



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
« ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΡΙΝΑΣ ΙΣΤΙΟΠΛΟΪΚΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ »

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΣΠΥΡΟΥ Κ.

ΑΓΓΕΛΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ 08101042

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή</u>	σελ 1-1
<u>Κεφάλαιο 2 – Σύγχρονοι τύποι Καρίνων Ιστιοπλοϊκών</u>	
2.1 Ορισμός Ιστιοπλοϊκού Σκάφους	σελ 2-1
2.2 Η Πρώτη Καρίνα	σελ 2-1
2.3 Σύγχρονοι τύποι καρίνων	σελ 2-3
2.4 Αεροδυναμική και Υδροδυναμική Ισορροπία	σελ 2-6
<u>Κεφάλαιο 3 – Μελέτη Στατικής Ευστάθειας Ιστιοπλοϊκού</u>	
3.1 Κύριες Διαστάσεις και Χαρακτηριστικά	σελ 3-1
3.2 Κέντρο Βάρους	σελ 3-3
3.3 Παραμετρικές Καμπύλες Ευστάθειας – Υπολογισμός GZ	σελ 3-5
3.4 Περιγραφή Κριτηρίου Δείκτη Ευστάθειας STIX	σελ 3-7
3.5 Υπολογισμός Κριτηρίου Δείκτη Ευστάθειας STIX	σελ 3-12
<u>Κεφάλαιο 4 – Πρόβλεψη των Αποκρίσεων του Ιστιοπλοϊκού</u>	
4.1 Εισαγωγή	σελ 4-1
4.2 Περιγραφή του λογισμικού Waveload	σελ 4-1
4.3 Χρήση του λογισμικού Waveload	σελ 4-4
4.4 Μελέτη Συμπεριφοράς στον Προνευτασμό	σελ 4-12
4.5 Μελέτη Συμπεριφοράς στον Διατοιχισμό	σελ 4-21
<u>Κεφάλαιο 5 – Εναλλακτική Μελέτη Πρόβλεψης των Αποκρίσεων</u>	
5.1 Εισαγωγή	σελ 5-1
5.2 Decay Tests	σελ 5-1
5.3 Μελέτη Διατοιχισμού	σελ 5-2
5.4 Μελέτη Προνευτασμού	σελ 5-5
<u>Κεφάλαιο 6 –Μελέτη της Αντίστασης</u>	
6.1 Εισαγωγής	σελ 6-1
6.2 Αντίσταση Όρθιας Θέσης	σελ 6-3
6.3 Επαγόμενη Αντίσταση	σελ 6-8
6.4 Αντίσταση Εγκάρσιας Κλίσης	σελ 6-13
6.5 Ολική Αντίσταση	σελ 6-18
<u>Κεφάλαιο 7 –Συμπεράσματα</u>	
<u>Βιβλιογραφία</u>	
<u>Παράρτημα</u>	
Π4Α Το μοντέλο του WAVELOAD	σελ Π4-1
Π4Α Διαγράμματα Αποτελέσματος	σελ Π4-20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΡΙΝΩΝ ΙΣΤΙΟΠΛΟΪΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΙΣΤΙΟΠΛΟΪΚΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΤΟΥ ΙΣΤΙΟΠΛΟΪΚΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Διπλωματική Εργασία Μακρή Παναγιώτη, "Κριτήρια Ευστάθειας Ιστιοφόρων Σκαφών" 2002
2. Lars Larsson and Rolf Eliasson, "Principles of Yacht Desing"
3. "Hydromax Maxsurf Manual"
4. Gerritsma, J, "Sailing Yacht Performance in Calm Water and in Waves" 1992
5. Peter van Oossanen "Predicting the Speed of Sailing Yachts", SNAME TRANSACTIONS, VOL101 1993
6. L.K. Kobylinski & Kastner "Stability and Safety Of Ships" Vol. I Ocean Engineering Series
7. SNAME "Principles of Naval Architecture Vol 3 - Motions in Waves and Controllability 1989"
8. J.A. Keuning, U.B. Sonnenberg, "Approximation of the Hydrodynamic Forces on a Sailing Yacht based on the Delft Systematic Yacht Hull Series", International HISWA symposium on yacht design and construction
9. "Span Maxsurf Manual"
10. "Waveload User and Theory Manual"
11. J.A. Keuning, R.Onnink , "The Bare Hull Resistance of the Delft Systematic Yacht Hull Series", International HISWA Symposium on Yacht Design and Construction
12. J.A. Keuning, R.Onnink , "A Mathematical Model for the Tacking Maneuver of a Sailing Yacht", International HISWA Symposium on Yacht Design and Construction 2004
13. J.A. Keuning, R.Onnink , "Approximation Method for the Loss of Speed during the Tacking Maneuver of a Sailing Yacht", International HISWA Symposium on Yacht Design and Construction 2004
14. Γρηγορόπουλου Γ. Λουκάκη Θ.Α. "Υδροδυναμική Σχεδίαση Μικρών Σκαφών" 1998
15. Κ. Σπύρου, "Δυναμική Ευστάθεια Πλοίου και Υπόβαθρο Κανονισμών" 2005

Ηλεκτρονική

1. [i] <http://www.abc.se/~m10354/bld/shiptype.htm>
2. [ii] <http://www.axelnelson.com/skepp/egypt.htm>
3. [iii] <http://www.volvoceanrace.com/index.aspx>
4. [iv] http://en.wikipedia.org/wiki/Winged_kell

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Peter van Oossanen PREDICTING THE SPEED OF SAILING YACHTS, , SNAME TRANSACTIONS, VOL101 1993
- [2] J.Geritsma, J.A. Keuning, R. Onnink , SAILING YACHT PERFORMANCE IN CALM WATER AND WAVES , 12TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON YACHT DESIGN AND CONSTRUCTION
- [3] J A Keuning, K J Vermeulen, THE YAW BALANCE OF SAILING YACHTS UPRIGHT AND HEELED, INTERNATIONAL JOURNAL OF SMALL CRAFT TECHNOLOGY
- [4] Yann Roux, Jean-Philippe Boin, YACHT PERFORMANCE PREDICTION : TOWARDS A NUMERICAL VPP, HIGH PERFORMANCE YACHT DESIGN CONFERENCE AUCKLAND 2002
- [5] E J de Ridder, K.J. Vermeulen, J.A.Keuning , A MATHEMATICAL MODEL FOR THE TACKING MANEUVER OF A SAILING YACHT, THE INTERNATIONAL HISWA SYMPOSIUM ON YACHT DESIGN AND CONSTRUCTION 2004
- [6] Andrew Claughton , DESIGN CONSIDERATIONS FOR CANTING KEEL YACHTS, THE INTERNATIONAL HISWA SYMPOSIUM ON YACHT DESIGN AND CONSTRUCTION 2004
- [7] Richard Birmingham , DESIGN FOR STABILITY AND INSTABILITY – FINDING THE RIGHT BALANCE FOR SMALL CRAFT , THE INTERNATIONAL HISWA SYMPOSIUM ON YACHT DESIGN AND CONSTRUCTION 2004
- [8] Perry van Oossanen , A CONCEPT EXPLORATION MODEL FOR SAILING YACHTS, VAN OOSSANEN & ASSOCIATES publication.
- [9] M.Renilson , P.Hardon , CAPSIZING OF SMALL VESSELS IN BREAKING WAVES , INTERNATIONAL JOURNAL OF SMALL CRAFT TECHNOLOGY
- [10] Kim Klaka and Martin Renilson , EXPERIMENTAL STUDY ON THE INFLUENCE OF APPENDAGES ON A YACHT ROLLING AT ZERO FROUDE NUMBER, MARINE TECHNOLOGY, VOL41 2004
- [11] J.Bettencourt , N.Fonseca , G. Soares , A PROCEDURE FOR THE OPTIMIZATION OF THE HYDRODYNAMIC PERFORMANCE OF SAILING

