



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Δ. Π.Μ.Σ. «ΝΑΥΤΙΚΗ & ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ & ΕΠΙΣΤΗΜΗ»
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς
ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς



Επιμέλεια: Παπαντωνάτος Ιωάννης

Επίβλεψη: Δρ. Γρηγορόπουλος Γρηγόριος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς (seakeeping) ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50. Τα πειράματα αφορούσαν στον υπολογισμό της πρόσθετης αντίστασης από κυματισμούς καθώς και την ανύψωση, τον προνευτασμό και τις κατακόρυφες επιταχύνσεις στην πλώρη, την πρύμνη και το κέντρο βάρους του σκάφους. Για την εξαγωγή του πολικού διαγράμματος και του διαγράμματος ευστάθειας χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικοί κώδικες.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην Πειραματική Δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το μοντέλο υπό κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα ανήκει στο εργαστήριο σκαφών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, ενώ οι τυχαίοι κυματισμοί που μελετήθηκαν προσομοιώνουν πραγματικές καταστάσεις των Ελληνικών Θαλασσών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Γρηγόρη Γρηγορόπουλο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα αντικείμενο που με ενδιέφερε και για τη βοήθεια που παρείχε καθ'ολη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους κοντινούς μου ανθρώπους που με στήριξαν το τελευταίο χρονικό διάστημα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το προσωπικό του εργαστηρίου κ.κ. Γιάννη Τραχανά και Φώτη Κασάπη, καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα Δημήτρη Λιαροκάπη, χωρίς την καθοριστική συνδρομή και προθυμία των οποίων δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική εργασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
Περιγραφή του υπό μελέτη σκάφους.....	5
Λίγα λόγια για το BOC Challenge (πλέον Around Alone)	9
Είδη κινήσεων σκάφους.....	10
Θεωρία κυματισμών	12
Φάσμα στοχαστικής διαδικασίας.....	15
Αποκρίσεις σκάφους.....	18
Πρόσθετη αντίσταση.....	19
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	21
Αντικείμενο.....	21
Επίτευξη επιθυμητού εκτοπίσματος.....	22
Καθορισμός επιθυμητής διαγωγής (trim), εγκάρσιας κλίσης (roll) και γωνίας απόκλισης (yaw)	22
Ακτίνα αδρανείας – Περίοδος ιδιοταλάντωσης	22
Βαθμονόμηση μετρητικών διατάξεων	23
Πειραματικές καταστάσεις θάλασσας(φάσματα κυματισμών)	32
Πειράματα αρμονικών κυματισμών	33
Πειράματα ήρεμου νερού (Calm Water).....	34
ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	35
ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	36
Velocity Prediction Program	37
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	38

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού
σκάφους τύπου ΒΟC-50 σε τυχαίους κυματισμούς

Φάσματα κυματισμών που δημιουργήθηκαν.....	38
Δυνάμεις αντίστασης	39
Πλευρικές δυνάμεις	41
Διαγράμματα RAO.....	42
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ VPP	44
ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	60
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	64
Πίνακας Διαγραμμάτων	64
Πίνακας Εικόνων	66

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκτίμηση της πραγματικής υδροδυναμικής συμπεριφοράς των ιστιοπλοϊκών σκαφών που πρόκειται να κατασκευαστούν υπήρξε πάντοτε ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα κατά τη διαδικασία σχεδίασής τους. Σε αντίθεση με τη σχεδίαση ενός μηχανοκίνητου σκάφους, δεν αρκεί η πρόβλεψη της υδροδυναμικής αντίστασης της γάστρας σε όρθια θέση με ευθεία πορεία και της ροής πίσω από αυτό. Ο καθορισμός της συμπεριφοράς ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους βασίζεται σε μια αρκετά πιο πολύπλοκη ισορροπία μεγάλου αριθμού δυνάμεων και ροπών και στους έξι βαθμούς ελευθερίας κίνησης, οι οποίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και εξαρτώνται τόσο από τις συνθήκες ανέμου και κυματισμού που επικρατούν σε κάθε περίπτωση, όσο και από την ταχύτητα του σκάφους.

Η δεξαμενή ρυμούλκησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τις υδροδυναμικές δυνάμεις και ροπές που δημιουργούνται στο σκάφος σε διάφορους συνδυασμούς κλίσης κατά το εγκάρσιο και το οριζόντιο επίπεδο, αλλά και για τη διερεύνηση των αποκρίσεων του σκάφους σε κυματισμούς.

Περιγραφή του υπό μελέτη σκάφους

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο κλίμακας $\frac{1}{4}$ σκάφους 50 ποδών κατασκευασμένο από κόντρα πλακέ θαλάσσης(νομείς) και ελαφριά ξυλεία(πέτσωμα), έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια ελαφριά τελική κατασκευή.

Το σκάφος σχεδιάστηκε από τους Mortain και Mavrikios στη Γαλλία σύμφωνα με τους κανονισμούς του αγώνα BOC Challenge και είναι μονόγαστρο, συμμετρικό σκάφος εκτοπίσματος, με εξαρτισμό τύπου Ketch (διαθέτει και δεύτερο πρυμνιό κατάρτι εμπροσθεν των αξόνων των πηδαλίων). Η προτεινόμενη επιφάνεια ιστιοφορίας του είναι 130 m^2 .

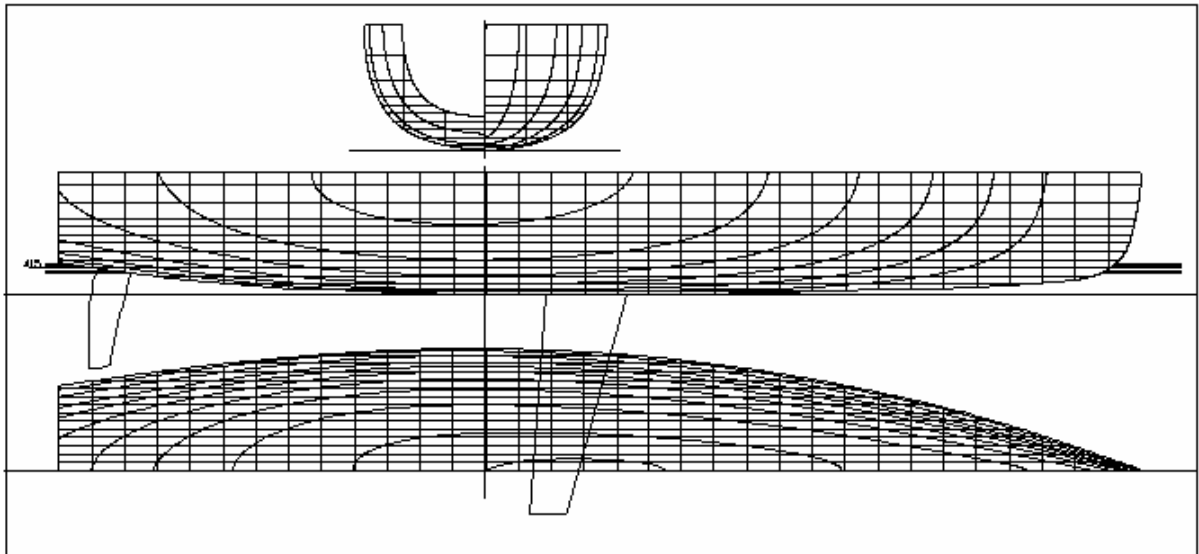
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του σκάφους.

Ολικό μήκος (LOA)	15.24 m
Μήκος Ισάλου (LWL)	14.87 m
Μέγιστο πλάτος (B)	3.50 m
Πλάτος Ισάλου (BWL)	2.66 m
Κοίλο (D)	1.837 m
Βύθισμα γάστρας (TCB)	0.415 m
Μέγιστο βύθισμα (T)	4.65 m
Πρισματικός συντελεστής (Cp)	0.587
Εκτόπισμα γυμνής γάστρας (ΔCB)	7.175 mt
Εκτόπισμα παρελκομένων	0.569 mt

Αναφορικά με τα παρελκόμενα, το BOC-50 διαθέτει δύο όμοια πηδάλια και μία καρίνα που έχει προσκολλημένο ένα βολβό στο κάτω άκρο της. Τα πηδάλια είναι υδροτομές τύπου NACA 0015, ενώ η θέση τοποθέτησής τους είναι εκατέρωθεν του άξονα συμμετρίας του σκάφους με κλίση 20 μοιρών ως προς την κατακόρυφο στο εγκάρσιο επίπεδο. Επίσης, όταν βρίσκονται στην αρχική τους θέση(μηδενική γωνία εκτροπής), είναι σε γωνία 1.5 μοίρας ως προς το διάμηκες επίπεδο(προς τα έξω). Η καρίνα είναι και αυτή υδροτομή τύπου NACA 64A015. Ο βολβός είναι ελλειψοειδούς μορφής κατά το εγκάρσιο, με την μικρή του ακτίνα στην κατακόρυφο. Το προφίλ του κατά το διάμηκες είναι υδροτομή τύπου NACA 65A018 ενώ κατά το οριζόντιο επίπεδο NACA 65A021.

Στις εικόνες που ακολουθούν απεικονίζονται οι ναυπηγικές γραμμές του σκάφους, καθώς και το μοντέλο με το οποίο εκτελέστηκαν τα πειράματα.

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου ΒΟC-50 σε τυχαίους κυματισμούς

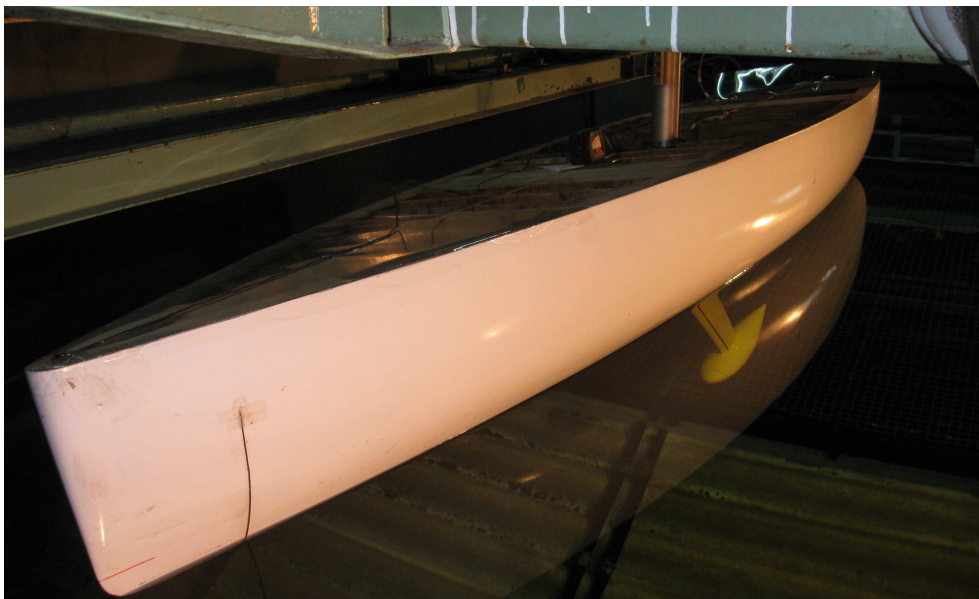


Εικόνα 1 Ναυπηγικές γραμμές σκάφους ΒΟC-50

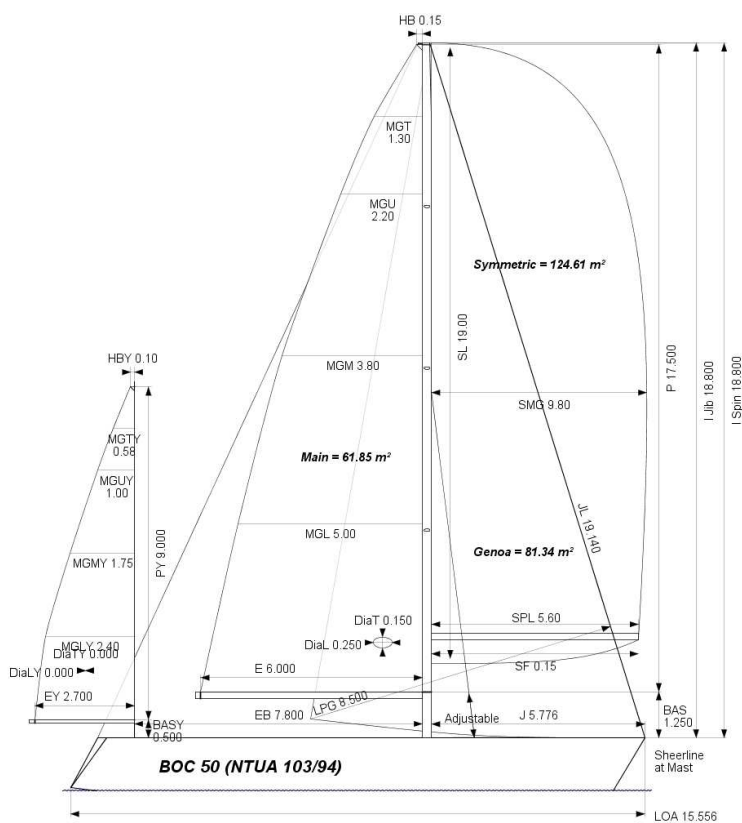


Εικόνα 2 Πρόσθια όψη του μοντέλου

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς



Εικόνα 3 Πλάγια όψη του μοντέλου

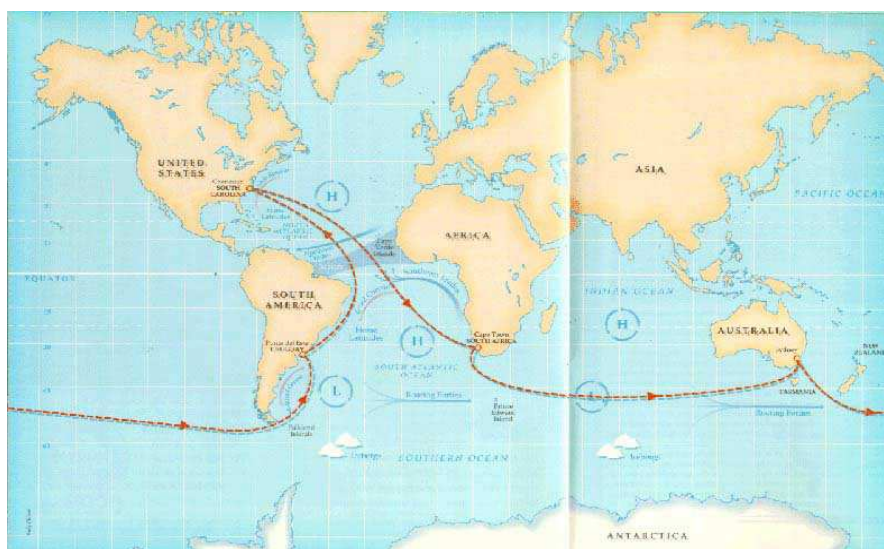


Εικόνα 4 Σκαρίφημα του υπό μελέτη σκάφους μαζί με την ιστιοφορία του

Λίγα λόγια για το BOC Challenge (πλέον Around Alone)

Το πρώτο BOC Challenge διεξήχθη το 1982, χρηματοδοτούμενο από την British Oxygen Company. Η British Oxygen Company είδε τον αγώνα αυτό σαν μια ευκαιρία να προωθηθεί σε αγορές-κλειδιά σε όλο τον κόσμο και έτσι ξεκίνησε ο πρώτος αγώνας από το Newport, Rhode Island στις ΗΠΑ στις 28 Αυγούστου 1982 με 17 συμμετέχοντες.

Η χρηματοδότηση από το BOC Group σταμάτησε το 1998 και ο αγώνας πλέον αναφέρεται ως Around Alone Challenge. Τα σκάφη που συμμετέχουν είναι μονόγαστρα, σχεδιασμένα για μονομελές πλήρωμα και χωρίζονται σε δύο κλάσεις, την Class 1 (15.5-18m; 50-60ft) και την Class 2 (κάτω από 15.5m; 50ft). Τα σκέλη του αγώνα δεν είναι πάντα τα ίδια. Ο αγώνας του 1998/99 είχε τέσσερα σκέλη: εκκίνηση στο Charleston των ΗΠΑ με κατεύθυνση το Cape Town (Νότια Αφρική), ύστερα στο Sydney (Αυστραλία), κατόπιν στην Punta Del Este (Λατινική Αμερική) και τέλος πίσω στο Charleston για τον τερματισμό.



Εικόνα 5 Διαδρομή του BOC Challenge

Ο αγώνας είναι ένας μαραθώνιος αντοχής, απαιτώντας πολύ καλές ικανότητες ναυσιπλοίας, μετεωρολογίας, τακτικής αγώνων, αλλά και τη δυνατότητα να επισκευάζονται οι όποιες ζημιές εν πλώ χωρίς το σκάφος να

σταματά, προσπαθώντας πάντα να εξοικονομηθεί κάποιος χρόνος για ύπνο έτσι ώστε να καταπολεμηθεί και η σωματική κόπωση. Η ιστορία του BOC έχει γίνει μάρτυρας ναυαγίων, δραματικών διασώσεων, αλλά και δύο θανάτων. Στον αγώνα του 1986/87 το σκάφος του Γάλλου Jean-Jacques de Roux βρέθηκε να πλέει νότια της Αυστραλίας χωρίς κανέναν επάνω και στον αγώνα του 1994/95, κανένα ίχνος του Βρετανού Harry Mitchell ή του σκάφους του Henry Hornblower δεν βρέθηκε ποτέ.

