

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



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**«ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΑΧΥΠΛΟΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΣΕ
ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ»**

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΓΕΡΟΓΙΑΝΝΑΚΗ Α. ΑΓΑΠΟΥΛΑ

ΑΘΗΝΑ, Ιούνιος 2009

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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**«ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΤΑΧΥΠΛΟΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΣΕ
ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ»**

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π.: ΓΕΡΟΓΙΑΝΝΑΚΗ Α. ΑΓΑΠΟΥΛΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ Ι. ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ. Π.

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία έγινε μια προσπάθεια διερεύνησης της πειραματικής συμπεριφοράς σε ήρεμο νερό και τυχαίους κυματισμούς του πατρικού προτύπου της συστηματικής σειράς ταχύπλων σκαφών *Savitsky NTUA 185/05 σε ήρεμο νερό* σε τυχαίους κυματισμούς παρόμοιους με αυτούς που συναντούν τα πλοία στις ελληνικές θάλασσες.

Τα πειράματα έλαβαν χώρα στην Πειραματική Δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και απαιτήσαν αφοσίωση και μεγάλη προσπάθεια.

Θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα Καθηγητή της Διπλωματικής μου Εργασίας τον Καθηγητή ΕΜΠ, *Γρηγορόπουλο Γρηγόριο* για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την διεξαγωγή αυτών των σημαντικών πειραμάτων καθώς και για την προθυμότητά του να μου προσφέρει οποιαδήποτε στιγμή βοήθεια και καθοδήγηση.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους επιστημονικούς συνεργάτες της Πειραματικής Δεξαμενής κ. *Τραχανά Ιωάννη*, κ.Κασάπη Φώτιο και κ.Συνετό Διονύσιο καθώς και την υποψήφια διδάκτορα *Δαμάλα Δήμητρα*, για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Ευχαριστήσω, επίσης, από καρδιάς τους διδάσκοντες μου στην Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών και ιδιαίτερα τους καθηγητές κ.Γεώργιο Τζαμπίρα και κ.Γεώργιο Ζαραφονίτη όχι μόνο για τις πολύτιμες γνώσεις που αγωνίστηκαν να μας μεταφέρουν τα χρόνια αυτά, αλλά κυρίως γιατί μας δίδαξαν πως να προσπαθούμε διαρκώς για το καλύτερο...

Γερογιαννάκη Α. Αγαπούλα

Αθήνα, Ιούνιος 2009

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.1. ΤΥΠΟΙ ΓΑΣΤΡΑΣ.....	1
---------------------------	---

1.2.ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ.....3

1.2.1.ΓΑΣΤΡΕΣ ΗΜΙ-ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ	3
--------------------------------------	---

1.2.2.ΟΛΙΣΘΑΚΑΤΟΙ.....	7
------------------------	---

1.3.ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ 27

1.3.1.ΟΙ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....	27
-----------------------------------	----

1.3.2.ΕΙΔΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ	28
-----------------------------	----

1.3.3.ΘΕΩΡΙΑ ΛΩΡΙΔΩΝ	32
----------------------------	----

1.3.4.ΣΚΑΦΗ ΗΜΙ-ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ-(SEMI DISPLACEMENT HULLS)	34
--	----

1.3.5. ΟΛΙΣΘΑΚΑΤΟΙ	59
--------------------------	----

1.4.ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

63

1.5.ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΕΤΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΠΛΕΥΣΗΣ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

64

1.6. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ.....

67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ Ε.Μ.Π. ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΟΚΙΜΩΝ.....	70
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1.ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ.....

73

3.1.1.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ.....	80
---	----

3.1.2.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 185/05 ΜΕ ΛΟΓΟ L/B=3.25 ΣΤΟ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ	83
--	----

3.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ.....	91
3.2.1.ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ	94
3.2.2.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ	101
3.2.3.ΘΑΛΑΣΣΙΟΙ Ή ΤΥΧΑΙΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	106
3.2.4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ.....	112

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1.ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΓΑΣΤΡΑΣ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΤΟΥ ΕΜΠ.....	117
4.2.ΣΥΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΝΤΥΑ ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΜΕΤΩΠΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ(HEAD WAVES).....	119
4.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΜΕ $L/B=3.25$ ΜΕ ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΜΕ $L/B=4.75$ ΚΑΙ $L/B=5.50$	124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΟΔΥΝΑΜΗΣ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΑΝΑΨΥΧΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΣΕ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΜΕ $F_n = 0.50 - 1.00$	126
5.1 ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΟΙΟΥ	126
5.2.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΚΟΝΤΑ ΣΤΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΑΦΟΥΣ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΝΤΥΑ.....	134
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	138

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΕΞΑΓΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ Froude ΑΠΟ ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RESOUT

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.1. ΤΥΠΟΙ ΓΑΣΤΡΑΣ

Οι γάστρες των μηχανοκίνητων σκαφών χωρίζονται σε τρεις κύριες διαφορετικές κατηγορίες. Εκτοπίσματος, ημι-εκτοπίσματος και ολισθακάτους. Κάθε είδος μπορεί να υποδιαιρεθεί σε υποκατηγορίες που μπορεί να είναι πίο κοντά στο ένα ή στο άλλο είδος. Μελετώντας κάθε τύπο γάστρας μπορούν να διαπιστωθούν πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα της κάθε σχεδίασης. Η επιλογή της σχεδίασης κάθε φορά εξαρτάται από την χρήση αλλά και τις συνθήκες στις οποίες θα λειτουργεί.

Το μέγεθος φυσικά κάθε μηχανοκίνητου πλοίου είναι και ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει το τύπο της γάστρας που θα επιλεγεί, για το αν θα επιλεγεί μια γάστρα ημι-εκτοπίσματος για παράδειγμα ή αν θα επιλεγεί μια ολισθακάτος. Μεγάλα και γρήγορα σκάφη απαιτούν και πολύ μεγάλες αλλά και ακριβές μηχανές, μεγάλη κατανάλωση καυσίμου αλλά και λειτουργικού κόστους.

Η μέγιστη ταχύτητά τους εξαρτάται και προσδιορίζεται από τον αριθμό Froude

(Fn), ο οποίος ορίζεται από τον λόγο $F_n = \frac{V}{(gL)^{1/2}}$ όπου

V : ταχύτητα του πλοίου

g : επιτάχυνση της βαρύτητας

L : μήκος του πλοίου

ΓΑΣΤΡΕΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ

Οι βαρύτερες γάστρες εκτοπίσματος είναι γάστρες όπως ρυμουλκά και σκάφη ανοιχτού πελάγους. Το βάρος τους σκάφους εξισώνεται μόνο από δυνάμεις υδροστατικής άνωσης. Μελετώντας τέτοιες γάστρες μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η πρύμη υψώνεται πολύ πιο ψηλά από την ίσαλο πλευσης. Η μέση τομή είναι αρκετά γεμάτη και αρκετά βυθισμένη στο νερό. Η τρόπιδα και οι διαμήκεις τομές αποκαλύπτουν ένα πλοίο με μεγάλο συντελεστή γάστρας. Τα πλοία εκτοπίσματος μεταφέρουν μεγάλα φορτία και φυσικά η ταχύτητα της γάστρας αποτελεί δευτερεύοντα παράγοντα σε γενικές γραμμές σε σύγκριση με άλλες γάστρες.

ΓΑΣΤΡΕΣ ΗΜΙ-ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ

Αυτού του είδους οι γάστρες περιλαμβάνουν συνήθη πλοία εργασίας, γενικά αλιευτικά σκάφη και σκάφη αναψυχής. Με ταχύτητες και αριθμό Froude $0.5 < F_n < 1.3$. Όταν επιτευχθεί η πίο οικονομική ταχύτητα απαιτείται ένα σοβαρό ποσό ισχύος για να γίνει μια γάστρα ημιεκτοπίσματος ταχύτερη. Όταν αυτού του είδους οι γάστρες επιτύχουν υψηλότερες ταχύτητες η πρύμη θα αποκτήσει αντίσταση στο νερό και θα δημιουργήσει ένα μεγάλο κύμα προωαία και πρυμναία. Κατα την πλεύση τους αντιμετωπίζουν σημαντική δυναμική άνωση αν και δεν ολισθαίνουν.

Συνήθως είναι σκάφη με κυρτή μορφή νομέων και πρύμνη καθρέπτη αλλά και μεγάλη γωνία ανύψωσης πυθμένα.

Στα σκάφη εκτοπίσματος το βάρος του σκάφους εξισορροπείται κυρίως από υδροστατικές δυνάμεις. Για $F_n > 0.7$ εμφανίζεται δυναμική άνωση που αυξάνεται με την ταχύτητα κατά τον ίδιο τρόπο που μειώνεται η υδροστατική άνωση.

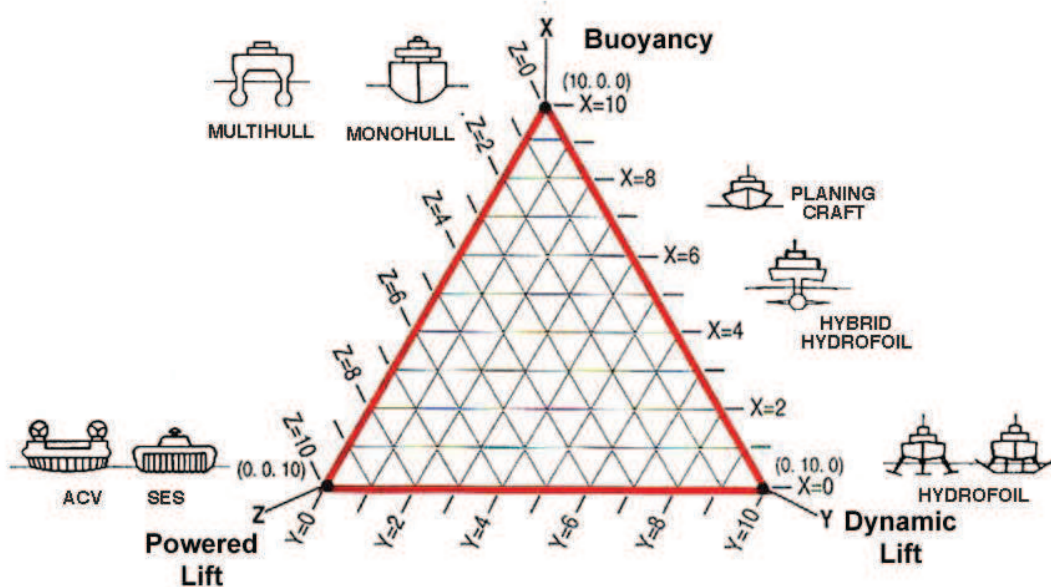
ΟΛΙΣΘΑΚΑΤΟΙ

Οι ολισθάκατοι (planing hulls) είναι σκάφη που λειτουργούν σε ταχύτητες μεγαλύτερες από $F_n=1.0$. Οι γάστρες αυτές χαρακτηρίζονται από

- Οξείες ακμές και πρύμνη καθρέπτη
- Ευθείες διαμήκεις τομές
- Ανύψωση πυθμένα που αυξάνεται γρήγορα στην περιοχή της πρόρας
- Λεπτές γραμμές στην είσοδο για μείωση της αντίστασης στις μικρές ταχύτητες

Οι ολισθάκατοι ξεκινούν και αυξάνοντας την ταχύτητά τους επιτυγχάνουν την ταχύτητα ολίσθησης ($F_n > 1.2$) ταχύτερα από την οποία το βάρος της γάστρας υποστηρίζεται κυρίως από δυνάμεις υδροδυναμικής φύσης.

Sustension Triangle



Η παραπάνω σχηματική απεικόνιση παρουσιάζει τα είδη γαστρών και το ποσοστό ενέργειας που καταλώνεται για την ανύψωση της γάστρας έξω από το νερό. Η αύξηση της επιτυγχανόμενης ταχύτητας σχετίζεται κατά πολύ με την μεγαλύτερη δυνατή ανύψωση του σκάφους εκτός νερού στην ταχύτητα υπηρεσίας.

1.2.ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

1.2.1.ΓΑΣΤΡΕΣ ΗΜΙ-ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ

Κύριο χαρακτηριστικό των γαστρών της κατηγορίας αυτής είναι ότι κατα την πλεύση αντιμετωπίζουν σημαντική δυναμική άνωση αν και δεν ολισθαίνουν. Πρόκειται για σκάφη με στρογγυλό πυθμένα (round bottom) . Τα σκάφη αυτά λειτουργούν σε περιοχές ταχυτήτων που αντιστοιχούν σε αριθμό Froude $0.5 \leq Fn \leq 1.3$. Οι γάστρες τους χαρακτηρίζονται από:

- κυρτή μορφή πρωαίων νομέων
- μεγάλη γωνία ανύψωσης πυθμένα στο πρωαίο τμήμα του σκάφους
- ευθείες ισάλους στην περιοχή της πλώρας με μικρές γωνίες εισόδου
- ευθείες ή ελαφρά κυρτές διαμήκεις τομές στο πρυμναίο ήμισυ του σκάφους που ανυψώνονται οδεύοντας προς την πρύμνη
- κεντρική τρόπιδα(skeg) στο πρυμναίο μέρος
- πρύμνη καθρέφτη

Για $Fn < 0.8$ συνηθίζονται στρογγυλεμένοι νομείς και κυρτές διαμήκεις τομές ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες προτιμούνται ευθείες διαμήκεις τομές και σχεδόν ευθείς νομείς. Για να μειωθεί η δυναμική διαγωγή, οι γάστρες αυτές εξοπλίζονται με πρυμναία σφήνα.

Το βάρος του σκάφους εξισορροπείται κυρίως από υδροστατικές δυνάμεις. Για $Fn > 0.7$ εμφανίζεται δυναμική άνωση που αυξάνεται με την ταχύτητα κατά τον ίδιο τρόπο που μειώνεται η υδροστατική άνωση. Η δυναμική ανύψωση του κέντρου βάρους υποδηλώνει την έναρξη της θετικής συνεισφοράς της υδροδυναμικής άνωσης. Οι γάστρες στρογγυλού πυθμένα χαρακτηρίζονται εν πλω από την δημιουργία του λεγόμενου πλευρικού αφρού (whisker spray) που αυξάνεται με την ταχύτητα, ιδιαίτερα πάνω από $Fn=0.7$. Η ανάπτυξη και η έκταση του πλευρικού αφρού ενοείται από την κυρτότητα των πρωαίων νομέων και την καμπυλότητα των διαμήκων τομών στην πλώρα.

Η βρεχόμενη επιφάνεια μεταβάλλεται με την ταχύτητα και την δυναμική διαγωγή. Μπορεί δε να μειωθεί με την χρήση αντιδιαβρωτικών λωρίδων (spray rails) ή σε μικρή απόσταση, από την μετακίνηση του κέντρου βάρους πρύμνηθεν.

Ο τύπος αυτός των γαστρών χρησιμοποιείται για όλους τους τύπους σκαφών αναψυχής, επαγγελματικών σκαφών, περιπολικών και μικρών πολεμικών σκαφών. Συνεπώς οι κύριες διαστάσεις, οι παράμετροι μορφής και οι ταχύτητες λειτουργίας καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα:

Μήκους μεταξύ καθέτων 6 έως 100m
 Λόγο μήκους προς πλάτος 3.2 έως 7.5
 Εκτόπισμα 5 έως 2000mt

Λόγος μήκους –εκτοπίσματος $L/\nabla^{1/3}$ 4.4 έως 8.3

Ταχύτητα 15 έως 50kn

Αρκετές συστηματικές σειρές σκαφών ημι-εκτοπίσματος έχουν αναπτυχθεί κατα την τελευταία εικοσαετία, οπότε η ανάγκη για μεγαλύτερες ταχύτητες έχει γίνει επιτακτικότερη. Οι σημαντικότερες από αυτές περιγράφονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο του παρόντος.

Παράμετροι σχεδίασης σκαφών ημι-εκτοπίσματος

Η σημαντικότερη από τις παραμέτρους σχεδίασης σκαφών ημιεκτοπίσματος είναι ο λόγος μήκους-εκτοπίσματος $L/\nabla^{1/3}$. Δεδομένου ότι η αντίσταση κυματισμού είναι ευθέως ανάλογη του λόγου αυτού, είναι πρωταρχικής σημασίας ο έλεγχος του, ιδιαίτερα όταν το πλοίο λειτουργεί στην περιοχή τοπικού μεγίστου(hump) της αντίστασης κυματισμού($0.45 \leq Fn \leq 0.55$). Στις μικρές ταχύτητες η επίδραση του λόγου αυτού στην αντίσταση δεν είναι τόσo μεγάλη. Στις μεγάλες ταχύτητες $Fn > 0.80$ όπου το μισό της συνολικής αντίστασης είναι αντίσταση τριβή, η αύξηση του μήκους του πλοίου οδηγεί σε αύξηση όχι μόνο του βάρους της γάστρας αλλά και της βρεχόμενης επιφάνειας. Επομένως η παράμετρος αυτή έχει μικρότερη σημασία στις μεγαλύτερες ταχύτητες.

Σχεδόν ίδιας σημασίας είναι η διαμήκης κατανομή του εκτοπίσματος. Η κατανομή αυτή εκφράζεται μέσω του πρισματικού συντελεστή C_p , του ποσοστού βυθισμένης επιφάνειας του καθρέφτη A_T/A_X , του συντελεστή γάστρας C_B , της καμπύλης επιφανειών των νομέων, του LCB και του συντελεστή μέγιστης τομής C_M .

Μολονότι ο πρισματικός συντελεστής C_p δεν μπορεί να εξεταστεί χωριστά από τις άλλες παραμέτρους, αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που σχετίζονται με τη διαμήκη κατανομή του εκτοπίσματος. Από διάφορες μελέτες προκύπτει ότι, οι βέλτιστε τιμές του C_p αυξάνονται από 0.58 στις μικρές ταχύτητες μέχρι 0.70 στις μεγάλες ταχύτητες. Η βέλτιστη τιμή του C_p αυξάνεται ταχύτερα στις μικρές ταχύτητες από ότι στις μεγάλες. Ο Fung (1986) προτείνει την παρακάτω έκφραση για το βέλτιστο C_p , για ελαχιστοποίηση της αντίστασης σαν συνάρτηση της ταχύτητας σχεδίασης:

$$C_p = 0.5687 + 0.1538Fn - 0.0701Fn^2$$

Όσον αφορά τους συντελεστές C_M και C_B , αυτοί θα πρέπει προφανώς να συνεξετάζονται με το συντελεστή C_p . Επιπλέον όμως είναι σαφές ότι οι τιμές του C_B άνω του 0.50 θεωρούνται υπερβολικές για σύγχρονα σκάφη ημιεκτοπίσματος ενώ μικροί συντελεστές C_M βοηθούν ώστε η ροή να είναι ευθεία και στρωτή λόγω μικροτέρας ανύψωσης της τρόπιδας. Ο συντελεστής

C_M δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλος, για την αποφυγή υπερβολικής αντίστασης μορφής.

Η βυθισμένη επιφάνεια του καθρέπτη, από την άλλη πλευρά, προκαλεί δίνες στις μικρότερες ταχύτητες και παραμένει πλήρως βρεχόμενη επηρεάζοντας δυσμενώς την αντίσταση. Στις μεγαλύτερες ταχύτητες η κατάσταση της ροής στην πρύμνη είναι διαφορετική και ο καθρέπτης είναι έξω από το νερό. Ο καθρέπτης δημιουργεί ένα πεδίο χαμηλών πιέσεων ακριβώς πρύμνηθεν του, επηρεάζοντας την κοιλότητα του πρυμναίου εγκάρσιου συστήματος κυματισμού κατα τον ίδιο τρόπο που ο βολβός της πωρας επηρεάζει το πωραίο σύστημα κυματισμού.

Στις μεγαλύτερες ταχύτητες το μήκος εισόδου είναι μεγαλύτερο από το μισό του μήκους του πλοίου. Επομένως, για να αποφευχθούν απότομες μεταβολές της μορφής του πρυμναίου τμήματος και/ή υπερβολικές κλίσεις των διαμήκων τομών, απαιτούνται σχετικά βυθισμένοι και πλατείς καθρέπτες. Αν και οι πολύ μεγάλοι καθρέπτες αυξάνουν την κατανάλωση καυσίμου στις ταχύτητες υπηρεσίας και οδηγούν σε μεγαλύτερες γωνίες κλίσεις των ελικοφόρων αξόνων, οι βέλτιστες διαστάσεις του καθρέπτη αυξάνουν με την ταχύτητα.

Μια ανεπαρκής σχεδίαση καθρέπτη μπορεί να διορθωθεί με την προσθήκη σφηνών ή κινητών περυγίων (transom controllable flaps). Επίσης, εφόσον υπάρχει επιτακτική ανάγκη για μεγάλες ταχύτητες, διαμήκεις τομές με ένα κοίλωμα αμέσως πρόραθεν του καθρέπτη μπορεί να προτιμηθούν, παίρνοντας υπόψη ότι πρύμες καθρέπτη μπορεί να προτιμηθούν, παίρνοντας υπόψη ότι πρύμνες καθρέπτη με πολύ επίπεδο πυθμένα είναι επιρρεπείς σε σφυροκρούσεις. Ο Fung (1986) προτείνει την παρακάτω έκφραση για την βρεχόμενη επιφάνεια του καθρέπτη A_T / A_X που ελαχιστοποιεί την αντίσταση σε ταχύτητες $Fn > 0.40$:

$$A_T / A_X = -0.0857 + 0.3967Fn + 0.1061Fn^2$$

Με προσδιορισμένες τις παραμέτρους C_p , A_T / A_X και τη μορφή της καμπύλης εμβαδών νοέων, η ελευθερία για τον προσδιορισμό του LCB είναι περιορισμένη. Όπως προκύπτει από τα προηγούμενα με την αύξηση της ταχύτητας αυξάνεται ο λόγος A_T / A_X και συνεπώς το LCB μετακινείται πρύμνηθεν δεδομένου ότι, είναι πάντοτε επιθυμητόν η καμπύλη εμβαδών των πρυμναίων νομέων να είναι περίπου ευθεία. Ο Fung (1986) προτείνει την παρακάτω έκφραση για το συνιστώμενο LCB πρύμνηθεν του μέσου νομέα, εκφρασμένο σαν ποσοστό του μήκους μεταξύ καθέτων του πλοίου που ισχύει για $Fn > 0.40$:

$$LCB = -2,2189 + 12.3505Fn - 5.4048Fn^2$$

Εκτός από τα παραπάνω μια σειρά από άλλες παραμέτρους παίζουν δευτερόντα ρόλο στην αντίσταση των σκαφών αυτών:

-Ο λόγος μήκους προς πλάτος L/B_X ή το μισό της γωνίας εισόδου i_E . Μικρές γωνίες εισόδου είναι επιθυμητές, ιδιαίτερα στις χαμηλές ταχύτητες.

Όταν όμως συνδυάζονται με μεγάλους συντελεστές C_P και C_{WP} , μπορεί να οδηγήσουν σε έντονη ανύψωση της ισάλου στην περιοχή της πλώρας ξαθ συνεπώς σε αύξηση της αντίστασης .

- Ο λόγος πλατους προς βύθισμα B_X/T_X που επιλέγεται, κυρίως για λόγους ευστάθειας, υδροδυναμικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς και/ή θεωρήσεις γενικής διάταξης. Ο λόγος αυτός επιδρά στην αντίσταση με την μεταβολή της βρεχόμενης επιφάνειας.

1.2.2.ΟΛΙΣΘΑΚΑΤΟΙ

Συνιστώσες της αντίστασης ταχυπλόων

Η συνολική αντίσταση απαρτίζεται από τις τρεις συνιστώσες που αναγνωρίζονται ως εξής:

- (i) Η συνιστώσα $W_a = aF_V$ καλείται επαγόμενη αντίσταση ή δυναμική αντίσταση (induced resistance ή drag) και προέρχεται από την κλίση της δύναμης F_P ως προς την κατακόρυφο, λόγω της γωνίας διαγωγής τους σκάφους
- (ii) Η συνιστώσα W_φ μπορεί να αναγνωριστεί σαν αντίσταση κυματισμού και αντίσταση από πιέσεις λόγω συνεκτικότητας. Σε μεγάλες ταχύτητες και μικρή βύθιση του σκάφους, η αντίσταση κυματισμού είναι μικρή.
- (iii) Η F_s είναι η αντίσταση τριβής (skin-friction resistance)

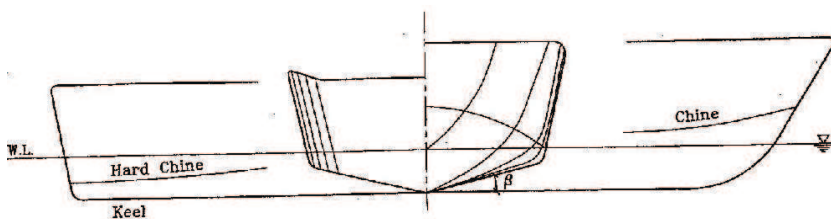
Η ανάλυση της συνολικής αντίστασης δείχνει ένα γενικό κανόνα που ισχύει στα ταχύπλοα σκάφη: Στις μεγάλες ταχύτητες σχεδίασης, σε αντίθεση με τα συμβατικά σκάφη εκτοπίσματος, η αντίσταση κυματισμού είναι αμελητέα, αλλά το σκάφος αντιμετωπίζει επαγόμενη αντίσταση.

Γενικά

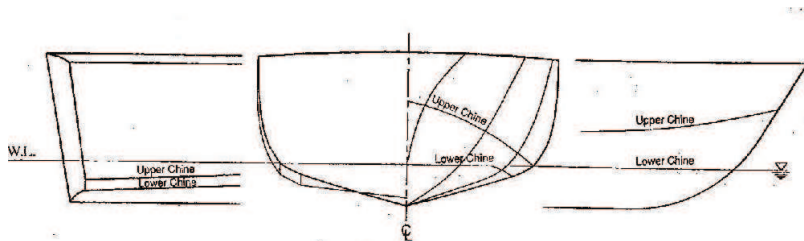
Οι ολισθάκατοι χρησιμοποιούνται ως εφαρμογή σε σκάφη περιπολίας, ψαρέματος, σκάφη υπηρεσίας, ασθενοφόρα, για αγωνιστικά σκάφη. Η έρευνα πάνω στις ολισθακάτους είναι σχετικά μικρή συγκριτικά με τις αναρίθμητες εφαρμογές που έχουν οι ολισθάκατοι. Εμείς θα επικεντρωθούμε στις μονόγαστρες ολισθακάτους παρόλο που οι τύποι καταμαράν είναι επίσης συχνοί κατα την κατασκευή ολισθακάτων. Σημαντικό επίσης σε αυτό το σημείο είναι να αναφέρουμε ότι η πλειονότητα των ολισθακάτων έχουν μήκος μικρότερο των 30m.

Μια γάστρα ολισθαίνει όταν ο αριθμός F_n είναι μεγαλύτερος από 1.2. (Savitsky 1992). Παρόλ'αυτά ο αριθμός $F_n=1.0$ χρησιμοποιείται σαν όριο για ολίσθηση και αυτό συμβαίνει διότι δεν είναι ξεκάθαρο το σημείο διαχωρισμού της κατάστασης ολίσθησης και μη ολίσθησης. Κατα την διάρκεια ολίσθησης το βάρος της γάστρας στηρίζεται κυρίως από υδροδυναμικά φορτία και με την άντωση να παίζει δευτερεύοντα ρόλο. Η υδροδυναμική πίεση ταυτόχρονα ανυψώνει τη γάστρα και επηρεάζει τη γωνία διαγωγής.

Στο Σχήμα 1.1 και Σχήμα 1.2 φαίνεται μια τυπική γάστρα ολίσθησης.



Σχήμα 1.1: Τυπική γάστρα ταχυπλόου. Σειρά-62(Savitsky 1992)



Σχήμα 1.2: Γάστρα διπλής ακμής (Savitsky 1992)

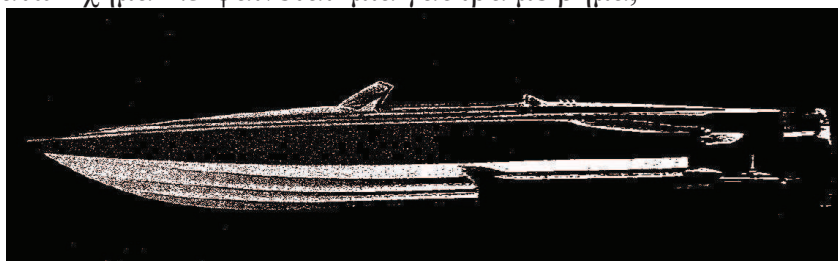
Με στόχο να μην δημιουργούνται πιέσεις μικρότερες της ατμοσφαιρικής πάνω στην γάστρα κατά τη διάρκεια υψηλών ταχυτήτων είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει διαχωρισμός της ροής στον καθρέπτη αλλά και στις δύο πλευρές. Η μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση μπορεί να δημιουργήσει δυναμικές αστάθειες στην γάστρα (Mueller-Graf 1997). Ο διαχωρισμός της ροής κατά μήκος των πλευρών επιτυγχάνεται με ακμές (hard chine). Επίσης, οι διαμήκεις τομές δεν πρέπει να είναι κυρτές πρύμνηθεν των προραίων νομέων (Savitsky 1992). Μια τυπική γωνία ανύψωσης πυθμένα (deadrise) είναι 10° έως 15° για γάστρα με ακμές. Έως 25° γωνία ανύψωσης πυθμένα χρησιμοποιείται για ταχύπλοα σκάφη ανοιχτής θαλάσσης.

Μια γάστρα διπλής ακμής (double-chine hull) φαίνεται στο Σχήμα 1.2 Η ροή διαχωρίζεται από την κατώτερη ακμή και έτσι στην περιοχή της πάνω ακμής εμφανίζεται μεγαλύτερο τοπικό πλάτος κατά την πλευση σε μικρότερες ταχύτητες. Αυτός είναι ένας παράγοντας που πάντα είναι προς όφελος της υδροστατικής ευστάθειας σε μηδενική ταχύτητα.

Η θέση της πάνω ακμής πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε στις μεγάλες ταχύτητες να αποφευχθεί η επανακόλληση της ροής στην δεύτερη ακμή. Οι Grigoropoulos and Loukakis (2002) παρουσίασαν μια συστηματική σειρά διπλής ακμής με πλατύ καθρέπτη και με πτυχώσεις ολισθαίνουσα επιφάνεια και ομαλή πλώρη που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Οι ολισθάκατοι με βήμα στην γάστρα τους έχουν αναπτυχθεί επιτυχώς για αγωνιστικά σκάφη ανοιχτής θαλάσσης. Οι γάστρες με βήμα αρχικά αναπτύχθηκαν για ιπτάμενα σκάφη για τη σταθεροποίηση τους κατά την διάρκεια της απογείωσης.

Στο παρακάτω Σχήμα 1.3 φαίνεται μια γάστρα με βήμα,



Σχήμα 1.3: Γάστρα Alpha-Z με βήμα σχεδιασμένη από τον Michael Peters

το βήμα τοποθετείται στην πρυμναία πλευρά της γάστρας όπου η κύρια υδροδυναμική κάθετη δύναμη δημιουργείται. Αυτό σημαίνει ότι πραγματοποιείται διαχωρισμός της ροής κοντά στην πρύμη. Στα σκάφη αυτά, η ροή διαχωρίζεται σε υψηλές ταχύτητες με αποτέλεσμα το πρυμναίο τμήμα της γάστρας βρίσκεται στον αέρα, μειώνοντας τη βρεχόμενη επιφάνεια. Η μειωμένη βρεχόμενη επιφάνεια έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της αντίστασης, χωρίς όμως να επηρεάζεται κατά πολύ η κάθετη δύναμη. Η περιοχή που είναι σε επαφή με τον αέρα είναι κατά πολύ μικρότερη από το μήκος του σκάφους. Μεγαλώνει ανάλογα με την ταχύτητα και εξαρτάται από το ύψος της γάστρας πάνω από το βήμα. Μια μέση όχι πολύ λεπτομέρής προσέγγιση για το μήκος της περιοχής που θα έρχεται σε επαφή με ροή αέρα είναι μεταξύ $0.5B$ και B , όπου B το πλάτος της γάστρας. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται και παραπάνω από ένα βήματα.

Ο έλεγχος διαγωγής μπορεί να πραγματοποιηθεί τοποθετώντας πτερύγια στην πρύμη (Clements and Koelbel 1992). Τα υδροπτερύγια κουβαλάνε συνήθως το 10% του βάρους. Clements and Koelbel (1992) ασχολούνται με το πως μπορούν να κατασκευαστούν για ολισθακάτους που απαιτούνται να μεταφέρουν μεγάλα φορτία. Σε χαμηλότερες ταχύτητες το βήμα δημιουργεί δίνες και αυξάνει την αντίσταση σχετικά με την περίπτωση που δεν θα υπήρχε το βήμα. Η αντίσταση λόγω συνεκτικότητας (viscous drag) σχετίζεται περίπου με το ύψος του βήματος αναλογικά με την γάστρα.

Η επόμενη ανάλυσή μας δεν προϋποθέτει βήμα στη σχεδίαση της γάστρας.

Τα βοηθητικά πτερύγια διαγωγής (transom tabs –flaps) μπορούν να ελέγχονται αυτόματα και μπορούν να βελτιστοποιήσουν την γωνία διαγωγής. Αυτό είναι προς όφελος της αντίστασης και της δυναμικής ευστάθειας στην κατακόρυφη ανύψωση αλλά και στην διαμήκη αστάθεια (porpoising). Τα αυτόματα ελεγχόμενα flaps μπορούν επίσης να μειώσουν τις κάθετες κινήσεις του πλοίου.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή ενός τύπου γάστρας από υδροδυναμικής άποψης είναι

- Εγκάρσια ευστάθεια σε μηδενική ταχύτητα σε ήρεμο νερό
- Αντίσταση και πρόωση σε ήρεμο νερό
- Πηδαλιουχία σε ήρεμο νερό
- Εγκάρσια αστάθεια σε ακολουθούντες κυματισμούς (Broaching)
- Σταθερή και δυναμική ευστάθεια σε υψηλές ταχύτητες σε ήρεμο νερό
- Επιταχύνσεις επαγόμενες από κυματισμούς και διατοιχισμό
- Διαβροχή καταστρώματος
- Κρουστικά φορτία (Slamming)

Ένας σημαντικός παράγοντας στις υψηλές ταχύτητες είναι η πιθανότητα σπηλαίωσης και αερισμού πάνω για παράδειγμα στο πηδάλιο ή στην μονάδα πρόωσης. Αυτό μπορεί να προκαλέσει απρόβλεπτες συμπεριφορές .

Δεν μπορούμε να αντιμετωπίσουμε όλες αυτές τις καταστάσεις με θεωρητική προσέγγιση και πρέπει να βασιστούμε και σε πειράματα.

Σταθερή και δυναμική ευστάθεια είναι η μέγιστη ανησυχία για τις ολισθακάτους.

Η διαμήκης αστάθεια (porpoising) είναι μια περιοδική, περιορισμένη, κίνηση στο κάθετο επίπεδο στο νερό, που μια ολισθακάτος μπορεί να πραγματοποιήσει σε συγκεκριμένες ταχύτητες. Δυναμικές αστάθειες συμβαίνουν σε ήρεμο νερό με την απουσία διεγείρουσας δύναμης. Η συμπεριφορά είναι συνάρτηση της ταχύτητας και υπάρχει ένα κάτω όριο ταχύτητας στο οποίο συμβαίνει. Συνήθης πρακτική υπαγορεύει ότι πρόσω ταχύτητα το διαμήκους κέντρου βάρους (LCG) μειώνει την δυναμική αστάθεια, αλλά μπορεί επίσης να συμβεί. Παρόλαυτα μπορεί να μειωθεί το πρόβλημα όταν μειώνεται η ταχύτητα.

Στην πραγματικότητα, πολύ συχνά κάποιος συναντάει διαμήκη αστάθεια σε μικρά σκάφη χωρίς να δημιουργείται ιδιαίτερο πρόβλημα. Παρολ'αυτά το φαινόμενο μπορεί να δημιουργήσει δομικές καταστροφές στο σκάφος όταν οι κινήσεις είναι τόσο έντονες που η γάστρα πετάγεται έξω από το νερό και συνεπώς να πέφτει με δύναμη πάνω στο νερό. Κατά την εμφάνιση διαμήκους αστάθειας μπορεί επίσης να έχει σαν αποτέλεσμα την κατάδυση της πλώρης.

Είναι και πολλές άλλες δυναμικές αστάθειες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Παραδείγματα είναι η ευστάθεια κατεύθυνσης σε ήρεμο νερό και η διαμήκης αστάθεια σε ήρεμο νερό σε ακολουθώντας κυματισμούς. Ο Katayama(2002) είχε αναφέρει την ύπαρξη της κατάδυσης της πλώρης και εγκάρσιο porpoising κατά την διάρκεια πειραμάτων σε ήρεμο νερό. Η κατάδυση της πλώρης ανιχνεύθηκε όταν ένα μοντέλο με υψηλή ταχύτητα επιταχύνθηκε πολύ γρήγορα.

Αεροδυναμική απόκτηση διαγωγής συμβαίνει μόνο σε πολύ ελαφρά σκάφη και σε πολύ υψηλες ταχύτητες ολισθακάτων.

Μια αεροδυναμική ανύψωση με κέντρο πίεσης στην προωαία πλευρά του σκάφους μπορεί να κάνει το σκάφος airborne.είναι πολύ σοβαρότερο πρόβλημα για τα καταμαράν από τα μονόγαστρα λόγω της μεγάλης επιφάνειας διαβρεχόμενου καταστρώματος των καταμαράν.

Ο Milburn (1990) ανεφερε μια ανωμαλία κατα την ολίσθηση γάστρας σε δοκιμή υψηλής ταχύτητας της Αμερικάνικης Ακτοφυλακής ενός 47-ποδών πρότυπο Σωστικού σκάφους. Μια ξαφνική διέγερση σε διατοιχισμό σχεδόν σαν snap-roll υποβρυχίου συνέβη σε ταχύτητες μεγαλύτερες των 20 κόμβων. Αυτό είναι πολύ πιθανό να δημιουργήθηκε λόγω του φαινομένου της σπηλαίωσης αλλά και αερισμού της γάστρας.

Στο επόμενο εδάφιο εξετάζεται η συμπεριφορά ολισθακάτων σε ήρεμο νερό.

Συμπεριφορά ολισθακάτων σε ήρεμο νερό

Η μόνιμη στο πεδίο του χρόνου συμπεριφορά μιας ολισθακάτου σε ευθεία πορεία σε ήρεμο νερό είναι συνάρτηση της ροπής διαγωγής, της κάθετης δύναμης

και διαμήκους δύναμης στη γάστρα που εξαρτώνται από την γωνία διαγωγής, βύθισμα(ανύψωση) και ταχύτητα. Η υδροδυναμική πίεση μπορεί να διαχωριστεί σε υδροδυναμικές και υδροστατικές πιέσεις. Η υδροδυναμική πίεση, σε μεγάλο βαθμό, μπορεί να περιγραφεί με δυναμικό ροής και αγνοώντας της βαρύτητα. Ο διαχωρισμός της ροής απο τις ακμές τις γάστρας και την πρύμνη καθρέπτη ισχυρά επηρεάζουν την κατανομή των φορτίων πίεσης και είναι πολύ σημαντικό για την υδάτινη ροή να ανυψώνει και να δίνει διαγωγή στην γάστρα. Η δύναμη ανύψωσης είναι σχεδόν ανάλογη της διαγωγής. Αν η γάστρα έχει ακμές, οι γραμμές διαχωρισμού ροής είναι καλά ορισμένες πάνω στις ακμές. Οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν τότε αγνοώντας την επίδραση του οριακού στρώμα συνεκτικότητας στην κατανομή πίεσης. Αυτό όμως μπορεί να μην ισχύει για γάστρες με στρογγυλεμένο πυθμένα. Οι γραμμές διαχωρισμού μπορούν να εξαρτώνται από τις συνθήκες στρωτής η τυρβώδους ροής στο οριακό στρώμα.

Είναι σύνηθες να συζητάμε για την αντίσταση σε διαβροχή των ολισθακάτων. Παρόλαυτα είναι δύσκολο να το ορίσουμε. Προκαλείται από τις συνιστώσες πίεσης και τριβής λόγω συνεκτικότητας. Η διαβροχή (spray) επηρεάζεται από την επιφανειακή τάση. Ο λόγος είναι ότι η συμπεριφορά του σπρει έχει μικρή επιρροή στην ροή κατα μήκος της γάστρας που δημιουργούν το σπρει. Η συνιστώσα της πίεσης της αντίστασης συνυπολογίζεται στην υπόλοιπη αντίσταση.

Στις περιπτώσει γαστρων με ακμή, η συνιστώσα της συνεκτικότητας σχετίζεται με την αυξημένη βρεχόμενη επιφάνεια λόγω της επιταχυνόμενης ροής που δημιουργείται στην σημείο εκκίνησης του σπρει μπροστά από τον διαχωρισμό της ροής λόγω των ακμών. Οι αντιδιαβρωχικές λωρίδες (spray rails) χρησιμοποιούνται για να ελαχιστοποιούν αυτό το φαινόμενο.

Το αντιθετο στοιχείο της αντίσταση είναι η πρόωση.

Η αντίσταση αέρα και η πρόσθετη αντίσταση σε κύμα και αέρα πρέπει επίσης να συνυπολογιστεί. Η πρόσθετη αντίσταση λόγω κυματισμών μπορεί εν μερει να εξηγηθεί ως την ικανότητα του πλοίου να παράγει ασταθείς κυματισμούς. Παρόλαυτα είναι επίσης σημαντικη επίδραση λόγω της αλληλεπίδραση σταθερούς και ασταθούς ροής. Αυτή η επίδραση μεγαλώνει με την αύξηση της πρόσω ταχύτητας. Ένα θεωρητικό μοντέλο για αυτήν την επίδραση παρουσιάστηκε απο Faltinsen et al. (1991a) . Καλη συμφωνία με πειραματικά αποτελέσματα για $F_n=1.14$ για γάστρες με στρογγυλό πυθμένα. Παρόλαυτά πειραματικά αποτελέσματα δεν υπήρξαν διαθέσιμα για υψηλότερης ταχύτητας ολισθακάτους.

Η υδροδυναμική συμπεριφορά μιας ολισθακάτους σε μη ολισθαίνουσα ταχύτητα είναι σημαντική. Για παράδειγμα η γωνία διαγωγής μπορεί να επηρεάζεται από την υδροδυναμική ροή φύρω από την γάστρα όταν ο αριθμός Φρουντ (F_n) είναι μεγαλύτερο από 0.35. Η δημιουργία εγκαρσίων κυματισμών μπορούν να φτάσουν στο μέγιστο της αντίσταση κυματισμού για αριθμούς Φρουντ (F_n) περίπου 0.50.

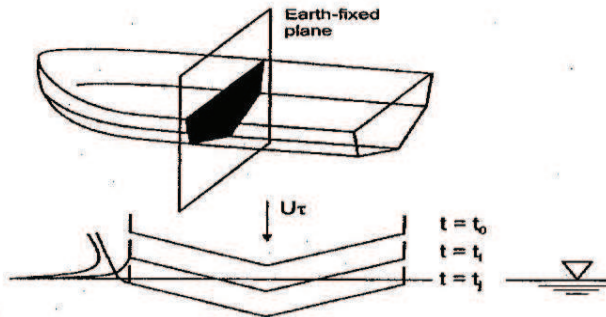
Το σκάφος πρέπει να έχει επαρκή ιπποδύναμη για να υπερνικά το τοπικό μέγιστο αντίστασης (hump) και να φτάνει στην κατάσταση ολίσθησης, γιατί η αντίσταση εξαρτάται κατά πολύ από την διαγωγή. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται πολλές φορές υδροπτερύγια ρύθμισης της διαγωγής και χρησιμοποιούνται για να αντισταθούν στην μεγάλη γωνία διαγωγής και συνεπώς να συμβάλλουν στην μείωση της αντίστασης.

Μια βέλτιστη γωνία διαγωγής στην ταχύτητα ολίσθησης αν εξετάσουμε από την πλευρά της αντίστασης έχει ειπωθεί αρκετές φορές ότι είναι περί τις 4° . Παρολαυτα εξαρτάται από την μορφή της γάστρας. Ikeda et al.(1993) πειραματικά εξέτασαν την επίδραση μικρών και μεγάλων πτερυγίων ρύθμισης της διαγωγής(trim tabs) μιας γαστρας με ακμές για αριθμό Φρουντ (Fn) μεταξύ 0.7 και 1.2.

Η γωνία πτερυγίων ρύθμισης της διαγωγής ποικίλλει από 0° έως 20° για τα μικρά πτερύγια. Η μικρότερη αντίσταση αποκτήθηκε για αριθμό Φρουντ (Fn) < 0.8 και με γωνία του πτερυγίου ίση με 20° , αλλά κανένα τέτοιου είδους πτερύγιο δεν έδωσε μικρότερη αντίσταση για $Fn > 1.0$

Παρόμοια αποτελέσματα αποκτήθηκαν για γωνία μεγαλύτερων πτερυγίων. Τα πτερύγια ρύθμισης της διαγωγής είναι περισσότερο αποτελεσματικά στην μείωση της γωνίας εμφάνισης τοπικού μεγίστου αντίστασης γαστρών με χαμηλό λόγο μήκους προς πλάτος L/B.(Savitsky 1992).

2.5 D (2D+t) THEORY



Σχήμα 1.4

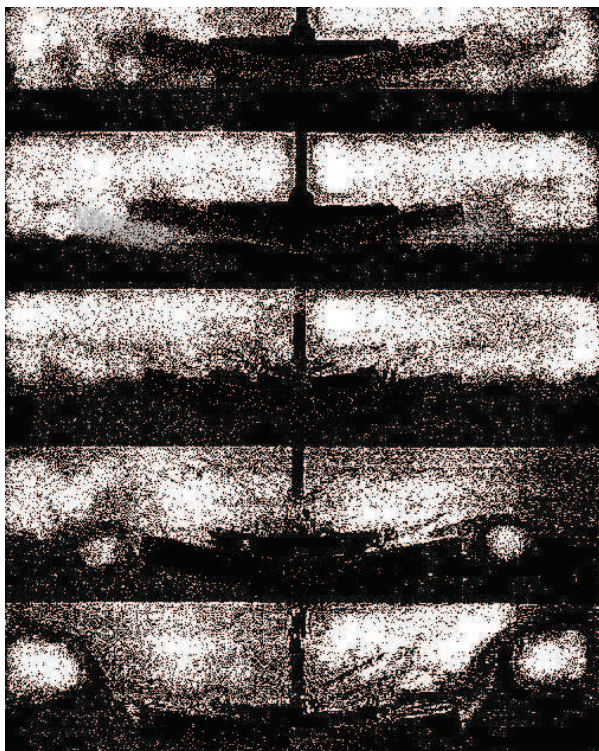
Απεικόνιση του πως μια διδιάστατη ανάλυση της εισόδου του νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια ολισθάκατο. Όταν η ολισθάκατος περάσει μέσα από το σταθερό ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων της Γης, το πρόβλημα είναι παρόμοιο με την διδιάστατη είσοδο νερού σε σώμα, αλλάζοντας την μορφή του. U : ταχύτητα του πλοίου, τ : γωνία διαγωγής(rad)(Zhao et al. 1997)

Το σχήμα απεικονίζει πως μια διδιάστατη 2D ανάλυση εισόδου στο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην 2.5 D (2D+t) ανάλυση της σταθερής ροής σχετικά με το σύστημα συντεταγμένων του πλοίου. Θεωρείται ένα επίπεδο μπροστά από το πλοίο σε σταθερό ως προς το σύστημα συντεταγμένων της γης. Θα ακολουθήσουμε τα μόρια του νερού πάνω σε αυτό το κάθετο επίπεδο.

Αυτά τα μόρια του νερού αρχικά υποτίθεται ότι δεν γνωρίζουν ότι ένα πλοίο έρχεται. Αυτό είναι μια όχι ακριβής υπόθεση. Μια συγκεκριμένη στιγμή $t=t_0$, ένας νομέας του πλοίου διέρχεται μέσα από το κάθετο επίπεδο το οποίο είναι σταθερό ως προς το σύστημα συντεταγμένων της γης. Αυτός ο νομέας που βρίσκεται έξω από το νερό δεν θα επηρεάσει τα μόρια του νερού που βρίσκονται στο κάθετο σταθερό επίπεδο. Παρόλα αυτά όσο ο χρόνος ένας άλλος νομέας του πλοίου τη χρονική στιγμή $t=t_i$ και t_j , θα διέλθει το κάθετο σταθερό επίπεδο όπως το πλοίο εισέρχεται στο κάθετο σταθερό επίπεδο και βυθίζονται στο νερό. Όταν $t=t_j$ η ροή έχει διαφύγει από τις ακμές. Η κάθετη ταχύτητα του κάθετου νομέα του πλοίου για ένα μικρό τ ίσο με $U\tau$ όπου τ είναι η τοπική γωνία διαγωγή σε ακτίνια (radians). Η ανάλυση της ροής στο σταθερό κάθετο επίπεδο είναι η ίδια με την περίπτωση που η ροή άλλαξε μορφή λόγω της εισόδου διδιάστατου σώματος με κάθετη ταχύτητα $V = U\tau$.

Ας συγκεντρωθούμε σε αυτό το σημείο στην είσοδο του νερού των διδιάστατων σωμάτων, πιο συγκεκριμένα στις σφήνες και στις ακμές (Knuckles)

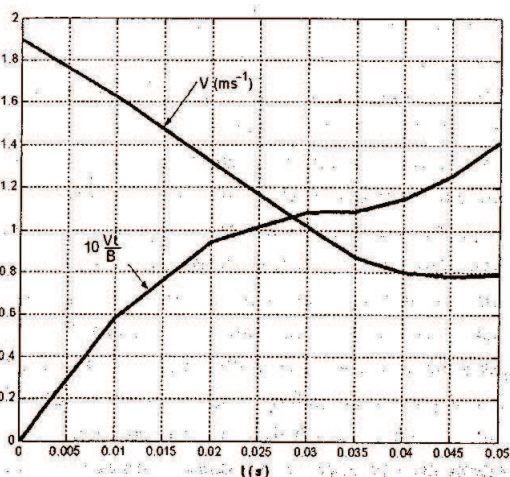
Στην Σχήμα 1.5 φαίνεται πως η ελεύθερη επιφάνεια φαίνεται στην πειραματική πτώση την σφήνας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.



Σχήμα 1.5

Πείραμα πτώσης σφήνας με γωνία ανύψωσης πυθμένα 10° και πλάτους $B=0.28\text{m}$. Η σφήνα πέφτει ελεύθερα. Οι λήψεις είναι στα $t=0, 0.01, 0.02219, 0.344$ και 0.0625s . $t=0$ είναι η χρονική στιγμή που πρωτοακουμπάει η σφήνα το νερό.

Η αντίστοιχη ταχύτητα εισόδου του νερού V σαν συνάρτηση του χρόνου φαίνεται στο γράφημα..

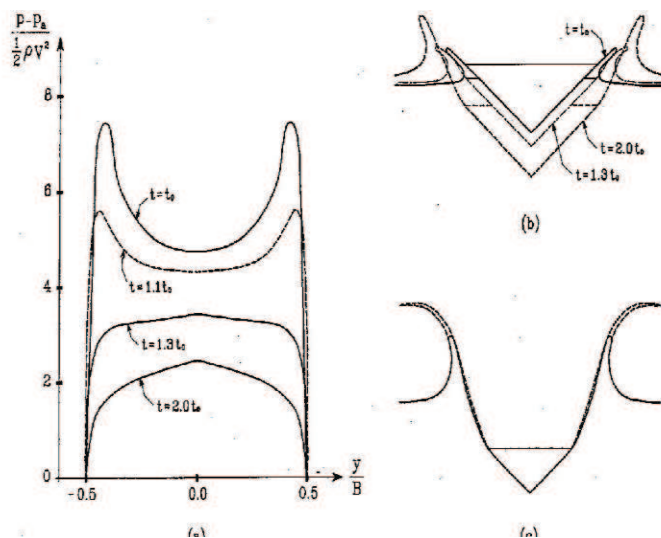


Σχήμα 1.6

Η ταχύτητα εισόδου V και η αδιάστατη ταχύτητα Vt/b σαν συνάρτηση του χρόνου για πειράματα που παρουσιάστηκαν στην παραπάνω φωτογραφία
 $B = \text{πλάτος}$

Η ανάλυση της σταθερής απόδοσης μια ολισθακάτου προϋποθέτει ότι η ταχύτητα V παραμένει σταθερή στο χρόνο. Όμως αυτό δεν επιτυγχάνεται στα πειράματα. Η εικόνα δείχνει πως το νερό αρχικά διαχωρίζεται από τις ακμές εφαιπτομενικά με τις επιφάνειες των σφηνών. το νερό ανυψώνεται σχεδόν κάθετα κοντά στις σφήνες με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μορφες κύματος που σπάνει και βυθίζονται τελικά στο νερό.

Η εικόνα του Σχήματος 1.7 δείχνει υπολογισμένη ανάπτυξη ελεύθερης επιφάνειας κατά την διάρκεια εισόδου του νερού της σφήνας με γωνία ανύψωσης πυθμένα 30° και ακμές(hard chines). Οι υπολογισμοί έγιναν με την boundary element method BEM .



Σχήμα 1.7

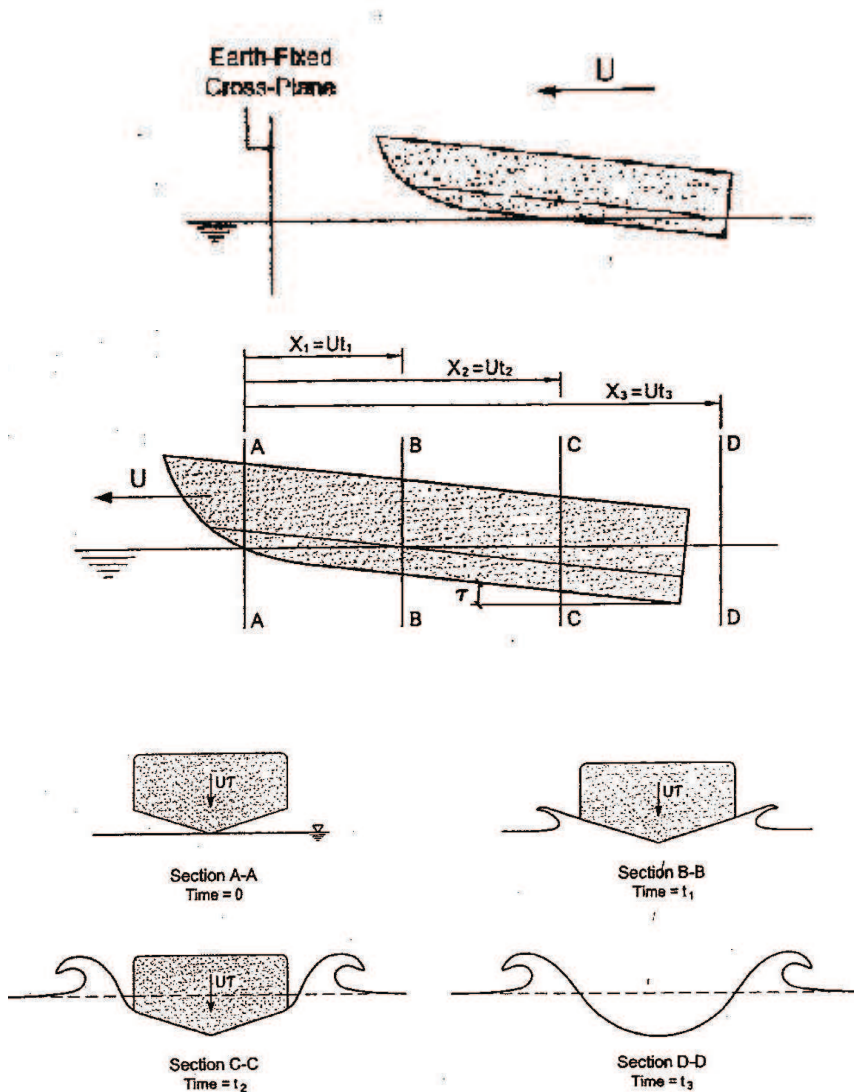
Η κατανομή πίεσης p και η ανάπτυξη ελεύθερης επιφάνειας κατά την διάρκεια εισόδου του νερού μιας σφήνας με γωνία ανύψωσης πυθμένα 30° με ακμές, υπολογισμένη με πλήρη μη γραμμική δυναμική ροή χωρίς βαρύτητα. V είναι η σταθερή ταχύτητα πτώσης, p_a η ατμοσφαιρική πίεση και ρ η πυκνότητα του νερού, B το πλάτος της σφήνας. Y είναι η οριζόντια συντεταγμένη πάνω στην επιφάνεια του σώματος, t_0 είναι η στιγμή όταν οι ρίζες του σπρέι αγγίζουν το σημείο διαχωρισμού από τις ακμές (α) κατανομή πίεσης σε επιλεγμένες στιγμές μετά την αποκόλληση της ροής από τις ακμές (β) ανάπτυξη ελεύθερης επιφάνειας σε συγκεκριμένες στιγμές μετά τον διαχωρισμό της ροής (γ) σύγκριση της ανάπτυξης ελεύθερης επιφάνειας μεταξύ θεωρίας και πειραμάτων $t=2.9_0$, θεωρία και πειράματα από Greenhow και Leen 1983 (Zhao et al. 1996)

έχει ένα σημαντικό αντίκτυπο στην ροή εκτός της περιοχής επίδραση του σπρέι. Αυτό επιβεβαιώνεται στο παραπάνω διάγραμμα (abc) συγκρίνοντας το με τα πειραματικά αποτελέσματα των Greenhow και Lin (1983). Η ροή σε αυτήν την σχετικά μεγάλη γωνία διαγωγής δείχνει σχετικά κάθετα jet που μοιάζουν με αυτά της φωτογραφίας με του σχήματος 1.5

Στην φωτογραφία επίσης φαίνεται την δημιουργούμενη κατανομή πίεσης στην σφήνα. Αυτό που είναι σημαντικό στην ανάλυση της σταθερής ροής είναι η δημιουργία κάθετης δύναμης. Μια μέγιστη συνεισφορά στην δύναμη της ροής πραγματοποιείται μπροστά από τον διαχωρισμό της ροής στις σφήνες. επειδή η γραμμή διαχωρισμού πρέπει να είναι γνωστή στην στην 2.5 D ανάλυση του Zao et al. (1996), ροή σε στρογγυλεμένους πυθμένες είναι μια διαφορετική υπόθεση για εξέταση.

