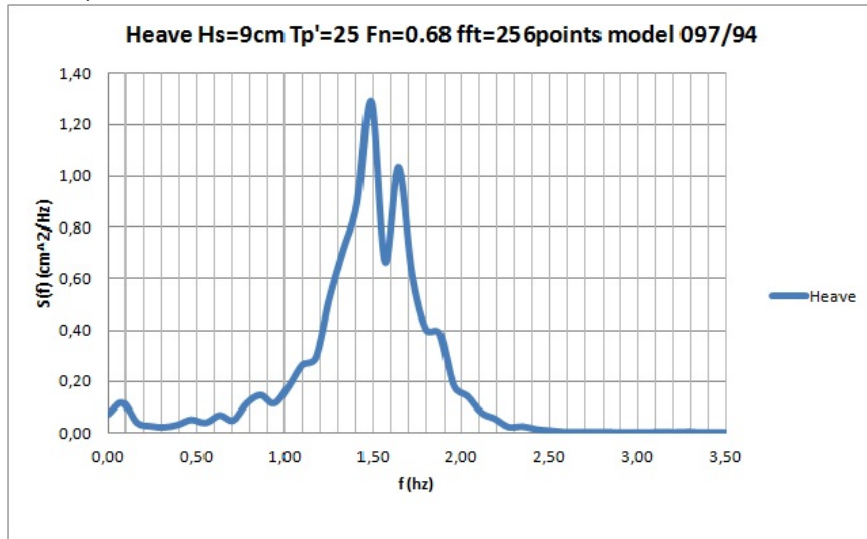
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.9: Πρότυπο 097/94 : $F_n = 0.68 - \bar{H}s = 9 - T_p' = 2.5$

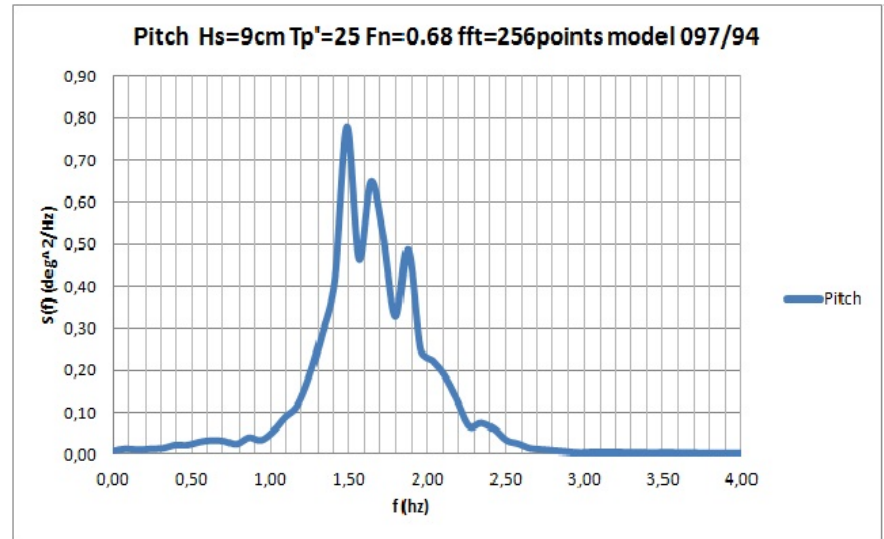


Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης

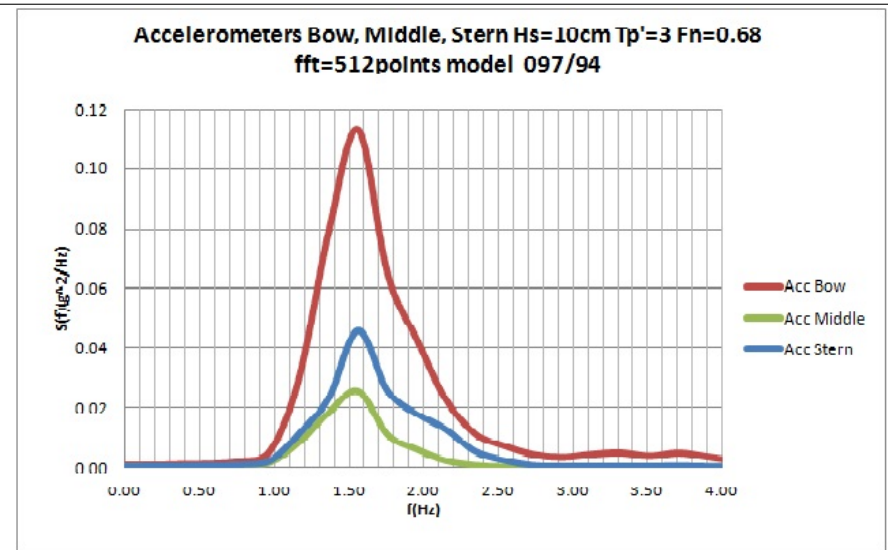
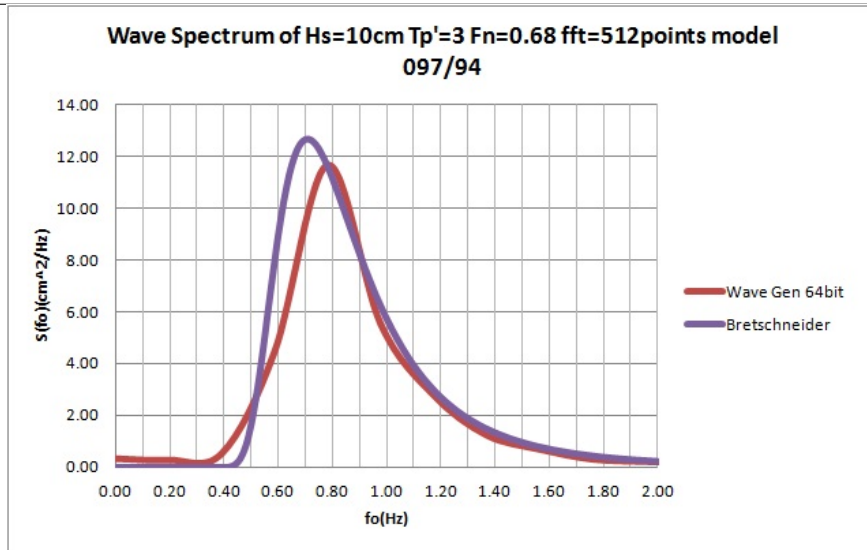


Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)



Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευσισμού(Pitch)

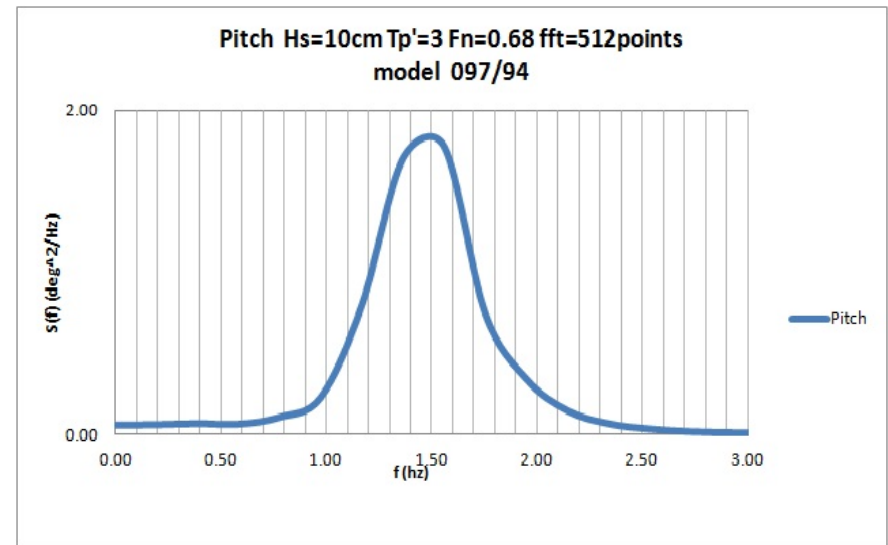
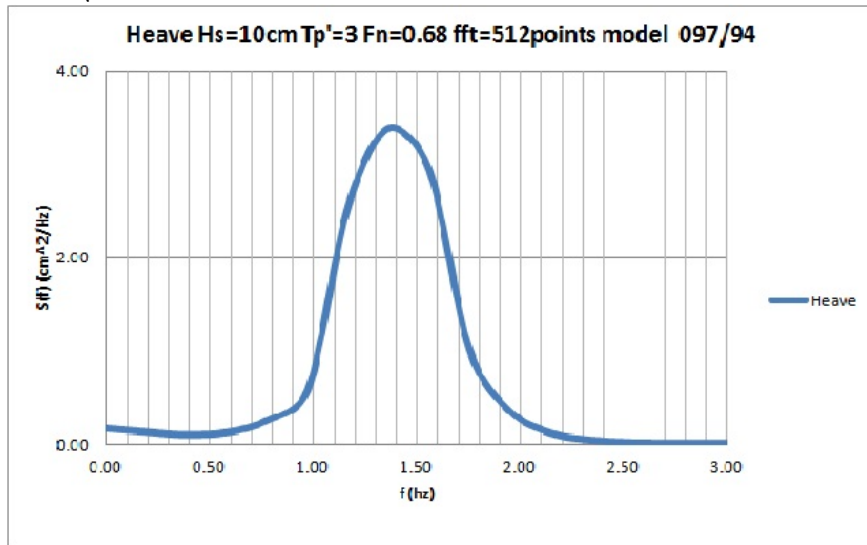
Πίνακας 4.10: Πρότυπο 097/94 : $F_n = 0.68 - \bar{H}_s = 10 - T_p' = 3$



15

Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

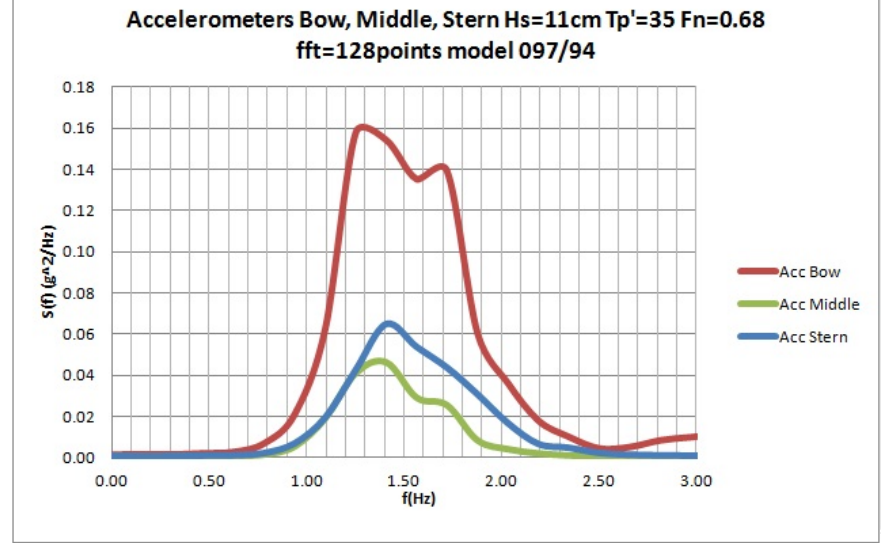
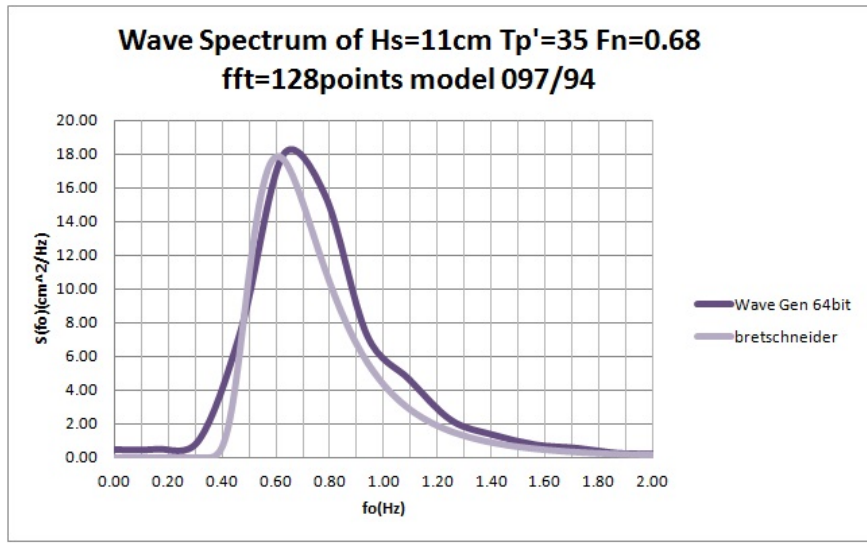
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

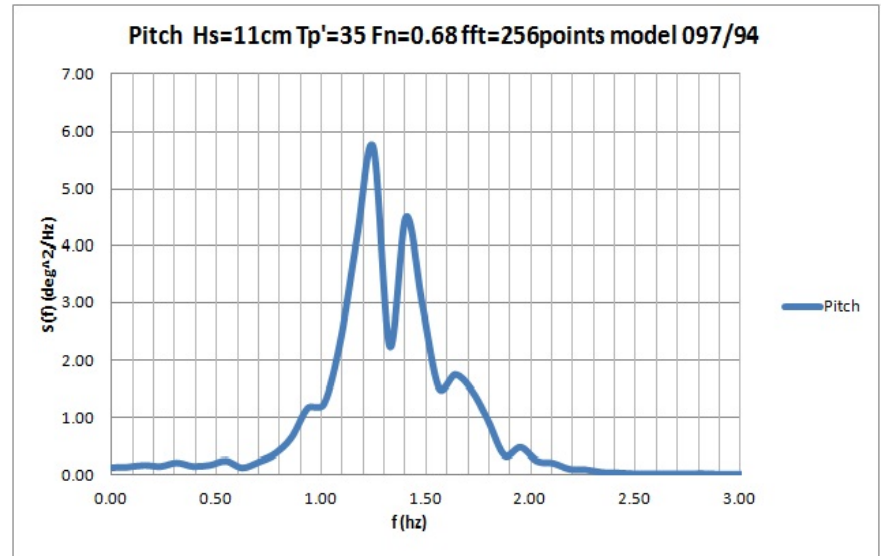
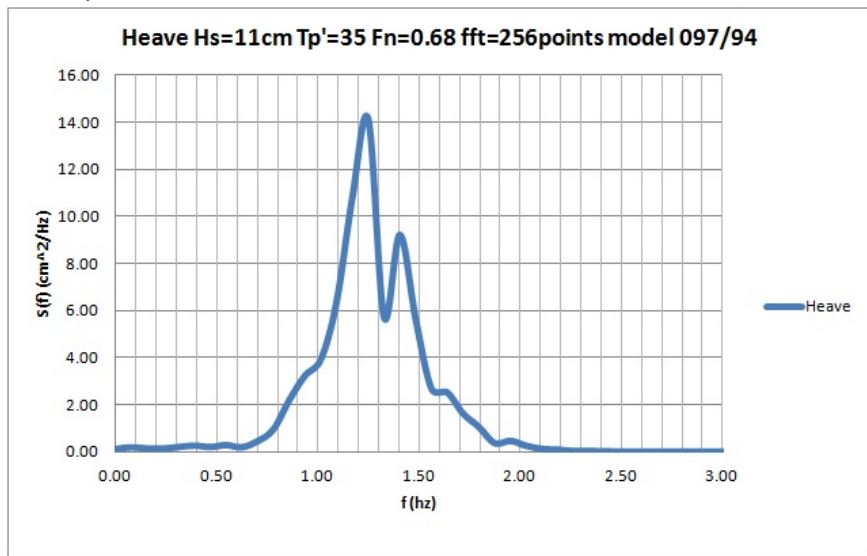
Πίνακας 4.11: Πρότυπο 097/94 : $F_n = 0.68 - \bar{H}_s = 11 - T_p' = 3.5$