Είδη κινήσεων σκάφους

Η κίνηση κάθε πλέοντος σκάφους χαρακτηρίζεται συνολικά από 6 βαθμούς ελευθερίας:

- τρεις μεταφορικές κατά μήκος των αξόνων x , y , z και
- τρεις περιστροφικές περί αυτών

Μεταφορικές:

ξ1 Διαμήκης οριζόντια ταλάντωση (Surge)

ξ2 Εγκάρσια οριζόντια ταλάντωση (Sway)

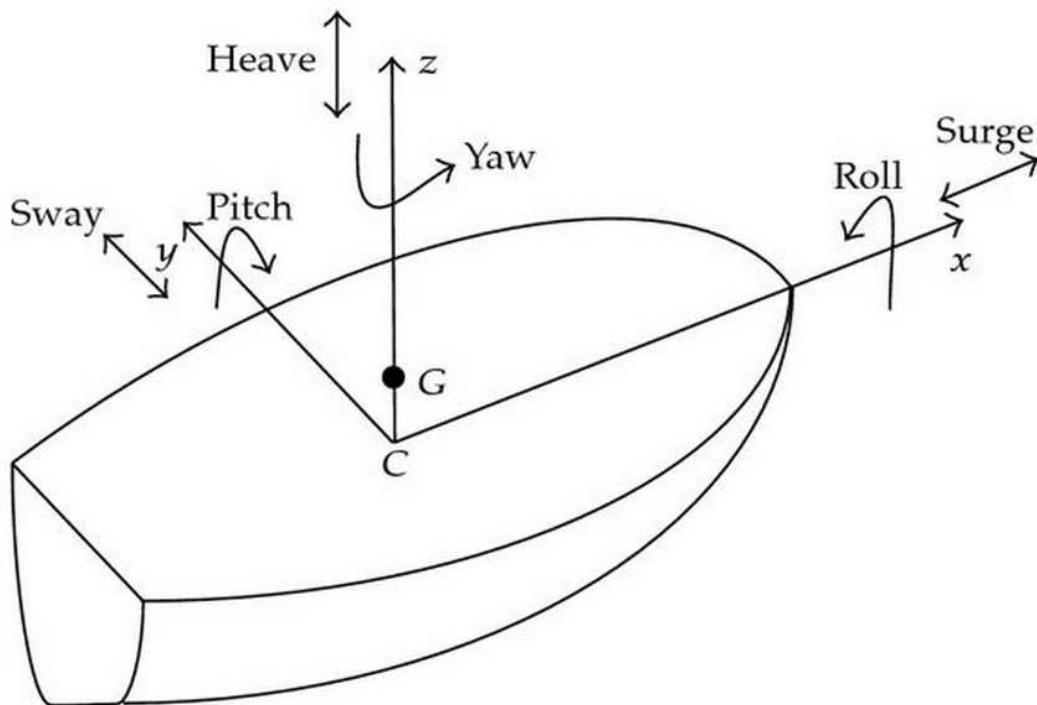
ξ3 Κατακόρυφη ταλάντωση (Heave)

Περιστροφικές:

ξ4 Ταλάντωση περί το διαμήκη άξονα/Διατοιχισμός (Roll)

ξ5 Ταλάντωση περί τον εγκάρσιο άξονα/Προνευτασμός (Pitch)

ξ6 Ταλάντωση περί τον κατακόρυφο άξονα (Yaw)



Εικόνα 6 Βαθμοί ελευθερίας κίνησης σκάφους

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

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

- Heave
- Pitch
- Πρόσθετη αντίσταση (added resistance)
- Πλευρική δύναμη (Side Force)
- Κάθετες επιταχύνσεις (vertical accelerations) σε επιλεγμένα σημεία του σκάφους

Επιπλέον, βάσει των παραπάνω αποκρίσεων, μπορεί κανείς να υπολογίσει την

πιθανότητα εμφάνισης ορισμένων τυχαίων συμβάντων, τα οποία δεν αποτελούν συνεχείς χρονικές συναρτήσεις. Τέτοια συμβάντα είναι η σφυρόκρουση πυθμένα/πλευρών πλώρας (bottom/bow flare slamming) και η διαβροχή καταστρώματος (deck wetness).

Θεωρία κυματισμών

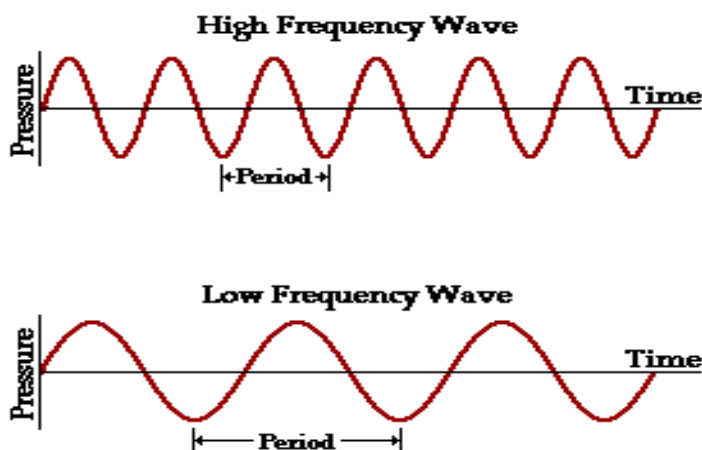
Οι κυματισμοί στην επιφάνεια της θάλασσας δημιουργούνται από τον άνεμο. Η φύση των κυματισμών (μέγεθος, διεύθυνση μετάδοσης, ενεργειακή στάθμη) εξαρτώνται κυρίως από τρεις παράγοντες:

- 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.

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 .



Εικόνα 7 Αρμονικοί κυματισμοί διαφορετικών συχνοτήτων

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

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

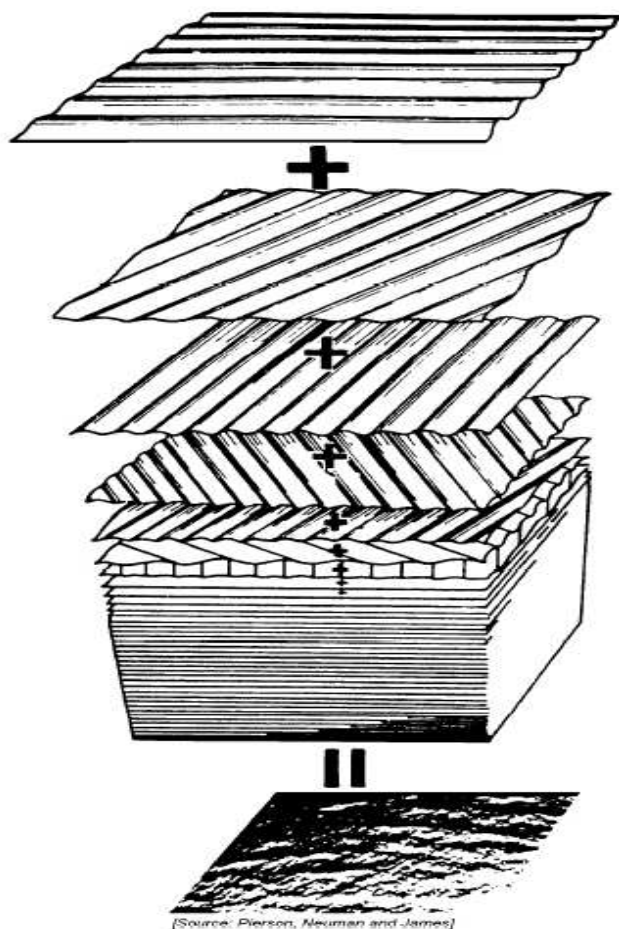
ενώ μεταξύ περιόδου – συχνότητας ισχύει η γνωστή σχέση $T = 1/f$.

Τυχαίοι κυματισμοί

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

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

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



Εικόνα 8 Περιγραφή προφίλ τυχαίων κυματισμών με επαλληλία ημιτονικών κυμάτων

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

Φαινόμενα είναι τα μεγέθη που μετρώνται απευθείας κατά την καταγραφή ενός θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η περαιτέρω επεξεργασία τους βάσει στατιστικών παραμέτρων μας δίνει τα στατιστικά μεγέθη των κυματισμών. Η συνάρτηση ανύψωσης θαλάσσιας επιφάνειας (συμβολίζεται με η) παριστάνεται με δύο τρόπους:

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

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

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

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

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

$$H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j$$

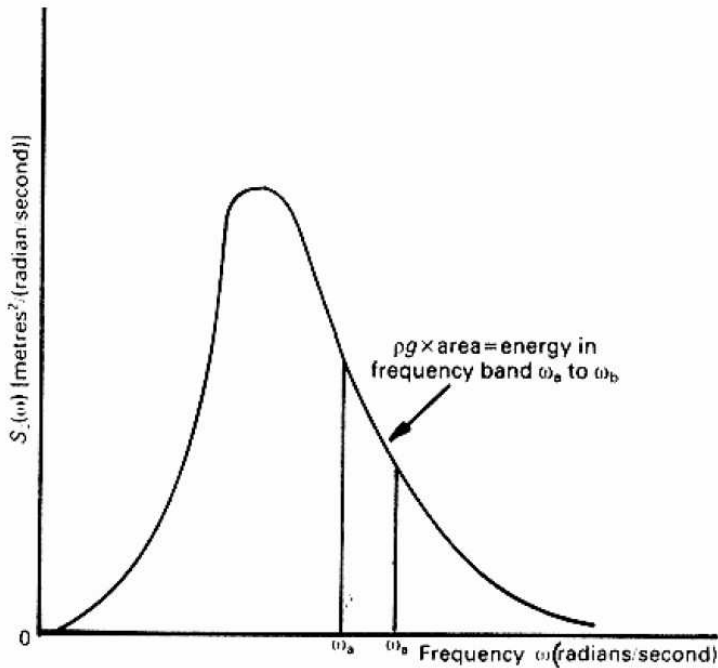
Στην περίπτωση που οι τιμές κύματος ληφθούν ως τιμές χώρου, τότε τα στατιστικά μεγέθη εξαρτώνται και από την κατεύθυνση διάδοσης θ . Εάν το $H_{1/3}$ παρουσιάζει έντονο ολικό μέγιστο για κάποια κατεύθυνση Θ_0 , τότε η κατεύθυνση αυτή λέγεται **κύρια κατεύθυνση διάδοσης κύματος**. Εάν παρουσιάζονται παραπάνω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

Φάσμα στοχαστικής διαδικασίας

Η πιθανοθεωρητική δομή του κυματικού πεδίου που αναφέραμε προηγουμένως περιγράφεται πλήρως μέσω του κατευθυντικού φάσματος $S(\omega, \theta)$, (ω =κυκλική συχνότητα, θ =κατεύθυνση μετάδοσης). Μέσω του φάσματος αυτού μπορούν να εκφραστούν τα στοχαστικά μεγέθη του κυματισμού.

Τα φασματικά μεγέθη που αντιστοιχούν στα στατιστικά μεγέθη χρόνου εκφράζονται με τη βοήθεια του σημειακού φάσματος κυκλικής συχνότητας $S(\omega)$ ή $S(f)$.

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

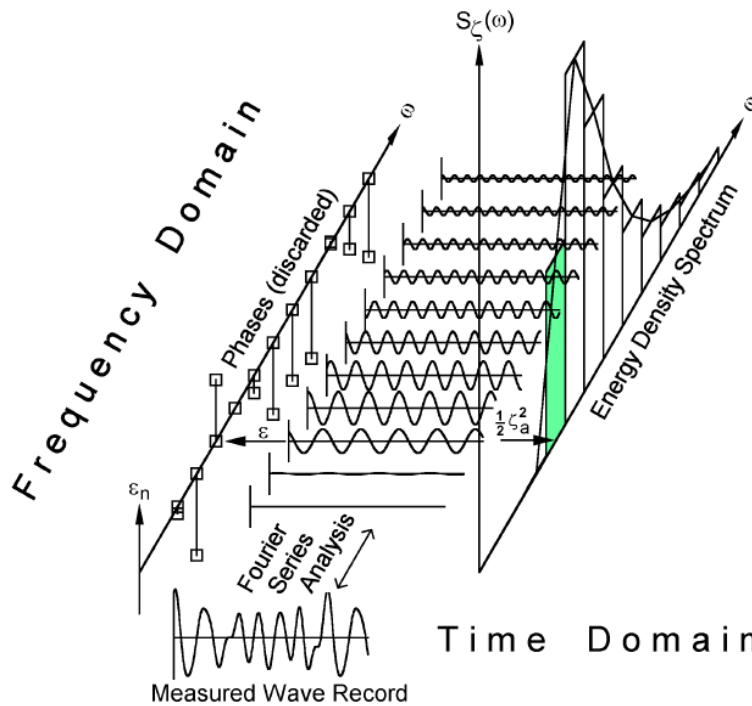


Εικόνα 9 Συνάρτηση φάσματος $S(\omega)$

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

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

Στην παρακάτω εικόνα παριστάνεται γραφικά ο τρόπος με τον οποίον το φάσμα $S(\omega)$ περιγράφει την κατανομή ενέργειας στις επιμέρους αρμονικές. Το σύνθετο κυματικό περιβάλλον που προκύπτει αναλύεται μέσω μετασχηματισμού Fourier.



Εικόνα 10 Παραγωγή φάσματος $S(\omega)$ τυχαίου κυματισμού μέσω αρμονικών συνιστωσών

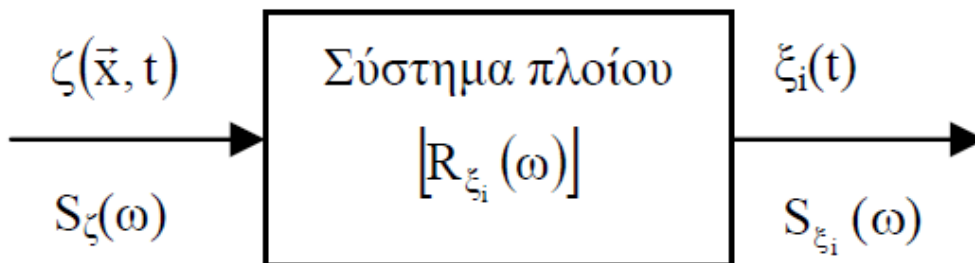
Τα πειράματα που διεξήχθησαν στη δεξαμενή αφορούσαν τυχαίους κυματισμούς σε πλήρως ανεπτυγμένες θάλασσες. Για την περιγραφή των τυχαίων κυματισμών έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα, όπως το Pierson-Moskowitz, το Bretschneider, το Johnswar κλπ.

Συγκεκριμένα εξετάστηκαν τυχαίοι μετωπικοί κυματισμοί που περιγράφονται από το φάσμα Bretschneider. Το φάσμα αυτό περιγράφει ανοιχτές θάλασσες οποιουδήποτε βαθμού ανάπτυξης και ονομάζεται διπαραμετρικό διότι ορίζεται με τη βοήθεια δυο παραμέτρων, της συχνότητας κορυφής f_p και του σημαντικού ύψους κύματος $H_{1/3}$.

Αποκρίσεις σκάφους

Η εκτίμηση της συμπεριφοράς ενός πλοίου σε κυματισμούς γίνεται με τη χρήση των αδιάστατων συντελεστών απόκρισης (Response Amplitude Operator – RAO).

Συγκεκριμένα, το πλοίο θεωρείται ως γραμμικό σύστημα για κάθε δυναμική απόκριση (αρχή γραμμικής υπέρθεσης). Καθώς λοιπόν έχουμε διέγερση από κάποιον κυματισμό φάσματος $S_{\zeta}(\omega)$, το φάσμα συγκεκριμένης απόκρισης $S_{\xi_i}(\omega)$ εξαρτάται από τη συνάρτηση μεταφοράς $R_{\xi_i}(\omega)$ ως προς την απόκριση αυτή.



Εικόνα 11 Συσχέτιση διέγερσης – απόκρισης μέσω συνάρτησης μεταφοράς $R_{\xi_i}(\omega)$ (RAO)

Η γραμμικότητα απόκρισης - διέγερσης περιγράφεται μέσω της γενικής σχέσης:

$$S_{\xi_i}(\omega) = RAO_{\xi_i} * S_{\zeta}(\omega)$$

Η υπόθεση αυτή προϋποθέτει ότι κατά την πλεύση διαμέσου των κυματισμών οι αλλαγές στα ύφαλα του πλοίου είναι αμελητέες και συνεπώς τα πλάτη των σχετικών κινήσεων είναι μικρά.

Τα RAO των αποκρίσεων έχουν ως εξής:

- **Heave**
RAO Heave = ξ_3 / ζ_a

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς

όπου ζ α το πλάτος του κύματος

- **Pitch**

$$RAO \text{ Pitch} = \xi 5 \cdot \lambda / (360 \cdot \zeta \alpha)$$

όπου λ το μήκος του κύματος

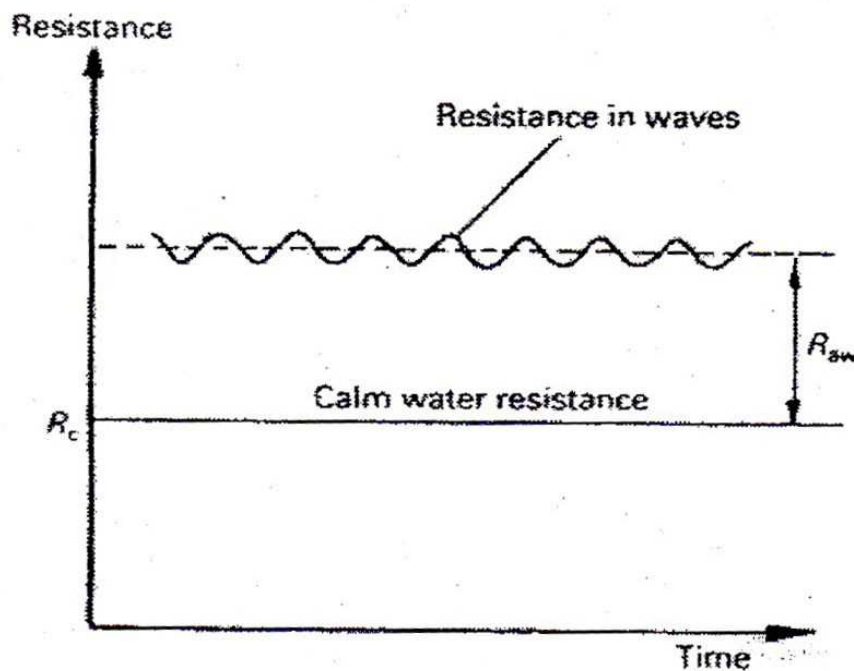
- **Επιταχύνσεις**

$$RAO \text{ Acc} = a \cdot Lwl / \zeta \alpha$$

όπου Lwl το μήκος της ισάλου του μοντέλου.

Πρόσθετη αντίσταση

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



Εικόνα 12 Ολική αντίσταση σκάφους σε κυματισμούς

Ο αισθητήρας Resistance μετράει τιμές ολικής αντίστασης, ενώ κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων ζητούνται διαγράμματα της πρόσθετης αντίστασης για διάφορες καταστάσεις θάλασσας (συναρτήσεϊ της ταχύτητας). Συνεπώς θα πρέπει να αφαιρεθούν τα αντίστοιχα μεγέθη της αντίστασης σε ήρεμο νερό από εκείνα της ολικής.

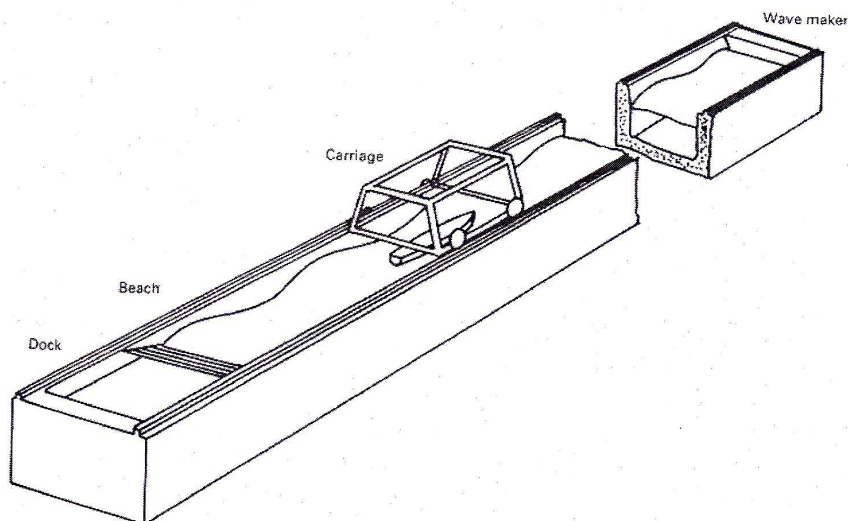
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Αντικείμενο

Αντικείμενο της πειραματικής διαδικασίας αποτέλεσε η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς του μοντέλου BOC-50 σε τυχαίους μετωπικούς κυματισμούς.