YACHTS KEELS, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON YACHT DESIGN AND PRODUCTION

- [12] L.Pavon, Z.Rodriguez , P.Rojas , HYDRODYNAMIC STUDY OF A CANTING KEEL BASED APPENDAGE CONFIGURATION, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON YACHT DESIGN AND PRODUCTION
- [13] Clemens Dransfeld, DESIGN AND ANALYSIS OF PSAROS 40ft LAKE RACER, 20TH CAD-FEM USERS' MEETING 2002
- [14] CANTING KEEL EFFECTS, 19TH INTERNATIONAL HISWA SYMPOSIUM ON YACHT DESIGN AND CONSTRUCTION 2006
- [15] J.A. Keuning, M.Katgert, K.J. Vermeulen , KEEL – RUDDER INTERACTION ON A SAILING YACHT 19TH INTERNATIONAL HISWA SYMPOSIUM ON YACHT DESIGN AND CONSTRUCTION 2006
- [16] J.A. Keuning, U.B. Sonnenberg, APPROXIMATION OF THE HYDRODYNAMIC FORCES ON A SAILING YACHT BASED ON THE DELFT SYSTEMATIC YACHT HULL SERIES , INTERNATIONAL HISWA SYMPOSIUM ON YACHT DESIGN AND CONSTRUCTION
- [17] J.A. Keuning, R.Onnink , THE BARE HULL RESISTANCE OF THE DELFT SYSTEMATIC YACHT HULL SERIES, INTERNATIONAL HISWA SYMPOSIUM ON YACHT DESIGN AND CONSTRUCTION

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Κ. Σπύρου για τη συνεργασία μας, τη καθοδήγηση και την βοήθεια που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση του θέματος.

Θέλω επίσης να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου προς τους φίλους Νίκο Θεμελή (Υ.Δ.) Παναγιώτη Πούλιο (Μ.Φ) και Ιωάννη Τίγκα (Υ.Δ.) για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφεραν τόσο με τις θεωρητικές όσο και με τις πρακτικές τους γνώσεις στην εκμάθηση των λογισμικών.

Εισαγωγή

Στην εποχή μας, οι μεγάλοι διεθνείς ιστιοπλοϊκοί αγώνες, με τα χρηματικά ποσά που χορηγούνται στην έρευνα για την βελτίωση της απόδοσης των συμμετεχόντων σκαφών, μοιάζουν με τους αγώνες αυτοκινήτων όπου οι καινοτομίες στην σχεδίαση μετά από κάποιο χρονικό διάστημα περνάνε και στην βιομηχανία. Στην ίδια αναλογία, κάθε καινοτομία που δοκιμάζεται και κρίνεται αποδοτική στα μεγάλα αγωνιστικά ιστιοπλοϊκά περνάει και στην βιομηχανία των ημιαγωνιστικών και σκαφών αναψυχής.

Όσον αφορά τα σύγχρονα ιστιοπλοϊκά η πλειονότητα των καινοτομιών συνδέεται με την σχεδίαση της καρίνας. Τα σκάφη χαρακτηρίζονται πιο πολύ από κάθε άλλη περίοδο, από πληθώρα διαφορετικών τύπων καρίνων, όπως οι παραδοσιακές fin keels, οι βολβοειδείς οι περιστρεφόμενες canting keels και καρίνες που αποσύρονται στο εσωτερικό της γάστρας Lifting Keels, Centerboards και Daggerboards.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία δίνεται βαρύτητα στην καρίνα Daggerboard η οποία προσφέρει την δυνατότητα στο σκάφος που την φέρει, να προσεγγίζει αβαθή νερά για να δέσει, κινούμενη κατακόρυφα και αποσύρωντας το σώμα της μέσα σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο στο διαμέρισμα των επιβατών. Γίνεται διερεύνηση της επίδρασης που θα είχε μία καρίνα τέτοιου τύπου στην συμπεριφορά ενός ιστιοπλοϊκού κατά την πλεύση. Σε κάθε έναν από τους υπό εξέταση παράγοντες η καρίνα θα παρουσιάζεται ανυψωμένη με βήμα 35 cm(και αποσυρόμενη προς το εσωτερικό της γάστρας) από την κανονική της θέση. Θα γίνει διερεύνηση για συνολικά τέσσερις περιπτώσεις, με την καρίνα στην κανονική της θέση και με τρεις βηματικές ανυψώσεις της.

Στο 2^ο κεφάλαιο δίνεται μία αναφορά στους τύπους των καρίνων που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας. Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το ιστιοπλοϊκό που θα χρησιμοποιήσουμε στην μελέτη μας και γίνεται ο πρώτος έλεγχος της επίδρασης της καρίνας, που αφορά κριτήρια στατικής ευστάθειας όπως το STIX του ISO.

Στα κεφάλαια 4 και 5 γίνεται παρουσίαση των λογισμικών WAVELOAD και MAXSURF αντίστοιχα, που χρησιμοποιούνται για την μελέτη των κινήσεων ενός πλοίου υπό την επίδραση κυματισμών και γίνεται εφαρμογή για το ιστιοπλοϊκό που έχουμε επιλέξει, για τις τέσσερις διαφορετικές θέσεις της καρίνας.

Στο 6^ο κεφάλαιο μελετάται η επίδραση της θέσης της καρίνας στην αντίσταση του ιστιοπλοϊκού με συνδυασμό των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το λογισμικό SPAN VPP (Velocity Prediction Program – Κώδικα Πρόβλεψης Ταχύτητας) και από σχέσεις που ανευρέθηκαν στην βιβλιογραφία.

Στο 7^ο κεφάλαιο θα παραθέσουμε τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω μελέτες.

Σημειώνεται πως ο συμβολισμός [#] παραπέμπει σε βιβλιογραφική αναφορά στο αντίστοιχο παράρτημα.

2.1 Ορισμός Ιστιοπλοϊκού Σκάφους

Τα ιστιοπλοϊκά σκάφη αποτελούν ειδικό τύπο πλοίων, η πρόωση των οποίων βασίζεται στην ώθηση που αναπτύσσουν με τα πανιά τους υπό την επίδραση του ανέμου, χωρίς παράλληλα να αποκλείουν την ύπαρξη μηχανής. Σύμφωνα με τα πρότυπα του ISO ιστιοπλοϊκό μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε σκάφος που έχει σαν κύριο μέσο πρόωσης την ώθηση του ανέμου και ικανοποιεί την σχέση :

$$A_s > 0.07 * (m_{LDC})^{2/3}$$

Όπου A_s η συνολική επιφάνεια της ιστιοφορίας αποτελούμενη από το πρωραίο και το κυρίως τρίγωνο, ενώ m_{LDC} το εκτόπισμα του σκάφους σε kg στην Full Load Departure κατάσταση.

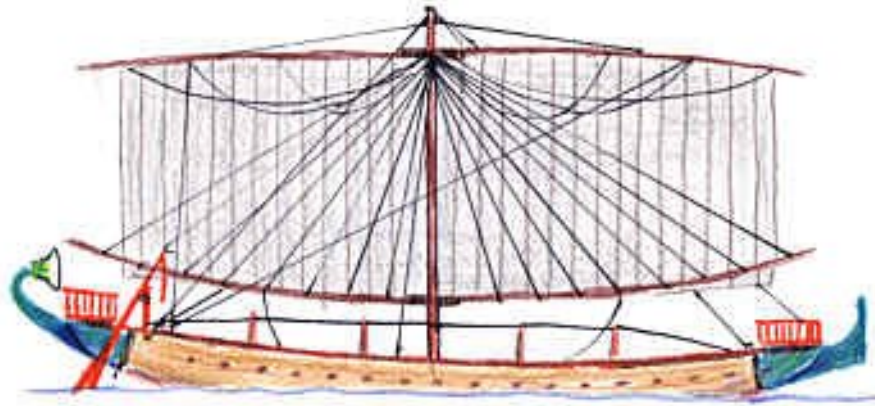
2.2 Η πρώτη καρίνα

Τα πρώτα ιστιοπλοϊκά πιθανότατα εμφανίστηκαν στο Νείλο ποταμό της αρχαίας Αιγύπτου γύρω στο 3000 π.Χ. Με τα πανιά τους ανοιγμένα εκμεταλλευόντουσαν τους βόρειους ανέμους για να πλεύσουν προς το Νότο και τα μάζευαν στην αντίθετη περίπτωση όπου το ρεύμα του Νείλου τους οδηγούσε από μόνο του προς τον Βορρά. Η μορφή της γάστρα τους ήταν ίδια με τα λεγόμενα «πλοία του Χέοπα», τα οποία δεν ήταν ιστιοπλοϊκά αλλά κωπήλατα [ii]. Τα τελευταία, θαμμένα από το 2600 π.Χ., βρέθηκαν αποσυναρμολογημένα και τοποθετημένα προσεκτικά σε τοποθεσία πλησίον της πυραμίδας του Χέοπα, για να τον μεταφέρουν στο μεταθανάτιο ταξίδι του, σύμφωνα με τις αιγυπτιακές παραδόσεις. Το ένα ανασκάφτηκε, συναρμολογήθηκε και τοποθετήθηκε σε μουσείο που κατασκευάστηκε για αυτό το λόγο στην ίδια περιοχή. Όπως βλέπουμε είχαν επίπεδη τρόπιδα απόυσης οποιασδήποτε μορφής καρίνας (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 : Η γάστρα στην οποία προσαρμόστηκε η πρώτη καρίνα