Μπορούμε να παρουσιάσουμε πως η ανάπτυξη της ελεύθερης επιφάνειας όπως φαίνεται στις εικόνες [Σχήμα 1.5] παρουσιάζεται σε ένα σύστημα συντεταγμένων πακτωμένο με το πλοίο. Η μετατροπή των συντεταγμένων $x = Ut$ τώρα εισάγεται. Εδώ x είναι μια πακτωμένη με το σώμα συντεταγμένη. Η θετική x

κατεύθυνση από την πλώρη προς την πρύμνη. Το $t=0$ αντιστοιχεί την πρώτη στιγμή που το νερό εισάγεται στην κάθετη επιφάνεια που πριν αναφερθήκαμε. Η x -συντεταγμένη του νομέα του πλοίου είναι τότε 0 σύμφωνα με την σχέση $x = U\tau$.



Σχημα 1.8:

Απεικόνιση της ροής γύρω από μια ολισθάκατο. Μετασχηματισμοί μεταξύ του σταθερού συστήματος συντεταγμένων ως προς τη Γη και του συστήματος συντεταγμένων του πλοίου

Αυτό φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 1.8 που δείχνει την ανάπτυξη της ελεύθερης επιφάνειας για τέσσερις νομείς A,B,C,D Πως φαίνονται εξαρτώνται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{Vt}{B} = \frac{(U\tau)(x/U)}{B} = \frac{\alpha}{B} \quad (1.1)$$

Υπάρχει μία τρύπα στο νερό στο τελευταίο νομέα D, Αυτό στην πραγματικότητα θα εξαφανιστεί σε κάποια απόσταση πίσω από το πλοίο και μια «ουρά κόκκορα» θα εμφανιστεί. Αυτό επηρεάζεται από την βαρύτητα. Επίσης η βαρύτητα θα τραβήξει προς τα κάτω τα σπρέι που θα εμφανιστούν στον νομέα C. Η πίεση της βαρύτητας θα δημιουργήσει κυματισμούς και συνεπώς κύματα μακριά από το πηγή δημιουργίας τους και άρα πρόσθετη αντίσταση.

Μια απλοποιημένη εκδοχή της 2.5D θεωρίας θα χρησιμοποιηθεί αρχικά για να εξηγηθεί ποιοτικά γιατί η πρύμη καθρέπτη και οι ακμές είναι τόσο σημαντικές για της δημιουργία hydrodynamic lift και ροπή διαγωγής. Η βάση είναι η εξίσωση που δίνει την παρακάτω κάθετη δύναμη ανά μονάδα μήκους σε έναν εγκάρσιο νομέα:

$$f_3 = U \frac{d}{dx} (a_{33} U \tau) \quad (1.2)$$

Εδώ χρησιμοποιείται ότι $x = U\tau$. Επίσης a_{33} είναι η διδιάστατη πεπερασμένη συχνότητα πρόσθετης μάζας σε κατακύρφη κίνηση (heave) σε ένα νομέα. Αν η γραμμή της τρόπιδας μπορεί να εκφαστεί ως $z(x)$ και θετικά z προς τα πάνω, τότε η τοπική γωνία διαγωγής είναι $\tau = -dz/dx$. Εάν η τρόπιδα είναι ευθεία γραμμή, όπως είναι για παράδειγμα στις πρισματικές γάστρες που μελέτησε ο Savitsky(1964) η τοπική γωνία διαγωγής είναι ίδια για όλη την διαγωγή του σκάφους ως προς σταθερό σύστημα αναφοράς.

Η εξ (1.2) δίνει την κάθετη δύναμη σε ένα εγκάρσιο νομέα μόνο όταν $a_{33}(x_T)$ μεταβάλλεται ως προς x στον νομέα. Όταν ο διαχωρισμός της ροής από τις ακμές πραγματοποιείται ούτε το a_{33} αλλά ούτε το τ αλλάζει για πρισματικές γάστρες, και έτσι f_3 είναι μηδέν. Αντικαθιστώντας το Vt/B με x/B όπως στην εξίσωση (1.1) βλέπουμε ότι αυτή η μηδενική δύναμη είναι μόνο ποιοτικά αλήθινή σε κάποια απόσταση από την ροή από την οποία η διαβροχή των ακμών ξεκινάει.

Ολοκληρώνοντας την (1.2) σε όλο το μήκος της γάστρας δίδεται η υδροδυναμική δύναμη (hydrodynamic lift):

$$L = U^2 \tau \cdot a_{33}(x_T), \quad (1.3)$$

όπου x_T σημαίνει τη x -συντεταγμένη της πρύμνης καθρέπτη. Αν η γάστρα έχει μυτερή μορφή πρύμνης τότε το $a_{33}(x_T)$ είναι μηδέν, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει υδροδυναμική δύναμη (Lift). Αυτό δείχνει και το πόσο σημαντική είναι η πρύμη καθρέπτη στην δημιουργία υδροδυναμικής δύναμης. Η (1.3) δείχνει για πεπερασμένο $\tau \cdot a_{33}(x_T)$ ότι η δύναμη lift αυξάνεται με το τετράγωνο της

ταχύτητας. Επειδή $a_{33}(x_T)$ είναι ανάλογο του B^2 , η υδροδυναμική δύναμη επίσης θα έχει αναλογικό παράγοντα σύμφωνα με την απλή μέθοδο αναλογιών. Επίσης $a_{33}(x_T)$ θα αυξάνεται με την αύξηση της γωνίας ανύψωσης πυθμένα.

Η εξίσωση (1.3) δείχνει εμφανώς ότι η γάστρα πρέπει να έχει γωνία διαγωγής για δημιουργηθεί υδροδυναμική δύναμη. Αυτό αιτιολογείται λόγω της ροπής διαγωγής που προκαλεί την πλήρη να ανυψωθεί, ενώ είναι σημαντικό να βρίσκεται το κέντρο πιέσεων της δύναμης στην γάστρα πρόωραθεν του κέντρο βάρους κατά την διάρκεια επιτάχυνσης μέχρι της σταθερή ταχύτητα U . Αυτό επιτυγχάνεται όταν ο διαχωρισμός της ροής από τις ακμές ξεκινάει κοντά στην πλήρη καθώς επίσης και το $a_{33}(x_T)$ δεν αλλάζει ρεύμα από το οποίο ξεκινάει η διαβροχή των ακμών. Εάν το τ δεν μεταβάλλεται, που σημαίνει ότι η τρόπιδα και οι διαμήμεις τομές είναι ευθείες γραμμές και παράλληλες. Αυτό επιτυγχάνεται ταυτόχρονα και με την γεωμετρία, με τους νομείς και με το γεγονός ότι οι ακμές εξαναγκάζουν τη ροή να διαχωριστεί.

Επειδή η διδιάσταση κάθετη δύναμη που εκφράζεται με την εξ.(1.2) είναι αποτέλεσμα υδροδυναμιών φορτίων η εξίσωση προβλεπει αρνητικές υδροδυναμικές πιέσεις σε έναν εγκάρσιο νομέα όταν το $d(a_{33}\tau)/dx$ είναι αρνητικό. Η συνολική πίεση είναι το άθροισμα υδροστατικών υδροδυναμικών και ατμοσφαιρικών πιέσεων. Αρνητικές, προς την ατμοσφαιρική πίεση, πιέσεις μπορούν να έχουν σαν αποτέλεσμα δυναμικές αστάθειες (Muller-Graf 1997). Αν υποθέσουμε ότι η ταχύτητα είναι επαρκώς υψηλή έτσι ώστε η υδροστατική πίεση να είναι αμελητέα. Για παράδειγμα σε ένα νομέα που έχει σφηνοειδή μορφή με σταθερή γωνία ανύψωσης πυθμένα παρουσιάζουν αρνητικές συγκριτικά με την ατμοσφαιρική πίεση ,πιέσεις όταν $b^2\tau$ μειώνεται με την αύξηση του x , δηλαδή μπροστά από την πρύμη. Εδώ το b είναι το τοπικό πλάτος. Εάν η τρόπιδα είναι δεν είναι ευθεία, το τ μειώνεται καθώς μεγαλώνει το x . Η θεωρία λεπτόγραμμου σώματος είναι συνεπής με την προειδοίηση του Savitsky ενάντια στην χρήση γραμμικής τρόπιδας και διαμήκων τομών στην πρυμναία πλευρά της γάστρας.

Εάν η επιφάνεια ολίσθησης είναι με αναδιπλώσεις(πτυχώσεις), η γωνία ανύψωσης πυθμένα μεταβάλλεται με το x και επηρεάζει το a_{33} . Εάν χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα για το a_{33} για τις σφήνες, τότε a_{33}/b^2 θα αυξάνεται με την μείωση του β .

Αυτή η ποιοτική ανάλυση δείχνει ότι οι αρνητικές υδροδυναμικές πιέσεις μπορούν να αποφευχθούν με τον σωστό σχεδιασμό τρόπιδας και διαμήκων τομών, τοπικού πλάτους, και γωνία ανύψωσης πυθμένα. Παρόλαυτα οι παρακάτω παραδοχές πρέπει να μην παραβλεπονται:

- Η εξίσωση (1.2) είναι προσέγγιση
- Η θεωρούμενη πίεση πρέπει να είναι ο μέσος όρος πανω σε κάθε εγκάρσιο νομέα συνυπολογίζοντας την πίεση με z-συνιστώσα του μοναδιαίου διανύσματος πανω στην επιφάνεια.

- Η επίδραση των προωστήριων εγκαταστάσεων δεν έχουν ληφθεί υπ' όψιν . Η έλικα μπορεί να δημιουργήσει αρνητικές υδροδυναμικές πιέσεις πάνω στην γάστρα.

Εάν ένα πτερόγιο ρύθμισης της διαγωγής θεωρηθεί υδροδυναμικά ένα κομμάτι της γάστρας η εξίσωση (1.2) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ροπής διαγωγής που μπορεί να δημιουργηθεί λόγω της παρουσίας τους. Παρόλαυτά οι επιδράσεις της τρισδιάστατης ροής παίζουν σημαντικό ρόλο κοντά στην πρύμνη.

Τα παρακάτω ανφέρονται στην πιο ακριβή 2.5D θεωρία Zhao et al.(1997) και παρουσιάζει την σημασία της μη ύπαρξης μη μηδενικής κάθετης δύναμης πρυμναία της εγκάρσιας επιφάνειας που βρίσκεται εκεί που ξεκινάει ο διαχωρισμός της ροής από τις ακμές.

Μέθοδος Savitsky

Ο Zhao et al. (1997) συνέκριναν της 2.5 D θεωρία τους με την εμπειρική μέθοδο του Savitsky (1964) για την υδροδυναμική δύναμη ανύψωσης (Lift) την δυναμική αντίσταση (drag) και το κέντρο πιέσεων για μια πρισματική γάστρα και με βρεχόμενες ακμές ολισθάκατο.

Η φόρμουλα είναι βασισμένη σε εκτενή πειραματικά δεδομένα.

$$C_{L\beta} = C_{L0} - 0.0065\beta C_{L0}^{0.60} \quad (1.4)$$

$$C_{L\beta} = \frac{F_{L\beta}}{0.5\rho U^2 B^2}$$

και

$$C_{L0} = \frac{F_{L0}}{0.5\rho U^2 B^2} = \tau_{deg}^{1.1} (0.012\lambda_w^{0.5} + 0.0055\lambda_w^{2.5} / Fn_B^2) \quad (1.5)$$

C_{L0} = συντελεστής δύναμης ανύψωσης (lift) για μηδενική γωνία ανύψωσης πυθμένα

$C_{L\beta}$ = συντελεστής δύναμης ανύψωσης (Lift)

F_{L0} = lift force για μηδενική γωνία ανύψωσης πυθμένα ($\beta^0=0^0$)

$F_{L\beta}$ = lift force\

λ_w = μέσος λόγος βρεχόμενου μήκους προς πλάτος

τ_{deg} = γωνία διαγωγής της ολισθαίνουσας περιοχής σε μοίρες

τ = γωνία διαγωγής της ολισθαίνουσας περιοχής σε ακτίνια

β = γωνία ανύψωσης πυθμένα της ολισθαίνουσας επιφάνειας σε μοίρες

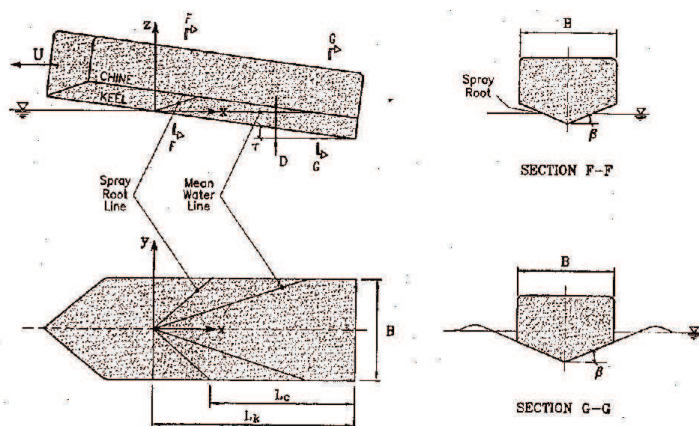
B = πλάτος της ολισθαίνουσας επιφάνειας

$Fn_B = U / (gB)^{0.5}$

Σημειώνουμε ότι το πλάτος χρησιμοποιείται σαν παράμετρος μήκους για το αριθμό (Fn). Ένας λόγος είναι γιατί το πλάτος είναι σταθερό για συγκεκριμένη διαμήκη θέση, όπως για παράδειγμα το μήκος βρεχόμενης τρόπιδας δεν είναι γνωστός πριν οι εξισώσεις ισορροπίας των κάθετων δυνάμεων and ροπών διαγωγής για δεδομένη ταχύτητα επιλυθούν.

Η εξίσωση (1.4) είναι έγκυρη για $2^\circ \leq \tau_{deg} \leq 15^\circ$ και $\lambda_w \leq 4$

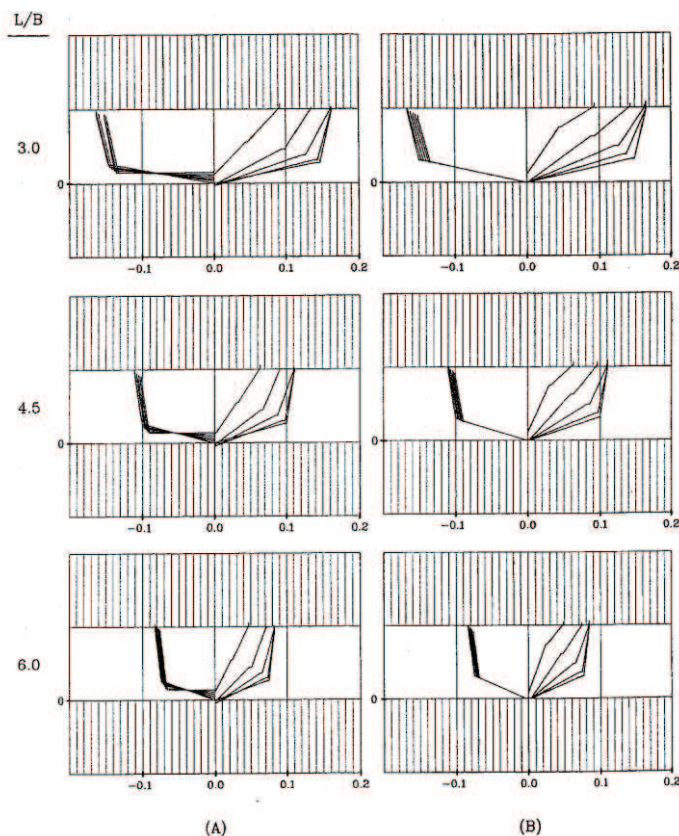
Το Σχήμα 1.9 ορίζει την γεωμετρία της γάστρας και τις γωνία β και τ .



Σχήμα 1.9: Σύστημα συντεταγμένων (x,y,z) και συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται σε μια ανάλυση πρισματικής γάστρας (Savitsky 1964)

Ο μέσος βρεχόμενος λόγος μήκος προς πλάτος είναι ίσος με $0.5(L_k + L_c)/B$ (βλ.Σχλημα) L_k και L_c L_c είναι αντίστοιχα τα μήκη βρεχόμενης τρόπιδας και ακμών. Η μέθοδος Savitsky προϋποθέτει πρισματική γάστρα, για παράδειγμα η γωνία ανύψωσης πυθμένα παραμένει σταθερή κατα μήκος της κατασκευής.

Ο Ikeda et al.(1993) πειραματικά μελέτησαν μια σειρά γαστρών με ακμές (βλ. Σχήμα 1.10)



Σχήμα 1.10

Σχέδιο νομέων ολισθακάτων με ακμές που μελετήθηκαν από Ikeda et al(1993). Ο λόγος μήκος προς πλάτος ποικίλε μεταξύ 3 και 6. Οι γωνίες ανύψωσης πυθμένα παρέμενε σταθερή για την πυρναία περιοχή των γαστρών B αλλά η γωνία ανύψωσης πυθμένα για την σειρά γαστρών A γινόταν μηδέν στην περιοχή του καθρέπτη. Εάν η γωνία ανύψωσης πυθμένα για τις γάστρες Savitsky επιλεγεται στο πρωαίο τμήμα μεταξύ του πρώτου βρεχόμενου νομέα της τρόπιδα και του πρώτου βρεχόμενου νομέα των ακμών, ο Ikeda et al. , έδειξαν ότι η μέθοδος Savitsky μπορεί να εφαρμοστεί και στις δικές τους μη πρισματικές γάστρες για αριθμούς Φρουντ(Fn) μήκους μεγαλύτερους από 0.9. Αυτή είναι μια χρήσιμη πληροφορία αλλά δεν πρέπει να γενικοποιούμε τα ευρήματα αυτής της διαπίστωσης. Η αντίσταση, η ανύψωση και η διαγωγή για τις συστηματικές σειρές των πειραμάτων έχουν επίσης παρουσιαστεί από τους Clements and Blount(1963), Keuning and Gerritsma(1982) και Keuning et al.(1993).

Σημειώνουμε κατά τη μέθοδο Savitsky η υδροδυναμική δύναμη γίνεται μηδέν όταν η γωνία διαγωγής γίνεται μηδέν. Η γωνία διαγωγής διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο παρόμοιο με αυτό που η γωνία πρόσπτωσης διαδραματίζει στην θεωρία των υδροπτέρυγων. Επίσης μέρος της υδροδυναμικής δύναμης μειώνεται γραμμικά όταν αυξάνεται η γωνία ανύψωσης πυθμένα. Η συνιστώσα αντίστασης R_p λόγω της δύναμης πίεσης σε αυτήν την περίπτωση είναι μόνο $R_p = F_{L\beta} \tau$. Εδώ τ σε ακτίνια. Η διαμήκης θέση του κέντρου πίεσης εκφράζεται από την παρακάτω σχέση :

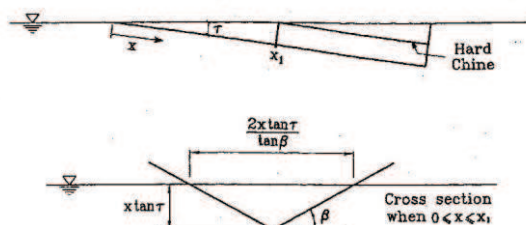
$$\frac{l_p}{\lambda_w B} = 0.75 - \frac{1}{5.21Fn_B^2 / \lambda_w^2 + 2.39}, \quad (1.6)$$

όπου l_p είναι η απόσταση μετρούμενη πάνω στην τρόπιδα από τον καθρέπτη της πρύμης μέχρι το κέντρο όπου ασκείται η υδροδυναμική δύναμη. Το τμήμα της έκφρασης της δύναμης και της ροπής που αποκτάται $F_{n_B} \rightarrow \infty$ στις εξισώσεις (1.5) και (1.6) είναι το αποτέλεσμα της υδροδυναμικής δύναμης. Τα υδροστατικά φορτία και η επίδραση της ανάπτυξης κυματισμών στην ελεύθερη επιφάνεια έχει συμπεριληφθεί στην φόρμουλα.

Επιδράσεις της βαρύτητας

Η βαρύτητα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για πεπερασμένους αριθμούς Froude στις ολισθακάτους. Υπάρχουν, καταρχάς, δύο επιδράσεις: η υδροστατική πίεση και η δημιουργία των βαρυντικών κυματισμών. Παρόλαυτα ο τελευταίος παράγοντας θεωρείται αμελητέος. Η κατανομή της υδροστατικής πίεσης προσεγγίζεται θεωρώντας τον όγκο εκτοπίσματος της γάστρας κάτω από την τομή της μέσης ελεύθερης επιφάνειας και της γάστρας στην κατάσταση ολίσθησης.

Χρησιμοποιούμε το Σχήμα 1.11



Σχήμα 1.11

Στο Σχήμα 1.11 γίνεται η εξήγηση των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της κάθετης υδροστατικής δύναμης σε μια πρισματική γάστρα για να παρουσιάσουμε τους υπολογισμούς. Ένας άξονας x κατά μήκος της τρόπιδας εισάγεται με $x=0$ και $x=x_1$ να αντιστοιχούν εκεί όπου η τρόπιδα και οι ακμές αντίστοιχα τέμνονται με την μέση ελεύθερη επιφάνεια. Η επιφάνεια που προκύπτει από την τιμή μεταξύ με $x=0$ και $x=x_1$ μπορεί να εκφραστεί ως

$$A(x) = \frac{x^2 \tan^2 \tau}{\tan \beta}$$

Ο όγκος της γάστρας από $x=0$ έως x_1 κάτω από την μέση ελεύθερη επιφάνεια είναι τότε

$$Vol_1 = \int_0^{x_1} A(x) dx = \frac{1}{3} x_1^3 \frac{\tan^2 \tau}{\tan \beta}$$

Η γάστρα κάτω από τις ακμές από $x=x_1$ μέχρι τον καθρέπτη είναι

$$Vol_2 = (L_K - x_1)0.25B^2 \tan \beta$$

Τώρα έχουμε να αθροίσουμε τον όγκο της γάστρας μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας και του επιπέδου μεταξύ των ακμών απο $x = x_1$ μέχρι τον καθρέπτη.

Η τελική απάντηση είναι

$$\nabla = x_1^3 \tan^2 \tau / (3 \tan \beta) + (L_K - x_1)0.25B^2 \tan \beta + 0.5(L_K - x_1)^2 \tan \tau \cdot B$$

όπου

$$x_1 = 0.5B \tan \beta / \tan \tau$$

Γράφοντας την κάθετη δύναμη ως $F_{HS} = \rho g \nabla$ δίνει

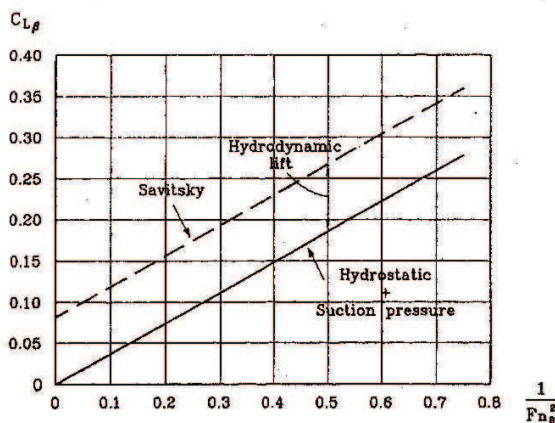
$$C_{LHS} = \frac{F_{HS}}{0.5 \rho U^2 B^2} = \frac{2}{Fn_B^2} \cdot \frac{\nabla}{B^3} \quad (1.7)$$

Αυτό προϋποθέτει ότι η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας είναι κάτω από την μέση ίσαλο, αλλά επειδή η στεγνή επιφάνεια της γάστρας πάνω από τις ακμές είναι κάθετη δεν συνεισφέρει στην κάθετη δύναμη. Επίσης η διόρθωση για στεγνό καθρέπτη έχει αμελητέα επίδραση στην κάθετη δύναμη. Η επίδραση της υδροστατικής πίεσης τότε θα λαμβάνονταν υπόψιν. Αλλά συνεχίζουμε τις παραδοχές μας.

Άλλο ένα φαινόμενο είναι της υποπίεσης στην πρύμνη καθρέπτη. Αυτό δημιουργείται λόγω του διαχωρισμού της ροής στην πρύμνη καθρέπτη και στο γεγονός ότι η πίεση πρέπει να είναι ατμοσφαιρική στην πρύμνη καθρέπτη.

Οι συνέπειες είναι μικρή φόρτιση στον καθρέπτη. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί μειώνοντας το L_K περίπου στο $0.5B$ έτσι ώστε να συμβαδίζει καλά με τα αποτελέσματα Savitsky.

Παρουσιάζεται επαρκώς στις καμπύλες του Σχήματος 1.12



Σχήμα 1.12

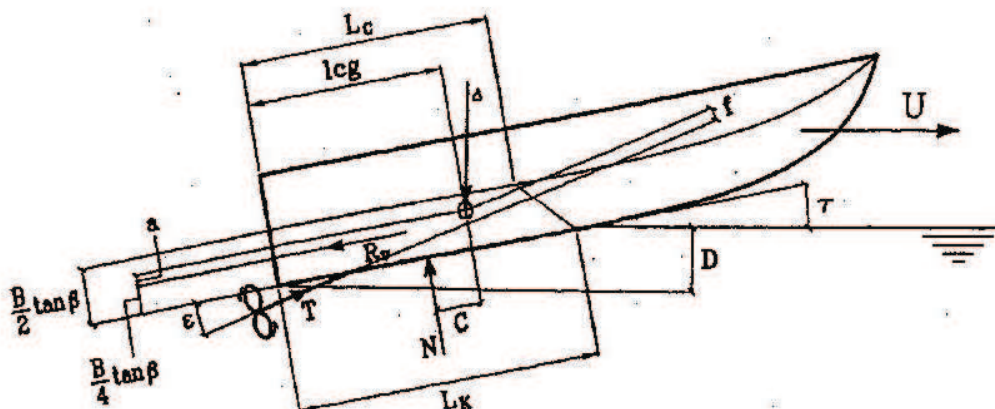
Σύγκριση μεταξύ συντελεστή άνωσης Savitsky $C_{L\beta}$ και συντελεστή άνωσης λόγω της υποπίεσης C_{LHS} στην πρύμνη καθρέπτη και της υδροστατικής πίεσης. Η πρισματική γάστρα $\beta = 10^\circ$ $\tau_{deg} = 4^\circ$ $\lambda_w = 3$ (Faltinsen 2001)

στο οποίο $C_{L\beta}$ και C_{LHS} παρουσιάζονται σαν εξισώσεις των $1/Fn^2_B$ για $\beta = 10^\circ$, $\tau_{deg} = 4^\circ$ και $\lambda_W = 3$. Η τιμή του $C_{L\beta}$ για $1/Fn^2_B = 0$ είναι η υδροδυναμική δύναμη (Lift). Επειδή τα $C_{L\beta}$ και C_{LHS} είναι σχεδόν παράλληλες με το αυξανόμενο $1/Fn^2_B$ φαίνεται ότι η σταθερή υδροδυναμική δύναμη σε μια ολισθάκατο μπορεί να διαχωριστεί σε σταθερή δύναμη ανύψωσης, στην άντωση και στην δύναμη που δημιουργείται λόγω πτώσης της πίεσης της ροής στην πρύμνη καθρέφτη. Αυτό σημαίνει ότι η δημιουργία βαρυτικών κυματισμών είναι μηδαμινή σε σύγκριση με την υδροδυναμική δύναμη. Παρόλ'αυτά επειδή μειώσαμε προσέγγιση το L_K στο $0.5B$ για να φτάσουμε στα συμπεράσματά μας, δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι.

Με σκοπό να είμαστε πιο ακριβείς θα έπρεπε να έχουμε ένα αριθμητικό εργαλείο υπολογισμού που να συμπεριλαμβάνει την επίδραση των κυματισμών και ταυτόχρονα να προβλέπει την ροή στον πυθμένα.

Γενικευμένη περίπτωση ολίσθησης

Το Σχήμα 1.13 παρουσιάζει εμφανώς την γενική περίπτωση στην οποία η δύναμη τριβής R_V και η ώση της έλικας T δεν δρουν μέσω του COG (Κέντρου βάρους).



Σχήμα 1.13

Απεικόνιση πρισματικής ολισθακάτου στην οποία οι δυνάμεις που επιδρούν δεν διέρχονται από το κέντρο βάρους της COG (Center Of Gravity)

Η συνιστώσα λόγω συνεκτικότητας της επαγόμενης αντίστασης (drag) θεωρούμε ότι δρά παράλληλα με την γραμμή της τρόπιδας, στο ημι-ύψος μεταξύ τρόπιδας και ακμών. Για ποιο λόγο η επαγόμενη αντίσταση δρα έτσι είναι δύσκολο να αιτιολογήσουμε. Η απόσταση μεταξύ R_V και του COG που μετριέται συνήθως καλείται a .

Η γραμμή της ώσης έχει μια σχετική γωνία ϵ ως προς την τρόπιδα. Η γωνία ϵ σε μικρά σκάφη μπορεί είναι μικρή και πολλές φορές αρνητική ανυψώνοντας την πλωρη προς τα πάνω. Μια αρνητική ϵ μπορεί να προκαλέσει πολύ σπρει λόγω ώσης που συνήθως είναι εμφανές στο πίσω μέρος του σκάφους. Η απόσταση μεταξύ της γραμμής της ώσης και του COG μετριέται συνήθως στον άξονα και είναι f . N είναι το αποτέλεσμα των δυνάμεων πίεσης λόγω του δυναμικού ροής. Η

απόσταση μεταξύ N και COG είναι c . Μπορούμε να διατυπώσουμε τις παρακάτω εξισώσεις ισορροπίας για τις ροπές και δυνάμεις.

Ισορροπία δυνάμεων στον κάθετο άξονα:

$$Mg = N \cos \tau + T \sin(\tau + \varepsilon) - R_V \sin \tau \quad (1.8)$$

Οριζόντια ισορροπία δυνάμεων:

$$T \cos(\tau + \varepsilon) = R_V \cos \tau + N \sin \tau \quad (1.9)$$

Ροπή διαγωγής:

$$Nc + R_V \alpha - Tf = 0 \quad (1.10)$$

Αυτές οι εξισώσεις μπορούν να αναδιατυπωθούν όπως παρακάτω:

Αρχικά θεωρείται η ισορροπία δυνάμεων κατα μήκος της τρόπιδας. Η N δεν θα έχει συνιστώσα σε αυτήν την διεύθυνση:

$$T \cos \varepsilon = Mg \sin \tau + R_V \quad (1.11)$$

Υποθέτοντας ότι $\varepsilon \approx 1$ στην εξίσωση (1.11) και αντικαθιστώντας την (1.11) στην (1.8) δίνει :

$$Mg = N \cos \tau + Mg \sin \tau \sin(\tau + \varepsilon) + R_V \sin(\tau + \varepsilon) - R_V \sin \tau \approx N \cos \tau + Mg \sin \tau \sin(\tau + \varepsilon)$$

Αυτό σημαίνει ότι

$$N = \frac{Mg(1 - \sin \tau \sin(\tau + \varepsilon))}{\cos \tau} \quad (1.12)$$

Τώρα αντικαθιστούμε τις εξισώσεις (1.11) και (1.12) στην εξίσωση (1.10)

Το αποτέλεσμα είναι:

$$Mg \left\{ \frac{(1 - \sin \tau \sin(\tau + \varepsilon))c}{\cos \tau} - f \sin \tau \right\} + R_V (\alpha - f) = 0 \quad (1.13)$$

Μια υπολογιστική διαδικασία για να βρούμε την γωνία διαγωγής, το βρεχόμενο μήκος και αλλα μπορεί τώρα να τεθεί.

Πρώτα πρέπει να υποθέσουμε την γωνία διαγωγής τ . Επειδή το βάρος, η ταχύτητα του πλοίου και το πλάτος είναι δοσμένα το $C_{L\beta}$ είναι γνωστό. Σε αυτήν τη περίπτωση όπως προαναφέρθηκε πρέπει αν υποθέσουμε την γωνία διαγωγής

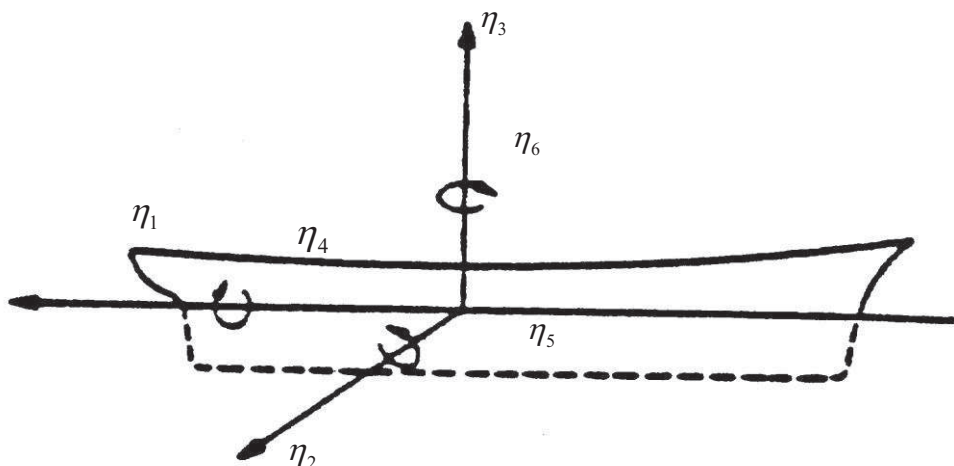
για να καθορίσουμε το μέσο βρεχόμενο λόγο μήκους προς πλάτος. Καθορίζουμε το c σημειώνοντας ότι το l_{cg} είναι δοσμένο και το l_p βρίσκεται από την εξίσωση (1.6). Επειδή f, α και ε είναι γνωστά το αριστερά μέλος της εξίσωσης (1.13) μπορεί τώρα να υπολογιστεί.

Επαναλαμβάνοντας αυτήν την διαδικασία για διαφορετικές τιμές που υποθέτουμε για την γωνία διαγωγής μπορούμε να βρούμε για ποια τιμή της διαγωγής ικανοποιείται η εξ. (1.13). Χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή, μπορούμε εύκολα να το κάνουμε για πολλές διαφορετικές τιμές της διαγωγής και να προσεγγίσουμε την πραγματική τιμή που στην πραγματικότητα ισορροπεί το σκάφος. Η επαρκής ιπποδύναμη μπορεί να υπολογιστεί με κατάλληλη μέθοδο.

Ο Savitsky (1964) παρουσίασε ένα παράδειγμα με τιμές των M, l_{cg}, B, β και U .

1.3.ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

1.3.1.ΟΙ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ



$$\begin{array}{lll} \eta_1 = \text{surge} & \eta_3 = \text{heave} & \eta_5 = \text{pitch} \\ \eta_2 = \text{sway} & \eta_4 = \text{roll} & \eta_6 = \text{yaw} \end{array}$$

Είδη κινήσεων

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

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

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

1.3.2.ΕΙΔΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Γενικά

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

- την ταχύτητα του διεγείροντος ανέμου (wind speed)
- τη διάρκεια πνοής του διεγείροντος ανέμου (wind duration)
- την ελεύθερη έκταση της επιφάνειας της θάλασσας πάνω στην οποία μπορούν να αναπτυχθούν κυματισμοί (wave fetch)

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

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

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

- $S(\omega)$: συνάρτηση πυκνότητας φάσματος ή φάσμα ισχύος
- ω_p : κυκλική συχνότητα κορυφής ενός φάσματος
- $H^{1/3}$: σημαντικό ύψος κύματος που είναι η μέση τιμή του 1/3 των μεγαλύτερων υψών κύματος
- f : συχνότητα κύματος
- ζ_a : πλάτος κύματος
- T : περίοδος κύματος
- λ : μήκος κύματος
- k : κυματικός αριθμός
- C : ταχύτητα κορυφής κύματος ή φασική ταχύτητα
- T_p : περίοδος που αντιστοιχεί στην κορυφή του φάσματος ($T_p = 2\pi/\omega_p$)
- m_0 : η μέση τετραγωνική τιμή ή rms (root mean square)

Αρμονικοί Κυματισμοί (Regular Waves)

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

Για την συχνότητα και την περίοδο ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις :

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

$$T = 1/f \quad [sec]$$

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

Ειδικότερα εάν η απόκριση του πλοίου εκφράζεται ως εξής :

$$X = X_a \cos(\omega_e t + \epsilon x)$$

τότε η συνάρτηση μεταφοράς είναι :

$$R_x = X_a(\omega) / \zeta_a(\omega)$$

Τυχαίοι Κυματισμοί (Random Waves)

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

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

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

Υποθέτοντας ότι οι κυματισμοί είναι μιας κατεύθυνσης (unidirectional seas) η συνάρτηση πυκνότητας φάσματος της απόκρισης πλοίου σε κυματισμούς

$$S_{XX}(\omega), \text{ ισούται με : } S_{XX}(\omega) = [R_X(\omega)]^2 S(\omega)$$

όπου : ω : η συχνότητα της ανύψωσης κυματισμών

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

$R_X(\omega)$: η συνάρτηση μεταφοράς

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

πλήρως ανεπτυγμένες θάλασσες: Όταν ο άνεμος έχει πνεύσει σταθερός και ανεμπόδιστος για μακρύ χρονικό διάστημα και θεωρούμε ότι έχουμε φτάσει σε μία κατάσταση ισορροπίας

αναπτυσσόμενες θάλασσες: Όταν ο άνεμος έχει πνεύσει για σχετικά μικρό διάστημα και δεν έχει έρθει ακόμα κατάσταση ισορροπίας

αποσβενόμενες θάλασσες: Όταν έχει παύσει ή περιοριστεί η ταχύτητα του ανέμου οπότε η ενέργεια των κυμάτων καταστρέφεται βαθμιαία λόγω των συνεκτικών δυνάμεων.

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

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

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

$$\sigma_x^2 \equiv m_{ox} = \int S_{xx}(\omega) d\omega$$

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

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1

Root mean square amplitude	1.00σ
Average amplitude	1.25σ
Average of highest 1/3 amplitudes	2.00σ
Average of highest 1/10 amplitudes	2.55σ

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

$$m_n = \int \omega^n S(\omega) d\omega \quad \text{όπου, } S(\omega) \text{ το φάσμα της απόκρισης.}$$

Για $n=0$ προκύπτει η ροπή μηδενικής τάξης:

$$m_0 = \int \omega^0 S(\omega) d\omega = \int S(\omega) d\omega \quad \text{η οποία είναι και η μέση τετραγωνική τιμή.}$$

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

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

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

1.3.3.ΘΕΩΡΙΑ ΛΩΡΙΔΩΝ

Η θεωρία λωρίδων (γνωστή και με την αγγλική της ορολογία ως strip theory) αναπτύχθηκε από τον Korvin – Kroukonsky ύστερα από πολλές μελέτες πάνω στην πρόβλεψη της δυναμικής συμπεριφοράς κάποιων τύπων γαστρών και εισήχθη στην Transaction SNAME το 1955.

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

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

Ο τρόπος εφαρμογής της θεωρίας λωρίδων διακρίνεται σε τρία βασικά στάδια: Κατ' αρχάς, γίνεται διαίρεση του πλοίου σε 20 έως 40 λωρίδες - εγκάρσιους νομείς αναλόγως με το μήκος του πλοίου, έτσι ώστε αυτές να έχουν μικρό μήκος και αμέσως μετά υπολογισμός των υδροδυναμικών συντελεστών για την κάθε μία ξεχωριστά.

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

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

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

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

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

όπου Φ_n το δυναμικό που αναλύεται ως εξής:

$$\Phi = \sum_{k=2}^4 \xi \cdot \Phi_K^{(1)} \quad \text{όπου } \Phi_K^{(1)} \text{ είναι τα δυναμικά ανά μονάδα ταχύτητας, τα οποία}$$

εξαρτώνται μόνο από τη γεωμετρία της τομής και τη συχνότητα της ταλάντωσης ω και ικανοποιούν τη συνθήκη:

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

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

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

Η μορφή των νομέων σε μικρά ταχύπλοα μεταβάλλεται γρήγορα ενώ η θεωρία λωρίδων υποθέτει ότι κάθε τμήμα του σκάφους συμπεριφέρεται ως ως τμήμα ενός πρίσματος απείρου μήκους.

Οι επιδράσεις του καθρέφτη της πρύμνης προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις στα αποτελέσματα.

Οι μορφές Lewis αναπαριστούν ικανοποιητικά τους νομείς με στρογγυλό πυθμένα αλλά όχι νομείς με ακμές.

Η αρχή της γραμμικής υπέρθεσης εφαρμόζεται με δυσκολία για τα σκάφη αυτά.

Στα ταχύπλοα η δυναμική άνωση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο ιδίως στις υψηλές γι αυτό κατά την επίλυση του διδιάστατου προβλήματος έχουν αναπτυχθεί θεωρίες που λαμβάνουν υπ' όψιν τη δυναμική άνωση.

Σε κάθε περίπτωση η θεωρία λωρίδων μπορεί να εφαρμόζεται με ικανοποιητική ακρίβεια στα πλοία εκτοπίσματος καθώς και για τα σκάφη ημικτοπίσματος για τα οποία ισχύουν οι παραδοχές της θεωρίας των λωρίδων. Όσον αφορά τις ολισθάκατους έχει αποδειχθεί ότι για ταχύτητες πριν την ολίσθηση τα αποτελέσματα που δίνει η θεωρία των λωρίδων είναι ικανοποιητικά ενώ για τις πιο υψηλές ταχύτητες στις οποίες υπάρχει ολίσθηση οι αριθμητικές προβλέψεις της μεθόδου είναι υπερβολικά συντηρητικές (φθάνουν και ως διπλάσιες των πειραματικών).

Με βάση τα παραπάνω ήταν και απαραίτητη η πρόβλεψη της υδροδυναμικής συμπεριφοράς του πατρικού σκάφους της συστηματικής σειράς του Ε.Μ.Π. μέσω πειραμάτων ορισμένων αναλυτικών τρισδιάστατων μεθόδων. Το πρότυπο που έχει δύο ακμές και καθρέφτη στην πρύμνη δοκιμάστηκε σε υψηλές ταχύτητες όπου η δυναμική άνωση δεν ήταν αμελητέα.

1.3.4.ΣΚΑΦΗ ΗΜΙ-ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ-(SEMI DISPLACEMENT HULLS)

Η θεωρητική περιγραφή των επαγόμενων κινήσεων λόγω κυματισμού και τα φορτία στα μονόγαστρα αλλά και στα πολύγαστρα σκάφη είναι στην μεγαλύτερη έκτασή της βασισμένη στην θεωρία τους συστήματος ελατηρίου ενός βαθμού ελατηρίου.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ ΕΝΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ- ΜΑΖΑ ΜΕ ΑΠΟΣΒΕΣΗ

Για να συνδυαστούν δύο διαφορετικές κινήσεις ,για παράδειγμα heave and pitch ή roll and yaw, έχει βαρύνουσα σημασία. Όμως στην παρούσα εργασία θα παρουσιάσουμε το απλοποιημένο πρόβλημα ενός βαθμού ελευθερίας ακόμα και αν θεωρείται απλοποιημένο. Αυτό σημαίνει ότι θα μελετήσουμε την δευτέρου βαθμού διαφορική εξίσωση

$$m\ddot{y}(t) + b\dot{y}(t) + cy(t) = f(t) \quad (1.14)$$

Εδώ η $y(t)$ μεταβλητή είναι η μεταβλητή της απόκρισης που μπορεί να είναι η κατακόρυφη κίνηση (heave), m η μάζα η οποία στην κατακόρυφη κίνηση συμπεριλαμβάνει τη μάζα του σκάφους αλλά και την πρόσθετη μάζα, b είναι ο συντελεστής απόσβεσης, που οφείλεται, για παράδειγμα, στα κύματα που παράγονται και εκπέμπονται (wave radiation) από τις κατακόρυφες ταλαντώσεις. Επίσης, εμφανίζεται απόσβεση λόγω υδροδυναμικής άνωσης της γάστρας (hull-lift damping), απόσβεση από τις προσαρτημένα πτερύγια (foil damping) και απόσβεση λόγω συνεκτικών φαινομένων (viscous damping.). Τέλος, c είναι η σταθερά του ελατηρίου. Για παράδειγμα αλλαγές στη δύναμη άντωσης λόγω κίνησης δημιουργούν αποθηκεύσιμη ενέργεια αλλά και δημιουργία δύναμης ελατηρίου. Ομοίως υπάρχουν και άλλα στοιχεία της γάστρας που δημιουργούν δυνάμεις ελατηρίου. $F(t)$ είναι η δύναμη διέγερσης. Θα ασχοληθούμε μόνο με συνεχείς δυνάμεις διέγερσης από κυματισμό.

Το πρόβλημα που ορίζεται με την εξίσωση (1.14) δεν εφαρμόζεται στο πεδίο του χρόνου για πλοία σε κυματισμό αλλά για σταθερά μονοχρωματικά κύματα στα οποία η εξαρτώμενη από τις συχνότητες πρόσθετη μάζα και απόσβεση είναι καθορισμένη.

Εάν το δεξί μέλος της εξίσωσης είναι μηδέν μαζί με τις αρχικές συνθήκες περιγράφει μια ελεύθερη ταλάντωση.

Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πειραματικές μελέτες έτσι ώστε να αποκτηθεί η σταθερά απόσβεσης αλλά και η συχνότητα ταλάντωσης.

Εάν η $f(t)$ είναι μη παροδική κατάσταση, όπως σε ένα συνεχές φορτίο από κυματισμό, ενδιαφερόμεθα φυσικά για μια μόνιμη λύση. Αυτό σημαίνει ότι η

επίδραση των αρχικών συνθηκών παύει να υφίσταται. Παρολαυτα αν η απόσβεση είναι μηδενική η επίδραση των αρχικών συνθηκών δεν εξαφαιλείφεται.

ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

Θέτουμε $f(t)=0$ στην εξίσωση (1.14) και θέτουμε σαν αρχικές συνθήκες στην χρονικής στιγμή $t=0$ τις $y(t)$ και $\dot{y}(t)$. Οι πιθανές μορφές βρίσκονται από την αντίκατάσταση $y(t) = \exp(\lambda t)$ στην (1) και δίνουν.

$$\lambda^2 + \frac{b}{m}\lambda + \frac{c}{m} = 0 \quad (1.15)$$

$$\text{ή } \lambda_{1,2} = -\frac{b}{2m} \pm \frac{1}{2m} \sqrt{b^2 - 4mc} \quad (1.16)$$

όπου εδώ τα λ_1 και λ_2 δύο πιθανές λύσεις. Οι οποίες είναι γενικά σύνθετες. Το πρόσημο της διακρίνουσας $b^2 - 4mc$ καθορίζει το αν η λύση θα έχει φανταστικό μέρος. Αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαχωρίσει τις λύσεις σε τρεις περιπτώσεις.

- i) $b^2 > 4mc$ υπερ-αποσβενόμενο
- ii) $b^2 = 4mc$ με κρίσιμη απόσβεση
- iii) $b^2 < 4mc$ υπο-αποσβούμενο

Υπερ-αποσβενόμενο σημαίνει ότι η λύση δεν έχει φανταστικό μέρος, και φθίνει χωρίς ταλάντωση. Δεν είναι μια πρακτική κατάσταση δυναμικών συστημάτων που θα μελετήσουμε. Στην περίπτωση μας τα συστήματα είναι υπερ-αποσβούμενα. Η κρίσιμη τιμή της απόσβεσης είναι $b = 2\sqrt{mc}$ και πού συχνά χρησιμοποιείται σαν μέτρο για το επίπεδο απόσβεσης. Αν τώρα επικεντρωθούμε στο υπο-αποσβούμενο σύστημα εισάγουμε το

$$\omega_n = \frac{1}{2m} \sqrt{4mc - b^2} \quad (1.17)$$

$$a = \frac{b}{2m} \quad (1.18)$$

Εδώ ω_n είναι η φυσική συχνότητα του συστήματος με απόσβεση (damped natural frequency). Η γενική λύση της σχέσης (1.14) μπορεί να γραφεί και ως εξής

$$y(t) = e^{-at} \{A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t\} \quad (1.19)$$

όπου τα A και B καθορίζονται από τις αρχικές συνθήκες και η σχέση (1.19) μπορεί να επαναγραφεί με το παρακάτω τρόπο:

$$y(t) = \exp\left(-\frac{\xi}{(1-\xi^2)^{1/2}} \omega_n t\right) \cdot \{A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t\} \quad (1.20)$$

όπου ξ είναι ο λόγος της σταθεράς απόσβεσης b και της κρίσιμης σταθεράς απόσβεσης b_{cr} , δηλ: $\xi = \frac{b}{b_{cr}} \equiv \frac{b}{2\sqrt{mc}}$

Μια γραφική απεικόνιση της εξίσωσης (1.20) για $A=1$ και $B=0$ και $\xi=0.01, 0.05, 0.1, 0.2 \dots$ σαν συνάρτηση του λόγου $\frac{\omega_n t}{2\pi}$, και παρουσιάζει το ρυθμό μείωσης του λόγου ξ .

Αν οι σταθερές m και c είναι γνωστές μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να αποκτήσουμε μια παρόμοια καμπύλη με αυτή του σχήματος στην περίπτωση της απόσβεσης. Αν θεωρήσουμε σαν παράδειγμα την περίπτωση για ένα πολύ μικρό ξ $\xi = \frac{\xi}{(1-\xi^2)^{0.5}} \cong \xi$. Τότε θεωρούμε και δύο τιμές y_i και y_{i+n} που καταγράφονται την χρονική στιγμή t_i και $t_i + n2\pi/\omega_n$ όπου n ακέραιος, και η εξίσωση (1.20) δίνει

$$\frac{y_i}{y_{i+n}} = \exp(2\pi n \xi) \text{ η οποία λύνεται ως προς της σταθερά απόσβεσης } b,$$

$$b = \sqrt{mc} \ln(y_i / y_{i+n}) / \pi n$$

Εξαναγκασμένη αρμονική ταλάντωση

Εκφράζουμε τώρα την $f(t)$ της εξίσωσης (1.14) ως $F_0 \cos \omega t$. Η γενική λύση της εξίσωσης (1.14) είναι το άθροισμα της λύσης της ομογενούς και της μερικής λύσης y_h και y_p . Εδώ η y_h είναι ίδια με αυτή της εξίσωσης (1.20) όπου η συγκεκριμένη σχέση επιλύει την εξίσωση όταν το δεξί μέλος δεν είναι ίσο με μηδέν. Ακολουθώντας

$$y_p = \frac{F_0}{(c - m\omega^2)^2 + \omega^2 b^2} \times [(c - m\omega^2) \cos \omega t + \omega b \sin \omega t] \quad (1.21)$$

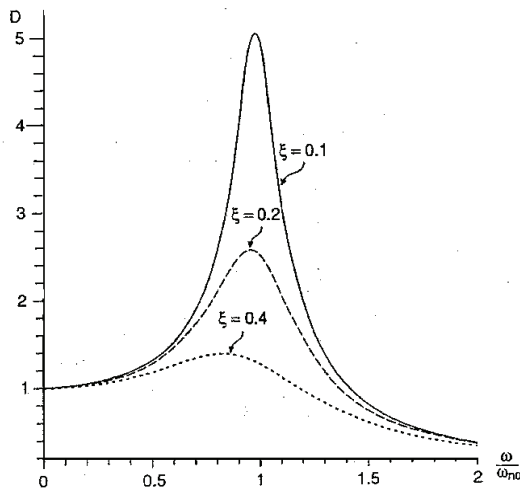
Έτσι παρατηρούμε ότι τα δύο μέρη των λύσεων, δηλ y_h και y_p ταλαντώνονται σε διαφορετικές συχνότητες ω_n και ω . Αυτό προκαλεί ένα μειούμενο φαινόμενο στη σειρά του χρόνου μέχρι η y_h να αποσβεστεί. Αυτό σημαίνει ότι η προσωρινή επίδραση αντιπροσωπεύεται από την y_h εξαφανίζεται και η λύση στην μόνιμη κατάσταση δίνεται από την εξίσωση (11)

Ο συντελεστής δυναμικής ενίσχυσης D ορίζεται σαν ο λόγος μεταξύ του εύρους y_p και του εύρους $|y_{st}|$ της ψευδο-στατικής απόκρισης. Το $|y_{st}|$ μπορεί να αποκτηθεί θέτοντας το m και b ίσα με το μηδέν στην εξίσωση (11). Τότε σαν

επακόλουθο προκύπτει η σχέση
$$D = \frac{|y_p|}{|y_{st}|} = \left(\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{n0}} \right)^2 \right)^2 + 4 \left(\frac{\omega}{\omega_{n0}} \right)^2 \xi^2 \right)^{-1/2} \quad (1.22)$$

όπου $\omega_{n0} = (c/m)^{0.5}$ είναι η φυσική συχνότητας υπο-αποσβούμενης ταλάντωσης και ξ είναι λόγος απόσβεσης. Η εξίσωση (1.22) μας δείχνει ότι το $D = \frac{0.5}{\xi}$ όταν $\omega = \omega_{n0}$. Αν η τιμή του ξ είναι μικρή τότε, η μέγιστη απόκριση συμβαίνει όταν $\omega = \omega_{n0}$.

Αυτά τα αποτελέσματα είναι σημαντικά αργότερα όταν θα μελετήσουμε την απόκριση του πλοίου σε αρμονικούς κυματισμούς. Παρόλαυτά, m, b και F_0 θα είναι εξαρτώμενα από την συχνότητα. Ακόμα περισσότερο, η σύζευξη μεταξύ των τύπων κίνησης έχει πολύ σημαντικό ρόλο. Αυτό σημαίνει ότι το εύρος απόκρισης έχει ομοιάζει μόνο ποιοτικά με ότι παρουσιάζεται στο γράφημα του Σχήματος 1.14



Σχήμα 1.14

Δυναμική ενίσχυση του παράγοντα D ως συνάρτηση του λόγου ω / ω_{n0} μεταξύ της συχνότητας εφαρμογής της δύναμης και την μη αποσβούμενη φυσική συχνότητα ω_{n0} . Σημειωτέον ότι όταν ο λόγος ξ μεταξύ απόσβεσης προς κρίσιμη απόσβεσης είναι ψηλός, η μέγιστη απόκριση συμβαίνει σε συχνότητα πολύ διαφορετική της ω_{n0} .

Όταν ω / ω_{n0} είναι πολύ μικρό, η απόκριση είναι στην ίδια φάση με την διέγερση. Η απόκριση είναι διαφορετικής φάσης κατά 180° από την διέγερση όταν ω / ω_{n0} είναι πολύ μεγάλο. Μια ταχεία αλλαγή στη φάση συμβαίνει όταν ω / ω_{n0} είναι πολύ κοντά στο 1. Όσο μικρότερο είναι το ξ , τόσο πιά γρήγορη είναι η αλλαγή. Όταν $\omega / \omega_{n0} = 1$, η φάση απόκρισης είναι κατά 90° διαφορετική από αυτή της διέγερσης.

Απόκριση σε ωστικά φορτία-(Impulsive Loads)

Θέτουμε $f(t)$ να είναι οποιαδήποτε συνάρτηση διέγερσης. Η γενικής λύση της (1.14) είναι το άθροισμα της λύσης της ομογενούς y_h και της μερικής λύσης y_p . Εδώ

y_h είναι ίδια με της εξίσωση (1.20). Η μερική λύση είναι η παρακάτω

$$y_p(t) = \frac{1}{m\omega_n} \int_0^t f(\tau) \sin[\omega_n(t-\tau)] \times \exp[-\xi\omega_{n0}(t-\tau)] d\tau, t > 0 \quad (1.23)$$

ω_n και ξ δίνονται από γνωστές εξισώσεις. Επίσης $\omega_{n0} = (c/m)^{0.5}$ είναι η φυσική συχνότητα χωρίς απόσβεση. Ένα κρουστικό (slamming) φορτίο είναι ένα παράδειγμα ωστικού φορτίου στο οποίο η δύναμη διέγερσης $f(t)$ της εξίσωσης (1.14) έχει περιορισμένη διάρκεια T_d . Αυτό σημαίνει ότι ο χαρακτήρας της απόκρισης εξαρτάται από τον λόγο T_d/T_n όπου $T_d/T_n \ll 0.25$ το ωστικό φορτίο

μπορεί να γραφτεί ως εξής: $I = \int_0^{T_d} f(t) dt$ (1.24)

και καθορίζει τη μέγιστη απόκριση. Μπορούμε αυτό να το αντιληφθούμε ποιοτικά μέσω της εξίσωση (13) υποθέτοντας ότι η μέγιστη απόκριση συμβαίνει κατά την επανάληψη της χρονικής διάρκειας T_d .