Το μοντέλο μελετάται σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, ρυμουλκούμενο από το φορείο της δεξαμενής σε ταχύτητες $V=1$ m/s και $V=1.5$ m/s. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε μία κατάσταση θάλασσας ανά ταχύτητα με αντίστοιχους συνδυασμούς σε roll και yaw. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε ένα σύνολο αρμονικών κυματισμών σε ταχύτητα $V=1$ m/s με συχνότητες από 0.3-1.2 Hz.

Τα πειράματα διεξήχθησαν στη δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του ΕΜΠ.



Εικόνα 13 Σκαρίφημα πειραματικής δεξαμενής ΕΜΠ

Επίτευξη επιθυμητού εκτόπισματος

Αφού επιλέχθηκε η επιθυμητή κατάσταση φόρτωσης για την οποία θα γίνονταν τα πειράματα, βρέθηκε η αντίστοιχη ίσαλος πλεύσης που αντιστοιχούσε σε εκτόπισμα 115,25kg(ήδη χαραγμένη στο μοντέλο από προηγούμενα πειράματα).

Ύστερα τοποθετήθηκε η πλάκα πρόσδεσης του δυναμόμετρου στο κέντρο βάρους του μοντέλου. Επί της πλάκας τοποθετήθηκε βάρος ίσο με το βάρος του δυναμόμετρου (13,800kg).

Στη συνέχεια βαθμονομήθηκαν τα τρία επιταχυνσιόμετρα ώστε να λάβουμε τις αντίστοιχες συναρτήσεις μεταφοράς, για να μπορούν να μετατραπούν τα μετρούμενα Volts σε ενδείξεις επιτάχυνσης. Τοποθετήθηκαν από ένα επιταχυνσιόμετρο στην πλώρα, στο κέντρο βάρους και στην πρύμνη αντίστοιχα.

Καθορισμός επιθυμητής διαγωγής (trim), εγκάρσιας κλίσης (roll) και γωνίας απόκλισης (yaw)

Στα πειράματα seakeeping το μοντέλο μας είχε μηδενική γωνία διαγωγής, η γωνία εγκάρσιας κλίσης ήταν “κλειδωμένη” από το δυναμόμετρο στις 10 και στις 20 μοίρες και η γωνία απόκλισης ρυθμίστηκε στις 2 μοίρες για 10 μοίρες εγκάρσια κλίση και 4 μοίρες για εγκάρσια κλίση 20 μοιρών, συνδυασμοί στους οποίους πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις.

Ακτίνα αδρανείας – Περίοδος ιδιοταλάντωσης

Ο υπολογισμός της ιδιοπεριόδου του μοντέλου αποτελεί ένδειξη σωστής κατανομής βαρών. Για τον προσδιορισμό της δέθηκε το μοντέλο σε ιμάντες προσαρμοσμένους σε δύο αιωρούμενα στελέχη στο χώρο του εργαστηρίου. Η θεωρητικά υπολογιζόμενη περίοδος ιδιοταλάντωσης του μοντέλου περί τον κατακόρυφο άξονα δίδεται από τη σχέση:

$$T = 2\pi\sqrt{(I_{zz}/\Delta a^2g)}$$

όπου

I_{zz}: ροπή αδρανείας περί τον άξονα zz

l: ολικό μήκος στελεχών – ιμάντων (4m)

Δ: εκτόπισμα μοντέλου

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

Η ροπή αδρανείας δίνεται από τη σχέση:

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

όπου r_{ZZ} η ακτίνα αδρανείας.

Για τον πειραματικό προσδιορισμό της ιδιοπεριόδου, εκτρέπουμε το μοντέλο από τη θέση ισορροπίας του και το αφήνουμε να εκτελέσει 10 ταλαντώσεις περί τον κατακόρυφο άξονα. Η μετρούμενη ιδιοπερίοδος θα πρέπει να είναι παραπλήσια της θεωρητικής που υπολογίστηκε προηγουμένως και ήταν ίση με 3,45sec.. Η χρονομέτρηση επαναλαμβάνεται κάποιες φορές ώστε το αποτέλεσμα να είναι αξιόπιστο.

Προκύπτει ότι $T = 35,65/10 = 3,565\text{sec}$, τιμή που κρίνεται ικανοποιητική. Η ακτίνα αδρανείας του μοντέλου προέκυψε ίση με 0,718m.

Σε περίπτωση που υπήρχε μεγάλη απόκλιση μεταξύ θεωρητικής και μετρούμενης τιμής θα έπρεπε να γίνουν μετακινήσεις των βαρών του μοντέλου και να επαναληφθεί η χρονομέτρηση. Η μετακίνηση αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών να διατηρείται σταθερό. Εξυπακούεται ότι μετά από κάθε μετακίνηση βαρών θα πρέπει να ελέγχεται αν το σκάφος παραμένει σε ισοβύθιστη κατάσταση.

Βαθμονόμηση μετρητικών διατάξεων

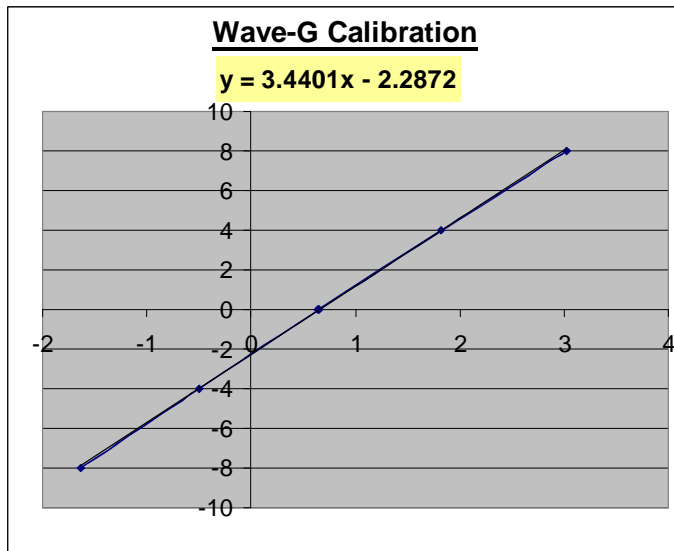
Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων μετρήθηκαν τα εξής μεγέθη:

- Ανύψωση κύματος
- Κατακόρυφες επιταχύνσεις μοντέλου (πλώρη, κέντρο βάρους, πρύμνη)
- Αντίσταση (Resistance)

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς

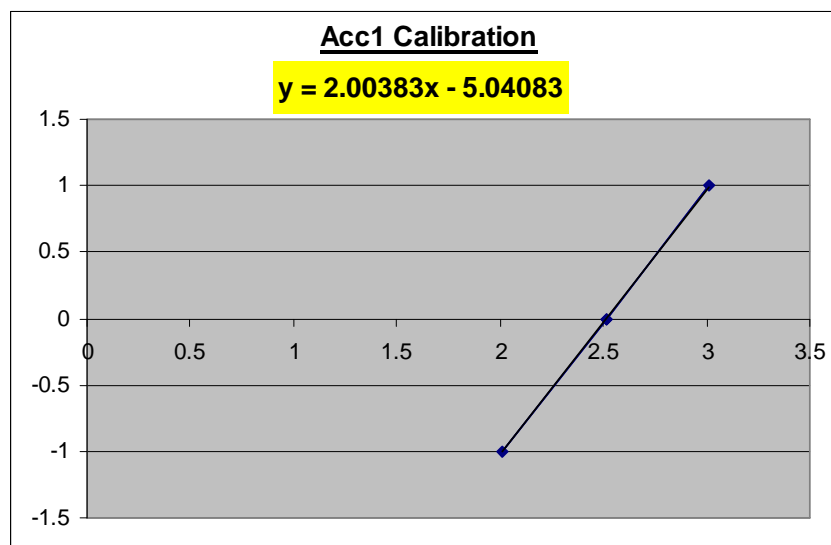
- Πλευρική δύναμη (Side Force)
- Κατακόρυφη κίνηση (Heave)
- Προνευτασμός (Pitch)

Η μέτρηση της **ανύψωσης κύματος** πραγματοποιείται με τη βοήθεια ακίνητου αισθητήρα (Wave Tank Probe), προσδεδμένου σε σταθερό σημείο στη δεξαμενή. Λαμβάνει μετρήσεις μέσω διπλού μεταλλικού στελέχους βυθιζόμενου στο νερό. Όσον αφορά την αρχή λειτουργίας τους, τα δύο τμήματα του μεταλλικού στελέχους μπορούν να θεωρηθούν ως οπλισμοί πυκνωτή με το νερό σα διηλεκτρικό μέσο. Συνεπώς η μετρούμενη χωρητικότητα δίνει ένα μέτρο του βάθους της βύθισης. Ο αισθητήρα ανύψωσης κύματος είναι πολύ ευαίσθητος στις καιρικές μεταβολές, με αποτέλεσμα να επιβάλλεται η καθημερινή βαθμονόμησή του (πριν την εκτέλεση κάθε σειράς πειραμάτων). Επιπλέον, η επιφανειακή τάση του νερού μπορεί να προσθέσει μετρητικό φάσμα κοντά στο μεταλλικό στέλεχος. Ωστόσο το σφάλμα λόγω της επίδρασης αυτής δεν είναι σημαντικό.

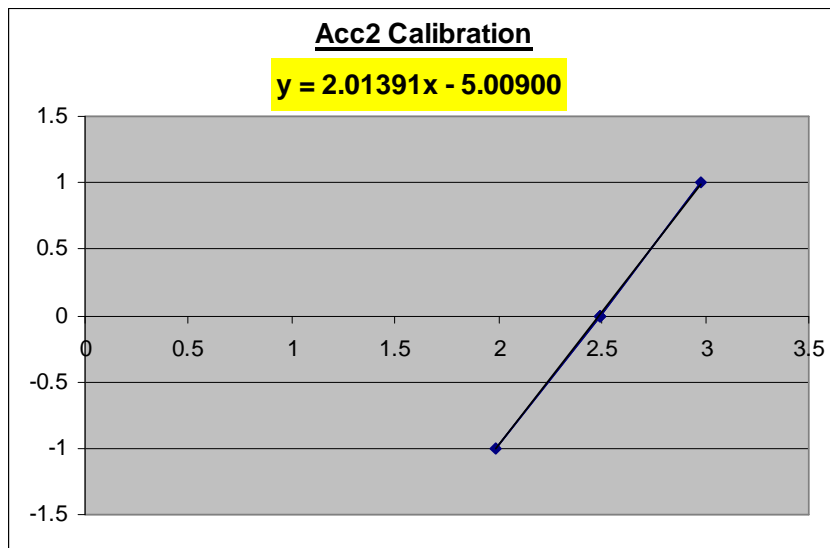


Διάγραμμα 1 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης του αισθητήρα Wave-G

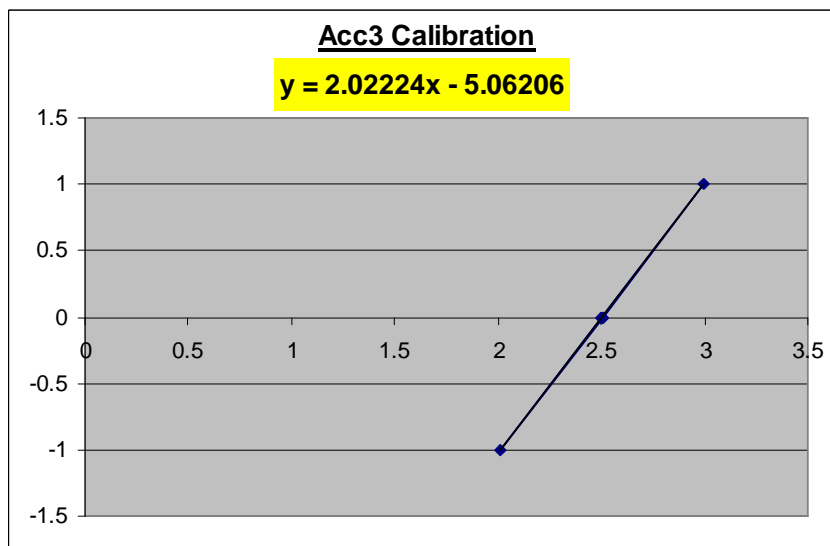
Οι **κατακόρυφες επιταχύνσεις** του μοντέλου μετρώνται από τρία επιταχυνσιόμετρα τύπου Kistler τοποθετημένα στην πλώρη, στο κέντρο βάρους και στην πρύμνη. Η βαθμονόμησή τους γίνεται μόνο μια φορά (πριν την τοποθέτησή τους στο μοντέλο) καθώς πρόκειται για πολύ σταθερά και αξιόπιστα όργανα.



Διάγραμμα 2 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης επιταχυνσιομέτρου Acc1



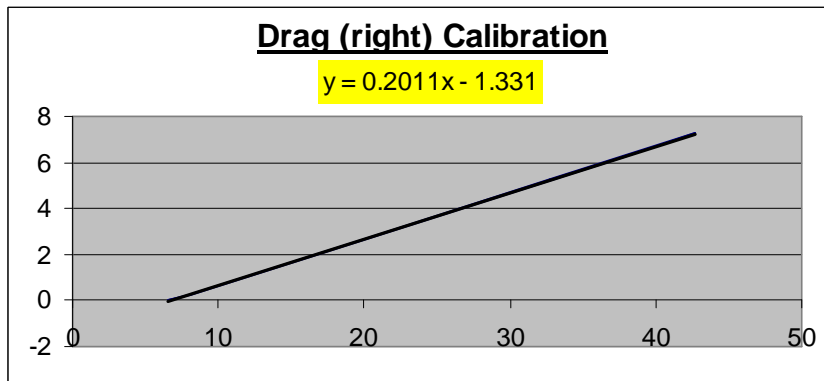
Διάγραμμα 3 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης επιταχυνσιομέτρου Acc2



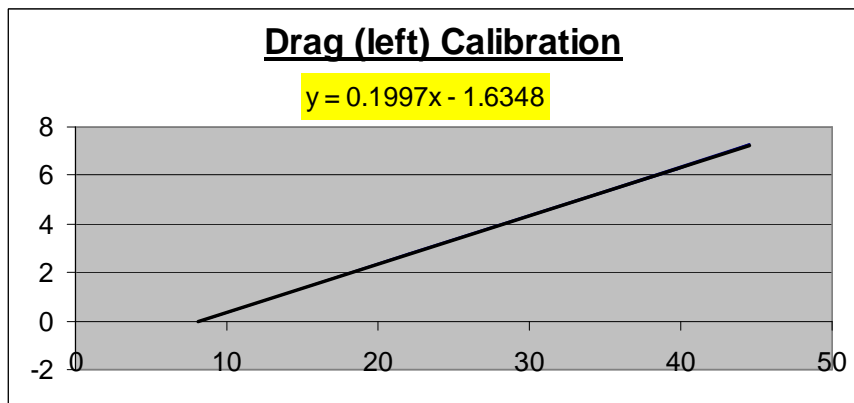
Διάγραμμα 4 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης επιταχυνσιομέτρου Acc3

Η μέτρηση της **αντίστασης**, της **πλάγιας δύναμης** και των κινήσεων **heave**, **pitch** γίνεται με τη βοήθεια των αισθητήρων του δυναμόμετρου, το οποίο προσδένεται σε ειδική πλάκα στο κέντρο βάρους του μοντέλου.

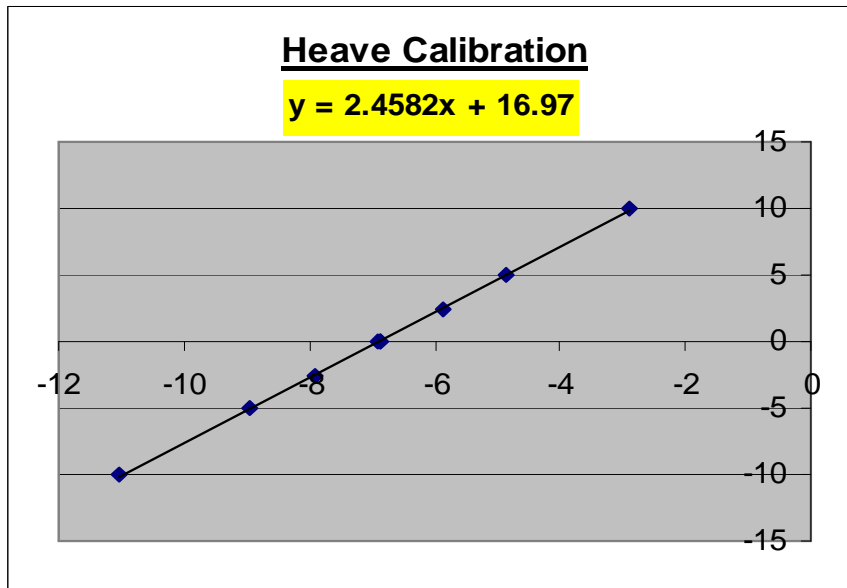
Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς



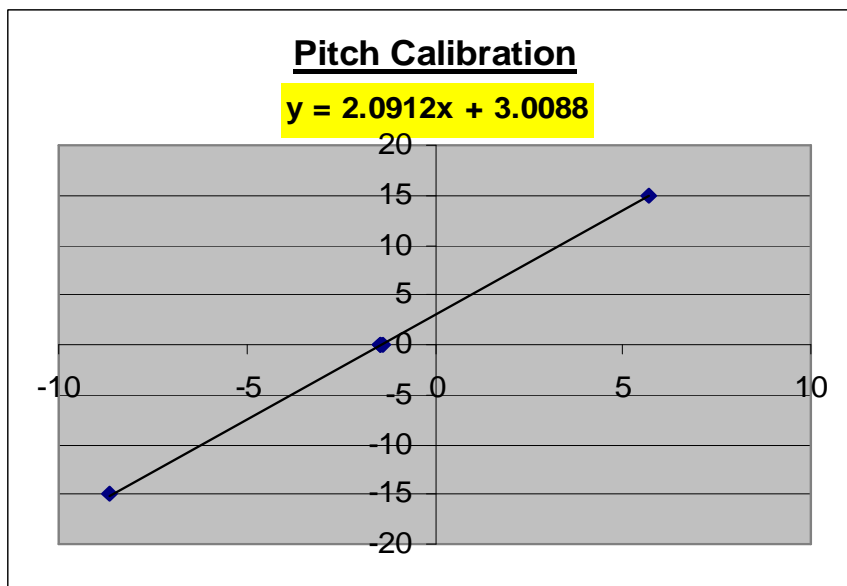
Διάγραμμα 5 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα αντίστασης(δεξιά πλευρά)