Η ίδια μεθοδολογία σχεδίασης επικράτησε ως και το 1500 π.Χ. εποχή της βασίλισσας Χατσεπάτ, όπου εμφανίστηκαν τα πρώτα μεγάλα ιστιοφόρα με καρίνα, για εμπορικά ταξίδια στην ερυθρά θάλασσα, με πιο διάσημη τη μεταφορά δύο γρανιτένιων οβελίσκων μήκους 100 μέτρων και βάρους 350 τόνων [1] (Εικόνα 2).

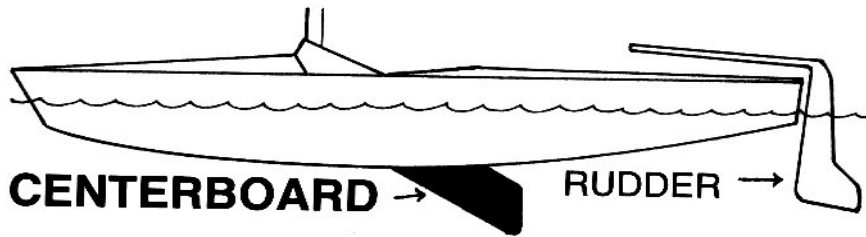


Εικόνα 2 : Απεικόνιση από πάπυρο Ιστιοφόρου του 1500 π.Χ.

2.3 Σύγχρονοι τύποι καρίνων.

Centerboards Keels

Οι καρίνες Centerboard έχουν την δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από εγκάρσιο άξονα της γάστρας, επιτρέποντας έτσι στο ιστιοπλοϊκό την πλεύση σε αβαθή νερά και την φόρτωσή τους σε trailers για την χερσαία μεταφορά τους(Εικόνα 3).Συναντώνται συνήθως σε μικρότερου μεγέθους σκάφη. Η απόδοσή τους βελτιώνεται μεγαλώνοντας τον λόγο επιμήκους. Μία μεγάλου μήκους και μικρού πλάτους καρίνα παράγει μικρότερη αντίσταση από μία κοντή μεγάλου πλάτους που δέχεται την ίδια άντωση, με αποτέλεσμα να είναι πιο κατάλληλη για πλεύσεις σε κλειστές γωνίες ανέμου. Έχει επίσης το πλεονέκτημα της μετακίνησης του κέντρου πλευρικής αντίστασης πρύμνηθεν έτσι ώστε να συμβαδίζει με αλλαγές «τριμαρίσματος» των πανιών. Τέλος ο κίνδυνος καταστροφή της από προσάραξη δεν είναι μεγάλος καθώς η δύναμη που θα αναπτυχθεί απ'την πρόσκρουση θα σπρώξει την καρίνα προς τα πίσω αντί να την σπάσει. Μειονέκτημα του τύπου αυτού είναι ότι καταλαμβάνει πάνω στο σκάφος χώρο που κανονικά προορίζονταν για επιβάτες.



Εικόνα 3 : Καρίνα CENTERBOARD

Daggerboards

Οι καρίνες αυτές όπως και οι Centerboards αποσύρονται στο εσωτερικό της γάστρας, με την διαφορά ότι η κίνησή τους είναι κατακόρυφη, παρέχοντας και αυτές την δυνατότητα για κίνηση στα αβαθή. Απαιτούν και αυτές κάποιον όγκο από τον χώρο των επιβατών για την στέγασή τους. Για την μελέτη της συγκεκριμένης διπλωματικής η καρίνα του σκάφους θεωρείται τέτοιου τύπου.

Bulb Keels

Η βολβοειδής καρίνα, είναι ένα πτερύγιο με μεγάλο λόγο επιμήκους και ένα βολβό σε σχήμα σταγόνας στο άκρο του, όπου εκεί βρίσκεται συγκεντρωμένο το έρμα (Εικόνα 4). Ο σκοπός της καρίνας αυτής είναι να μεταφέρει το έρμα όσο πιο χαμηλά γίνεται, αυξάνοντας έτσι τον μοχλοβραχίονα και ακολούθως την ροπή επαναφοράς. Επειδή αποδίδουν καλύτερα σε βαθιές καρίνες δεν συναντώνται σε ιστιοπλοϊκά που προορίζονται για αβαθή νερά, εκτός και αν συνδυάζονται με Daggerboards, τύπος που καλείται Lifting Keel.



Εικόνα 4 : Καρίνα BULB KEEL

Canting Keels

Οι καρίνες αυτές αποτελούνται από συγκεντρωμένο έρμα σε βολβοειδή μορφή που στηρίζονται από λεπτόγραμμο βραχίονα με την γάστρα. Ο βραχίονας είναι αθρωμένος και επιτρέπει εκτροπή προς τα αριστερά και δεξιά, έτσι ώστε η ροπή που αναπτύσσεται να ανθίσταται στην ροπή που ασκούν τα πανιά λόγω ανέμου(Εικόνα 5). Διάσημη εφαρμογή καρίνας του τύπου αυτού αυτού είναι στο VO70(Volvo Open 70) σκάφος που συμμετείχε στο Volvo Ocean Race, ιστιοπλοϊκό αγώνα που καλύπτει τον γύρο του κόσμου. Στο συγκεκριμένο σκάφος ο βολβός αυτός τοποθετημένος στα 5 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και με δυνατότητα εκτροπής ως και 40° παράγει ιδιαίτερα μεγάλη ροπή επαναφοράς μέχρι και (176,000 Nm) επιτρέποντας στο σκάφος να φτάσει μέχρι και τους 30 κόμβους [iii]. Η συγκεκριμένη εφαρμογή βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης και παρουσιάζει προβλήματα διαρροής στο άνοιγμα της γάστρας που κινείται η καρίνα και στα υδραυλικά συστήματα που την ελέγχουν. Το 2006 στον διεθνή αγώνα VELUX 5 το σκάφος Open 60 εγκαταλείφθηκε για τους παραπάνω λόγους και δεν βρέθηκε ποτέ.



Εικόνα 5 : Καρίνα CANTING KEEL

Winged Keel

Εμφανίστηκε πρώτη φορά στο σκάφος που κέρδισε το America's Cup του 1983, το Australia II.[iv]. Πρόκειται για καρίνα μεγάλου λόγου επιμήκους, στο ακροπερύγιο της οποίας βρίσκεται προσαρμοσμένη οριζόντια πτέρυγα(Εικόνα 6). Η πτέρυγα αυτή προσφέρει επιπλέον άντωση αλλά προς Όταν το σκάφος αποκτά εγκάρσια κλίση καθώς πλέει προσήνεμα, η υπήνεμη πλευρά της πτέρυγας παρέχει πρόσθετη πλάγια δύναμη (Side Force) αυξάνοντας έτσι την απόδοση του σκάφους. Παράλληλα η προσύνεμη πλευρά αναπτύσσει κατακόρυφη δύναμη που προσφέρει στην ευστάθεια. Οι καρίνες αυτές συναντώνται σε αγωνιστικά ιστιοπλοϊκά υψηλής απόδοσης

αλλά προσφέρουν μόνο στις περιπτώσεις που το σκάφος κινείται προς τον άνεμο(όρτσα) όπου και απαιτείται μεγάλη ευστάθεια και δυνατότητα ανάπτυξης πλευρικής δύναμης. Όταν ο άνεμος έρχεται από πρύμα και η παραπάνω απαίτηση δεν υφίσταται, η αντίσταση τριβής που αναπτύσσεται λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας καθιστά τις καρίνες αυτές μειονέκτημα.