Το ολοκλήρωμα μπορεί να υπολογιστεί περίπου με τον παρακάτω τύπο:

$$y_p(t) = \frac{1}{m\omega_n} \sin(\omega_n t) \exp(-\xi\omega_{n0} t) \int_0^t f(\tau) d\tau \quad (1.25).$$

Αυτό δείχνει ότι η μέγιστη απόκριση είναι ανάλογη της ωστικής δύναμης (impulsive force).

Για μεγάλης διάρκειας φόρτιση, δηλ για $T_d/T_n \gg 1$ ο δυναμικός συντελεστής ενίσχυσης D είναι μεταξύ 1 και 2. Η τάση είναι όσο περισσότερο αυξάνεται ο χρόνος που διαρκεί για να φτάσει η φόρτιση την μέγιστη τιμή της, τόσο μικρότερη τιμή έχει ο D .

Γραμμικές επαγόμενες κινήσεις σε αρμονικούς κυματισμούς

Η γραμμική θεωρία, μπορεί σε μεγάλο βαθμό, να περιγράψει τις επαγόμενες από αρμονικούς κυματισμούς κινήσεις ενός πλοίου ημι-εκτοπίσματος. Παρόλα αυτά, στις περιπτώσεις με έντονο κυματισμό οι κινήσεις επηρεάζονται κατά πολύ από τις μη γραμμικές συνθήκες.

Εάν θεωρήσουμε ένα πλοίο να βρίσκεται υπό την επίδραση αρμονικών κυματισμών πλάτους ζ_α . Η κλίση του κύματος είναι μικρή και το κύμα σκάει πολύ μακριά από το σημείο του πλοίου. Η γραμμική θεωρία προϋποθέτει ότι οι κινήσεις που επάγονται από αρμονικό κυματισμό εξαρτώνται γραμμικά από το πλάτος του κύματος ζ_α .

Μια χρήσιμη συνέπεια της γραμμικής θεωρίας είναι ότι μπορούμε να εξάγουμε αποτελέσματα των μη αρμονικών κυματισμών προσθέτοντας όλα τα αποτελέσματα αρμονικών κυματισμών διαφορετικών πλατών και φάσης, μήκους και διεύθυνσης. Αυτό σημαίνει ότι είναι επαρκές από υδροδυναμικής πλευράς να αναλυθεί ένα πλοίο που βρίσκεται σε αρμονικούς κυματισμούς και μικρής κλίσης κυματισμού, και μπορεί να γίνει πιο κατανοητό παρακάτω. Υποθέτουμε μια σταθερή κατάσταση κυματισμού, που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν επιδράσεις μεταβατικών φαινομένων λόγω αρχικών συνθηκών. Αυτό σημαίνει ότι οι γραμμικές κινήσεις και φορτία πάνω στο πλοίο δημιουργούν αρμονικά ταλαντευόμενο σώμα με συχνότητα ίδια με αυτή του αρμονικού κυματισμού που διεγείρει το πλοίο.

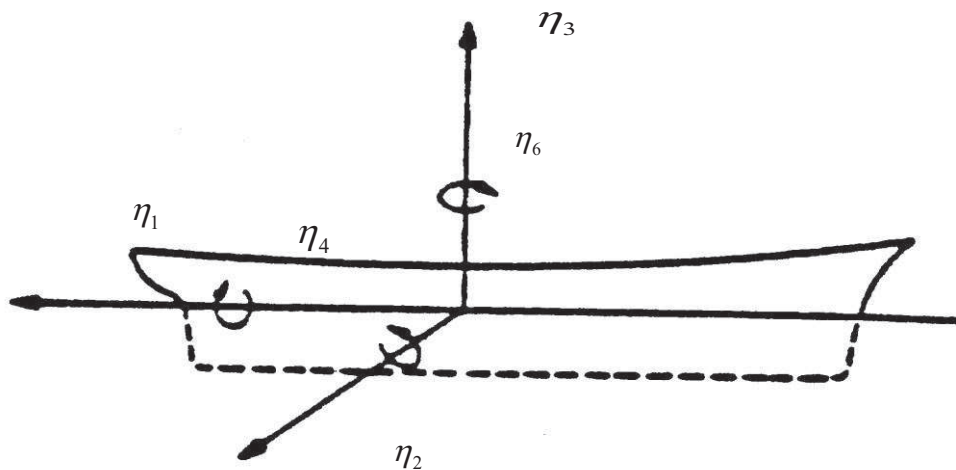
Το υδροδυναμικό πρόβλημα στους αρμονικούς κυματισμούς συνήθως αντιμετωπίζεται διαχωρίζοντάς το σε δύο υπο-προβλήματα, που μπορούν να ονομαστούν:

1. Οι δυνάμεις και οι ροπές που δημιουργούνται όταν το σώμα πακτώνεται από την ταλάντωση και υπάρχουν αρμονικοί κυματισμοί. Τα υδροδυναμικά φορτία που καλούνται δυνάμεις διέγερσης λόγω της παρουσίας κυματισμού που ονομάζονται δυνάμεις Froude-Kriloff και οι ροπές περίθλασης. Οι δυνάμεις Froude-Kriloff δημιουργούνται από το πεδίο των πιέσεων λόγω των στιγμιαίων κυματισμών, όταν δεν επηρεάζονται από την παρουσία του πλοίου στο χώρο. Ο Newmann (1977) υποστήριξε ότι μπορούμε να ανάγουμε το πρόβλημα της περίθλασης σε ένα πρόβλημα σκέδασης των κυματισμών. Κατα αυτή τη θεώρηση, οι δυνάμεις περίθλασης είναι το άθροισμα των δυνάμεων Froude-Kriloff και των δυνάμεων ανάκλασης.

2. Οι δυνάμεις και οι ροπές που δημιουργούνται όταν μια κατασκευή ταλαντώνεται σε ήρεμο νερό με διεγείρουσα συχνότητα αυτή του κύματος, σε οποιαδήποτε κίνηση στερεού σώματος. Δεν υπάρχουν εξωτερικοί κυματισμοί αλλά το σώμα που ταλαντεύεται δημιουργεί κύματα ακτινοβολίας (σκέδασης). Τα υδροδυναμικά φορτία ορίζονται ως πρόσθετη μάζα, απόσβεση και δυνάμεις και ροπές επαναφοράς (restoring).

Λόγω της γραμμικότητας, οι δυνάμεις που δημιουργούνται όπως περιγράφονται στο 1 και 2, αθροίζονται έτσι ώστε να δώσουν την συνολική υδροδυναμική δύναμη. Δεν μπορεί όμως να διαχωριστεί το πρόβλημα περίθλασης και ακτινοβολίας σε μη γραμμική θεωρία. Πρίν περιγράψουμε πιο λεπτομερώς τα διαφορετικά υδροδυναμικά φορτία, ορίζουμε ένα σύστημα συντεταγμένων και ένα σύστημα κινήσεων στερεού σώματος. Ένα δεξιόστροφο σύστημα συντεταγμένων (x,y,z) πακτωμένο ως προς την μέση ταλαντευόμενη θέση του πλοίου που χρησιμοποιείται, με τα θετικά z κάθετα προς τα πάνω και αρχή του άξονα το κέντρο βάρους του σώματος και επίπεδο αναφοράς του κάθετου επιπέδου την αδιατάραχτη ελεύθερη επιφάνεια. Αν το πλοίο κινείται με σταθερή πρόσω ταχύτητα, οι συντεταγμένες κινούνται ταυτόχρονα με το πλοίο με την ίδια ταχύτητα. Επίσης ορίζουμε ένα σύστημα συντεταγμένων πακτωμένο στο σώμα $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ που συμπίπτει με το (x,y,z) όταν το πλοίο δεν ταλαντώνεται στον κυματισμό. Μπορούμε να παρουσιάσουμε την σχέση των δύο συστημάτων συντεταγμένων θεωρώντας είτε μετωπικούς είτε ακολουθώντας κυματισμούς.

Το πλοίο θα ταλαντωθεί κατα την κατακόρυφη διεύθυνση, θα ταλαντωθεί σε προνευτασμό, και θα ταλαντωθεί παράλληλα με την επιφάνεια του αδιατάρακτου νερού [[surge, heave pitch]].



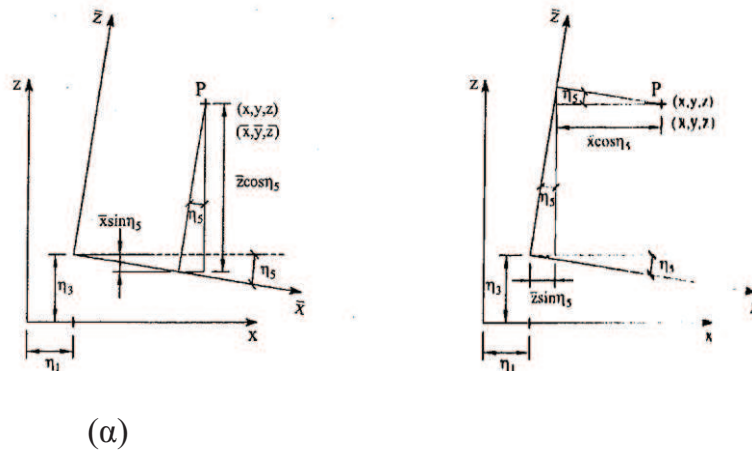
$$\begin{array}{lll} \eta_1 = \text{surge} & \eta_3 = \text{heave} & \eta_5 = \text{pitch} \\ \eta_2 = \text{sway} & \eta_4 = \text{roll} & \eta_6 = \text{yaw} \end{array}$$

Ορίζουμε η_1 (surge) και η_3 (sway) όπως φαίνεται παραπάνω τις σχετικές κινήσεις από την αρχή των αξόνων του συστήματος $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ γύρω από τους άξονες x και z αντίστοιχα. Θετική γωνία περιστροφής προνευτασμού η_5 (pitch) περι τον άξονα y όταν έχουμε ανύψωση την πλώρας. (φαινεται στο σχήμα)

Τότε θεωρούμε ένα σταθερό σημείο στον P πάνω στο πλοίο Σχήμα 1.15 με συντεταγμένες $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$. Οι αντίστοιχες συντεταγμένες x και z μπορούν να αντικατασταθούν χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις:

$$x = \bar{x} \cos \eta_5 + \eta_1 + \bar{z} \sin \eta_5 \quad (1.26)$$

$$z = \bar{z} \cos \eta_5 + \eta_3 - \bar{x} \sin \eta_5 \quad (1.27)$$



Σχήμα 1.15

Μετασχηματισμοί μεταξύ του συστήματος συντεταγμένων του σώματος $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ και του συστήματος (x, y, z)

επειδή έχουμε θεωρήσει ότι ισχύει η γραμμική θεωρία κρατάμε μόνο γραμμικούς όρους του κάθε η_i . Αυτό μας δίνει μια πρώτη εκτίμηση $x = \bar{x}$ και $z = \bar{z}$. Μια δεύτερη προσέγγιση των σχέσεων (1.26) και (1.27) μας δίνει

$$x = \bar{x} + \eta_1 + \bar{z} \eta_5 \quad (1.28)$$

$$z = \bar{z} + \eta_3 - \bar{x} \eta_5 \quad (1.29)$$

Οι διαμήκεις και οι κάθετες κινήσεις του σημείου P πάνω στο πλοίο κατα αυτόν τον τρόπο μπορούν να εκφραστούν στο σύστημα (x, y, z) , αντίστοιχα σαν $\eta_1 + \bar{z} \eta_5$ και $\eta_3 - \bar{x} \eta_5$. Αυτό σημαίνει ότι δεν χρειαζόμαστε το σύστημα συντεταγμένων του πλοίου για να περιγράψουμε τις γραμμικές κινήσεις. Εάν χρησιμοποιούσαμε το σύστημα συντεταγμένων του πλοίου θα έπρεπε να μετατρέψουμε αυτές τις εξισώσεις. Το σύστημα συντεταγμένων πακτωμένο πάνω στο πλοίο (body-fixed) (που κινείται μαζί με το πλοίο) θα ήταν φυσικό να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση που θα χρειαζόταν επίλυση του προβλήματος μια μη γραμμικής αλληλεπίδρασης πλοίου-κύματος. Επειδή το σύστημα συντεταγμένων (x, y, z) είναι ένα αδρανειακό σύστημα, μπορούμε άμεσα να εφαρμόσουμε τον δεύτερο νόμο του Newton και τις εξισώσεις Bernoulli στο σύστημα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούσαμε το σύστημα συντεταγμένων του πλοίου, θα έπρεπε να μετατρέψουμε αυτές τις εξισώσεις. Το σύστημα συντεταγμένων του σώματος θα ήταν φυσικό να χρησιμοποιηθεί εάν ολόκληρο το πρόβλημα αλληλεπίδρασης πλοίου-κύματος έπρεπε να επιλυθεί.

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να επιστρέψουμε στο σχηματισμό πιο γενικών συναρτήσεων των γραμμικών κινήσεων και του συστήματος συντεταγμένων (x, y, z) . Θέτουμε την μετατροπή των εκτοπισμάτων στις x- y- z- διευθύνσεις ως προς τα

η_1, η_2 και η_3 αντίστοιχα έτσι ώστε η_1 να είναι -surge- η_2 να είναι -sway- και η_3 να είναι (heave) εκτόπισμα. Παράλληλα θέτουμε, τα εκτοπίσματα κατά τις περιστροφές περι τους άξονες x- y- z- διευθύνσεις να είναι η_4, η_5 και η_6 αντίστοιχα έτσι ώστε η_4 να είναι -roll- η_5 να είναι -pitch- και η_6 να είναι (yaw) εκτόπισμα.

Η κίνηση οποιουδήποτε σημείου του πλοίου μπορεί να γραφεί ως εξής:

$s = \eta_1 i + \eta_2 j + \eta_3 k + \omega \times r$ όπου «x» συμβολίζει το διανυσματικό εξωτερικό γινόμενο και $\omega = \eta_4 i + \eta_5 j + \eta_6 k$, $r = xi + yj + zk$ και i, j, k τα μοναδιαία διανύσματα κατά x, y και z αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι

$$s = (\eta_1 + z\eta_5 - y\eta_6)i + (\eta_2 - z\eta_4 + x\eta_6)j + (\eta_3 + y\eta_4 - x\eta_5)k \quad (1.30)$$

Σε αυτό το σημείο θα εκφράσουμε τα η_j στην περίπτωση σταθερών συνθηκών στον χρόνο αρμονικών ταλαντώσεων υπο την επίδραση αρμονικών κυματισμών. Επίσης χρειαζόμαστε μια έκφραση που να συνδέει τους κυματισμούς. Η ανύψωση του κύματος ως προς το σύστημα συντεταγμένων της Γης XYZ μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\zeta = \zeta_\alpha \cos(kX \cos \beta + kY \sin \beta - \omega_0 t - \varepsilon)$$

Όπου αντικαταστήσαμε το ω με ω_0 για να εκφράσουμε την συχνότητα των κυμάτων ως προς το σύστημα XYZ. Είμαστε ελεύθεροι να διαλέξουμε την γωνία της φάσης ε . Είναι μια ερώτηση που κάνουμε την στιγμή $t=0$. Και επιλέγουμε $\varepsilon = -\pi/2$. Τότε η μετατροπή των συντεταγμένων στο xyz σύστημα, $X=x-Ut$, $Y=y$ δίνει

$$\zeta = \zeta_\alpha \sin((\omega_0 + kU \cos \beta)t - kx \cos \beta + ky \sin \beta) \quad (1.31)$$

Αυτό σημαίνει ότι η ανάπτυξη της ταλάντωσης στο xyz-συστημα με συχνότητα ταλάντωσης

$$\omega_\varepsilon = \omega_0 + kU \cos \beta \quad \text{και} \quad k = \frac{\omega_0^2}{g} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1.32)$$

Εδώ $\beta=0, 90^\circ, 180^\circ$ αντιστοιχούν σε μετωπικούς, πλαγιούς κυματισμούς και ακολουθώντας κυματισμούς. Η γραμμική, σταθερή στο χρόνο κίνηση η_j σε έξι βαθμούς ελευθερίας μπορούν τώρα εκφραστούν ως:

$$\eta_j = |\eta_j| \sin(\omega_\varepsilon t + \varepsilon_j) \quad , j=1, \dots, 6 \quad (1.33)$$

Κατα τα θετικά ε_j σημαίνει ότι η φάση προοδεύει ανάλογα με την ανάπτυξη του κύματος όταν $x=0$ και $y=0$. (Αξίζει να σημειωθεί ότι η σημειολογία και τα υπολογιστικά προγράμματα μπορεί να έχουν διαφορά στην ερμηνεία των φάσεων,

αλλά από την στιγμή που γνωρίζουμε τις ερμηνείες, μπορούμε να μετατρέψουμε την μία ερμηνεία της γωνίας της φάσης στην άλλη). Το εύρος $|\eta_j|$ είναι ανάλογο του ζ_α στη γραμμική θεωρία. Ο λόγος $|\eta_j|/\zeta_\alpha$ καλείται **συνάρτηση μεταφοράς** (ή **response amplitude operator RAO**) για κάθε κίνηση j. Είναι μια συνάρτηση του ω_e , U και β και μπορεί να υπολογιστεί είτε αναλυτικά είτε πειραματικά. Υποθέτωντας ότι $|\eta_j|$ και ε_j είναι γνωστά μπορούμε να παρουσιάσουμε πως άλλες αποκρίσεις μπορούν να προκύψουν.

Κάθετες επιταχύνσεις της πλώρης

Θεωρούμε την περίπτωση των μετωπικών κυματισμών και θέλουμε να εκφράσουμε την γραμμική κάθετη επιτάχυνση επαγόμενη από κυματισμό της πλώρης. Χρησιμοποιώντας την εξ. (20) και διαφορίζοντάς την δύο φορές ως προς τον χρόνο μας δίνει:

$$a_3 = -\omega_e^2 \left[|\eta_3| \sin(\omega_e t + \varepsilon_3) + \frac{L}{2} |\eta_5| \sin(\omega_e t + \varepsilon_5) \right] \quad (1.34)$$

Εδώ $x=-L/2$ χρησιμοποιείται για την συντεταγμένη x της πλώρης. Αν θέλουμε να βρούμε το εύρος της κάθετης επιτάχυνσης της πλώρης, πρέπει να υπολογίσουμε τους όρους $\sin \omega_e t$ και $\cos \omega_e t$ ξεχωριστά στην εξίσωση (1.34)

Αυτό σημαίνει ότι (1.34) γίνεται

$$-\omega_e^2 \cdot \left\{ \sin \omega_e t \left[|\eta_3| \cos \varepsilon_3 + \frac{L}{2} |\eta_5| \cos \varepsilon_5 \right] + \cos \omega_e t \left[|\eta_3| \sin \varepsilon_3 + \frac{L}{2} |\eta_5| \sin \varepsilon_5 \right] \right\}$$

Το εύρος της επιτάχυνσης τότε γίνεται : $a_{3\alpha} = \omega_e^2 \sqrt{A^2 + B^2}$ όπου

$$A = |\eta_3| \cos \varepsilon_3 + 0.5L|\eta_5| \cos \varepsilon_5 \quad \text{και} \quad B = |\eta_3| \sin \varepsilon_3 + 0.5L|\eta_5| \sin \varepsilon_5.$$

Η εξαρτώμενη από το χρόνο επιτάχυνση της πλώρης είναι $a_3(t) = a_{3\alpha} \sin(\omega_e t + \varepsilon_\alpha)$

$$\text{όπου} \quad \cos \varepsilon_\alpha = -\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad \text{και} \quad \sin \varepsilon_\alpha = -\frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2}}.$$

Σύνθετη έκφραση των μεταβλητών απόκρισης

Είναι σύνηθες να χρησιμοποιούνται σύνθετες μεταβλητές για να εκφράσουμε μεταβλητές γραμμικής απόκρισης. Αυτό σημαίνει ότι οι κινήσεις γράφονται ως εξής:

$$\eta_j = \bar{\eta}_j e^{i\omega_e t} \quad (1.35)$$

όπου i είναι μια σύνθετη μονάδα, $\bar{\eta}_j$ είναι σύνθετο εύρος, και είναι προφανές ότι σε όλες τις εκφράσεις ότι είναι το πραγματικό μέρος όλης της σύνθετης έκφρασης ,

για παράδειγμα $\text{Re}(\bar{\eta}_j \exp(i\omega_e t))$, που έχει φυσική σημασία. Αυτό μπορεί να συμβεί αρκεί να υποθέσουμε ένα γραμμικό σύστημα. Σε αυτό το σημείο μπορεί να εξηγηθεί τι συμπεραίνουμε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1.35). Το πραγματικό και φανταστικό μέρος του $\bar{\eta}_j$ καλούνται η_{Rj} και η_{Ij} αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι το πραγματικό μέρος της εξ. (1.35) είναι $\text{Re}\{(\eta_{Rj} + i\eta_{Ij})e^{i\omega_e t}\} = \eta_{Rj} \cos \omega_e t - \eta_{Ij} \sin \omega_e t$ (1.36) όπου χρησιμοποιούνται $e^{i\omega_e t} = \cos \omega_e t + i \sin \omega_e t$. Διευρύνουμε την εξίσωση (1.33) τους όρους $\cos \omega_e t$ και $\sin \omega_e t$ και την συγκρίνουμε με την εξίσωση (1.36) δίνοντας :

$$\eta_{Rj} = |\eta_j| \sin \varepsilon_j$$

$$\eta_{Ij} = -|\eta_j| \cos \varepsilon_j \quad \text{ή} \quad \varepsilon_j = \tan^{-1} \left(\frac{\eta_{Rj}}{-\eta_{Ij}} \right).$$

Είναι πιο βολικό να χρησιμοποιούνται οι σύνθετες μεταβλητές όταν θέλουμε να συνδυάσουμε μεταβλητές γραμμικής απόκρισης. Αποκτώντας την τελευταία απάντηση για την σύνθετη απόκριση, την πολλαπλασιάζουμε με $e^{i\omega_e t}$ όπως στην εξίσωση (1.36) και κρατάμε το πραγματικό μέρος από την έκφραση του αποτελέσματος για να πάρουμε την φυσική μεταβλητή.

Απλοποιημένη Ανάλυση σε μετωπικές Θάλασσες για μονόγαστρα με πρόσω ταχύτητα

Τώρα παρουσιάζουμε πως η αυξανόμενη ταχύτητα σε μετωπικές θάλασσες μπορεί να προκαλέσει αυξημένα φορτία λόγω κυματισμών και κάθετες κινήσεις σε συντονισμό. Αρκετές απλοποιήσεις πραγματοποιούνται. Το πρώτο είναι ότι διαχωρίζουμε την κάθετη κίνηση από τις άλλες κινήσεις έτσι :

$$(M + A_{33}) \frac{d^2 \eta_3}{dt^2} + B_{33} \frac{d\eta_3}{dt} + C_{33} \eta_3 = F_3 e^{i\omega_e t} \quad (1.37)$$

Στην πράξη αυτό πρέπει να συνδυαστεί με την κίνηση προνευτασμού (Pitch) αλλά είναι σύνηθες να παραμελείται ο συνδυασμός με το surge στην θεωρία λωρίδων και στην θεωρία 2,5D .

Η διχογνωμία είναι ότι μία λεπτή γάστρα δημιουργεί μικρές υδροδυναμικές δυνάμεις και ροπές λόγω εξαναγκασμένων κινήσεων στο επίπεδο σε συνδυασμό με εξαναγκασμένες κατακόρυφες κινήσεις και κινήσεις δυναμικής διαγωγής. Μια τυπική πρόσθετη μάζα σε ταλλάντωση στο επίπεδο είναι της τάξης του 5% της μάζας της γάστρας.

Η επόμενη απλοποίηση αφορά στην εξάρτηση του μήκους κύματος με τα φορτία κατακόρυφης διέγερσης. Αυτό μπορούμε να το αποκτήσουμε θεωρώντας κάθετη δύναμη Froude-Kriloff πάνω σε ένα παραλληλεπίπεδο σώμα με μήκος L και πλάτος b σε μετωπικές θάλασσες σε βαθύ νερό. Βρίσκουμε την πίεση που αντιστοιχεί στο κατώτερο μέρος του σώματος :

$p = \rho g \zeta_{\alpha} e^{-kD} \sin(\omega_e t - kx)$, όπου εδώ D είναι το βύθισμα.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στην παρακάτω κάθετη δύναμη:

$$F_3 = \rho g \zeta_{\alpha} e^{-kD} B \int_{-L/2}^{L/2} \sin(\omega_e t - kx) dx = \rho g \zeta_{\alpha} e^{-kD} B \frac{2}{k} \sin\left(\frac{kL}{2}\right) \sin \omega_e t$$

Αυτό σημαίνει ότι $F_3^N = \frac{2}{kL} \left| \sin\left(\frac{kL}{2}\right) \right|$ (1.38) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συζητηθεί η εξάρτηση του μήκους κύματος με τη δύναμη κατακόρυφης διέγερσης.

Εδώ $k = 2\pi / L$ είναι ο κυματικός αριθμός και L είναι το μήκος ο πλοίου. Η εξίσωση (43) ποιοτικά εκφράζει την συνολικη επίδραση της διαφοράς φάσης των διαφορετικών φορτίων κατα μήκος του πλοίου.

Για παράδειγμα αν $\lambda \rightarrow \infty$, η διέγερση σε κάθε νομέα κατά μήκος του πλοίου είναι σε φάση $F_3^N \rightarrow 1$. Αν $\lambda = L$, $F_3^N = 0$. Αυτή η συνέπεια της διαφοράς φάσης 180° μεταξύ της κάθετης δύναμης από την Πρωραία κάθετο, FP, και την μέσης τομής και από την μέση τομή έως της πρυμναία κάθετο AP. Αυτό φαίνεται με το αν φωτογραφίζαμε στιγμιαία το πλοίο υπο την επίδραση του κύματος. Η συνάρτηση μεταξύ της συχνότητας encounter ω_e και την συχνότητα κύματος ω_o για μετωπικές θάλασσες (βλ εξ.(1.32))

$$\omega_e = \omega_o + \frac{\omega_o^2}{g} U \quad (1.39)$$

όπου U είναι η ταχύτητα του πλοίου. Ενδιαφερόμαστε να μάθουμε όταν ω_e είναι ίση με την φυσική συχνότητα, χωρίς απόσβεση ω_{n3} του heave. Η ω_{n3} ακολουθεί θέτωντας B_{33} και F_3 ίσα με μηδέν στη εξίσωση (1.37) και ψάχνοντας για μη τετριμένες λύσεις όπου ταλαντώνονται ως $\exp(i\omega_{n3}t)$. Αυτό μας δίνει

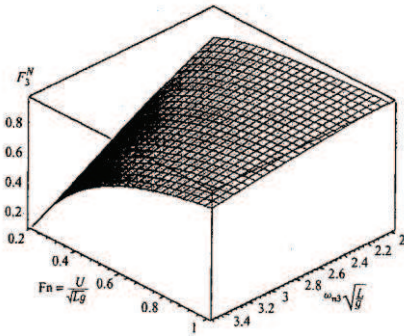
$$\omega_{n3}^2 = \frac{C_{33}}{M + A_{33}} = \frac{\rho g A_w}{M + A_{33}}$$

αυτό μπορεί να ξαναγραφτεί ως εξής: $\omega_{n3} \sqrt{\frac{L}{g}} = \sqrt{\frac{L}{D} \frac{C_{WP}}{C_B} \frac{1}{(1 + A_{33}/M)}} \quad (1.40)$

Εδώ $C_{WP} = A_w / (L \cdot B)$ και C_B είναι ο συντελεστής ισάλου επιφανείας και ο κυβικός συντελεστής αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας (1.39) και $\omega_o^2 / g = k$ και $\omega_{n3} = \omega_e$

μπορούμε να γράψουμε $\omega_{n3} \sqrt{\frac{L}{g}} = \sqrt{kL} + kLFn$, εδώ $Fn = U / \sqrt{Lg}$ λύνοντάς το ως προς kL παίρνουμε $\sqrt{kL} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\omega_{n3} (L/g)^{1/2} Fn}}{2Fn}$ (1.41).

Αυτό μπορεί να φανεί για τις τιμές διάφορες τιμές λ/L για δοσμένη ταχύτητα. Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (1.41) και (1.38) μπορούμε να φανταστούμε ποιοτικά το πώς η κατακόρυφη δύναμη διέγερσης στην κατακόρυφη απόκριση αυξάνεται με την ταχύτητα. Τα αποτελέσματα γραφικά παρουσιάζονται στο γράφημα του Σχήματος 1.16 για σημαντικές τιμές των $\omega_{n3} \sqrt{L/g}$.



Σχήμα 1.16

Ποιοτική προσέγγιση της επιρροής η ταχύτητα U του πλοίου επηρεάζει την κάθετη δύναμη διέγερσης σε φυσικές συχνότητες ω_{n3} . Αυτό εκφράζεται μέσω την εξίσωσης F_3^N (εξίσωση 43). Όσο μεγαλύτερη είναι η F_3^N τόσο μεγαλύτερη κάθετη διέγερση δημιουργείται αννα μονάδα εύρους του κυματισμού. Η επίδραση φαίνεται καλύτερη στις χαμηλές ταχύτητες

Το εύρος των $\omega_{n3} \sqrt{L/g}$ βρίσκεται από την εξίσωση (1.40).

Κατακόρυφη κίνηση (heave) μονόγαστρου σε πλάγιες θάλασσες με μηδενική ταχύτητα

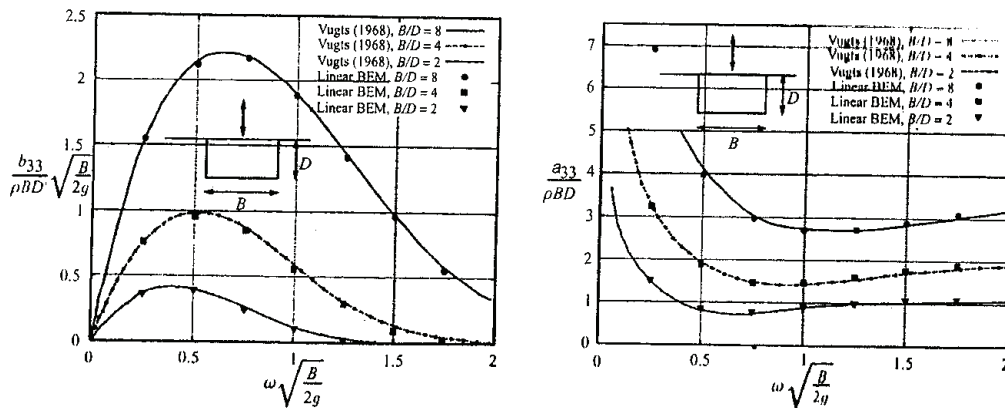
Τώρα θα εξετάσουμε πως αποκρίνεται σε κατακόρυφη κίνηση ένα μονόγαστρο σκάφος σε πλάγιο κυματισμό και πως επηρεάζει την απόκριση ο λόγος πλάτος προς βυθισμό D/T με μηδενική πρόσω ταχύτητα.

Ξεκίναμε συζητώντας πως η διδιάστατη πρόσθετη μάζα και σταθερά απόσβεσης μεταβάλλεται με το πλάτος, βύθισμα και συχνότητα. Η απόσβεση προκαλείται από την κυματική ακτινοβολία. Όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα του πλοίου και όσο μεγαλύτερη η συχνότητα της ταλάντωσης τόσο πιο κοντινά είναι τα αποτελέσματα.

Μπορούμε τότε να χρησιμοποιήσουμε την θεωρία λωρίδων (Salvesen et al. 1970). Αυτό σημαίνει η ροή σε διαφορετικές εγκάρσιες τομές του πλοίου θεωρείται ανεξάρτητη για την κάθε τομή, και τα διδιαστατα προβλήματα χρησιμοποιούνται σαν δομικά επιμέρους κομμάτια.

Στο Σχήμα 1.17 φαίνεται η διδιάστατη πρόσθετη μάζα και η κατακόρυφη απόσβεση για μια παραλληλόγραμμη διατομή για διαφορετικούς λόγους B/D πλάτους προς βύθισμα. Ο μεγαλύτερος λόγος B/D είναι 8 που σημαίνει ότι το B/D περιλαμβάνει ρεαλιστικές τιμές για μονόγαστρα ταχύπλοα. Η απόσβεση της ακτινοβολίας κυματος πάει στο μηδέν όταν $\omega \rightarrow 0$ και ∞ . Αυτό σημαίνει ότι σώμα δεν παράγει

κυματισμούς. Η πρόσθετη μάζα αυξάνεται κατα πολύ $\omega \rightarrow 0$. Οι Kotik και Mangulis (1962) έδειξαν ότι η πρόσθετη μάζα σε κατακόρυφη διεύθυνση, για ένα διδιάστατο σώμα που διασχίζει την επιφάνεια αυξάνεται λογαριθμικά



Σχήμα 1.17

Διδιάστατη πρόσθετη μάζα και απόσβεση σε κάθετη διεύθυνση σε κύλινδρο ταλαντούμενο σε ελεύθερη επιφάνεια για διαφορετικές αναλογίες B/D. B είναι το πλάτος του κυλίνδρου και D το βύθισμα. Χρησιμοποιείται πεπερασμένο βάθος. BEM (Baarholm 2001) και τα αποτελέσματα που δίνονται από Vugts (1968) παρουσιάζονται.

$a_{33} = 2D$ πρόσθετη μάζα σε κάθετη κίνηση, $b_{33} = 2D$ απόσβεση σε κάθετη κίνηση, ω =κυκλική συχνότητα της ταλάντωσης.

Γραμμική απόκριση σε τυχαίους κυματισμούς

Μια μη ανεπτυγμένη θάλασσα αναφέρεται σε κατάσταση κυματισμού που ορίζεται από ένα δοσμένο και σταθερό σημαντικό ύψος κύματος $H_{1/3}$ και μέση περίοδο κύματος T_2 . Επιπροσθέτως είναι αναγκαίο να ορίσουμε μία μέση διεύθυνση κύματος, διάδοση της κυματικής ενέργειας και διάρκειας. Η διάρκεια συνήθως κυμαίνεται από 3 έως 6 ώρες.

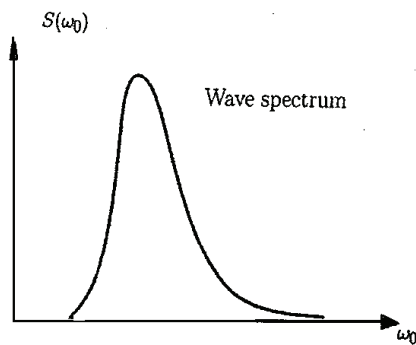
Μιά χρήσιμη συνέπεια της γραμμικής θεωρίας είναι ότι μπορούμε να πάρουμε αποτελέσματα σε τυχαίους κυματισμούς προσθέτοντας τα αποτελέσματα αρμονικών κυματισμών διαφορετικού εύρους, μήκους κύματος, και διεύθυνσης ανάπτυξης.

Η έκφραση του φάσματος κύματος στο πεδίο της συχνότητας συνάντησης χρησιμοποιείται αρκετές φορές παράλληλα με τους υπολογισμούς στατιστικών τιμών σε μία τυχαία μικρής διάρκειας ανάπτυξης θάλασσα. Εάν μετρήσουμε την ανάπτυξη ενός τυχαίου κύματος σχετικά με το σύστημα συντεταγμένων που κινείται ταυτόχρονα με την προσω ταχύτητα του πλοίου και μετά εκτιμήσουμε το φάσμα, θα αποκτήσουμε την συχνότητα του φάσματος κύματος συνάντησης - encounter wave spectrum» $S_e(\omega_e)$.

Παρ'όλα αυτά αν χρησιμοποιήσουμε ένα τυπικό φάσμα κύματος όπως το PIERSON-MOSKOWITZ ή JONSWAP , είναι πιά βολικό να αντιπροσωπευθούν όλες οι μεταβλητές απόκρισης σαν μια συνάρτηση της συχνότητας κυματισμού ω_0 . Θα περιγράψουμε πως υπο κανονικές συνθήκες κάνουμε βραχυχρόνιες (short-term) στατιστικές προβλέψεις θαλασσών. Θα υποθέσουμε θάλασσες με μακριές κορυφές (long-crested). Η παρακάτω διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί για όλες τις αποκρίσεις από γραμμικές διαδικασίες, όπως οι αποκρίσεις από κινήσεις έξι βαθμών ελευθερίας, οι επιταχύνσεις, βαρυτικά φορτία κ.λ.π..

Θα δούμε ότι δεν είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε τις λύσεις των προβλημάτων αυτών στο πεδίο του χρόνου.

Ξεκινάμε από για ένα φάσμα κύματος που είναι αντιπροσωπευτικό της κατάστασης θάλασσας. Αυτό μπορεί να μετρηθεί από ένα εμπειρικό φάσμα για παράδειγμα τα φάσματα που προτείνουν οι ISSC και ITTC . Αυτό γραφικά μπορεί να παρουσιαστεί στο γράφημα του Σχήματος 1.18



Σχήμα 1.18
Φάσμα κύματος

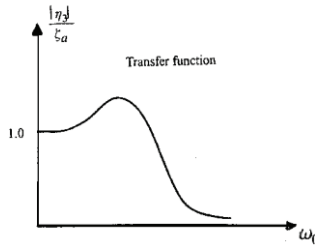
Μπορούμε να εκφράσουμε την ανάστυξη του κυματισμού όπως παρακάτω

$$\zeta = \sum_{j=1}^N A_j \sin(\omega_0 t - k_j X + \varepsilon_j) \quad (1.42)$$

όπου $0.5A_j^2 = S(\omega_{0j})\Delta\omega_0$.

Εδώ έχουμε υποθέσει ότι η διεύθυνση ανάπτυξης του κυματισμού είναι κατά τον άξονα X. Επίσης ω_{0j} είναι η κυκλική συχνότητα του εκάστοτε συνιστώντος κυματισμού j. Ιδανικά, οι μεταβλητές A_j και ε_j έχουν πιθανοθεωρητική κατανομή αλλά συνήθως μόνο η φάση αντιμετωπίζεται με τέτοιο τρόπο. Αυτό όμως μπορεί να μην είναι η σωστή υπόθεση (Tucker et al.1984)

Θα πρέπει να συνδυάσουμε αυτό το φάσμα κύματος με την συνάρτηση μεταφοράς της μεταβλητής που μελετάμε. Θεωρούμε την περίπτωση της κατακόρυφης κίνησης heave. Τώρα θα υπολογίσουμε την συνάρτηση μεταφοράς $|\eta_3|/\zeta_\alpha$ για διαφορετικά αρμονικά κύματα με την ίδια διεύθυνση ανάπτυξης με τους μη αρμονικούς κυματισμούς.



Σχήμα 1.19
Συνάρτηση μεταφοράς

Αυτό μπορεί να φανεί όπως στο διάγραμμα του σχήματος 1.19 στο οποίο είναι εμφανές ότι $|\eta_3|/\zeta_\alpha \rightarrow 1$ όταν $\omega_0 \rightarrow 0$, που συμβαίνει για μεγάλα μήκη κύματος. Τότε το πλοίο συμπεριφέρεται σαν cork που επιπλέει. Η συνάρτηση μεταφοράς εξαρτάται από την πρόσω ταχύτητα U , ω_0 και την γωνία β . Επειδή υπάρχει σχέση μεταξύ της συχνότητας encounter ω_e , U και β μπορούμε επίσης να πούμε ότι η συνάρτηση μεταφοράς εξαρτάται από ω_e , U και β .

Η συνάρτηση μεταφοράς (Σχήμα 1.19) και το φάσμα κύματος (Σχήμα 1.18) τώρα μπορούν να συνδυαστούν. Αυτό μπορεί να φανεί χρησιμοποιώντας την αντιπροσωπευτική εξίσωση στο πεδίο του χρόνου. Τώρα μπορούμε να γράψουμε την σταθερή απόκριση στο πεδίο του χρόνου για ένα αρμονικό κυματισμό όπως παρακάτω

$$A_j |H(\omega_{ej}, U, \beta)| \times \sin(\omega_{ej}t + \delta(\omega_{ej}, U, \beta) + \varepsilon_j)$$

Εδώ ω_{ej} είναι η encounter συχνότητα που συνδέεται με το κυματικό αριθμό j .

Επίσης $|H(\omega_{ej}, U, \beta)|$ είναι η συνάρτηση μεταφοράς, που το εύρος απόκρισης ανά μονάδα πλάτους κύματος.

Επίσης σε αυτό το σημείο σημειώνουμε ότι η γωνία φάσης $\delta(\omega_{ej}, U, \beta)$ σχετίζεται με την απόκριση. Το ε_j είναι σε ίδια γωνία φάσης όπως στην εξίσ. (1.42). Αποκτώντας την απόκριση λόγω ενός συνιστώντος κυματισμού, μπορούμε γραμμικά να κάνουμε υπέρθεση τις αποκρίσεις των διαφορετικών συνισταμένων κυμάτων. Δηλαδή μπορούμε να γράψουμε την απόκριση:

$$\sum_{j=1}^N A_j |H(\omega_{ej}, U, \beta)| \times \sin(\omega_{ej}t + \delta(\omega_{ej}, U, \beta) + \varepsilon_j) \quad (1.43)$$

Τώρα υπολογίζουμε την διασπορά σ^2 της εξίσωσης (107)

$$\sigma^2 = \left\{ \sum_{j=1}^N A_j |H(\omega_{ej}, U, \beta)| \sin(\omega_{ej}t + \delta(\omega_{ej}, U, \beta) + \varepsilon_j) \right\}^2 \quad (1.44)$$

όπου σημαίνει χρονικός μέσος όρος. Πριν πάρουμε τον μέσο όρο, πολλαπλασιάζουμε την τετραγωνική έκφραση της εξίσωσης (1.43) αυτό δίνει αντίστοιχα όρους ανάλογους των

$$\cos((\omega_{ej} \pm \omega_{ek})t + \delta(\omega_{ej}, U, \beta) \pm \delta(\omega_{ek}, U, \beta) + \varepsilon_j \pm \varepsilon_k)$$

Αυτό σημαίνει ότι παίρνουμε τους μέσους όρους του κάθε όρου. Όταν $\omega_{ej} \neq \omega_{ek}$ ο χρονικός μέσος όρος είναι ίσος με μηδέν. Η μοναδική συνεισφορά συνεισφορά συμβαίνει όταν $\omega_{ej} = \omega_{ek}$ και το αποτέλεσμα είναι:

$$\sigma^2 = \sum_{j=1}^N 0.5A_j^2 |H(\omega_{ej}, U, \beta)|^2, \quad (1.45)$$

όπου ξαναθυμόμαστε ότι $0.5A_j^2 = S(\omega_{0j})\Delta\omega_0$

Τώρα θέτουμε $N \rightarrow \infty$ και $\Delta\omega_0 \rightarrow 0$ αυτό δίνει

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} S(\omega_0) |H(\omega_e, U, \beta)|^2 d\omega_0, \quad (1.46)$$

Χρησιμοποιώντας την κατανομή Rayleigh μπορούμε να βρούμε την πιθανότητα να ξεπεράσουμε μια δοσμένη τιμή κατακόρυφου ύρους (πλάτους κατακόρυφης απόκρισης). Αυτό σημαίνει ότι γράφουμε την πιθανότητα η κατακόρυφη απόκριση να ξεπεράσει το x ως εξής:

$$P(\eta_3 > x) = e^{-x^2/2\sigma_3^2} \quad (1.47)$$

Έχουμε τον δείκτη 3 για να υποδηλώσουμε την κίνηση heave (κατακόρυφη ανύψωση). Με την εξίσ. (112) μπορούμε να υπολογίσουμε την πιο πιθανή μέγιστη τιμή x_{\max} σε N ταλαντώσεις. Για ένα μεγάλο N μια καλή εκτίμηση είναι

$$x_{\max} = \sigma_3 \sqrt{2/nN} \quad (1.48)$$

εδώ το N μπορεί να είναι ίσο με t/T_2 όπου τ είναι η διάρκεια του κυματισμού και T_2 είναι η περίοδος μηδενικής απόκρισης.

Προβλέψεις μεγάλης διάρκειας

Συνδυάζοντας την κατανομή Rayleigh με ένα πίνακα δεσμευμένης πιθανότητας εμφάνισης για το σημαντικό ύψος κύματος $H_{1/3}$ και την περίοδο κορυφής του φάσματος του κύματος ή τη μέση περίοδο του φάσματος του κύματος μπορούμε να αποκτήσουμε μεγάλης διάρκειας πιθανολογικές προβλεψεις απόκρισης. Αθροίζοντας και για περίοδο αλλά και για ύψος κύματος παίρνουμε

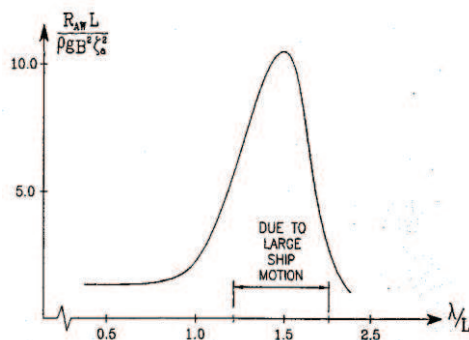
$$P(R) = 1 - \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K \exp\left(-0.5R^2 / (\sigma_r^{jk})^2\right) p_{jk} \quad (1.49)$$

όπου $P(R)$ είναι η μεγάλης διάρκειας δεσμευμένη πιθανότητα η κορυφή της απόκρισης να μην ξεπεράσει την τιμή R , και το σ_r^{jk} είναι η τυπική απόκλιση της απόκρισης για ένα μέσο $H_{1/3}$ και περίοδο T_2 στο j -οστό διάστημα σημαντικού ύψους κύματος και στο k -οστό διάστημα περιόδου κύματος, αντίστοιχα. Επίσης, p_{jk} είναι η δεσμευμένη πιθανότητα για ένα σημαντικό ύψος κύματος και μέση περίοδο κύματος να είναι μεταξύ των διαστημάτων με αριθμούς j και k , αντίστοιχα.

Για να δημιουργηθεί ένα αξιόπιστο διάγραμμα διασποράς πρέπει να καταγραφούν πάνω από 100,000 παρατηρήσεις. Παρόλα αυτά, τα περισσότερα ταχύπλοα σκάφη έχουν υπηρεσιακούς περιορισμούς, και έτσι ακραίες καταστάσεις θάλασσας ίσως να μην είναι χρήσιμες για αυτά τα σκάφη. Το πιθανολογικό επίπεδο είναι $Q=1-P(R)$ και ο αριθμός των κύκλων απόκρισης N σχετίζεται ως εξής $Q=1/N$. Μια χρονική περίοδος 100 χρόνων αντιστοιχεί σε $Q=10^{-8.7}$ και εξαρτάται από την μεταβλητή απόκριση και την περίοδο μηδενικής υπέρβασης.

Πρόσθετη αντίσταση λόγω κυματισμών

Η πρόσθετη αντίσταση R_{AW} σε κυματισμούς πολλές φορές παρερμηνεύεται σαν αντίσταση κυματισμών. Η πρόσθετη αντίσταση σε κυματισμό προκαλείται λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ υπάρχοντος κυματισμού και του πλοίου. Η δύναμη ελπεσμού λόγω κυματισμών (wave drift forces) των πλωτών εξεδρών είναι της ίδιας σημαντικότητας με την προσθετη αντίσταση των πλοίων σε κυματισμούς (Faltinsen 1990).



Σχήμα 1.20

Τυπική εξάρτηση μήκους κύματος με την αδιάστατη πρόσθετη αντίσταση ενός πλοίου με πρόσως ταχύτητα σε αρμονικούς μετωπικούς κυματισμούς

ζ_α = εύρος στιγμιαίου κυματισμού

λ = μήκος κύματος

L = μήκος πλοίου

B = πλάτος του πλοίου

Η γενική τάση είναι ότι όσο μεγαλύτερος Froude τόσο μεγαλύτερος ο λόγος λ/L που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη αδιάστατη πρόσθετη αντίσταση.

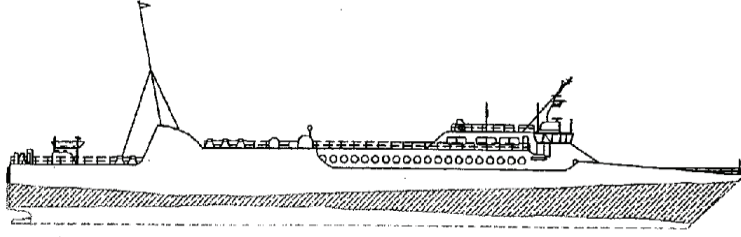
Πρόσθετη αντίσταση είναι καταρχήν, ανάλογη με το τετράγωνο του εύρους του προσπίπτοντος κυματισμού, που είναι ζ_α^2 . Αυτός είναι ο λόγος που χρησιμοποιούμε το ζ_α^2 για να αδιαστατοποιήσουμε την R_{AW} στο γραφήμα.

Μπορεί να φανεί στη διατήρηση την ορμής και της ενέργειας του ρευστού (Gerritsma and Beukelman 1972, Marui 1963) και υποθέτωντας ότι το δυναμικό ροής που προσθέτει αντίσταση στους κυματισμούς υπάρχει λόγω της δυνατότητας του πλοίου να δημιουργεί ασταθείς κυματισμούς. Ένα πλοίο κοντά στο συντονισμό

ως προς την κατακόρυφη κίνηση (heave) και τον προνευτασμό (pitch) θα δημιουργούσε τα μεγαλύτερα κύματα ανα μονάδα εύρους κυματισμού. Ένας λόγος είναι οι σχετικά μεγάλες κάθετες κινήσεις μεταξύ του πλοίου και του κύματος. Αυτή η κατάσταση δημιουργεί την αδιάστατη καμπύλη του Σχήματος 1.20.

Όταν ο λόγος λ/L μεταξύ του προσπίπτοντος μήκους κύματος λ και του μήκους του πλοίου L είναι μικρός (ας πούμε για παράδειγμα $\lambda/L < 0.5$) το πλοίο δεν θα κινηθεί πολυ λόγω των προσπίπτοντων κυματισμών. Παρόλαυτά οι κυματισμοί αυτοί θα ανακλαστούν από το πλοίο. Αυτός είναι και ο λόγος που είναι πεπερασμένη η αντίσταση για μικρά μήκη κύματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.20. Όταν ο λόγος λ/L μεταξύ του προσπίπτοντος μήκους κύματος λ και του μήκους του πλοίου L είναι μεγάλος η σχετικές κινήσεις μεταξύ του πλοίου και του νερού τείνουν προς το μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι το πλοίο δεν δημιουργεί ασταθείς κυματισμούς, και έτσι το R_{AW} είναι μηδέν. Παρόλο που η αδιάστατη πρόσθετη αντίσταση που παρουσιάζεται στην καμπύλη 35 είναι η μεγαλύτερη σε συνθήκες συντονισμού στην κατακόρυφη κίνηση και τον προνευτασμό, η πεπερασμένη πρόσθετη αντίσταση σε μικρά μήκη κύματος έχει σημασία. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί τα μικρά μήκη κύματος σχετίζονται με μικρές καταστάσεις θάλασσας και οι μικρές καταστάσεις θάλασσας συνήθως υπολογίζονται για ένα πλοίο. Ας πάρουμε σαν παράδειγμα τις πορείες Βορείου Ατλαντικού. Η μέση ακούσια απώλεια ταχύτητας κάθε χρόνο υπολογίστηκε για ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματικιβωτίων μήκους 198 m . Ο επιθυμητή ταχύτητα ήταν 22 kn και η ακούσια απώλεια ταχύτητας ήταν 1.7 kn κατά την πλεύση του δυτικά (WESTBOUND) και 0.9 kn για κυκλικό ταξίδι (round trip). Η μέγιστη συνεισφορά ήταν η πρόσθετη αντίσταση σε μικρές καταστάσεις θάλασσας. Ένας εναλλακτικός τρόπος χρησιμοποίησης της διατήρησης της ροπής και της ενέργειας είναι να υπολογίσουμε την πρόσθετη αντίσταση σε κανονικούς κυματισμούς με απευθείας ολοκλήρωση της πίεσης (Faltinsen et al. 1980,1991) Για να περιγράψουμε αυτήν την μέθοδο πρέπει πρώτα να θυμηθούμε τι συμβαίνει κατά την γραμμική θεωρία. Πρώτα ικανοποιούνται οι συνθήκες ελεύθερης επιφάνειας στην μέση ελεύθερη επιφάνεια και οι οριακές συνθήκες του σώματος στην μέση θέση ταλάντωσης του σώματος. Επίσης οι δημιουργούμενες δυνάμεις και ροπές μπορούν να υπολογιστούν ολοκληρώνοντας την πίεση πάνω στην μέση βρεχόμενη επιφάνεια. Η πίεση πολλαπλασιάζεται με το μοναδιαίο διάνυσμα την κατασκευής της γάστρας σε ένα σύστημα συντεταγμένων που δεν ταλαντώνεται με το πλοίο. Η συνέπεια αυτής της ανάλυσης είναι οι υδροδυναμικές δυνάμεις που αρμονικά ταλαντώνονται στον χρόνο έχουν μηδενική μέση τιμή. **Αυτό σημαίνει ότι η γραμμική θεωρία δεν μας οδηγεί σε πρόσθετη αντίσταση λόγω κυματισμών.** Πρέπει τουλάχιστον να συμπεριλάβουμε όρους δευτέρας τάξης για τους στιγμιαίους κυματισμούς, που είναι όροι ανάλογοι με το ζ_a^2 για να προβλέψουμε την πρόσθετη αντίσταση. Έτσι πρέπει να επαναλάβουμε μια ολόκληρη λίστα απο προσεγγίσεις που έγιναν κατά την γραμμική θεωρία και να κάνουμε διορθώσεις δευτέρας τάξης του ζ_a . Θα παρουσιάσουμε μια τέτοια συνεισφορά στην λύση με το Σχήμα 1.21. για πιο

κατανομή απεικόνιση. Η εικόνα δείχνει ένα γραμμοσκιασμένο κομμάτι της γάστρας που εισέρχεται και εξέρχεται του νερού.



Σχήμα 1.21

Παρουσίαση της περιοχής της γάστρας που βρίσκεται μέσα και έξω από το νερό ενός πλοίου σε αρμονικούς μετωπικούς κυματισμούς για δοσμένους κυματισμούς και ταχύτητα πλοίου. Η υδροδυναμική πίεση της γραμμοσκιασμένης περιοχής συνεισφέρει στην πρόσθετη αντίσταση σε κυματισμούς.

Αυτό προκαλείται λόγω των σχετικών κάθετων κινήσεων η_R , μεταξύ του νερού και του πλοίου που μπορούν να εκφραστούν ως

$$\eta_R = \eta_{Ra}(x) \cos(\omega_e t + \varepsilon(x)) \quad (1.50)$$

Αυτό σημαίνει ότι η βρεχόμενη επιφάνεια ανά μονάδα μήκους στην διαμήκη θέση x και την χρονική στιγμή t έχει μια διαφορά η_R από την μέση βρεχόμενη επιφάνεια ανά μονάδα μήκους, για την ίδια θέση. Υπολογίζουμε την διαφορά αυτή που στην περίπτωση τη γραμμική θεωρίας αγνοείται. Πρέπει να γνωρίζουμε την κατανομή των πιέσεων για την εξαρτώμενη από τον χρόνο βρεχόμενη επιφάνεια. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ότι η πίεση έχει υδροστατική εξάρτηση με το βάθος σχετική με τη στιγμιαία ανάπτυξη του νερού πολύ κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια

Η δημιουργούμενη διαμήκης δύναμη γράφεται:

$$F_1 = -\frac{\rho g}{2} \int_C \eta_R^2 n_1 ds \quad (1.51)$$

όπου η ολοκλήρωση γίνεται ως προς την καμπύλη C του νερού και n_1 είναι η διαμήκης συνιστώσα του μοναδιαίου διάνυσματος, προς τα έξω της C .

Τώρα χρειαζόμαστε τον χρονικό μέσο όρο της (1.51). Επειδή ο χρονικός μέσος όρος του $\cos^2(\omega_e t + \delta)$ είναι 0.5 παίρνουμε

$$F_1 = -\frac{\rho g}{2} \int_C \eta_R^2(x) n_1 dS \quad (1.52)$$

Επειδή η_{Ra} είναι ανάλογο του ζ_α , \bar{F}_1 είναι ανάλογο του ζ_α^2 . Θέλουμε να τονίσουμε ότι η εξίσωση (1.52) είναι μόνο μία από τις πολλές συνεισφορές στην πρόσθετη αντίσταση των κυμάτων με άμεση ολοκλήρωση της πίεσης. Για παράδειγμα ολοκληρώνοντας τα φορτία της πίεσης λόγω του όρου της ταχύτητας του ρευστού

στην εξίσωση του Bernoulli πάνω στην μέση βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας δίνει άλλη συνεισφορά.