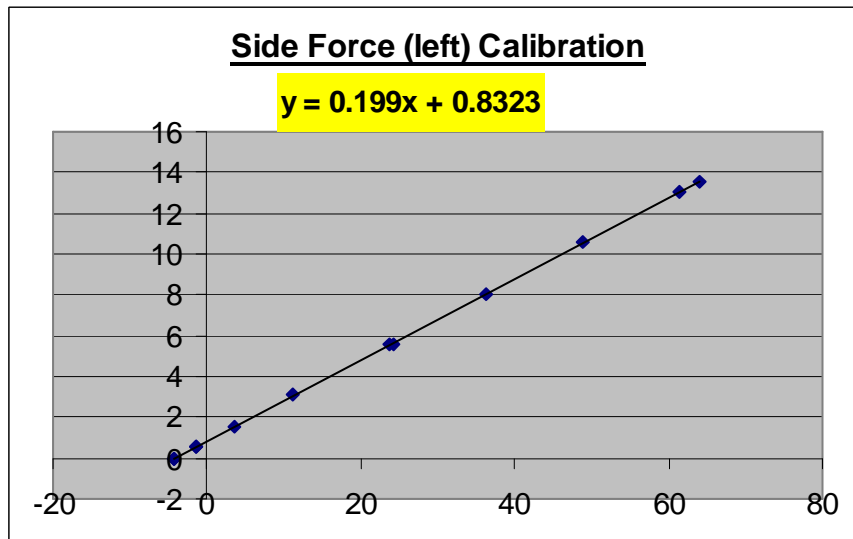
Διάγραμμα 6 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα αντίστασης(αριστερή πλευρά)



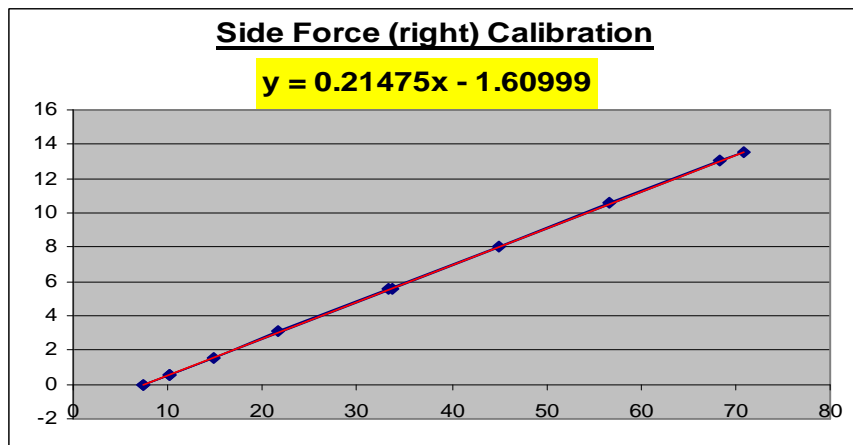
Διάγραμμα 7 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα Heave



Διάγραμμα 8 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα Pitch

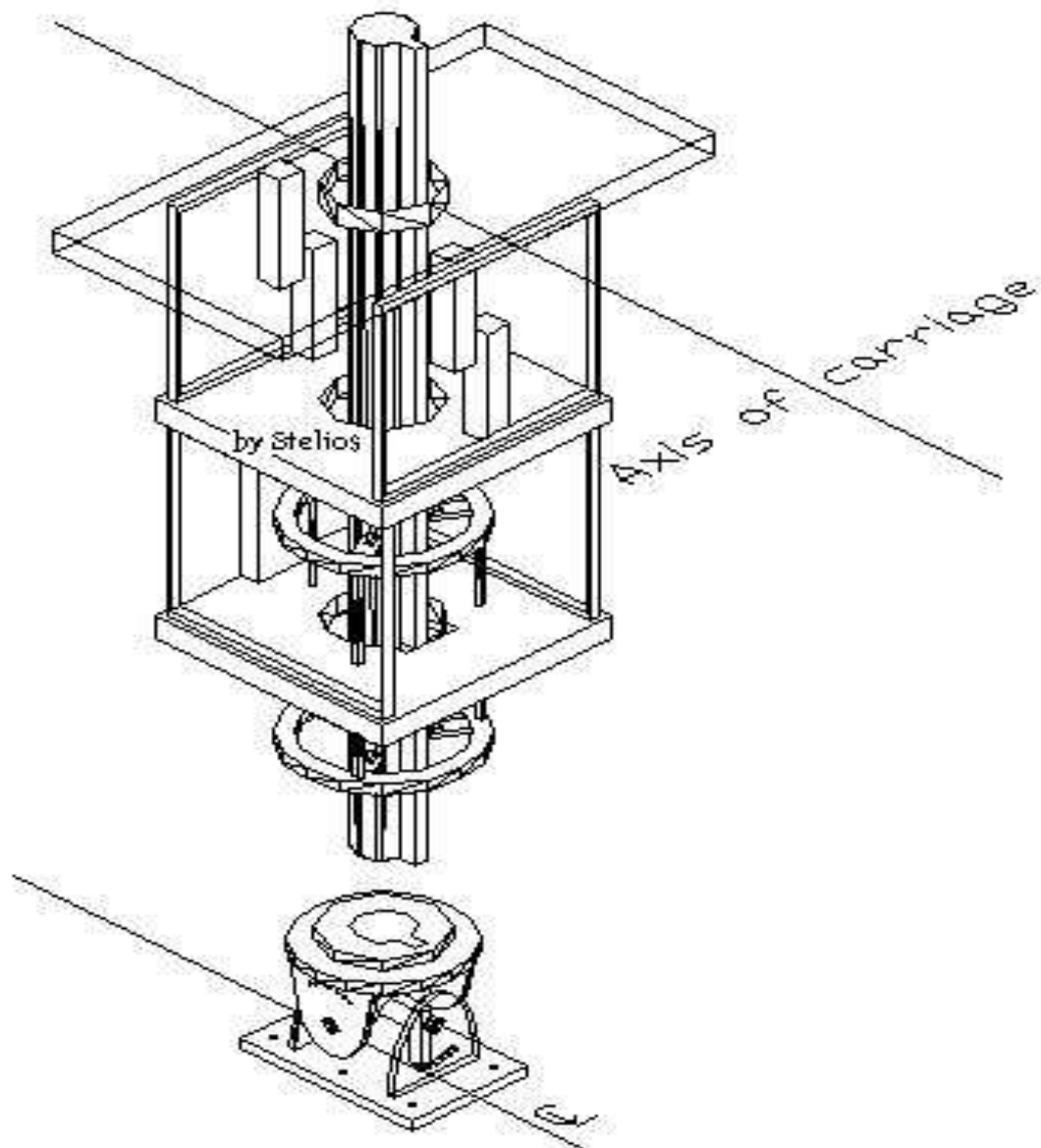


Διάγραμμα 9 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα Side Force (αριστερή πλευρά)



Διάγραμμα 10 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα Side Force (δεξιά πλευρά)

Όλοι οι παραπάνω αισθητήρες δίνουν ηλεκτρικό σήμα (Volts) στην έξοδό τους. Η καταγραφή των μετρήσεων είναι ανάλογη της συχνότητας δειγματοληψίας που ορίζουμε. Συγκεκριμένα ορίσαμε να λαμβάνονται πειραματικές μετρήσεις συχνότητας 50Hz, δηλαδή ανά 0,02sec. Το σήμα υποβάλλεται σε ενίσχυση και καταγράφεται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του φορείου.



Εικόνα 14 Σκαρίφημα του δυναμόμετρου που χρησιμοποιήθηκε

Η βαθμονόμηση των οργάνων αποτελεί θεμελιώδες κομμάτι της πειραματικής διαδικασίας. Είναι απαραίτητο να ελέγχεται έτσι η σωστή λειτουργία τους και να δημιουργούνται οι συναρτήσεις μεταφοράς για τη μετατροπή των Volts σε τιμές φυσικών μεγεθών (μετατόπιση, επιτάχυνση). Η διαδικασία

βαθμονόμησης εκτελείται σε τακτά χρονικά διαστήματα για την καλύτερη αξιοπιστία των πειραμάτων, καθώς κάποιες από τις μετρούμενες ποσότητες είναι πιο ευαίσθητες στις μεταβολές του περιβάλλοντος.

Συγκεκριμένα, η βαθμονόμηση του αισθητήρα ανύψωσης κύματος γινόταν κάθε μέρα, πριν την εκτέλεση του προγραμματισμένου πειράματος. Η βαθμονόμηση των αισθητήρων Heave και Pitch έγινε στην αρχή της σειράς των πειραμάτων. Τέλος, η βαθμονόμηση των αισθητήρων αντίστασης και πλευρικής δύναμης γινόταν επίσης σε καθημερινή βάση.



Εικόνα 15 Ο Η/Υ στον οποίο γινόταν η καταγραφή των αποτελεσμάτων

Πειραματικές καταστάσεις θάλασσας(φάσματα τυχαίων κυματισμών)

Τα χαρακτηριστικά των καταστάσεων θάλασσας στις οποίες δοκιμάστηκε η συμπεριφορά του μοντέλου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Tp ship (s)	4.5	5.5	4.5	5.5
Tp model (s)	2.25	2.75	2.25	2.75
Hs ship (m)	1	1.5	1	1.5
Hs model (m)	0.25	0.375	0.25	0.375
Velocity (m/s)	1.5	1	1.5	1
WGEN	"080411"	"080411"	"080411"	"080411"
File Name	Spec_1M	Spec_15M	Spec_1M	Spec_15M
Scale Factor	0.6	0.5	0.6	0.5
Yaw (deg)	2	4	4	2
Roll (deg)	10	20	20	10

Πειράματα αρμονικών κυματισμών

Όλα τα πειράματα ημιτονοειδών κυματισμών πραγματοποιήθηκαν σε ταχύτητα $V=1$ m/s, γωνία απόκλισης ίση με 2 μοίρες και γωνία εγκάρσιας κλίσης ίση με 10 μοίρες. Οι συχνότητες και τα πλάτη κυματισμών που δοκιμάστηκαν και μετρήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Freq	Amplitude
0.3	5
0.3	8
0.4	5
0.4	8
0.5	5
0.6	5
0.6	8
0.7	5
0.7	6
0.8	5
0.9	4
0.9	5
1	3
1	5
1.1	2
1.1	5
1.2	2

Πειράματα ήρεμου νερού (Calm Water)

Επίσης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε ήρεμο νερό, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η σύγκριση με τα αποτελέσματα των πειραμάτων με κυματισμούς. Οι συνδυασμοί που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήρεμου νερού παρουσιάζονται παρακάτω.

Wave	Velocity	Yaw	Roll
CW	1	2	0
CW	1	2	10
CW	1	4	0
CW	1	4	20
CW	1	0	0

ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Όπως προαφέρθηκε, η βαθμονόμηση των οργάνων αποτελούσε το πρώτο μέλημα πριν τη διεξαγωγή κάθε σειράς πειραμάτων και ήταν μια διαδικασία αρκετά απαιτητική σε χρόνο. Τα αποτελέσματα των βαθμονομήσεων καταγράφονταν σε ειδικό φύλλο και σχεδιάζονταν οι αντίστοιχες συναρτήσεις μεταφοράς στο Microsoft Excel.

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

Μόλις τα παραγόμενα κύματα έφταναν στο αρχικά ακίνητο μοντέλο, δίναμε στο φορείο την επιθυμητή ταχύτητα και ξεκινούσε το πείραμα. Τόσο για τη μικρή ταχύτητα όσο και για τη μεγάλη, μελετήθηκε χρονική ιστορία συνολικής διάρκειας μεγαλύτερης των 300sec. Επειδή όμως το μοντέλο στο συγκεκριμένο διάστημα (με τις συγκεκριμένες ταχύτητες) θα κάλυπτε αρκετά μεγαλύτερη απόσταση από το διαθέσιμο μήκος δεξαμενής, η χρονική ιστορία διασπάται σε επιμέρους μικρότερες (runs). Έτσι για τα πειράματα σε $V=1$ m/s έχουμε 6 runs των 55sec το καθένα, ενώ για $V=1.5$ m/s έχουμε 10runs των 34sec έκαστο.

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

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα πειραματικά αποτελέσματα καταγράφηκαν ως Volts σε αρχεία .dat στον υπολογιστή του φορείου. Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν οι συναρτήσεις μεταφοράς που είχαν δημιουργηθεί κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης για την μετατροπή των αποτελεσμάτων από Volts σε πραγματικά μεγέθη, καθώς και οι απαιτούμενες διορθώσεις που έπρεπε να γίνουν στις εγγραφές των επιταχυνσιομέτρων λόγω εγκάρσιας κλίσης, έτσι ώστε οι τιμές να ανταποκρίνονται σε κατακόρυφες επιταχύνσεις. Για την επεξεργασία των αρχείων που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκε κώδικας Fortran με την ονομασία ffft52.for. Ο συγκεκριμένος κώδικας με την εφαρμογή μετασχηματισμού Fourier παράγει τα φάσματα τόσο των κυματισμών όσο και των αποκρίσεων και συρράπτει τα επιμέρους αρχεία ώστε να αναλυθεί η συνολική χρονική ιστορία των μετρήσεων.

Τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης εμφανίζονται σε δύο αρχεία:

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

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

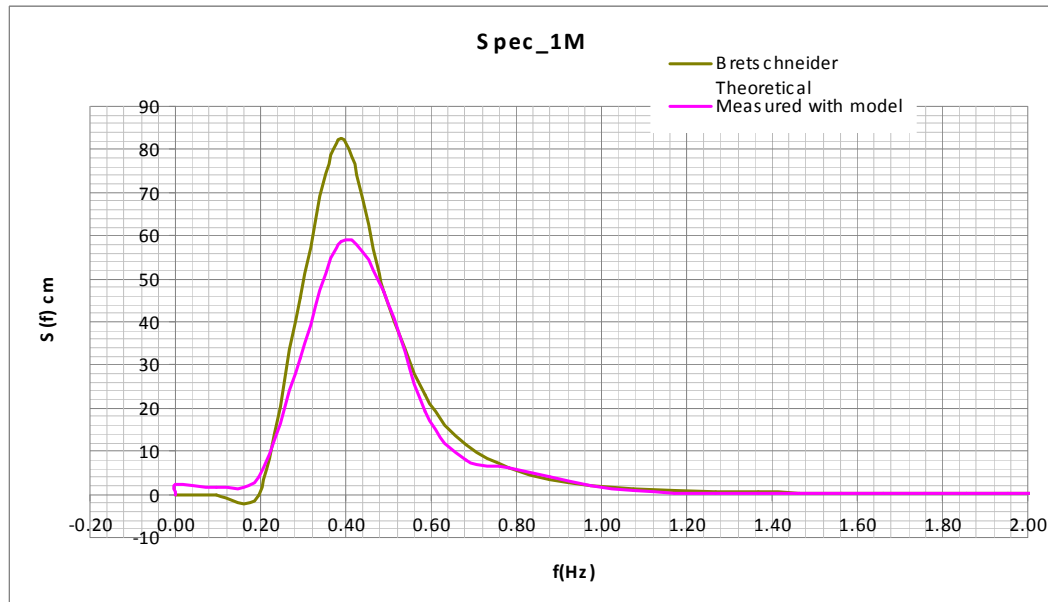
Στη συνέχεια τα αποτελέσματα απεικονίστηκαν σε διαγράμματα με τη βοήθεια του Microsoft Excel ώστε να εξαχθούν τα συμπεράσματα για τη δυναμική συμπεριφορά του μοντέλου μας.

Velocity Prediction Program

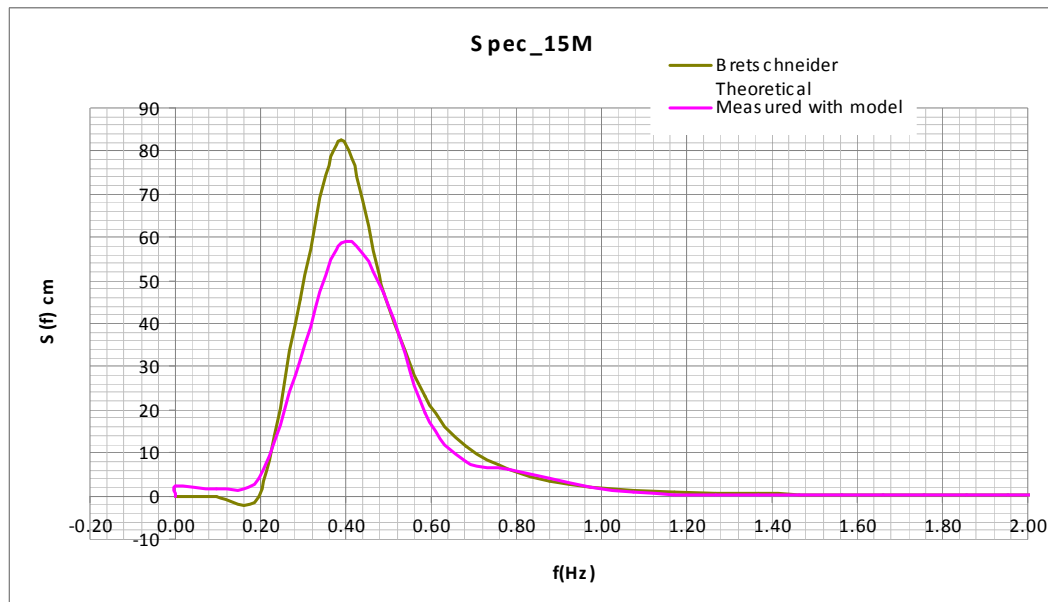
Για να εξαχθούν το πολικό διάγραμμα και το διάγραμμα ευστάθειας του σκάφους, χρησιμοποιήθηκε η τελευταία έκδοση του ORC Manager (ORC Manager 2012 – Designer's Edition). Δημιουργήθηκε αρχικά ένα αρχείο offset που περιείχε τη γεωμετρία του σκάφους και ύστερα εισάχθηκαν στο πρόγραμμα και τα στοιχεία ιστιοφορίας του, έτσι ώστε να μπορούν να γίνουν οι απαιτούμενοι υπολογισμοί. Τα προγράμματα αυτού του τύπου μπορούν να αποδειχθούν ιδιαίτερα χρήσιμα για την διερεύνηση της συμπεριφοράς γάστρας ιστιοπλοϊκού σκάφους, μιας και εισάγοντας βασικά στοιχεία του σκάφους λαμβάνουμε αποτελέσματα για την ταχύτητά του σε διάφορες γωνίες πλεύσης, αλλά και για την ευστάθεια της κατασκευής σε διάφορες γωνίες εγκάρσιας κλίσης.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Φάσματα κυματισμών που δημιουργήθηκαν