Εικόνα 6 : Καρίνα WINGED KEEL

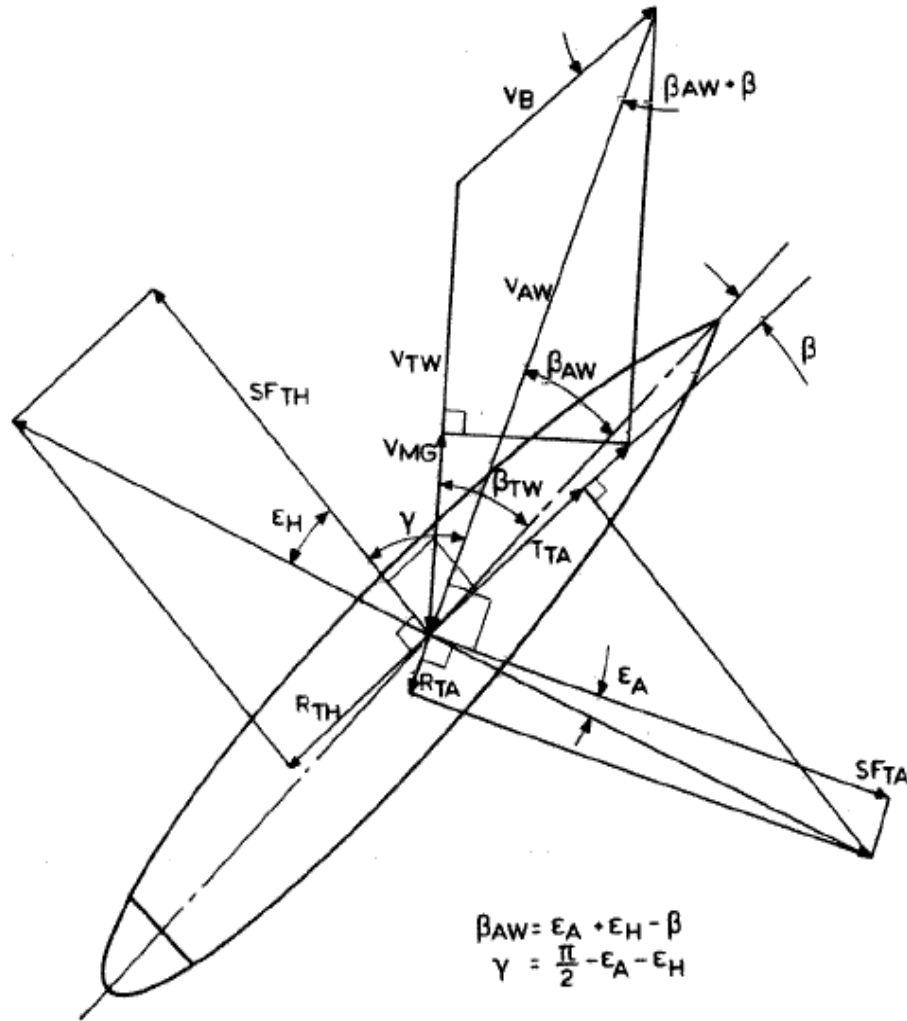
2.4 Αεροδυναμική και Υδροδυναμική Ισορροπία

Όταν ένα ιστιοπλοϊκό δέχεται τον άνεμο από πρύμα η δύναμη που αναπτύσσεται από την επίδραση του ανέμου στα πανιά του, έχει την ίδια περίπου κατεύθυνση με την κίνησή του. Σε αυτή τη περίπτωση το ιστιοπλοϊκό συμπεριφέρεται περίπου όπως και τα μηχανοκίνητα σκάφη όσον αφορά τη συμπεριφορά της γάστρας στο νερό και τις υδροδυναμικές δυνάμεις που προκαλεί η ροή του νερού γύρω από την γάστρα και τα παρελκόμενα.

Όταν πλέει προσήνεμα ή όρτσα, η απορρέουσα δύναμη στα πανιά έχει μία συνιστώσα υπό γωνία σε σχέση με την κατεύθυνση του σκάφους. Η συνιστώσα αυτή μπορεί να είναι μέχρι και πέντε φορές μεγαλύτερη από την πρόσω ώθηση που αναπτύσσουν τα πανιά. Καθώς σε κάθε σταθερή κατάσταση πλεύσης πρέπει να επικρατεί ισορροπία ανάμεσα στις αεροδυναμικές και

υδροδυναμικές δυνάμεις, συνεπάγεται πως η κάθετη αυτή συνιστώσα πρέπει να εξισορροπείται από την αντίστοιχη κάθετη υδροδυναμική συνιστώσα της δύναμης που αναπτύσσεται στα ύφαλα. Ο μόνος τρόπος το ιστιοπλοϊκό να αναπτύξει την απαιτούμενη αυτή δύναμη(πλευρική δύναμη) είναι να αποκτήσει μία γωνία πλευρικής απόκλισης σε σχέση με την τροχία προχώρησής του στο νερό. Η καρίνα και το πηδάλιο σπάνια έχουν κυρτότητα καθώς πρέπει να παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά τόσο από port όσο και από starboard, οπότε συνολική πλευρική δύναμη πρέπει να δημιουργηθεί από την γωνία πρόσπτωσης του ρευστού. Σε σύγχρονες κατασκευές με περιστρεφόμενες καρίνες αλλά ακόμα και παλαιότερες όπως τα παραδοσιακά ολλανδικά ιστιοπλοϊκά με μικρότερα πτερύγια τοποθετημένα στη πλώρη και τη πρύμνη, η δύναμη αυτή μπορεί να αναπτυχθεί και χωρίς την υιοθέτηση σχετικής γωνίας, εκτός από τις περιπτώσεις πολύ ισχυρών ανέμων.

Η σχεδίαση ενός ιστιοπλοϊκού με αποδοτική πλευση προς τον άνεμο απαιτεί την ανάπτυξη πλευρική δύναμης με την μικρότερη δυνατή γωνία πλευρικής απόκλισης. Μεγάλη γωνία επιφέρει αύξηση της υδροδυναμικής αντίστασης της γάστρας καθώς και μείωση της V_{MG} συνιστώσας της ταχύτητας με την ίδια διεύθυνση και αντίθετη φορά σε σχέση με αυτή του ανέμου V_{TW} . Η συνιστώσα αυτή λέγεται ταχύτητα στην διεύθυνση του ανέμου (speed made good to windward) δίνεται από τον τύπο $V_{MG} = V_B \cos(\beta_{TW} + \beta)$ και αποτελεί ένα πολύ καλό κριτήριο απόδοσης όταν το σκάφος πλέει σε ιδιαίτερα κλειστή γωνία ως προς τον άνεμο. Το θέμα είναι λοιπόν η σχεδίαση των υφάλων να γίνει κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η απαιτούμενη πλευρική δύναμη να αναπτύσσεται με την μικρότερη γωνία πλευρικής απόκλισης έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η ταχύτητα του σκάφους. Η ανάλυση των δυνάμεων φαίνεται στο σχήμα 1 που ακολουθεί.



Σχήμα 1 : Ανάλυση δυνάμεων

Οι συμβολισμοί στο Σχήμα 1 αφορούν τα παρακάτω μεγέθη

V_{TW} : Η ταχύτητα του πραγματικού ανέμου

V_{AW} : Η ταχύτητα του φαινόμενου ανέμου

V_{MG} : Η συνιστώσα της ταχύτητας του σκάφους στην διεύθυνση του ανέμου

V_B : Η ταχύτητα του σκάφους

β_{TW} : Η γωνία πραγματικού ανέμου

β_{AW} : Η γωνία φαινόμενου ανέμου

β : Η γωνία πλευρικής απόκλισης

ϵ_A : Η γωνία αεροδυναμικής αντίστασης

ϵ_H : Η γωνία υδροδυναμικής αντίστασης

SF_{TH} : Η συνιστώσα της υδροδυναμικής πλευρικής δύναμης στο οριζόντιο επίπεδο

SF_{TA} : Η συνιστώσα της αεροδυναμικής πλευρικής δύναμης στο οριζόντιο επίπεδο

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση του ιστιοπλοϊκού που θα χρησιμοποιηθεί στην μελέτη, των χαρακτηριστικών του, καθώς και βασικών στοιχείων της στατικής ευστάθειάς του.