Πρόσθετη αντίσταση σε καταστάσεις θάλασσας










Θα παρουσιάσουμε πως η πρόσθετη αντίσταση για μικρής πρόβλεψης και μεγάλου μήκους κορυφής κύματος (long-crested) τυχαίους κυματισμούς μπορούν να υπολογιστούν ξεκινώντας από την εξίσωση (1.51). Παρόλαυτα μπορούμε τώρα να αναπαραστήσουμε το η_R με την εξίσωση (1.43). Τώρα παίρνουμε τον χρονικό μέσο όρο του η_R^2 . Αυτό είναι το ίδιο με αυτό που έγινε με την εξ. (1.44) και μας οδήγησε στην εξ.(1.45). Τώρα αντικαθιστούμε $0.5|H|^2$ στην εξ.(1.45) με τον όρο \bar{F}_1/ζ_α^2 . Όσο για την εξ. (1.46) μας οδηγεί στην παρακάτω σχέση:

$$R_{AW} = 2 \int_0^\infty S(\omega_0) \frac{\bar{F}_1}{\zeta_\alpha^2} d\omega_0 \quad (1.53)$$

Εδώ \bar{F}_1/ζ_α^2 είναι συνάρτηση του ω_0 και U και την διεύθυνση πορείας του πλοίου. Φυσικά πήραμε μόνο έναν παράγοντα συνεισφοράς της πρόσθετης αντίστασης λόγω κυματισμών από όταν ξεκινήσαμε με την εξίσωση (1.51). Παρόλαυτά πραγματοποιώντας την ίδια διαδικασία για τους υπόλοιπους παράγοντες δεν αλλάζει το γεγονός ότι μπορούμε να εκφράσουμε το R_{AW} στους μη γραμμικούς κυματισμούς όπως με την εξίσωση (1.53)

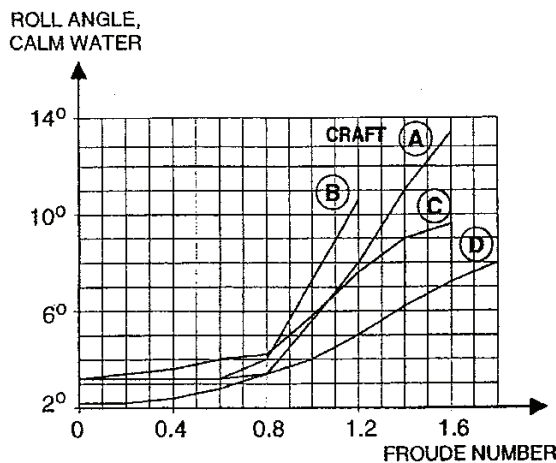
Δυναμική ευσταθεια

Η δυναμική ευστάθεια ενός ταχύπλοου μονόγαστρο σε ήρεμο νερό αλλά και σε κυματισμό γενικά είναι πολύ λίγο κατανοητή. Μια κατηγοριοποίηση των φαινομένων φαίνεται στο σχήμα 1.22

		HYDROSTATIC		HYDRODYNAMIC	
		DISPLACEMENT	SEMI-DISPLACEMENT	PLANING	
		INCREASING FROUDE NUMBER			
TRANSVERSE	TRANSVERSE HYDROSTATICS $\overline{GM} \leq 0$	LOSS OF \overline{GM} DUE TO WAVE EFFECT 	ROLL INSTABILITY NON ZERO HEEL NON OSCILLATORY 	"CHINE WALKING" DYNAMIC ROLL OSCILLATION 	
LONGITUDINAL	LONGITUDINAL HYDROSTATICS $\overline{GM}_L \leq 0$	LOSS OF \overline{GM}_L DUE TO WAVE EFFECT 	TRIM INSTABILITY BOW DROP NON OSCILLATORY 	"PORPOISING" DYNAMIC PITCH-HEAVY OSCILLATION 	
COMBINED	COMBINED $\overline{GM} \leq 0$ $\overline{GM}_L \leq 0$	COMBINED WAVE EFFECT 	BROACH NON OSCILLATORY 	"CORKSCREW" PITCH-YAW-ROLL OSCILLATION 	

Σχήμα 1.22: Γενικοί τύποι ασταθειών μονόγαστρων (Cohen and Blount 1986)

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η σημαντικότητα της υδροστατικής πίεσης μειώνεται όσο μειώνεται η υδροδυναμική πίεση με την αύξηση της πρόσω ταχύτητας. Επίσης κάποιος θα έπρεπε να επισημάνει ότι το πηδάλιο, η σπηλαίωση και η φαινόμενα αερισμού (ventilation) μπορούν να επηρεάσουν την δυναμική ευστάθεια των ταχύπλων σκαφών.. Η καμπύλη του Σχήματος 1.23



Σχήμα 1.23

Στατική ευστάθεια διατοιχισμού διαφορετικών μονόγαστρων σε ήμενο νερό με πρόσω ταχύτητα. Πειραματικά αποτελέσματα. Ένα δοσμένο βάρος τοποθετήθηκε εκτός διαμήκους επιφανείας συμμετρίας. Η καμπύλη δείχνει την ελλатуόμενη σημασία της υδροστατικής πίεσης με την αύξηση του αριθμού Froude (Werenskiold 1993)

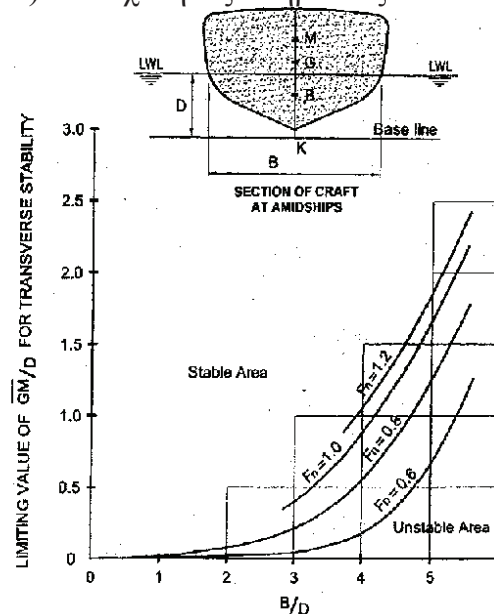
έχει κατασκευαστεί από στατικές δοκιμές σε μονόγαστρα. Ένα γνωστό βάρος τοποθετήθηκε εκτός την μέσης διαμήκης επιφάνειας του πλοίου. Η σταθερή εγκάρσια ροπή διατοιχισμού που δημιουργείται έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία εγκάρσιας κλίσης.

Η καμπύλη δείχνει πώς η σταθερή γωνία κλίσης αλλάζει με την αυξανόμενη πρόσω ταχύτητα για τέσσερις διαφορετικούς τύπους ταχύπλων γαστρών υπο κανονικό μέγεθος κλίμακας. Ο λόγος είναι η αλλαγή της υδροδυναμικής πίεσης πάνω στη

γάστρα, η επιρροή του πηδαλίου και το πιθανές φαινόμενο σπηλαίωσης στα τουνελ των ελίκων.

Η απώλεια μόνιμης ροπής επαναφοράς κατά την κλίση με την πρόσω ταχύτητα μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα απότομη εγκάρσια κλίση ενός μονόγαστρου με στρογγυλό πυθμένα προς τη μία πλευρά. Αυτό μπορεί να συντελέσει σε βίαιες επιφανειακές κινήσεις yaw σε κάθε πλευρά που μπορούν να οδηγήσουν σε ανατροπή. Αυτή η εγκάρσια αστάθεια σε ήρεμο νερό είναι ο κύριος λόγος για τις γάστρες με στρογγυλεμένο πυθμένα να μην μπορούν να έχουν ταχύτητα υπηρεσίας σε αριθμό Froude μεγαλύτερο από 1.2 (Lavis 1980).

Η απώλεια της ροπής επαναφοράς με ταχύτητα πρέπει να υπολογίζεται στον σχεδιασμό των γαστρών, κατασκευάζοντας επαρκώς μεγάλα μετακεντρικά ύψη \overline{GM} σε μηδενική ταχύτητα. Έχουν δοθεί συστάσεις από τους Muller-Graf (1997). Προτεινόμενες ελάχιστες τιμές για γάστρες με στρογγυλεμένο πυθμένα δίνονται από το Σχήμα 1.24. και είναι συναρτήσεις του λόγου πλάτους προς βύθισμα και με τον μέγιστο αριθμό Φρουντ(Fn) σε ταχύτητας υπηρεσίας.



Σχήμα 1.24

Ελάχιστο μετακεντρικό ύψος μιας γάστρας με στρογγυλό πυθμένα με μηδενική ταχύτητα σαν συνάρτηση του λόγου B/D πλάτους προς βύθισμα και του μέγιστου αριθμού Φρουντ(Fn) υπηρεσίας Fn(Bailey 1976)

Η εξάρτηση της πρόσω ταχύτητας της ροπής κλίσης πρέπει να μελετάται για αριθμούς Fn μεγαλύτερους από 0.5. Είναι πιθανό να υπάρχει η μεγαλύτερη εξάρτηση για αριθμούς Fn μεγαλύτερους από 0.6. Για \overline{GM} μεταξύ 1 και 1.5m υπάρχουν αντιπροσωπευτικές προτεινόμενες τιμές για γάστρες με στρογγυλεμένο πυθμένα με μήκος 10 έως 30m. \overline{GM} μικρότερο του 0.8m πρέπει να αποφεύγεται (Muller-Graf 1997). Ένα σύστημα αντιδιαβρωτικών λωρίδων (spray rail) μπορεί να μειώσει την μείωση της ροπής επαναφοράς σε μεγάλες ταχύτητες (Muller-Graf and

Schmiechen 1982). Αυτό μπορεί να γίνει πιο κατανοητό θεωρώντας μια αντιδιαβροχική λωρίδα με ανωστική επιφάνεια μικρού λόγου επιμήκους.

Η δύναμη ανύψωσης είναι ανάλογη με το τετράγωνο της πρόσω ταχύτητας του πλοίου.

Επειδή η εξάρτηση της ταχύτητας με την ροπή επαναφοράς είναι μερικώς αποτέλεσμα της δημιουργίας των κυμάτων της ελεύθερης επιφάνειας, η επίδραση ρηχών νερών έχουν σημασία. Αυτό εξαρτάται από τον λόγο βάθους των νερών προς το βύθισμα του πλοίου h/L και του αριθμού Froude βάθους $F_n = \frac{U}{\sqrt{hg}}$

Αν $h/L > 0.4$ η επιρροή ρηχών νερών είναι μικρή, αλλά είναι ξεκάθαρα διαφορετική για ροές κρίσιμες (critical), υπο-κρίσιμες (subcritical) και υπερκρίσιμες (supercritical). Δεν είμαστε όμως σίγουροι για το πως επηρεάζει ποσοτικά το βάθος τα αποτελέσματα.

Μια τυπική περίπτωση ανατροπής είναι όταν το πλοίο κινείται σε διατοιχισμό με μεγάλα πλάτη και σε πλαγιες θάλασσες.

Ο συνδυασμός του νερού πάνω στο κύριο κατάστρωμα με τις ροπές κλίσης αυξάνουν τις πιθανότητες ανατροπής.

Η εγκάρσια αστάθεια έχει αναφερθεί στο Σχήμα 1.22 ως ένα πρόβλημα για τις γάστρες ημι-εκτοπίσματος. Παρόλαυτα είναι αλήθεια ότι είναι συνηθισμένο για τα πλοία εκτοπίσματος και τα ιστιοπλοϊκά σκάφη. Είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος σε ακολουθούντες κυματισμούς και συμβαίνει σε μακριά και απότομα κύματα. Το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο από το μήκος του πλοίου και η μορφή του κύματος αναπτύσσεται πιο γρήγορα από την ταχύτητα του πλοίου. Εάν τετοιο είδους κύμα είναι στο σημείο που βρίσκεται το πλοίο θα τείνει να κινήσει το πλοίο με την ίδια ταχύτητα με την οριζόντια ταχύτητα της επιφάνειας του ρευστού του κύματος. Αυτό σημαίνει ότι η σχετική ταχύτητα μεταξύ του πλοίου και της ταχύτητας του ρευστού γίνεται πολύ μικρή. Τότε το πλοίο χάνει της ευστάθειά διατήρησης της κατεύθυνσής του στο οριζόντιο επίπεδο και το πηδάλιο χάνει εντελώς την αποτελεσματικότητά του. Η συνέπεια αυτού είναι η αλλαγή πορείας του πλοίου. Αυτό γίνεται ακόμα πιο σοβαρό όταν αν περισσότερα (τρία η τέσσερα) παρόμοια κύματα διέρχονται πάνω στο πλοίο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το πλοίο να γέρνει προς τα μπροστά και υπο γωνία κάθε φορά και τα κύματα μπορούν να εισέλθουν στο κύριο κατάστρωμα από το πλάι σαν τους πλάγιους κυματισμούς. Εάν το πλοίο έχει μικρό εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος το πλοίο μπορεί να ανατραπεί. Εγκάρσια αστάθεια broaching σε κύματα περιγράφουν για παράδειγμα οι Wahab and Swaan(1964), Nicholson(1974), and Vassalos et Al.(2000)

Φορτία κυματισμών

Υπάρχουν δύο διαφορετικά επίπεδα στα οποία τα φορτία είναι απαραίτητα για κατασκευαστικούς λόγους σχεδιασμού:

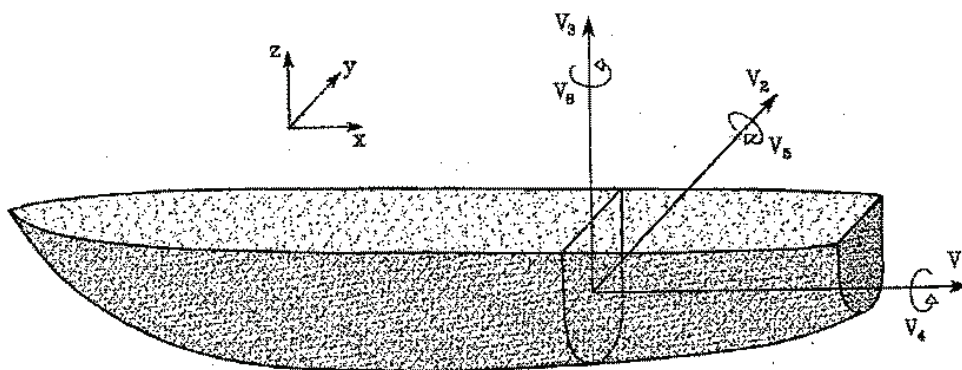
1. Στιγμαίες τοπικές υδροδυναμικές πιέσεις στην επιφάνεια της γάστρας ως αποτέλεσμα της κίνησης του πλοίου και της αλληλεπίδρασης κύματος-πλοίου. Αυτές οι πιέσεις μπορεί να είναι απαραίτητες για όλη την επιφάνεια της γάστρας ή σε μέρος της.

2. Ολοκλήρωση των στιγμιαίων πιέσεων δίνοντας

A) Καθеты και στρεπτικές καμπτικές ροπές και διατμητικές δυνάμεις στη μέση τομή ή σε άλλους νομείς

B) Εγκάρσιες κάθετες καμπτικές ροπές, κάθετες διατμητικές δυνάμεις, και δυνάμεις δυναμικής διαγωγής.

Τα συνολικά φορτία αναμένονται πάντα να είναι σημαντικά για τα μονόγαστρα και τα καταμαραν με μήκος μεγαλύτερο από 50m.



V_1 = compression force

V_2 = horizontal shear force

V_3 = vertical shear force

V_4 = torsional moment

V_5 = vertical bending moment

V_6 = horizontal bending moment

1.3.5. ΟΛΙΣΘΑΚΑΤΟΙ

Κινήσεις και φορτία επαγόμενα από τους κυματισμούς

Τα κριτήρια για δυνατές συνθήκες πλεύσης σε κυματισμούς για μικρά ταχύπλοα σκάφη δίνονται σε πίνακες συνήθως (βλ αντίστοιχη παράγραφο)

Αυτά τα κριτήρια σχετίζονται με τις επιταχύνσεις, διατοιχισμούς, κρουστικά φορτία και διαβροχή καταστρώματος. Ο στόχος μας είναι ο προσδιορισμός κάθετων κινήσεων και επιταχύνσεων σαν κομμάτι αυτής της ανάλυσης.

Fridsma (1969,1971) παρουσίασε συστηματικές σειρές υπολογισμού κινήσεων και επιταχύνσεων σε μονόγαστρες ολισθακάτους σε μετωπικούς κυματισμούς. Η εξάρτηση παραμετρών όπως για παράδειγμα η πρόσω ταχύτητα, η γωνία ανύψωσης πυθμένα, διαμήκης θέση του κέντρου βάρους, οι γωνίες διαγωγής εξετάστηκαν. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν και παρουσιάστηκαν σε σχεδιαστικά διαγράμματα για τους σχεδιαστές.

Μια ολισθάκατος μπορεί να παρουσιάσει ισχυρά μη γραμμική συμπεριφορά. Οι λόγοι είναι οι μεγάλες μεταβολές στην βρεχόμενη επιφάνεια και στο γεγονός ότι δεν είναι κάθετη η επιφάνεια τομή της γάστρας με την επιφάνεια του νερού, που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της γωνίας διαγωγής και ανύψωσης της γάστρας λόγω των επαγόμενων από κυματισμούς κινήσεων. Αυτό επιβεβαιώθηκε πειραματικά και από το Katayama (2000). Ο αριθμός F_n μήκους κυμαινόταν μεταξύ 2 και 5 στην μελέτη τους. Τα μη γραμμικά αποτελέσματα, κατα γενική ομολογία, είχαν μεγάλη επίδραση στις κινήσεις και επιταχύνσεις.

Και τα δύο η αρμονικές και μη αρμονικές αναπηδήσεις των ολισθακάτων μπορούν να συμβούν εν πλω. Katayama et al.(2000) ερεύνησαν συστηματικά με πρότυπα σε αρμονικούς κυματισμούς. Όσο μεγαλώνει ο αριθμός Froude, το μέγιστο όριο επιτρεπόμενου ύψους κύματος μικραίνει.

Στην περίπτωση που υπάρχουν πολύ μεγάλα ύψη κύματος το σκάφος μπορεί να αναπηδήσει πολύ ψηλά και να πέσει απότομα στην θάλασσα. Τα δημιουργούμενα slamming φορτία μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές συνέπειες στην κατασκευή και να δημιουργήσουν μεγάλες κάθετες επιταχύνσεις στην γάστα που μπορούν να καταστρέψουν ακόμα και τον εξοπλισμό του σκάφους.

Διεγείρουσες δυνάμεις στο κατακόρυφο επίπεδο σε μετωπικούς κυματισμούς

Συνοπτικά, οι γραμμικές κάθετες δυνάμεις διέγερσεις από κυματισμούς F_3 και οι διεγείρουσες ροπές διαγωγής F_5 περί το κ.β. (COG) ($x=0$) σε αρμονικούς μετωπικούς κυματισμούς περιγράφονται με την ανάπτυξη της ελεύθερης επιφάνειας:

$$\zeta = \zeta_a \sin(\omega_e t - kx) \quad (1.54)$$

μπορούν για ένα μεγάλο μήκος κύματος να εκφραστούν ως εξής:

$$F_3 = F_{3s} \zeta_\alpha \sin \omega_e t + F_{3c} \zeta_\alpha \cos \omega_e t \quad (1.55)$$

$$F_5 = F_{5s} \zeta_\alpha \sin \omega_e t + F_{5c} \zeta_\alpha \cos \omega_e t \quad (1.56)$$

Εδώ F_{jc} και F_{js} εκφράζονται από τους συντελεστές πρόσθετης μάζας A_{jk} και απόσβεσης B_{jk} και σταθερές διατήρησης όπως

$$F_{3s} = C_{33} - A_{33} \omega_0 \omega_e - B_{35}^D \omega_0 k \quad (1.57)$$

$$F_{3c} = C_{35} k - A_{35} \omega_0 \omega_e k + B_{33}^D \omega_0 \quad (1.58)$$

$$F_{5s} = C_{53} - A_{53} \omega_0 \omega_e - B_{55}^D \omega_0 k \quad (1.59)$$

$$F_{5c} = C_{55} k - A_{55} \omega_0 \omega_e k + B_{53}^D \omega_0 \quad (1.60)$$

όπου $B_{33}^D = B_{33}$ και $B_{53}^D = B_{53}$ συμφωνα με τη γραμμική θεωρία.

Επίσης

$$B_{35}^D = B_{35} + UA_{33} \quad (1.61)$$

$$B_{55}^D = B_{55} + UA_{35} \quad (1.62)$$

και

$$\omega_e = \omega_0 + kU \quad (1.63)$$

Επίλυση των κατακόρυφων κινήσεων σε μετωπικούς κυματισμούς στο πεδίο των συχνοτήτων

Πρώτα θα θεωρήσουμε γραμμική θεωρία και σταθερές συνθήκες (στο πεδίο των συχνοτήτων και θεωρούμε μια πρισματική ολισθάκατο σε μετωπικούς αρμονικούς κυματισμούς. Επειδή η τομή της γάστρας είναι σφηνοειδής και το τοπικό βύθισμα στην πλώρη είναι μικρό, μικρούς ύψους κυματισμοί μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στο εκτόπισμα και στην ίσαλο επιφάνεια. Αυτό φανερώνει και την περιορισμένη αξία της γραμμικής θεωρίας στην πράξη. Υποθέτωντας σταθερές συνθήκες τα ασταθή φαινόμενα αποσβένονται.

Ένας άλλος τρόπος για να διατυπωθεί, είναι ότι σε σταθερές γραμμικές συνθήκες δεν υπάρχει λύση, όταν υπάρχει διαμήκης αστάθεια (porpoising).

Το δεξί μέλος της πρώτης και δεύτερης εξίσωσης είναι αντίστοιχα F_3 και F_5 που δίνονται στις εξισώσεις (1.55) και (1.56). Όταν λύνονται οι εξισώσεις, είναι πιο εύκολο να χρησιμοποιείται πιο σύνθετος συμβολισμός, που σημαίνει ότι γράφουμε:

$$F_j = \zeta_\alpha (F_{jc} - iF_{js})e^{i\omega_e t}, j = 3,5 \quad (1.64)$$

όπου F_{jc} και F_{js} δίνονται από την εξ.(1.57) μέσω της (1.60). Όταν αντιμετωπίζουμε σύνθετες ποσότητες όπως στην εξ.(1.64) και είναι κατανοητό πάντα ότι είναι το πραγματικό μέρος και έχουν φυσική σημασία. Αυτό είναι εμφανές στο πραγματικό μέρος της εξ.(1.64)

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}[\zeta_\alpha (F_{jc} - iF_{js})e^{i\omega_e t}] &= \operatorname{Re}[\zeta_\alpha (F_{jc} - iF_{js})(\cos \omega_e t + i \sin \omega_e t)] \\ &= F_{jc}\zeta_\alpha \cos \omega_e t - F_{js}\zeta_\alpha \sin \omega_e t \end{aligned}$$

Και γράφουμε τις κινήσεις όπως:

$$\eta_j = (\eta_{Rj} + i\eta_{Ij})e^{i\omega_e t} \quad j = 3,5 \quad (1.65)$$

Εισάγοντας αυτό στις εξισώσεις κίνησης και διαιρώντας με κοινό παράγοντα $\exp(i\omega_e t)$ και στο δεξί και στο αριστερό μέλος των εξισώσεων, κατασκευάζονται οι παρακάτω δύο σύνθετες εξισώσεις:

$$\begin{aligned} [-\omega_e^2 (M + A_{33}) + i\omega_e B_{33} + C_{33}][\eta_{R3} + i\eta_{I3}] + [-\omega_e^2 A_{35} + i\omega_e B_{35} + C_{35}] \times [\eta_{R5} + i\eta_{I5}] \\ = \zeta_\alpha (F_{3c} - iF_{3s}) \end{aligned} \quad (1.66)$$

$$\begin{aligned} [-\omega_e^2 A_{53} + i\omega_e B_{53} + C_{53}][\eta_{R3} + i\eta_{I3}] + [-\omega_e^2 (I_{55} + A_{55}) + i\omega_e B_{55} + C_{55}] \times [\eta_{R5} + i\eta_{I5}] \\ = \zeta_\alpha (F_{5c} - iF_{5s}) \end{aligned}$$

Μπορούμε να λύσουμε αυτές τις γραμμικές εξισώσεις ως προς τους αγνώστους, απευθείας με σύνθετους αγνώστους η διαιρώντας κάθε μέρος της εξίσωσης με το πραγματικό και το φανταστικό μέρος. Η τελευταία εξίσωση (1.69) δίνει τέσσερις εξισώσεις με αγνώστους τους η_{R3} , η_{I3} , η_{R5} και η_{I5} που μπορεί να λυθεί με συνήθης υπολογιστικές υπορουτίνες. Η συνάρτηση μεταφοράς σε δυναμική ανύψωση και προνευτασμό δίνονται αντίστοιχα

$$\frac{|\eta_j|}{\zeta_\alpha} = \frac{(\eta_{Rj}^2 + \eta_{Ij}^2)^{1/2}}{\zeta_\alpha}, j = 3,5 \quad (1.67)$$

Οι φάσεις ε_ζ για heave και pitch σχετικά με την ανάπτυξη του κυματισμού στο $x = 0$, που είναι δηλαδή το COG, μπορεί να αποκτηθεί με εύκολες μεθόδους. Τα αποτελέσματα βασίζονται στο πεδίο των συχνοτήτων.

Επίλυση των κατακόρυφων κινήσεων σε μετωπικούς κυματισμούς στο πεδίο του χρόνου

Σημειώνοντας ξανά τις αρχικές υποθέσεις, πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι οι γραμμικότητες μπορούν να έχουν σημασία στην επίλυση των μεγάλων κινήσεων επαγόμενων από κυματισμούς. Παράλληλα εάν το φαινόμενο διμάηκους αστάθειας υπάρχει, οι μη γραμμικότητες θα έχουν σαν αποτέλεσμα φραγμένων λύσεων. Μια γραμμική ανάλυση ευστάθειας θα δώσει μη φραγμένες μη σταθερές λύσεις καθώς ο χρόνος θα περνάει.

Το τελευταίο είναι αποτέλεσμα την εκθετικής αύξησης του $\exp(at)$ -όρου της εξίσωσης (9.82) όταν το πραγματικό μέρος a της ιδιοτιμής s είναι θετικό. Καταμετρώντας τις μη γραμμικότητες οδηγούμεθα στην ανάγκη της επίλυσης των εξισώσεων κίνησης στο πεδίο του χρόνου. Παρόλαυτά υπάρχουν μη γραμμικές λύσεις στο πεδίο των συχνοτήτων, για παράδειγμα οι συνήθεις διαδικασίες κατα την ανάλυση δευτεροτ'αξίων επαγόμενων από κυματισμούς κινήσεις των παράκτιων κατασκευών (Faltinsen, 1990). Παρόλ'αυτά, η επίλυση στο πεδίο των συχνοτήτων προυπεθέτει μόνιμες καταστάσεις και δεν μπορεί να δώσει λύσεις σε μη μόνιμη κατάσταση. Παράλληλα η επίλυση στο πεδίο των συχνοτήτων είναι βολική όταν χρησιμοποιούμε απλοποιημένη ανάλυση με το πλάτος του κυματισμού σαν μικρή παράμετρο για την εύρεση υψηλής τάξης υδροδυναμικά φορτία. Αυτό μπορεί στην πράξη να απαιτεί η επιφάνεια της γάστρας να είναι κάθετη στην ελεύθερη επιφάνεια, κατάσταση που δεν μπορεί να ισχύει για τις ολισθακάτους.

Σύμφωνα με τους Troesch και Falzarano (1993), οι πιο σοβαρές μη γραμμικότητες είναι το αποτέλεσμα των συντηρητικών δυνάμεων και ροπών και όχι οι πρόσθετες μάζες και η απόσβεση.

1.4. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΤΑΧΥΠΛΩΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

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

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

Γωνία ανύψωσης του πυθμένα (deadrise): Η αύξηση της γωνίας ανύψωσης του πυθμένα επιδρά θετικά στον περιορισμό των κινήσεων του σκάφους καθώς και στη μείωση της πρόσθετης αντίστασης. Ακόμη, μεγάλες γωνίες ανύψωσης πυθμένα βελτιώνουν την ευστάθεια πορείας ενός πλοίου. Οπότε θα μπορούσε να πει κανείς ότι έχει ευνοϊκή επίδραση στη δυναμική συμπεριφορά του σκάφους, όμως επιδρά αρνητικά στις κρουστικές επιταχύνσεις. Άρα θα πρέπει να γίνει προσεκτικά τελικά η επιλογή της γωνίας αυτής.

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

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

Συντελεστής φόρτισης C_{Δ} : Έχει αποδειχθεί ότι οι επιταχύνσεις μειώνονται γραμμικά με την αύξηση του συντελεστή φόρτισης. Ακόμη, είναι γνωστό ότι για ταχύτητες με αριθμό Froude πάνω από 0.6 αύξηση του συντελεστή φόρτισης οδηγεί σε ελαφριά μείωση των κινήσεων του πλοίου καθώς και της πρόσθετης αντίστασης.

1.5.ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΕΤΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΠΛΕΥΣΗΣ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

Καθώς ένα σκάφος κινείται στη θάλασσα έχει 6 βαθμούς ελευθερίας κινήσεως όπως έχει προαναφερθεί. Οι κινήσεις αυτές μπορούν να γίνουν ιδιαίτερα έντονες σε περίπτωση κυματισμών και ιδίως στις υψηλές ταχύτητες. Έτσι παρακάτω αναφέρονται ορισμένα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία ένα σκάφος μπορεί να λειτουργήσει κανονικά και χωρίς να δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στους επιβαίνοντες.

Ο NORDIC έχει ασχοληθεί με την λειτουργικότητα των σκαφών βάσει του ποσοστού του χρόνου ικανοποιητικής λειτουργίας. Τα κριτήρια για τα επιτρεπτά όρια κινήσεων του πλοίου έχουν καθοριστεί με βάση παρατηρήσεις που έχουν γίνει σε πραγματικές κλίμακες και κανονικές συνθήκες καθώς και πειραματικές μετρήσεις. Τα κυριότερα από αυτά τα κριτήρια παρουσιάζονται ομαδοποιημένα σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το είδος του πλοίου στον πίνακα που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2: NORDIC

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

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

Κριτήρια εγκάρσια επιτάχυνσης: Με βάση την ασφάλεια του πληρώματος και διασφάλιση της αποστολής του σκάφους το ναυτικό των Η.Π.Α. όρισε ως κριτήριο τα 0.1g rms. Από παρατηρήσεις που έγιναν και σε άλλους τύπους πλοίων το κριτήριο είναι αρκετά αυστηρό με αποτέλεσμα ελαφρά υψηλότερες τιμές να επιτρέπονται σαν αυτές που δίνει ο NORDIC

Διατοιχισμός: Μετά από παρατηρήσεις σε πραγματικές καταστάσεις η τιμή των 4° αποτελεί ένα όριο έτσι ώστε να η διασφαλίζεται η αποτελεσματικότητα του πληρώματος πάνω στο πλοίο αλλά μπορεί να πάει έως και 6°, όπως φαίνεται και από τα κριτήρια του NORDIC .

Σφυρόκρουση: Πέρα από τα κριτήρια του NORDIC, μπορούμε σύμφωνα με τον Ochi να υπολογίσουμε οριακή τιμή για την κατακόρυφη ταχύτητα εξόδου από το νερό κατά τη σφυρόκρουση σύμφωνα με τον τύπο:

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

όπου: g: η επιτάχυνση της βαρύτητας

L: το μήκος του πλοίου μεταξύ καθέτων.

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

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

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3

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

Κριτήρια Μείωσης Ταχύτητας: Κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού στη θάλασσα η ταχύτητα ενός πλοίου μπορεί να μειωθεί. Η μείωση αυτή μπορεί να είναι εκούσια (voluntary speed loss) ή ακούσια (involuntary speed loss).

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

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

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

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

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

Επιπλέον, μείωση της ταχύτητας μπορεί να γίνει με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν προηγουμένως ιδιαίτερα αυτά του διατοιχισμού για τα εμπορικά πλοία.

Σημειωτέον ότι η μείωση της ταχύτητας πολλές φορές μπορεί να αποφευχθεί με αλλαγή της πορείας του σκάφους.

1.6. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ

Γενικά

Η φιλοσοφία των κανονισμών για HIGH SPEED CRAFT είναι βασισμένη στην διαχείριση και μείωση του ρίσκου καθώς επίσης και της παραδοσιακής παθητικής προστασίας σε περίπτωση ατυχήματος. Η διαχείριση του ρίσκου μέσω της διάταξης της ενδιαίτησης, τα ενεργητικά συστήματα ασφαλείας, περιορισμούς στην λειτουργία, διαχείριση ποιότητας και ανθρώπινος παράγοντας πρέπει να συνυπολογίζονται στις ισχύουσες συμβάσεις.

Οι κανονισμοί που υπολογίζονται σε ένα ταχύπλοο σκάφος συνήθως αναφέρεται σε πλοία μικρότερου εκτοπίσματος από τα συμβατικά. Ο παράγοντας του εκτοπίσματος είναι ο σημαντικότερος για να κατασκευαστεί ένα ταχύπλοο και ανταγωνιστικό σκάφος στην ανταγωνιστική αγορά των θαλάσσιων μεταφορών έτσι ώστε να επιτρέπει την κατασκευή πλοίου μη συμβατικά ναυπηγικά υλικά, αλλά να διατηρεί τα ίδια πρότυπα ασφαλείας.

Για να διαχωριστούν ξεκάθαρα τέτοιες κατασκευές, έχουν καθοριστεί κριτήρια με βάση την ταχύτητα του σκάφους και τον ογκομετρικό Froude (Fn) έτσι ώστε να διαφοροποιηθούν από τους κανονισμούς άλλων συμβατικών αριθμών Froude.

ΚΩΔΙΚΑΣ ΓΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΑ ΣΚΑΦΗ CODE OF SAFETY FOR DYNAMICALLY SUPPORTED CRAFT (DSC CODE)

Ο κδικας DSC CODE υιοθετήθηκε απο την Σύνοδο του IMO στις 14 Νοεμβρίου 1977 με την Σύμβαση A.373(X) , αναγνωρίζοντας ότι τα σχεδιαστικά κριτήρια για τα δυναμικά υποστηριζόμενα σκάφη είναι πολύ συχνά εντελώς διαφορετικά από τα κριτήρια των συμβατικών σκαφών κάνοντας έτσι τις διεθνείς συμβάσεις όπως η ΣΥΜΒΑΣΗ SOLAS (SAFETY OF LIFE AT SEA) ακατάλληλη για τέτοιου είδους πλοία. Ο κώδικας συνυπολόγισε και παλαιότερες προτάσεις του IMO που αφορούσαν υδροπτέρυγα (hydrofoil boats) και αερόστρωμα σκάφη (air-cushion vehicles)

Ο κώδικας δεσμεύει κατασκευές που κάνουν διεθνείς πλόες κατασκευάστηκαν μετά από την 1 Ιανουρίου 1996 και θέτει τις ελάχιστες προϋποθέσεις για πλοία που μεταφέρουν έως 450 επιβάτες και σε πλόες μέσα στο όριο των 100 ναυτικών μιλίων από τον τόπο αναχώρησης.

INTERNATIONAL CODE OF SAFETY FOR HIGH SPEED CRAFT (HSC CODE) 1994

Ο κώδικας DSC υιοθετήθηκε από την ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ του IMO (SAFETY COMMITTEE) στις 20 Μαΐου 1994 με την Σύμβαση MSC.36(63), αναγνωρίζοντας την συνεχή ανάπτυξη νέων τύπων και μεγεθών σκαφών που δεν ήταν απαραίτητα δυναμικά υποστηριζόμενα (dynamically supported), αλλά ήταν πλοία μεταφοράς φορτίου και πλοίων που μεταφέρουν μεγάλο αριθμό επιβατών ή πλέουν σε μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτές που καθόριζε ο Κώδικας DSC. Αναγνωρίστηκε ευρέως ότι βελτιώσεις στα πρότυπα της διεθνούς ναυτικής ασφαλείας από την στιγμή που υιοθετήθηκε ο Κώδικας DSC έπρεπε να έχουν αντίκρουσμα και στον HSC έτσι ώστε να συνεχίσουν να επιζητώνται τα ίδια επίπεδα ασφαλείας με τα συμβατικά σκάφη.

Ο κώδικας HSC δεσμεύει κατασκευές διεθνών πλοίων που κατασκευάστηκαν μετά από την 1^η Ιανουαρίου 1996 αλλά πριν την 1^η Ιουλίου του 2002. Παρουσιάζει δύο διαφορετικές αρχές προστασίας και διάσωσης. Το πρώτο είναι η ιδέα του βοηθητικού σκάφους, θέτωντας έτσι τις βάσεις για «Κατηγορίας Α Επιβατηγά Σκάφη» επιτρέποντας έτσι την μείωση της ενεργητικής και παθητικής ασφάλειας όπου η βοήθεια στην διάσωση είναι αμέσως διαθέσιμη και ο αριθμός των επιβατών είναι περιορισμένος. Η δεύτερη ιδέα αναγνωρίζει την ανάγκη ανάπτυξης του HSC για μεγαλύτερα σκάφη και εισάγει την έννοια «Ασυνόδευτα Σκάφη» θέτωντας την βάση για «Πλοία Φορτίου» και «Κατηγορίας Β επιβατηγά σκάφη» απαιτώντας περισσότερη παθητική και ενεργητική ασφάλεια όπου η βοήθεια διάσωσης δεν είναι αμέσως διαθέσιμη, και/ή ο αριθμός των επιβατών είναι απεριόριστος.

INTERNATIONAL CODE OF SAFETY FOR HIGH SPEED CRAFT (HSC CODE) 2000

Ο κώδικας HSC υιοθετήθηκε από το IMO M.S.C. στις 5 Δεκεμβρίου του 2000 με την Σύμβαση MSC.97(73), αναγνωρίζοντας την ανάπτυξη νέων τύπων και μεγεθών high speed craft και βελτιστοποιήσεις στα διεθνή πρότυπα ασφαλείας από την δημιουργίας του κώδικα HSC του 1994, στον οποίο και δημιουργήθηκε η ανάγκη για επανεξέταση των προμηθειών, σχεδιασμού, κατασκευής εξοπλισμού και λειτουργίας των HSC έτσι ώστε να διατηρηθεί το μέγιστο επίπεδο ασφαλείας.

Ο κώδικας δεσμεύει τα ταχύπλοα πλοία που κατασκευάστηκαν από την 1 Ιουλίου και αργότερα, με την προοπτική να διασφαλίσει τον μέγιστο βαθμό ασφαλείας στα υψηλής τεχνολογίας και πρωτοποριακού σχεδιασμού, σαφώς μεγαλύτερα και ταχύτερα σκάφη.

ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΩΝ ΚΩΔΙΚΩΝ

Ο κώδικας DSC της Σύμβασης της Συνόδου του IMO δεν είναι υποχρεωτικός αλλά προαιρετικός.

Τα κράτη μέλη του IMO προσκαλούνται έτσι ώστε να κάνουν τα κατάλληλα βήματα έτσι ώστε να αποκτηθεί η επιθυμητή επίδραση του Κώδικα.

Ο HSC του 1994 ήταν προαιρετικό από την Σύμβαση 1 του Συνεδρίου SOLAS 1994 που υιοθετήθηκε στις 24 Μαΐου του 1994 και που ξεκίνησε η ισχύς της την 1^η Ιανουαρίου 1996 και συμπεριέλαβε ένα νέο κεφάλαιο X στα μέτρα Ασφαλείας των HSC στην ΣΥΜΒΑΣΗ SOLAS του 1974.

Ο κώδικας HSC έγινε υποχρεωτικός από την αναθεώρηση MSC.99(73), που υιοθετήθηκε την 5^η Δεκεμβρίου και τέθηκε σε ισχύ από την 1^η Ιουλίου 2002 και αναθεωρήθηκε SOLAS Κεφάλαιο X, συμπεριλαμβάνοντας τα παρακάτω στην νέα παράγραφο 1.

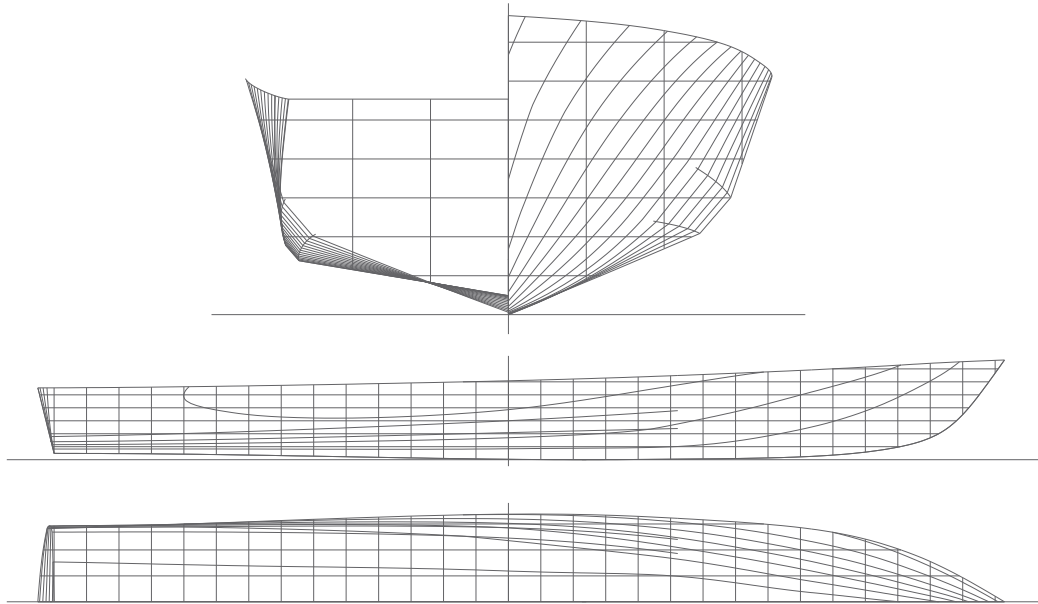
«Ο 2 High-Speed Craft Code, 2000 (2000 HSC Code) είναι ο διεθνής κανόνας ασφαλείας για τα ταχύπλοα σκάφη του 2000 που υιοθετήθηκε από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό IMO από την Επιτροπή Ασφαλείας με αναθεώρηση MSC.97(73) όπως επιβάλλεται από τον Οργανισμό που επιτρέπει την υιοθέτηση παραρτημάτων, και τίθεται σε ισχύ και σε επίδραση σύμφωνα με τις υποχρεώσεις του άρθρου VIII της παρούσας σύμβασης που αφορούν την υποχρεωτική διαδικασία που εφαρμόζεται σε αυτές εκτός από το κεφάλαιο I.»

Οι κώδικες του 1994 και του 2000 περιλαμβάνουν μέσα στο τμήμα 1.15 διορθώσεις για τακτική αναθεώρηση του κώδικα κάθε 4 χρόνια έτσι ώστε να εναρμονίζονται κάθε φορά οι κανονισμοί με την καλπάζουσα τεχνολογία και αλλαγή στον σχεδιασμό.

Ακολουθώντας αυτή την οδηγία ο IMO τώρα μελετά την σοβαρή επίδραση αυτή που μπορεί να έχει στους ισχύοντες κώδικες. Μια σειρά από υποχρεωτικές οδηγίες ολοκληρώνονται από τον κώδικα του 2006.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ Ε.Μ.Π. ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΟΚΙΜΩΝ



Σχέδιο Γραμμών του πατρικού προτύπου της συστηματικής σειράς NTUA (το σχέδιο εγκαρσίων τομών είναι σε τριπλάσιο μέγεθος)

Συστηματική σειρά NTUA

Η συστηματική σειρά NTUA που αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, (National Technical University of Athens) περιλαμβάνει πρότυπα με διπλή ακμή, πεπλατυμένο καθρέπτη στην πρύμη και «δίπλωμα» του V προς την πλώρα που δημιουργεί αύξηση γωνίας ανύψωσης πυθμένα(warp) στην επιφάνεια ολίσθησης.

Η σειρά αυτή δημιουργήθηκε ώστε να μπορεί να βασιστεί σε αυτήν ένας μελετητής για τον προκαταρτικό σχεδιασμό μεγάλου μονόγαστρου πλοίου ή σκάφους αναψυχής που θα λειτουργεί σε μεγάλες ταχύτητες αλλά όχι σε ταχύτητες ολίσθησης. Η σειρά αποτελείται από έξι πρότυπα με λόγους μήκους προς πλάτος που φαίνονται παρακάτω.

	1	2	3	4	5	6
λόγος L/B	3.25	4.00	4.75	5.50	6.25	7.00

Τα μοντέλα με λόγους L/B =4.00, 4.75, 5.50, 6.25, 7.00 δοκιμάστηκαν σε έξι διαφορετικά εκτοπίσματα, συμπεριλαμβανομένων και των πολύ ελαφριών έτσι

ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες μεγάλων ταχυπλόων πλοίων αλλά και ιδιοτικών σκαφών.

Το μοντέλο με λόγο $L/B = 3.25$ δοκιμάστηκε σε επτά διαφορετικές καταστάσεις.

Η προσπάθεια ξεκίνησε από τον Καθηγητή του Ε.Μ.Π. Θεόδωρο Λουκάκη και τον Καθηγητή Ε.Μ.Π Γρηγόριο Γρηγορόπουλο το 1994 οπότε και κατασκευάστηκε το πατρικό σκάφος της σειράς «NTUA/097-94» με λόγο $L/B=5.50$ συνδυάζοντας τη γάστρα της σειράς 62 και της γάστρας των Savitsky, Roper και Benen, με χαρακτηριστικά τη διπλή ακμή και τον πεπλατυσμένο καθρέπτη στην πρύμνη. Έγιναν σε αυτό καταρχάς πειράματα αντίστασης με αντιδιαβροχικές λωρίδες και χωρίς, καθώς και σε άλλα τέσσερα πρότυπα γνωστών σειρών με ίδιο μήκος $L=2.29\text{m}$ και πλάτος $B=0.416\text{m}$ στο εκτόπισμα των 29.7kg ($C_{DL}=3.00$), που ήταν τα εξής:

Σκάφος σειράς 62 με ακμή των Clement&Blount, 1965

Σκάφος μορφής βαθέως V (Deep V) Keuning & Gerritsma, 1982

Σκάφος με διπλή ακμή και πλατύ καθρέπτη των Savitsky, Roper και Benen, 1972

Σκάφος με εξομαλυμένες τις δύο ακμές (Rounded Bilge) και πλατύ καθρέπτη των Γρηγορόπουλου και Λουκάκη, 1995

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν και στις πέντε ισοδύναμες γάστρες έδειξαν ότι το πρότυπο της διπλής ακμής και πλατύ καθρέπτη των Γρηγορόπουλου και Λουκάκη είχε μειωμένη αντίσταση σε σχέση με τα άλλα στην προ-ολίσθησης περιοχή. Ακόμη, έδειξε ότι οι αντιδιαβροχικές λωρίδες σε αυτό προσέθεταν αντίσταση αντί να αφαιρούν παρόλο που στα άλλα βελτίωναν τα χαρακτηριστικά της αντίστασης.

Μετά από αυτά τα εξαιρετικά αποτελέσματα αποφασίστηκε να δημιουργηθούν και άλλα μοντέλα και το μοντέλο που πρώτα δοκιμάστηκε να είναι το πατρικό για τα επόμενα της συστηματικής σειράς NTUA. Προκειμένου να αναπτυχθεί η σειρά αποφασίστηκε ως βασική παράμετρος ο λόγος μήκους προς πλάτος L/B όπως συμβαίνει άλλωστε και στις περισσότερες σειρές γαστρών ταχυπλόων σκαφών, με κάτω όριο 3.25 και άνω όριο το 7.00

Κατασκευάστηκαν λοιπόν τα μοντέλα για όλους τους διαφορετικούς λόγους που προαναφέρθηκαν με πατρικό $L/B=5.50$. Τα άλλα μοντέλα προέκυψαν από το πατρικό κρατώντας την μέση τομή ίδια αλλά αλλάζοντας κατάλληλα την ισαπόσταση των νομέων.

Η δεύτερη καίρια παράμετρος για την σειρά αυτή είναι ο συντελεστής εκτοπίσματος $C_{DL} = \frac{\nabla}{(0.1 \cdot L_{WL})^3}$, ∇ είναι ο όγκος εκτοπίσματος και L_{WL} το μήκος ισάλου (και τα δύο σε ηρεμία). Ο συντελεστής αυτός αποτελεί ουσιαστικά μια παραλλαγή του συντελεστή $M = \frac{L}{\nabla^{1/3}}$ που χρησιμοποιείται σε

αντίστοιχες σειρές. Επιλέχθηκαν επτά διαφορετικές τιμές του συντελεστή αυτού, όπως φαίνεται στην πειραματική διαδικασία.

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

Η σημαντική συστηματική σειρά αυτή είναι ολοκληρωμένη όσον αφορά τα πειράματα αντίστασης αλλά όχι και ως προς την υδροδυναμική συμπεριφορά καθενός από τα έξι πρότυπα. Στα πλαίσια της προσπάθειας για ολοκλήρωση της συστηματικής σειράς έγιναν και τα πειράματα σε τυχαίους κυματισμούς στην παρούσα διπλωματική σε μοντέλο με λόγο $L/B=3.25$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Για να γίνει λεπτομερής και ακριβής καταγραφή χρήσιμων στοιχείων της συμπεριφοράς του προτύπου, επιλέχθησαν σύμφωνα και με τις προηγούμενες μετρήσεις της ίδια συστηματικής σειράς του εργαστηρίου οι καταστάσεις φόρτωσης αλλά και το είδος κυματισμών στο οποίο θα καταγράφονταν οι αποκρίσεις.

Το πρότυπο το οποίο αποτελεί ένα απο τα υπόλοιπα 5 της σειράς είναι το 6^ο και με τον μικρότερο λόγο μήκους προς πλάτος $L/B=3.25$. Ο λόγος αυτός αποτελεί και τον κύριο περιοριστικό παράγοντα κατασκευής πλοίων με τέτοιες διαστάσεις και συνεπώς έχει εφαρμογή σε μικρά σκάφη.

Η συμπεριφορά του προτύπου καταγράφηκε τόσο για την αντίστασή του σε ήρεμο νερό όσο και για την δυναμική συμπεριφορά του σε αρμονικούς και τυχαίους κυματισμούς.

Οι μετρήσεις έγιναν στην πειραματική δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής και τα μετρητικά όργανα ακριβείας των εγκαταστάσεων μετρησαν οι αναγκαίες αποκρίσεις. Παρακάτω περιγράφονται τα αντίστοιχα στοιχεία κάθε μέτρησης.

3.1. ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

Το πρότυπο

Το πρότυπο είναι το υπ' αριθμόν 185/05 της σειράς NTUA που έχουν κατασκευαστεί στο εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής από το προσωπικό του εργαστηρίου. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει λόγο $B/L=3.25$ και η πειραματική διερεύνησή του μπορεί να μας δώσει στοιχεία για ταχύπλοα σκάφη σχετικά μικρού μήκους και όχι μεγάλα πλοία καθώς ο συγκεκριμένος λόγος 3.25 θα ήταν απαγορευτικός κατασκευαστικά για μεγάλα πλοία.

ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥΣ (ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΔΙΑΓΩΓΗ-ΙΣΟΒΥΘΙΣΤΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ)

	DRAFT	DYN. TRIM	C.G. RISE	Wetted length (dec)	Volume (dec ³)	Displacement (dec ³)	KM	WET.SUR (dec ²)	$C_{DL} = \frac{\nabla}{(0.1 \cdot L_{WL})^3}$
1	0,796	0	0	20,799	27,003	27,003	5,695	84,208	3.00
2	0,872	0	0	20,915	33,139	33,139	5,596	90,842	3.62
3	0,943	0	0	21,012	39,216	39,216	5,424	96,291	4.23
4	1,032	0	0	21,135	47,215	47,215	5,136	102,264	5.00
5	1,102	0	0	21,224	53,746	53,746	4,898	106,461	5.62
6	1,169	0	0	21,294	60,159	60,159	4,683	110,193	6.23
7	1,253	0	0	21,381	68,386	68,386	4,443	114,600	7.00

Σε κάθε κατάσταση φόρτωσης το μοντέλο έπιασε ταχύτητες απο 1m/sec έως 5 m/sec με βήμα αύξησης της ταχύτητας 0,25 m/sec. Για να μην διαταράσσεται πολύ η επιφάνεια του νερού και καθυστερεί η πραγματοποίηση των πειραμάτων(run), υλοποιείτο μία μεγάλη ταχύτητα και αμέσως μετα μία αρκετά μικρότερη έτσι ώστε να μεσολαβεί μικρό διάστημα χρόνου. Ο στόχος ήταν το νερό να είναι ήρεμο και να μην υπάρχουν κυματισμοί από το προηγούμενο run. Η ταχύτητες πραγματοποίησης των πειραμάτων φαίνονται παρακάτω. Η σειρά πραγματοποίησης ήταν διαφορετική από την αύξουσα. Πραγματοποιήτο run εναλλάξ σε μεγάλες και μικρές ταχύτητες έτσι ώστε να μην διαταράσσεται το νερό διαρκώς και εντονότερα καθώς εκτυλίσσονταν τα run.

Δοκιμή No	Ταχύτητα μοντέλου (m/sec)
1	1.00
2	3.00
3	1.25
4	3.25
5	1.50
6	3.50
7	1.75
8	3.75
9	2.00
10	4.00
11	2.25
12	4.25
13	2.50
14	4.50
15	2.75
16	4.75
17	5.00

Σε καθε κατάσταση και στις δεκαεπτά διαφορετικές ταχύτητες, σε ήρεμο νερό, με τον εξοπλισμό του εργαστηρίου καταγράφονταν μετρήσεις των οργάνων για την ταχύτητα που κατάφερε να επιτύχει το φορείο και μετρήσεις σε Volt

- Αντίσταση (Resistance)
- Δυναμική Διαγωγή (Dynamic trim)
- Δυναμική ανυψωση του κέντρου βάρους(Dynamic CG Rise)

Οι μετρήσεις σε Volt μετατρέπονται στα επιθυμητά μεγέθη χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις μεταφοράς που αποκτώνται πριν από κάθε πείραμα. Οι βαθμονομήσεις και η περιγραφή παρουσιάζεται παρακάτω.

Καταστάσεις φόρτωσης

Για να πραγματοποιηθούν τα πειράματα κάθε φορά έπρεπε να καθοριστούν

- 1) Δ (εκτόπισμα αναφοράς)
- 2) φ (γωνία διαγωγής)

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι καταστάσεις και τα εκτοπίσματα που έπρεπε να επιτευχθούν για να είναι σωστές οι μετρήσεις. Το πρότυπο για να επιτύχει το σωστό εκτόπισμα, βύθισμα αλλά και μηδενική γωνία διαγωγής(ισοβύθιστη κατάσταση) το πρότυπο ζυγίζοταν πρίν από κάθε κατάσταση, και συνυπολογίζοντας το βάρος του ποδιού στήριξης του προτύπου πάνω στο φορείο και όλων των πρόσθετων στοιχείων(πλάκα πρόσδεσης, προστατευτικές ζελατίνες) και ερματιζόταν έτσι ώστε να πλέει στις χαραγμένες ισάλους πάνω στην επιφάνεια της γάστρας όπου με την βοήθεια αυτών ήταν δυνατή η οπτική επαφή της επίτευξης του επιθυμητού βυθίσματος.

Αφού το πρότυπο ζυγίζοταν και ερματιζόταν τοποθετούνταν μέσα στην δεξαμενή βιδώνονταν πάνω στο πόδι του φορείου και με την μετακίνηση των πρόσθετων βαρών ερματισμού το πρότυπο αποκτούσε μηδενική διαγωγή, πάντα με οπτική επιβεβαίωση των χαραγμένων ισάλων.

Αποφόρτιση

Ο ελικοφόρος άξονας των ταχύπλοων δεν είναι παράλληλος με την τρόπιδα, αλλά κεκλιμένος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ώση της έλικας να αναλύεται σε δύο συνιστώσες, μία κατά την κατεύθυνση της κίνησης και μία κάθετη σε αυτήν προς τα πάνω. Η οριζόντια συνιστώσα είναι αυτή που ωθεί το σκάφος και είναι ίση με την ολική αντίσταση. Η κάθετη προς τα πάνω συνιστώσα εξισορροπεί μέρος του βάρους με αποτέλεσμα σε κάθε ταχύτητα να έχουμε μία αντίστοιχη μείωση του εκτοπίσματος.