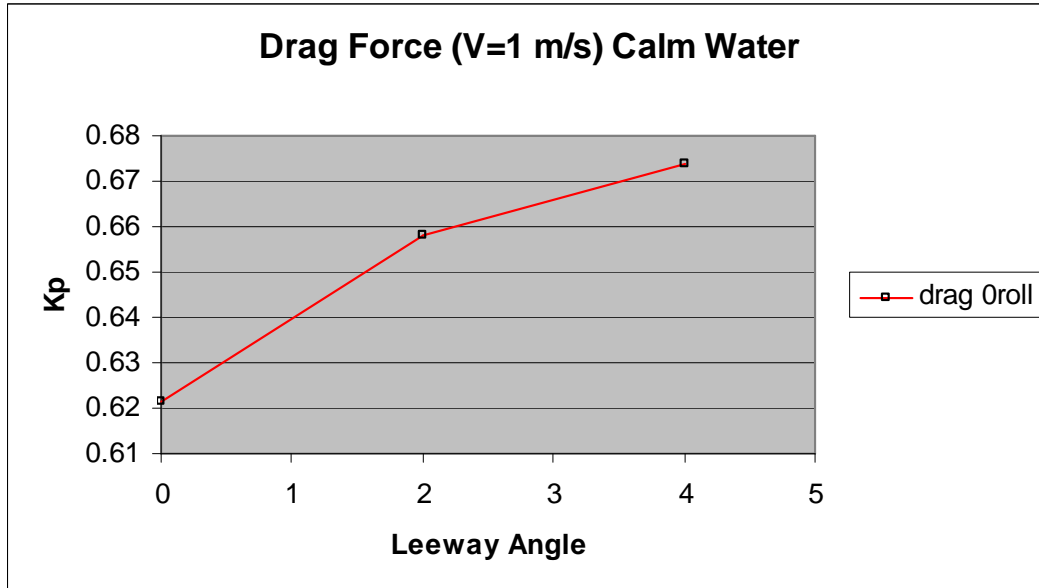


Διάγραμμα 11 Φάσμα κυματισμών με $H_s=0.25\text{m}$ και $T_p=2.25\text{s}$ (σε κλίμακα 1/1 το φάσμα αναφέρεται σε κυματισμούς με $H_s=1\text{m}$ και $T_p=4.5\text{s}$)

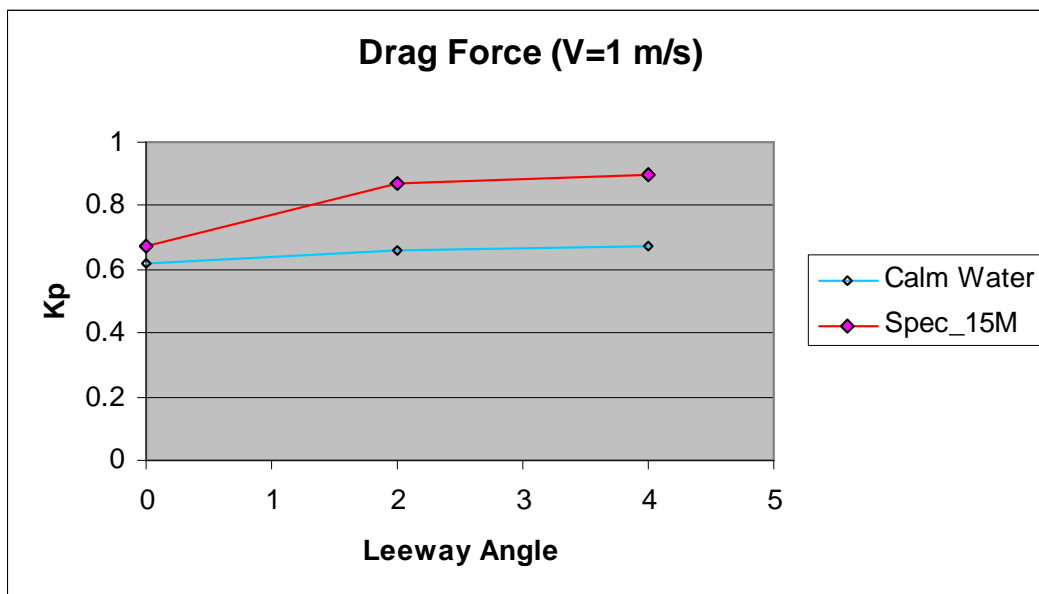


Διάγραμμα 12 Φάσμα κυματισμών με $H_s=0.375\text{m}$ και $T_p=2.75\text{s}$ (σε κλίμακα 1/1 το φάσμα αναφέρεται σε κυματισμούς με $H_s=1.5\text{m}$ και $T_p=5.5\text{s}$)

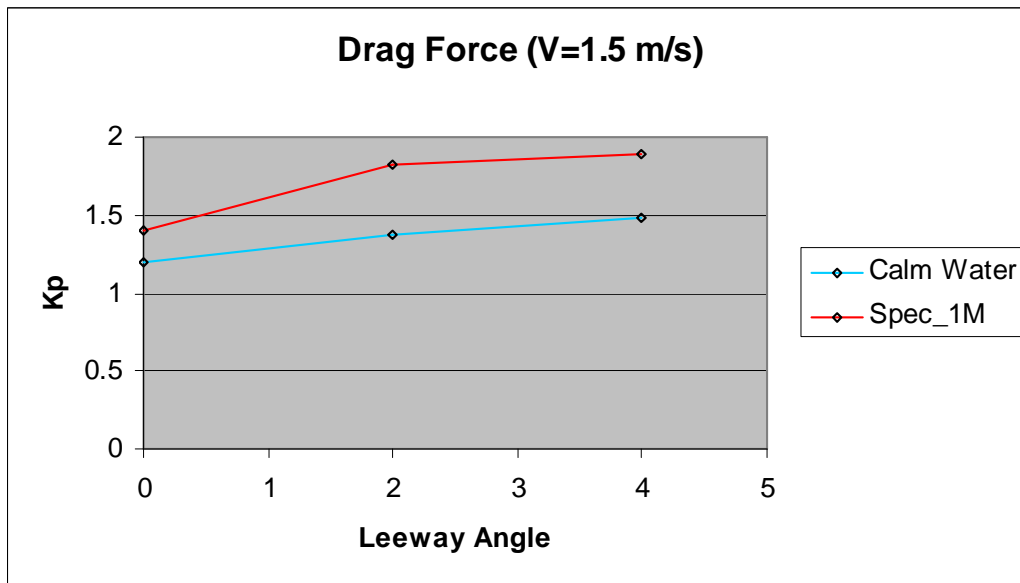
Δυνάμεις αντίστασης



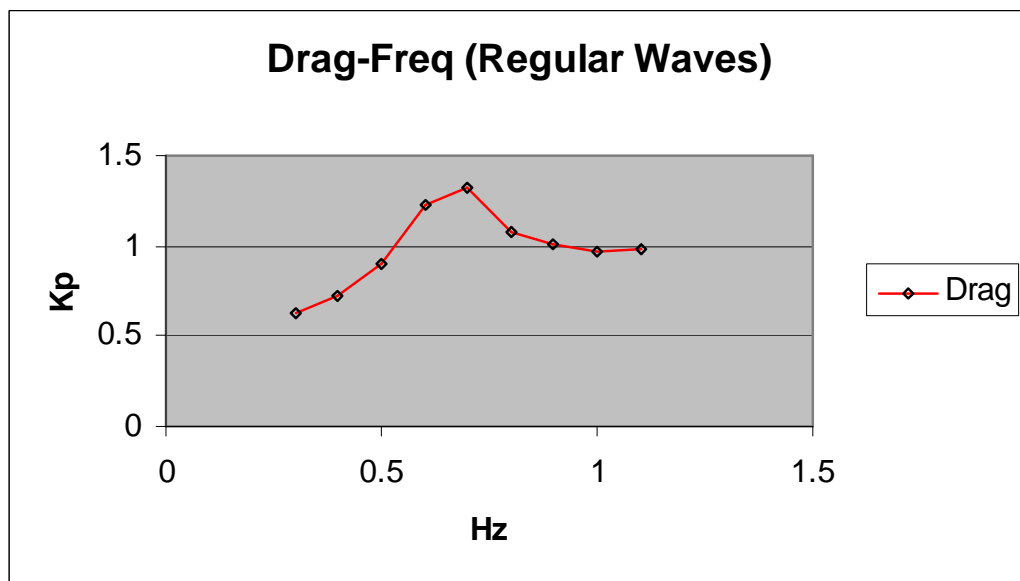
Διάγραμμα 13 Δυνάμεις αντίστασης σε συνάρτηση με τη γωνία απόκλισης σε ήρεμο νερό με σταθερή ταχύτητα



Διάγραμμα 14 Σύγκριση δυνάμεων αντίστασης μεταξύ ήρεμου νερού και φάσματος κυματισμού

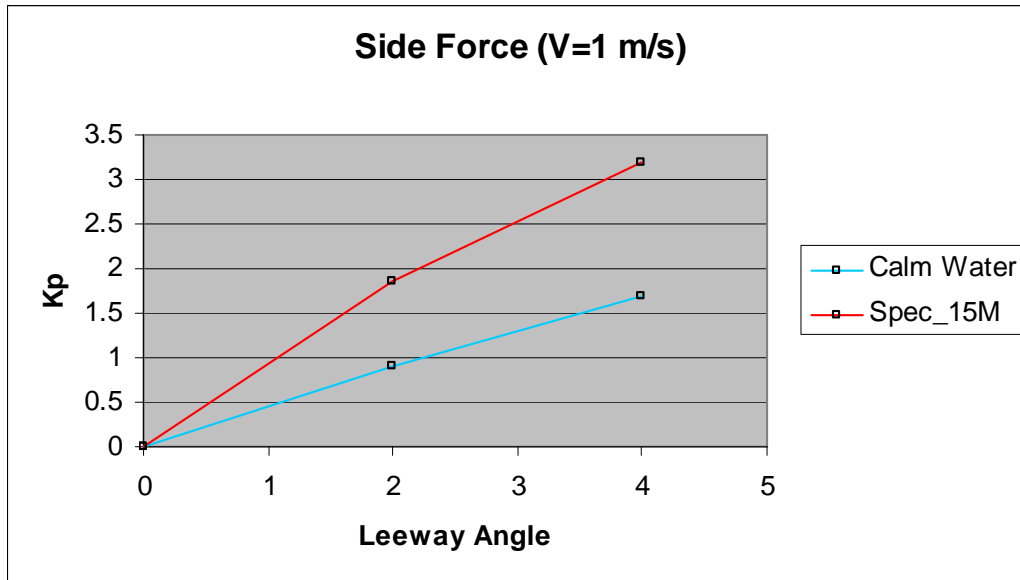


Διάγραμμα 15 Σύγκριση δυνάμεων αντίστασης μεταξύ ήρεμου νερού και φάσματος κυματισμού

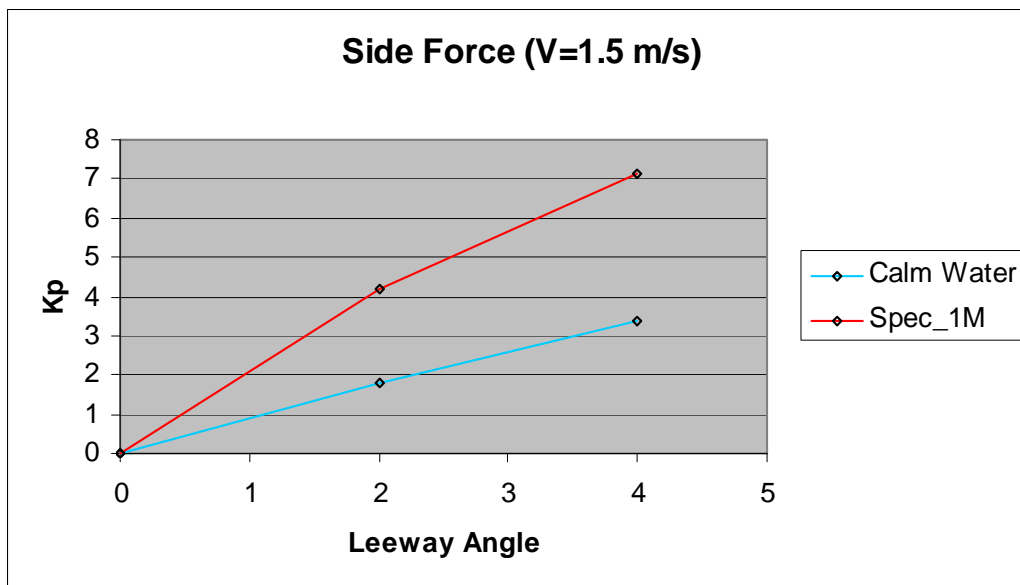


Διάγραμμα 16 Δυνάμεις αντίστασης σε συνάρτηση με τη συχνότητα σε αρμονικούς κυματισμούς πλάτους 5cm

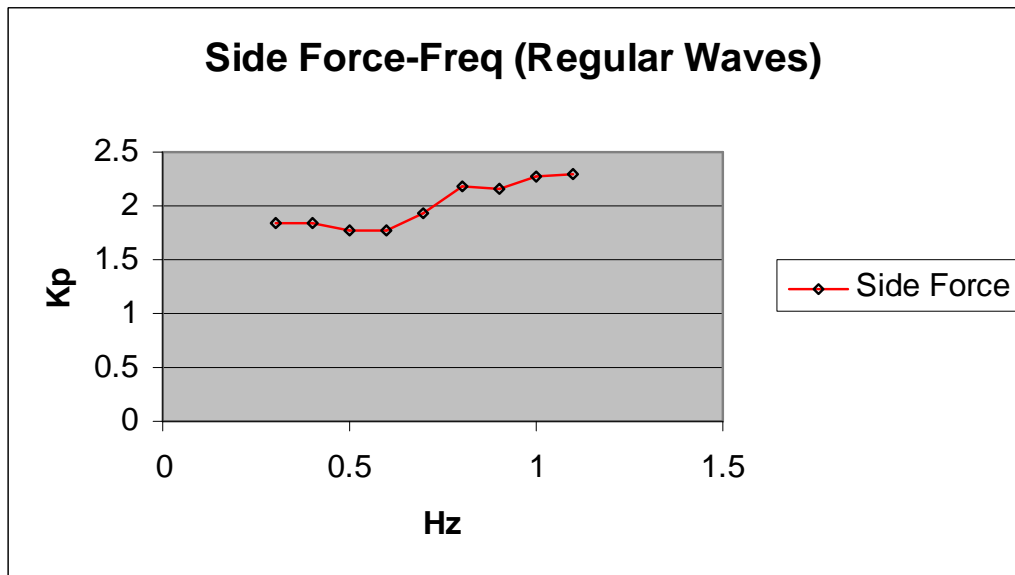
Πλευρικές δυνάμεις



Διάγραμμα 17 Σύγκριση πλευρικών δυνάμεων μεταξύ ήρεμου νερού και φάσματος κυματισμού

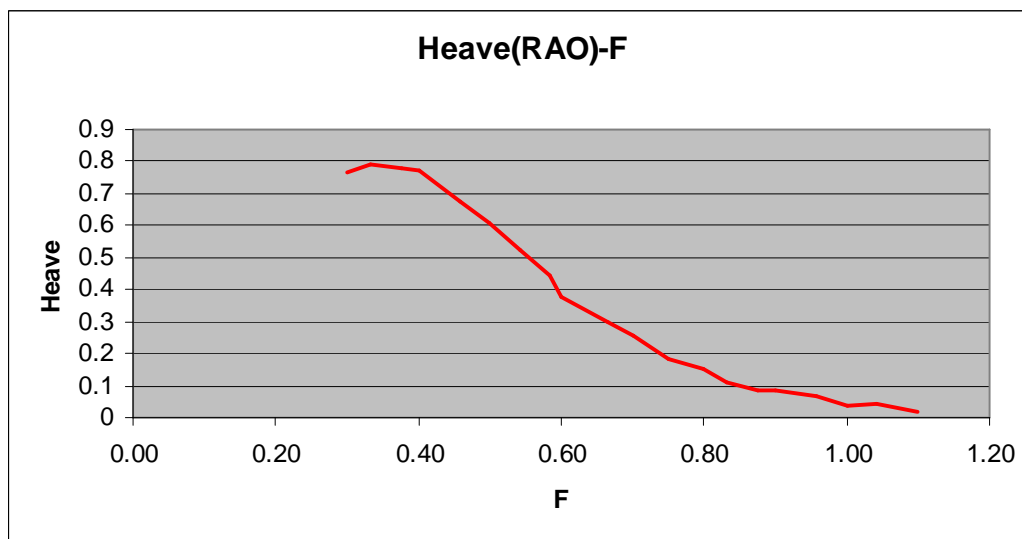


Διάγραμμα 18 Σύγκριση πλευρικών δυνάμεων μεταξύ ήρεμου νερού και φάσματος κυματισμού

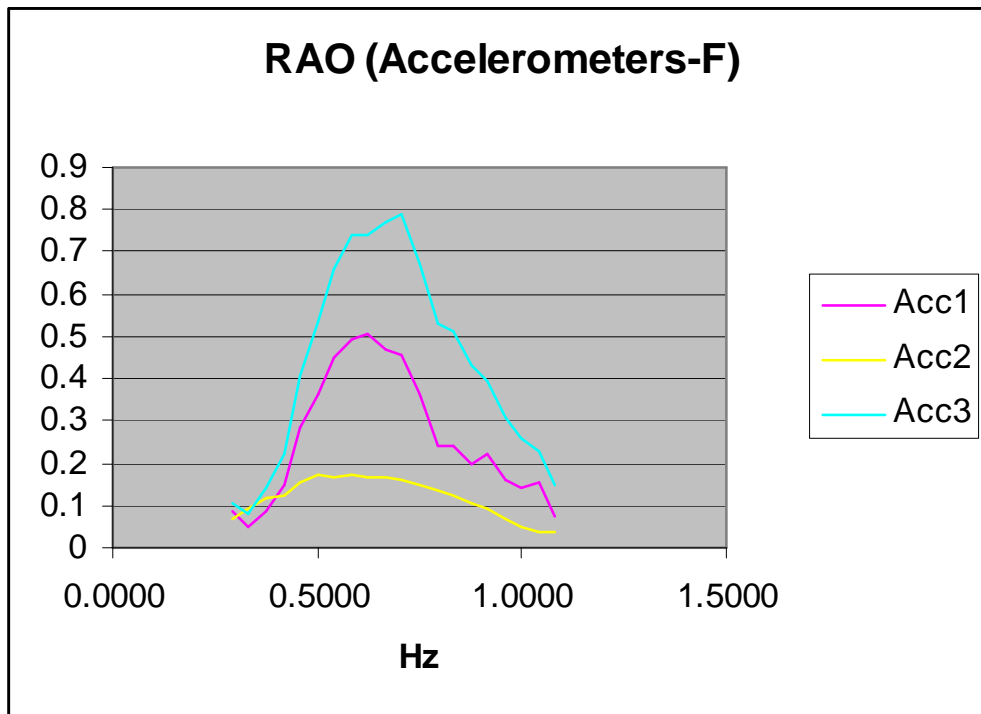


Διάγραμμα 19 Πλευρικές δυνάμεις σε συνάρτηση με τη συχνότητα σε αρμονικούς κυματισμούς πλάτους 5cm