3.1 Κύριες Διαστάσεις και Χαρακτηριστικά

Για την εφαρμογή της μελέτης της επίδρασης της Lifting καρίνας στη πλευση, επελέγη ένα ιστιοφόρο σκάφος τύπου Masthead sloop με πτερυγωτή καρίνα (fin keel). Ο τύπος αυτός της καρίνας συναντάται τόσο σε αγωνιστικά όσο και σε σκάφη αναψυχής. Η σχεδίαση και η μελέτη της ευστάθειας του σκάφους αυτού αποτέλεσε το αντικείμενο προγενέστερων διπλωματικών εργασιών (Ανδρέας Κακκαβάς – Μάρτιος 2001 και Παναγιώτης Μακρής – Μάρτιος 2002 αντίστοιχα [1 - Μακρής]).

Τα κύρια χαρακτηριστικά του σκάφους είναι

$$L_{OA} = 22.55 \text{ m}$$

$$L_{BP} = 18.98 \text{ m}$$

$$L_{WL} = 18.98 \text{ m}$$

$$B_{MAX} = 6.069 \text{ m}$$

$$B_{DWL} = 5.211 \text{ m}$$

$$D = 5.00 \text{ m} \quad (\text{από το ακροπτερύγιο της καρίνας})$$

$$D_{canoe} = 3.00 \text{ m} \quad (\text{από τη baseline που αντιστοιχεί στη γυμνή γάστρα})$$

$$T = 3.11 \text{ m} \quad (\text{από το ακροπτερύγιο της καρίνας})$$

$$T_{canoe} = 1.11 \text{ m} \quad (\text{από τη baseline που αντιστοιχεί στη γυμνή γάστρα})$$

$$\Delta = 47.87 \text{ ton}$$

$$\nabla = 46.70 \text{ m}^3$$

$$W_{LS} = 42.94 \text{ ton}$$

$$DWT = 4.93 \text{ ton}$$

$$\text{Ballast} = 21.65 \text{ ton} \quad (\text{βάρος καρίνας})$$

Η ροπή και η ακτίνα αδράνειας του υπολογίστηκε από την σχέση του Holtrop[1] για ιστιοπλοϊκά

$$I = m^{1.744}/212.2035 \text{ (m}^2 \cdot \text{kg)}.$$

Οι γραμμές του σκάφους βρίσκονται στο σχήμα 2 του κεφαλαίου.

Για την ιστοφορία του συγκεκριμένου ιστοπλοϊκού όπως βλέπουμε στο σχήμα 2, έχουμε

Πλήρης Ιστοφορία

I,J : Το ύψος και η βάση του προωραίου τριγώνου της ιστοφορίας (Genoa).

P,E : Το ύψος και η βάση του κυρίως τριγώνου της ιστοφορίας (Μαϊστρα).

BD : Η απόσταση του επάνω μέρους της μάτσας από το κατάστρωμα.

H : η απόσταση του κέντρου επιφάνειας των ιστίων από το κατάστρωμα

$$SA_m = 0.5(P \cdot E) = 114.90 \text{ m}^2, \text{ η επιφάνεια του κυρίως τριγώνου}$$

$$SA_f = 0.5(I \cdot J) = 127.70 \text{ m}^2, \text{ η επιφάνεια του προωραίου τριγώνου}$$

$$SA = SA_m + SA_f = 242.60 \text{ m}^2, \text{ η ονομαστική επιφάνεια ιστοφορίας.}$$

Ιστοφορία Θυέλλης

a) Genoa (Φλόκος Θυέλλης)

Έχουμε

$$(I \cdot J)/2 = 0.05 I'^2$$

$$I^2 + J^2 = 0.65 I'^2$$

όπου I' το ύψος του προωραίου τριγώνου στην πλήρη ιστοφορία.

Για $I = 29.7 \text{ m}$ επιλύουμε το σύστημα και λαμβάνουμε

$$I = 18.720 \text{ m}$$

$$J = 4.712 \text{ m}$$

$$SA_f = 0.5(I \cdot J) = 44.10 \text{ m}^2,$$

b) Μαϊστρα

Έχουμε

$$E = 0.75 \cdot E'$$

$$(P \cdot E)/2 = 0.175 \cdot (P' \cdot E')/2$$

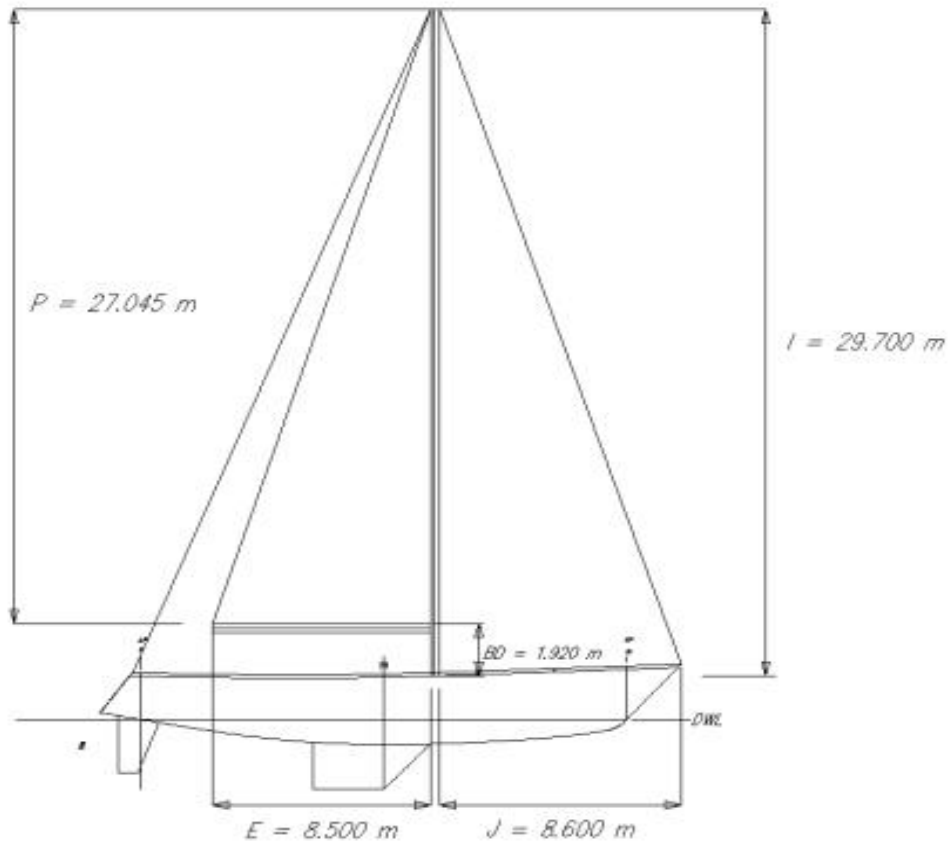
όπου (') στοιχεία της πλήρους ιστοφορίας, τα αντικαθιστούμε στις σχέσεις και λαμβάνουμε

$$P = 12.621 \text{ m}^2$$

$$E = 6.375 \text{ m}^2$$

$$SA_m = 0.5(P \cdot E) = 40.23 \text{ m}^2,$$

$$\text{Συνολικά } SA = SA_m + SA_f = 84.33 \text{ m}^2$$



Σχήμα 1 Ιστιοφορία του Σκάφους

3.2 Κέντρο βάρους

Επειδή κάθε φορά η καρίνα ανεβαίνει κατά 35 cm και εισέρχεται στην γάστρα, η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους μεταβάλλεται. Τα νέα κέντρα βάρους (μετρούμενα από την Base Line της γυμνής γάστρας υπολογίζονται σύμφωνα με την θεωρία των ροπών και είναι

Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
KG(m)	0.945	1.103	1.262	1.42