Δηλαδή:

$$R = T \cdot \cos(\tau + trim)$$

$$\delta\Delta = T \cdot \sin(\tau + trim)$$

Από τις δύο αυτές σχέσεις προκύπτει η μείωση του εκτοπίσματος

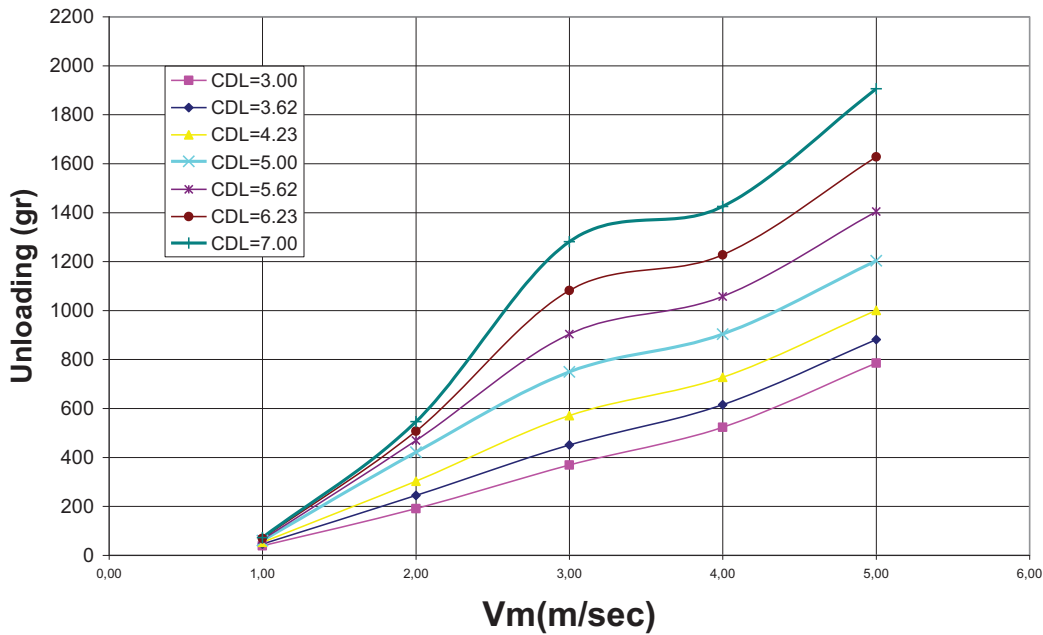
$$\delta\Delta = R \cdot \tan(\tau + trim) \quad (3.1)$$

όπου τ : κλίση μεταξύ ελικοφόρου άξονα και τρόπιδας

Trim: η δυναμική διαγωγή στην εκάστοτε ταχύτητα

Έτσι αρχικά εκτελούνται μετρήσεις της αντίστασης και της δυναμικής διαγωγής, σε όλη την περιοχή των ταχυτήτων με βήμα 1m/s. Έχοντας τις τιμές αυτές μπορούμε να υπολογίσουμε την καμπύλη της αποφόρτισης με την ταχύτητα από την σχέση (3.1). Από την καμπύλη αυτή θα πάρουμε και τις αποφορίσεις για τις ενδιάμεσες ταχύτητες.

Unloading calculations



Συναρτήσεις μεταφοράς -Βαθμονόμηση

Οι συναρτήσεις μεταφοράς είναι η σχέση που συνδέει τα Volt με τα αντίστοιχα μετρήσιμα μεγέθη. Οι συναρτήσεις μεταφοράς είναι διαφορετικές για κάθε όργανο και κατασκευάζονται πριν από κάθε μέρα διεξαγωγής πειράματος. Το δυναμόμετρο μετρά την αντίσταση, την δυναμική διαγωγή και την κάθετη ανύψωση του κέντρου βάρους κατά την διάρκεια των πειραμάτων. Η δύναμη της αντίστασης και οι σχετικές κινήσεις που καταγράφονται είναι ηλεκτρικά σήματα έρχονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του φορείου μέσω καναλιών. Η αναγνώριση των σημάτων αυτών των καναλιών είναι στην μορφή Volt. Για να μεταφράσουμε τα σήματα των Volt που καταγράφονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή είναι απαραίτητες οι συναρτήσεις μεταφοράς. Οι συναρτήσεις μεταφοράς αντιστοιχίζουν Volt σε μεγέθη. Τις συναρτήσεις μεταφοράς τις κατασκευάζουμε χρησιμοποιώντας γνωστά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για μέτρηση. Για αντίσταση χρησιμοποιούνται γνωστά βάρη που μπαίνουν στο δυναμόμετρο, για την διαγωγή χρησιμοποιούνται σφήνες με γνωστή τη γωνία κατασκευής τους, για την ανύψωση μετακινείται το πόδι σε μετρημένες αποστάσεις αναδυόμενο και βυθιζόμενο, ενώ για την μέτρηση του κύματος μετακινούνται κατά μετρημένες αποστάσεις μέσα στο νερό οι ράβδοι έτσι ώστε να βρίσκεται στο νερό το μετρητικό όργανο σε γνωστή απόσταση αναπαριστώντας έτσι την βύθιση του και την ανάδυσή του στην διάρκεια των πειραμάτων με κυματισμούς.

Η βαθμονόμηση των οργάνων γινόταν κάθε μέρα πραγματοποίησης των πειραμάτων πριν ξεκινήσουν. Η θερμοκρασία η υγρασία αλλά και η χρήση των οργάνων αλλάζουν τις ενδείξεις τους και έτσι υπάρχει πάντα κίνδυνος καταγραφής λάθος αποτελεσμάτων, σε περίπτωση μη κατασκευής βαθμονομήσεων με ακρίβεια.

Συναρτήσεις μεταφοράς κατασκευάζονται:

- Για το δυναμόμετρο μέτρηση αντίστασης
- Για την ανύψωση κύματος στο όργανο του φορείου
- Για την ανύψωση κύματος μπροστά από τον κυματιστήρα (waveprobe)
- Για την μέτρηση διαγωγής με τη χρήση πρότυπων γωνιών

Επεξεργασία και απόκτηση αποτελεσμάτων

Η εκτέλεση των πειραμάτων υπό συνθήκες πλήρους ομοιότητας είναι αδύνατη. Πλήρης ομοιότητα θα είχαμε αν διατηρούσαμε σταθερούς τους αριθμούς Re και Fn όμως $Re_s \gg Re_m$.

Η αναγωγή των αποτελεσμάτων σε σκάφη πραγματιού μεγέθους μπορεί να γίνει με την μέθοδο Froude. Η υπόθεση διατυπώθηκε από τον Froude(1868) και σύμφωνα με αυτήν ο συντελεστής αντίστασης του πλοίου είναι το άθροισμα δύο άλλων συντελεστών

$$C_T(Re, Fr) = C_F(Re) + C_R(Fr)$$

C_T : συντελεστής ολικής αντίστασης του πλοίου

C_F : συντελεστής αντίστασης τριβής εξαρτώμενος μόνο από τον αριθμό Re ο οποίος μπορεί να ληφθεί ίσος με την αντίσταση τριβής επίπεδης πλάκας στον ίδιο αριθμό Re.

C_R : συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης (κυρίως αντίστασης κυματισμού) που εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό Fn.

Για την διατύπωση αυτή ο Froude βασίστηκε στο γεγονός και την πειραματική εμπειρία ότι η διαφορά $C_T(Re, Fr) - C_{F,επίπεδη_πλάκα}(Re)$ είναι περίπου σταθερή (ανεξάρτητη του αριθμού Re) για γεωμετρικά όμοια πρότυπα πλοίων.

Σύμφωνα με την μέθοδο του Froude για να αναγάγω τα πειραματικά αποτελέσματα από την κλίμακα προτύπου σε πλοίο βασιζόμαστε στο γεγονός ότι ο αριθμός Froude παραμένει σταθερός:

$$Fn_m = Fn_s \Rightarrow V_s = \frac{V_m}{\sqrt{\lambda}} \quad (3.2)$$

Ο συντελεστής αντίστασης του προτύπου υπολογίζεται από την σχέση:

$$C_{Tm} = \frac{R_{Tm}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2 \cdot S_m} \quad (3.3)$$

R_{Tm} η πειραματικά μετρούμενη αντίσταση του προτύπου

ρ : η πυκνότητα του νερού της δεξαμενής στην θερμοκρασία διεξαγωγής των πειραμάτων

V_m : η ταχύτητα του προτύπου

S_m : η βρεχόμενη επιφάνεια του προτύπου σε κάθε ταχύτητα

Ο συντελεστής αντίστασης επίπεδης πλάκας, για το πρότυπο υπολογίζεται από την σχέση

$$C_F(\text{Re}) = \frac{0.075}{(\log_{10} \text{Re} - 2)^2} \quad (3.4)$$

Υπολογίζω τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης του προτύπου από τη σχέση

$$C_{Rm} = C_{Tm} - C_{Fm} \quad (3.5)$$

Σύμφωνα με την υπόθεση Froude η υπόλοιπη αντίσταση εξαρτάται μόνο από τον αριθμό Froude και επειδή θεωρήσαμε $Fn_m = Fn_s \Rightarrow C_{RS}(Fn) = C_{Rm}(Fn)$.

Υπολογίζοντας τον συντελεστή αντίστασης επίπεδης πλάκας για το πλοίο, χρησιμοποιώντας την σχέση (3.4) τελικά η αντίσταση για το πλοίο θα είναι

$$C_{TS} = C_{FS} + C_{Rm} - C_A$$

όπου C_A είναι ο συντελεστής συσχέτισης πλοίου- προτύπου.

Η αντίσταση του πλοίου σε κάθε ταχύτητα θα είναι $R_{TS} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_s^2 \cdot S_s \cdot C_{TS}$

όπου S_s η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου που προκύπτει από την γεωμετρική ομοιότητα και είναι $S_s = \lambda^2 \cdot S_m$

και ρ η πυκνότητα θαλασσινού νερού στους 15°C.

Όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί για την αναγωγή των αποτελεσμάτων έγιναν με την χρήση του προγράμματος Resout τα αποτελέσματα του οποίου φαίνονται παρακάτω.

ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ-ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Το πρότυπο δοκιμάστηκε σε διαφορετικές ταχύτητες, σε 17 ταχύτητες στο ήρεμο νερό για 7 καταστάσεις φόρτωση και σε 2 αριθμούς F_n σε δύο καταστάσεις φόρτωσης σε αρμονικούς και φασματικούς κυματισμούς. Σε αυτό το σημείο κρίνεται χρήσιμο να παρουσιαστούν οι σχέσεις των διαφόρων μεγεθών της πειραματικής κλίμακας και της πραγματικής κλίμακας.

Ο δείκτης m είναι προφάνες ότι αναφέρεται στο πρότυπο(model) και ο δείκτης S στο πλοίο(Ship).

$$\text{Κλίμακα(Scale)} \quad \lambda = \frac{L_S}{L_m} \quad \Rightarrow L_S = \lambda \cdot L_m$$

$$\text{Αριθμός Froude} \quad Fn_m = \frac{V_m}{\sqrt{gL_m}} = \frac{V_S}{\sqrt{gL_S}} = Fn_S$$

$$\text{Ταχύτητα (Velocity)} \quad V_S = \lambda^{1/2} \cdot V_m$$

$$\text{Πρόσθετη αντίσταση (Added resistance)} \quad R_{AW,S} = \lambda^3 (1.025) \cdot R_{AW,M}$$

$$\text{Περίοδος (χρόνος) (period,time)} \quad T_S = \sqrt{\lambda} \cdot T_m$$

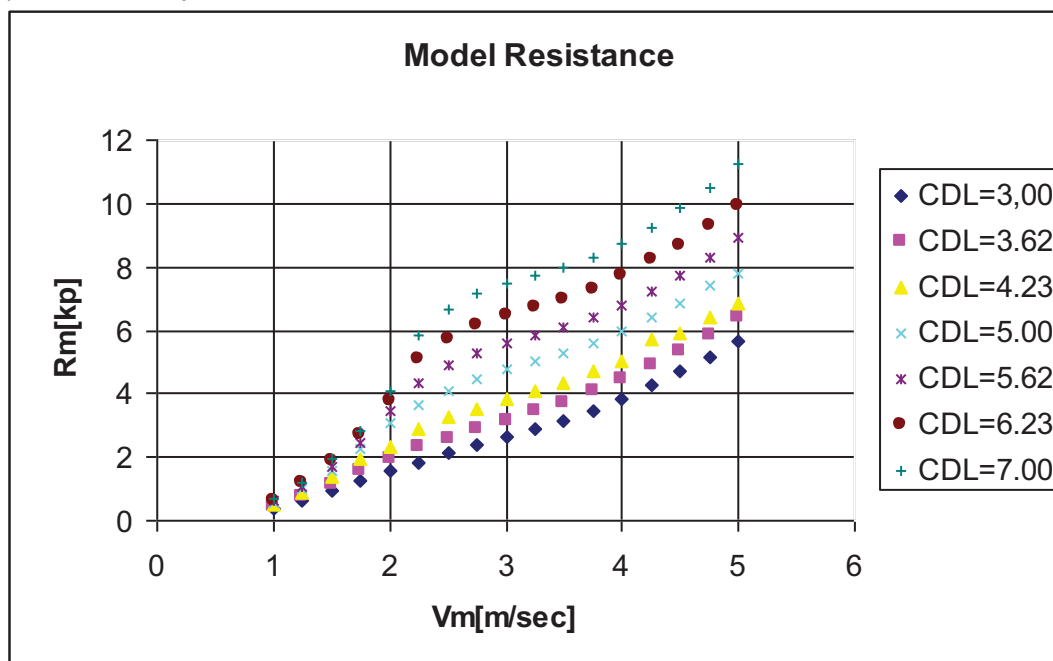
$$\text{Εκτόπισμα (Displacement)} \quad \Delta_S = \lambda^3 (1.025) \Delta_m$$

$$\text{Συχνότητα (frequency)} \quad f_S = \lambda^{-1/2} f_m$$

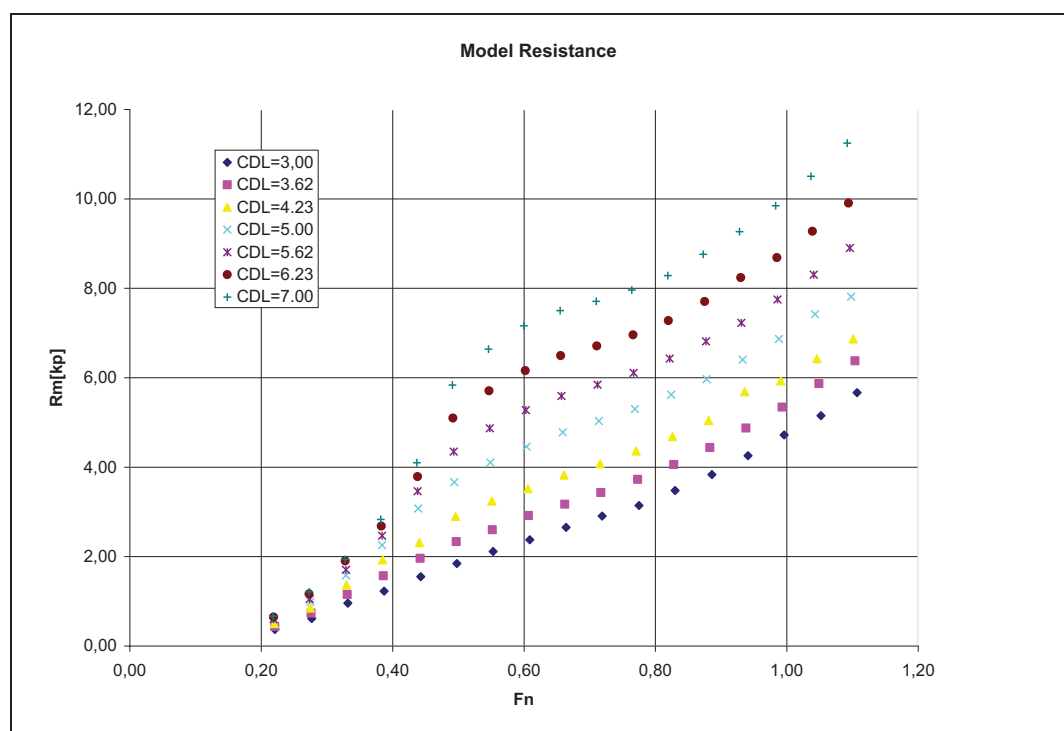
$$\text{Επιταχύνσεις (Accelerations)} \quad A_{C,S} = A_{C,m}$$

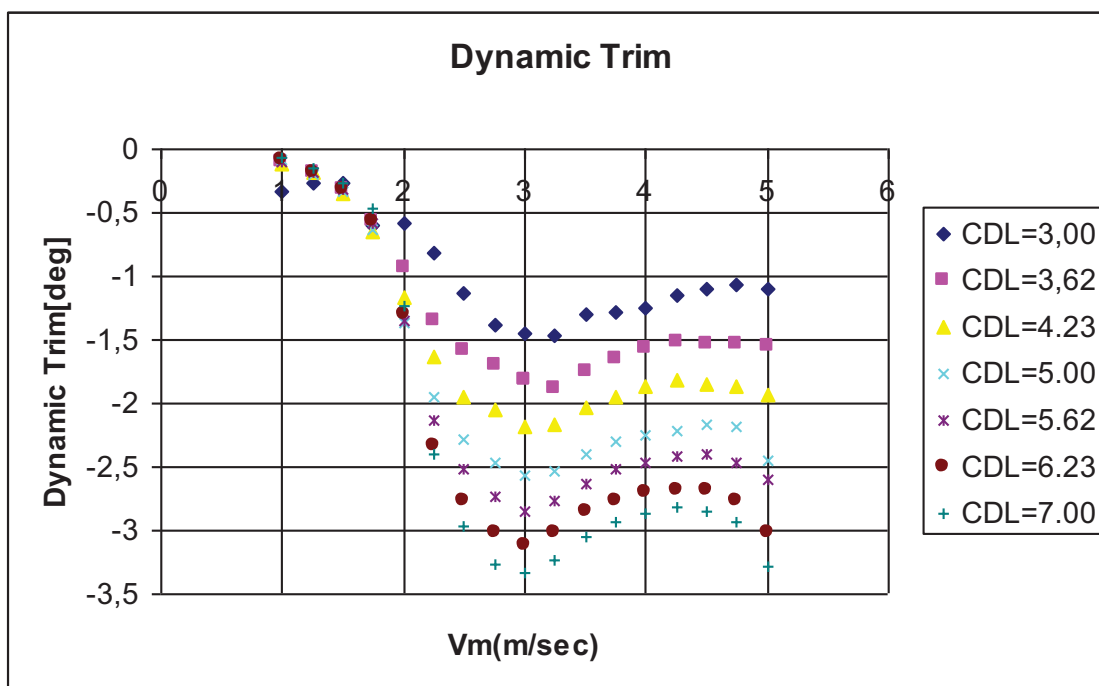
3.1.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

Τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων των πειραμάτων αντίστασης σε ήρεμο νερό φαίνονται παρακάτω.

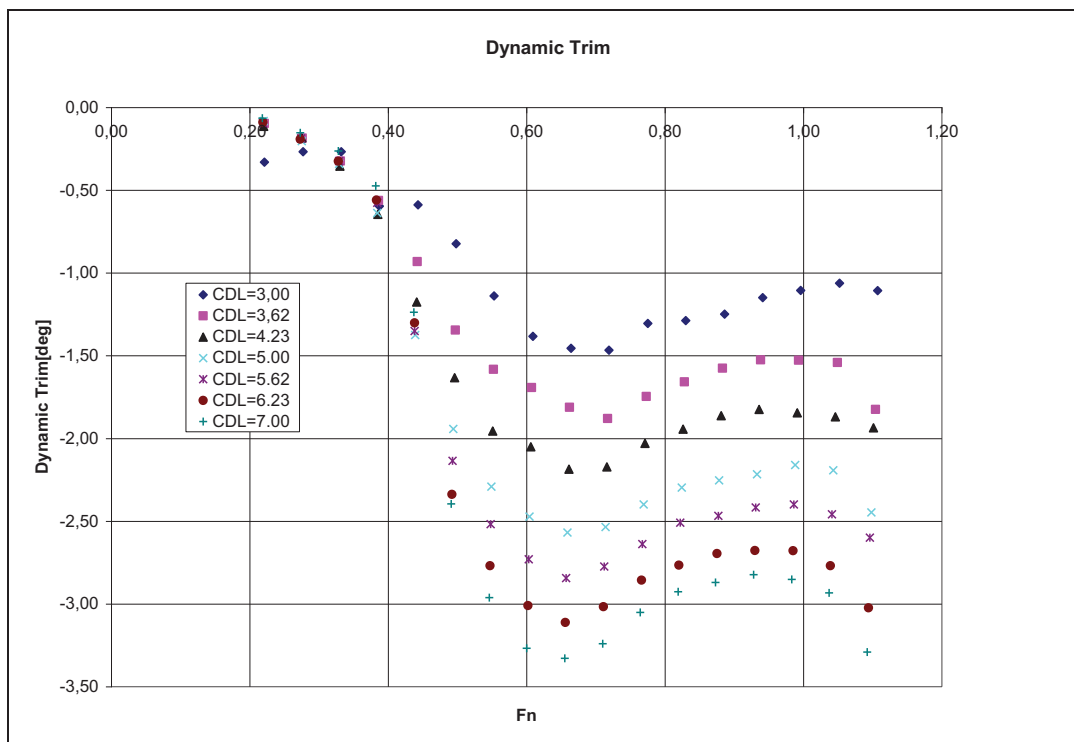


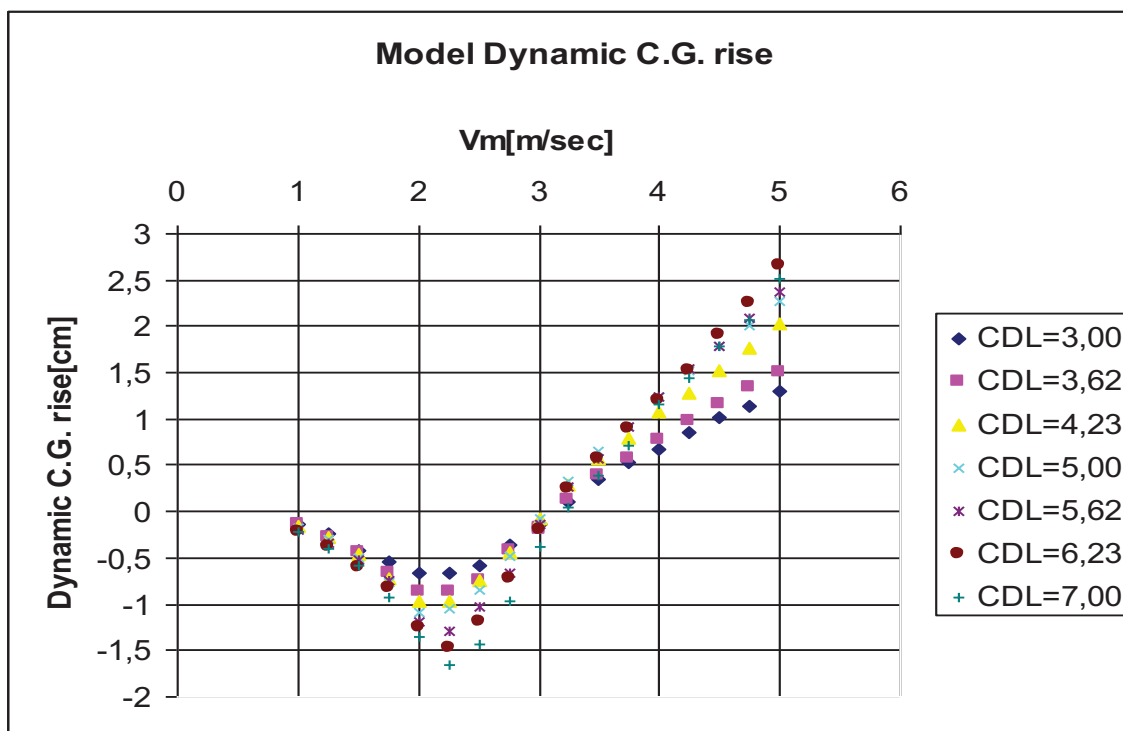
Γράφημα 1. Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζεται η αντίσταση R_m του πρότυπου με $B/L=3,25$ στις 17 προαναφερθείσες ταχύτητες. Κάθε οικογένεια σημείων αναφέρεται σε έκαστη κατάσταση φόρτωσης με δείκτη τον αδιάστατο συντελεστή C_{DL} που ορίστηκε παραπάνω.



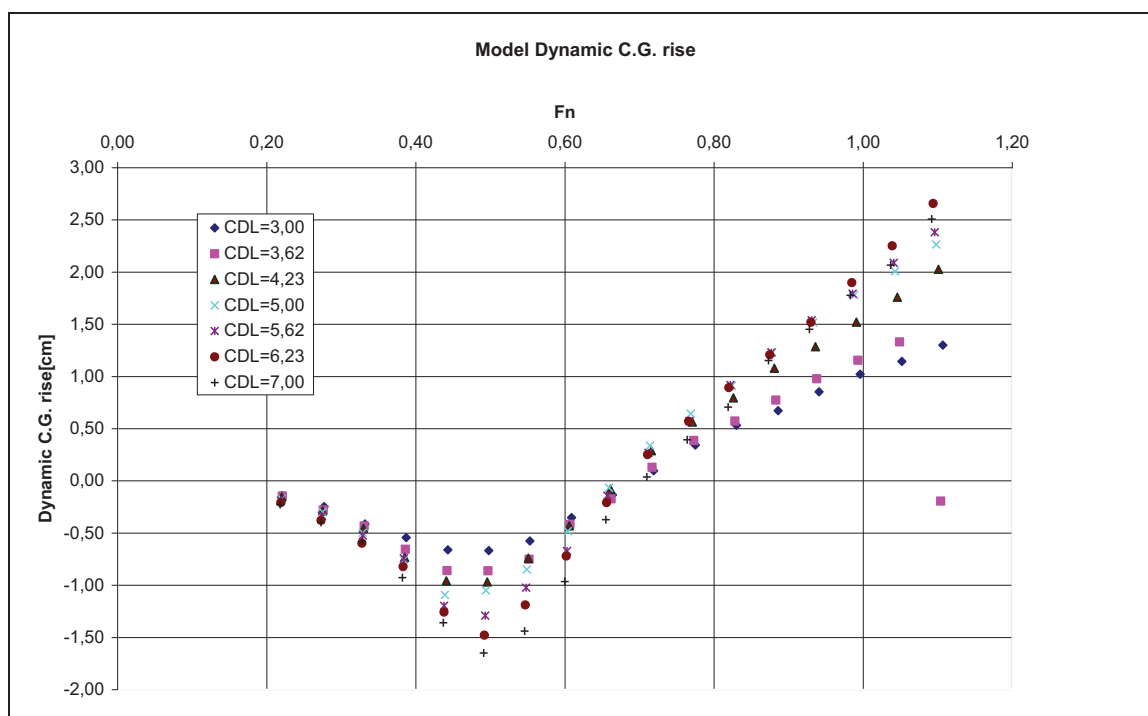


Γράφημα2. Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζεται η Δυναμική διαγωγή του πρότυπου με $B/L=3,25$ στις 17 προαναφερθείσες ταχύτητες. Κάθε οικογένεια σημείων αναφέρεται σε έκαστη κατάσταση φόρτωσης με δείκτη τον αδιάστατο συντελεστή C_{DL} που ορίστηκε παραπάνω.





Γράφημα 3. Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζεται η αντίσταση Δυναμική ανύψωση του κέντρου βάρου του πρότυπου με $B/L=3,25$ στις 17 προαναφερθείσες ταχύτητες. Κάθε οικογένεια σημείων αναφέρεται σε έκαστη κατάσταση φόρτωσης με δείκτη τον αδιάστατο συντελεστή C_{DL} που ορίστηκε παραπάνω.



3.1.2.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 185/05 ΜΕ ΛΟΓΟ L/B=3.25 ΣΤΟ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

1.Αντίσταση προτύπου-Model resistance

Στην αποτύπωση των ζευγών τιμών αντίστασης σε κάθε ταχύτητα είναι ξεκάθαρο ότι όσο αυξάνεται η κατάσταση φόρτωσης $C_{DL} = \frac{\nabla}{(0.1 \cdot L_{WL})^3}$ του προτύπου έχουμε

και άυξηση των τιμών της αντίστασης.

Η αντίσταση αυξάνεται σχεδόν γραμμικά για τις καταστάσεις φόρτωσης με $C_{DL} = 3.00$, $C_{DL} = 3.62$, $C_{DL} = 4.23$, $C_{DL} = 5.00$, ενώ στις καταστάσεις με $C_{DL} = 5.62$ $C_{DL} = 6.23$ $C_{DL} = 7.00$ παρατηρείται μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης μετά την ταχύτητα των 2.25m/s.

Μεγιστη τιμή Αντίστασης:

Εμφανώς είναι στην $C_{DL} = 7.00$ με ταχύτητα $V=5\text{m/s}$

C_{DL}	$V_m[\text{m/s}]$	RES[kp]
7.00	5m/s	11.2448

Ελάχιστη τιμή αντίσταση

Εμφανώς είναι στην $C_{DL} = 3.00$ με ταχύτητα $V=1\text{m/s}$

C_{DL}	$V_m[\text{m/s}]$	RES[kp]
3.00	1m/s	0.3696

Επίδραση ταχύτητας $V_m(\text{m/s})$ προτύπου: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα αυξάνεται και η αντίσταση χωρίς να παρατηρείται σημείο μείωσης της αντίστασης, όσον αφορά την διαστατοποιημένη αντίσταση.

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται η κατάσταση φόρτωση αυξάνεται και η αντίσταση χωρίς να παρατηρείται σημείο μείωσης της αντίστασης, όσον αφορά την διαστατοποιημένη αντίσταση[kp].

2. Δυναμική Διαγωγή προτύπου-Model Dynamic Trim

Στην αποτύπωση των ζευγών τιμών αντίστασης σε κάθε ταχύτητα είναι ξεκάθαρο ότι όσο αυξάνεται η κατάσταση φόρτωσης $C_{DL} = \frac{\nabla}{(0.1 \cdot L_{WL})^3}$ του προτύπου έχουμε και άυξηση των απολύτων τιμών της διαγωγής.

Η διαγωγή ακολουθεί παρόμοια ποιοτική συμπεριφορά για τις καταστάσεις φόρτωσης

$C_{DL} = 3.00, C_{DL} = 3.62, C_{DL} = 4.23, C_{DL} = 5.00, C_{DL} = 5.62, C_{DL} = 6.23, C_{DL} = 7.00$ Σε όλες τις καταστάσεις μια περιοχή αύξησης της διαγωγής με βελτίωση της γωνίας διαγωγής μετά από 3.25m/s έως 4.25 m/s όπου παρατηρείται μείωση της γωνίας σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης.

Μετά από την ταχύτητα 4.25 m/s παρατηρείται μια εμφανείς αύξηση της γωνίας διαγωγής ειδικά στις καταστάσεις φόρτωσης $C_{DL} = 4.23, C_{DL} = 5.00, C_{DL} = 5.62, C_{DL} = 6.23$ και $C_{DL} = 7.00$.

Μετά από την ταχύτητα 4.25 στην κατάσταση $C_{DL} = 3.00$ μετά το τοπικό μέγιστο διαγωγής παρουσιάζεται μείωση της διαγωγής.

Μετά από την ταχύτητα 4.25 την κατάσταση $C_{DL} = 3.62$ είναι λιγότερο εμφανείς η τάση αύξησης της γωνίας για δεύτερη φορά στο διάστημα ταχυτήτων 1-5m/s.

Ερμηνεία προσήμων:

- Θετικές τιμές trim έχουμε για έμπρορη διαγωγή
- Αρνητικές τιμές trim έχουμε για έμπρυμη διαγωγή (Βυθισμένη πρύμνη)

Μεγιστη απόλυτη τιμή Διαγωγής :

Εμφανώς είναι στην $C_{DL} = 7.00$ με ταχύτητα $V=3\text{m/s}$

C_{DL}	$V_m[\text{m/s}]$	Dyn.Trim[deg]
7.00	3m/s	-3.3281

Ελάχιστη απόλυτη τιμή Διαγωγής :

Εμφανώς είναι στην $C_{DL} = 7.00$ με ταχύτητα $V=1\text{m/s}$

C_{DL}	$V_m[\text{m/s}]$	Dyn.Trim[deg]
7.00	1m/s	-0.0638

Επίδραση ταχύτητας $V_m(\text{m/s})$ προτύπου: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε δεν υπάρχει ίδια συμπεριφορά της διαγωγής του προτύπου όσο αυξάνεται η τιμή της ταχύτητας. Υπάρχει η πρώτη περιοχή τιμών διαγωγής όπου μέχρι την ταχύτητα $V_m=3(\text{m/s})$ η διαγωγή αυξάνεται κατα απόλυτη τιμή, δηλαδή έχουμε αύξηση της βύθισης της πρύμνης. Μετά από αυτήν την ταχύτητα έχουμε μείωση της διαγωγής και μετά από την ταχύτητα 4.25m/s έχουμε για δεύτερη φορά στο διάστημα 1-5 m/s τάση του προτύπου να αυξάνει την διαγωγή του με την αύξηση της ταχύτητας.

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται η κατάσταση φόρτωση αυξάνεται και η διαγωγή με έντονη διαφοροποίηση των κοίλων της σειράς σημείων για τις καταστάσεις $C_{DL} = 5.00, C_{DL} = 5.62, C_{DL} = 6.23$ και $C_{DL} = 7.00$.

3. Δυναμική Ανύψωση του κέντρου βάρους του προτύπου-Model Dynamic

CG rise

Αντίθετα με την συμπεριφορά την αντίστασης και της δυναμικής διαγωγής η συμπεριφορά της ανύψωσης του κέντρου βάρους δεν διαφοροποιείται έντονα για την κάθε κατάσταση φόρτωσης. Το πρότυπο δείχνει ίδια ποιοτική συμπεριφορά στην κάθε κατάσταση αλλά με διαφοροποιημένες τις ακραίες τιμές αλλά και τους ρυθμούς αύξησης. Στην αποτύπωση των ζευγών τιμών αντίστασης σε κάθε ταχύτητα είναι ξεκάθαρο ότι παρουσιάζεται μια περιοχή βύθισης του προτύπου(αρνητικές τιμές) και μετά από ορισμένη ταχύτητα για κάθε κατάσταση φόρτωσης ανύψωση μέχρι την μέγιστη τιμή της.

Περιοχή ταχυτήτων από 1m/s έως 2.25 m/s.

Από την ταχύτητα 1m/s, δηλαδή την αρχική ταχύτητα μέχρι την ταχύτητα 2.25m/s είναι εμφανής η τάση του προτύπου να βυθίζεται μέσα στο νερό, γεγονός που επιβεβαιώνεται και με την συμπεριφορά της διαγωγής στην περιοχή των ταχυτήτων αυτών. Παρατηρείται η μέγιστη βύθιση σε αυτήν την ταχύτητα για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης.

Περιοχή ταχυτήτων μετά από την ταχύτητα 2.25m/s έως 5m/s

Μετά από το σημείο μέγιστης βύθισης το πρότυπο αυξάνει μειώνει την βύθιση του από την κατάσταση ισορροπίας όπου μετά την ταχύτητα **2.75m/s** η τιμές της ανύψωσης γίνονται θετικές. Μετά από την ταχύτητα **2.75m/s** το πρότυπο ανυψώνεται από την κατάσταση ισορροπίας μέχρι να φτάσει τις μέγιστες τιμές για εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης στην ταχύτητα **5 m/s**.

Ερμηνεία προσήμων:

- Θετικές τιμές heave έχουμε για ανύψωση του κέντρου βάρους
- Αρνητικές τιμές έχουμε για βύθιση του κέντρου βάρους

Μέγιστη βύθιση προτύπου :

Εμφανώς είναι στην $C_{DL} = 7.00$ με ταχύτητα $V=2.25\text{m/s}$

C_{DL}	$V_m[\text{m/s}]$	Dyn.CG rise[cm]
7.00	2.25m/s	-1.6487

Μέγιστη ανύψωση προτύπου:

Εμφανώς είναι στην $C_{DL} = 6.23$ με ταχύτητα $V=5\text{m/s}$

C_{DL}	$V_m[\text{m/s}]$	Dyn.CG rise[cm]
6.23	5m/s	2.6569

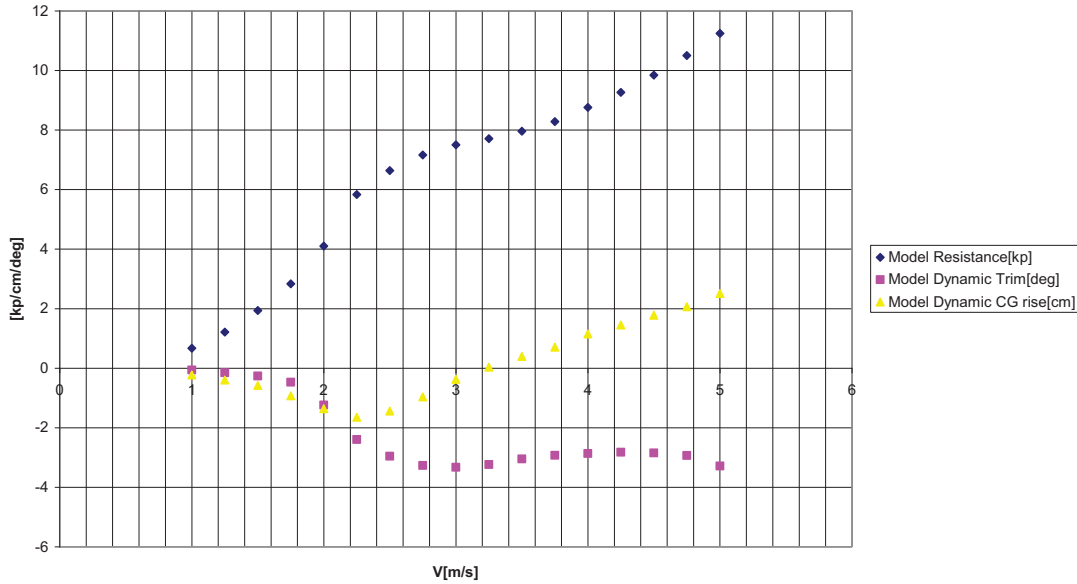
Επίδραση ταχύτητας V_m (m/s) προτύπου: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε η ταχύτητα επηρεάζει κατά πολυ την συμπεριφορά του προτύπου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω σε μικρές τιμές ταχύτητας το σκάφος παρουσιάζει βύθιση. Μετά την ταχύτητα 2.25m/s το σκάφος αποκτά θετικές τιμές δυναμικής ανύψωσης.

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι δεν υπάρχει επίδραση της κατάστασης φόρτωσης.

Όσο αυξάνεται η κατάσταση φόρτωσης μέχρι η δυναμική ανύψωση να πάρει θετικές τιμές(μετά την ταχύτητα 2.25m/s) παρατηρούμε ότι παρουσιάζεται και μεγαλύτερη βύθιση. Αντίθετα στις θετικές τιμές η κλίση της σειράς των σημείων αντιστρέφεται και παρατηρούμε μεγαλύτερες τιμές ανύψωσης για μεγαλύτερες τιμές C_{DL} που σημαίνει οτι το πρότυπο έχει καλύτερη συμπεριφορά στις μεγαλύτερες καταστάσεις φόρτωσης.(Ανύψωση CG σημαίνει άνοδος ολόκληρου του προτύπου και μείωση της βρεχόμενης επιφάνειας)

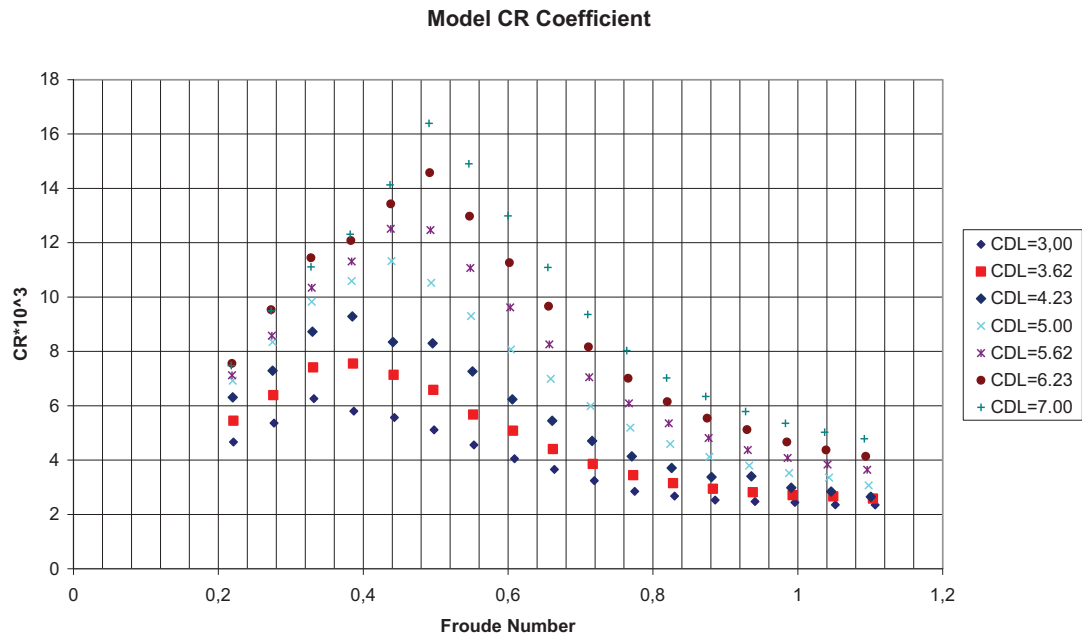
Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η κοινή παρουσίαση των καταγεγραμμένων τιμών αντίστασης, δυναμικής ανύψωσης και δυναμικής διάγωγής, για παράδειγμα στην κατάσταση φόρτωσης με $C_{DL} = 7.00$.

Παρουσίαση συμπεριφοράς στην κατάσταση με $C_{dl}=7.00$ σε κοινό διάγραμμα



ΜΕΘΟΔΟΣ FROUDE

Οι χρήσιμοι υπολογισμοί της μεθόδου Froude αποκτήθηκαν με την χρήση του προγράμματος Resout. Τα αποτελέσματα της μεθόδου φαίνονται παρακάτω και είναι σε κατάλληλη αδιάστατη μορφή έτσι ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα κατα την σύγκρισή τους με τα άλλα πρότυπα της Σειρας του ΕΜΠ.(NTUA SERIES)



Συμπεράσματα αποτελεσμάτων στο Ήρεμο Νερό της μεθόδου Froude

Στα παραπάνω διαγράμματα είναι καταγεγραμμένη η συμπεριφορά του προτύπου στις 7 καταστάσεις φόρτωσης που πειραματιστήκαμε και στις 17 ταχύτητες έως την ταχύτητα 5 m/s με βήμα αύξησης 0.25m/s. Ο αδιάστατος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης σύμφωνα με την μέθοδο Froude παραμένει ίδιος για το πρότυπο και το σκάφος μεγάλης κλίμακας. Η ισότητα αυτή φανερώνει και την μέγιστη χρησιμότητα των πειραματικών μεθόδων υπολογισμού της αντίστασης.

Στην αποτύπωση των ζευγών τιμών αντίστασης σε κάθε ταχύτητα είναι ξεκάθαρο ότι όσο αυξάνεται η κατάσταση φόρτωσης $C_{DL} = \frac{V}{(0.1 \cdot L_{WL})^3}$ του προτύπου έχουμε

και αύξηση των τιμών του συντελεστή Υπόλοιπης Αντίστασης, γεγονός που αποδείχθηκε και στα παραπάνω γραφήματα της αντίστασης.

Στις 7 καμπύλες ο συντελεστής παρουσιάζει τοπικό μέγιστο για κάθε κατάσταση σε διαφορετικό αριθμό Froude.

Ο C_R αυξάνεται σχεδόν γραμμικά για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης μέχρι την μέγιστη τιμή του και μετά παρατηρούνται πτωτικές τιμές μέχρι την ελάχιστη τιμή. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι σε κάθε κατάσταση φόρτωσης η ελάχιστη τιμή της του συντελεστή δίνεται στη μέγιστη τιμή της ταχύτητας 5m/s.

Μεγιστες τιμές του Αδιάστατου Συντελεστή Υπόλοιπης Αντίστασης για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	$C_R \cdot 10^3$
3.00	0.332	6.261
3.62	0.386	7.550
4.23	0.385	9.285
5.00	0.439	11.320
5.62	0.438	12.508
6.23	0.492	14.576
7.00	0.491	16.389

Ελάχιστες τιμές του Αδιάστατου Συντελεστή Υπόλοιπης Αντίστασης για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	$C_R \cdot 10^3$
3.00	1.107	2.343
3.62	1.104	2.576
4.23	1.101	2.644
5.00	1.098	3.637
5.62	1.096	3.638
6.23	1.094	4.132
7.00	1.092	4.782

Επίδραση ταχύτητας $V_m(m/s)$ προτύπου: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα αυξάνεται και ο συντελεστής και μετά παρατηρείται πτώση. Που σημαίνει ότι η ταχύτητα είναι ένας καθοριστικός παράγοντας και ταυτόχρονα ωφελεί την συμπεριφορά όσον αφορά την μείωση του συντελεστή του προτύπου.

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται η κατάσταση φόρτωση αυξάνεται και ο συντελεστής Υπόλοιπης Αντίστασης με παρόμοια συμπεριφορά κάθε κατάστασης.

Ο Συντελεστής Ολικής Αντίστασης του προτύπου, $C_T \cdot 10^3$

Η συμπεριφορά του προτύπου ως προς τον συντελεστή C_T είναι παρόμοια με το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης C_T . Σε κάθε κατάσταση φόρτωσης παρουσιάζεται ένα τοπικό μέγιστο και μετά από αυτήν την τιμή ο συντελεστής και συνεπώς η αντίσταση μειώνεται μέχρι την ελάχιστη τιμή.

Μεγιστες τιμές του Αδιάστατου συντελεστή Ολικής Αντίστασης για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	$C_T \cdot 10^3$
3.00	0.332	9.931
3.62	0.386	11.110
4.23	0.385	12.842
5.00	0.439	14.785
5.62	0.438	15.971
6.23	0.492	17.961
7.00	0.491	19.772

Ελάχιστες τιμές του Αδιάστατου Συντελεστή Ολικής Αντίστασης για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	$C_T \cdot 10^3$
3.00	1.107	5.292
3.62	1.104	5.522
4.23	1.101	5.607
5.00	1.098	6.008
5.62	1.096	6.576
6.23	1.094	7.069
7.00	1.092	7.717

3.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

Γενικά

Για να πραγματοποιηθούν τα πειράματα κάθε φορά έπρεπε να καθοριστούν

- 1) Δ(εκτόπισμα αναφοράς)
- 2) φ(γωνία διαγωγής)
- 3) $\tau_{αδ}$ (ακτίνα αδρανείας)

Όπως περιγράφηκε και στην προηγούμενη παράγραφο επιτυγχάνονταν κάθε φορά το σωστό βύθισμα και η σωστή διαγωγή αλλά αφού είχε βρεθεί πρώτα η κατανομή των βαρών για την σωστή περίοδο ιδιοταλάντωσης που περιγράφεται παρακάτω.

Όποια στοιχεία είχαμε για την χρήση τους στο ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ φυσικά θεωρήθηκαν ως δεδομένα για την συνέχιση των πειραμάτων σε κυματισμούς.

Ροπή αδράνειας

Η απαιτούμενη διαγωγή μιας δεδομένης καταστασης φόρτωσης μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους (συνδυασμούς κατανομή βαρών) κατα μήκος του σκάφους. Ο τρόπος τοποθέτησης των βαρών είναι βασικό χαρακτηριστικό φόρτωση και δίνει στο σκάφος μοναδική περίοδο ιδιοταλάντωσης. Η περίοδος ιδιοταλάντωσης είναι μέγεθος που χαρακτηρίζει την ροπή αδράνειας του σκάφους. Για την διεξαγωγή των πειραμάτων δυναμική συμπεριφοράς το πρότυπο πρέπει να βρίσκεται στο σωστό εκτόπισμα και σωστή διαγωγή και η κατανομή των βαρών ζυγοστάθμισης να είναι τέτοια ώστε η ακτίνα αδρανείας να είναι αντίστοιχη του σκάφους στο πραγματικό μέγεθος. Κατα συνέπεια η ακτίνα αδρανείας γύρω από τον άξονα Ογ πρέπει να είναι αντίστοιχη του πλοίου. Από την κατανομή βαρών υπάρχοντων πλοίων έχει προσδιοριστεί ότι η ακτίνα αδρανείας των σκαφών είναι περίπου $0.25L_{BP}$. Έτσι το πρότυπο δοκιμάζεται σε διαφορετικές κατανομές βαρών έτσι ώστε να εποτευχθεί η σωστή ακτίνα αδρανείας.

Γίνεται επίσης η παραδοχή ότι $I_{\Pi-OY} = I_{\Pi-OZ}$

Ευρεση ακτίνας αδρανείας και περιόδου ιδιοταλάντωσης

Για τον υπολογισμό της ακτίνας αδρανείας για το συγκεκριμένο μοντέλο για έκαστη κατάσταση φόρτωσης : $C_{DL} = 5.00$ και $C_{DL} = 7.00$ υπολογίστηκε η περίοδος ιδιοταλάντωσης του. Στο χώρο του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής, το μοντέλο αφού ζυγίστηκε και υπολογίστηκε το βάρος τοποθετήθηκε στο νερό για να τοποθετηθούν τα βάρη με τέτοιο τρόπο ώστε να πλέει ισοβύθιστο.

Το μοντέλο με την βοήθεια των δύο γερανών του εργαστηρίου μετακινήθηκε και προσδέθηκε με δύο ιμάντες στις δύο ράβδους που προορίζονται για αυτόν το σκοπό. Το μοντέλο ταλαντώθηκε ελεύθερα περί τον κάθετο άξονα και μετρήθηκε η περίοδος ταλάντωσης και τις δύο φορές.

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

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{I_{zz} \cdot l}{\Delta \cdot a^2 \cdot g}} \quad (1)$$

όπου

T:η περίοδος ιδιοταλάντωσης του συστήματος περί τον zz

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

l μήκος από τα στελέχη από τα οποία αναρτάται το μοντέλο ωστο σημείο που είναι δεμένα

Δ η μάζα του μοντέλου-ιμάντων ανάρτησης

a: η ημιαπόσταση των στελεχών, έτσι ώστε να εκφράζει την απόστασή τους από την CL

Από ανάλυση της κατανομής υπαρχόντων πλοίων,όπω αναφέρθηκε και παραπάνω έχει βρεθεί ότι ακτίνα αδρανείας είναι περίπου $r_{zz}=0.25L_{BP}$, κάτι που επαληθεύεται και από την προαναφερθήσα διαδικασία. Επίσης ισχύει ότι

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

Αντικαθιστώντας στον τύπο της περιόδου (1) την σχέση (2)

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{r_{zz}^2 \cdot l}{a^2 \cdot g}} \Leftrightarrow T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_{zz}}{a} \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3)$$

Για το μοντέλο NTUA-185/05

$$r_{zz}=0.25L_{BP}=0.25 \cdot 2.1135=0,528375m$$

$$l=4.05$$

$$\sqrt{\frac{l}{g}} = 0.553$$

$$I_{zz} = r_{zz}^2 \cdot \Delta = 13.17525$$

$$a=148/2=74$$

Cdl	Δ	Lbp	rzz	$2 \cdot \pi \cdot r_{zz}$	$2 \cdot \pi \cdot r_{zz}/a$	$(l/g)^{0,5}$	περίοδος
5,00	47,215	2,1135	0,528375	3,318195	4,48405	0,64253	2,88113
7,00	68,386	2,1381	0,534525	3,356817	4,53624	0,64253	2,91467

Η πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς του προτύπου σε κυματισμούς πραγματοποιήθηκε στην Πειραματική Δεξαμενή για αρμονικούς κυματισμούς και σε φασματικούς κυματισμούς.

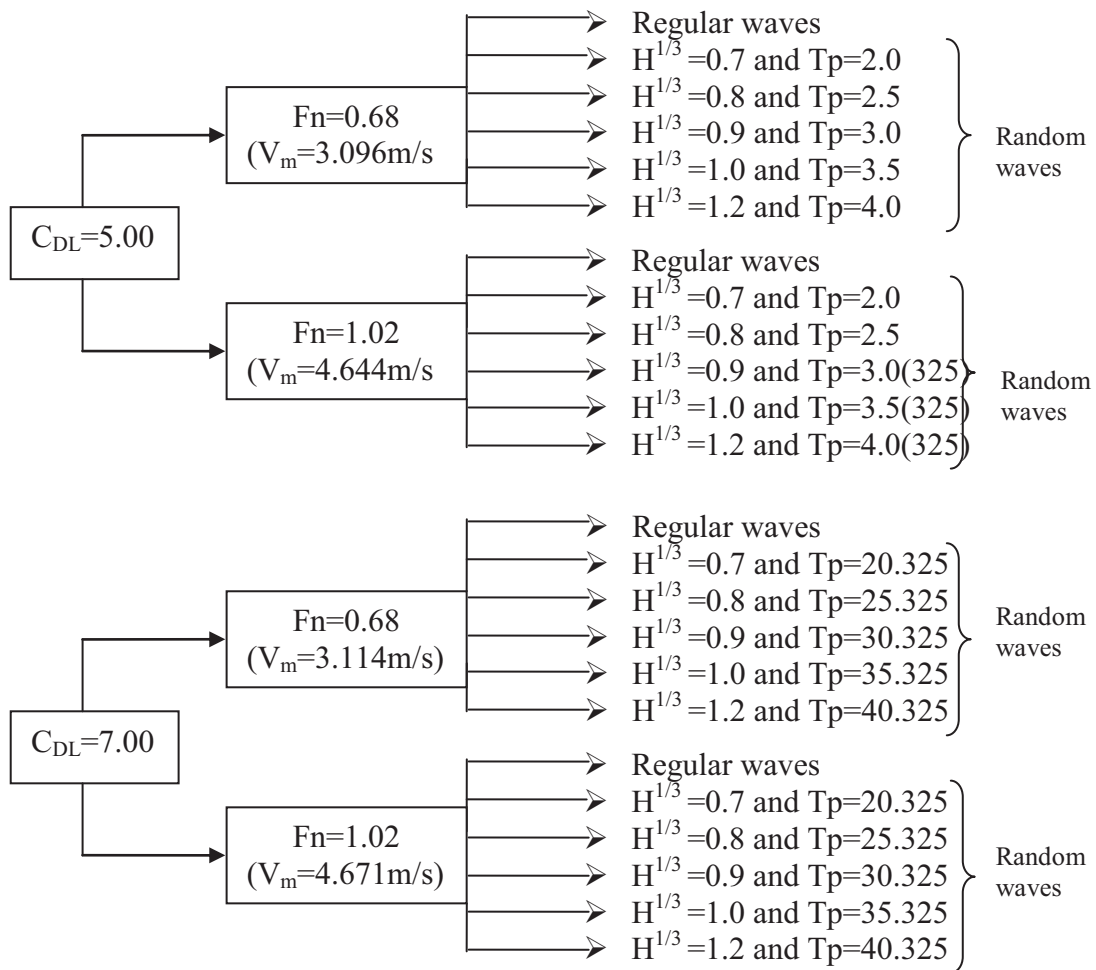
Οι δύο καταστάσεις φόρτωσης που εξετάστηκαν είναι

ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ

Κατασταση φόρτωσης No	DRAFT	DYN. TRIM	C.G. RIS E	Wetted length (dec)	Volume (dec ³)	Displacemen t (dec ³)	KM	WET.SUR (dec ²)	$C_{DL} = \frac{\nabla}{(0.1 \cdot L_{WL})^3}$
4	1,032	0	0	21,135	47,215	47,215	5,136	102,264	5.00
7	1,253	0	0	21,381	68,386	68,386	4,443	114,600	7.00

Τα πειραματα που πραγματοποιήθηκαν φαίνονται στο παρακάτω σχηματικό διάγραμμα

ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ-REGULAR WAVES

f (Hz)	λ	A(cm)
0,444	8,0687	5
0,459	7,5124	5
0,477	6,9821	5
0,497	6,4533	5
0,518	5,9127	5
0,544	5,3769	5
0,574	4,8419	5
0,608	4,2961	5
0,650	3,7665	5
0,702	3,2247	5
0,733	2,9556	5
0,769	2,6903	5
0,810	2,4166	5
0,859	2,1519	5
0,920	1,8822	5
0,993	1,6133	3
1,087	1,3442	3
1,216	1,0794	3

3.2.1.ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ

Κατά την πειραματική διαδικασία των πειραμάτων σε ήρεμο νερό αναζητήθηκαν και μετρήθηκαν στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν και στην πειραματική διαδικασία των πειραματων σε **κυματισμούς**.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι τα **υδροστατικά δεδομένα** από το υπολογιστικό πρόγραμμα HYDRO, οι **καταστάσεις φόρτωσης**, τα αντίστοιχα απαιτούμενα στοιχεία της εκάστοτε κατάστασης φόρτωσης, αλλά και η **ακτίνα αδρανείας και περιόδος ιδιοταλάντωσης**. Οι διαδικασίες που είναι απαραίτητο να επαναλαμβάνονται κάθε μέρα πειραμάτων είναι η βαθμονομήσεις των μετρητικών οργάνων και η κατασκευή των νέων συναρτήσεων μεταφοράς, όπως αναφέρθηκαν και σε παραπάνω παράγραφο.

Με την χρήση το κυματιστήρα παράγονταν αρμονικοί κυματισμοί (όπως φαίνονται παραπάνω στον πίνακα) και δημιουργήσαμε κύματα του επιθυμητού πλάτους και συχνότητας. Σε κάθε κύμα το πρότυπο έτρεχε με τις επιθυμητές ταχύτητες κάθε φορά έτσι ώστε ο πρότυπο να έχει αριθμό Φρουντ $F_n=0.68$ και $F_n=1.02$ όπως απαιτείται για την συμπλήρωση της συστηματικής σειράς. Πρίν από κάθε run πάντα περιμέναμε ένα μικρό χρονικό διαστημα(12-15min) έτσι ώστε να ηρεμεί το νερό και να μην επηράζει τις επόμενες μετρήσεις. Όταν το νερό ηρεμούσε λαμβάναμε μέτρηση μηδέν και συνέχιζε η πραγματοποίηση του επόμενου run.