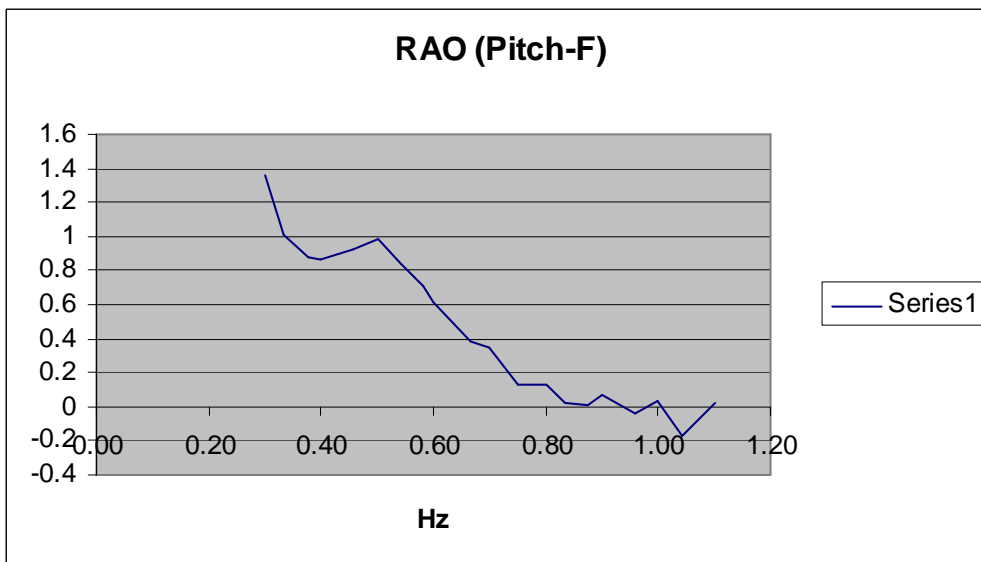
Διαγράμματα RAO



Διάγραμμα 20 RAO_{Heave} σε συνάρτηση με τη συχνότητα



Διάγραμμα 21 RAO επιταχυνσιμέτρων σε συνάρτηση με τη συχνότητα



Διάγραμμα 22 RAO_{Pitch} σε συνάρτηση με τη συχνότητα

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ VPP

Data File:
Date: 2013-01-03:03:04:41
Yacht Name: BOC 50 (NTUA 103/94)
Sail No:
Class: BOC 50
Designer: MAYRIKIOS
Builder: Mayrikios
Offset File: BOC502.off

GPH = 509.3

L P P (metric units)

Hull							
Loa	15.556	Xloa	15.556	Beam Max	3.544	X Beam Max	9.178
Displacement Sailing Trim	8063.832	Draft Sailing Trim	4.095	X Draft Sailing Trim	8.618	Draft Measurement Trim	4.040
Imsl	14.513	Imsb	2.737	Imsd	3.600	Imsbtr	4.061
Displacement Unit Immersion	27.253	Moment Unit Trim	21.531	Minimum Displacement	6496.452	Crewweight Default	1070.708
Crewweight	1070.708	Baft	2.738	Bfwd	0.868	Dmt	5.466
X Dmt	8.618	Accommodation Length Race	11.512	Accommodation Length Cruise	11.512	Gyradius Heavy Items Adjust	0.000
Nominal Gyradius	3.341	Gyradius Adjust	0.010	Endplate Extension	-0.100	Pipa	0.020
Water Ballast	no	Canting Keel	no				

Rig General					
Mast Weight Default	184.500	Mast Carbon Weight Default	135.386	Rigging Weight Default	62.436
Rigging Carbon Weight Default	12.487	Mast Rig Weight Measured	0.000	Mast Vcg To Base P Default	6.542
Rigging Vcg To Base P Default	5.744	Mast Rig Vcg To Base P Measured	0.000		

Rig Details													
P Rated	17.500	P Measured	17.500	Bas Rated	1.250	E Rated	6.000	E Measured	6.000	Ig Rated	18.800	I Rated	18.247
J Rated	5.776	Sfj Rated	0.000	Hbl Rated	1.380	Spl Rated	5.776	Tps Rated	5.776	Isp Rated	18.800	Mdl1 Rated	0.250
Mdt1 Rated	0.150	Mdl2 Rated	0.200	Mdt2 Rated	0.130	N Spreaders	3.000	N Runners	0.000	Bd Measured	0.180	Bd Default	0.360
Im Default	12.188	Py Rated	9.000	Py Measured	9.000	Basy Rated	0.500	Ey Rated	2.700	Ey Measured	2.700	Mdl1y Rated	0.000
Mdt1y Rated	0.000	Mdl2y Rated	0.000	Mdt2y Rated	0.000								

Sails General					
Sail Area Vpp	107.010	Area Foretriangle	52.698	Fractionality	1.003
Overlap	1.479	Roach Ims	0.200	Woven Dacron Sails	no
Stormjib Maxarea	16.648	Stormjib Maxjl	11.861	Stormtry Maxarea	18.375
Heavyjib Maxarea	44.949				

Mainsail									
Mgl Measured	5.000	Mgm Measured	3.800	Mgu Measured	2.200	Mgt Measured	1.300	Hb Measured	0.150
Mgl Rated	5.000	Mgm Rated	3.800	Mgu Rated	2.200	Mgt Rated	1.300	Hb Rated	0.150
Mgl Default	5.100	Mgm Default	3.960	Mgu Default	2.460	Mgt Default	1.500	Hb Default	0.300
Mgl Height	0.259	Mgm Height	0.516	Mgu Height	0.766	Mgt Height	0.889	Area Rated	63.002
Area Measured	61.852	Zce Geometric	8.154	Weight Measured	50.000	Weight Rated	50.000	Weight Default	12.793

Jib													
Jl Measured	19.140	Lpg Measured	8.500	Jh Measured	0.000	Jgt Measured	1.063	Jgu Measured	2.125	Jgm Measured	4.250	Jgl Measured	6.375
Jl Rated	19.140	Lpg Rated	8.500	Jh Rated	0.000	Jgt Rated	1.063	Jgu Rated	2.125	Jgm Rated	4.250	Jgl Rated	6.375
Jl Default	18.183	Lp Default	5.198	Jgt Default	1.063	Jgu Default	2.125	Jgm Default	4.250	Jgl Default	6.375	Area Measured	81.343
Area Rated	81.343	Zce Geometric	5.910										

Symmetric Spinnaker					
Sl Measured	19.000	Smg Measured	9.800	Sf Measured	0.150
Sl Default	18.684	Smg Default	7.798	Sf Default	10.397
Area Measured	124.608	Area Default	129.502	Area Rated	129.502
Zce Geometric	10.622				

Asymmetric Spinnaker					
Asl Measured	0.000	Aslu Measured	0.000	Asle Measured	0.000
Amg Measured	0.000	Asf Measured	0.000	Asl Default	18.684
Amg Default	7.798	Asf Default	10.397	Area Measured	0.000
Area Default	129.502	Area Rated	0.000	Zce Geometric	0.000

Code Zero					
COl Measured	0.000	COlu Measured	0.000	COle Measured	0.000
COm Measured	0.000	COF Measured	0.000	COl Default	18.684
COm Default	5.083	COF Default	9.242	Area Measured	0.000
Area Default	92.090	Area Rated	0.000	Zce Geometric	0.000

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς

Mizzen									
Mgly Measured	2.400	Mgmy Measured	1.750	Mguy Measured	1.000	Mgty Measured	0.580	Hby Measured	0.100
Mgly Rated	2.400	Mgmy Rated	1.750	Mguy Rated	1.000	Mgty Rated	0.580	Hby Rated	0.100
Area Rated	15.007	Zce Geometric	3.787						

Hydrostatics (measured)							
Sffp	0.972	Safp	14.584	Overhang Fwd	0.854	Overhang Aft	14.843
Height Transom Sailing Trim	0.016	X Transom Sailing Trim	15.556	Height Transom Measurement Trim	0.089	Hbi Measurement Trim	1.427
Rmc Standard Sg	299.155	Rmc	299.155	Rma25	6963.639	Capsize Angle	154.155
Stability Index	159.107	Blr Index	0.000	Rm Positive Area	75.676	Rm Negative Area	1.916
Rm Ratio Areas	39.506						

Hydrostatics (averaged)					
Rmc Standard Sg	280.360	Rmc	280.360	Rma25	6504.726

Stability Curve (Declared CW)		Stability Curve (Default CW)	
Heel	Righting Arm	Heel	Righting Arm
0°	0.000	0°	0.000
2°	0.075	2°	0.077
10°	0.372	10°	0.379
20°	0.711	20°	0.726
25°	0.860	25°	0.878
30°	0.995	30°	1.017
40°	1.230	40°	1.257
60°	1.574	60°	1.610
90°	1.619	90°	1.662
120°	0.977	120°	1.014
150°	0.103	150°	0.123
165°	-0.240	165°	-0.231
180°	0.000	180°	0.000

Appendages

Keel						
Area: 3.98 , Volume: 0.38 , LCB from Stem: 8.644						
Strip #	Chord	Thickness Chord Ratio	Half Area	Volume	CG below ST WL	
1	1.675	0.125	1.093	0.151	3.648	
2	0.919	0.118	0.669	0.048	3.008	
3	0.870	0.126	0.633	0.046	2.274	
4	0.992	0.113	0.722	0.054	1.532	
5	1.184	0.123	0.862	0.083	0.794	

Complete Hull Sailing Trim (sg=default)

Heel = 0.0							
Displacement	8064.059	Wetted Area	37.960	Vcg Above Offsets Datum	-0.837	Vcg Above Offsets Waterline	-0.820
Vcb Above Offsets Datum	-0.242	Vcb Above Offsets Waterline	-0.225	Freeboard Fwd	1.395	Freeboard Aft	1.352
Z WI Offsets Aft	0.057	Z WI Offsets Fwd	0.014	Rm1deg	304.894	Lcb Aft Of Stem	8.429
Lcf Aft Of Stem	8.652	Second Moment Length	14.764	Max Sect Area	1.421	X Max Sect Area	8.618
Wpa	28.306	Bwl	2.688				

Heel = 2.0							
Displacement	8064.063	Wetted Area	38.401	Vcg Above Offsets Datum	-0.837	Vcg Above Offsets Waterline	-0.820
Vcb Above Offsets Datum	-0.244	Vcb Above Offsets Waterline	-0.227	Freeboard Fwd	1.395	Freeboard Aft	1.354
Z WI Offsets Aft	0.055	Z WI Offsets Fwd	0.015	Rm1deg	304.894	Lcb Aft Of Stem	8.429
Lcf Aft Of Stem	8.744	Second Moment Length	14.993	Max Sect Area	1.421	X Max Sect Area	8.618
Wpa	28.707	Bwl	2.686				

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς

Heel = 25.0							
Displacement	8064.063	Wetted Area	36.715	Vcg Above Offsets Datum	-0.837	Vcg Above Offsets Waterline	-0.820
Vcb Above Offsets Datum	-0.540	Vcb Above Offsets Waterline	-0.523	Freeboard Fwd	1.448	Freeboard Aft	1.519
Z Wl Offsets Aft	-0.110	Z Wl Offsets Fwd	-0.039	Rm1deg	278.546	Lcb Aft Of Stem	8.429
Lcf Aft Of Stem	8.551	Second Moment Length	14.897	Max Sect Area	1.446	X Max Sect Area	8.618
Wpa	26.465	Bwl	2.496				

Complete Hull Measurement Trim (sg=default)

Heel = 0.0							
Displacement	6550.306	Wetted Area	35.048	Vcg Above Offsets Datum	-1.300	Vcg Above Offsets Waterline	-1.283
Vcb Above Offsets Datum	-0.302	Vcb Above Offsets Waterline	-0.285	Freeboard Fwd	1.427	Freeboard Aft	1.425
Z Wl Offsets Aft	-0.016	Z Wl Offsets Fwd	-0.018	Rm1deg	299.155	Lcb Aft Of Stem	8.239
Lcf Aft Of Stem	8.440	Second Moment Length	14.237	Max Sect Area	1.278	X Max Sect Area	8.618
Wpa	25.952	Bwl	2.567				

Heel = 2.0							
Displacement	6550.297	Wetted Area	35.066	Vcg Above Offsets Datum	-1.300	Vcg Above Offsets Waterline	-1.283
Vcb Above Offsets Datum	-0.304	Vcb Above Offsets Waterline	-0.287	Freeboard Fwd	1.427	Freeboard Aft	1.427
Z Wl Offsets Aft	-0.018	Z Wl Offsets Fwd	-0.018	Rm1deg	299.155	Lcb Aft Of Stem	8.239
Lcf Aft Of Stem	8.446	Second Moment Length	14.263	Max Sect Area	1.278	X Max Sect Area	8.618
Wpa	25.966	Bwl	2.567				

Complete Hull Lightship Trim (sg=default)

Heel = 0.0							
Displacement	6550.299	Wetted Area	35.048	Vcg Above Offsets Datum	-1.300	Vcg Above Offsets Waterline	-1.283
Vcb Above Offsets Datum	-0.302	Vcb Above Offsets Waterline	-0.285	Freeboard Fwd	1.427	Freeboard Aft	1.425
Z Wl Offsets Aft	-0.016	Z Wl Offsets Fwd	-0.018	Rm1deg	299.155	Lcb Aft Of Stem	8.239
Lcf Aft Of Stem	8.440	Second Moment Length	14.237	Max Sect Area	1.278	X Max Sect Area	8.618
Wpa	25.952	Bwl	2.567				

Canoe Body Sailing Trim (sg=default)

Heel = 0.0													
Vol	7.513	Lsm1	14.773	Lsm4	15.985	L	14.542	B	2.754	Btr	4.759	Lcb	0.520
Lcf	0.536	Wsau	30.871	Ams1	0.876	Lcb Axel	2.640	Wpa Axel	27.971	Canoecp	0.581	Lwl	14.593
Max Sect Area	0.876	X Max Sect Area	8.937	Cp	0.581	Cb	0.413	Wpa	28.306	Qdhk	0.459		

Heel = 10.0													
Vol	7.513	Lsm1	15.020	Lsm4	15.976	L	14.698	B	2.686	Btr	4.520	Lcb	0.515
Lcf	0.530	Wsau	31.298	Ams1	0.879	Lcb Axel	0.451	Wpa Axel	28.110	Canoecp	0.569	Lwl	14.716
Max Sect Area	0.879	X Max Sect Area	8.868	Cp	0.569	Cb	0.397	Wpa	28.110	Qdhk	0.473		

Heel = 20.0													
Vol	7.513	Lsm1	14.962	Lsm4	15.944	L	14.650	B	2.544	Btr	4.047	Lcb	0.514
Lcf	0.524	Wsau	30.255	Ams1	0.889	Lcb Axel	0.542	Wpa Axel	26.980	Canoecp	0.565	Lwl	14.701
Max Sect Area	0.889	X Max Sect Area	8.770	Cp	0.565	Cb	0.378	Wpa	26.980	Qdhk	0.518		

Heel = 25.0													
Vol	7.513	Lsm1	14.907	Lsm4	15.917	L	14.606	B	2.477	Btr	3.824	Lcb	0.514
Lcf	0.523	Wsau	29.625	Ams1	0.897	Lcb Axel	0.638	Wpa Axel	26.465	Canoecp	0.562	Lwl	14.687
Max Sect Area	0.897	X Max Sect Area	8.728	Cp	0.562	Cb	0.373	Wpa	26.465	Qdhk	0.542		

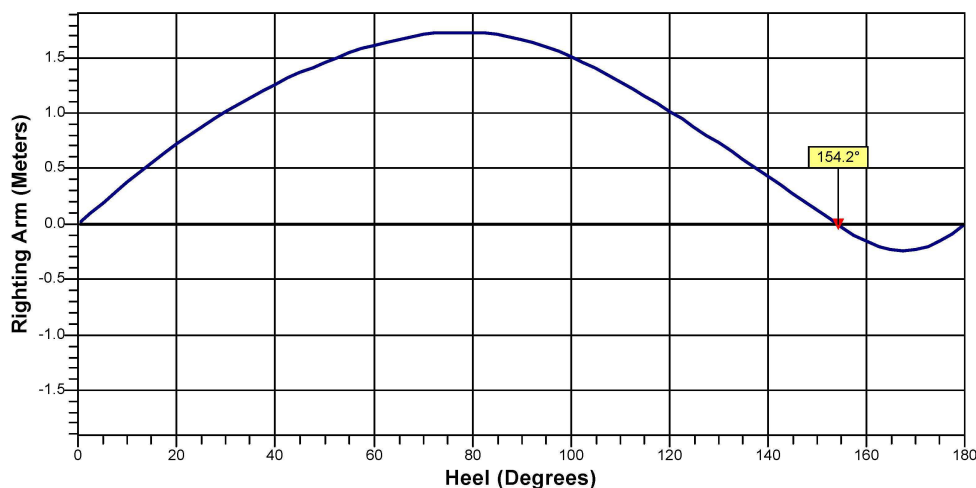
Heel = 30.0													
Vol	7.513	Lsm1	14.830	Lsm4	15.883	L	14.546	B	2.424	Btr	3.639	Lcb	0.513
Lcf	0.522	Wsau	29.076	Ams1	0.907	Lcb Axel	0.778	Wpa Axel	26.029	Canoecp	0.558	Lwl	14.669
Max Sect Area	0.907	X Max Sect Area	8.689	Cp	0.558	Cb	0.371	Wpa	26.029	Qdhk	0.560		

Heel = 40.0													
Vol	7.513	Lsm1	14.557	Lsm4	15.829	L	14.355	B	2.377	Btr	3.417	Lcb	0.512
Lcf	0.521	Wsau	28.285	Ams1	0.937	Lcb Axel	1.343	Wpa Axel	25.762	Canoecp	0.551	Lwl	14.613
Max Sect Area	0.937	X Max Sect Area	8.606	Cp	0.551	Cb	0.367	Wpa	25.762	Qdhk	0.587		



STABILITY AND HYDROSTATICS DATASHEET

© Offshore Racing Congress 2012
www.orc.org



STABILITY CURVE														
Righting Moment at 1°	299.2	Stability Curve Positive Area	75.676	Stability Curve Ratio	39.5063	Stability Index	159.1							
Limit of positive stability	154.2°	Stability Curve Negative Area	1.916	Water Ballast Volume	0 l	BLR Index	0.0000							
Righting Arm (meters)														
	0°	2°	10°	20°	25°	30°	40°	60°	90°	120°	150°	165°	180°	
Default Crew Weight	1,071 kg	0.000	0.077	0.379	0.726	0.878	1.017	1.257	1.610	1.662	1.014	0.123	-0.231	0.000
Declared Crew Weight	1,071 kg	0.000	0.075	0.372	0.711	0.860	0.995	1.230	1.574	1.619	0.977	0.103	-0.240	0.000