52

Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

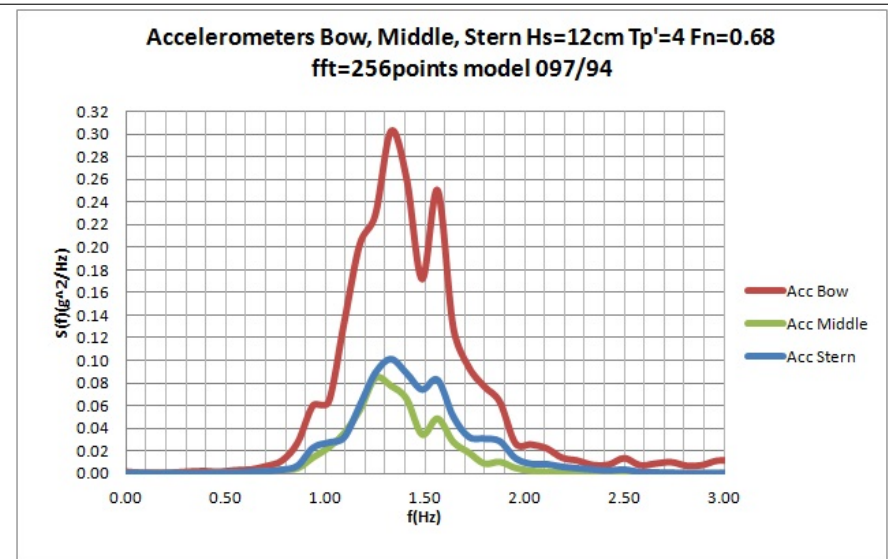
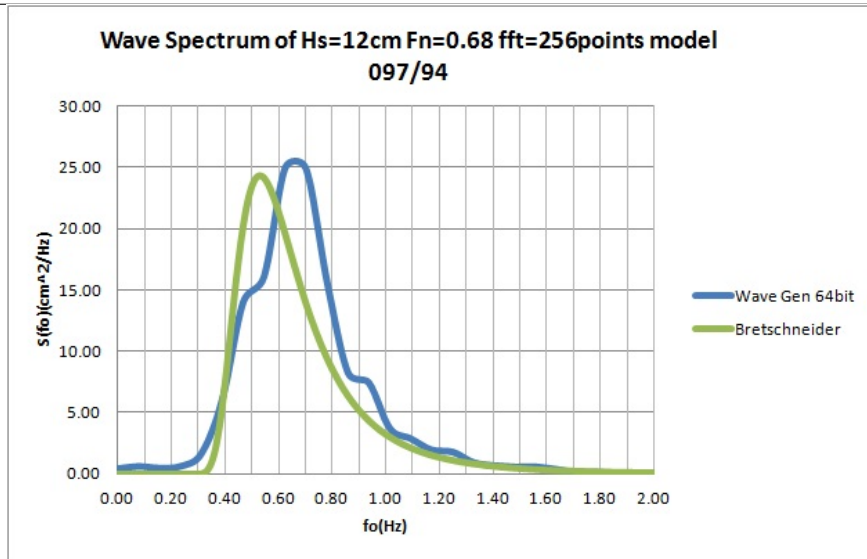
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

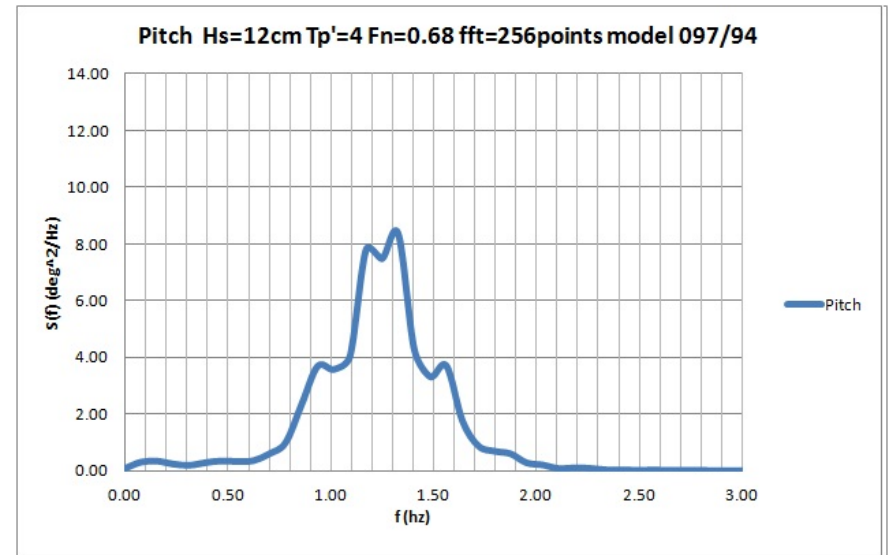
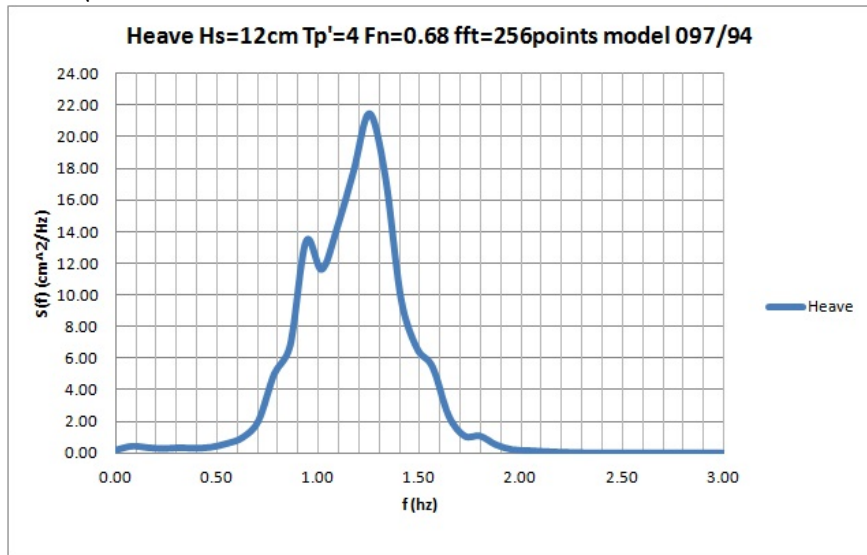
Πίνακας 4.12: Πρότυπο 097/94 : $Fn = 0.68 - \bar{H}s = 12 - Tp' = 4$



53

Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

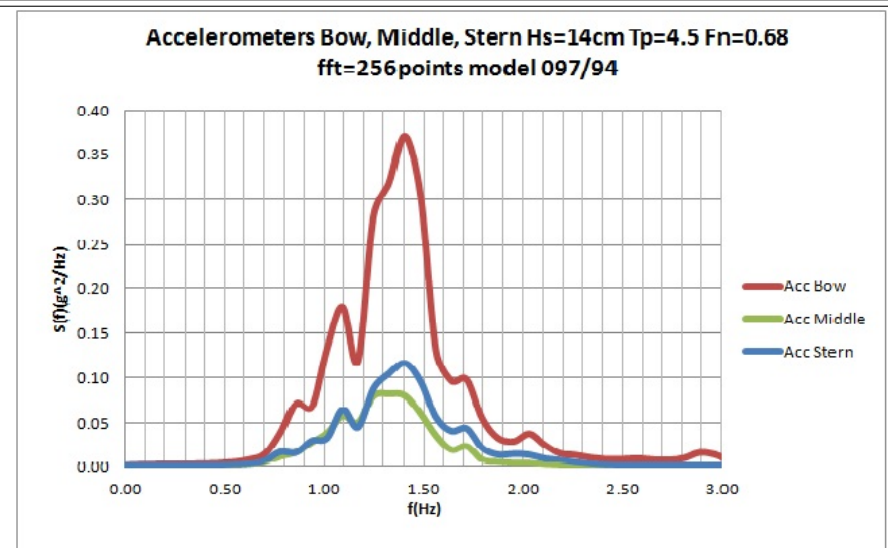
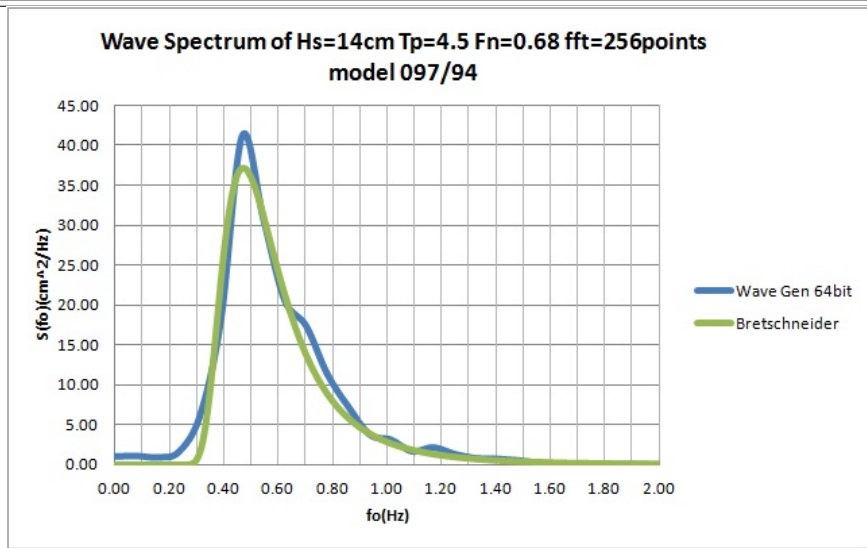
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

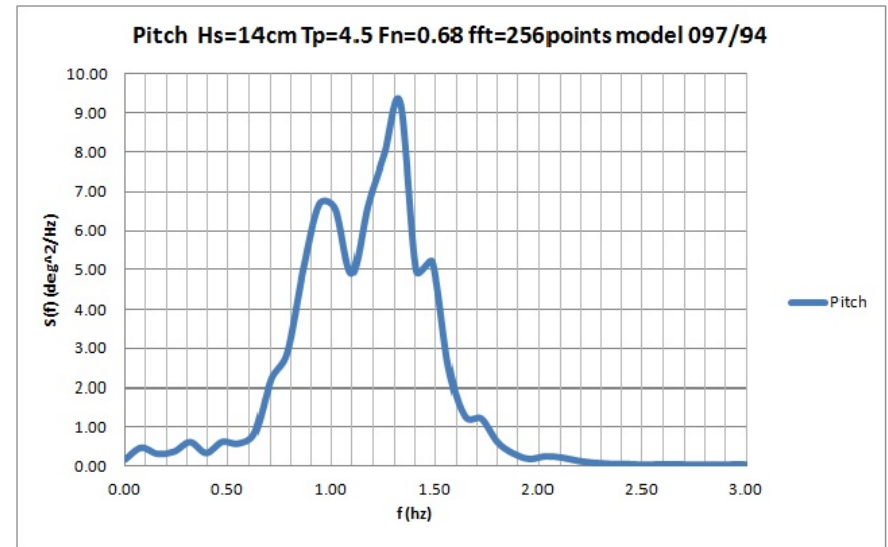
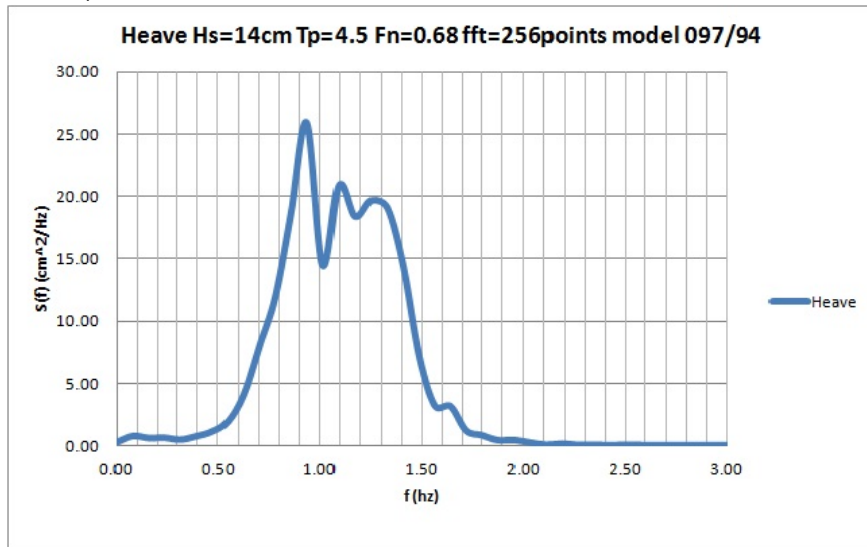
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.13: Πρότυπο 097/94 : $F_n = 0.68 - \bar{H}_s = 14 - T_p' = 4.5$



Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

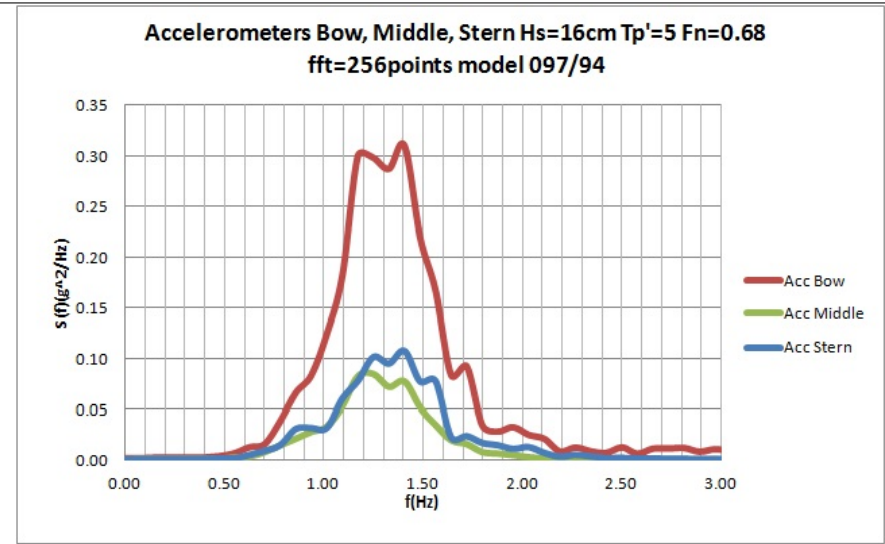
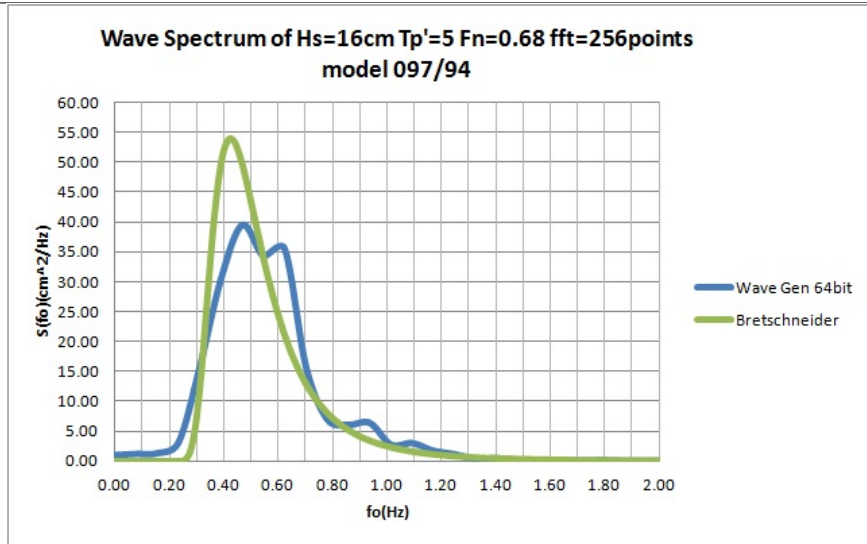
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