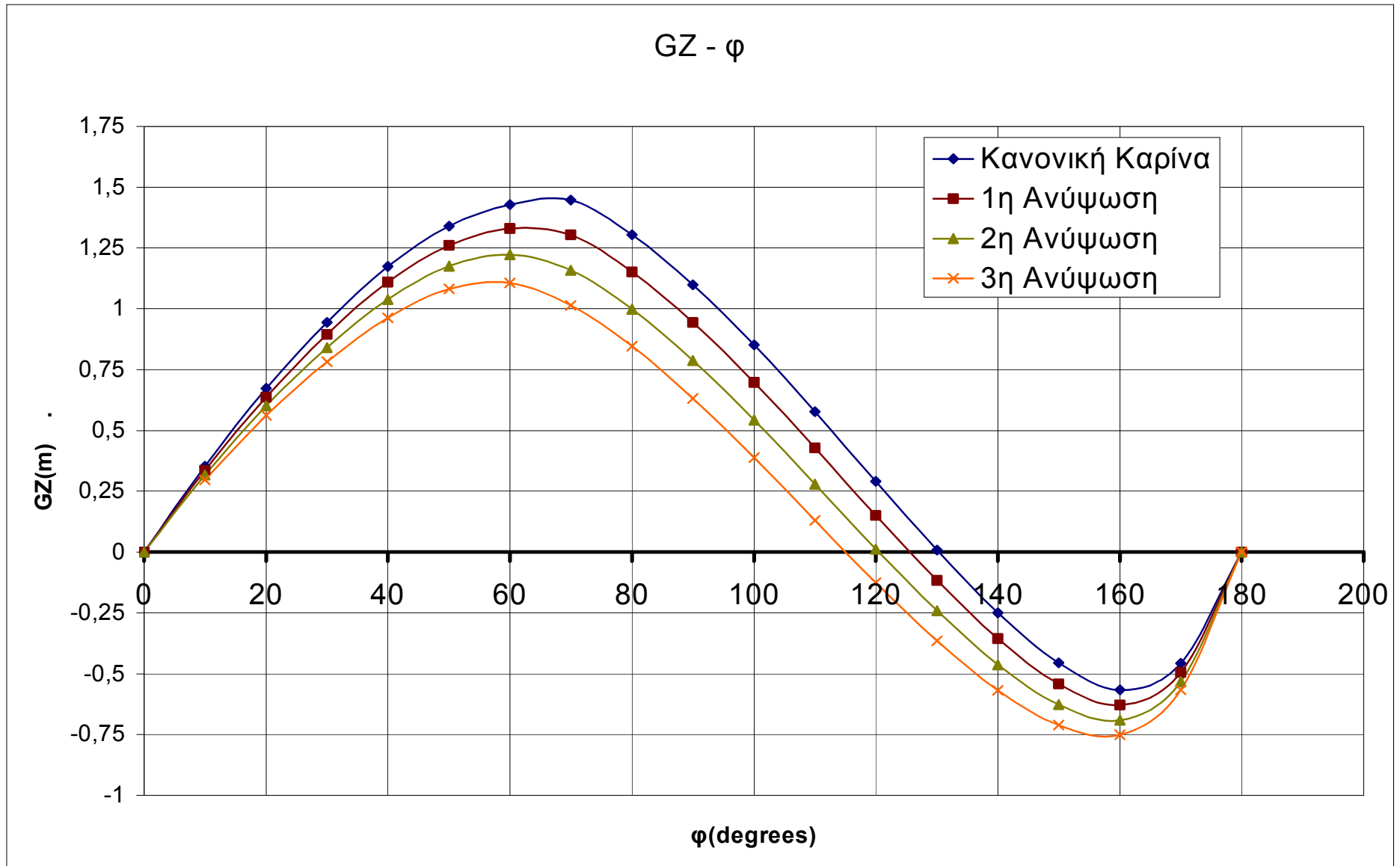
Σχήμα 2 Οι Γραμμές του Σκάφους

3.3 Παραμετρικές Καμπύλες Ευστάθειας – Υπολογισμός Μοχλοβραχίονα GZ

Για την εύρεση των παραμετρικών καμπύλων ευστάθειας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα HYDROMAX του Maxsurf [3 - Maxsurf] το οποίο είναι ένα πρόγραμμα για τον υπολογισμό υδροστατικών χαρακτηριστικών, ευστάθειας και διαμήκους αντοχής. Μπορεί να παρέχει στοιχεία για τις καμπύλες αυτές για γωνίες -30° μέχρι και 180° . Για κάθε συνδυασμό γάστρας-καρίνας λήφθηκαν οι τιμές KN από τις οποίες αφαιρέθηκε στη συνέχεια το γινόμενο του κέντρου βάρους με το ημίτονο της γωνίας κλίσης, $KG \cdot \sin\phi$.

ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ GZ				
ϕ	Κανονική Καρίνα	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
0	0	0	0	0
10	0,352	0,335	0,317	0,296
20	0,672	0,638	0,601	0,561
30	0,945	0,895	0,840	0,781
40	1,175	1,110	1,039	0,962
50	1,339	1,261	1,175	1,081
60	1,429	1,331	1,223	1,106
70	1,446	1,305	1,159	1,014
80	1,303	1,152	0,998	0,846
90	1,099	0,943	0,787	0,631
100	0,851	0,698	0,542	0,388
110	0,577	0,429	0,279	0,131
120	0,290	0,152	0,012	-0,126
130	0,007	-0,117	-0,242	-0,366
140	-0,249	-0,356	-0,463	-0,569
150	-0,456	-0,542	-0,627	-0,712
160	-0,566	-0,628	-0,691	-0,752
170	-0,457	-0,495	-0,532	-0,568
180	0,000	0,000	0,000	0,000

Ακολουθεί το διάγραμμα (σχήμα 3) με τις τέσσερις καμπύλες, μία για κάθε συνδυασμό καρίνας γάστρας.



Σχήμα 3 Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ

Βλέπουμε πως με κάθε ανύψωση της καρίνας οι τιμές του μοχλοβραχίονα για την ίδια γωνία κλίσης ελαττώνονται, άρα και το εύρος ευστάθειας. Το αποτέλεσμα είναι λογικό καθώς για κάθε ανύψωση το συγκεντρωμένο βάρος της καρίνας πλησιάζει περισσότερο τον άξονα γύρω από τον οποίο πραγματοποιείται η περιστροφή και επομένως αναπτύσσει μικρότερες ροπές επαναφοράς.

3.4 Περιγραφή Κριτηρίου Δείκτη Ευστάθειας STIX κατά ISO

Είναι εξαιρετικά δύσκολο να βρούμε κριτήρια ασφάλειας που να αγκαλιάζουν όλους τους τύπους ιστιοπλοϊκών, καθώς καθένα από αυτά προορίζεται για άλλο είδος πλεύσης σε συγκεκριμένη κατάσταση θάλασσας κτλ. Μια προσπάθεια γενίκευσης των κριτηρίων ασφαλείας για σκάφη μήκους 6 έως 24 μέτρα, που να εξαρτάται από γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τον μοχλοβραχίονα επαναφοράς, στηρίχθηκε από τον ISO και κατέληξε στην θέσπιση του δείκτη ευστάθειας. Ο δείκτης ευστάθειας (STability IndeX) [2 - Larsson] αποτελεί μια μέθοδο συνολικής εκτίμησης της ευστάθειας του πλοίου λαμβάνοντας υπόψη πολλούς παράγοντες που μπορούν να την επηρεάσουν. Προκύπτει από μια εμπειρική σχέση που περιλαμβάνει 8 όρους που σχετίζονται είτε με θέματα ευστάθειας είτε πλευστότητας. Αναπτύχθηκε από τους Moon και Oossanen και τυγχάνει ιδιαίτερης βαρύτητας καθώς οι σύγχρονοι ιστιοπλοϊκοί οργανισμοί τον έχουν υιοθετήσει. Οι υπολογισμοί για τον δείκτη ευστάθειας και τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό του, αφορούν μια δεδομένη κατάσταση φόρτωσης σε κάποιο εκτόπισμα m . Ακριβώς επειδή ανάμεσα από διάφορα άλλα κριτήρια ευστάθειας ο δείκτης STIX λαμβάνει τόσο πολύ υπόψη του την μεταβολή του μοχλοβραχίονα GZ, επελέχθηκε σαν βασικό κριτήριο έλεγχου της στατικής ευστάθειας της μελέτης που εξετάζουμε.

Ακολουθεί η περιγραφή αυτών των όρων που εμπεριέχει.

3.4.1. Παράγοντας Δυναμικής Ευστάθειας FDS.