BOAT	
Name	BOC 50 (NTUA 103/94)
Sail Number	
Class	BOC 50
Designer	MAYRIKIOS
Builder	Mayrikios
Age Date	09/1997
Measured	24/12/2012
Measurer	Panagoulis
Issued On	12/27/2012 - VPP 2012 1.00

HULL CHARACTERISTICS (MEASUREMENT TRIM)	
Length Overall	15.556 m
Max. Beam	3.544 m
Max. Beam Station	9.178 m
Draft	4.040 m
Max. Draft Station	8.618 m
Moment Unit Trim	21.5 kg·m/m
Displacement Unit Immersion	27.25 kg/m
Block Coefficient	0.4128
Prismatic Coefficient	0.5807

HYDROSTATIC DATA		
	Trim	Sailing
Displacement	6,550 kg	8,064 kg
Wetted Area	35.05 m²	37.96 m²
Water Plane Area	25.95 m²	28.31 m²
Water Plane Beam	2.567 m	2.688 m
Longitud. Centre of Flotation	8.440 m	8.652 m
Longitud. Centre of Buoyancy	8.239 m	8.429 m
Vertical Centre of Gravity	-1.283 m	-0.820 m
Max. Section Area	1.28 m²	1.42 m²
Max. Section Area Station	8.618 m	8.618 m

FLOTATION (MEASUREMENT TRIM)	
Forward Freeboard at 0.972 m	1.420 m
Freeboard at mast at 5.776 m	1.427 m
Aft Freeboard at 14.584 m	1.420 m
Overhang Forward	0.854 m
Overhang Aft	0.713 m
Length Waterline	13.989 m

CONFORMITY WITH LIMITS	
ORC International Certificate LPS > 103°:	Yes
Offshore Special Regulations Category:	0

Sail Area Upwind	130.71 m²
Sail Plan Centre of Effort Height	8.197 m

Rating Office

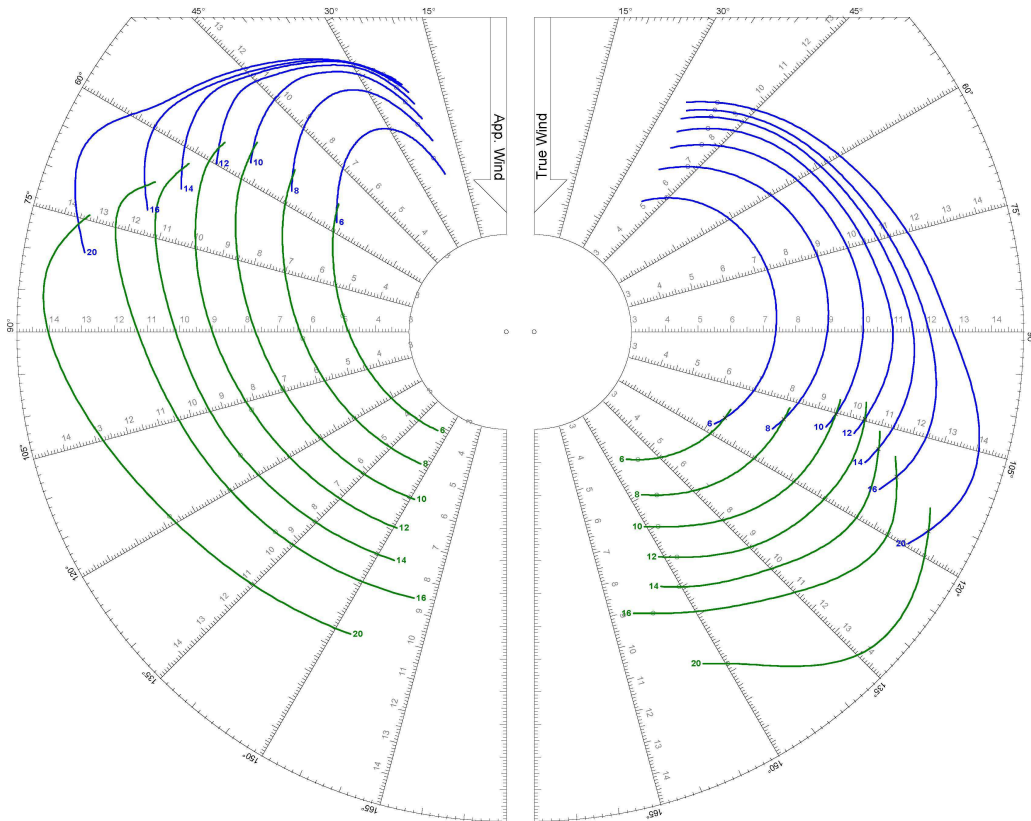
Owner
NTUA
I certify that I understand my responsibilities under ORC Rules and Regulations
Signature

Disclaimer
Stability information is prone to inaccuracy because it was not derived from a full measurement and inclining test.

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς



Speed Guide



Polar Plot for Boat	
Name	BOC 50 (NTUA 103/94)
Sail Number	
Class	BOC 50
Designer	MAYRIKIOS
Builder	Mayrikios
Issued On	12/27/2012 - VPP 2012 1.00

TWS: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20 kts

Jib

Symmetric Spinnaker

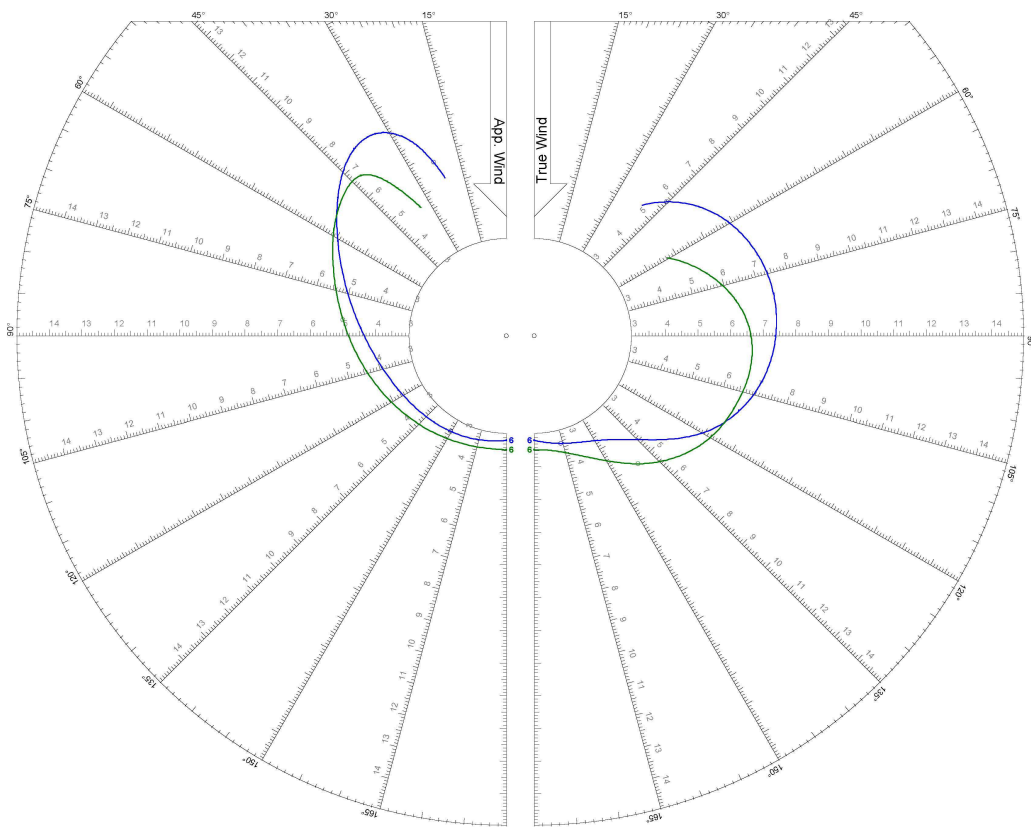
© Offshore Racing Congress 2012
www.orc.org

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού
σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς



World Leader in Rating Technology

Speed Guide



Polar Plot for Boat	
Name	BOC 50 (NTUA 103/94)
Sail Number	
Class	BOC 50
Designer	MAYRIKIOS
Builder	Mayrikios
Issued On	12/27/2012 - VPP 2012 1.00

TWS: 6 kts

Jib

Symmetric Spinnaker

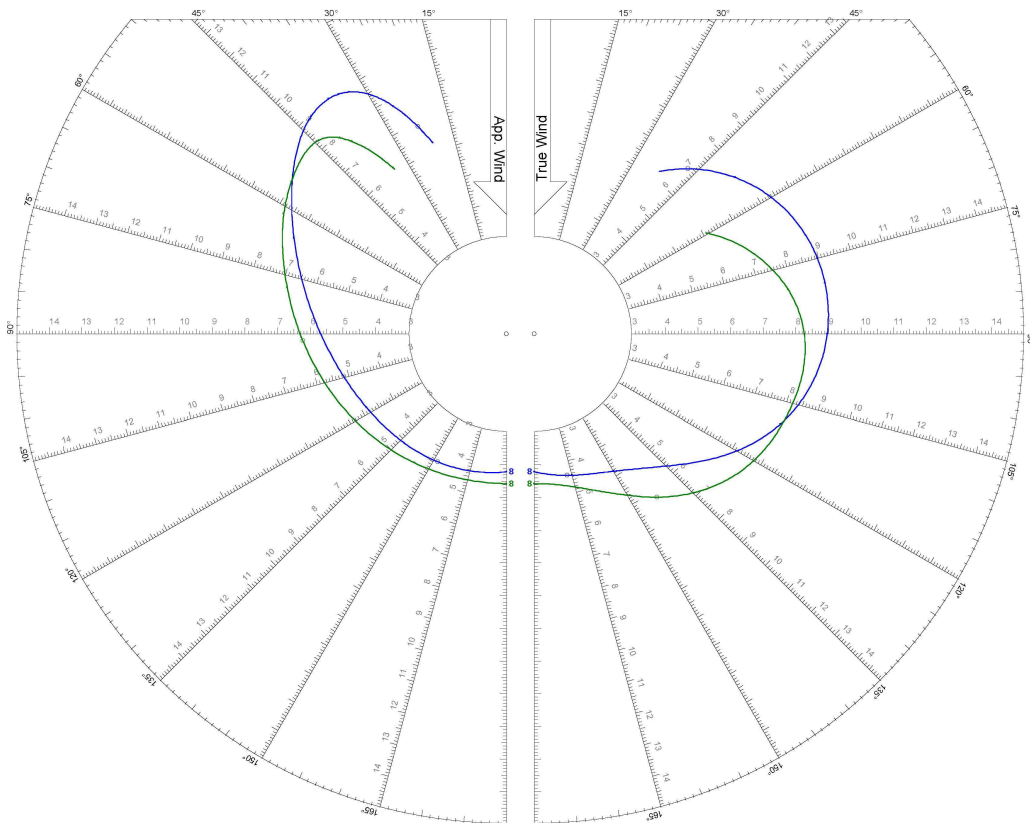
© Offshore Racing Congress 2012
www.orc.org

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς



World Leader in Rating Technology

Speed Guide



Polar Plot for Boat	
Name	BOC 50 (NTUA 103/94)
Sail Number	
Class	BOC 50
Designer	MAYRIKIOS
Builder	Mayrikios
Issued On	12/27/2012 - VPP 2012 1.00

TWS: 8 kts

Jib

Symmetric Spinnaker

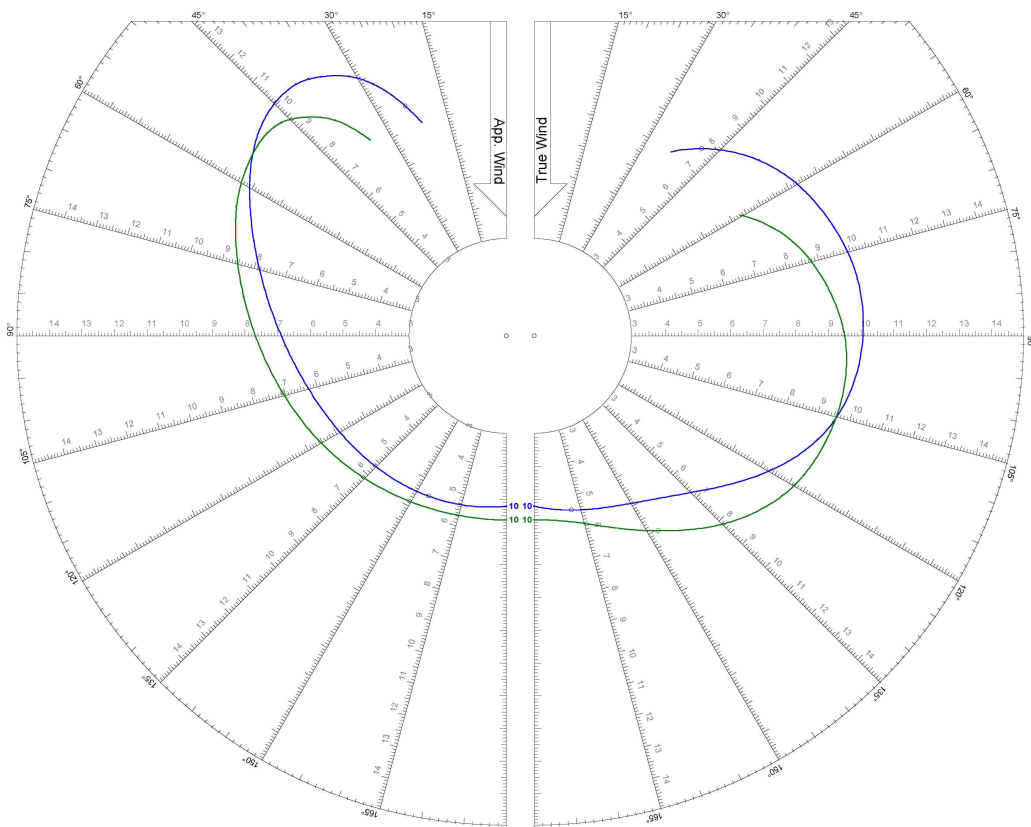
© Offshore Racing Congress 2012
www.orc.org

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού
σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς



World Leader in Rating Technology

Speed Guide



Polar Plot for Boat	
Name	BOC 50 (NTUA 103/94)
Sail Number	
Class	BOC 50
Designer	MAYRIKIOS
Builder	Mayrikios
Issued On	12/27/2012 - VPP 2012 1.00

TWS: 10 kts

Jib

Symmetric Spinnaker

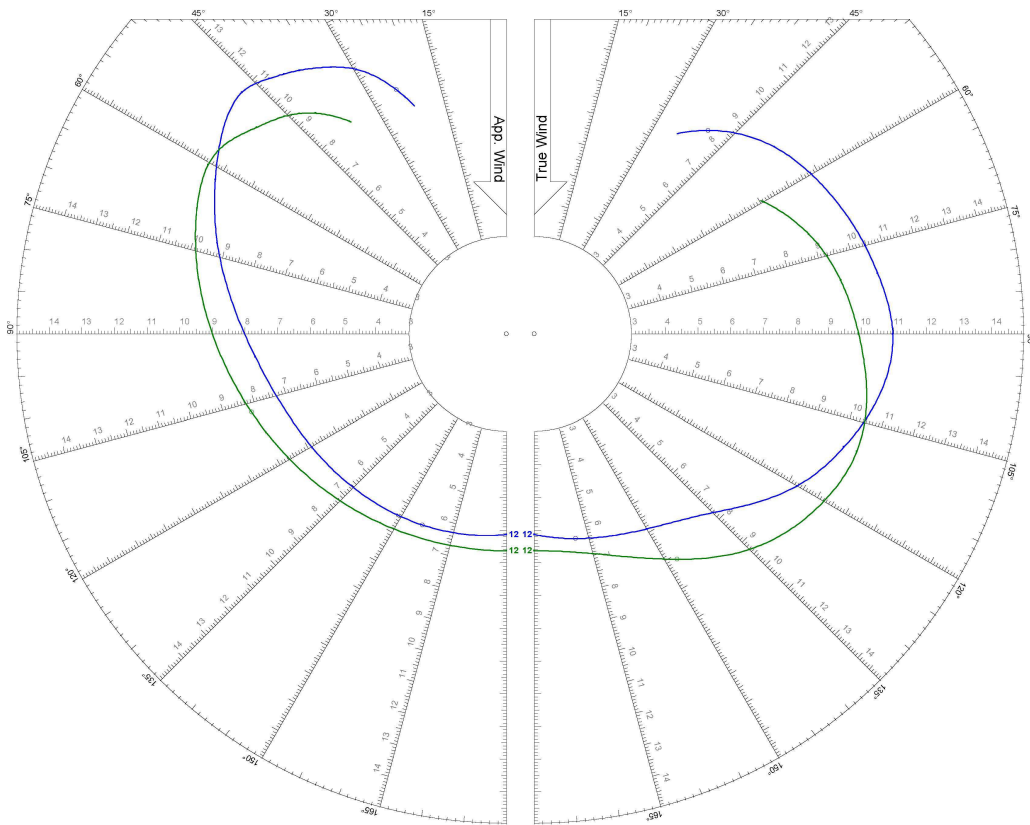
© Offshore Racing Congress 2012
www.orc.org

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς



World Leader in Rating Technology

Speed Guide



Polar Plot for Boat	
Name	BOC 50 (NTUA 103/94)
Sail Number	
Class	BOC 50
Designer	MAYRIKIOS
Builder	Mayrikios
Issued On	12/27/2012 - VPP 2012 1.00

TWS: 12 kts

Jib

Symmetric Spinnaker

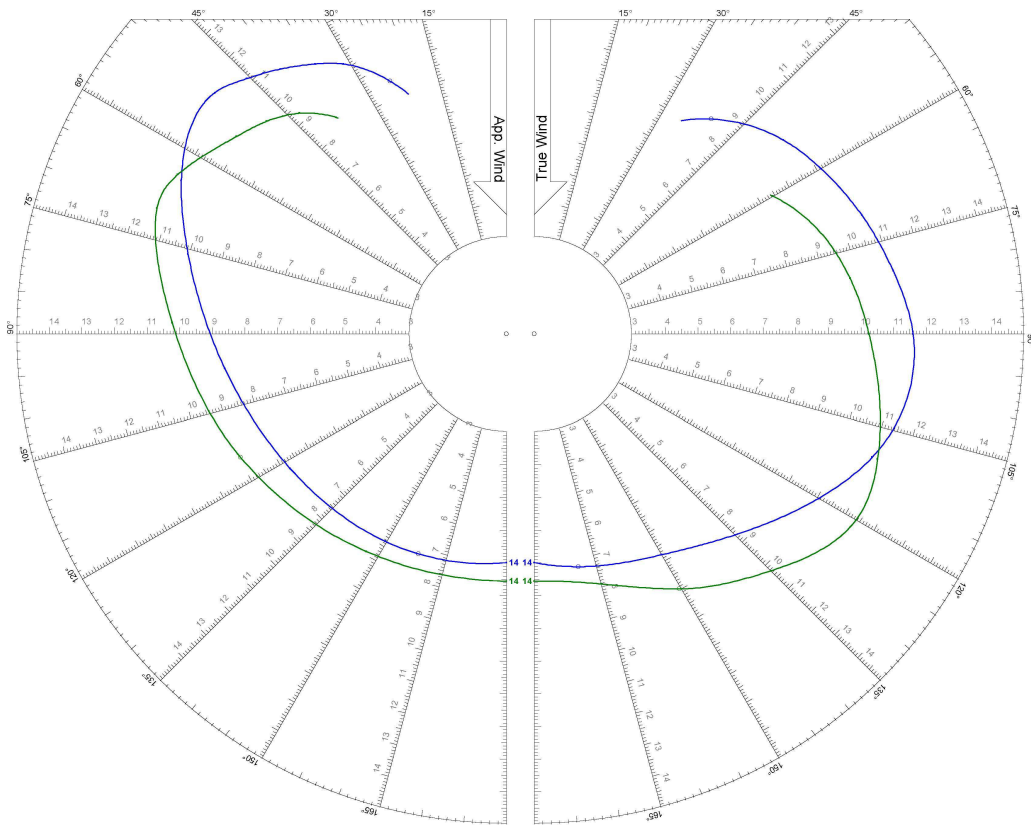
© Offshore Racing Congress 2012
www.orc.org