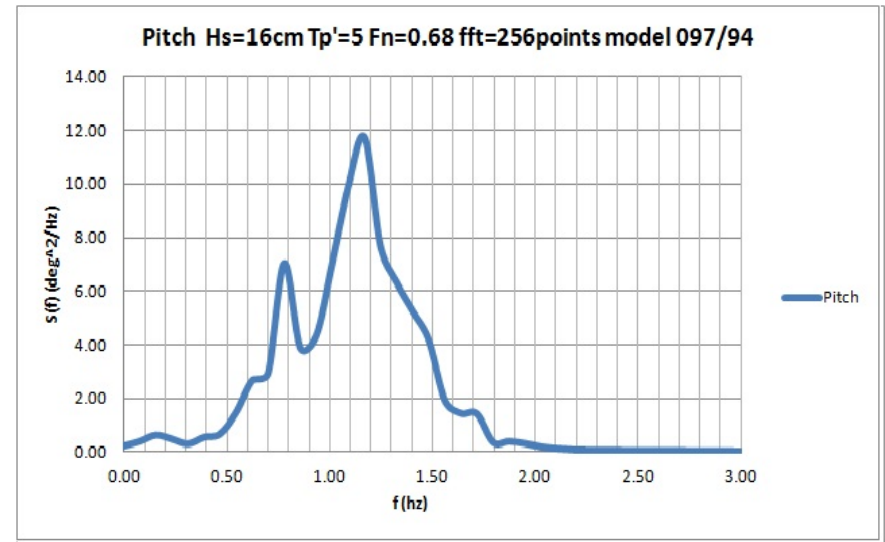
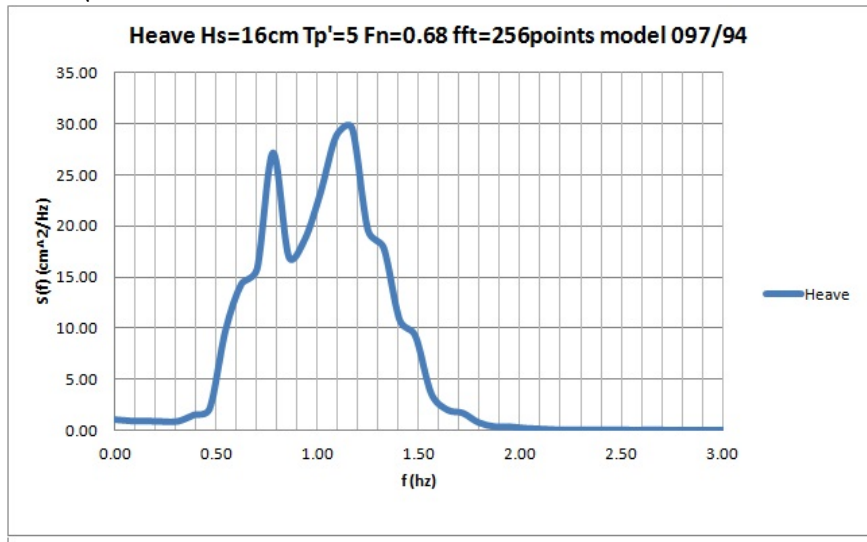
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.14: Πρότυπο 097/94 : $Fn = 0.68 - \bar{H}s = 16 - Tp' = 5$



Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 116/96

4.4.1 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - $F_n=0.38$

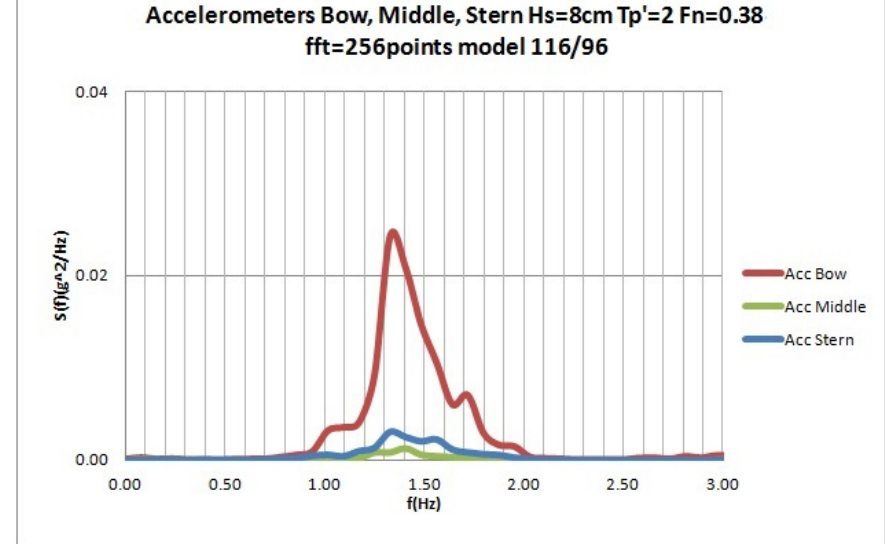
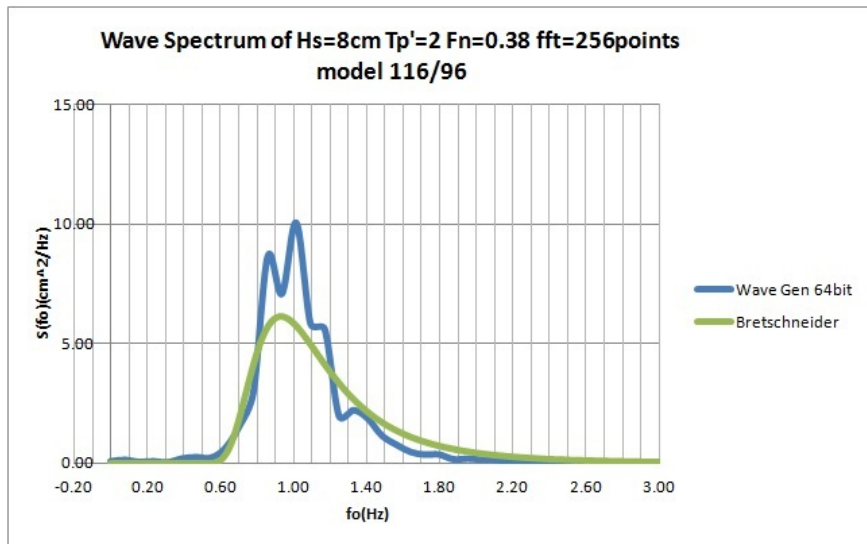


Σχήμα 4.5: Πρότυπο 116/96



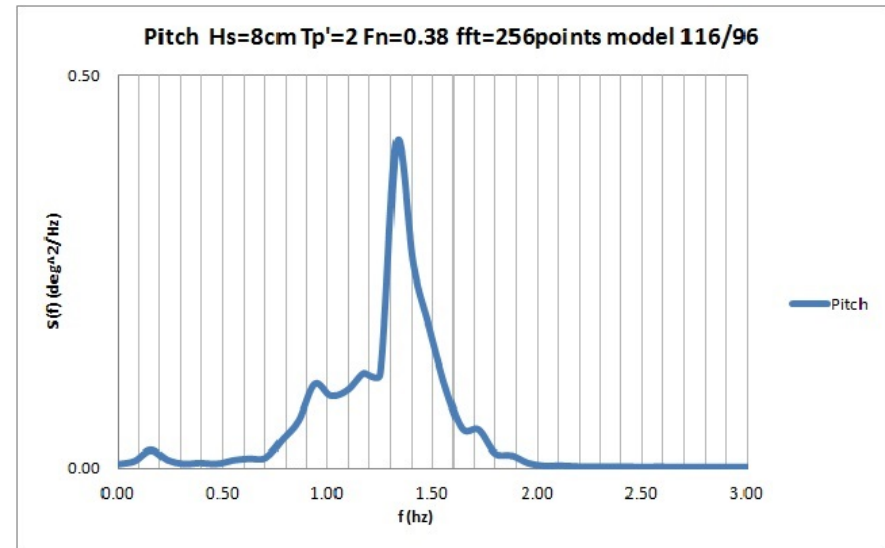
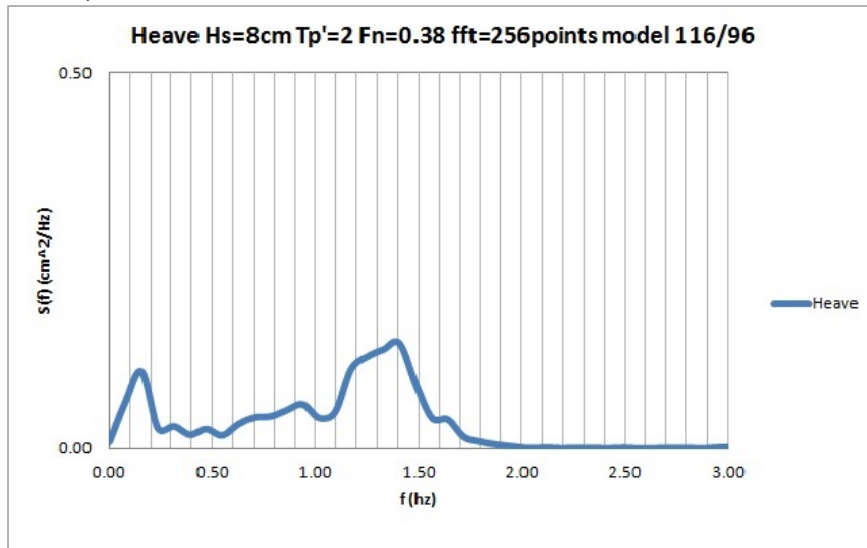
Σχήμα 4.6: Πρότυπο 116/96

Πίνακας 4.15: Πρότυπο 116/96 : $F_n = 0.38 - \bar{H}s = 8 - Tp' = 2$



57 Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

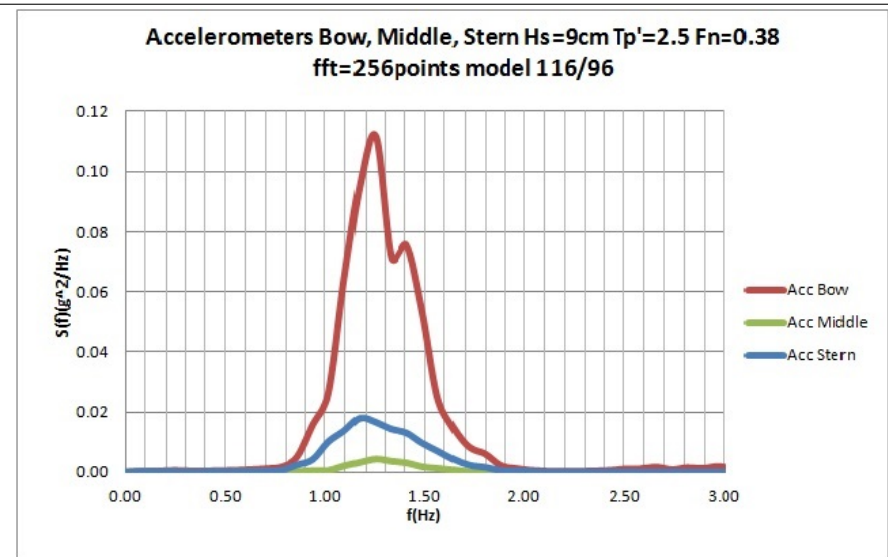
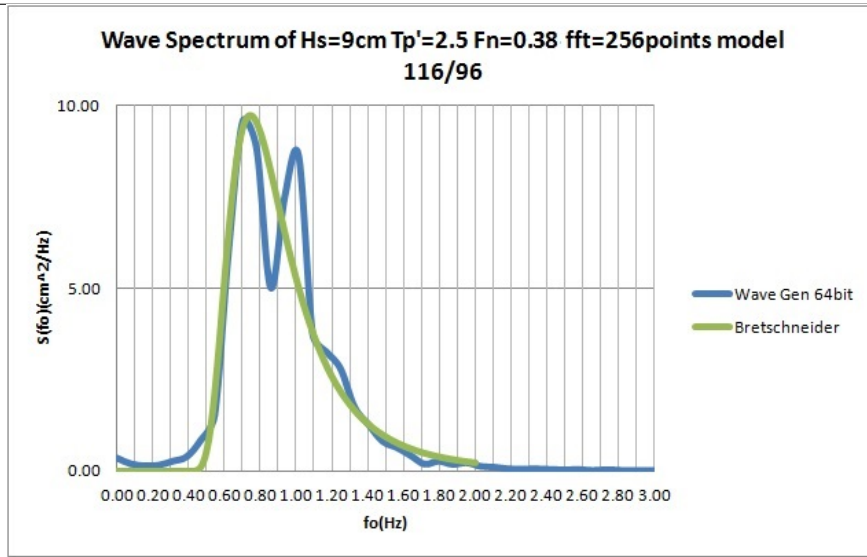
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

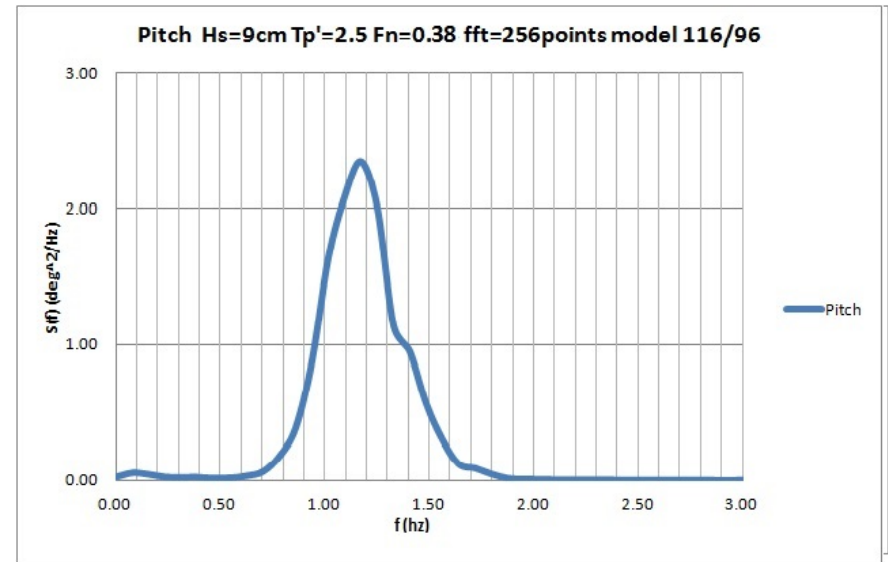
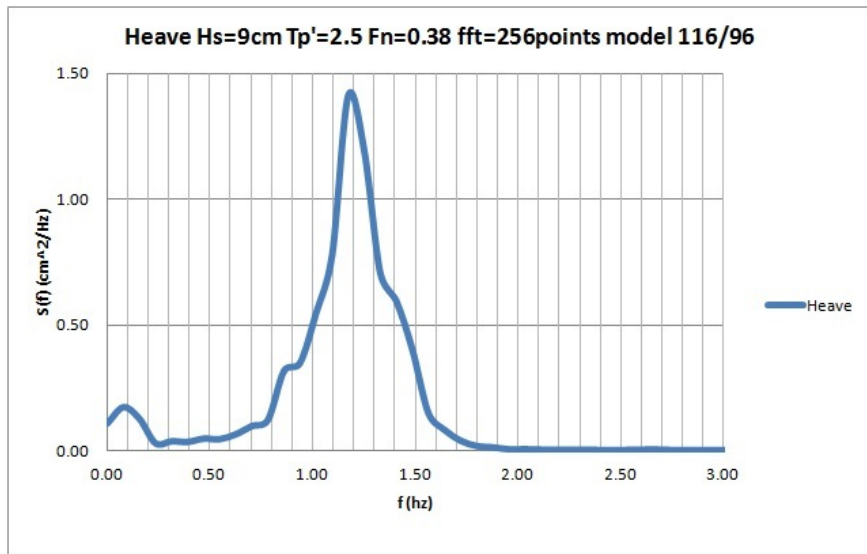
Πίνακας 4.16: Πρότυπο 116/96 : $F_n = 0.38 - \bar{H}_s = 9 - T_p' = 2.5$