Ο παράγοντας αυτός αντικατοπτρίζει την υπάρχουσα ενέργεια επαναφοράς η οποία πρέπει να ξεπεραστεί από εξωτερικό αίτιο έτσι ώστε να επέλθει απώλεια ευστάθειας. Δίνεται από την σχέση

$$FDS = \left(\frac{A_{GZ}}{15.81\sqrt{L_H}} \right), \quad (3.1)$$

όπου

A_{GZ} είναι η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη GZ σε $m \cdot \text{degrees}$ από 0° μέχρι και ϕ_D ή ϕ_V , όποια είναι μικρότερη.

ϕ_D η γωνία εισροής υδάτων και

ϕ_V η γωνία που μηδενίζεται ο μοχλοβραχίονας

L_H είναι το ολικό μήκος

Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο FDS να βρίσκεται στα όρια $0.5 \leq FDS \leq 1.5$

3.4.2 Παράγοντας Επαναφοράς από την Ανεστραμμένη θέση FIR

Ο παράγοντας αυτός αντικατοπτρίζει την ικανότητα του σκάφους να επανέρχεται στην όρθια από την ανεστραμμένη θέση (180°) και υπολογίζεται από την σχέση

$$FIR = \frac{\phi_V}{12 - \frac{m}{1600}} \quad \text{αν } m < 40000 \quad (3.2)$$

και

$$FIR = \frac{\phi_V}{100} \quad \text{αν } m \geq 40000 \quad (3.3)$$

Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο FIR να βρίσκεται στα όρια $0.4 \leq FIR \leq 1.5$

3.4.3 Παράγοντα Επαναφοράς από την Όρθια Θέση FKR

Ο παράγοντας αυτός αντικατοπτρίζει την ικανότητα του σκάφους να αποβάλλει το νερό από τα πανιά του και να επανέρχεται στην όρθια θέση ισορροπίας από την οριζόντια θέση (90°).

Αρχικά υπολογίζουμε

$$F_R = \frac{GZ_{90} * m}{2A_S h_{CE}} \quad (3.4)$$

όπου

GZ_{90} ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς στις 90°

A_S η προβεβλημένη επιφάνεια της ιστιοφορίας

h_{CE} η κατακόρυφη απόσταση του Κ.Ε. της A_S από την ίσαλο πλεύσεως

Οπότε

$$\text{αν } F_R \geq 1.5 \quad FKR = 0.875 + 0.0833F_R$$

$$\text{αν } F_R \leq 1.5 \quad FKR = 0.5 + 0.333F_R$$

$$\text{αν } F_R \leq 1.5 \quad FKR = 0.5$$

Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο FKR να βρίσκεται στα όρια $0.75 \leq FKR \leq 1.5$

3.4.4 Παράγοντας Εκτοπίσματος – Μήκους FDL

Ο παράγοντας αυτός υπολογίζει την ευνοϊκή επίδραση της αύξησης του εκτοπίσματος υπό σταθερό μήκος στην αντίσταση του σκάφους σε ανατροπή. Υπολογίζεται από την σχέση

$$FDL = \left[0.6 + \left(\frac{15 * m * F_L}{L_{BS}^3 (333 - 8L_{BS})} \right) \right]^{0.5} \quad (3.6)$$

όπου

$$L_{BS} = (2L_{WL} + L_H)/3 \quad \text{το βασικό μήκος}$$

$$F_L = (L_{BS}/11)^{0.2}$$

Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο FDL να βρίσκεται στα όρια $0.75 \leq FDL \leq 1.5$

3.4.5 Παράγοντας Πλάτους – Εκτοπίσματος FBD

Ο παράγοντας αυτός αξιολογεί κατά πόσο η εξοχή του καταστρώματος και το αυξημένο πλάτος σε σχέση με το εκτόπισμα, αυξάνουν την πιθανότητα ανατροπής του ιστιοπλοϊκού σε πλάγιους κυματισμούς.

Από την παρακάτω σχέση

$$F_B = \frac{3.3B_H}{(0.03 * m)^{0.3}} \quad \text{όπου } B_H \text{ το μέγιστο πλάτος της γάστρας} \quad (3.7)$$

ελέγχουμε

$$\text{αν } F_B \geq 2.2 \quad , \quad \text{τότε } FBD = \left[\frac{13.31B_{WL}}{(B_H * F_B^3)} \right]^{0.5}$$

$$\text{αν } F_B < 1.45 \quad , \quad \text{τότε } FBD = \left[\frac{F_B^2 B_{WL}}{(B_H * 1.682)} \right]^{0.5}$$

$$\text{αλλιώς} \quad FBD = 1.118 \left[\frac{B_{WL}}{B_H} \right]^{0.5}$$

Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο FBD να βρίσκεται στα όρια $0.75 \leq FBD \leq 1.25$

3.4.6 Παράγοντας Ροπής Ανέμου FWM

Ο παράγοντας αυτός αξιολογεί τον κίνδυνο εισροής υδάτων, εξαιτίας ενός αιφνίδιου ανέμου. Ως ϕ_D επιλέγουμε την μικρότερη των ϕ_{DH} και ϕ_{DC} , όπου ϕ_{DH} η γωνία εισροής υδάτων εξετάζοντας τις βασικές εισόδους στο εσωτερικό του σκάφους και ϕ_{DC} η γωνία εισροής υδάτων σε χώρους βραδεάς απάντλησης.

$$\text{Αν } \phi_D \geq 90^\circ \quad \text{τότε} \quad FWM = 1.0$$

$$\text{Αν } \phi_D < 90^\circ \quad \text{τότε} \quad FWM = v_{AW}/17$$

Όπου

v_{AW} = η σταθερή ταχύτητα φαινομένου ανέμου σε (m/s) που απαιτείται για να πάρει το σκάφος κλίση ϕ_D ενώ φέρει πλήρη ιστιοφορία.

$$v_{AW} = \left(\frac{13 * m * GZ_D}{[A_S (h_{CE} + h_{LP}) | \cos \phi_D |^{1.3}]} \right)^{0.5} \quad (3.8)$$

GZ_D = μοχλοβραχίονας επαναφοράς για γωνία κλίσης ϕ_D

$h_{CE}+h_{LP}$ η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του κέντρου της συνολικής επιφάνειας των πανιών A_S από το κέντρο της προβεβλημένης επιφάνειας των υφάλων στο διαμήκες επίπεδο συμμετρίας.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο FWM να βρίσκεται στα όρια $0.5 \leq FWM \leq 1.0$

3.4.7 Παράγοντας Εισροής Υδάτων FDF

Ο παράγοντας αυτός αντικατοπτρίζει τον κίνδυνο εισροής υδάτων σε περίπτωση που το σκάφος έρθει στην οριζόντια θέση ($\varphi=90^\circ$) και δίνεται από την σχέση

$$FDF = \varphi_D / 90 \quad (3.9)$$

με $\varphi_D/90$ την μικρότερη των φ_{DH} , φ_{DC} και φ_{AI} , όπου η γωνία κατά την οποία ανοίγματα συνολικής επιφάνειας μεγαλύτερης των $50L_H^2$ ξεκινούν να βυθίζονται.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο FDF να βρίσκεται στα όρια $0.5 \leq FDF \leq 1.0$

3.4.8 Υπολογισμός STIX

Αφού έχουν υπολογιστεί οι παράγοντες που αναφέρθηκαν, ο δείκτης ευστάθειας STIX προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση

$$STIX = (7 + 2.25L_{BS}) * (FDS * FIR * FKR * FDL * FBD * FWM * FDF)^{0.5 + \delta} \quad (3.10)$$

όπου

$\delta = 5$, αν υπάρχει περιθώριο άντωσης και επιπλέον $GZ_{90} > 0$ όταν το σκάφος έχει κατακλυστεί πλήρως με νερό

$\delta = 0$, αλλιώς

Η τιμή που προκύπτει συγκρίνεται με τις ελάχιστες απαιτούμενες τιμές ανά κατηγορία STIX οι οποίες και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

Κατηγορία Σχεδίασης	A	B	C	D
Ελάχιστη Τιμή Δείκτη STIX	32	23	14	5

3.5 Υπολογισμός Κριτηρίου Δείκτη Ευστάθειας STIX κατά ISO

Θα υπολογίστουν τώρα όλοι η όροι που συμμετέχουν στην σχέση υπολογισμού του STIX.