Το πρότυπο κάθε ημέρα που τελείωναν τα πειράματα έβγαινε από το νερό έτσι ώστε να μην φθείρετε περισσότερο μέσα στο νερό αλλά και να στεγνώνει από την διαβροχή του στο εσωτερικό μέρος.

Η διάρκεια μετρήσεων των αρμονικών κυματισμών ήταν 360 sec για την απόκτηση αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων. Στο μικρό αριθμό $F_n=0.68$ ο χρόνος απόκτησης των αποτελεσμάτων ήταν 15 sec(με συχνότητα δειγματοληψίας-Sampling rate 15Hz) ενώ στον μεγάλο αριθμό $F_n=1.02$ ο χρόνος απόκτησης ήταν 7 sec με ίδιο χρόνο δειγματοληψίας.

Μετρούνταν τα παρακάτω:

- Ύψος κύματος(Wave)
- Αντίσταση(Resistance)
- Δυναμική Διαγωγή (Dynamic trim)
- Δυναμική ανυψωση του κέντρου βάρους(Dynamic CG Rise)
- Επιταχύνσεις στην
 - Πλώρη(Bow Acceleration g's)
 - Στο κέντρο πλευστότητας LCF(Mid Acceleration g's)
 - Στην πρυμναίο άκρο του προτύπου(Stern Acceleration g's)

Τα αρχεία μετρήσεων καταγράφονταν σε data files 325_xxx.txt , και 325h_xxx.txt όπου xxx ήταν η αύξουσα σειρά του run. Τα δεδομένα αυτά για να είναι επεξεργάσιμα χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα FFTR1.EXE. Με την χρήση των

συναρτήσεων μεταφοράς και του μετασχηματισμού Fourier(μετασχηματισμός του πεδίου του χρόνου στο πεδίο των συχνοτήτων) το πρόγραμμα αναλύει κατά στήλη τα δεδομένα και παρουσιάζει διαστατές αποκρίσεις (σε cm,kr,g, degrees). Τα πλάτη(amplitudes) των αποκρίσεων είναι $A = \sqrt{2}RMS(x)$ για οποιοδήποτε μέγεθος (x).(αρμονική διέγερση-απόκριση)

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ**g: 9.8066m/s² $T_p = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_p}$ περίοδος κορυφής κύματος[sec] $T_p' = \frac{T_p}{\sqrt{L_{bp} \cdot g}}$ Αδιάστατη περίοδος κυματος $H_s = H^{1/3}$ Σημαντικό ύψος κύματος [m] f : **Συχνότητα κυματισμού f(Hz)** $f = \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \lambda \cdot \pi}} \cdot 2 \cdot \lambda \cdot \pi \cdot f^2 = g \Rightarrow \lambda = \frac{g}{2 \cdot \pi \cdot f^2}$

T:περίοδος κύματος

λ: μήκος κύματος και εξαρτάται από την συχνότητα των ημιτονοειδών κυμάτων

RAO: Response Amplitude Operator, Συντελεστής απόκρισης**Α)ΜΕΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ-MEAN ADDED RESISTANCE [kp]**

Τα διαγράμματα παρουσιάζονται σε mean resistance-(λ/L)

Β)ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΚΙΝΗΣΗ-HEAVE MOTION

Τα διαγράμματα παρουσιάζονται RAO HEAVE-(λ/L) όπου

$$RAO(Heave) = \frac{Z_H}{\zeta_w} = \frac{amplitude_heave}{amplitude_wave} = \frac{\sqrt{2}RMS(Heave)}{\sqrt{2}RMS(Wave)}$$

Γ) ΠΡΟΝΕΥΤΑΣΜΟΣ-PITCH

Τα διαγράμματα παρουσιάζονται RAO PITCH-(λ/L) όπου

$$RAO(Pitch) = \frac{amplitude_pitch(deg) \cdot \lambda(m)}{amplitude_wave(m) \cdot 360(deg)}$$

Amplitude Pitch= $\sqrt{2}RMS(Pitch)$ Amplitude Wave= $\sqrt{2}RMS(Wave)$ **Δ) ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ**

Χαράσσεται η καμπύλη RAO(Acceleration)-(λ/L) όπου

$$RAO(ACC) = \frac{amplitude_RAO_ACC(g) \cdot (m/s^2) \cdot L_m(m)}{g(m/s^2) \cdot amplitude_wave(m)}$$

Amplitude Acceleration= $\sqrt{2}RMS(ACC)$ Amplitude Wave= $\sqrt{2}RMS(Wave)$ **Αξιζει να σημειωθεί ότι οι επιταχύνσεις θεωρούνται ίδιες για το πρότυπο και το σκάφος σε πλήρη κλίμακα.**

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ-ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ

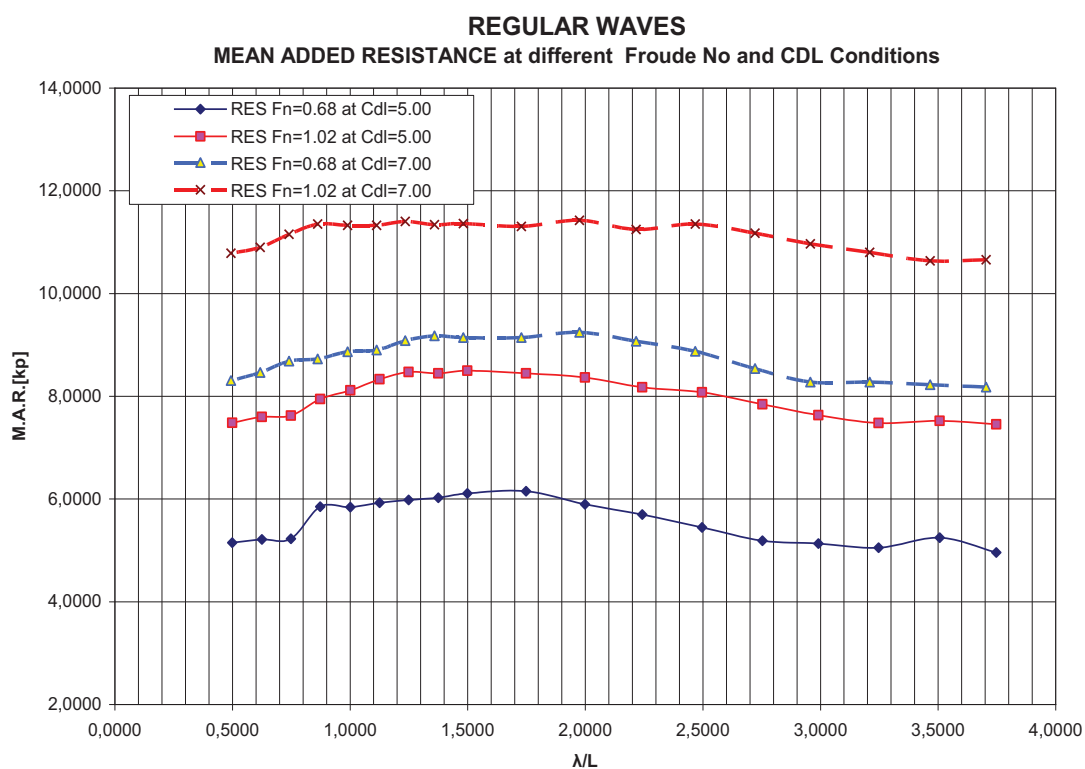
Γραφήματα αρμονικών κυματισμών

1. ΠΡΩΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

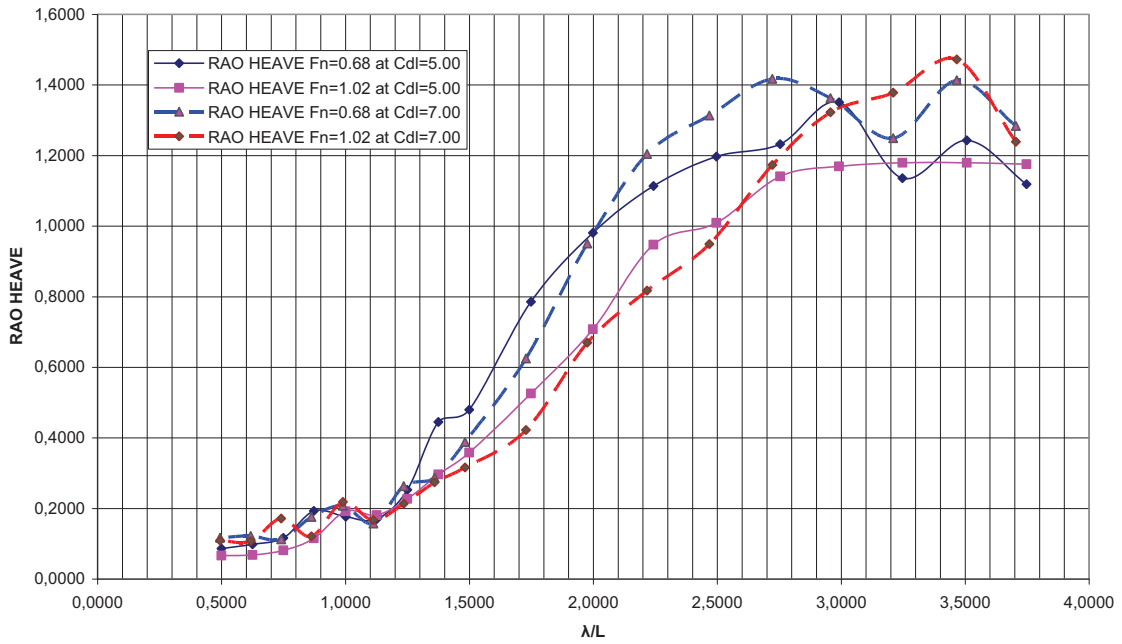
$C_{DL}=5.00$

2. ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

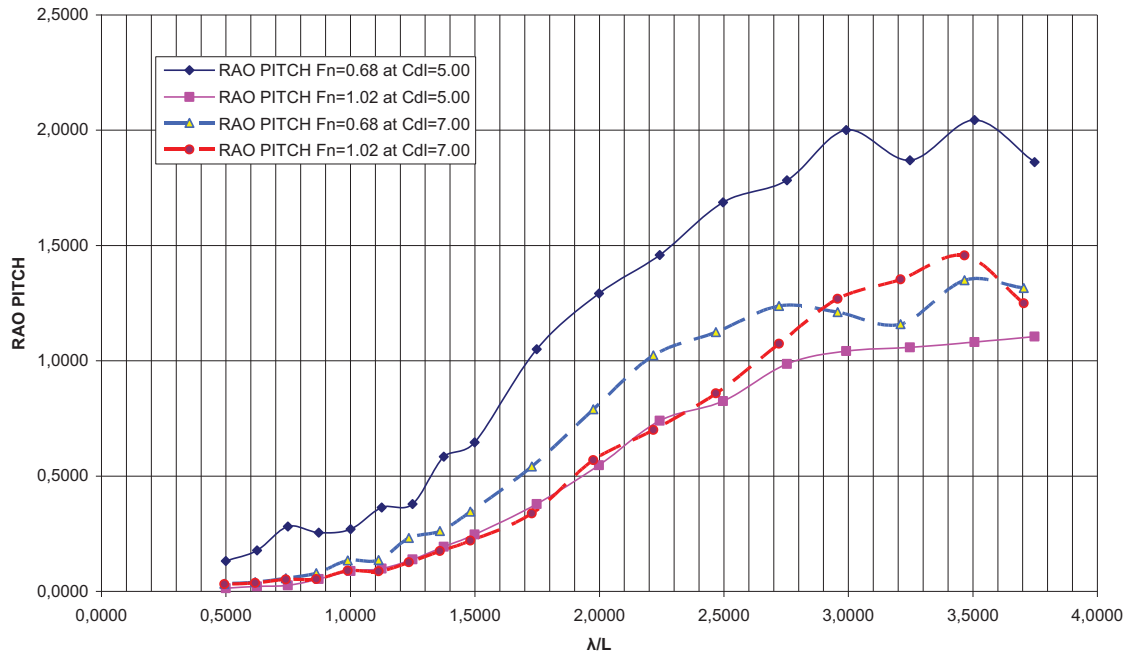
$C_{DL}=7.00$



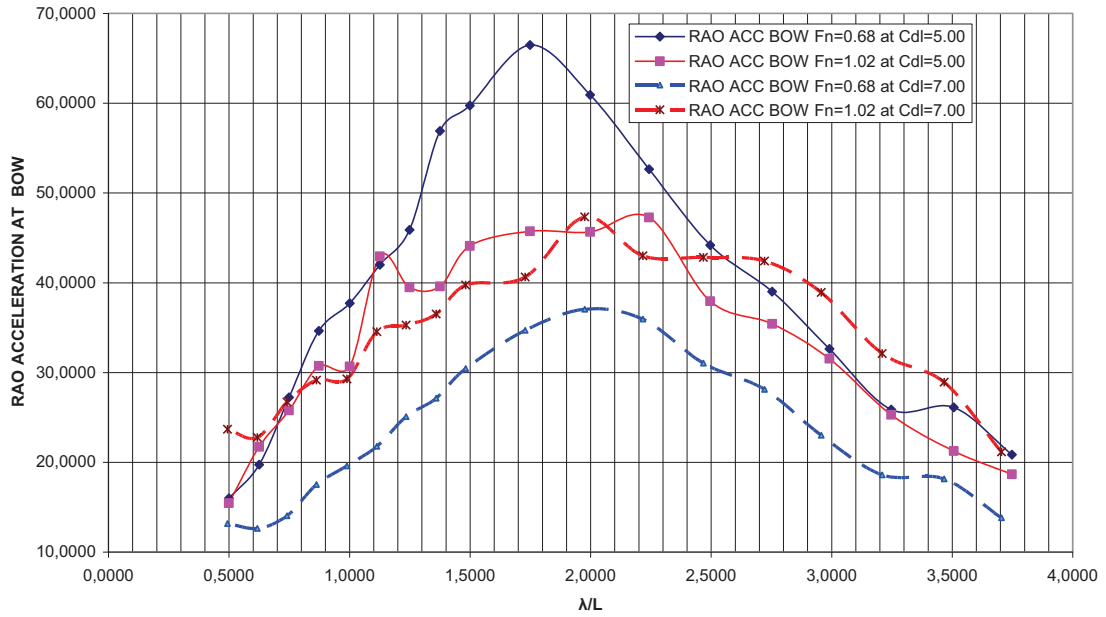
REGULAR WAVES
RAO HEAVE at different Froude No and CDL Conditions



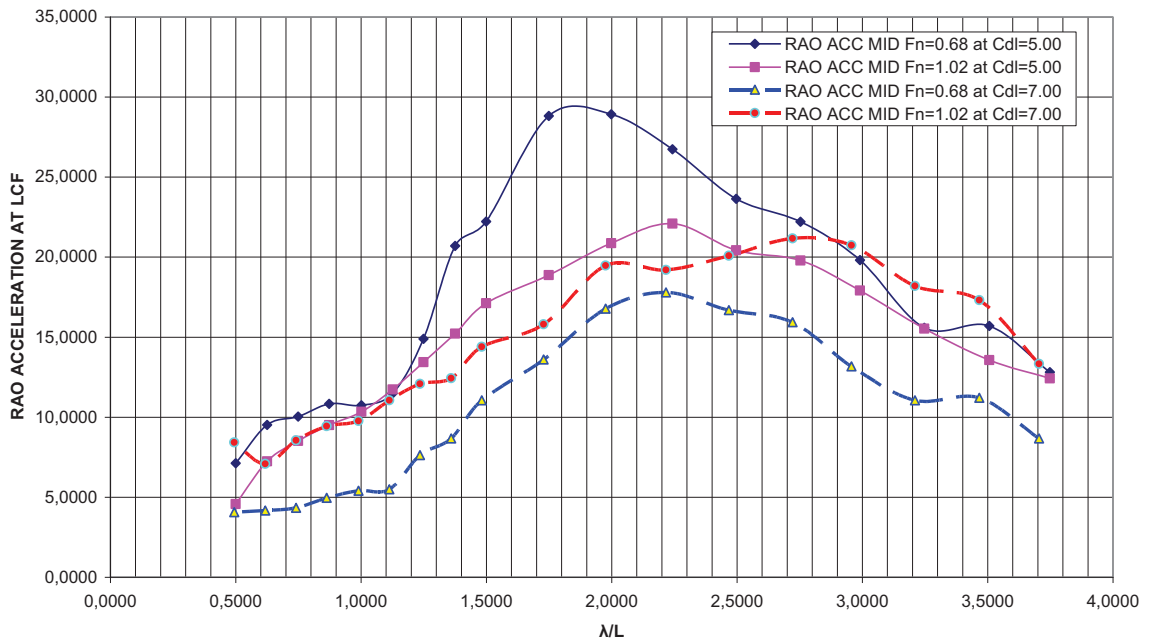
REGULAR WAVES
RAO PITCH at different Froude No and CDL Conditions



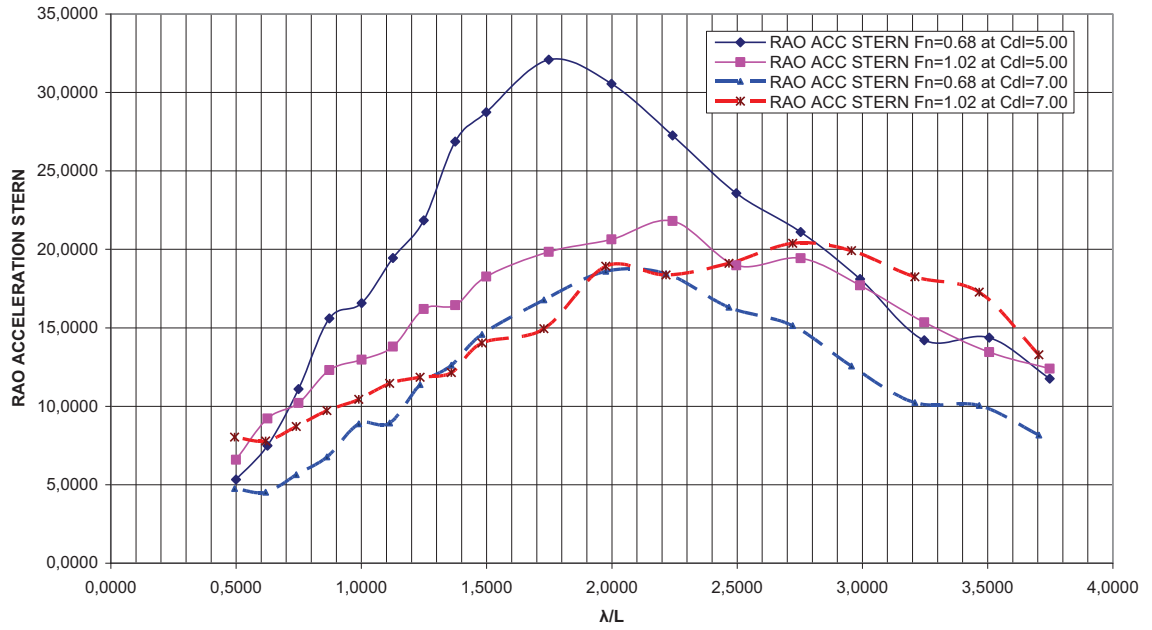
REGULAR WAVES
RAO ACC BOW at different Froude No and CDL Conditions



REGULAR WAVES
RAO ACC MID(LCF) at different Froude No and CDL Conditions



REGULAR WAVES
RAO ACC STERN at different Froude No and CDL Conditions



3.2.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

▪ Μέση πρόσθετη Αντίσταση –M.A.R.[kp]

Οι καταστάσεις που εξετάστηκαν όπως ήδη έχει αναφερθεί είναι με $C_{DL} = 5.00$ και $C_{DL} = 7.00$ σε έναν χαμηλό αριθμό Fn και σε ένα μεγαλύτερο. Ο στόχος που οι καμπύλες είναι σε ένα γράφημα και για τις 4 καταστάσεις είναι για να μπορέσουμε να εξάγουμε καλύτερα συμπεράσματα για την συμπεριφορά του προτύπου αλλά και τις αποκρίσεις κάθε φορά που μεταβάλλεται η ταχύτητα αλλά και η κατάσταση φόρτωσης. Στους αρμονικούς κυματισμούς έχουμε δεκαοκτώ(18) καταστάσεις θάλασσας με διαφορετική συχνότητα αλλά και σε μερικές περιπτώσεις με διαφορετικό πλάτος κυματισμού.

Στα γραφήματα η αντίσταση κατά τους μικρότερους αριθμούς Fn έχει μπλε χρώμα ενώ στην μεγαλύτερη ταχύτητα με $Fn=1.02$ η καμπύλες είναι με κόκκινο χρώμα. Η αντίσταση δεν μεταβάλλεται έντονα και παρουσιάζει μια περιοχή μεγίστων και στις 4 καταστάσεις γύρω από την περιοχή με $\lambda/L=1.5$.

Μεγιστες τιμές της Πρόσθετης Αντίστασης για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	λ/L	M.A.R.[kp]
5.00	1.02	1.4993	8.4965
7.00	1.02	1.9757	11.4227

Ελάχιστες τιμές της Πρόσθετης Αντίστασης για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	λ/L	M.A.R.[kp]
5.00	0.68	3.7479	4.9572
7.00	0.68	3.7048	8.1798

Επίδραση ταχύτητας V_m (m/s) προτύπου και κατά συνέπεια του αριθμού Fn:

Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα αυξάνεται κατά πολύ και η αντίσταση. Κατά συνέπεια μπορεί εύκολα κανένας να παρατηρήσει τις μεγάλες διαφορές που παρατηρούνται για την ίδια κατάσταση φόρτωσης μεταξύ των διαφορετικών αριθμών $Fn=0.68$ και $Fn=1.02$.

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται η κατάσταση φόρτωση αυξάνεται και ο συντελεστής Υπόλοιπης Αντίστασης με παρόμοια συμπεριφορά κάθε κατάστασης.

▪ **RAO HEAVE**

Στο γράφημα των αποκρίσεων της κατακόρυφης κίνησης παρατηρείται διαφοροποίηση από τα αναμενόμενα αποτελέσματα των τεσσάρων περιπτώσεων καταγραφής συμπεριφοράς σε αρμονικούς κυματισμούς.

Στα γραφήματα η ανύψωση του κέντρου βάρους ακολουθεί παρόμοια συμπεριφορά με διαρκή αύξηση μέχρι να παρουσιάσει μία σταθεροποιητική τάση και για τις 4 καταστάσεις. Ομοίως στους μικρότερους αριθμούς F_n το γράφημα έχει μπλε χρώμα ενώ στην μεγαλύτερη ταχύτητα με $F_n=1.02$ η καμπύλες είναι με κόκκινο χρώμα.

Μεγιστες τιμές RAO HEAVE για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	F_n	λ/L	RAO HEAVE
5.00	0.68	2.9912	1.3626
7.00	1.02	3.4666	1.4726

Ελάχιστες τιμές του RAO HEAVE για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	F_n	λ/L	RAO HEAVE
5.00	1.02	0.4997	0.0661
7.00	1.02	0.4939	0.1091

Επίδραση ταχύτητας $V_m(m/s)$ προτύπου και κατά συνέπεια του αριθμού F_n :

Για σταθερή κατάσταση φόρτωσης:

Παρατηρούμε ότι για την ίδια κατάσταση φόρτωσης η αύξηση του αριθμού F_n έχει σαν συνέπεια την μείωση της ανύψωσης. Είναι ξεκάθαρο ότι για την κατάσταση με $C_{DL}=5.00$ στο μεγαλύτερο τμήμα της η καμπύλη του μικρότερου αριθμού F_n είναι πιο πάνω από την καμπύλη της ίδιας κατάστασης για μεγαλύτερο αριθμό F_n , για ίδιο αριθμό λ/L . Γεγονός που επιβεβαιώνεται και με τις τάσεις που εμφανίστηκαν από τα πειράματα στο ήρεμο νερό με την αύξηση της ταχύτητας.

Ομοίως για την κατάσταση φόρτωσης με $C_{DL}=7.00$ παρατηρούμε ότι έχει πολύ μεγαλύτερο ρυθμό αύξηση με την αύξηση της συχνότητας κύματος με εξαίρεση τις τιμές για μεγάλα λ/L όπου παρατηρείται μια τοπική αύξηση κατά τις αποκρίσεις με τον μεγαλύτερο αριθμό Froude.

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι οι τιμές ακολουθούν κοντινό ρυθμό αύξησης με εμφανή την αυξημένη ανύψωση στους μεγαλύτερους αριθμούς F_n και για τις δύο καταστάσεις. Σε μεγάλο τμήμα του οι καμπύλες της μικρότερης κατάστασης

φόρτωσης με $C_{DL}=5.00$, μέχρι δηλαδή λ/L περίπου 2 παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές ανύψωσης και για τις δύο ταχύτητες.

▪ RAO PITCH

Στο γράφημα των αποκρίσεων της δυναμικής διαγωγής παρατηρείται μια ομαδοποίηση των αποκρίσεων της βαρύτερης κατάστασης - και στους δύο αριθμούς F_n -μαζί με την απόκριση του μεγάλου αριθμού F_n της ελαφριάς κατάστασης ενώ παρουσιάζονται γρήγορα αυξανόμενες τιμές για την ελαφριά κατάσταση και τον μικρό αριθμό $F_n=0.68$. Όσο αυξάνεται η συχνότητα των αρμονικών κυματισμών αυξάνονται και οι αποκρίσεις με μια σταθεροποιητική τάση μετά απο περίπου $\lambda/L=3$.

Μεγιστες τιμές RAO PITCH για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	F_n	λ/L	RAO PITCH
5.00	0.68	3.5070	2.0442
7.00	1.02	3.4666	1.4565

Ελάχιστες τιμές του RAO PITCH για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	F_n	λ/L	RAO PITCH
5.00	1.02	0.4997	0.0131
7.00	1.02	0.4939	0.0308

Επίδραση ταχύτητας $V_m(m/s)$ προτύπου και κατά συνέπεια του αριθμού F_n :

Για σταθερή κατάσταση φόρτωσης:

Παρατηρούμε ότι για την ίδια κατάσταση φόρτωσης η αύξηση του αριθμού F_n έχει σαν συνέπεια την αύξηση της δυναμικής διαγωγής. Είναι ξεκάθαρο ότι για την κατάσταση με $C_{DL}=5.00$ και για $F_n=0.68$ έχουμε μεγάλες τιμές απόκρισης.

Αντίθετα για την κατάσταση φόρτωσης με $C_{DL}=7.00$ παρατηρούμε ότι αποκρίσεις δείχνουν ίδια συμπεριφορά αλλά και κοντινες τιμές απόκρισης.

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι οι τιμές ακολουθούν κοντινό ρυθμό αύξησης με εμφανή την αυξημένη δυναμική διαγωγή στην ελαφρύτερη κατάσταση χωρίς κάποιο άλλο ξεκάθαρο συμπέρασμα.

▪ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Στο γράφημα των αποκρίσεων των επιταχύνσεων στην πλωρη, στο κέντρο πλευστότητας και στην πρύμνη είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι και στα τρία σημεία καταγραφής των επιταχύνσεων παρουσιάζεται ίδια μορφή καμπυλών. Δηλαδή για μικρές τιμές λ/L έχουμε αυξανόμενες επιταχύνσεις μέχρι μια μεγιστη τιμή για κάθε κατάσταση και μετά από την περιοχή αυτή, με την αύξηση του λόγου λ/L έχουμε μείωση των επιταχύνσεων και στις τρεις αποκρίσεις. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές αλλά και σε ποιο λόγο λ/L αυτές πραγματοποιούνται.

Μεγιστες τιμές RAO ACC για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	λ/L	RAO ACC BOW MAX VALUE
5.00	0.68	1.7488	66.4752
7.00	1.02	1.9757	47.3363

C_{DL}	Fn	λ/L	RAO ACC MID MAX VALUE
5.00	0.68	1.9987	28.9203
7.00	1.02	2.7219	21.1591

C_{DL}	Fn	λ/L	RAO ACC STERN MAX VALUE
5.00	0.68	1.7488	32.0853
7.00	1.02	2.7219	20.3877

Μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι κατα την κατάσταση $C_{DL} = 5.00$ και $Fn=0.68$ έχουμε τις χειρότερες αποκρίσεις με τις μεγαλύτερες αποκρίσεις. Αυτό κάνει το σκάφος να έχει την χειρότερη συμπεριφορά για τους επιβάτες στην κατάσταση αυτή.

Ελάχιστες τιμές RAO ACC για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	λ/L	RAO ACC BOW MIN VALUE
5.00	0.68	0.4997	15.9799
7.00	0.68	0.4939	13.1769

C_{DL}	Fn	λ/L	RAO ACC MID MIN VALUE
5.00	1.02	0.4997	4.5656
7.00	0.68	0.4939	4.0632

C_{DL}	F_n	λ/L	RAO ACC STERN MIN VALUE
5.00	0.68	0.4997	5.3217
7.00	0.68	0.4939	4.7447

**Επίδραση ταχύτητας V_m (m/s) προτύπου και κατά συνέπεια του αριθμού F_n :
-Για σταθερή κατάσταση φόρτωσης:**

Παρατηρούμε ότι για τις δύο καταστάσεις φόρτωσης το πρότυπο έχει δύο εντελώς διαφορετικές συμπεριφορές:

Δηλαδή **στην κατάσταση $C_{DL}=5.00$** οι καμπύλη με $F_n=0.68$ βρίσκεται κατά πολύ πιο ψηλά από την καμπύλη με τα σημεία της κατάσταση $F_n=1.02$, που σημαίνει ότι στην ελαφριά κατάσταση έχουμε πολύ υψηλές επιταχύνσεις σε σύγκριση με τον μεγάλο αριθμό Froude όπου το πρότυπο αντιδρά ομαλότερα αλλά και παρόμοια με τις άλλες καταστάσεις.

Αντίθετα στην κατάσταση με $C_{DL}=7.00$ η καμπύλη φανερώνει υψηλότερες επιταχύνσεις στην μεγάλη ταχύτητα από αυτές στην μικρότερη ταχύτητα, εκτός από την περιοχή από περίπου 1.25 λόγο λ/L μέχρι περίπου 2 όπου η οι επιταχύνσεις της υψηλότερης ταχύτητας είναι μικρότερες.

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Σαν γενικό συμπέρασμα θα μπορούσαμε να εξάγουμε ότι μια βαρύτερη κατάσταση φόρτωσης προσδίδει καλά χαρακτηριστικά όσον αφορά τις επιταχύνσεις σε πλήρη μέση και πρύμνη.

3.2.3.ΘΑΛΑΣΣΙΟΙ Ή ΤΥΧΑΙΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ

Με την χρήση το κυματιστήρα παράγονταν τυχαίοι κυματισμοί (όπως φαίνονται παραπάνω στον πίνακα) και δημιουργήθηκαν κύματα με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά (φασμα Bretschneider). Σε κάθε κύμα το πρότυπο έτρεχε με τις επιθυμητές ταχύτητες κάθε φορά έτσι ώστε ο πρότυπο να έχει αριθμό $F_n=0.68$ και $F_n=1.02$ όπως απαιτείται για την συμπλήρωση της συστηματικής σειράς. Πριν από κάθε run πάντα περιμέναμε ένα μικρό χρονικό διαστημα(12-15min) έτσι ώστε να ηρεμεί το νερό και να μην επηράζει τις επόμενες μετρήσεις. Όταν το νερό ηρεμούσε λαμβάναμε μέτρηση μηδέν και συνέχιζε η πραγματοποίηση του επόμενου run.

Η διάρκεια μετρήσεων των αρμονικών κυματισμών ήταν 180sec για την απόκτηση αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων. Στο μικρό αριθμό $F_n=0.68$ ο χρόνος απόκτησης των αποτελεσμάτων ήταν 15 sec(με συχνότητα δειγματοληψίας-Sampling rate 15Hz) ενώ στον μεγάλο αριθμό $F_n=1.02$ ο χρόνος απόκτησης ήταν 7 sec με ίδιο χρόνο δειγματοληψίας.

Μετρούνταν τα παρακάτω:

- Ύψος κύματος(Wave)
- Αντίσταση(Resistance)
- Δυναμική Διαγωγή (Dynamic trim)
- Δυναμική ανυψωση του κέντρου βάρους(Dynamic CG Rise)
- Επιταχύνσεις στην
 - Πλώρη(Bow Acceleration g's)
 - Στο κέντρο πλευστότητας LCF(Mid Acceleration g's)
 - Στην πρυμναίο άκρο του προτύπου(Stern Acceleration g's)

Τα αρχεία μετρήσεων καταγράφονταν σε data files 325_ xxx.txt ,325_ xxx.dat και 325h_ xxx.dat όπου xxx ήταν η αύξουσα σειρά του run. Τα δεδομένα αυτά για να είναι επεξεργάσιμα χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα FFTR1.EXE. Κάθε φάσμα είχε ένα δεδομένο σημαντικό ύψος κύματος $H^{1/3}$ και δεδομένη περίοδο κορυφής T_0 . Όπως είναι αναμενόμενο το παραγόμενο κύμα δεν είναι ακριβώς ίδιο με το θεωρητικό φάσμα. Για την βελτίωση των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιώντας σαν προϋπόθεση ότι ισχύει η γραμμικότητα στην αναγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής διόρθωσης

$$k = \frac{b}{a} = \frac{\text{πραγματικά_παραγόμενο_σημ.ύψος}H^{1/3}}{\text{διδόμενο_θεωρητικό_σημ.ύψος}H^{1/3}}$$
 των αποτελεσμάτων και έτσι

ανήχθησαν τα αποτελέσματα στους πραγματικούς κυματισμούς.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙg: 9.8066m/s² $T_p = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_p}$ περίοδος κορυφής κύματος[sec] $T_p' = \frac{T_p}{\sqrt{L_{bp} \cdot g}}$ Αδιάστατη περίοδος κυματος $H_s = H^{1/3}$ Σημαντικό ύψος κύματος [m]

RMS: Root Mean Square, Μέση τετραγωνική τιμή

A) HEAVE MOTIONΤα διαγράμματα παρουσιάζονται RMS HEAVE/ $H_s \cdot T_p'$ όπου

$$RMS(Heave) = RMS(Heave) \cdot \frac{b}{a}$$

B) PITCH MOTIONΤα διαγράμματα παρουσιάζονται RMS PITCH/ $H_s \cdot T_p'$ όπου

$$RMS(Pitch) = RMS(Pitch) \cdot \frac{b}{a}$$

Γ)ACCELERATIONS(BOW-MID-STERN)Τα διαγράμματα παρουσιάζονται RMS ACC/ $H_s \cdot T_p'$ όπου

$$RMS(ACC) = RMS(ACC) \cdot \frac{b}{a}$$

Ε) Μέση Πρόσθετη Αντίσταση-M.A.R.Τα διαγράμματα παρουσιάζονται RES/ $H_s^2 \cdot T_p'$ όπου

$$RES = RES \left(\frac{b}{a}\right)^2$$

Επίσης ισχύει ότι :

Μέση τετραγωνική τιμή (Root Mean Square)	$RMS(Wave) = m_0^{1/2}$
Σημαντικό ύψος κύματος	$H^{1/3} = 4m_0^{1/2}$

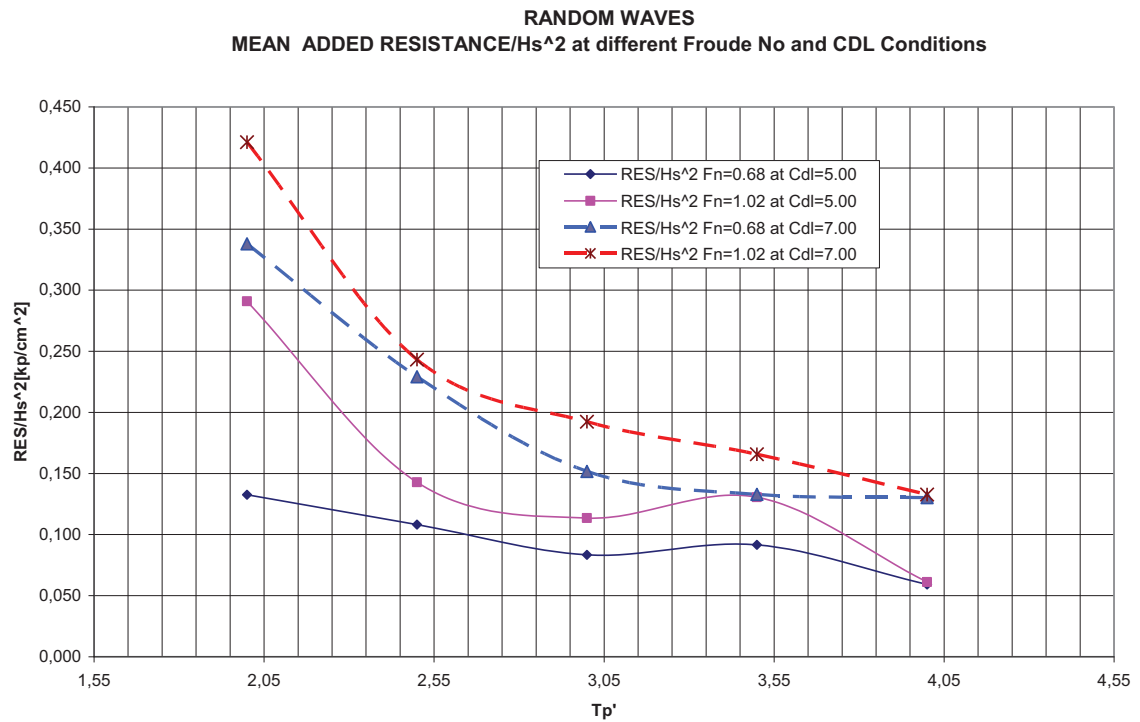
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ-ΤΥΧΑΙΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ

1. ΠΡΩΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

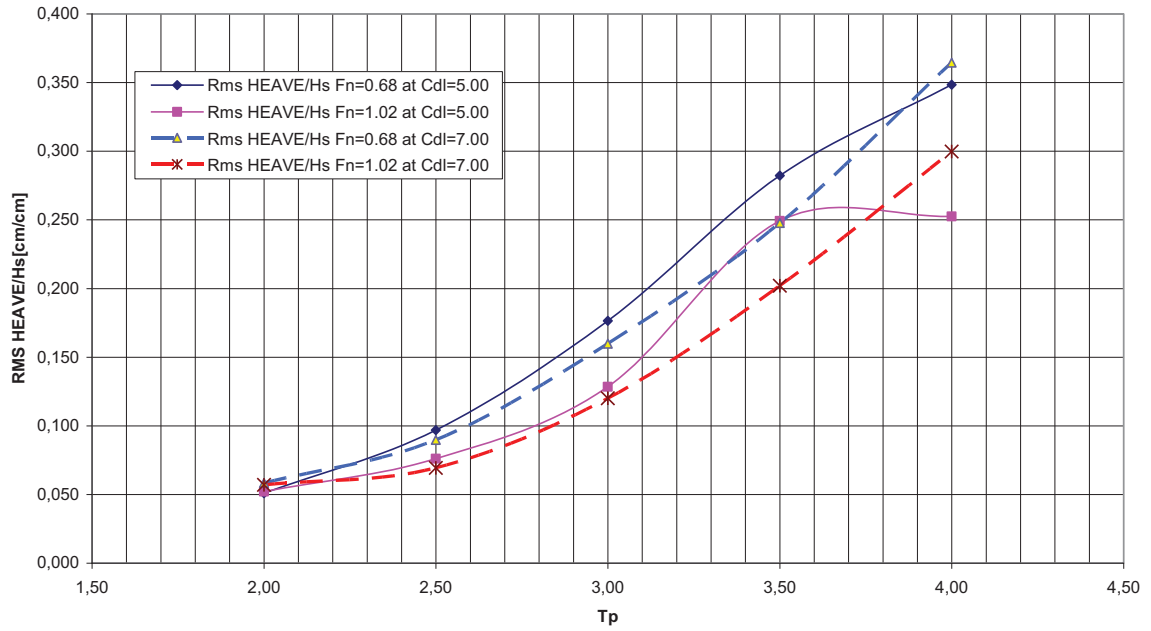
$C_{DL}=5.00$

2. ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

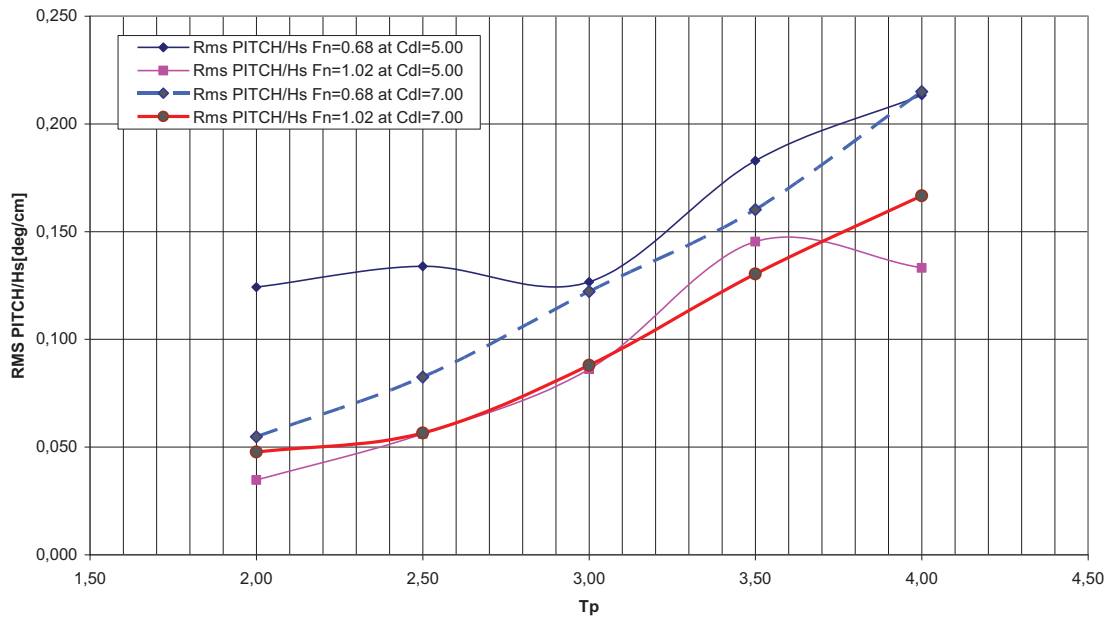
$C_{DL}=7.00$



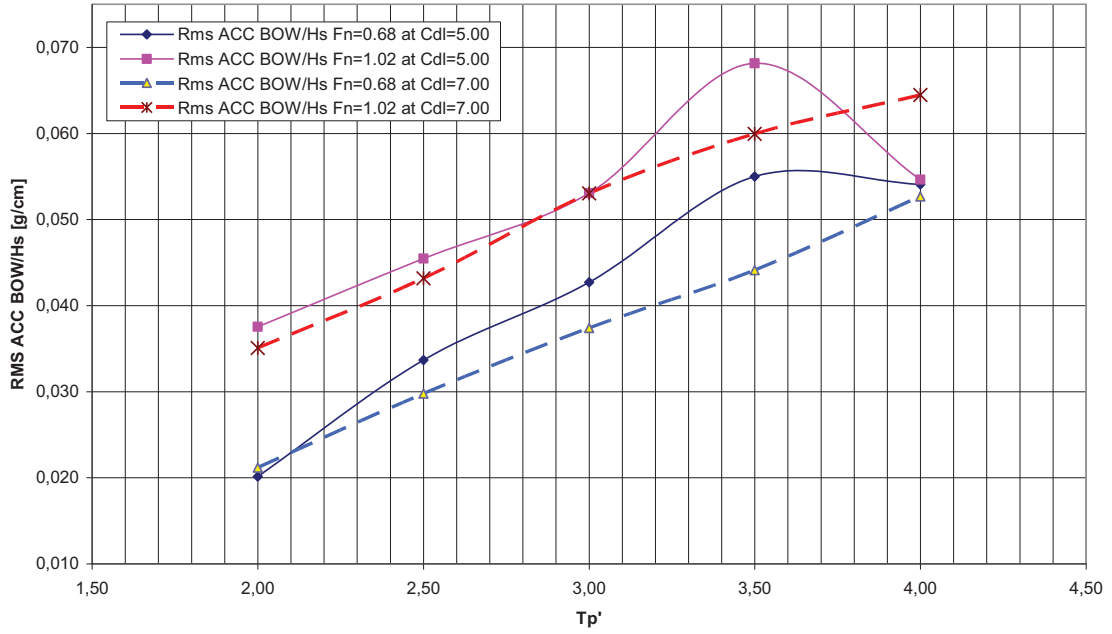
RANDOM WAVES
RMS HEAVE/Hs at different Froude No and CDL Conditions



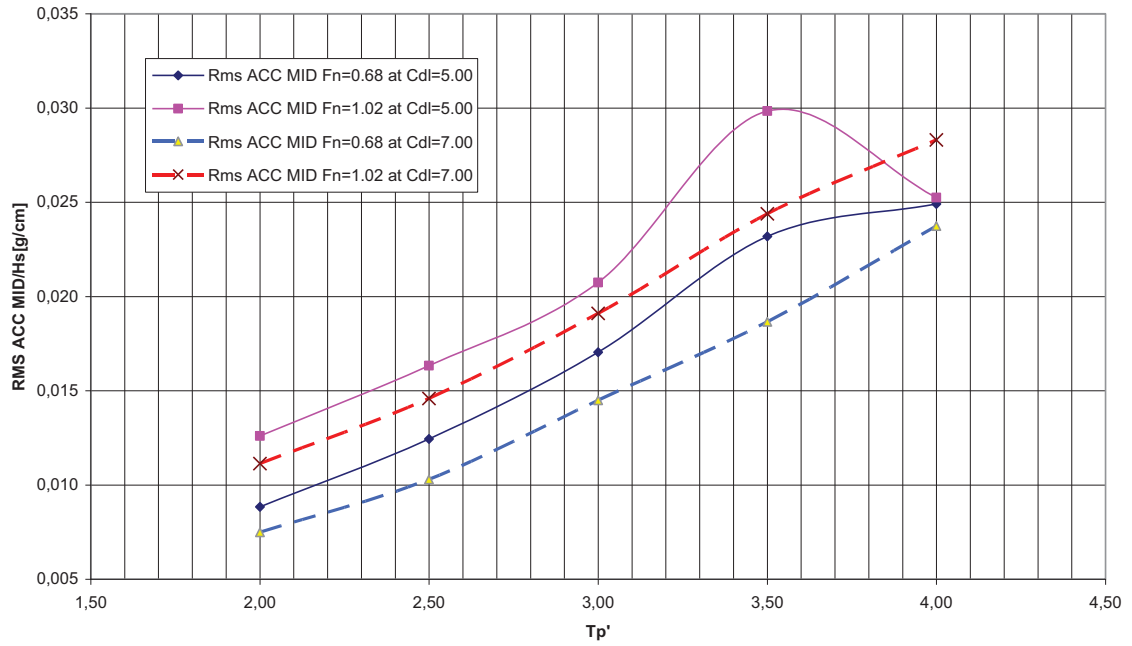
RANDOM WAVES
RMS PITCH/Hs at different Froude No and CDL Conditions



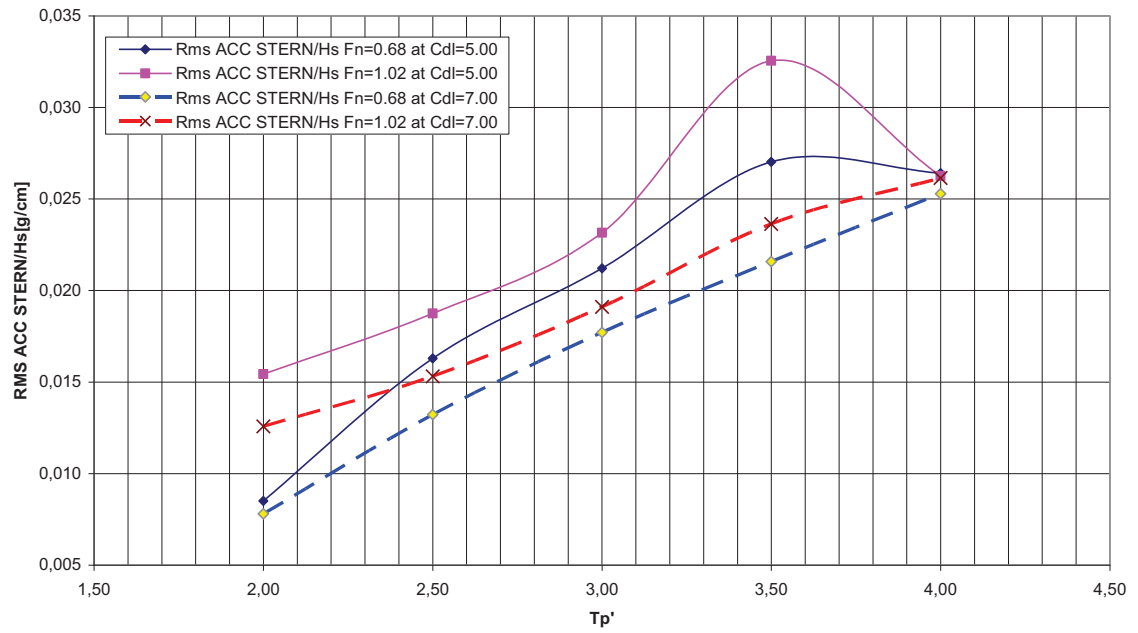
RANDOM WAVES
RMS ACCELERATION/Hs on Bow at different Froude No and CDL Conditions



RANDOM WAVES
RMS ACCELERATION MID/Hs at different Froude No and CDL Conditions



RANDOM WAVES
RMS ACCELERATION STERN/Hs at different Froude No and CDL Conditions



3.2.4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

- $MEAN_ADDED_RESISTANCE / H_s^2$

Οι καταστάσεις που εξετάστηκαν όπως ήδη έχει αναφερθεί είναι με $C_{DL} = 5.00$ και $C_{DL} = 7.00$ σε έναν χαμηλό αριθμό Fn και σε ένα μεγαλύτερο. Ο στόχος που οι καμπύλες είναι σε ένα γράφημα και για τις 4 καταστάσεις είναι για να μπορέσουμε να εξάγουμε καλύτερα συμπεράσματα για την συμπεριφορά του προτύπου αλλά και τις αποκρίσεις κάθε φορά που μεταβάλλεται η ταχύτητα αλλά και η κατάσταση φόρτωσης, όπως παρόμοια παρουσιάστηκαν και στους αρμονικούς κυματισμούς.

Δοκιμάσαμε το πρότυπο σε 5 διαφορετικές καταστάσεις θάλασσας με διαφορετικά ζεύγη αδιάστατων συχνοτήτων και σημαντικών υψών κύματος.

Στα γραφήματα η αντίσταση κατά τους μικρότερους αριθμούς Fn έχει μπλε χρώμα ενώ στην μεγαλύτερη ταχύτητα με Fn=1.02 η καμπύλες είναι με κόκκινο χρώμα. Η κατάσταση $C_{DL} = 7.00$ παρουσιάζεται με έντονη διακεκομμένη γραμμή ενώ οι ελαφριά κατάσταση με $C_{DL} = 5.00$ με συνεχή γραμμή. Όπως επεξηγήθηκε και παραπάνω οι αποκρίσεις παρουσιάζονται συναρτήσει των αδιάστατων περιόδων κορυφής του κύματος που εμείς έχουμε κατασκευάσει.

Στο γράφημα της $RES / H_s^2 - Tr'$ βλέπουμε εμφανώς τις 4 διαφορετικές καταστάσεις όπου διαφέρουν και σε τιμές όσο και σε κλιση της καμπύλης. Η κατάσταση με $C_{DL} = 7.00$ και Fn=1.02 έχει τις μεγαλύτερες τιμές. Η συμπεριφορά αυτή επιβεβαιώνεται τόσο από την συμπεριφορά σε αρμονικούς κυματισμούς όσο και από την συμπεριφορά σε ήρεμο νερό όπου η βαρύτερη κατάσταση εμφάνιζε μεγαλύτερες τιμές διαστατής αντίστασης.

Πιο συγκεκριμένα:

Μεγιστες τιμές για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	Tr'	$M.A.R. / H_s^2$ [kp/cm ²]
5.00	1.02	2.00	0.2909
7.00	1.02	2.00	0.4211

Ελάχιστες τιμές για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	Tr'	$M.A.R. / H_s^2$ [kp/cm ²]
5.00	0.68	4.00	0.0590
7.00	0.68	4.00	0.1301

Επίδραση ταχύτητας V_m (m/s) προτύπου και κατά συνέπεια του αριθμού F_n :

Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα αυξάνεται κατά πολύ και η αντίσταση. Κατά συνέπεια μπορεί εύκολα κανένας να παρατηρήσει τις μεγάλες διαφορές που παρατηρούνται για την ίδια κατάσταση φόρτωσης μεταξύ των διαφορετικών αριθμών $F_n=0.68$ και $F_n=1.02$, επιβεβαιώνοντας τις παρατηρήσεις μας και στους αρμονικούς κυματισμούς.

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται η κατάσταση φόρτωση αυξάνεται και η αντίσταση με παρόμοια συμπεριφορά κάθε κατάσταση.

Επίδραση αδιάστατης τιμής περιόδου T_p'

Είναι εμφανές από την έντονη κλίση που παρουσιάζουν οι καμπύλες ότι αύξηση της αδιάστατης περιόδου έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται ο λόγος αντίστασης προς το τετράγωνο του σημαντικού ύψους κύματος του παραγόμενου κυματισμού.

- RMS_HEAVE / H_s

Στο γράφημα των αποκρίσεων της κατακόρυφης κίνησης παρατηρείται κοινή συμπεριφορά απόκρισης. Και στις δύο καταστάσεις φόρτωσης η ανύψωση είναι μικρότερη στους μεγαλύτερους αριθμούς F_n . Ομάλά έχουμε μια αύξανόμενη σταθερά αύξηση της τιμής RMS_HEAVE / H_s .

Ενδιαφέρον θα είχε να εξεταστεί η συμπεριφορά μετά απο την αδιάστατη περίοδο $T_p'=4.00$.

Μεγιστες τιμές για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	F_n	T_p'	RMS_HEAVE / H_s [cm/cm]
5.00	0.68	4.00	0.3480
7.00	0.68	4.00	0.3644

Ελάχιστες τιμές για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	F_n	T_p'	RMS_HEAVE / H_s [cm/cm]
5.00	0.68	2.00	0.0510
7.00	1.02	2.00	0.0570

**Επίδραση ταχύτητας $V_m(m/s)$ προτύπου και κατά συνέπεια του αριθμού Fn :
Για σταθερή κατάσταση φόρτωσης:**

Παρατηρούμε ότι για την ίδια κατάσταση φόρτωσης η αύξηση του αριθμού Fn έχει σαν συνέπεια την μείωση της ανύψωσης. Είναι ξεκάθαρο ότι για την κατάσταση με $C_{DL}=5.00$ ολόκληρο το τμήμα της η καμπύλη του μικρότερου αριθμού Fn είναι πιο πάνω από την καμπύλη της ίδιας κατάστασης για μεγαλύτερο αριθμό Fn , για ίδιο αριθμό Tr' . Γεγονός που επιβεβαιώνεται και με τις τάσεις που εμφανίστηκαν από τα πειράματα στο ήρεμο νερό και του αρμονικούς κυματισμούς.

Ομοίως για την κατάσταση φόρτωσης με $C_{DL}=7.00$ παρατηρούμε ότι έχει πολύ μεγαλύτερο ρυθμό αύξηση με την αύξηση της αδιάστατης περιόδου Tr' .

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι οι τιμές ακολουθούν κοντινό ρυθμό αύξησης με εμφανή την αυξημένη ανύψωση στους μεγαλύτερους αριθμούς Fn και για τις δύο καταστάσεις. Σε μεγάλο τμήμα του οι καμπύλες της μικρότερης κατάστασης φόρτωσης με $C_{DL}=5.00$ με $Fn=0.68$, παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές ανύψωσης και για τις δύο ταχύτητες της μεγαλύτερης κατάστασης φόρτωσης.

▪ RMS_PITCH / H_s

Στο γράφημα των αποκρίσεων της δυναμικής διαγωγής παρατηρείται μια κοινή και σχεδόν παράλληλη απόκριση για την κατάσταση φόρτωσης $C_{DL}=7.00$ με μεγαλύτερες τιμές αυτές της χαμηλότερης ταχύτητας.

Επίσης και στην δυναμική διαγωγή εμφανίζεται μια έντονη διαφοροποίηση της ελαφριάς κατάσταση φόρτωσης με μικρή ταχύτητα. Παράλληλα η συγκεκριμένη απόκριση είναι και σε υψηλότερα επίπεδα για την ίδια κατάσταση φόρτωσης αλλά στην μεγάλη ταχύτητα.