85

Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

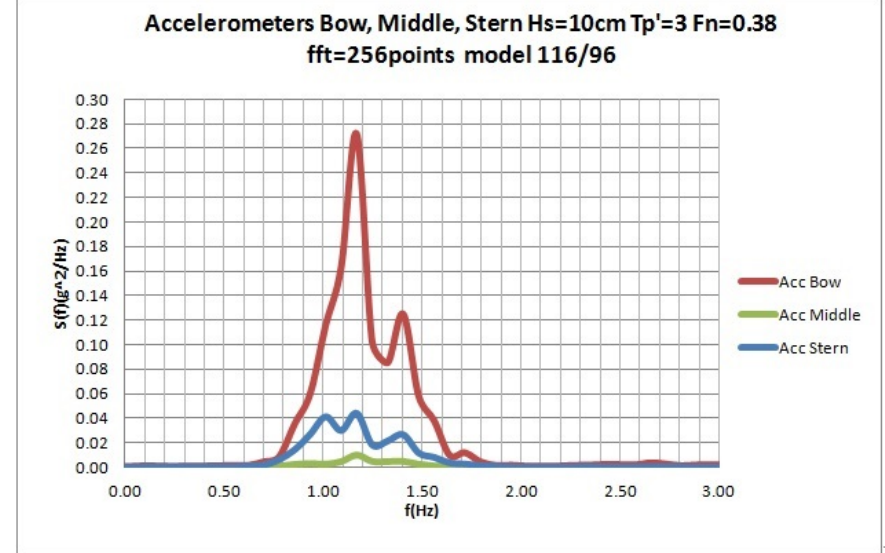
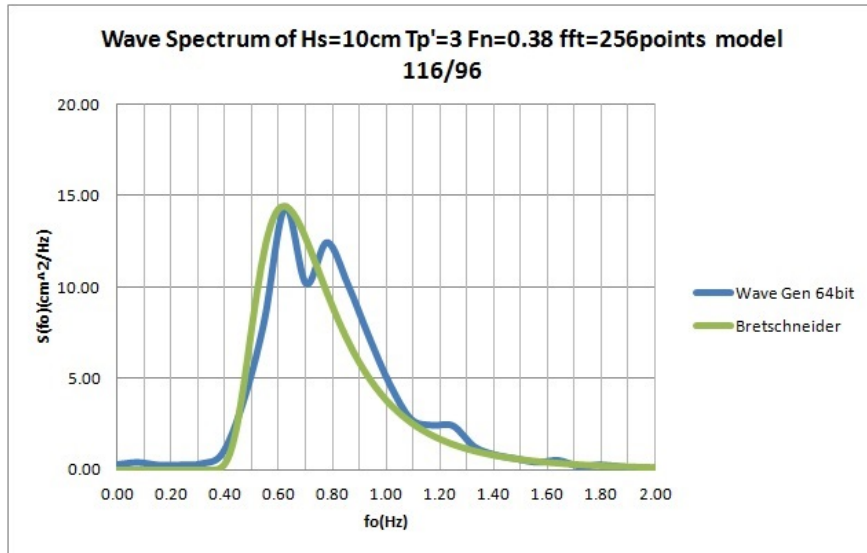
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

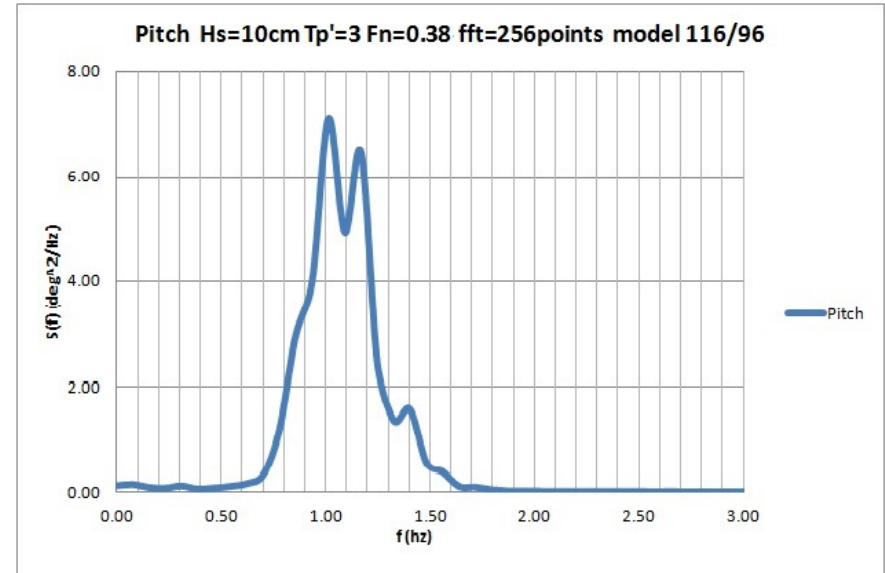
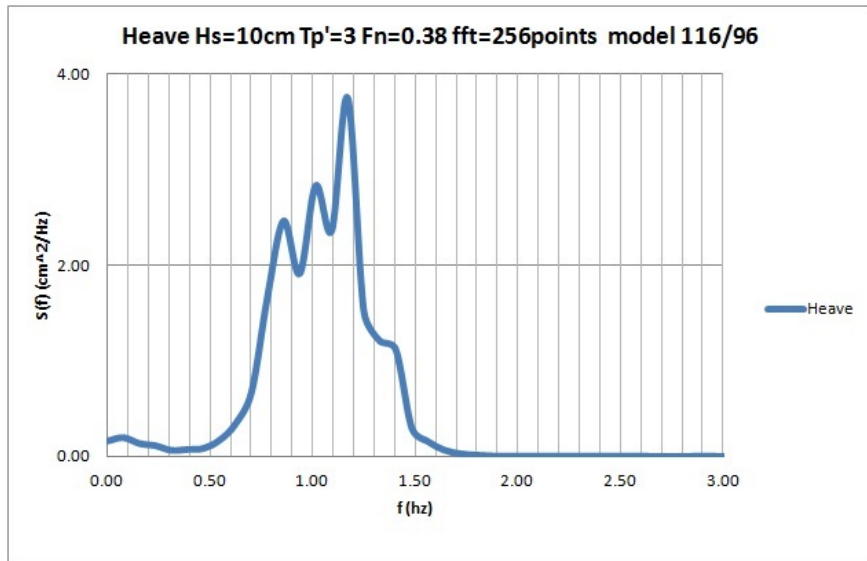
Πίνακας 4.17: Πρότυπο 116/96 : $Fn = 0.38 - \bar{H}s = 10 - Tp' = 3$



69

Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

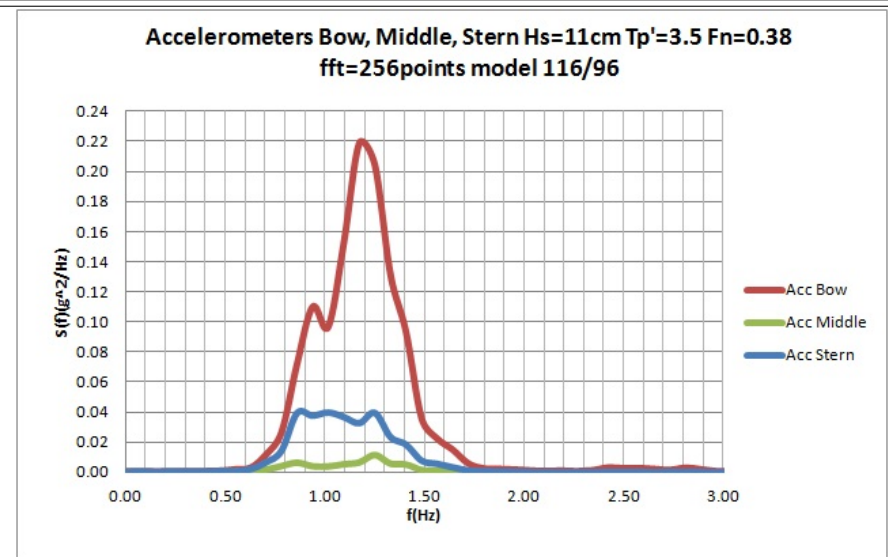
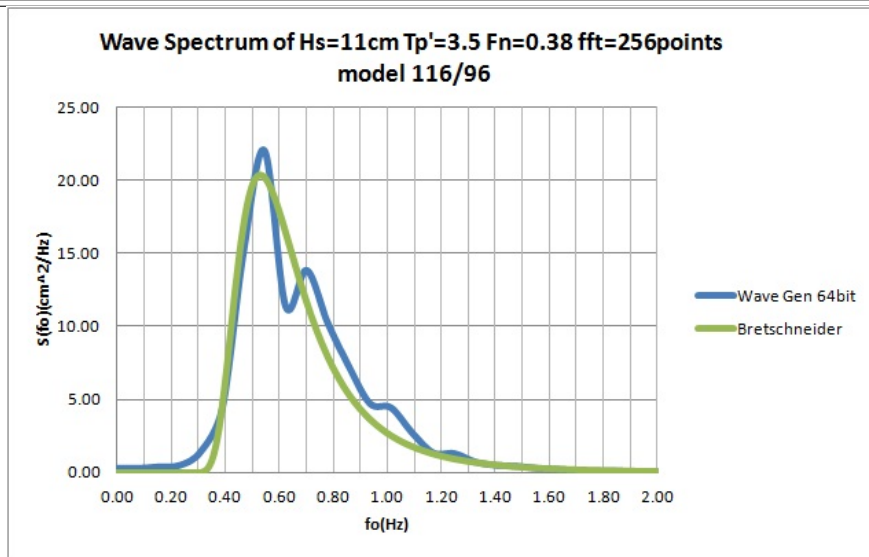
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

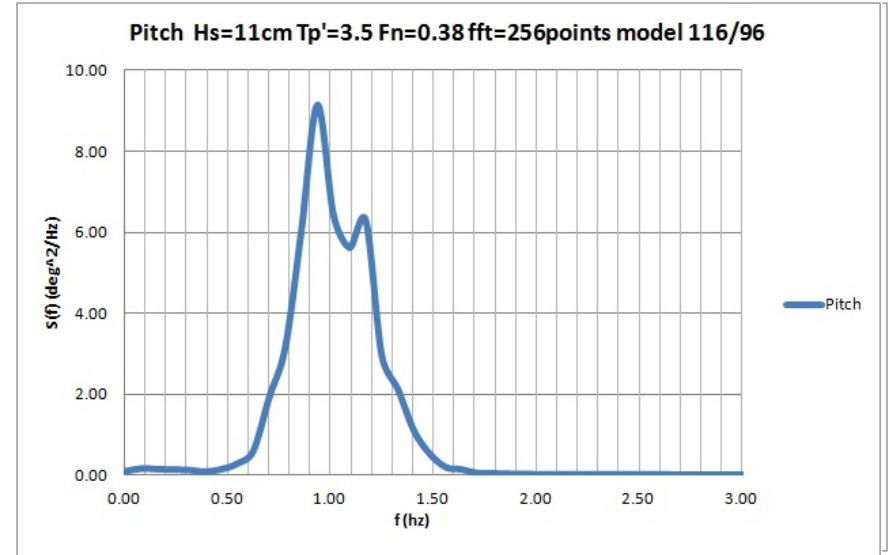
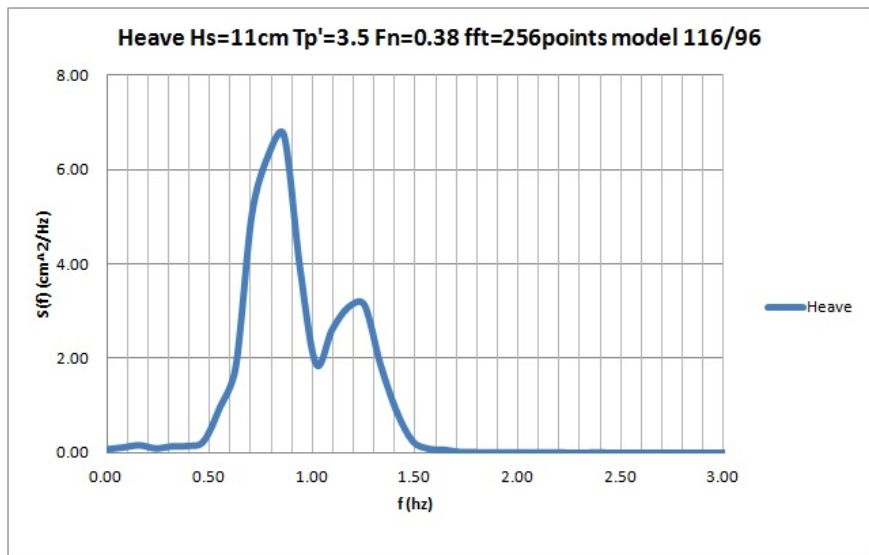
Πίνακας 4.18: Πρότυπο 116/96 : $F_n = 0.38 - \bar{H}s = 11 - Tp' = 3.5$



69

Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

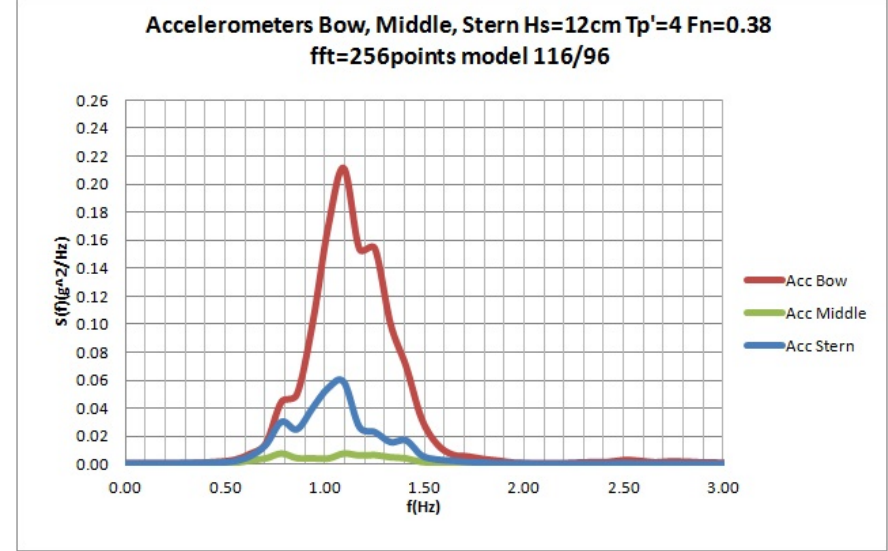
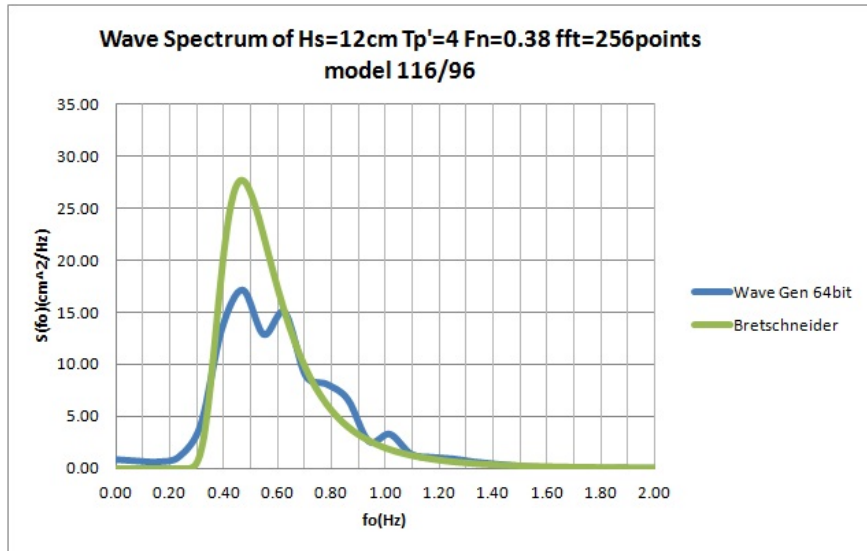
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