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς



World Leader in Rating Technology

Speed Guide



Polar Plot for Boat	
Name	BOC 50 (NTUA 103/94)
Sail Number	
Class	BOC 50
Designer	MAYRIKIOS
Builder	Mayrikios
Issued On	12/27/2012 - VPP 2012 1.00

TWS: 14 kts
Jib
Symmetric Spinnaker

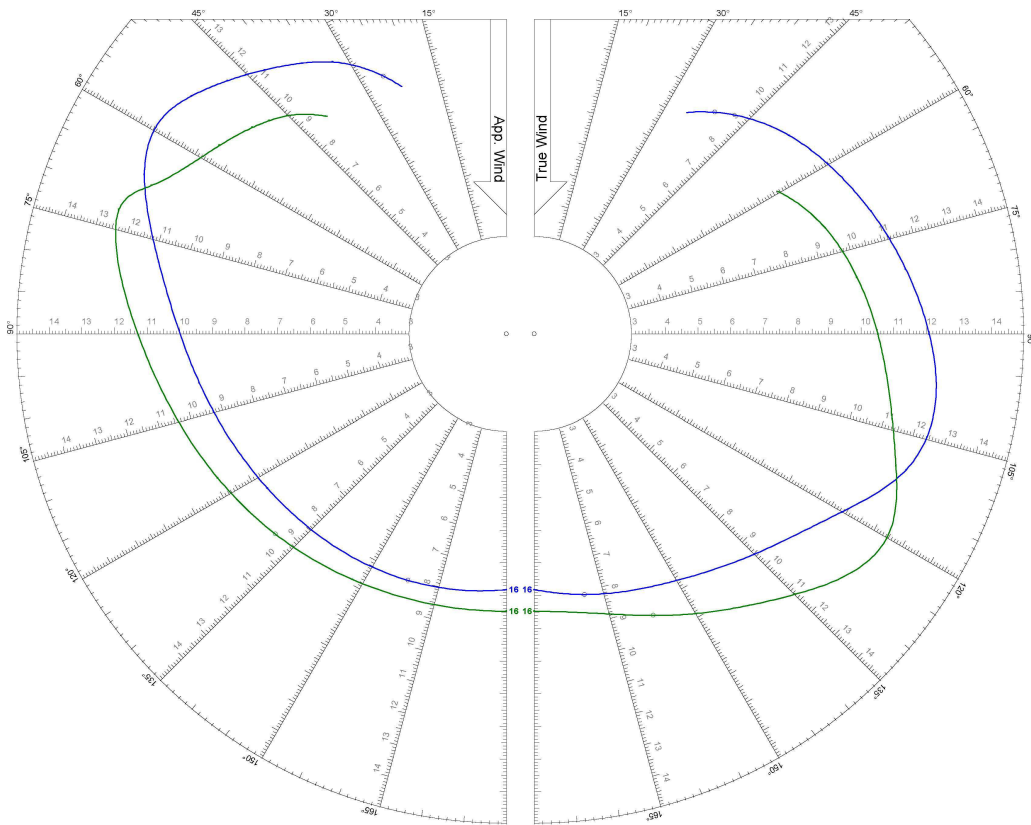
© Offshore Racing Congress 2012
www.orc.org

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς



World Leader in Rating Technology

Speed Guide



Polar Plot for Boat	
Name	BOC 50 (NTUA 103/94)
Sail Number	
Class	BOC 50
Designer	MAYRIKIOS
Builder	Mayrikios
Issued On	12/27/2012 - VPP 2012 1.00

TWS: 16 kts
Jib
Symmetric Spinnaker

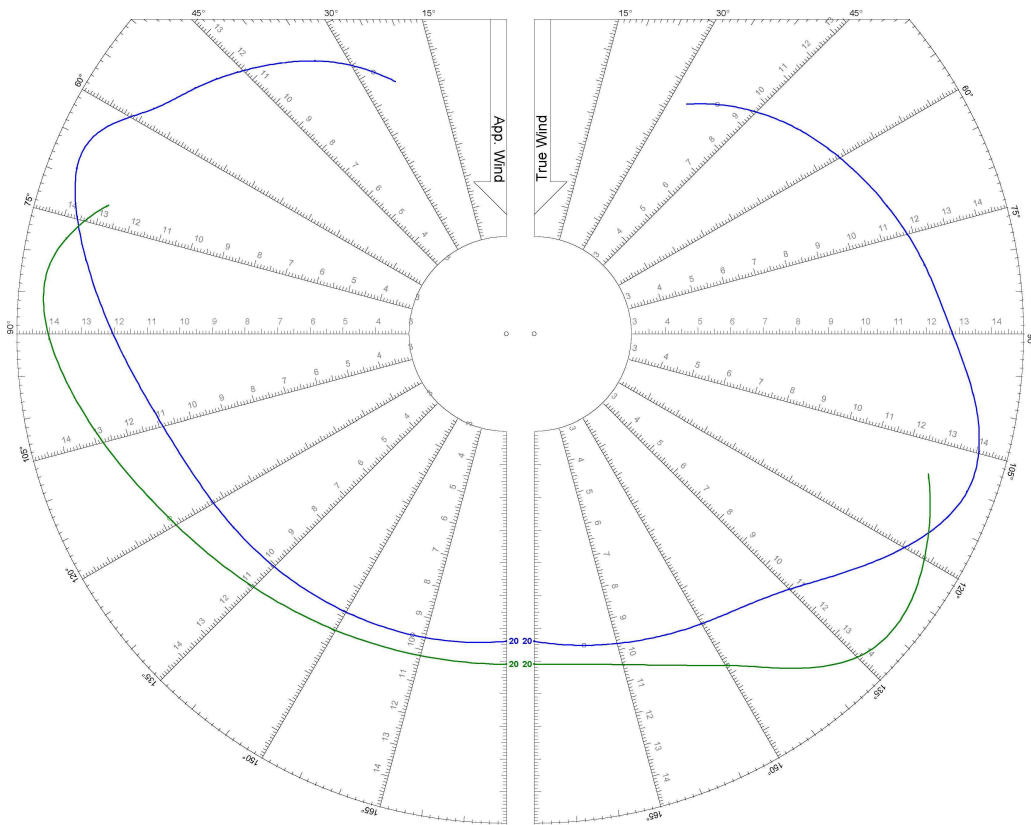
© Offshore Racing Congress 2012
www.orc.org

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς



World Leader in Rating Technology

Speed Guide



Polar Plot for Boat	
Name	BOC 50 (NTUA 103/94)
Sail Number	
Class	BOC 50
Designer	MAYRIKIOS
Builder	Mayrikios
Issued On	12/27/2012 - VPP 2012 1.00


TWS: 20 kts

Jib

Symmetric Spinnaker

© Offshore Racing Congress 2012
www.orc.org

Πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς ιστιοπλοϊκού σκάφους τύπου BOC-50 σε τυχαίους κυματισμούς

 World Leader in Rating Technology 2011 IMS Measurements Sheet	BOAT Name BOC 50 (NTUA) Sail Nr Data in meters/kilograms	INCLINING TEST AND FREEBOARDS Inclining Test Enter VCG directly Flotation date 24/12/2012 SG 1.0000 VCGDe -1.300 FFM 1.420 FAM 1.420
	RIG Forestay Tension Fixed Spreaders 3 Inner Forestay Adjustable Runners 0 Carbon Mast No Jumpers None Taper Hollows No Jib Furler No Fiber Rigging No Main Furler No Lenticular Rigging No w/o Backstay No Articulated Bowsprit No	PROPELLER Installation Shaft PRD 0.500 Type Feathering 2 blades PBW 0.150 Twin Screw No PSA 22.000 PHL 0.137 ST3 0.119 ESL 0.695 PSD 0.350 ST1 0.036 ST4 0.072 PHD 0.080 ST2 0.119 ST5 0.180
	MIZZEN RIG AND SAILS PY 9.000 YSD MDL2Y EB 7.800 IY MDT1Y HBY 0.10 BASY 0.500 TLY MDL1Y BDY 0.100 MGY 1.75 EY 2.700 MDT2Y BALLY 0.100 YMG MGTY 0.58 MGLY 2.40 YSF MGUY 1.00	

SAILS INVENTORY														
MANSAL														
Id	HB	MGT	MGU	MGM	MGL	MSW	Area	Measurer	Meas.Date	Manufacturer	Material	Comment		
ORC	0.150	1.30	2.20	3.80	5.00	50.00	61.85					* Copied from		
JIBS / GENOAS														
Id	JH	JGT	JGU	JGM	JGL	LPG	JL	Ovrip	Area	Measurer	Meas.Date	Manufacturer	Material	Comment
ORC						8.50	0.00	147%	81.34					* Copied from
SYMMETRIC SPINNAKERS														
Id	SL	SMG	SF	Area	Measurer	Meas.Date	Manufacturer	Material	Comment					
ORC	19.00	9.80	0.15	124.61					* Copied from legacy *					
ASYMMETRIC SPINNAKERS														
Id	SLU	SLE	ASL	AMG	ASF	Area	Measurer	Meas.Date	Manufacturer	Material	Comment			

ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πρόσθετη αντίσταση υπολογίστηκε σε σχέση με τη γωνία απόκλισης για σταθερή ταχύτητα κάθε φορά και σε συγκεκριμένο φάσμα τυχαίων κυματισμών. Οι ταχύτητες προτύπου εκτιμήθηκαν σε την ταχύτητα του σκάφους στη θάλασσα και τους αντιστοιχούντες ανέμους. Εμφανίστηκε αύξηση της πρόσθετης αντίστασης τόσο με τη γωνία απόκλισης για σταθερή ταχύτητα, αλλά και από τη μικρή στη μεγάλη ταχύτητα., κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο. Οι διαφορές στις τιμές αντίστασης που υπήρξαν μεταξύ των δύο φασμάτων τυχαίων κυματισμών δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες, λόγω της διαφορετικής ταχύτητας του προτύπου σε κάθε φάσμα.

Η αύξηση που παρατηρήθηκε στις πλευρικές δυνάμεις συμπίπτει με τα αναμενόμενα, λόγω της υδροδυναμικής επίδρασης της καρίνας.

Κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας του πειράματος παρατηρήθηκε ότι μικρές αλλαγές στην ευθυγράμμιση του προτύπου μπορεί να εισάγουν μεγάλα σφάλματα στα αποτελέσματα.

Μετρήθηκαν οι αποκρίσεις σε αρμονικούς κυματισμούς, σε σειρά συχνοτήτων από 0.3Hz έως 1.2Hz, σε δύο διαφορετικά πλάτη. Με βάση τις RAO τιμές των heave, pitch και επιταχυνσιομέτρων σε διάφορες συχνότητες, υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες τιμές στα φάσματα τυχαίων κυματισμών, οι οποίες και συγκρίθηκαν με τις πειραματικές. Υπήρξε καλή συμφωνία μεταξύ των τιμών, που επιβεβαιώνει την ισχύ της θεωρίας γραμμικής υπέρθεσης

Τα αποτελέσματα του προγράμματος πρόβλεψης ταχύτητας(VPP) παρουσιάστηκαν λογικά για σκάφος της συγκεκριμένης κλάσης, τόσο όσον αφορά την ταχύτητα, αλλά και το διάγραμμα ευστάθειας.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η πειραματική διερεύνηση συμπεριφοράς πρότυπου ιστιοπλοϊκού σκάφους σε τυχαίους κυματισμούς καθώς και ο υπολογισμός της πρόσθετης αντίστασης και των πλευρικών δυνάμεων. Τα πειράματα αφορούσαν συνδυασμούς σε γωνίες απόκλισης και εγκάρσιας κλίσης καθώς και δύο διαφορετικές ταχύτητες προτύπου. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σύμφωνα με προγενέστερες μετρήσεις του συγκεκριμένου προτύπου στο Ε.Ν.Θ.Υ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Γρηγόρης Γρηγορόπουλος, “Δυναμική Συμπεριφορά πλοίων σε κυματισμούς” - Σημειώσεις σπουδαστών ΔΠΜΣ, Αθήνα 2004.
- 2) Γ.Κ.Πολίτης, “Θεωρία Φέρουσας Γραμμής για Τρισδιάστατη Πτέρυγα” – Σημειώσεις Σπουδαστών ΔΠΜΣ, Αθήνα.
- 3) Κων/νος Παναγούλης, “Πειραματική Διερεύνηση Συμπεριφοράς Ιστιοπλοϊκού Σκάφους BOC-50 με Παρελκόμενα” – Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 1998.
- 4) Λάτσοος Ηλίας, “Πειραματική Διερεύνηση της Δυναμικής Συμπεριφοράς Ταχύπλων Σκαφών σε Θαλάσσιους Κυματισμούς” – Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 1994.
- 5) Steen Sverre, “Evaluation of Added Resistance of KVLCC2 in Short Waves” – Journal of Hydrodynamics, Trondheim, Norway 2011.
- 6) F.Perez Arribas, “Some methods to obtain the added resistance of a ship advancing in waves” – Ocean Engineering 34, Madrid, Spain 2006.
- 7) David Molyneux, Jie Xu, Neil Bose, “Measurements of Flow Around an Escort Tug Model with a Yaw Angle”, Marine Technology, Vol. 46, July 2009.

- 8) Στυλιανός Περισσάκης, “Εφαρμογές Μεθόδων Laser και CFD για τον Προσδιορισμό της Αντίστασης Συμβατικών και Ιστιοπλοϊκών Σκαφών” – Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 2006.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης του αισθητήρα Wave-G.....	25
Διάγραμμα 2 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης επιταχυνσιομέτρου Acc1.....	25
Διάγραμμα 3 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης επιταχυνσιομέτρου Acc2.....	26
Διάγραμμα 4 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης επιταχυνσιομέτρου Acc3.....	26
Διάγραμμα 5 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα αντίστασης(δεξιά πλευρά)	27
Διάγραμμα 6 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα αντίστασης(αριστερή πλευρά)	27
Διάγραμμα 7 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα Heave	28
Διάγραμμα 8 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα Pitch	28
Διάγραμμα 9 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα Side Force (αριστερή πλευρά)	29
Διάγραμμα 10 Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμονόμησης αισθητήρα Side Force (δεξιά πλευρά)	29
Διάγραμμα 11 Φάσμα κυματισμών με $H_s=0.25m$ και $T_p=2.25s$ (σε κλίμακα 1/1 το φάσμα αναφέρεται σε κυματισμούς με $H_s=1m$ και $T_p=4.5s$).....	38
Διάγραμμα 12 Φάσμα κυματισμών με $H_s=0.375m$ και $T_p=2.75s$ (σε κλίμακα 1/1 το φάσμα αναφέρεται σε κυματισμούς με $H_s=1.5m$ και $T_p=5.5s$).....	38
Διάγραμμα 13 Δυνάμεις αντίστασης σε συνάρτηση με τη γωνία απόκλισης σε ήρεμο νερό με σταθερή ταχύτητα.....	39
Διάγραμμα 14 Σύγκριση δυνάμεων αντίστασης μεταξύ ήρεμου νερού και φάσματος κυματισμού.....	39
Διάγραμμα 15 Σύγκριση δυνάμεων αντίστασης μεταξύ ήρεμου νερού και φάσματος κυματισμού.....	40
Διάγραμμα 16 Δυνάμεις αντίστασης σε συνάρτηση με τη συχνότητα σε αρμονικούς κυματισμούς πλάτους 5cm	40

Διάγραμμα 17 Σύγκριση πλευρικών δυνάμεων μεταξύ ήρεμου νερού και φάσματος κυματισμού.....	41
Διάγραμμα 18 Σύγκριση πλευρικών δυνάμεων μεταξύ ήρεμου νερού και φάσματος κυματισμού.....	41
Διάγραμμα 19 Πλευρικές δυνάμεις σε συνάρτηση με τη συχνότητα σε αρμονικούς κυματισμούς πλάτους 5cm	42
Διάγραμμα 20 RAO_{Heave} σε συνάρτηση με τη συχνότητα.....	42
Διάγραμμα 21 RAO επιταχυνσιομέτρων σε συνάσρτηση με τη συχνότητα	43
Διάγραμμα 22 RAO_{Pitch} σε συνάρτηση με τη συχνότητα	43

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 2 Πρόσθια όψη του μοντέλου	7
Εικόνα 1 Ναυπηγικές γραμμές σκάφους BOC-50	7
Εικόνα 3 Πλάγια όψη του μοντέλου	8
Εικόνα 4 Σκαρίφημα του υπό μελέτη σκάφους μαζί με την ιστιοφορία του	8
Εικόνα 5 Διαδρομή του BOC Challenge.....	9
Εικόνα 6 Βαθμοί ελευθερίας κίνησης σκάφους.....	11
Εικόνα 7 Αρμονικοί κυματισμοί διαφορετικών συχνοτήτων	13
Εικόνα 8 Περιγραφή προφίλ τυχαίων κυματισμών με επαλληλία ημιτονικών κυμάτων ...	14
Εικόνα 9 Συνάρτηση φάσματος $S(\omega)$	16
Εικόνα 10 Παραγωγή φάσματος $S(\omega)$ τυχαίου κυματισμού μέσω αρμονικών συνιστωσών	17
Εικόνα 11 Συσχέτιση διέγερσης – απόκρισης μέσω συνάρτησης μεταφοράς $R_{\xi}(\omega)$ (RAO)	18
Εικόνα 12 Ολική αντίσταση σκάφους σε κυματισμούς.....	19
Εικόνα 13 Σκαρίφημα πειραματικής δεξαμενής ΕΜΠ	21
Εικόνα 14 Σκαρίφημα του δυναμόμετρου που χρησιμοποιήθηκε	30
Εικόνα 15 Ο Η/Υ στον οποίο γινόταν η καταγραφή των αποτελεσμάτων	31