Μεγιστες τιμές RMS_PITCH / H_s για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	Tr'	RMS_PITCH / H_s [deg/ cm]
5.00	0.68	4.00	0.213
7.00	0.68	4.00	0.2150

Ελάχιστες τιμές του Αδιάστατου Συντελεστή Υπόλοιπης Αντίστασης για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	Tr'	RMS_PITCH / H_s [deg/ cm]
5.00	1.02	2.00	0.0347
7.00	1.02	2.00	0.0477

**Επίδραση ταχύτητας $V_m(m/s)$ προτύπου και κατά συνέπεια του αριθμού F_n :
Για σταθερή κατάσταση φόρτωσης:**

Παρατηρούμε ότι για την ίδια κατάσταση φόρτωσης η αύξηση του αριθμού F_n έχει σαν συνέπεια αυξημένες τιμές RMS της δυναμικής διαγωγής.

Αντίθετα για την κατάσταση φόρτωσης με $C_{DL}=7.00$ παρατηρούμε ότι αποκρίσεις δείχνουν ίδια συμπεριφορά αλλά με σαφώς μεγαλύτερες αποκρίσεις αυτές της ταχύτητας με $F_n=0.68$.

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Από την ερμηνεία των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι οι τιμές ακολουθούν κοντινό ρυθμό αύξησης με εμφανή την αυξημένη δυναμική διαγωγή στην ελαφρύτερη κατάσταση

- RMS_ACC_BOW/H_s RMS_ACC_MID/H_s RMS_ACC_STERN/H_s
Στο γράφημα των αποκρίσεων των επιταχύνσεων στην πλωρη, στο κέντρο πλευστότητας και στην πρύμνη είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι και στα τρία σημεία καταγραφής των επιταχύνσεων παρουσιάζεται ίδια μορφή καμπυλών. Δηλαδή για την κάθε κατάσταση φόρτωσης οι καμπύλες των διαφορετικών ταχυτήτων εμφανίζουν παραλληλία αποκρίσεων.

Μεγιστες τιμές RAO ACC για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	F_n	T_p'	RMS_ACC_BOW/H_s [g/cm]
5.00	1.02	3.50	0.0681
7.00	1.02	4.00	0.0645

C_{DL}	F_n	T_p'	RMS_ACC_MID/H_s [g/cm]
5.00	1.02	3.50	0.0298
7.00	1.02	4.00	0.0283

C_{DL}	F_n	T_p'	RMS_ACC_STERN/H_s [g/cm]
5.00	1.02	3.50	0.0325
7.00	1.02	4.00	0.0261

Μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι κατα την κατάσταση $C_{DL} = 5.00$ και $F_n=1.02$ έχουμε τις χειρότερες αποκρίσεις δηλαδή τις μεγαλύτερες αποκρίσεις. Αυτό κάνει το σκάφος να έχει την χειρότερη συμπεριφορά για τους επιβάτες στην κατάσταση αυτή.

Ελάχιστες τιμές RAO ACC για κάθε κατάσταση φόρτωσης :

C_{DL}	Fn	Tr'	RMS_ACC_BOW / H_s [g / cm]
5.00	0.68	2.00	0.020
7.00	0.68	2.00	0.021

C_{DL}	Fn	Tr'	RMS_ACC_MID / H_s [g / cm]
5.00	0.68	2.00	0.0090
7.00	0.68	2.00	0.0075

C_{DL}	Fn	Tr'	RMS_ACC_STERN / H_s [g / cm]
5.00	0.68	2.00	0.0080
7.00	0.68	2.00	0.0078

Επίδραση ταχύτητας V_m (m/s) προτύπου και κατά συνέπεια του αριθμού **Fn:
-Για σταθερή κατάσταση φόρτωσης:**

Παρατηρούμε ότι για τις δύο καταστάσεις φόρτωσης το πρότυπο έχει δύο εντελώς διαφορετικές συμπεριφορές:

Δηλαδή **στην κατάσταση $C_{DL}=5.00$** οι καμπύλη με $Fn=0.68$ βρίσκεται κατά πολύ πιο ψηλά από την καμπύλη με τα σημεία της κατάσταση $Fn=1.02$, που σημαίνει ότι στην ελαφριά κατάσταση έχουμε πολύ υψηλές επιταχύνσεις σε σύγκριση με τον μεγάλο αριθμό Froude όπου το πρότυπο αντιδρά ομαλότερα αλλά και παρόμοια με τις άλλες καταστάσεις.

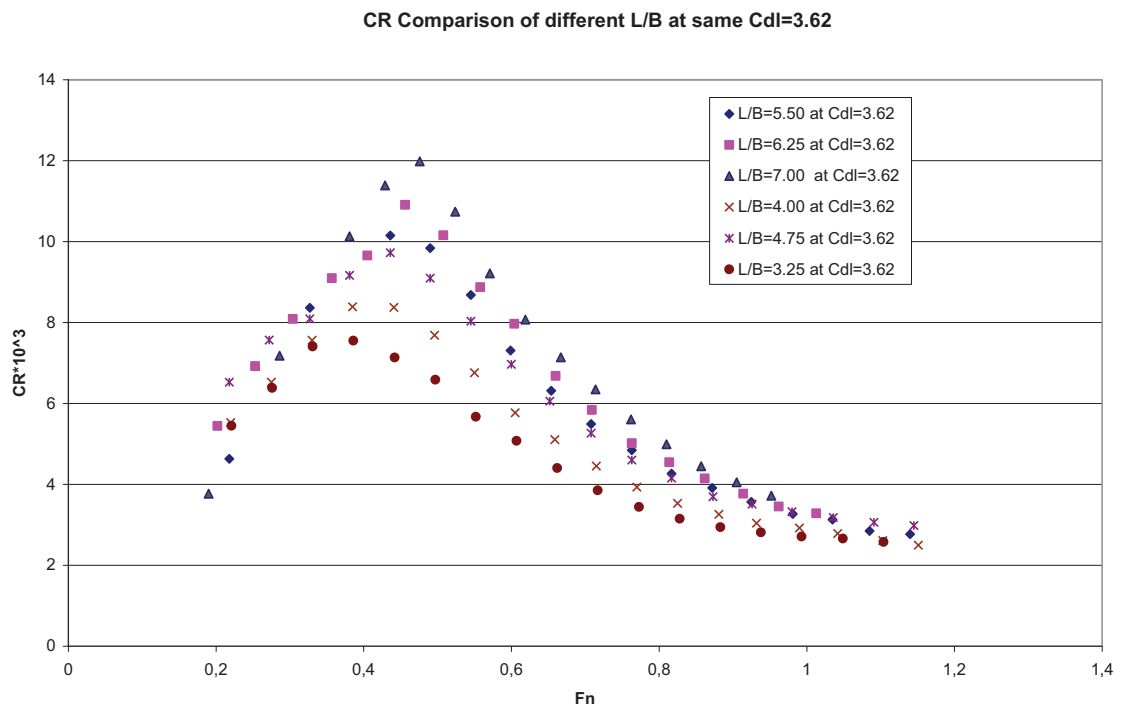
Αντίθετα στην κατάσταση με $C_{DL}=7.00$ η καμπύλη φανερώνει υψηλότερες επιταχύνσεις στην μεγάλη ταχύτητα από αυτές στην μικρότερη ταχύτητα, εκτός από την περιοχή από περίπου 1.25 λόγο λ/L μέχρι περίπου 2 όπου η οι επιταχύνσεις της υψηλότερης ταχύτητας είναι μικρότερες.

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Σαν γενικό συμπέρασμα θα μπορούσαμε να εξάγουμε ότι μια βαρύτερη κατάσταση φόρτωσης προσδίδει καλά χαρακτηριστικά όσον αφορά τις επιταχύνσεις σε πλήρη μέση και πρύμνη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

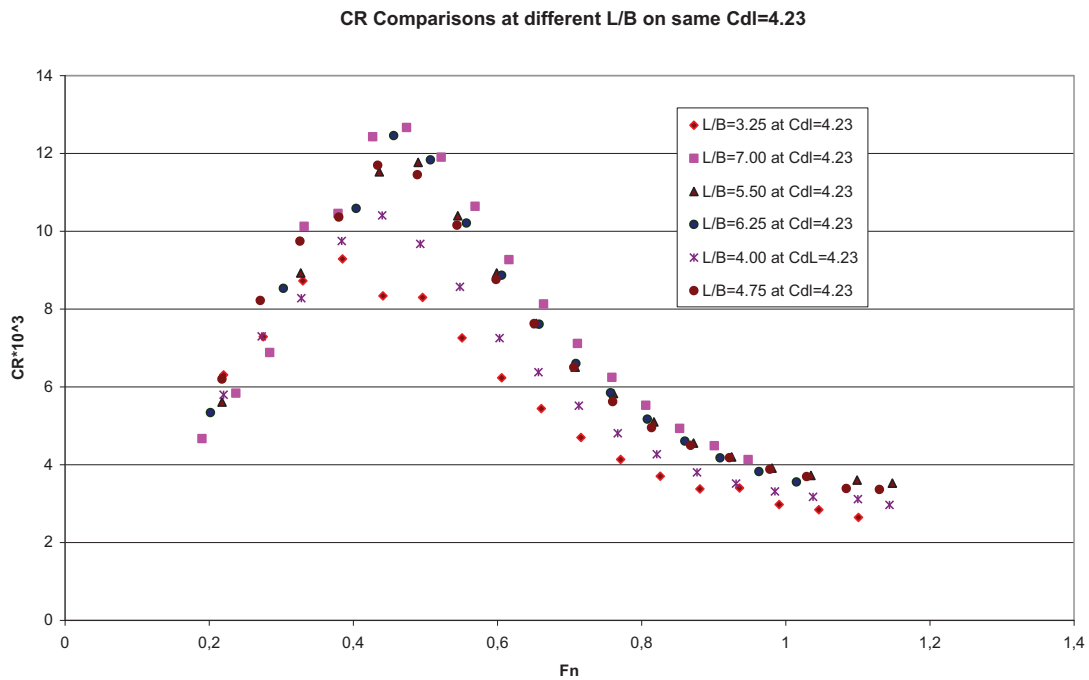
4.1.ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΓΑΣΤΡΑΣ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΤΟΥ ΕΜΠ

ΣΥΚΡΙΣΗ CR των 6 προτύπων της σειράς ΝΤΥΑ σε κατάσταση φόρτωσης $C_{dl}=3.62$



Στο παραπάνω διάγραμμα έχουμε παρουσιάσει σε ένα κοινό διάγραμμα τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης για τα 6 πρότυπα της Συστηματικής σειράς του Ε.Μ.Π. για ίδια κατάσταση φόρτωσης $C_{DL}=3.62$. Παρατηρούμε ότι το τελευταίο πρότυπο που δοκιμάστηκε σε Ήρεμο Νερό της συγκεκριμένης διπλωματική εργασίας υπ' αριθμόν 185/05 με λόγο $L/B=3.25$ παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές για όλους τους αριθμούς (F_n). Στην περιοχή από $F_n=0.2$ έως περίπου $F_n=0.35$ η συμπεριφορά είναι παρόμοια με τα πρότυπα με λόγο $L/B=7.00$ και $L/B=4.00$ αλλά και με τα υπόλοιπα πρότυπα. Το τοπικό μέγιστο της αντίστασης εμφανίζεται σε πολύ μικρότερο αριθμό F_n από τα άλλα πρότυπα.

ΣΥΚΡΙΣΗ CR των 6 προτύπων της σειράς NTUA σε κατάσταση φόρτωσης $C_{dl}=4.23$



Στο παραπάνω διάγραμμα έχουμε παρουσιάσει σε ένα κοινό διάγραμμα τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης για τα 6 πρότυπα της Συστηματικής σειράς του Ε.Μ.Π. για ίδια κατάσταση φόρτωσης $C_{DL}=4.23$. Παρατηρούμε ότι το τελευταίο πρότυπο που δοκιμάστηκε σε Ήρεμο Νερό της συγκεκριμένης διπλωματική εργασίας υπ' αριθμόν 185/05 με λόγο $L/B=3.25$ παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές για όλους τους αριθμούς (Fn) και σε αυτήν την κατάσταση φόρτωσης (βαρύτερη). Στην περιοχή από $Fn=0.2$ έως περίπου $Fn=0.35$ η συμπεριφορά είναι παρόμοια με τα άλλα πρότυπα. Το τοπικό μέγιστο της αντίστασης εμφανίζεται σε πολύ μικρότερο αριθμό Fn από τα άλλα πρότυπα.

4.2.ΣΥΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΝΤΥΑ ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΜΕΤΩΠΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ(HEAD WAVES).

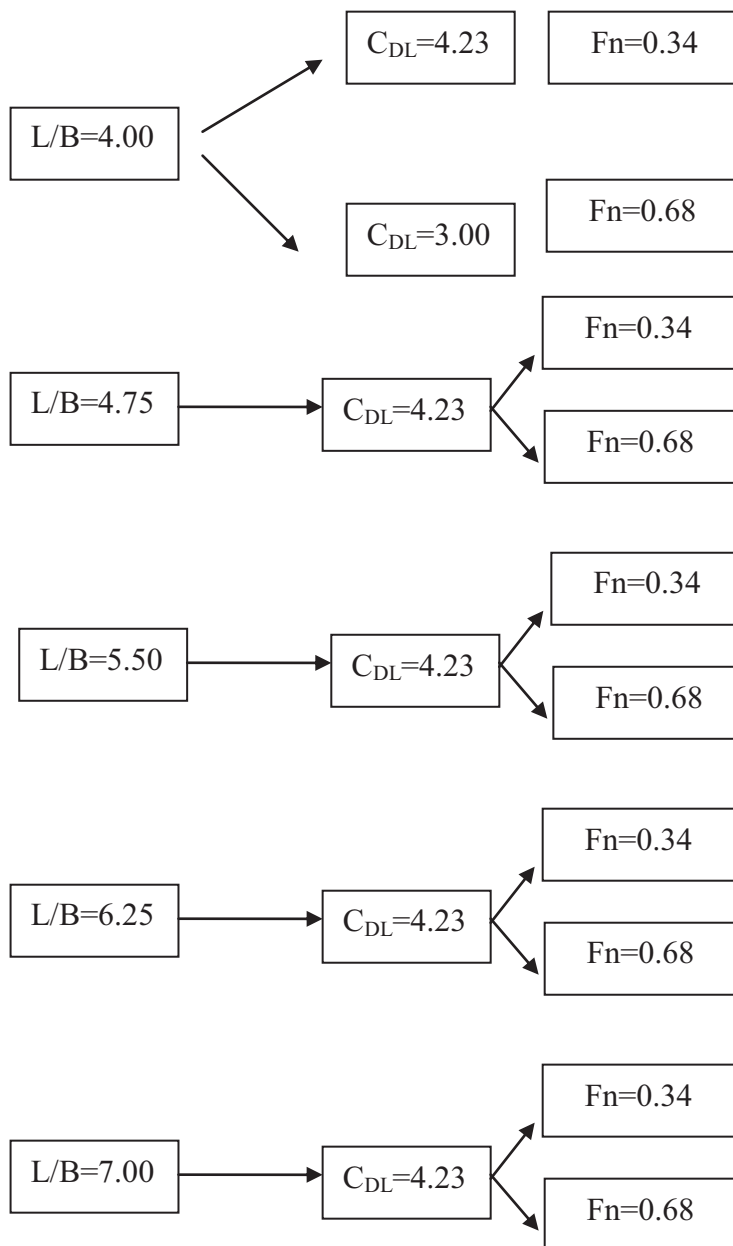
Οι αποκρίσεις που μελετώνται είναι :

- resistance
- heave,
- pitch,
- vertical accelerations στην πλώρη στο κέντρο πλευστότητας LCF και στην πρύμη

Από προηγούμενες μελέτες στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας

Υδροδυναμικής έχουμε αποτελέσματα για τα μοντέλα με

$L/B=4.0, 4.75, 5.5, 6.25$ και 7.00 στις παρακάτω καταστάσεις και αριθμούς F_n όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Η κατάσταση φόρτωσης $C_{DL} = 4.23$ είναι πολύ μικρή (μη ρεαλιστικό) για το πρότυπό μας και αυτός ήταν ο λόγος που επιλέξαμε να μελετηθούν οι αποκρίσεις στις καταστάσεις φόρτωσης με $C_{DL} = 5.00$ & 7.00 .

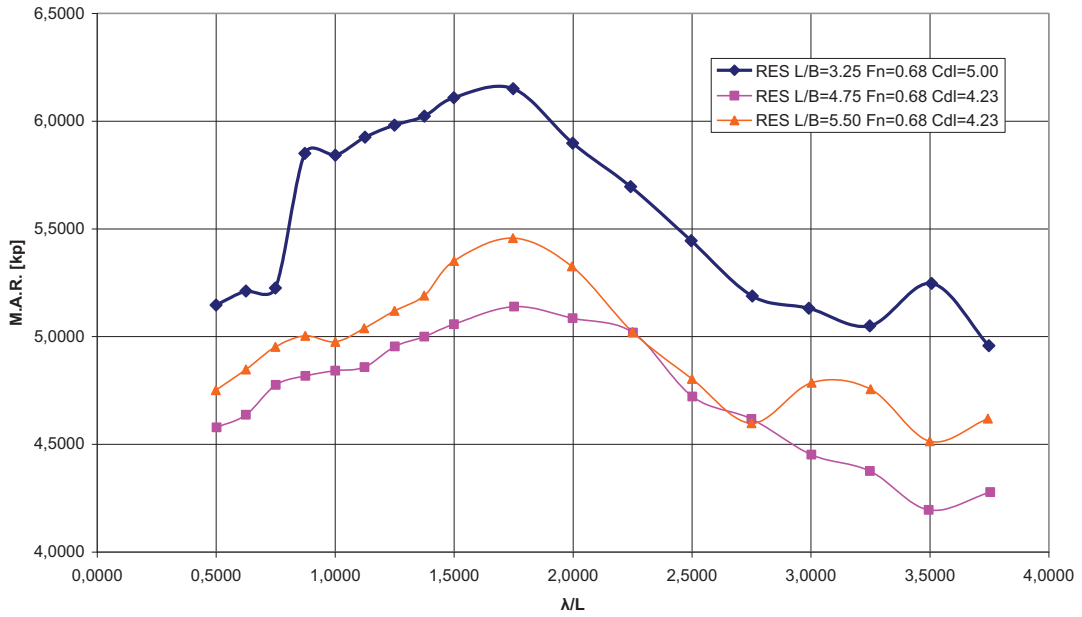
Παράλληλα η ταχύτητα με $F_n=0.34$ ήταν περιορισμένου ενδιαφέροντος για το πρότυπο με $L/B=3.25$ που αντιστοιχεί σε μικρότερες γάστρες.

Η σύγκριση έγινε για κοινό Froude No $F_n=0.68$ και για τις πιο κοντινές καταστάσεις φόρτωσης έτσι ώστε να εξαχθούν χρήσιμα αποτελέσματα από την σύγκριση.

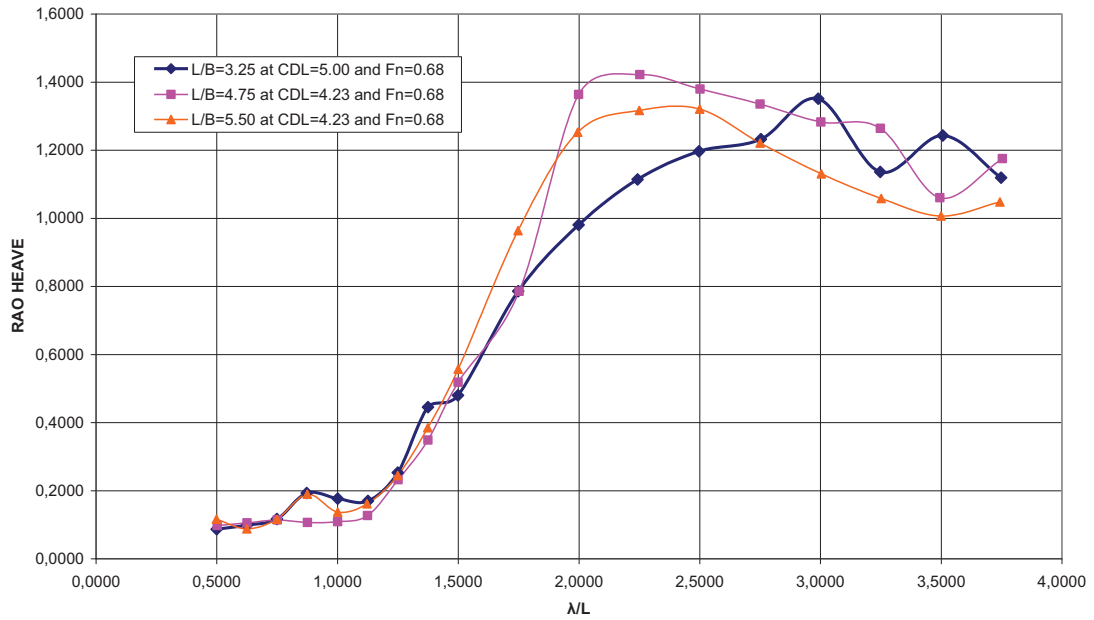
Τα συγκρινόμενα πρότυπα είναι με $L/B = 3.25$ (της παρούσας διπλωματικής εργασίας) με τα πρότυπα με $L/B=4.75$ και $L/B=5.50$ όπου όπως αναφέρεται και παραπάνω υπάρχουν οι κοντινές καταστάσεις φόρτωσης $C_{DL}=5.00$ του προτύπου $L/B=3.25$ με την κατάσταση $C_{DL}=4.23$ των προτύπων $L/B=4.75$ και 5.50 . Το πρότυπο με $L/B=4.00$ έχει αποκρίσεις για $F_n=0.34$ σε $C_{DL}=4.23$ και $F_n=0.68$ αλλά σε κατάσταση $C_{DL}=3.00$ που όμως απέχουν πολύ από το υπο μελέτη πρότυπο και έτσι δεν θα είχε κανένα χρήσιμο συγκρίσιμο συμπέρασμα.

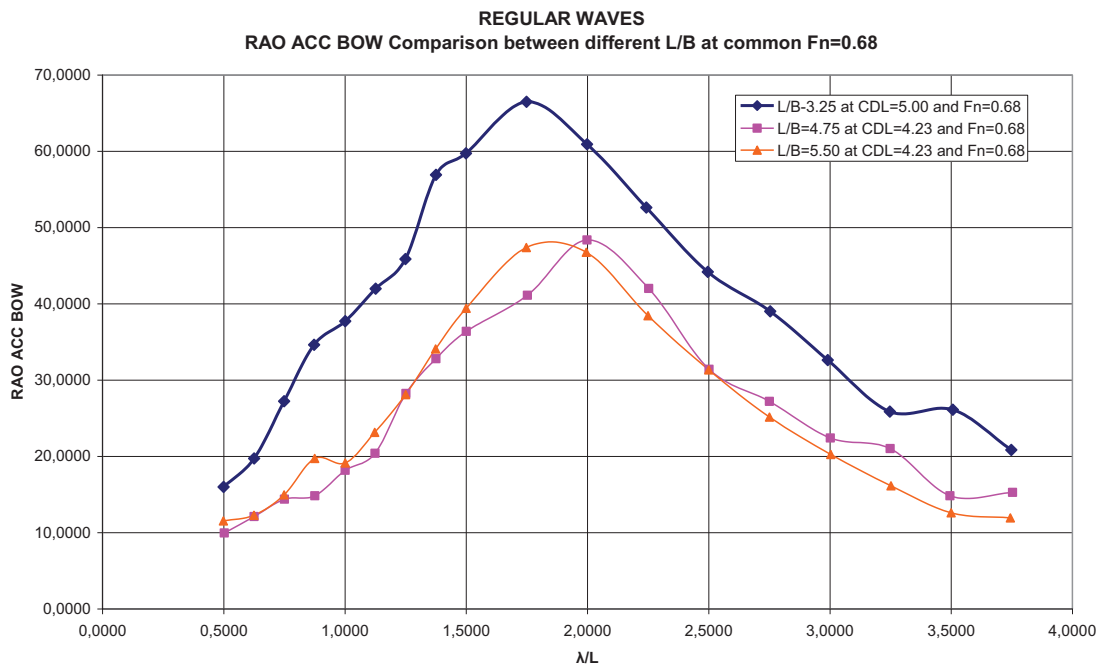
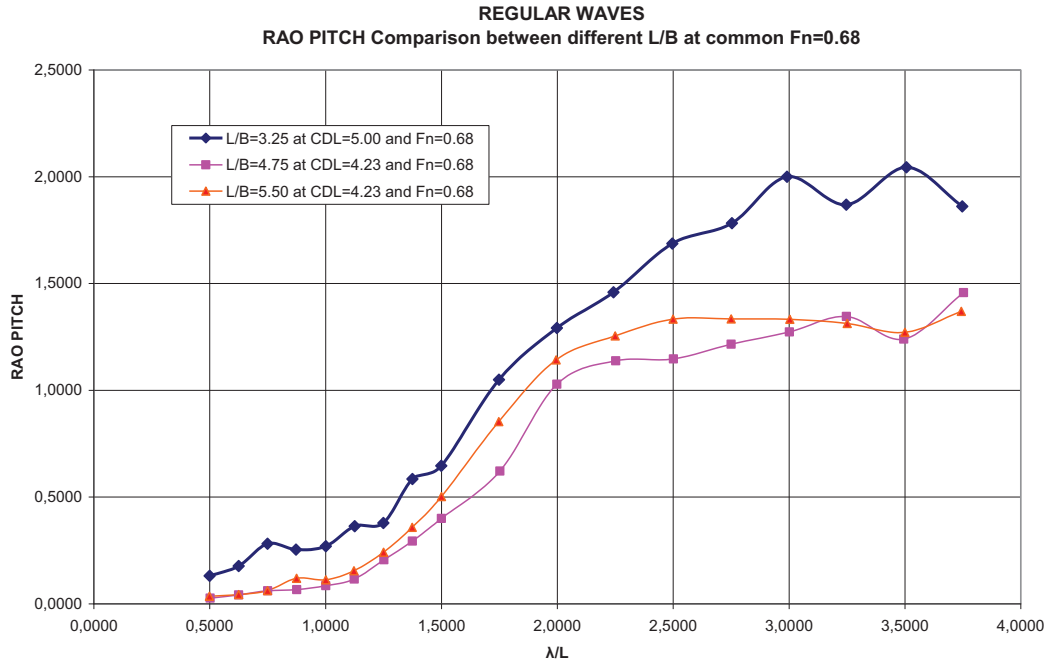
Οι καταστάσεις φόρτωσης αλλά και οι αριθμοί F_n που επιλέγησαν για το πρότυπο $L/B=3.25$ είναι χρήσιμοι για το συγκεκριμένο λόγο μήκους προς πλάτος αλλά δεν θα μπορούσαμε να εξάγουμε συμπεράσματα συγκρίνοντας τις αποκρίσεις πρότυπα που προορίζονται για πολύ διαφορετικών διαστάσεων αλλά και καταστάσεων φόρτωση γάστρες. Το πρότυπο με $L/B=3.25$ προορίζεται για την κατασκευή πολύ μικρότερων σε μήκος και εκτόπισμα γαστρών.

REGULAR WAVES
MEAN ADDED RESISTANCE Comparison between different L/B at common Fn=0.68

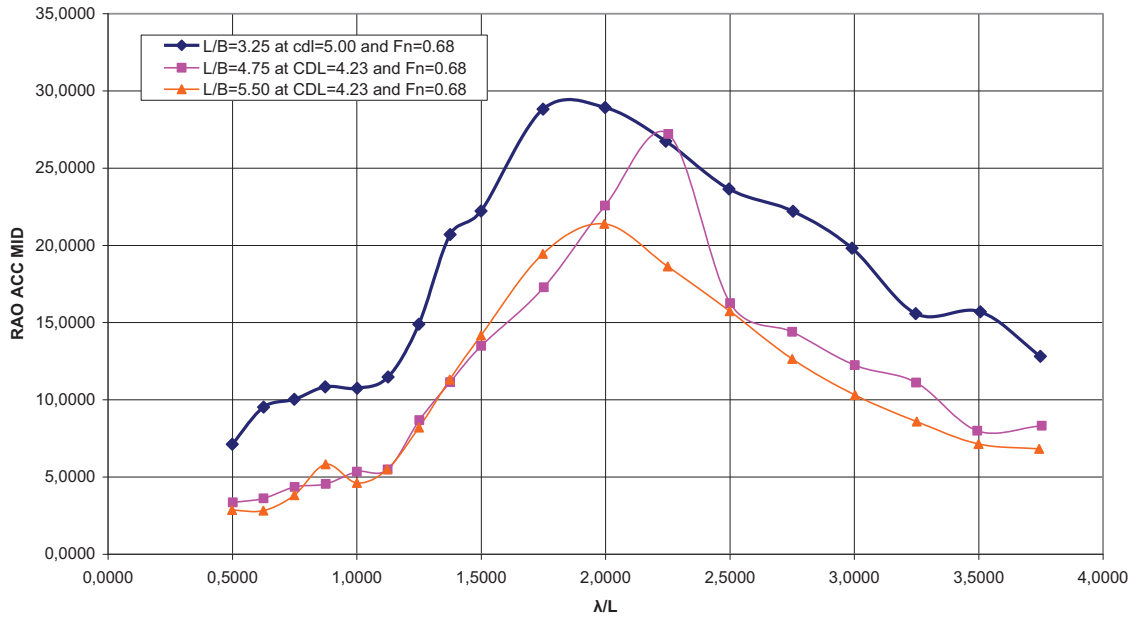


REGULAR WAVES
RAO HEAVE-Comparison between different L/B at common Fn=0.68

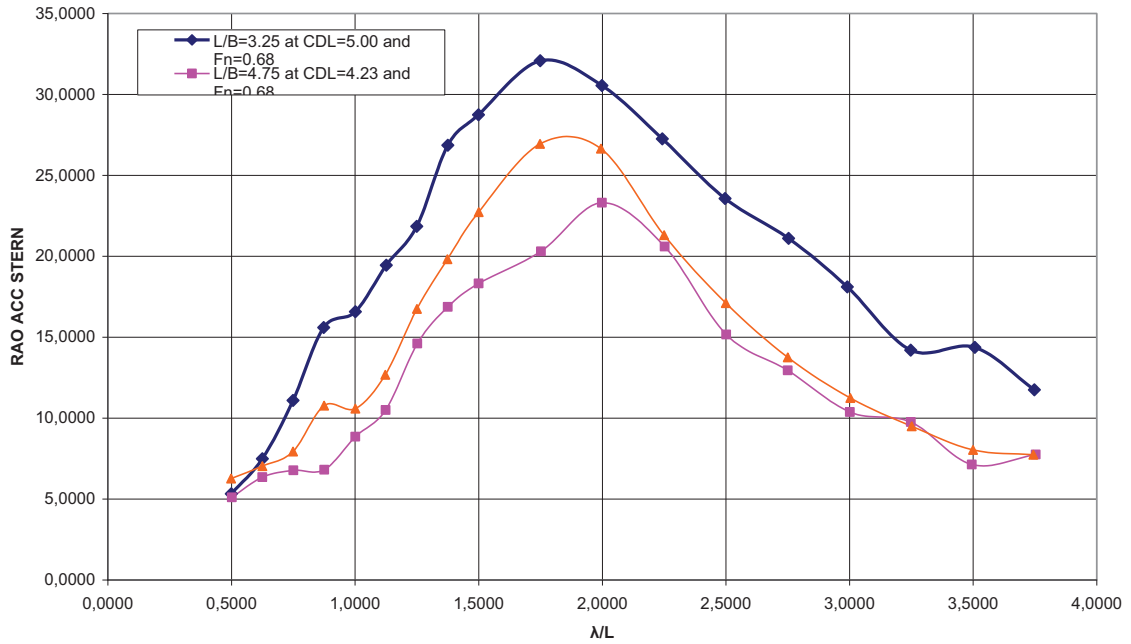




REGULAR WAVES
RAO ACC MID Comparison between different L/B at common Fn=0.68



REGULAR WAVES
RAO ACC STERN Comparison between different L/B at common Fn=0.68



4.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΜΕ L/B=3.25 ΜΕ ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΜΕ L/B=4.75 ΚΑΙ L/B=5.50

▪ Μέση Πρόσθετη Αντίσταση M.A.R.[kp]

Οι καταστάσεις που εξετάστηκαν όπως ήδη έχει αναφερθεί είναι με $C_{DL} = 4.23$ για τα πρότυπα με $L/B=4.75$ και $L/B=5.50$ και $C_{DL} = 5.00$ για το πρότυπο που δοκιμάστηκε στην παρούσα διπλωματική με $L/B=3.25$. Και τα τρία πρότυπα έχουν δοκιμαστεί σε κοινό αριθμό $F_n=0.68$ και τα στοιχεία που επιλέξαμε να συγκριθούν είναι στις πιο κοντινές καταστάσεις που είναι δυνατόν να συγκριθούν για να έχουμε χρήσιμα συμπεράσματα. Για να γίνει απολύτως ακριβής η σύγκριση θα έπρεπε να είχαμε κοινές καταστάσεις φόρτωσης και για τα τρία πρότυπα, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει διότι θα έπρεπε να είχαν πραγματοποιηθεί για την Συστηματική Σειρά Πειράματα για το κάθε πρότυπο που δεν θα ελιχε μεγάλη χρησιμότητα.

Λαμβάνοντας σαν δεδομένο την μεγάλη διαφορά στην κατάσταση φόρτωσης και παρατηρώντας τις καμπύλες παρατηρούμε ότι στην μέση αντίσταση το πρότυπο με $L/B=3.25$ παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερες τιμές αντίστασης για το ίδιο μήκος λ/L . Παράλληλα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι για τα δύο πρότυπα με ίδια κατάσταση φόρτωσης το πρότυπο με τον μικρότερο λόγο μήκους προς πλάτος παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά.

Σύγκριση μεγιστων τιμών της Μέσης τιμής της Υπόλοιπης Αντίστασης για κάθε πρότυπο:

L/B	C_{DL}	F_n	λ/L	M.A.R.[kp]
3.25	5.00	0.68	1.7488	6.1507(max!)
4.75	4.23	0.68	1.7480	5.4564
5.50	4.23	0.68	1.7523	5.1387

▪ RAO HEAVE

Στο γράφημα των αποκρίσεων της κατακόρυφης κίνησης παρατηρείται μικρή διαφοροποίηση συμπεριφοράς του προτύπου $L/B=3.25$. Δείχνει να έχει χαμηλότερα επίπεδα αποκρίσεων για ίδιου αρμονικούς κυματισμούς. Γεγονός που δικαιολογείται λόγω της βαρύτερης κατάστασης του μικρότερου λόγου L/B προτύπου.

Σύγκριση μεγιστων τιμών της Απόκρισης σε Κατακόρυφη Διέγερση για κάθε πρότυπο:

L/B	C_{DL}	F_n	λ/L	RAO HEAVE
3.25	5.00	0.68	2.9912	1.3509
4.75	4.23	0.68	2.2526	1.4219(max!)
5.50	4.23	0.68	2.4999	1.3207

Παρατηρούμε για την κατάσταση φόρτωσης για τις καταστάσεις φόρτωσης $C_{DL}=4.23$ μεγαλύτερο ρυθμό αύξηση με την αύξηση της συχνότητας κύματος σε αντίθεση με το πρότυπο 185/05.

▪ **RAO PITCH**

Στο γράφημα των αποκρίσεων της δυναμικής διαγωγής παρατηρείται μικρή διαφοροποίηση συμπεριφοράς των προτύπων με $L/B=4.75$ και 5.50 . Αντίθετα και σε αυτό το διάγραμμα αποκρίσεων παρατηρούμε υψηλες τιμές για το πρότυπο $L/B=3.25$

Σύγκριση μεγιστων τιμών της Απόκρισης Δυναμικής Διαγωγής για κάθε πρότυπο:

L/B	C_{DL}	F_n	λ/L	RAO PITCH
3.25	5.00	0.68	3.5070	2.0442(max!)
4.75	4.23	0.68	3.7538	1.4569
5.50	4.23	0.68	3.7437	1.3695

▪ **Επιταχύνσεις κατά μήκος του πλοίου-
RAO ACC BOW-RAO ACC MID- RAO ACC STERN**

Στο γράφημα των αποκρίσεων των επιταχύνσεων στην πλώρη, στο κέντρο πλευστότητας και στην πρύμνη είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε οτι και στα τρία σημεία καταγραφής των επιταχύνσεων παρουσιάζεται ίδια μορφή καμπυλών. Δηλαδή για μικρές τιμές λ/L έχουμε αυξανόμενες επιταχύνσεις μέχρι μια μεγιστη τιμή για κάθε κατάσταση και μετά από την περιοχή αυτή, με την αύξηση του λόγου λ/L έχουμε μείωση των επιταχύνσεων και στις τρεις αποκρίσεις.

Και στα τρία διαγράμματα αποκρίσεων παρατηρούνται αρκετά μεγαλύτερες τιμές για το πρότυπο 185/05 $l/b=3.25$

Σύγκριση μεγιστων τιμών της Απόκρισης RAO Acceleration στα τρία σημεία μέτρησης για κάθε πρότυπο:

L/B	C_{DL}	F_n	λ/L	RAO ACC BOW
3.25	5.00	0.68	3.5070	2.0442(max!)
4.75	4.23	0.68	3.7538	1.4569
5.50	4.23	0.68	3.7437	1.3695

L/B	C_{DL}	F_n	λ/L	RAO ACC MID
3.25	5.00	0.68	3.5070	2.0442(max!)
4.75	4.23	0.68	3.7538	1.4569
5.50	4.23	0.68	3.7437	1.3695

L/B	C_{DL}	F_n	λ/L	RAO ACC STERN [g/cm]
3.25	5.00	0.68	3.5070	2.0442(max!)
4.75	4.23	0.68	3.7538	1.4569
5.50	4.23	0.68	3.7437	1.3695

Επίδραση κατάστασης φόρτωσης: Σαν γενικό συμπέρασμα θα μπορούσαμε να εξάγουμε ότι μια βαρύτερη κατάσταση φόρτωσης προσδίδει καλά χαρακτηριστικά όσον αφορά τις επιταχύνσεις σε πλώρη, μέση και πρύμνη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΟΔΥΝΑΜΗΣ ΤΑΧΥΠΛΟΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΑΝΑΨΥΧΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΣΕ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΜΕ $F_n = 0.50 - 1.00$.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΛΟΙΟΥ

5.1 ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΟΙΟΥ

Προκειμένου τα αποτελέσματα των πειραμάτων που έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο να γίνουν πιο κατανοητά ως μεγέθη, παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο αυτό ανηγμένα σε κλίμακα πραγματικού πλοίου. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου με $L/B = 3.25$ που προέκυψε από κλίμακα 1:10 ($\lambda = 10$) από το πρότυπο 185/05 χρησιμοποιώντας τις σχέσεις αντιστοίχισης προτύπου και σκάφους σε πραγματική κλίμακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΩΝ

Μήκος	L [m]	λ
Εκτόπισμα	Δ [tn]	$1.025 \cdot \lambda^3$
Βρεχόμενη επιφάνεια	WS [m ²]	λ^2
Ταχύτητα	V [m/sec]	$\lambda^{1/2}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 :ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΟΙΟΥ στο $C_{DL} = 7.00$

L_{0a}	23.000	m
L_{wl}	21.381	m
B	7.04	m
T	1,253	m
Δ	70,09	tn
WS	114.600	m ²
$V_{FN=0.68}$	19.142	knots
$V_{FN=01.02}$	28.706	knots

Για το πρότυπο έχει γίνει υπολογισμοί αντίστασης που θα χρησιμοποιήσουμε για τους υπολογισμούς μας στο πραγματικής κλίμακας σκάφος.

Από μέθοδο Froude έχουμε τις παρακάτω γνωστές σχέσεις:

$$C_T(\text{Re}, Fr) = C_F(\text{Re}) + C_R(Fr)$$

C_T : συντελεστής ολικής αντίστασης του πλοίου

C_F : συντελεστής αντίστασης τριβής εξαρτώμενος μόνο από τον αριθμό Re ο οποίος μπορεί να ληφθεί ίσος με την αντίσταση τριβής επίπεδης πλάκας στον ίδιο αριθμό Re.

C_R : συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης (κυρίως αντίστασης κυματισμού) που εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό Fn.

Σύμφωνα με την μέθοδο του Froude για να αναγάγω τα πειραματικά αποτελέσματα από την κλίμακα προτύπου σε πλοίο βασιζόμαστε στο γεγονός ότι ο αριθμός Froude παραμένει σταθερός:

$$Fn_m = Fn_s \Rightarrow V_s = \frac{V_m}{\sqrt{\lambda}} \quad (3.2)$$

Για $Fn=1.02$ ισχύει για το πρότυπο ότι

$$C_R = 5.3 \cdot 10^{-3}$$

Ο συντελεστής αντίστασης επίπεδης πλάκας, για το σκάφος σε πραγματική κλίμακα υπολογίζεται από την σχέση

$$C_F(\text{Re}) = \frac{0.075}{(\log_{10} \text{Re} - 2)^2}$$

Υπολογίζω τον συντελεστή ολικής αντίστασης του προτύπου από τη σχέση

$$C_{TS} = C_{FS} + C_{Rm} - C_A$$

όπου C_A είναι ο συντελεστής συσχέτισης πλοίου- προτύπου και το θεωρώ μηδέν.

Η αντίσταση του πλοίου σε κάθε ταχύτητα θα είναι

$$R_{TS} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_s^2 \cdot S_s \cdot C_{TS}$$

όπου S_s η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου που προκύπτει από την γεωμετρική ομοιότητα και είναι $S_s = \lambda^2 \cdot S_m$

και ρ η πυκνότητα θαλασσινού νερού στους 15°C .

Από την Πειραματική διαδικασία που έχει γίνει θα χρησιμοποιήσουμε την μεγαλύτερη αντίσταση που έχουμε καταγράψει στην βαρύτερη κατάσταση. Δηλαδή στην $C_{DL}=7.00$

Έχουμε γνωστά για το πλοίο ότι :

$$V_S=14,77\text{m/s}$$

$$C_{DL}=7,00$$

Κινηματικό οξώδες στο θαλασσινό νερό στους 15°C

$$\nu = 1.8831 \frac{m}{s^2} \cdot 10^{-6}$$

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu} \Rightarrow Re = \frac{V \cdot L}{\nu} = \frac{21.4 \cdot 15}{1.8831 \cdot 10^{-6}} = 26,6 * 10^6$$

$$C_F(Re) = \frac{0.075}{(\log_{10} Re - 2)^2} = 0,001817$$

$$C_R = 5,3 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Άρα } C_{TS} = C_{FS} + C_{Rm} \Rightarrow C_{TS} = (1,8 + 5,3) \cdot 10^{-3} = 7,12 \cdot 10^{-3}$$

Η αντίσταση του πλοίου σε κάθε ταχύτητα θα είναι

$$R_{TS} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_S^2 \cdot S_S \cdot C_{TS}$$

Πυκνότητα στο θαλασσινό νερό στους 15°C

$$\rho = 104,68 \frac{kp \cdot sec^2}{m^4}$$

$$\Rightarrow R_{TS} = \frac{1}{2} \cdot 104,65 \cdot 15^2 \cdot 114,6 \cdot 7,12 \cdot 10^{-3}$$

$$\boxed{R_{TS} = 9606kp}$$

Ισχύει για την ισχύ Ρυμούλκησης ότι

$$EHP = \frac{V_S R_{TS}}{75} [PS]$$

Όταν $V_S [m/s]$ και $R_{TS} [kp]$

Άρα

$$EHP = 1921[PS]$$

Επιλογή Έλικας

Χρήσιμες Σταθερές

Πυκνότητα στο θαλασσινό νερό στους 15°C

$$\rho = 104,68 \frac{kp \cdot sec^2}{m^4}$$

Πυκνότητα στο γλυκού νερού στους 15°C

$$\rho = 101,94 \frac{kp \cdot sec^2}{m^4}$$

1kn=0.515m/sec

1PS=75[kp*m/sec]

Πίεση ατμοποίησης νερού στους 15 °C

$$p_v = 175 \frac{kp}{m^2}$$

V_s : ταχύτητα του πλοίου σε [kn]

U_s : ταχύτητα του πλοίου σε [m/sec]

V_A : ταχύτητα προχωρήσεως σε [kn]

U_A : ταχύτητα προχωρήσεως σε [m/sec]

w : συντελεστής ποσοστού ομόρρου

n : αριθμός στροφών ανα δευτερόλεπτο(r.p.s.)

N : αριθμός στροφών ανα λεπτό(R.P.M.)

R : Αντίσταση ρυμούλκυσης σε [kp]

T : Ώση έλικας σε [kp]

Q : Ροπή στρέψης σε [kp*m]

t : Συντελεστής ποσοστού μείωσης ώσης

n_R : Βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής

n_H : Συντελεστής απόδοσης γάστρας.

D : Διάμετρος έλικας [m]

P : Βήμα έλικας σε m

A_E : Εκτεταμένη επιφάνεια Έλικας

A_p : Προβεβλημένη επιφάνεια Έλικας

p_o : Στατική πίεση στο κέντρο της πλύμνης της έλικας σε [kp/m²]

J : Συντελεστής προχωρήσεως

K_T : Συντελεστής ώσεως

K_T : Συντελεστής ροπής στρέψης

$n_p(n_0)$: Απόδοση έλικας

n_D : Απόδοση έλικας επί του πλοίου

σ_{07} : Τοπικός συντελεστής σπηλαίωσης

τ : Συντελεστής φορτίσεως

ΟΡΙΣΜΟΙ ΙΠΠΟΔΥΝΑΜΕΩΣ

BHP	Ιπποδύναμη Πέδης
SHP	Ιπποδύναμη Άξονα
DHP	Ιπποδύναμη Αποδιδόμενη στην έλικα
THP	Ιπποδύναμη Ωσεως της έλικας
EHP	Ιπποδύναμη ρυμουλκίσεως

ΤΥΠΟΙ ΙΠΠΟΔΥΝΑΜΕΩΣ

$$THP = \frac{T \cdot U_A}{75} PS \left(\frac{T \cdot U_A}{550} HP \right)$$

$$EHP = \frac{R \cdot U_S}{75} PS \left(\frac{R \cdot U_A}{550} HP \right)$$

$$DHP = n_s \cdot SHP$$

ΤΥΠΟΙ ΕΛΙΚΩΝ

$$J = \frac{U_A}{nD}$$

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

$$n_o = \frac{J K_T}{2\pi K_Q}$$

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{T}{\rho U_A^2 D^2}$$

$$\frac{K_T}{J^4} = \frac{T \cdot n^2}{\rho U_A^4}$$

$$\delta = \frac{1}{J}$$

$$\frac{K_Q}{J^3} = \frac{Q \cdot n}{\rho D^2 U_A^3}$$

$$\frac{K_Q}{J^5} = \frac{Q \cdot n^3}{\rho U_A^3}$$

ΤΥΠΟΙ ΠΡΟΩΣΗΣ

$$V_A = (1-w)V_S$$

$$U_A = 0,515V_A [m/sec]$$

$$R = T(1-t)$$

$$K_T = \frac{145,63EHP}{\rho V_S n^2 D^4 (1-t)}$$

$$K_Q = \frac{75THP}{\rho \cdot n^3 \cdot U_A^3}$$

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{75THP}{\rho U_A^3 D^2}$$

$$\frac{K_T}{J^4} = \frac{75THP}{\rho U_A^5}$$

$$\frac{K_Q}{J^3} = \frac{37,5DHP}{\pi \rho D^2 U_A^3}$$

$$\frac{K_Q}{J^5} = \frac{37,5DHP n^2}{\pi \rho U_A^5}$$

Οι ιπποδυνάμεις στις σχέσεις του μετρικού συστήματος είναι σε PS ενώ στις σχέσεις του Αγγλοσαξωνικού σε HP.

$$n_D = \frac{1-t}{1-w} n_R n_P$$

$$n_R = \frac{(K_Q)_0}{(K_Q)_B}$$

όπου $(K_Q)_0$ συντελεστής ροπής στρέψης σε ελεύθερη ροή

$(K_Q)_B$ συντελεστής ροπής στρέψης πίσω από το πλοίο

$$n_H = \frac{1-t}{1-w}$$

$$n_D = n_H n_R n_p$$

$$THP = n_R n_p DHP$$

$$EHP = n_H THP = n_D DHP$$

$$EHP = n_S n_R n_H n_p SHP$$

ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ

$$\sigma_{0,7} = \frac{P_0 - P_V}{\frac{1}{2} \rho [U_A^2 + (0.7D\pi m)^2]}$$

$$\tau = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho \cdot A_P [U_A^2 + (0.7D\pi m)^2]}$$

Εύρεση έλικας για το πραγματικής κλίμακας σκαφος

Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που έχουμε υπολογίσει για συγκεκριμένο αριθμό F_n και κατάσταση φόρτωσης

$$\sigma_{0,7} = \frac{P_A + P_H - P_V}{\frac{1}{2} \rho V_A^2}$$

Το σκάφος έχει βύθισμα 1,3 m και θεωρώ προσεγγιστικά ότι υδροστατική πίεση της έλικας θεωρώ το 1,5m.

Τότε

$$\sigma_{0,7} = 0,99$$

Επιλέγω έλικα Newton Rader επειδή είναι για σπηλαιούμενες έλικες και στα ταχύπλοα εφαρμόζονται και μπαίνω στο διάγραμμα για $\sigma_{0,7} = 1$ (βλ. ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΣΚΑΦΩΝ, Σημειώσεις, Θ.Λουκάκης-Γ.Γρηγορόπουλος, 1996)

Για το συγκεκριμένο διάγραμμα

$$\sigma_{0,7} = 1$$

Z=3(αριθμός πτερυγίων)

EAR=0,73

Επίσης υπολογίζω θεωρώντας t=0 για να πραγματοποιηθεί μια προσέγγιση.

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{T}{\rho U_A^2 D^2} \Rightarrow \frac{K_T}{J^2} = 0,32$$

Έχοντας αυτόν τον λόγο διαβάζουμε και τα υπόλοιπα στοιχεία από το διάγραμμα:
 $n_0 = 0,66$

Επίσης ο λόγος $P/D=1,05$ είναι ο μιναδικός που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διότι το ζεύγος τιμών της εφαρμογής είναι αρκετά δεξιά όπου δεν υπάρχουν πολλές επιλογές διαγραμμάτων.

Θεωρώ Διάμετρο έλικας ίση με 80cm, το οποίο είναι ένα μέσο μέγεθος έλικας για τέτοιου μήκους σκάφους.

Άρα

$$P=D*(P/D)=0,8*1,02=0,84 \text{ Βήμα της έλικας}$$

Επίσης $J=0,8$ και από την σχέση $J = \frac{U_A}{nD}$ βρίσκω με αντικατάσταση των

παραπάνω μεγεθών

$$J = \frac{U_A}{nD} \Rightarrow n = \frac{U_A}{JD} = \frac{15}{0,8*0,8} = 23,4$$

$$\Rightarrow n = 23,4rps = 1406RPM$$

$$\Rightarrow n = 1406RPM$$

Ισχύει ότι:

$$EHP = n_S n_R n_H n_p SHP$$

Θεωρώ

$$n_R = 1$$

$$n_S = 0.99$$

$n_H = 1$ και βρήκαμε και από το διάγραμμα

$$n_0 = 0,66$$

$$SHP = \frac{EHP}{n_S n_R n_H n_p}$$

$$SHP = 2940PS$$

5.2.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΚΟΝΤΑ ΣΤΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΑΦΟΥΣ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΝΤΥΑ

Επιλέξαμε τους παρακάτω όμιλους εταιριών

the 9 brands

		
		
www.ferretti-yachts.com	www.pershing-yacht.com	www.itama-yacht.com
		
		
www.bertram.com	www.riva-yacht.com	www.apreamare.it
		
		
www.mochicraft-yacht.com	www.customline-yacht.com	www.crn-yacht.com

<http://www.canados.com>

<http://www.princessyachts.com/index.html>

<http://www.rizzardi-yacht.it/>

<http://www.posillipo-yacht.it/>

<http://www.sunseeker.com/>

<http://www.uniesse.com/>

Συμπεράσματα

Η σύγκριση δεν εμβαθύνει στην σχεδίαση των σκαφών της αγοράς αλλά δεν έχει γίνει και υπολογισμός της αντίστασης των συγκρινόμενων σκαφών. Παρόλ'αυτά θεωρήθηκε σημαντική η καταγραφή των τάσεων τόσο στις διαστάσεις όσο και στις ιπποδυνάμεις που δίνονται από τους κατασκευαστές. Η κατασκευή ταχύπλοων γαστρών είναι μια εξαιρετικά ανταγωνιστική βιομηχανία στην οποία υπάρχει τόσο επιστημονικό όσο και ακαδημαϊκό ενδιαφέρον έτσι ώστε να μελετώνται και να αναπτύσσονται καλύτερες, ταχύτερες αλλά και με καλύτερη συμπεριφορά σε κυματισμούς γάστρες.

Στους παραπάνω πίνακες βλέπουμε ότι η κατάσταση φόρτωσης που έχει επιλεγεί για την πειραματική διερεύνηση είναι σωστή. Παρατηρούνται κοντινές καταστάσεις φόρτωσης με το υπο μελέτη πρότυπο. Παράλληλα ο λόγος $L/B = 3.23$ παρατηρούμε ότι μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς σε μικρά σκάφη, και με καλύτερη εφαρμογή και σε γάστρες ακόμα μικρότερες από αυτήν των 21.4m που θεωρήσαμε.