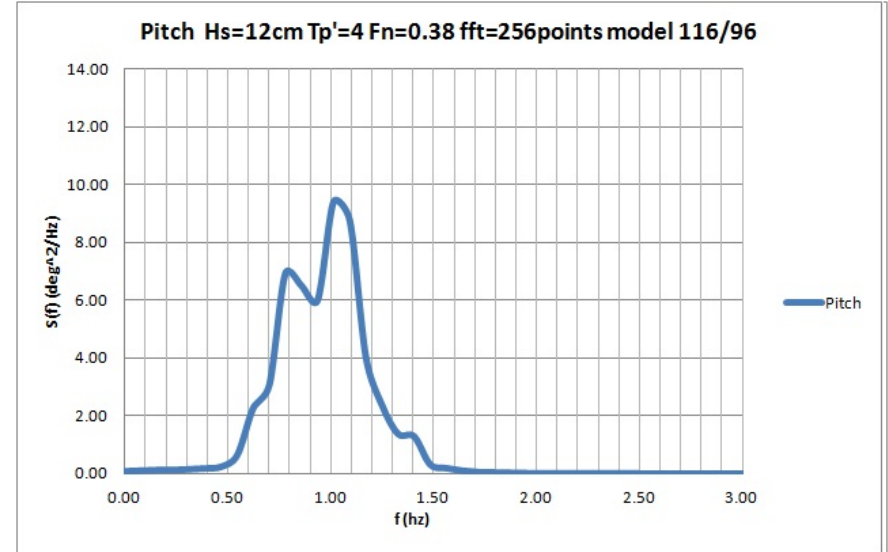
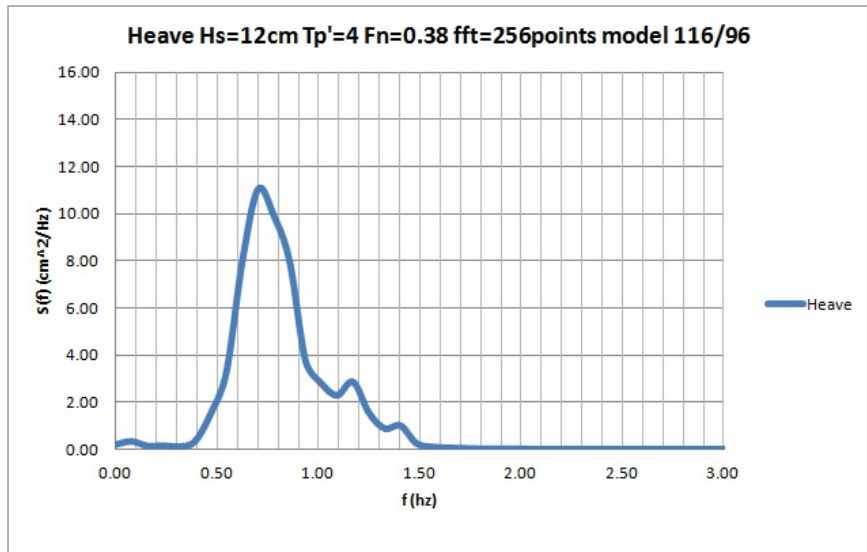
Πίνακας 4.19: Πρότυπο 116/96 : $Fn = 0.38 - \bar{H}s = 12 - Tp' = 4$



19

Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

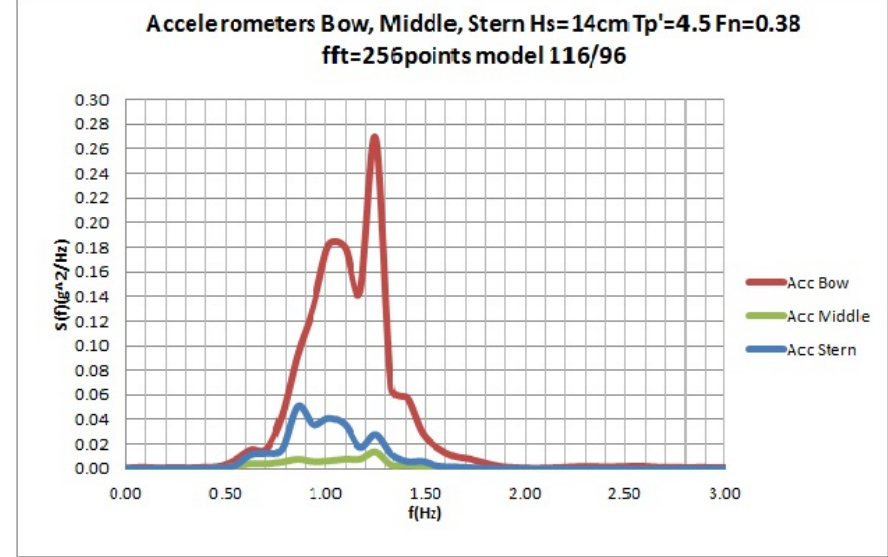
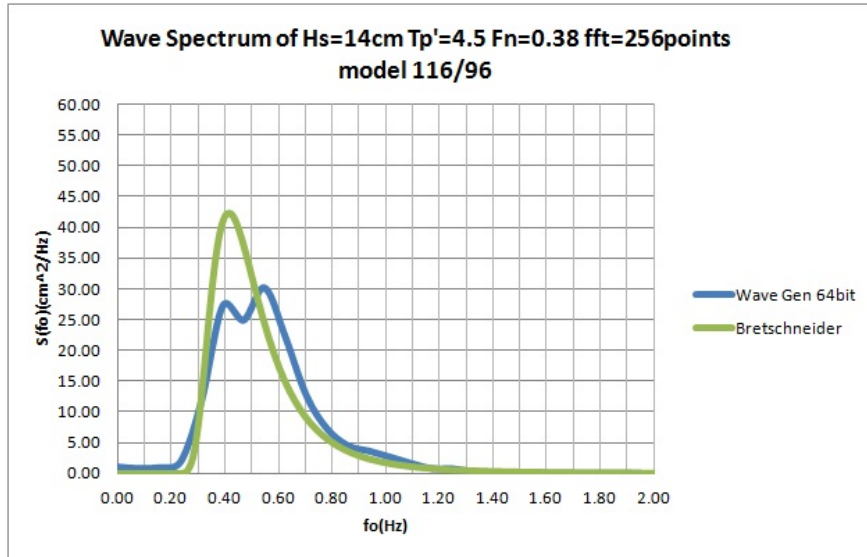
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

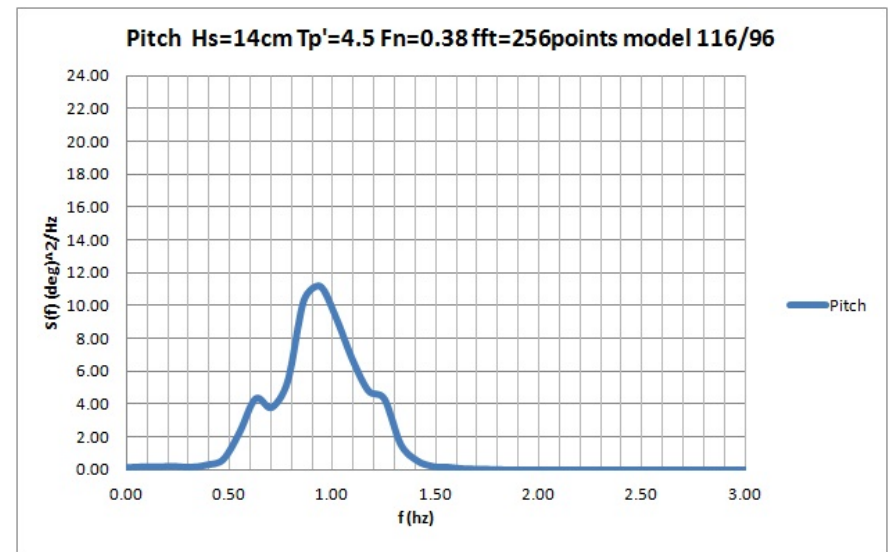
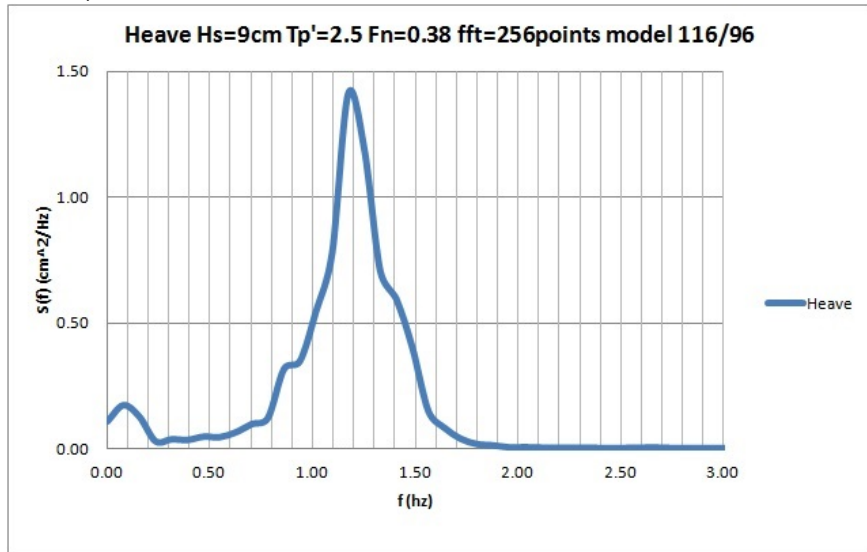
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.20: Πρότυπο 116/96 : $F_n = 0.38 - \bar{H}_s = 14 - T_p' = 4.5$



Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

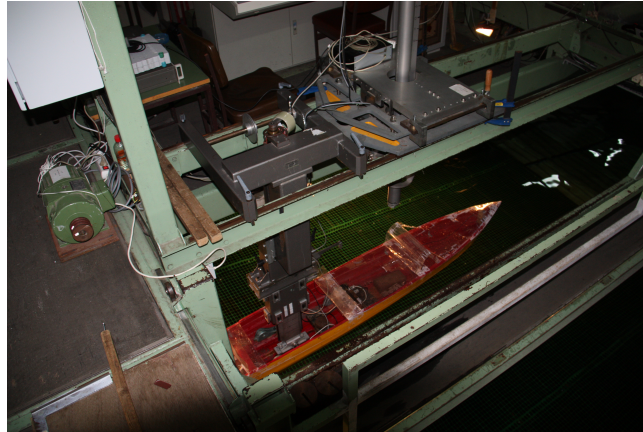
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

4.4.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - $F_n=0.76$

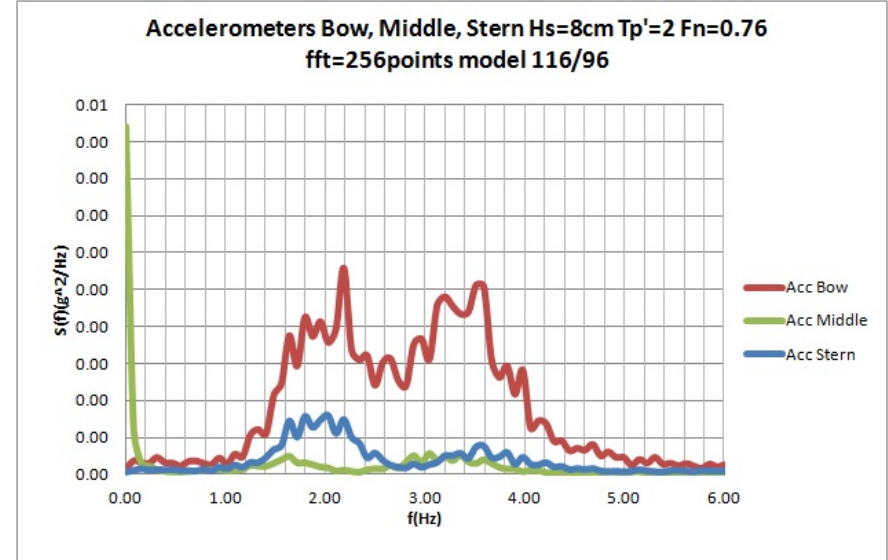
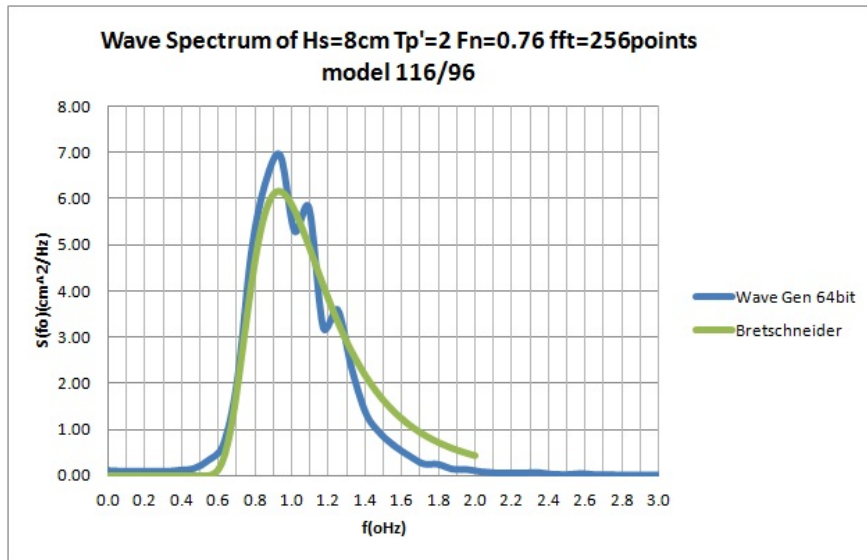


Σχήμα 4.7: Πρότυπο 116/96



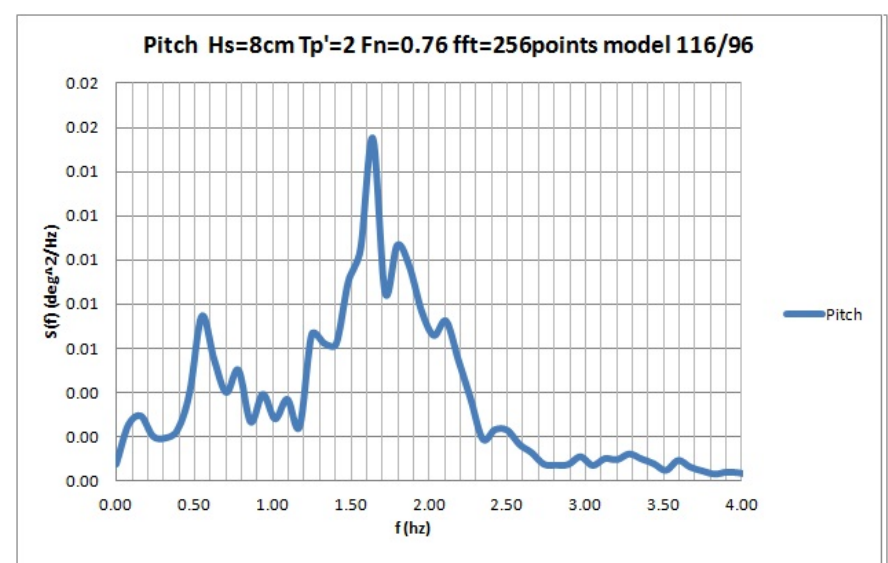
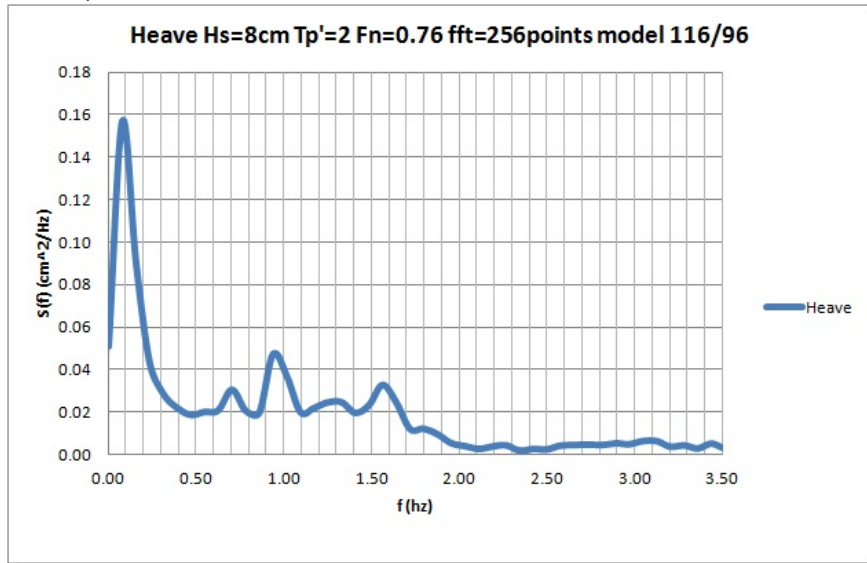
Σχήμα 4.8: Δεξαμενή Πειραμάτων

Πίνακας 4.21: Πρότυπο 116/96 : $F_n = 0.76 - \bar{H}_s = 8 - T_p' = 2$



64 Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

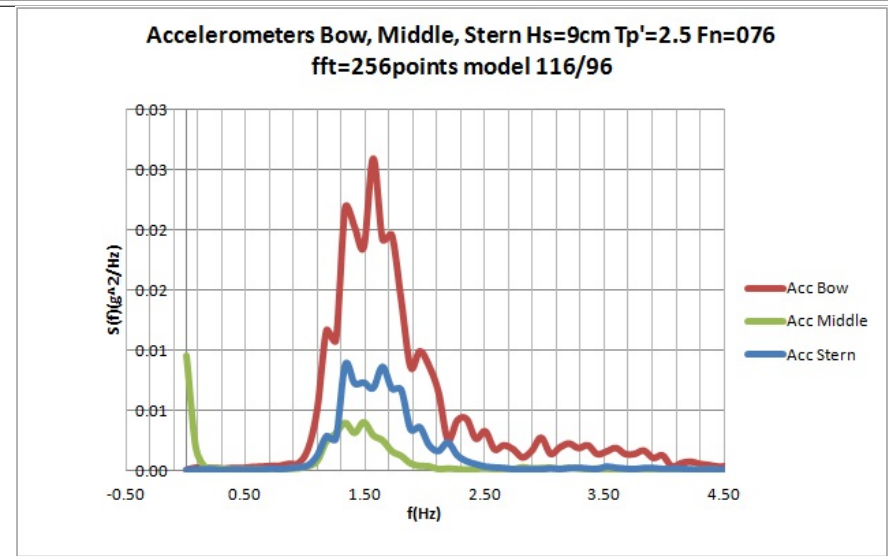
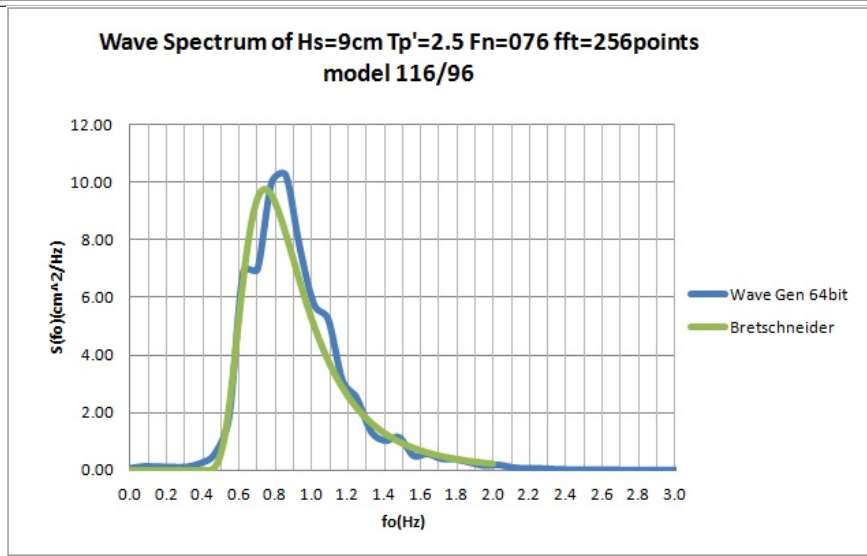
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

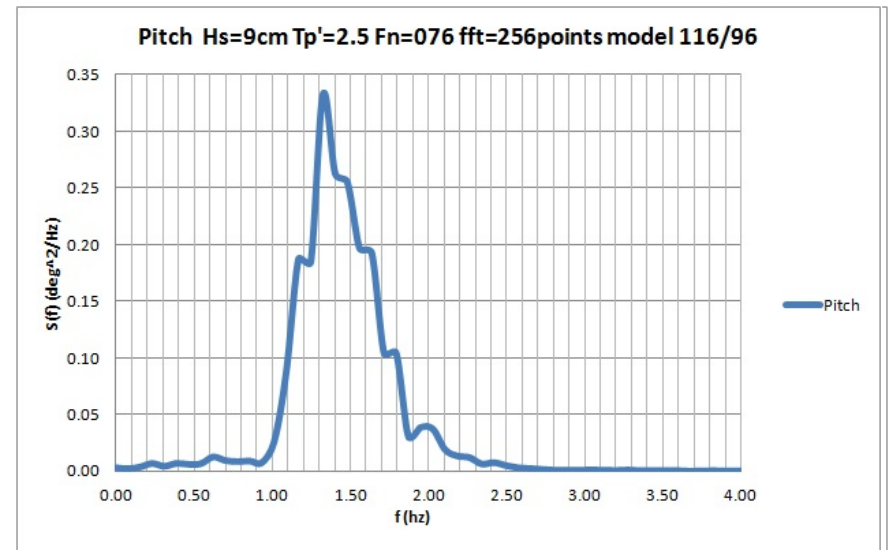
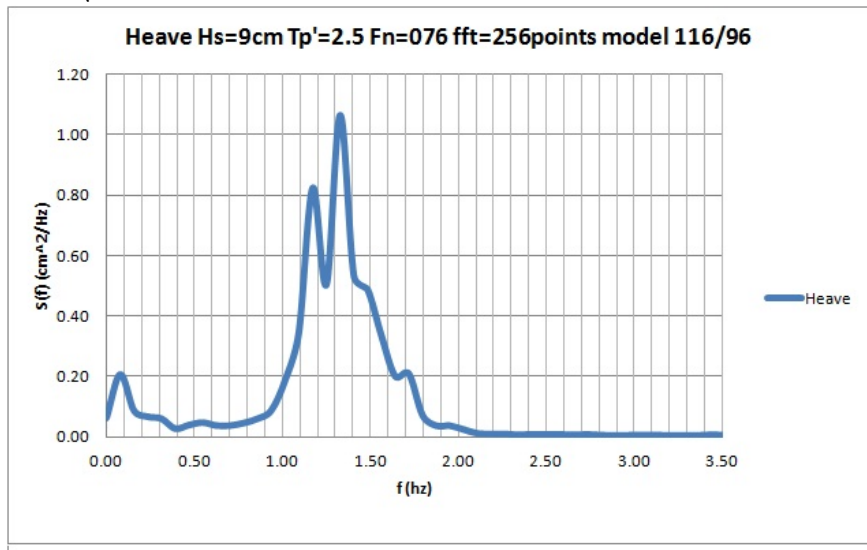
Πίνακας 4.22: Πρότυπο 116/96 : $F_n = 0.76 - \bar{H}_s = 9 - T_p' = 2.5$



65

Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

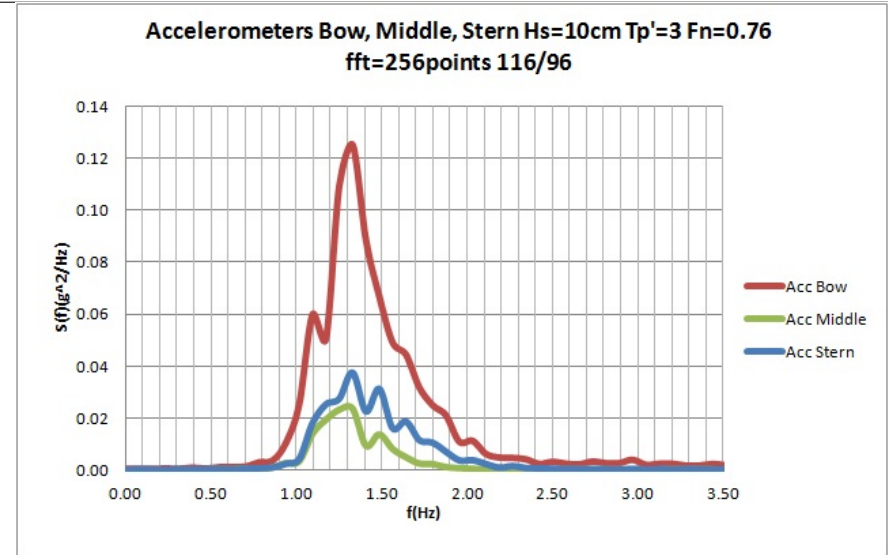
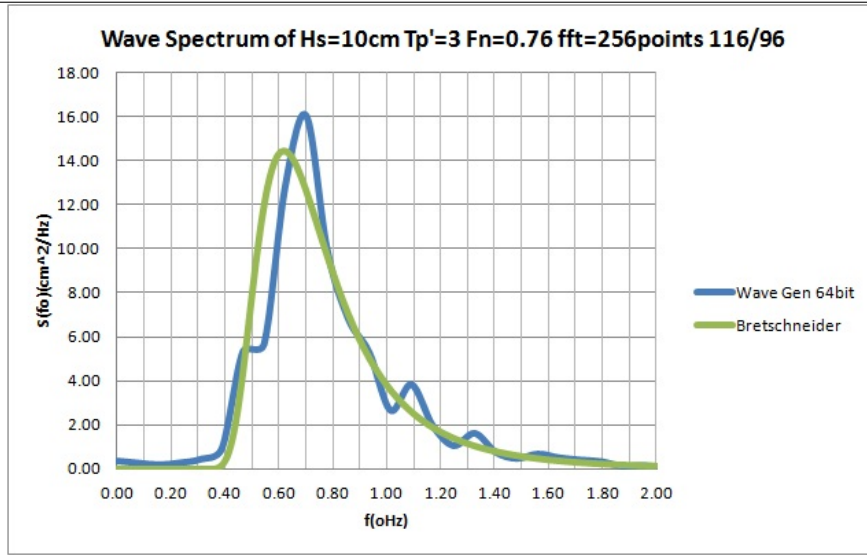
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

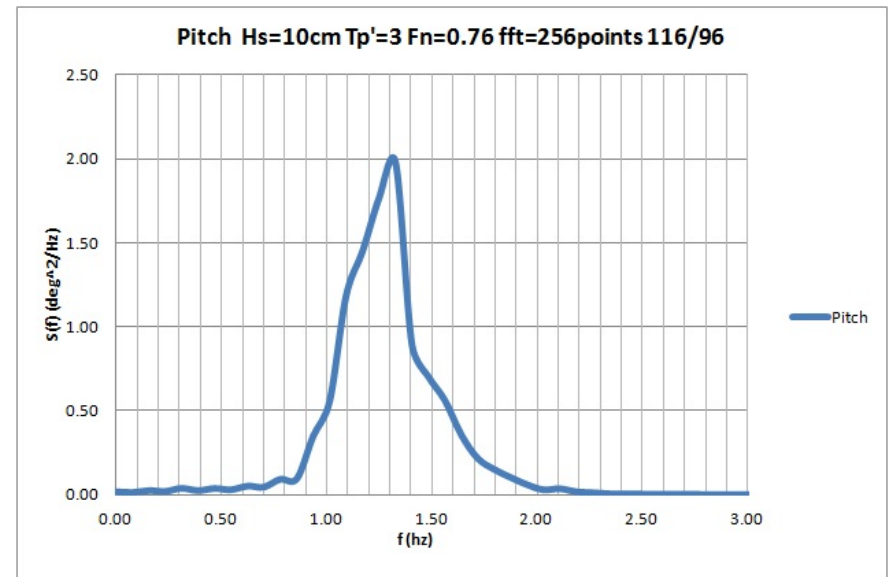
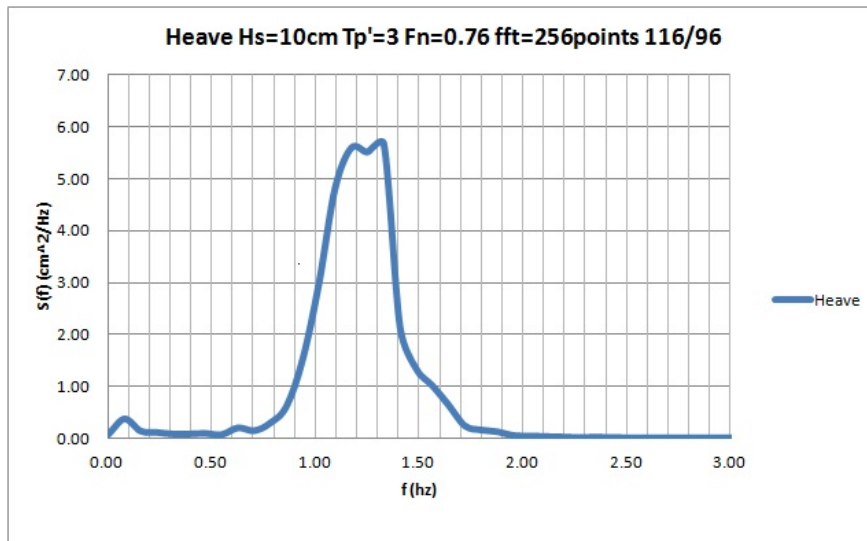
Πίνακας 4.23: Πρότυπο 116/96 : $Fn = 0.76 - \bar{H}s = 10 - Tp' = 3$