Η επιλογή έλικας αλλά και η προσέγγιση ισχύος, χωρίς προσαυξήσεις δείχνουν ότι το πρότυπο απαιτεί ισχύ σε πολύ κοντινά επίπεδα με αυτά που τοποθετούνται από τους κατασκευαστές.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες εταιρίες δίνονται εναλλακτικές προωστήριες εγκαταστάσεις για επίτευξη υψηλών ταχυτήτων. Γεγονός που αποδεικνύει ότι δεν είναι οι βέλτιστες δυνατές εγκαταστάσεις αλλά οι βελτιστοποιημένες από άποψη κόστους.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❖ Odd M. Faltinsen, Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles, Cambridge University Press, 2005, ISBN 0-521-84568-98.
- ❖ «Υδροδυναμική Σχεδίαση Μικρών Σκαφών»: Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1996
- ❖ «Υδροδυναμική και Δυναμική Θαλασσίων Συστημάτων»: Θ.Α. Λουκάκης, Γ. Αθανασούλης, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997
- ❖ «Υδροδυναμική Πλοίου»: Θ.Α. Λουκάκης, Γ. Αθανασούλης, Γ. Γάνος, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1985
- ❖ «Εφαρμογές της Δυναμικής Συμπεριφοράς Πλοίων σε Κυματισμούς», Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2000
- ❖ «Υδροδυναμική Πλοίου, Αντίσταση – Πρόωση (Σημειώσεις)»: Θ.Α. Λουκάκης, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2001
- ❖ «Υδροδυναμική Πλοίου, (Αντίσταση – Πρόωση), Στοιχεία για Υπολογισμούς»: Θ.Α. Λουκάκης, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2002
- ❖ «Η Υδροδυναμική της Πρόωσης του Πλοίου»: Γ.Κ. Πολίτης, Γ.Ν. Λαμπρινίδης, Εκδόσεις Αστέρως, Αθήνα 1993
- ❖ «Operability of Ferries in the Aegean Sea, The Limiting Case of Weather Dependent (Official) Sailing Restrictions»: Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Δ.Π. Δαμάλα, Ελληνική Συνεδρία SNAME, Αθήνα

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

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

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

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

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

**ΕΞΑΓΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ Froude ΑΠΟ
ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RESOUT**

Ship Name : NTUA 185/05
 Test Condition : CDL=3.00
 Model Number : 185-05
 Model Scale = 1: 1
 Ship Data
 LWL : 2.08 Metres
 Lbulb : 2.08 Metres
 BWL : 0.57 Metres
 T : 0.08 Metres
 Trim : LEVEL KEEL
 Wetted Surf.: 0.84 m²
 S. W. Temp. : 15.00 Degrees
 Dcf*1000 : 3.7306

Date : 22-07-2005
 Trip Wires :NO
 Model Data
 LWL : 2.080 Metres
 Lbulb : 2.080 Metres
 BWL : 0.569 Metres
 T : 0.080 Metres
 Wetted Sur.: 0.842 m²
 F. W. Temp.: 22.70 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN ⁴ /CFM
m/s	Kp	*10 ⁻⁶	*10 ³	*10 ³	*10 ³			
1.000	0.370	2.210	8.639	3.974	4.665	0.221	2.174	0.604
3.000	2.651	6.629	6.878	3.226	3.651	0.664	2.132	60.305
1.250	0.613	2.762	9.160	3.802	5.358	0.277	2.409	1.542
3.250	2.903	7.181	6.417	3.180	3.237	0.719	2.018	84.263
1.500	0.957	3.314	9.931	3.670	6.261	0.332	2.706	3.313
3.500	3.140	7.733	5.985	3.139	2.846	0.775	1.907	114.846
1.750	1.228	3.867	9.363	3.564	5.799	0.387	2.627	6.321
3.750	3.476	8.286	5.772	3.100	2.671	0.830	1.862	153.206
2.000	1.549	4.419	9.042	3.476	5.566	0.443	2.602	11.058
4.000	3.832	8.838	5.592	3.065	2.527	0.886	1.824	200.598
2.250	1.845	4.971	8.510	3.400	5.109	0.498	2.503	18.105
4.250	4.256	9.390	5.502	3.033	2.469	0.941	1.814	258.377
4.500	4.718	9.943	5.440	3.003	2.437	0.996	1.812	327.999
4.750	5.149	10.495	5.329	2.975	2.354	1.052	1.791	411.025
5.000	5.666	11.048	5.292	2.949	2.343	1.107	1.795	509.119
2.500	2.112	5.524	7.890	3.335	4.555	0.553	2.366	28.135
2.750	2.373	6.076	7.327	3.278	4.049	0.609	2.235	41.914

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 ⁻⁸	*10 ³	*10 ³	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
1.000	0.221	1.00	0.018	4.166	12.562	1	0.0	1.94	19.990
3.000	0.664	3.00	0.053	3.366	10.748	4	0.2	5.83	153.934
1.250	0.277	1.25	0.022	3.982	13.070	1	0.0	2.43	32.499
3.250	0.719	3.25	0.057	3.317	10.285	5	0.2	6.32	172.870
1.500	0.332	1.50	0.026	3.840	13.832	1	0.0	2.92	49.525
3.500	0.775	3.50	0.061	3.273	9.850	5	0.2	6.80	192.008
1.750	0.387	1.75	0.031	3.727	13.256	2	0.0	3.40	64.601
3.750	0.830	3.75	0.066	3.232	9.634	6	0.3	7.29	215.585
2.000	0.443	2.00	0.035	3.632	12.929	2	0.1	3.89	82.298
4.000	0.886	4.00	0.070	3.195	9.452	7	0.4	7.78	240.663
2.250	0.498	2.25	0.039	3.552	12.392	3	0.1	4.37	99.827
4.250	0.941	4.25	0.074	3.160	9.360	7	0.4	8.26	269.027
4.500	0.996	4.50	0.079	3.128	9.296	8	0.5	8.75	299.561
4.750	1.052	4.75	0.083	3.099	9.183	9	0.6	9.23	329.702
5.000	1.107	5.00	0.088	3.071	9.144	10	0.7	9.72	363.796
2.500	0.553	2.50	0.044	3.482	11.768	3	0.1	4.86	117.040
2.750	0.609	2.75	0.048	3.421	11.200	4	0.1	5.35	134.791

Ship Name : NTUA 185/05
 Test Condition : CDL=3.62
 Model Number : 185-05
 Model Scale = 1: 1

Date : 27-09-2005
 Trip Wires :NO

Ship Data

LWL : 2.09 Metres
 Lbulb : 2.09 Metres
 BWL : 0.57 Metres
 T : 0.09 Metres
 Trim : LEVEL KEEL
 Wetted Surf.: 0.91 m²
 S. W. Temp. : 15.00 Degrees
 Dcf*1000 : 3.7225

Model Data

LWL : 2.092 Metres
 Lbulb : 2.092 Metres
 BWL : 0.569 Metres
 T : 0.087 Metres
 Wetted Surf.: 0.908 m²
 F. W. Temp.: 22.70 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN ⁴ /CFM
m/s	Kp	*10 ⁻⁶	*10 ³	*10 ³	*10 ³			
1.000	0.435	2.222	9.415	3.970	5.446	0.221	2.372	0.598
3.000	3.171	6.665	7.626	3.223	4.403	0.662	2.366	59.697
1.250	0.735	2.777	10.181	3.798	6.383	0.276	2.681	1.527
3.250	3.431	7.221	7.031	3.177	3.853	0.717	2.213	83.414
1.500	1.151	3.333	11.072	3.666	7.406	0.331	3.020	3.280
3.500	3.723	7.776	6.578	3.135	3.443	0.773	2.098	113.688
1.750	1.572	3.888	11.110	3.560	7.550	0.386	3.121	6.258
3.750	4.057	8.332	6.244	3.097	3.147	0.828	2.016	151.660
2.000	1.960	4.444	10.606	3.472	7.134	0.442	3.055	10.947
4.000	4.439	8.887	6.005	3.062	2.942	0.883	1.961	198.573
2.250	2.334	4.999	9.979	3.397	6.582	0.497	2.938	17.923
4.250	4.874	9.443	5.840	3.030	2.810	0.938	1.927	255.767
2.500	2.599	5.555	9.001	3.332	5.669	0.552	2.702	27.852
4.500	5.339	9.998	5.707	3.000	2.706	0.993	1.902	324.684
2.750	2.917	6.110	8.349	3.274	5.074	0.607	2.550	41.492
4.750	5.868	%10.554	5.629	2.972	2.657	1.049	1.894	406.870
5.000	6.378	%11.109	5.522	2.946	2.576	1.104	1.874	503.970

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 ⁻⁸	*10 ³	*10 ³	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
1.000	0.221	1.00	0.018	4.161	13.329	1	0.0	1.94	18.645
3.000	0.662	3.00	0.053	3.363	11.488	5	0.2	5.83	144.629
1.250	0.276	1.25	0.022	3.977	14.083	1	0.0	2.43	30.781
3.250	0.717	3.25	0.057	3.314	10.890	5	0.2	6.32	160.898
1.500	0.331	1.50	0.026	3.836	14.964	2	0.0	2.92	47.099
3.500	0.773	3.50	0.062	3.269	10.434	6	0.3	6.80	178.802
1.750	0.386	1.75	0.031	3.723	14.995	2	0.1	3.40	64.237
3.750	0.828	3.75	0.066	3.229	10.098	7	0.3	7.29	198.643
2.000	0.442	2.00	0.035	3.628	14.484	3	0.1	3.89	81.045
4.000	0.883	4.00	0.070	3.192	9.857	7	0.4	7.78	220.603
2.250	0.497	2.25	0.040	3.548	13.852	3	0.1	4.37	98.097
4.250	0.938	4.25	0.075	3.157	9.690	8	0.5	8.26	244.834
2.500	0.552	2.50	0.044	3.478	12.870	4	0.1	4.86	112.517
4.500	0.993	4.50	0.079	3.125	9.554	9	0.6	8.75	270.639
2.750	0.607	2.75	0.048	3.417	12.214	4	0.2	5.35	129.208
4.750	1.049	4.75	0.084	3.096	9.475	10	0.6	9.23	299.046
5.000	1.104	5.00	0.088	3.068	9.366	11	0.7	9.72	327.543

Ship Name : NTUA 185/05
 Test Condition : CDL=4.23
 Model Number : 185-05
 Model Scale = 1: 1
 Date : 28-09-2005
 Trip Wires :NO

Ship Data	Model Data
LWL : 2.10 Metres	LWL : 2.101 Metres
Lbulb : 2.10 Metres	Lbulb : 2.101 Metres
BWL : 0.57 Metres	BWL : 0.569 Metres
T : 0.09 Metres	T : 0.094 Metres
Trim : LEVEL KEEL	
Wetted Surf.: 0.96 m ²	Wetted Surf.: 0.963 m ²
S. W. Temp.: 15.00 Degrees	F. W. Temp.: 22.70 Degrees
Dcf*1000 : 3.7158	

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN ⁴ /CFM
m/s	Kp	*10 ⁻⁶	*10 ³	*10 ³	*10 ³			
1.000	0.503	2.232	10.271	3.966	6.305	0.220	2.590	0.593
3.000	3.818	6.696	8.662	3.220	5.442	0.661	2.690	59.197
1.250	0.848	2.790	11.082	3.795	7.287	0.275	2.920	1.514
3.250	4.073	7.254	7.874	3.175	4.699	0.716	2.480	82.714
1.500	1.365	3.348	12.388	3.663	8.725	0.330	3.382	3.253
3.500	4.359	7.812	7.266	3.133	4.133	0.771	2.319	112.733
1.750	1.926	3.906	12.842	3.557	9.285	0.385	3.610	6.205
3.750	4.683	8.370	6.800	3.095	3.705	0.826	2.197	150.386
2.000	2.313	4.464	11.807	3.469	8.339	0.441	3.404	10.855
4.000	5.043	8.929	6.436	3.060	3.376	0.881	2.103	196.903
2.250	2.898	5.022	11.689	3.394	8.295	0.496	3.444	17.773
4.250	5.687	9.487	6.429	3.028	3.401	0.936	2.123	253.615
2.500	3.240	5.580	10.585	3.329	7.257	0.551	3.180	27.619
4.500	5.924	%10.045	5.974	2.998	2.976	0.991	1.993	321.952
2.750	3.520	6.138	9.504	3.271	6.233	0.606	2.905	41.145
4.750	6.421	%10.603	5.811	2.970	2.841	1.046	1.957	403.444
5.000	6.865	%11.161	5.607	2.944	2.664	1.101	1.905	499.725

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 ⁻⁸	*10 ³	*10 ³	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
1.000	0.220	1.00	0.018	4.157	14.178	1	0.0	1.94	17.765
3.000	0.661	3.00	0.053	3.360	12.518	6	0.2	5.83	141.157
1.250	0.275	1.25	0.022	3.974	14.977	1	0.0	2.43	29.321
3.250	0.716	3.25	0.057	3.311	11.726	6	0.3	6.32	155.189
1.500	0.330	1.50	0.027	3.833	16.273	2	0.0	2.92	45.877
3.500	0.771	3.50	0.062	3.267	11.115	7	0.3	6.80	170.610
1.750	0.385	1.75	0.031	3.719	16.720	3	0.1	3.40	64.157
3.750	0.826	3.75	0.066	3.226	10.647	8	0.4	7.29	187.598
2.000	0.441	2.00	0.035	3.625	15.679	3	0.1	3.89	78.583
4.000	0.881	4.00	0.071	3.189	10.281	8	0.4	7.78	206.103
2.250	0.496	2.25	0.040	3.545	15.556	4	0.1	4.37	98.672
4.250	0.936	4.25	0.075	3.155	10.272	9	0.5	8.26	232.469
2.500	0.551	2.50	0.044	3.475	14.448	5	0.2	4.86	113.141
4.500	0.991	4.50	0.080	3.123	9.814	10	0.6	8.75	249.017
2.750	0.606	2.75	0.049	3.414	13.363	5	0.2	5.35	126.621
4.750	1.046	4.75	0.084	3.093	9.650	11	0.7	9.23	272.812
5.000	1.101	5.00	0.088	3.065	9.445	12	0.8	9.72	295.845

Ship Name : NTUA 185/05
 Test Condition : CDL=5.00
 Model Number : 185-05
 Model Scale = 1: 1
 Date : 29-09-2005
 Trip Wires :NO
 Ship Data
 LWL : 2.11 Metres
 Lbulb : 2.11 Metres
 BWL : 0.57 Metres
 T : 0.10 Metres
 Trim : LEVEL KEEL
 Wetted Surf.: 1.02 m²
 S. W. Temp.: 15.00 Degrees
 Dcf*1000 : 3.7073
 Model Data
 LWL : 2.114 Metres
 Lbulb : 2.114 Metres
 BWL : 0.569 Metres
 T : 0.103 Metres
 Wetted Surf.: 1.023 m²
 F. W. Temp.: 22.70 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN ⁴ /CFM
m/s	Kp	*10 ⁻⁶	*10 ³	*10 ³	*10 ³			
1.000	0.566	2.245	10.882	3.961	6.921	0.220	2.747	0.587
3.000	4.776	6.736	10.203	3.217	6.986	0.659	3.172	58.571
1.250	0.986	2.806	12.133	3.791	8.342	0.275	3.201	1.498
3.250	5.029	7.297	9.154	3.171	5.983	0.714	2.887	81.839
1.500	1.578	3.368	13.484	3.659	9.825	0.329	3.685	3.218
3.500	5.301	7.858	8.320	3.130	5.190	0.769	2.658	111.540
1.750	2.252	3.929	14.138	3.553	10.585	0.384	3.979	6.140
3.750	5.618	8.419	7.681	3.092	4.589	0.824	2.484	148.794
2.000	3.076	4.490	14.785	3.465	11.320	0.439	4.267	10.741
4.000	5.968	8.981	7.172	3.057	4.115	0.878	2.346	194.817
2.250	3.662	5.052	13.908	3.390	10.518	0.494	4.102	17.586
4.250	6.403	9.542	6.816	3.025	3.791	0.933	2.253	250.928
2.500	4.104	5.613	12.625	3.325	9.300	0.549	3.797	27.327
4.500	6.864	10.103	6.517	2.995	3.522	0.988	2.176	318.538
2.750	4.459	6.174	11.336	3.268	8.068	0.604	3.469	40.710
4.750	7.420	10.665	6.323	2.967	3.356	1.043	2.131	399.165
5.000	7.812	11.226	6.008	2.941	3.067	1.098	2.043	494.422

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 ⁻⁸	*10 ³	*10 ³	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
1.000	0.220	1.00	0.018	4.152	14.780	1	0.0	1.94	16.336
3.000	0.659	3.00	0.053	3.356	14.049	7	0.3	5.83	139.754
1.250	0.275	1.25	0.022	3.969	16.019	1	0.0	2.43	27.664
3.250	0.714	3.25	0.058	3.307	12.998	7	0.3	6.32	151.738
1.500	0.329	1.50	0.027	3.828	17.361	2	0.0	2.92	43.173
3.500	0.769	3.50	0.062	3.263	12.161	8	0.4	6.80	164.650
1.750	0.384	1.75	0.031	3.715	18.007	3	0.1	3.40	60.952
3.750	0.824	3.75	0.067	3.223	11.519	9	0.4	7.29	179.043
2.000	0.439	2.00	0.036	3.621	18.648	4	0.1	3.89	82.445
4.000	0.878	4.00	0.071	3.186	11.008	9	0.5	7.78	194.660
2.250	0.494	2.25	0.040	3.541	17.766	5	0.1	4.37	99.406
4.250	0.933	4.25	0.076	3.151	10.650	10	0.6	8.26	212.608
2.500	0.549	2.50	0.044	3.472	16.479	6	0.2	4.86	113.832
4.500	0.988	4.50	0.080	3.120	10.349	11	0.7	8.75	231.632
2.750	0.604	2.75	0.049	3.411	15.186	6	0.2	5.35	126.934
4.750	1.043	4.75	0.084	3.090	10.153	12	0.8	9.23	253.198
5.000	1.098	5.00	0.089	3.062	9.837	13	0.9	9.72	271.802

Ship Name : NTUA 185/05
 Test Condition : CDL=5.62
 Model Number : 185-05
 Model Scale = 1: 1
 Date : 30-09-2005
 Trip Wires :NO
 Ship Data
 LWL : 2.12 Metres
 Lbulb : 2.12 Metres
 BWL : 0.57 Metres
 T : 0.11 Metres
 Trim : LEVEL KEEL
 Wetted Surf.: 1.06 m²
 S. W. Temp.: 15.00 Degrees
 Dcf*1000 : 3.7012
 Model Data
 LWL : 2.122 Metres
 Lbulb : 2.122 Metres
 BWL : 0.569 Metres
 T : 0.110 Metres
 Wetted Surf.: 1.065 m²
 F. W. Temp.: 22.70 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 ⁻⁶	*10 ³	*10 ³	*10 ³			
1.000	0.600	2.255	11.081	3.958	7.123	0.219	2.800	0.583
3.000	5.590	6.764	11.471	3.215	8.257	0.657	3.568	58.125
1.250	1.046	2.818	12.364	3.787	8.576	0.274	3.264	1.487
3.250	5.844	7.328	10.218	3.169	7.049	0.712	3.225	81.215
1.500	1.705	3.382	13.995	3.656	10.339	0.329	3.828	3.194
3.500	6.110	7.891	9.212	3.127	6.084	0.767	2.946	110.689
1.750	2.464	3.946	14.859	3.550	11.309	0.384	4.185	6.094
3.750	6.427	8.455	8.441	3.089	5.351	0.822	2.732	147.658
2.000	3.459	4.509	15.971	3.462	12.508	0.438	4.613	10.660
4.000	6.811	9.019	7.862	3.055	4.807	0.877	2.574	193.329
2.250	4.345	5.073	15.851	3.388	12.464	0.493	4.679	17.452
4.250	7.228	9.582	7.391	3.022	4.368	0.931	2.445	249.010
2.500	4.870	5.637	14.391	3.323	11.068	0.548	4.331	27.119
4.500	7.750	%10.146	7.068	2.992	4.076	0.986	2.362	316.103
2.750	5.275	6.200	12.882	3.266	9.617	0.603	3.945	40.400
4.750	8.305	%10.710	6.798	2.965	3.834	1.041	2.293	396.111
5.000	8.902	%11.273	6.576	2.939	3.638	1.096	2.238	490.638

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 ⁻⁸	*10 ³	*10 ³	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
1.000	0.219	1.00	0.018	4.149	14.973	1	0.0	1.94	15.135
3.000	0.657	3.00	0.054	3.354	15.311	8	0.3	5.83	139.290
1.250	0.274	1.25	0.022	3.966	16.243	1	0.0	2.43	25.654
3.250	0.712	3.25	0.058	3.305	14.056	8	0.4	6.32	150.065
1.500	0.329	1.50	0.027	3.825	17.865	2	0.0	2.92	40.631
3.500	0.767	3.50	0.063	3.261	13.046	9	0.4	6.80	161.543
1.750	0.384	1.75	0.031	3.712	18.722	3	0.1	3.40	57.956
3.750	0.822	3.75	0.067	3.220	12.273	10	0.5	7.29	174.451
2.000	0.438	2.00	0.036	3.618	19.828	4	0.1	3.89	80.167
4.000	0.877	4.00	0.071	3.183	11.692	10	0.6	7.78	189.088
2.250	0.493	2.25	0.040	3.538	19.703	6	0.2	4.37	100.823
4.250	0.931	4.25	0.076	3.149	11.218	11	0.6	8.26	204.820
2.500	0.548	2.50	0.045	3.469	18.238	6	0.2	4.86	115.220
4.500	0.986	4.50	0.080	3.117	10.894	12	0.7	8.75	222.990
2.750	0.603	2.75	0.049	3.408	16.726	7	0.3	5.35	127.855
4.750	1.041	4.75	0.085	3.088	10.622	13	0.8	9.23	242.254
5.000	1.096	5.00	0.089	3.060	10.399	14	1.0	9.72	262.779

Ship Name : NTUA 185/05
 Test Condition : CDL=6.23
 Model Number : 185-05
 Model Scale = 1: 1
 Date : 04-10-2005
 Trip Wires :NO
 Ship Data
 LWL : 2.13 Metres
 Lbulb : 2.13 Metres
 BWL : 0.57 Metres
 T : 0.12 Metres
 Trim : LEVEL KEEL
 Wetted Surf.: 1.10 m²
 S. W. Temp.: 15.00 Degrees
 Dcf*1000 : 3.6964
 Model Data
 LWL : 2.129 Metres
 Lbulb : 2.129 Metres
 BWL : 0.569 Metres
 T : 0.117 Metres
 Wetted Surf.: 1.102 m²
 F. W. Temp.: 22.70 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN ⁴ /CFM
m/s	Kp	*10 ⁻⁶	*10 ³	*10 ³	*10 ³			
1.000	0.645	2.262	11.509	3.955	7.554	0.219	2.910	0.579
3.000	6.491	6.786	12.869	3.213	9.656	0.656	4.006	57.777
1.250	1.166	2.828	13.315	3.785	9.530	0.273	3.518	1.478
3.250	6.708	7.352	11.332	3.167	8.165	0.711	3.578	80.730
1.500	1.903	3.393	15.091	3.654	11.438	0.328	4.130	3.175
3.500	6.956	7.917	10.132	3.126	7.007	0.766	3.242	110.027
1.750	2.682	3.959	15.626	3.548	12.078	0.383	4.404	6.057
3.750	7.278	8.483	9.235	3.088	6.147	0.820	2.991	146.774
2.000	3.786	4.524	16.889	3.460	13.428	0.438	4.881	10.596
4.000	7.704	9.048	8.592	3.053	5.539	0.875	2.814	192.171
2.250	5.096	5.090	17.961	3.386	14.576	0.492	5.305	17.348
4.250	8.237	9.614	8.137	3.021	5.116	0.930	2.694	247.518
2.500	5.707	5.655	16.293	3.321	12.972	0.547	4.907	26.958
4.500	8.684	%10.179	7.652	2.991	4.661	0.985	2.559	314.208
2.750	6.156	6.221	14.525	3.264	11.261	0.602	4.451	40.159
4.750	9.274	%10.745	7.334	2.963	4.371	1.039	2.475	393.735
5.000	9.904	%11.310	7.069	2.937	4.132	1.094	2.407	487.694

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 ⁻⁸	*10 ³	*10 ³	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
1.000	0.219	1.00	0.018	4.146	15.396	1	0.0	1.94	14.390
3.000	0.656	3.00	0.054	3.352	16.704	9	0.3	5.83	140.522
1.250	0.273	1.25	0.022	3.963	17.190	2	0.0	2.43	25.105
3.250	0.711	3.25	0.058	3.303	15.164	9	0.4	6.32	149.713
1.500	0.328	1.50	0.027	3.823	18.957	2	0.0	2.92	39.867
3.500	0.766	3.50	0.063	3.259	13.962	10	0.5	6.80	159.863
1.750	0.383	1.75	0.031	3.710	19.484	3	0.1	3.40	55.774
3.750	0.820	3.75	0.067	3.218	13.062	11	0.5	7.29	171.689
2.000	0.438	2.00	0.036	3.616	20.741	5	0.1	3.89	77.545
4.000	0.875	4.00	0.072	3.181	12.417	11	0.6	7.78	185.692
2.250	0.492	2.25	0.040	3.536	21.808	6	0.2	4.37	103.195
4.250	0.930	4.25	0.076	3.147	11.960	12	0.7	8.26	201.921
2.500	0.547	2.50	0.045	3.467	20.136	7	0.2	4.86	117.629
4.500	0.985	4.50	0.081	3.115	11.473	13	0.8	8.75	217.157
2.750	0.602	2.75	0.049	3.406	18.363	8	0.3	5.35	129.805
4.750	1.039	4.75	0.085	3.086	11.154	15	0.9	9.23	235.219
5.000	1.094	5.00	0.090	3.058	10.886	16	1.0	9.72	254.390

Ship Name : NTUA 185/05
 Test Condition : CDL=7.00
 Model Number : 185-05
 Model Scale = 1: 1
 Date : 05-10-2005
 Trip Wires :NO
 Ship Data
 LWL : 2.14 Metres
 Lbulb : 2.14 Metres
 BWL : 0.57 Metres
 T : 0.13 Metres
 Trim : LEVEL KEEL
 Wetted Surf.: 1.15 m²
 S. W. Temp. : 15.00 Degrees
 Dcf*1000 : 3.6906
 Model Data
 LWL : 2.138 Metres
 Lbulb : 2.138 Metres
 BWL : 0.569 Metres
 T : 0.125 Metres
 Wetted Surf.: 1.146 m²
 F. W. Temp.: 22.70 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN ⁴ /CFM
m/s	Kp	*10 ⁻⁶	*10 ³	*10 ³	*10 ³			
1.000	0.666	2.271	11.427	3.952	7.474	0.218	2.891	0.575
3.000	7.500	6.814	14.298	3.210	11.087	0.655	4.454	57.350
1.250	1.209	2.839	13.275	3.782	9.493	0.273	3.510	1.467
3.250	7.709	7.382	12.522	3.165	9.357	0.710	3.957	80.132
1.500	1.935	3.407	14.755	3.651	11.104	0.328	4.041	3.152
3.500	7.962	7.950	11.151	3.123	8.028	0.764	3.570	109.212
1.750	2.830	3.975	15.855	3.545	12.309	0.382	4.472	6.013
3.750	8.283	8.517	10.106	3.085	7.020	0.819	3.275	145.686
2.000	4.100	4.543	17.586	3.458	14.128	0.437	5.086	10.518
4.000	8.758	9.085	9.391	3.051	6.341	0.873	3.079	190.747
2.250	5.834	5.110	19.772	3.383	16.389	0.491	5.844	17.220
4.250	9.265	9.653	8.801	3.018	5.782	0.928	2.916	245.682
2.500	6.636	5.678	18.217	3.318	14.898	0.546	5.490	26.759
4.500	9.843	10.221	8.340	2.989	5.351	0.983	2.790	311.876
2.750	7.162	6.246	16.248	3.261	12.987	0.600	4.982	39.862
4.750	10.502	10.789	7.986	2.961	5.025	1.037	2.697	390.812
5.000	11.245	11.357	7.717	2.935	4.782	1.092	2.630	484.072

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 ⁻⁸	*10 ³	*10 ³	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
1.000	0.218	1.00	0.018	4.142	15.307	1	0.0	1.94	13.090
3.000	0.655	3.00	0.054	3.349	18.127	10	0.4	5.83	139.509
1.250	0.273	1.25	0.022	3.960	17.144	2	0.0	2.43	22.907
3.250	0.710	3.25	0.058	3.300	16.348	10	0.4	6.32	147.665
1.500	0.328	1.50	0.027	3.820	18.614	3	0.1	2.92	35.815
3.500	0.764	3.50	0.063	3.256	14.975	11	0.5	6.80	156.870
1.750	0.382	1.75	0.031	3.707	19.706	4	0.1	3.40	51.608
3.750	0.819	3.75	0.067	3.216	13.927	12	0.6	7.29	167.477
2.000	0.437	2.00	0.036	3.613	21.432	5	0.1	3.89	73.309
4.000	0.873	4.00	0.072	3.179	13.210	13	0.7	7.78	180.747
2.250	0.491	2.25	0.040	3.533	23.613	7	0.2	4.37	102.222
4.250	0.928	4.25	0.076	3.145	12.618	14	0.8	8.26	194.889
2.500	0.546	2.50	0.045	3.464	22.053	8	0.3	4.86	117.866
4.500	0.983	4.50	0.081	3.113	12.155	15	0.9	8.75	210.477
2.750	0.600	2.75	0.049	3.403	20.081	9	0.3	5.35	129.864
4.750	1.037	4.75	0.085	3.084	11.799	16	1.0	9.23	227.656
5.000	1.092	5.00	0.090	3.056	11.529	17	1.2	9.72	246.471

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

DRAFT	DYN.TRIM	C.G.RISE	WET LENGTH	VOLUME	DISPLACE.	KM	WET.SUR	CDL
0,796	0	0	20,799	27,003	27,003	5,695	84,208	3

ΦΥΛΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ					
DATE 220705					
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ CDL=3,00					
ΑΡΧΕΙΟ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ		ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΓΩΝΙΑ	ΑΝΥΨΩΣΗ
	1		0,369582095	-0,329638193	-0,14074647
	3		2,650733509	-1,454899472	-0,13486318
	1,25		0,612877422	-0,266678101	-0,24755087
	3,25		2,903307047	-1,466529043	0,097300615
	1,5		0,956686707	-0,266678101	-0,41318819
	3,5		3,14015917	-1,304116064	0,343493799
	1,75		1,22755894	-0,596316294	-0,54443088
	3,75		3,476236613	-1,287674257	0,532211736
	2		1,548945881	-0,5882959	-0,66209674
	4		3,831901391	-1,248775346	0,672053085
	2,25		1,845333196	-0,823694464	-0,66933772
	4,25		4,255606387	-1,148921441	0,853077485
	4,5		4,717712871	-1,104809274	1,021430177
	4,75		5,148634254	-1,061900166	1,143621647
	5		5,66589455	-1,106814372	1,299302631
	2,5		2,111566323	-1,138895948	-0,57656271
	2,75		2,372902617	-1,382715926	-0,35254502

DRAFT	DYN.TRIM	C.G.RISE	WET LENGTH	VOLUME	DISPLACE.	KM	WET.SUR	CDL
0,872	0	0	20,915	33,139	33,139	5,596	90,842	3,62

ΦΥΛΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ					
DATE 270905					
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ CDL=3,62					
ΑΡΧΕΙΟ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ		ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΓΩΝΙΑ	ΑΝΥΨΩΣΗ
	1		0,434872081	-0,096129896	-0,14552371
	3		3,171017804	-1,811136963	-0,17309187
	1,25		0,734801724	-0,184387085	-0,279749
	3,25		3,43106043	-1,879505208	0,129253982
	1,5		1,150507317	-0,322780987	-0,43340758
	3,5		3,723478882	-1,745669189	0,385502261
	1,75		1,571652049	-0,562277021	-0,65576059
	3,75		4,057079382	-1,657412	0,573056116
	2		1,959643936	-0,931051191	-0,86093999
	4		4,439373124	-1,574955753	0,773264207
	2,25		2,334167479	-1,344989838	-0,8622958
	4,25		4,873986199	-1,52481904	0,977087794
	2,5		2,598872224	-1,582414107	-0,75111929
	4,5		5,339162052	-1,526476452	1,154247098
	2,75		2,916932329	-1,692217652	-0,41668591
	4,75		5,867535516	-1,540978807	1,330502528
	3		3,172571843	-1,824396259	-0,19433291
	5		6,377778518	-1,552166338	1,502238588

DRAFT	DYN.TRIM	C.G.RISE	WET LENGTH	VOLUME	DISPLACE.	KM	WET.SUR	CDL
0,943	0	0	21,012	39,216	39,216	5,424	96,291	4,23

ΦΥΛΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ					
DATE 280905					
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ CDL=4,23					
ΑΡΧΕΙΟ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ		ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΓΩΝΙΑ	ΑΝΥΨΩΣΗ
	1		0,502619621	-0,113532804	-0,15682214
	3		3,818459005	-2,184884951	-0,07908898
	1,25		0,848316269	-0,183144159	-0,28788387
	3,25		4,073005675	-2,171211292	0,287883869
	1,5		1,364660176	-0,353857718	-0,45645637
	3,5		4,359403048	-2,029502463	0,563113502
	1,75		1,926320123	-0,645148088	-0,73439763
	3,75		4,68257115	-1,942902624	0,79540912
	2		2,312775312	-1,174691606	-0,95855838
	4		5,042768931	-1,86210373	1,078773619
	2,25		2,897637072	-1,632552002	-0,96940487
	4,25		5,686515648	-1,823568873	1,285308828
	2,5		3,240226334	-1,954504516	-0,74027281
	4,5		5,923971698	-1,844286538	1,519412194
	2,75		3,519891038	-2,049805775	-0,43205177
	4,75		6,420894445	-1,869147736	1,759842678
	5		6,864732688	-1,934615558	2,026485508

DRAFT	DYN.TRIM	C.G.RISE	WET LENGTH	VOLUME	DISPLACE.	KM	WET.SUR	CDL
1,032	0	0	21,135	47,215	47,215	5,136	102,264	5

ΦΥΛΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ					
DATE 290905					
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ CDL=5,00					
ΑΡΧΕΙΟ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ		ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΓΩΝΙΑ	ΑΝΥΨΩΣΗ
	1		0,566074296	-0,081213247	-0,17399575
	3		4,775570873	-2,5677474	-0,06688668
	1,25		0,98583058	-0,202618764	-0,29692261
	3,25		5,029292533	-2,534184783	0,337145002
	1,5		1,577847786	-0,340184059	-0,49758264
	3,5		5,301433659	-2,397862547	0,643106351
	1,75		2,252104017	-0,637275375	-0,75563866
	3,75		5,617677731	-2,296345989	0,912008866
	2		3,07579141	-1,373995543	-1,09233173
	4		5,967647587	-2,252424539	1,232432199
	2,25		3,662101176	-1,942073917	-1,04939771
	4,25		6,402969617	-2,215547095	1,516248635
	2,5		4,104168362	-2,290545042	-0,84918962
	4,5		6,864234557	-2,160023753	1,780179843
	2,75		4,459067371	-2,472031788	-0,48312065
	4,75		7,420191118	-2,191514604	2,007504154
	5		7,812188488	-2,44592753	2,26420437

DRAFT	DYN.TRIM	C.G.RISE	WET LENGTH	VOLUME	DISPLACE.	KM	WET.SUR	CDL
1,102	0	0	21,224	53,746	53,746	4,898	106,461	5,62

ΦΥΛΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ					
DATE 300905					
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ CDL=5,62					
ΑΡΧΕΙΟ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ		ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΓΩΝΙΑ	ΑΝΥΨΩΣΗ
	1		0,600437615	-0,094472552	-0,18845773
	3		5,590424338	-2,842877991	-0,14145628
	1,25		1,046291722	-0,186458985	-0,33443338
	3,25		5,844086536	-2,772852284	0,267998641
	1,5		1,705087204	-0,323609927	-0,52334305
	3,5		6,109679675	-2,637358755	0,572152242
	1,75		2,463739482	-0,57512238	-0,74117668
	3,75		6,427405842	-2,508494878	0,918335984
	2		3,458935649	-1,350791758	-1,19627724
	4		6,811011558	-2,467473902	1,228816703
	2,25		4,344678393	-2,134748202	-1,29118401
	4,25		7,228335153	-2,416094092	1,538845485
	2,5		4,870417937	-2,518025004	-1,02228149
	4,5		7,750184172	-2,398691254	1,793286016
	2,75		5,274513749	-2,730173894	-0,67157838
	4,75		8,305232334	-2,458358129	2,088400877
	5		8,902298161	-2,599238251	2,38170799

DRAFT	DYN.TRIM	C.G.RISE	WET LENGTH	VOLUME	DISPLACE.	KM	WET.SUR	CDL
1,169	0	0	21,294	60,159	60,159	4,683	110,193	6,23

ΦΥΛΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ					
DATE 041005					
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ CDL=6,23					
ΑΡΧΕΙΟ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ		ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΓΩΝΙΑ	ΑΝΥΨΩΣΗ
	1		0,644985504	-0,089914666	-0,20924683
	3		6,491140344	-3,110964576	-0,20834296
	1,25		1,165595784	-0,191016871	-0,37962708
	3,25		6,708472416	-3,016492024	0,249921161
	1,5		1,90327848	-0,324024281	-0,59881653
	3,5		6,955924584	-2,85530859	0,571248368
	1,75		2,68224648	-0,559791308	-0,8220734
	3,75		7,277638368	-2,764979571	0,892123638
	2		3,78578448	-1,300655009	-1,25864455
	4		7,70399352	-2,694953863	1,20667179
	2,25		5,096008656	-2,337366965	-1,47873786
	4,25		8,236807632	-2,676722318	1,518960257
	2,5		5,70723888	-2,768708751	-1,18995012
	4,5		8,683675608	-2,677551025	1,898587337
	2,75		6,15644376	-3,009033665	-0,72174339
	4,75		9,273873696	-2,769123104	2,250194323
	5		9,904058808	-3,02353603	2,656937623

DRAFT	DYN.TRIM	C.G.RISE	WET LENGTH	VOLUME	DISPLACE.	KM	WET.SUR	CDL
1,253	0	0	21,381	68,386	68,386	4,443	114,6	7

ΦΥΛΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ					
DATE 051005					
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ CDL=7,00					
ΑΡΧΕΙΟ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ		ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΓΩΝΙΑ	ΑΝΥΨΩΣΗ
	1		0,665831017	-0,0638	-0,22777625
	3		7,499685484	-3,3281	-0,37194415
	1,25		1,209219241	-0,1521	-0,39951231
	3,25		7,708740442	-3,2394	0,03615496
	1,5		1,935369444	-0,2627	-0,58209486
	3,5		7,96161703	-3,0509	0,392733253
	1,75		2,830361814	-0,4740	-0,92782666
	3,75		8,282546033	-2,9257	0,706377531
	2		4,099642467	-1,2364	-1,35987843
	4		8,758397391	-2,8698	1,15243935
	2,25		5,833947958	-2,3954	-1,64866618
	4,25		9,264666116	-2,8222	1,45071777
	2,5		6,636399354	-2,9610	-1,43896741
	4,5		9,84336942	-2,8512	1,777016284
	2,75		7,162258926	-3,2668	-0,9648855
	4,75		10,50224053	-2,9324	2,067159838
	5		11,24488829	-3,2900	2,507798413

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

MODEL 185/05	
L	2,1135
DRAFT	0,1032
VOLUME	0,47215
CDL=5,00	
V=3,096m/s	
UNLOADING	750gr

m	Fn	0,68	V		3,096	m/sec
m						
m^3						

Αδισταση Τρ		Acc. #1	Acc. #2	Acc. #3	Wave	Wave	Resist	Heave	Pitch	k(diorthwsi)
(Tp/((Lbp/g)^0,5))	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	Hs/4 ονομαστικό	(rms)	(rms)	(rms)	(meters)	(mean)	(rms)	(rms)	
2,00	0,07	0,0175	0,0546	0,0525	1,9401	0,019401	5,0586	0,3145	0,7673	0,9020
2,50	0,08	0,0200	0,0864	0,1132	2,2937	0,022937	5,2218	0,6726	0,9303	0,8720
3,00	0,09	0,0225	0,1369	0,1704	2,7331	0,027331	5,3735	1,4177	1,0169	0,8232
3,50	0,10	0,0250	0,1801	0,2099	2,8671	0,028671	5,5188	2,1921	1,4204	0,8720
4,00	0,12	0,0300	0,2427	0,2573	3,7657	0,037657	5,6017	3,3938	2,0778	0,7967

MODEL 185/05	
L	2,1135
DRAFT	0,1032
VOLUME	0,47215
CDL=5,00	
V=4,64m/s	
UNLOADING	1100gr

m	Fn	1,02	V		4,644	m/sec
m						
m^3						

Αδισταση Τρ		Acc. #1	Acc. #2	Acc. #3	Wave	Wave	Resist	Heave	Pitch	k(diorthwsi)
(Tp/((Lbp/g)^0,5))	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	Hs/4 ονομαστικό	(rms)	(rms)	(rms)	(meters)				
2,00	0,07	0,0175	0,0639	0,0783	1,7016	0,017016	7,4873	0,2639	0,1758	1,0284
2,50	0,08	0,0200	0,1193	0,1369	2,3717	0,023717	7,6196	0,5552	0,4092	0,8433
3,00	0,09	0,0225	0,1715	0,1914	2,7862	0,027862	7,7539	1,0618	0,7121	0,8076
3,50	0,10	0,0250	0,2319	0,253	2,8686	0,028686	7,8839	1,9367	1,1298	0,8715
4,00	0,12	0,0300	0,2897	0,3013	4,2003	0,042003	8,044	2,898	1,5276	0,7142

MODEL 185/05													
L	2,1381	m		Fn	0,68	V		Speed[wave car]		Resist	3,11	m/sec	
DRAFT	0,125	m											
VOLUME	0,68386	m^3											
CDL=7,00													
V=3,114 m/s													
UNLOADING	1297gr												
Αδισταση Τρ													
(Tp/((Lbp/g)^0,5))		Hs/4 ονομαστικό		Acc. #1 (rms)		Acc. #2 (rms)		Acc. #3 (rms)		Wave (rms)		Wave (meters)	
2,00	0,07	0,0175	0,1042	0,0369	0,0384	1,6683	0,016683	1,2830	8,1944	0,2870	0,2698	1,0490	k(diorthwsi)
2,50	0,08	0,0200	0,1788	0,0618	0,0794	2,0815	0,020815	1,7876	8,2652	0,5385	0,4953	0,9608	
3,00	0,09	0,0225	0,279	0,1081	0,1321	2,602	0,02602	2,2382	8,4401	1,1918	0,9113	0,8647	
3,50	0,10	0,0250	0,3542	0,1498	0,1733	2,9318	0,029318	2,6194	8,5768	1,9888	1,2863	0,8527	
4,00	0,12	0,0300	0,4317	0,1946	0,2073	3,3563	0,033563	3,1222	8,7455	2,9873	1,7626	0,8938	

MODEL 185/05													
L	2,1381	m		Fn	1,02	V		Speed[wave car]		Resist	4,671	m/sec	
DRAFT	0,125	m											
VOLUME	0,68386	m^3											
CDL=7,00													
V=4.671m/s													
UNLOADING	1748gr												
Αδισταση Τρ													
(Tp/((Lbp/g)^0,5))		Hs/4 ονομαστικό		Acc. #1 (rms)		Acc. #2 (rms)		Acc. #3 (rms)		Wave (rms)		Wave (meters)	
2,00	0,07	0,0175	0,1762	0,0559	0,0632	1,6904	0,016904	1,0837	10,6267	0,2861	0,2398	1,0353	k(diorthwsi)
2,50	0,08	0,0200	0,2868	0,0969	0,1017	2,2261	0,022261	1,6107	10,7297	0,4601	0,3756	0,8984	
3,00	0,09	0,0225	0,3992	0,1438	0,1438	2,6176	0,026176	2,114	10,8985	0,9035	0,6622	0,8596	
3,50	0,10	0,0250	0,4896	0,1992	0,193	2,9649	0,029649	2,5778	11,053	1,6503	1,0646	0,8432	
4,00	0,12	0,0300	0,5919	0,2599	0,24	3,6198	0,036198	3,0826	11,1944	2,752	1,5301	0,8288	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

MODEL	185/05		Fn		V		3.10		m/sec								
L	2,1135	m	0.68	V													
DRAFT	0.1032	m															
VOLUME	0.47215	m ³	UNLOADING		750gr												
CDL=5,00	23/10/2006																
V=3.095m/s	23/10/2006																
			BOW	MID(LCF)	STERN												
f (Hz)	λ	A (cm)	acc1(rms)	acc2(rms)	acc3(rms)	wave(rms)	resist(mean)	heave(rms)	pitch(rms)	A (cm)	λ/L	RAO heave	RAO pitch	RAO acc1	MID(LCF)	RAO acc2	STERN
0.444	7.9213	5	0.2426	0.1492	0.1368	4.0718	4.9572	4.5561	2.0814	5.7584	3.7479	1.1189	1.8610	20.8353	12.8138	20.8353	11,7488
0.459	7.4120	5	0.2781	0.1672	0.1531	3.7245	5.2472	4.6295	2.2349	5.2672	3.5070	1.2430	2.0442	26.1113	15.6987	26.1113	14,3748
0.477	6.8632	5	0.3191	0.1923	0.1752	4.3154	5.0499	4.9014	2.5570	6.1029	3.2473	1.1358	1.8691	25.8584	15.5831	25.8584	14,1974
0.497	6.3219	5	0.3320	0.2016	0.1843	3.5587	5.1316	4.8074	2.4496	5.0328	2.9912	1.3509	2.0001	32.6244	19.8105	32.6244	18,1105
0.518	5.8197	5	0.4291	0.2443	0.2322	3.8474	5.1879	4.7404	2.5637	5.4410	2.7536	1.2321	1.7823	39.0020	22.2051	39.0020	21,1053
0.544	5.2767	5	0.4999	0.2675	0.2667	3.9572	5.4444	4.7359	2.7526	5.5963	2.4967	1.1988	1.6870	44.1764	23.6391	44.1764	23,5684
0.574	4.7396	5	0.6019	0.3058	0.3117	3.9990	5.6960	4.4541	2.6777	5.6554	2.2425	1.1138	1.4586	52.6343	26.7413	52.6343	27,2572
0.608	4.2243	5	0.6763	0.3211	0.3392	3.8827	5.8974	3.8080	2.5833	5.4910	1.9987	0.9808	1.2918	60.9118	28.9203	60.9118	30,5505
0.650	3.6960	5	0.7471	0.3239	0.3606	3.9302	6.1507	3.0879	2.4287	5.5581	1.7488	0.7857	1.0497	66.4752	28.8199	66.4752	32,0853
0.702	3.1887	5	0.6644	0.2471	0.3197	3.8900	6.1088	1.8663	1.7257	5.5013	1.4993	0.4798	0.6461	59.7277	22.2136	59.7277	28,7401
0.733	2.9064	5	0.6343	0.2307	0.2994	3.8979	6.0233	1.7345	1.7046	5.5125	1.3752	0.4450	0.5842	56.9062	20.6972	56.9062	26,8607
0.769	2.6406	5	0.5286	0.1716	0.2517	4.0294	5.9813	1.0182	1.2564	5.6984	1.2494	0.2527	0.3784	45.8757	14.8927	45.8757	21,8443
0.810	2.3801	5	0.4566	0.1248	0.2115	3.8029	5.9253	0.6458	1.2638	5.3781	1.1261	0.1698	0.3635	41.9872	11.4761	41.9872	19,4487
0.859	2.1163	5	0.4294	0.1223	0.1887	3.9811	5.8418	0.7023	1.1018	5.6301	1.0013	0.1784	0.2692	37.7185	10.7428	37.7185	16,5794
0.920	1.8450	5	0.3528	0.1104	0.1589	3.5630	5.8497	0.6883	1.0677	5.0388	0.8729	0.1932	0.2541	34.6265	10.8355	34.6265	15,5957
0.993	1.5837	3	0.1566	0.0577	0.0638	2.0114	5.2249	0.2343	0.7764	2.8445	0.7493	0.1165	0.2810	27.2263	10.0317	27.2263	11,0922
1.087	1.3216	3	0.1281	0.0618	0.0486	2.2704	5.2111	0.2231	0.6606	3.2108	0.6253	0.0993	0.1767	19.7307	9.5188	19.7307	7,4857
1.216	1.0561	3	0.1075	0.0479	0.0358	2.3525	5.1468	0.2033	0.6339	3.3269	0.4997	0.0884	0.1308	15.9799	7.1204	15.9799	5,3217

MODEL	185/05		Fn		V		4.64		m/sec									
L	2,1135	m	1.02	V														
DRAFT	0.1032	m	UNLOADING		1100gr													
VOLUME	0.47215	m ³																
CDL=5,00	30/10/2006																	
V=4.64m/s	30/10/2006																	
			BOW	MID(LCF)	STERN													
f (Hz)	λ	A (cm)	acc1(rms)	acc2(rms)	acc3(rms)	wave(rms)	resist(mean)	heave(rms)	pitch(rms)	A (cm)	λ/L	HEAVE/WAVE	RAO heave	RAO pitch	RAO acc1	MID(LCF)	RAO acc2	STERN
0.444	7.9213	5	3.9151	0.2440	0.2435	4.1522	7.4528	4.9807	2.0853	5.8721	3.7479	1.1754	1.1051	18.6551	12.4198	18.6551	12,3943	
0.459	7.4120	5	4.0680	0.2686	0.2663	4.1845	7.5209	4.9363	2.1959	5.9178	3.5070	1.1797	1.0804	21.2486	13.5664	21.2486	13,4502	
0.477	6.8632	5	3.8543	0.3088	0.3050	4.2013	7.4775	4.9555	2.3309	5.9415	3.2473	1.1795	1.0577	25.2888	15.5344	25.2888	15,3433	
0.497	6.3219	5	3.9561	0.3459	0.3418	4.0816	7.6329	4.7720	2.4206	5.7723	2.9912	1.1691	1.0414	31.5399	17.9111	31.5399	17,6988	
0.518	5.8197	5	3.8094	0.3734	0.3667	3.9893	7.8433	4.5502	2.4332	5.6417	2.7536	1.1406	0.9860	35.4166	19.7824	35.4166	19,4275	
0.544	5.2767	5	3.8175	0.4018	0.3734	4.1579	8.0773	4.1970	2.3404	5.8802	2.4967	1.0094	0.8250	37.9250	20.4239	37.9250	19,9803	
0.574	4.7396	5	3.8591	0.3974	0.3921	3.8020	8.1744	3.6015	2.1368	5.3768	2.2425	0.9473	0.7399	47.2563	22.0911	47.2563	21,7965	
0.608	4.2243	5	3.6373	0.3844	0.3802	3.8938	8.3655	2.7556	1.8125	5.5067	1.9987	0.7077	0.5462	45.6483	20.8647	45.6483	20,6367	
0.650	3.6960	5	3.7355	0.3500	0.3678	3.9193	8.4438	2.0594	1.4454	5.6427	1.7488	0.5255	0.3786	45.7234	18.8739	45.7234	19,9338	
0.702	3.1887	5	3.6190	0.3167	0.3377	3.9093	8.4965	1.9955	1.0955	5.5286	1.4993	0.3580	0.2467	44.1049	17.1219	44.1049	18,2572	
0.733	2.9064	5	3.6164	0.2858	0.3088	3.9687	8.4444	1.1763	0.9483	5.6126	1.3752	0.2964	0.1929	39.5839	15.2201	39.5839	16,4449	
0.769	2.6406	5	3.5747	0.2506	0.3023	3.9449	8.4726	0.8958	0.7419	5.5789	1.2494	0.2271	0.1379	39.4851	13.4280	39.4851	16,1959	
0.810	2.3801	5	3.3473	0.2187	0.2573	3.9430	8.3302	0.7128	0.5873	5.5762	1.1261	0.1808	0.0985	42.9347	11.7226	42.9347	13,7916	
0.859	2.1163	5	3.0336	0.2021	0.2534	4.133	8.1158	0.793	0.6176	5.8449	1.0013	0.1919	0.0878	30.6670	10.3348	30.6670	12,9582	

0.920	1.8450	2.3570	0.4353	0.1346	0.1743	2.9940	7.9468	0.3444	0.3127	4.2342	0.8729	0.1150	0.0535	30.7283	9.5016	12.3040
0.993	1.5837	1.7250	0.2648	0.0874	0.1048	2.1709	7.6241	0.1759	0.1282	3.0701	0.7493	0.0810	0.0260	25.7799	8.5089	10.2029
1.087	1.3216	1.4758	0.2139	0.0713	0.0908	2.0823	7.5972	0.1419	0.1217	2.9448	0.6253	0.0681	0.0215	21.7105	7.2368	9.2160
1.216	1.0561	1.3697	0.1811	0.0535	0.0772	2.4766	7.4819	0.1638	0.1126	3.5024	0.4997	0.0661	0.0133	15.4549	4.5656	6.5882

MODEL	185/05		213.81cm			Fn			MID(LCF)			BOW			HEAVE/WAVE			BOW			MID(LCF)			STERN				
L	2.1381	m	213.81cm	0.68	V car	3.11	m/sec																					
DRAFT																												
VOLUME																												
CDL=7.00																												
V=3.114m/s																												
f (Hz)	λ	A (cm)	acc1 (rms)	acc2 (rms)	acc3 (rms)	wave (rms)	resist (mean)	heave (rms)	pitch (rms)	A (cm)	λ/L	RAO heave	RAO pitch	RAO acc1	MID(LCF) RAO acc2	STERN RAO acc3												
0.444	7.9213	5	3.4948	0.2377	0.1491	0.1404	8.1798	4.7208	2.1989	5.2008	3.7048	1.2837	1.3157	13.8199	8.6687	8.1629												
0.459	7.4120	5	3.8451	0.3014	0.1862	3.5520	8.2232	5.0203	2.3272	5.0233	3.4666	1.4134	1.3489	18.1425	11.2082	10.0464												
0.477	6.8632	5	3.5720	0.3379	0.2009	3.8849	8.2758	4.8536	2.3616	5.4941	3.2099	1.2494	1.1589	18.5967	11.0568	10.2312												
0.497	6.3219	5	3.4934	0.3902	0.2235	3.6267	8.2739	4.9417	2.5015	5.1289	2.9568	1.3626	1.2113	23.0040	13.1763	12.5573												
0.518	5.8197	5	3.4977	0.4529	0.2566	3.4427	8.5382	4.8785	2.6353	4.8687	2.7219	1.4171	1.2375	28.1275	15.9362	15.1351												
0.544	5.2767	5	3.4743	0.5240	0.2818	3.6095	8.8756	4.7407	2.7693	5.1046	2.4679	1.3134	1.1246	31.0393	16.6925	16.3075												
0.574	4.7396	5	3.4145	0.5931	0.3042	3.5277	9.0702	4.2481	2.7423	4.9889	2.2167	1.2042	1.0234	35.9471	17.7948	18.4372												
0.608	4.2243	5	3.3543	0.6085	0.3056	3.5129	9.2429	3.3395	2.3640	4.9680	1.9757	0.9506	0.7896	37.0359	16.7742	18.6001												
0.650	3.6960	5	3.3304	0.5738	0.2775	3.5354	9.1403	2.2102	1.8628	4.9998	1.7286	0.6252	0.5410	34.7016	13.6073	16.7823												
0.702	3.1687	5	3.3286	0.4956	0.1798	3.4806	9.1404	1.3522	1.3674	4.9223	1.4820	0.3885	0.3458	30.4442	11.0449	14.5833												
0.733	2.9064	5	3.3654	0.4516	0.1442	3.5592	9.1764	1.0223	1.1515	5.0335	1.3593	0.2872	0.2612	27.1287	8.6625	12.5152												
0.769	2.6406	5	3.2868	0.4095	0.1246	3.4913	9.0834	0.9201	1.1008	4.9374	1.2350	0.2635	0.2313	25.0781	7.6306	11.3785												
0.810	2.3801	5	3.1608	0.3663	0.0923	3.3695	8.9001	0.5659	0.7378	5.0844	1.1132	0.1574	0.1357	21.7842	5.4892	8.9266												
0.859	2.1163	5	2.9315	0.3253	0.0896	3.5479	8.8644	0.7370	0.8050	5.0175	0.9898	0.2077	0.1334	19.6038	5.3996	8.8769												
0.920	1.8450	5	2.6045	0.2619	0.1013	3.1972	8.7237	0.5632	0.4928	4.5215	0.8629	0.1762	0.0790	17.5143	4.9621	6.7744												
0.993	1.5837	3	2.6189	0.2229	0.0710	3.4988	8.6849	0.3930	0.4483	4.9481	0.7407	0.1123	0.0564	14.0491	4.3388	5.6404												
1.087	1.3216	3	2.2448	0.1871	0.0617	3.1664	8.4632	0.3861	0.3424	4.4780	0.6181	0.1219	0.0397	12.6339	4.1663	4.5106												
1.216	1.0561	3	1.6563	0.1508	0.0465	2.4469	8.3045	0.2854	0.2761	3.4604	0.4939	0.1166	0.0331	13.1769	4.0632	4.7447												

MODEL	185/05		213.81cm			Fn			MID(LCF)			BOW			HEAVE/WAVE			BOW			MID(LCF)			STERN				
L	2.1381	m	213.81cm	1.02	V car	4.67	m/sec																					
DRAFT																												
VOLUME																												
CDL=7.00																												
V=3.114m/s																												
f (Hz)	λ	A (cm)	acc1 (rms)	acc2 (rms)	acc3 (rms)	wave (rms)	resist (mean)	heave (rms)	pitch (rms)	A (cm)	λ/L	RAO heave	RAO pitch	RAO acc1	MID(LCF) RAO acc2	STERN RAO acc3												
0.444	7.9213	5	3.6192	0.4093	0.2578	4.1356	10.6545	5.1233	2.3474	5.8486	3.7048	1.2388	1.2489	21.1508	13.3282	13.2714												
0.459	7.4120	5	3.6020	0.4694	0.2803	3.4704	10.6341	5.1104	2.4551	4.9079	3.4666	1.4726	1.4565	28.9196	17.3061	17.2692												
0.477	6.8632	5	3.5174	0.5438	0.3083	3.6215	10.7999	4.9903	2.5693	5.1216	3.2099	1.3780	1.3525	32.1054	18.2017	18.2431												
0.497	6.3219	5	3.5728	0.6663	0.3549	3.6598	10.9670	4.8408	2.6433	5.1757	2.9568	1.3227	1.2683	38.9261	20.7337	19.9100												
0.518	5.8197	5	3.5602	0.7151	0.3566	3.6034	11.1725	4.2270	2.3932	5.0960	2.7219	1.1731	1.0737	42.4309	21.1591	20.3877												
0.544	5.2767	5	3.3308	0.7399	0.3470	3.6941	11.3527	3.5059	2.1632	5.2242	2.4679	0.9491	0.8583	42.8245	20.0839	19.1058												
0.574	4.7396	5	3.2995	0.7062	0.3016	3.5110	11.2464	2.8694	1.8669	4.9653	2.2167	0.8173	0.7000	43.0056	19.1948	18.3666												
0.608	4.2243	5	3.3511	0.6981	0.2872	3.1532	11.4227	2.1111	1.5278	4.4593	1.9757	0.6695	0.5685	47.3363	19.4743	18.9250												
0.650	3.6960	5	3.3787	0.6868	0.2670	3.6130	11.3043	1.5247	1.1872	5.1096	1.7286	0.4220	0.3374	40.6434	15.8005	14.9365												
0.702	3.1687	5	3.2426	0.6599	0.2391	3.5800	11.3597	1.1227	0.8864	5.0205	1.4820	0.3163	0.2198	39.7446	14.4006	14.0332												
0.733	2.9064	5	3.2091	0.6532	0.2224	3.8251	11.3404	1.0484	0.8255	5.4095	1.3593	0.2741	0.1742	36.5116	12.4314	12.1463												

0.769	2.6406	5	3,1692	0,6376	0,2183	0,2142	3,8647	11,4042	0,8244	0,6621	5,4655	1,2350	0,2133	0,1257	35,2745	12,0772	11,8504
0.810	2,3801	5	3,091	0,5875	0,1880	0,1949	3,6366	11,3275	0,6071	0,4782	5,1429	1,1132	0,1669	0,0869	34,5414	11,0533	11,4589
0.859	2,1163	5	2,8819	0,4879	0,1626	0,1740	3,5625	11,3286	0,7783	0,5401	5,0381	0,9898	0,2185	0,0891	29,2822	9,7587	10,4429
0.920	1,8450	5	2,8014	0,4831	0,1565	0,1612	3,5435	11,3538	0,4281	0,3649	5,0113	0,8629	0,1208	0,0528	29,1496	9,4430	9,7266
0.993	1,5837	3	2,313	0,4217	0,1349	0,1374	3,3754	11,1527	0,5795	0,3921	4,7735	0,7407	0,1717	0,0511	26,7120	8,5451	8,7034
1.067	1,3216	3	1,9027	0,3541	0,1102	0,1211	3,327	10,8992	0,3568	0,3258	4,7051	0,6181	0,1072	0,0359	22,7563	7,0820	7,7825
1,216	1,0561	3	1,7052	0,287	0,1021	0,0973	2,5917	10,7825	0,2827	0,2718	3,6652	0,4939	0,1091	0,0308	23,6769	8,4230	8,0271