99

Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

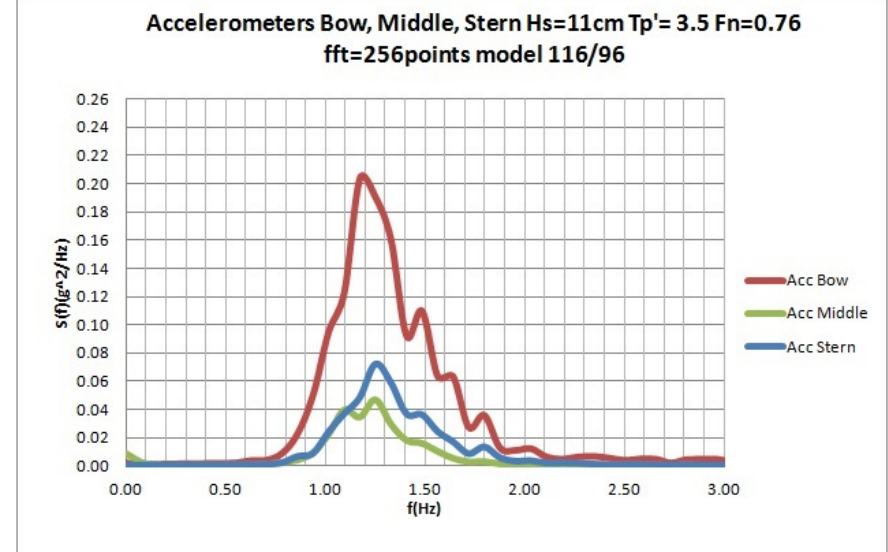
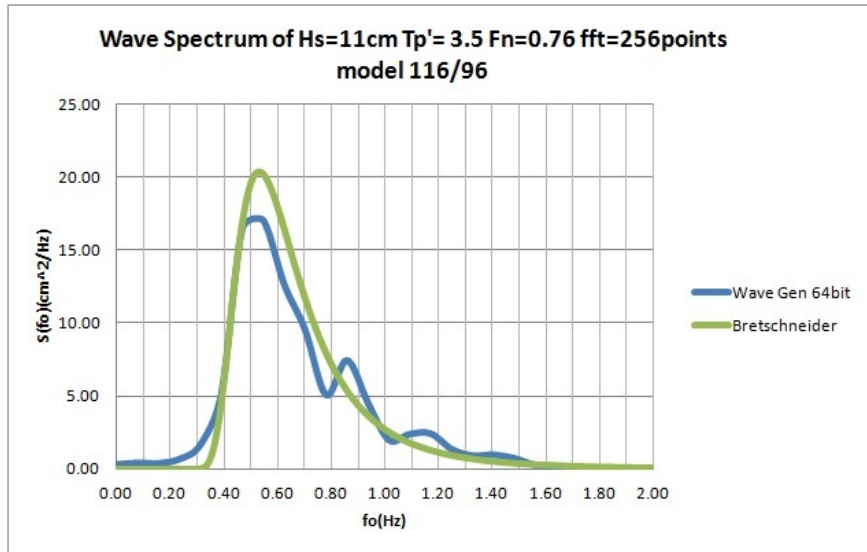
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

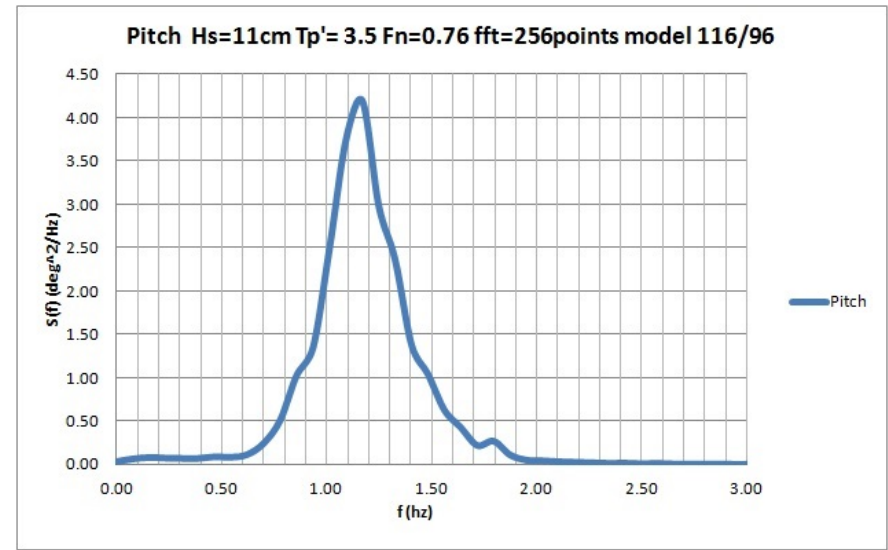
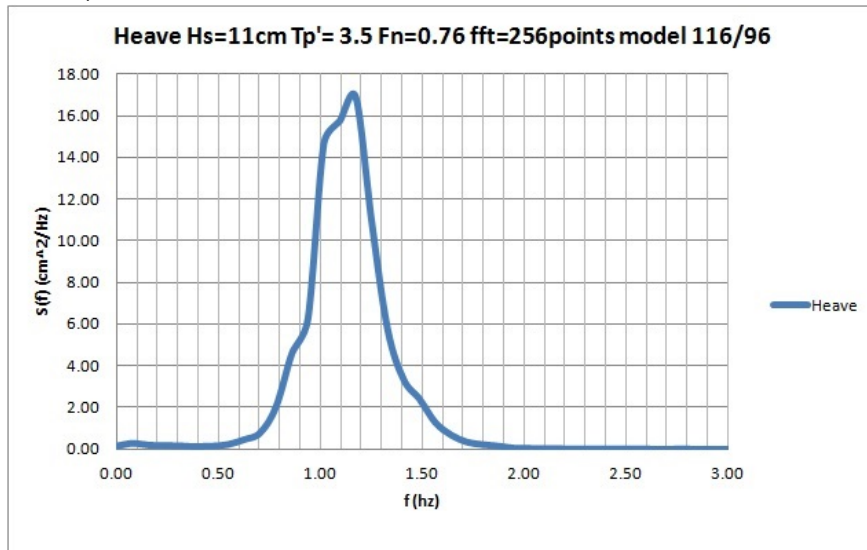
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.24: Πρότυπο 116/96 : $F_n = 0.76 - \bar{H}_s = 11 - T_p' = 3.5$



67 Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

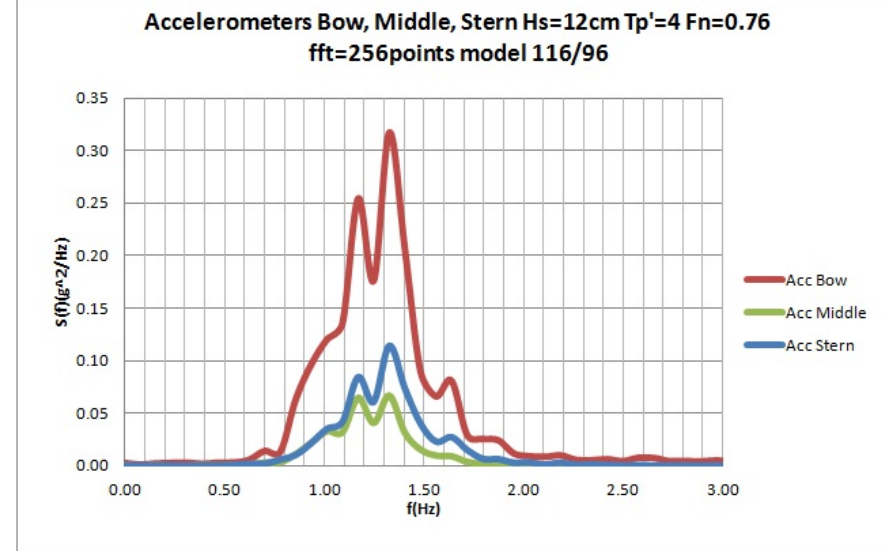
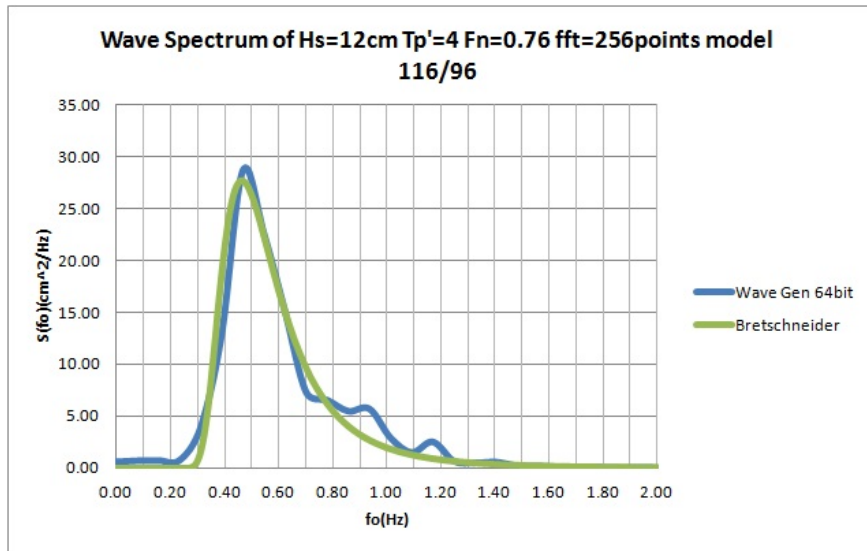
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

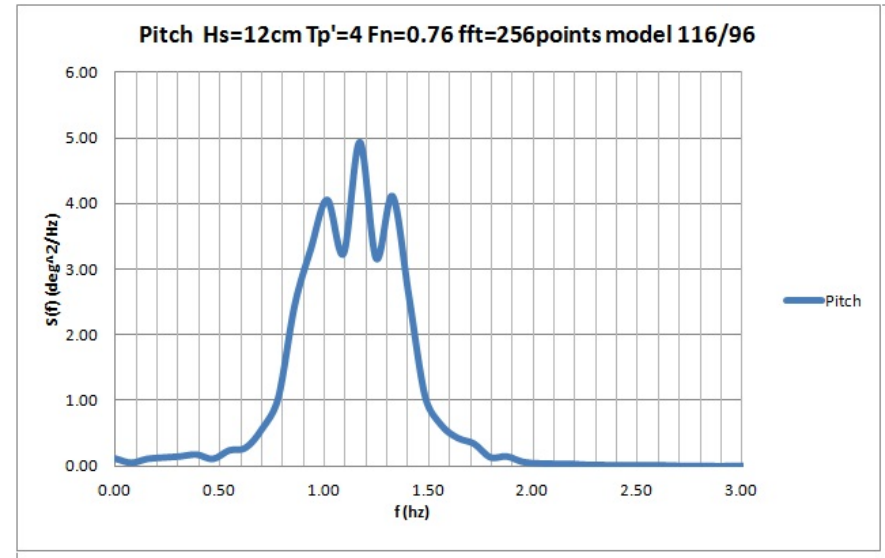
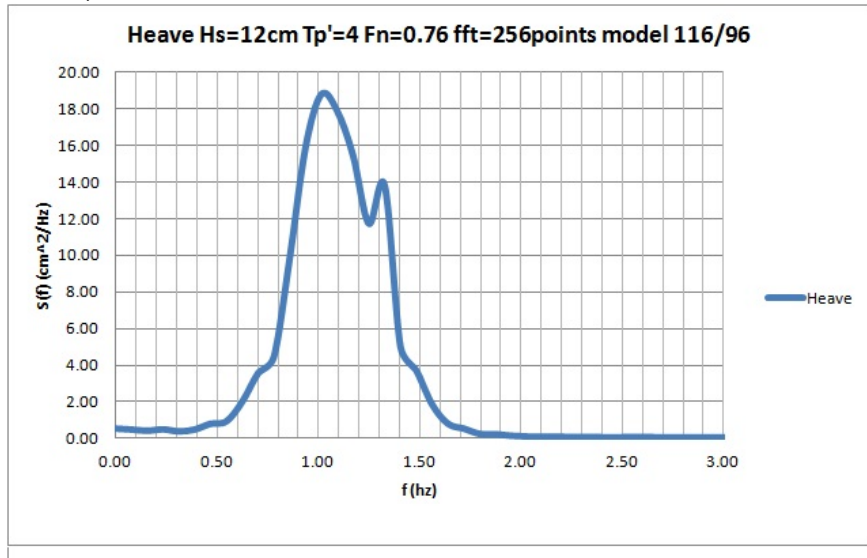
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.25: Πρότυπο 116/96 : $F_n = 0.76 - \bar{H}_s = 12 - T_p' = 4$



Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

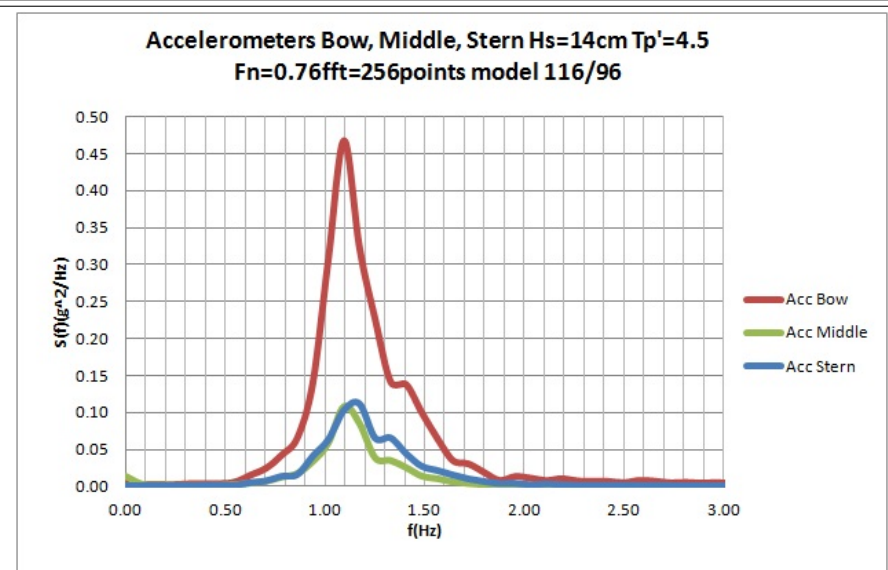
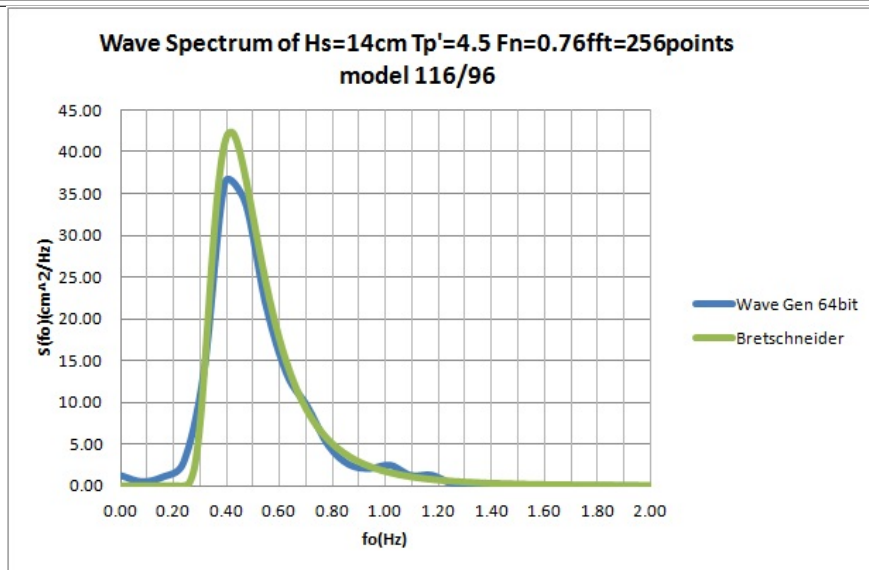
Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)

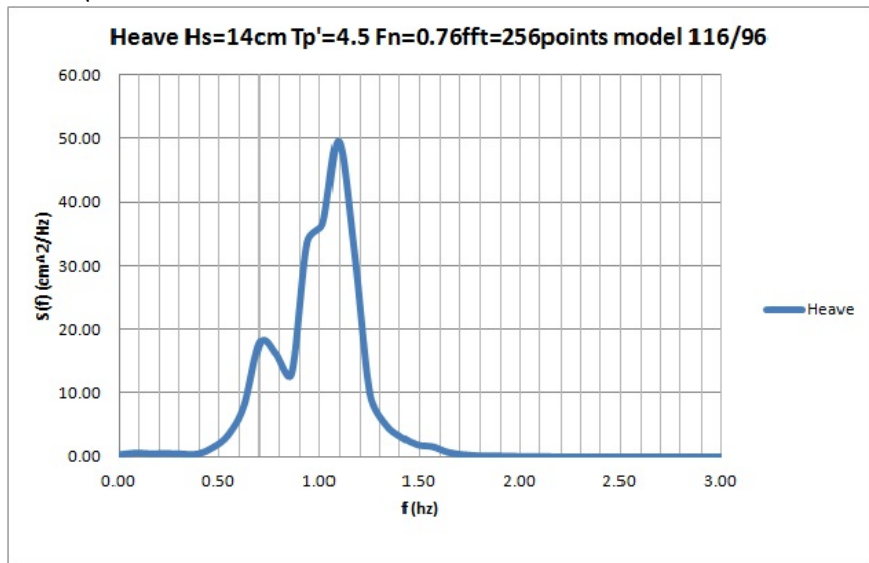
Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

Πίνακας 4.26: Πρότυπο 116/96 : $F_n = 0.76 - \bar{H}s = 14 - T_p' = 4.5$

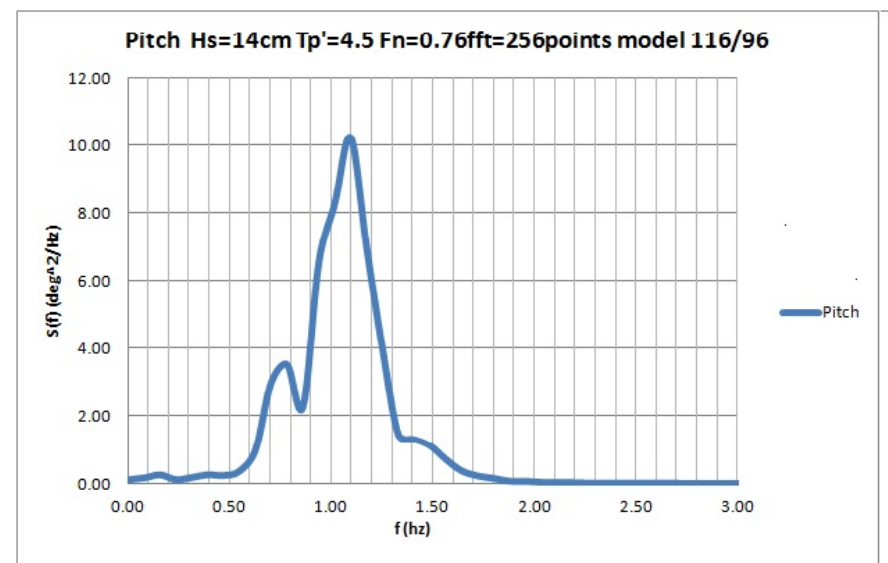


Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

Σχήμα 2. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης επιτάχυνσης



Σχήμα 3. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος κατακόρυφης Ανύψωσης(Heave)



Σχήμα 4. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος Προνευτασμού(Pitch)

4.5 Συμπεράσματα

Παραπάνω αξίζει να σχολιάσουμε 2 διαγράμματα στο μοντέλο 116/96, στους πίνακες (4.21) και (4.22), στα οποία το φάσμα πυκνότητας πιθανότητας της επιτάχυνσης και της ανύψωσης παρουσιάζει χαμηλόσυχρες τιμές συγκέντρωσης κοντά στο 0.1.

Κάποια από τα φάσματα αναπαραγωγής κατάστασης θάλασσας δεν ήταν τα αναμενόμενα δεν ήταν τα αναμενόμενα ιδίως στα σε αυτά που έρχονται κοντά με τα όρια του κυματιστήρα.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί πως για τα τελικά αποτελέσματα έγιναν συνολικά 32 καμπύλες πειραμάτων, μαζί με τις επαναληπτικές και αφιερώθηκαν περισσότερες από 12 μέρες σε έλεγχο φασμάτων καταστάσεων θάλασσας.

Επίσης σε συνεργασία με τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Γρηγορόπουλο, έγινε ανάλυση των συναρτήσεων που δίνουν τα φάσματα καθώς και calibration του κυματιστήρα ώστε να παραχθεί η δυνατόν μια καλύτερη προσέγγιση του παραγόμενου φάσματος σε σύγκριση με το θεωρητικό.

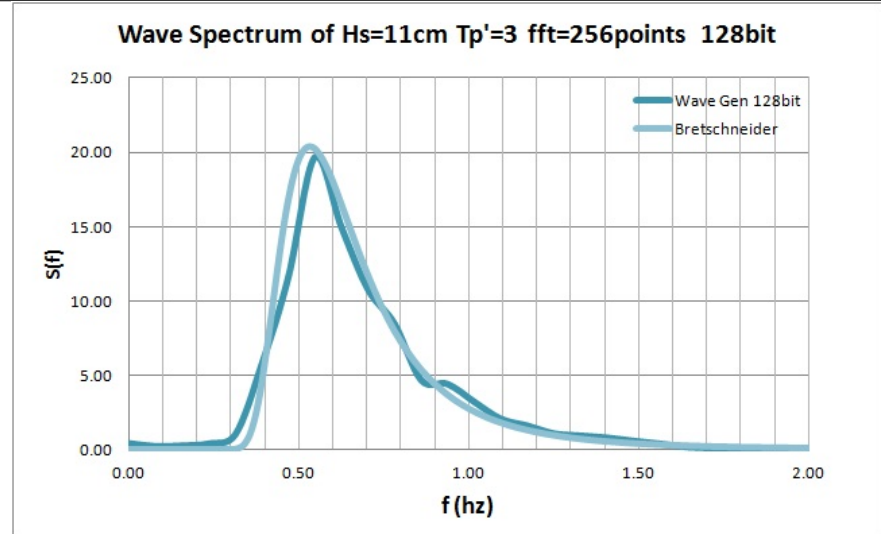
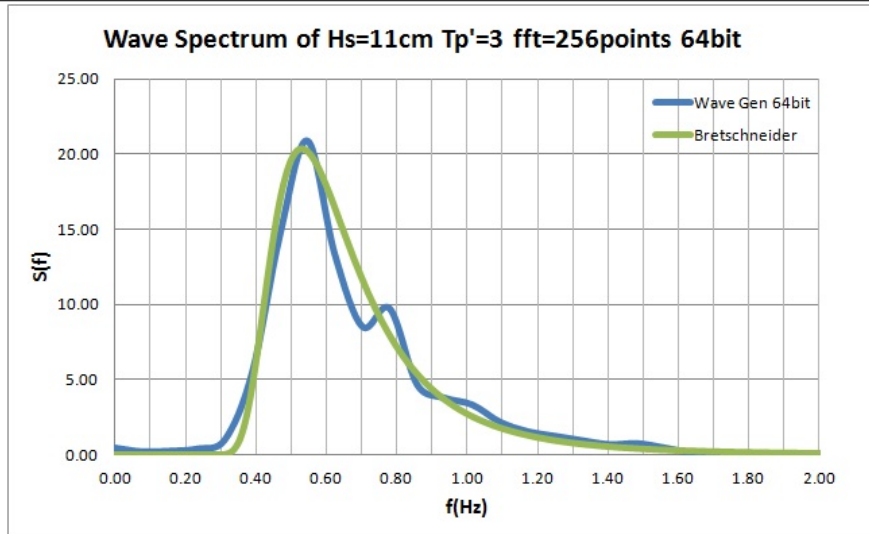
Ο κυματιστήρας δημιουργεί ένα τυχαίο κυματισμό με σταθερά χαρακτηριστικά H_s και T_p παράγοντας ένα άθροισμα αρμονικών κυματισμών. Εμείς μετράμε το παραγόμενο κύμα σε κάθε ημίτονο, και πολλαπλασιάζουμε με ένα παράγοντα ώστε να πετύχουμε το επιθυμητό κύμα. Ακολουθώντας αυτή την διαδικασία για όλα τα ημίτονα τα οποία μπορεί να παράξει ο κυματιστήρας παράγουμε την συνάρτηση μεταφοράς του κυματιστήρα. Γίνεται έπειτα έλεγχος του παραγόμενου φάσματος ώστε το θεωρητικό με το παραγόμενο φάσμα να είναι το ίδιο. Ελέγχοντας τις συχνότητες οι οποίες δεν ικανοποιούν το επιθυμητό φάσμα αλλάζουμε τους συντελεστές σε αυτές ώστε να αυξηθεί ή να μειωθεί η ενέργεια.

Παρατηρήθηκε δε γενικά πως στα όρια λειτουργίας του κυματιστήρα δηλαδή κοντά στα $0.3Hz$ και $1.4Hz$, όταν γινόταν ρύθμιση με βάση αυτά, τα ενδιάμεσα αρμονικά φάσματα με σταθερό πλάτος που παράγονταν εμφάνιζαν μεγαλύτερες τιμές τις τάξης του 10%. Επίσης έγινε σύγκριση φασμάτων κατάστασης θάλασσας των οποίων το θεωρητικό φάσμα παράχθηκε με 64 και 128 bit. Το αποτέλεσμα δεν έδειξε να ακολουθεί κάποιο από τα δύο, και πως η παραγωγή θεωρητικών φασμάτων με περισσότερα σημεία δεν δίνει απαραίτητα παραγόμενα φάσματα πιο κοντά στο θεωρητικό.

4.5.1 Σημείωση

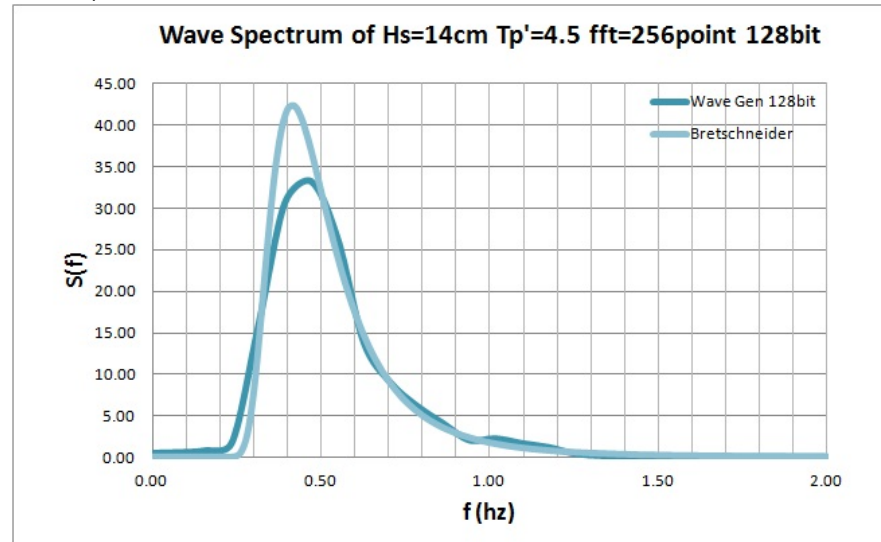
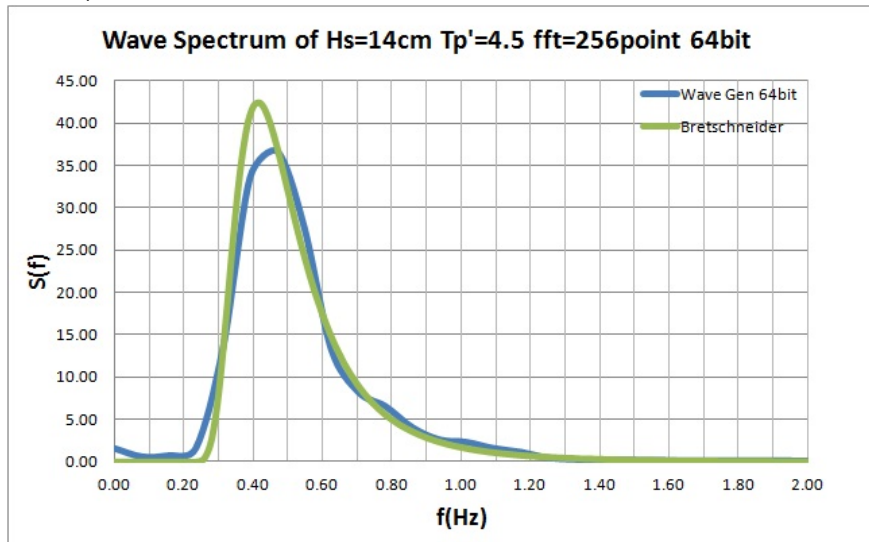
Όλα τα πειραματικά δεδομένα και αποτελέσματα καθώς και οι αναλύσεις όλων των φασμάτων είναι συνημμένες σε cd.

Πίνακας 4.27: Μέτρηση Φάσματος $\bar{H}s = 11 - Tp' = 3.5$ και $\bar{H}s = 14 - Tp' = 4.5$



Σχήμα 1. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

Σχήμα 2. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος



Σχήμα 3. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

Σχήμα 4. Θεωρητική και Μετρούμενη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κύματος

Βιβλιογραφία

- [1] Θ.Α. Λουκάκης, Γ. Αθανασούλης, Υδροδυναμική Πλοίου, Κύματα Ανέμου και Στοιχεία Θεωρίας Στοχαστικών Διαδικασιών, *Εκδόσεις Ε.Μ.Π.*, (2004) .
- [2] Gregory J.Gregoropoulos & Dimitra P.Damala, Dynamic Performance of NTUA Double-Chine Series Hull forms in Random Waves, *11th International Conference on Fast Sea Transportation*, NTUA September (2011).
- [3] Gregory J.Gregoropoulos & Dimitra P.Damala & Theodore A.Loukakis, Dynamic Performance of NTUA Double-Chine Series Hull forms in Regular Waves, *Second Chesapeake Power Boat Symposium*, (2010).
- [4] Γεώργιος Ρούσσοσ, ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΔΠΙΛΗΣ ΑΚΜΗΣ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ, *Διπλωματική Εργασία NMM*, (2007).
- [5] Καθ. Θ. Λουκάκη, Υδροδυναμική Πλοίου - Συμπεριφορά σε Θαλάσσιους Κυματισμούς, *Εκδόσεις ΕΜΠ*, (2004) .
- [6] B. V. KORVIN-KROUKOVSKY, Theory of Seakeeping, *SNAME*, (1961) .
- [7] Walter H.Mitchel, Sea Spectra Simplified, *Marine Technology*, (1968) .
- [8] J. M.Riola & Garcia de Arboleya, Habitability and Personal Space in Seakeeping Behaviour, *Journal of Maritime research Vol III*,(2006) .
- [9] Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Υδροδυναμική Σχεδίαση Μικρών Σκαφών, *Εκδόσεις ΕΜΠ*, (1996).
- [10] K. J.Rawson & E. C.Tupper, Basic Ship Theory (5th ed.), *Butterworth- Heinemann*, (2001).
- [11] Gregory J.Gregoropoulos, On the Seakeeping Operability of Naval Ships, *NTUA*, (2010) .
- [12] Gregory J. Grigoropoulos , Dimitris S. Chalkias, Hull-form optimization in calm and rough water, *NTUA*, (2010).
- [13] G. J. Grigoropoulos, T.A. Loukakis, Seakeeping performance assessment of planing hulls, *NTUA*, (1995).