3.5.1 Υπολογισμός Παράγοντα Δυναμικής Ευστάθειας

Βρίσκουμε την γωνία $\varphi_D = \min\{\varphi_{DH}, \varphi_{DC}\}$. Με την θεώρηση ότι ο ανοικτός χώρος του πλοτηρίου δεν είναι γρήγορης απάντησης έχουμε $\varphi_{DC} = \varphi_{DA} = 70^\circ$. Για την κεντρική είσοδο του σκάφους έχουμε $\varphi_{DH} = \tan^{-1}(2.055/0.45) = 77.6^\circ$.

Επομένως $\varphi_D = \min\{\varphi_{DH}, \varphi_{DC}\} = \min\{77.6, 70\} = 70$

$L_H = 22,68$ m

Από το Autocad υπολογίζουμε την επιφάνεια A_{GZ} ως και τις 70° και έχουμε για

$$FDS = \left(\frac{A_{GZ}}{15.81\sqrt{L_H}} \right)$$

Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
A_{GZ}	66.63	62.54	58.09	53.32
FDS	0.8849	0.8307	0.7715	0.7081

3.5.2 Υπολογισμός Παράγοντα Επαναφοράς από Ανεστραμμένη Θέση FIR

Καθώς $m > 40000$ Kg έχουμε

$$FIR = \frac{\phi_V}{100} \quad \text{και για την } \varphi_V \text{ από τις καμπύλες GZ}$$

Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
φν	130	125	120	115
FIR	1.3	1.25	1.2	1.15

3.5.3 Υπολογισμός Παράγοντα Επαναφοράς από την οριζόντια θέση FKR

$$m = 43568 \text{ (arrival) [1]}$$

A_S η ονομαστική επιφάνεια της ιστιοφορίας, ίση με

$$A_S = SA_m + SA_f = 0.5 \cdot P \cdot E + 0.5 \cdot I \cdot J$$

όπου

SA_m η επιφάνεια του κυρίως τριγώνου

SA_f η επιφάνεια του πρωραίου τριγώνου

P, E το ύψος και η βάση του κυρίως τριγώνου

I, J το ύψος και η βάση του κυρίως τριγώνου

και για

$$P = 27.045 \quad \text{m}$$

$$E = 8.500 \quad \text{m}$$

$$I = 29.700 \quad \text{m}$$

$$J = 8.600 \quad \text{m}$$

έχουμε τελικά $A_S = 242.6 \text{ m}^2$

$$h_{CE} = 12.41 \text{ m}$$

για τον μοχλοβραχίονα στις 90° και τελικά για τον F_R δείκτη έχουμε

$$F_R = \frac{GZ_{90} \cdot m}{2A_S h_{CE}}$$

Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
GZ_{90}	1.099	0.943	0.787	0.631
F_R	7.95	6.82	5.69	4.57

$$F_R \geq 1.5 \quad \text{οπότε} \quad FKR = 0.875 + 0.0833F_R$$

Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
F_R	7.95	6.82	5.69	4.57
FKR	1.54	1.44	1.35	1.26

Και για να είμαστε μέσα στα όρια $0.75 \leq FKR \leq 1.5$ παίρνουμε τελικά

Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
F_R	7.95	6.82	5.69	4.57
FKR	1.50	1.44	1.35	1.26

3.5.4 Υπολογισμός Παράγοντα Εκτοπίσματος - Μήκους FDL

$$\text{Στον τύπο } FDL = \left[0.6 + \left(\frac{15 * m * F_L}{L_{BS}^3 (333 - 8L_{BS})} \right) \right]^{0.5}$$

αντικαθιστούμε

$$L_{BS} = (2L_{WL} + L_H)/3 = (2*19,8+22,68)/3 = 20.75 \text{ m}$$

$$F_L = (L_{BS}/11)^{0.2} = 1,135$$

$$m = 43568 \text{ Kg}$$

$$\text{οπότε } FDL = \left[0.6 + \left(\frac{15 * 43568 * 1.135}{20.75^3 (333 - 8 * 20.75)} \right) \right]^{0.5}$$

$$= 1.047$$

3.5.5 Υπολογισμός Παράγοντα Πλάτους – Εκτοπίσματος FBD

Για $B_H = 6.069\text{m}$

$$m = 43568 \text{ Kg}$$

$$F_B = \frac{3.3 * 6.069}{(0.03 * 43568)^{0.3}}$$

$$F_B = 1.832$$

Άρα το FBD υπολογίζεται από τον τύπο

$$FBD = 1.118 \left[\frac{B_{WL}}{B_H} \right]^{0.5} = 1.118 \left[\frac{5.211}{6.069} \right]^{0.5} = 1.036$$

3.5.6 Υπολογισμός Παράγοντα Ροπής Ανέμου FWM

$$v_{AW} = \left(\frac{13 * m * GZ_D}{[A_S (h_{CE} + h_{LP}) |\cos \phi_D|^{1.3}]} \right)^{0.5}$$

Έχει ήδη βρεθεί ότι $\phi_D = 70^\circ$

$$A_S = 242.6 \text{ m}^2$$

$$h_{CE} = 12.41 \text{ m}$$

v_{AW}

Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
GZ ₇₀	1.446	1.305	1.159	1.014
h _{LP}	0.969	0.85	0.74	0.64
v _{AW}	31.90	30.44	28.81	27.05

Επειδή $\phi_D < 90^\circ$ τότε $FWM = v_{AW}/17$

Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
FWM	1.877	1.791	1.694	1.591

πρέπει ο FWM να βρίσκεται στα όρια $0.5 \leq FWM \leq 1.0$ οπότε

Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
FWM	1	1	1	1

3.5.7 Παράγοντας Εισροής Υδάτων FDF

$$\varphi_D = 70$$

$$FDF = 70/90 = 0.778$$

3.5.8 Υπολογισμός Δείκτη Ευστάθειας STIX

Υπενθυμίζουμε ότι

$$STIX = (7 + 2.25 L_{BS}) * (FDS * FIR * FKR * FDL * FBD * FWM * FDF)^{0.5 + \delta}$$

Όπου θεωρήσαμε ότι δεν υπάρχει περιθώριο άντωσης και ότι $GZ < 0$ μετά από πλήρη κατάκλυση (συντηρητική περίπτωση)

Οπότε ο δείκτης ευστάθειας για κάθε συνδυασμό γάστρας – καρίνας είναι

STIX				
Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
7+2.25 L _{BS}	53,6875	53,6875	53,6875	53,6875
FDS	0,885	0,831	0,772	0,708
FIR	1,300	1,250	1,200	1,150
FKR	1,500	1,443	1,349	1,255
FDL	1,047	1,047	1,047	1,047
FBD	1,036	1,036	1,036	1,036
FWM	1,000	1,000	1,000	1,000
FDF	0,778	0,778	0,778	0,778
STIX	64,778	60,368	55,117	49,859

Παρατηρούμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις ο δείκτης $STIX > 32$ που είναι το όριο για την ένταξη στην κατηγορία A. Συμπληρώνουμε εδώ πως προϋπόθεση για την ένταξη σε κάποιες από τις υπόλοιπες κατηγορίες είναι η ταυτόχρονη ικανοποίηση κριτηρίων όπως :

- Κριτήριο Επαναφοράς από τη Όριζόντια Θέση : Όπου το ιστιοφόρο παραμένει για 60sec (για την κατηγορία C) σε οριζόντια θέση και πρέπει να επανέρθει χωρίς να βυθιστεί. Για την κατηγορία D.
- Κριτήριο αντοχής Ανέμου : Όπου πιστοποιείται πως το σκάφος με δεδομένη ταχύτητα ανέμου δεν παίρνει κλίση τέτοια ώστε να αρχίσει να κατακλύζεται από νερό.
- Κριτήριο Απαίτησης Πλευστότητας : Ικανοποιείται όταν εξασφαλίζεται πλευστότητα κατόπιν ενδεχόμενης ανατροπής.
- Κριτήριο Επαναφοράς από την Ανατροπή : Ικανοποιείται όταν σε κατάσταση Light Ship και με τα πανιά πλώρης και πρύμνης ανυψωμένα, το σκάφος ανατρέπεται στις 180° για 5 λεπτά και ελέγχεται αν μπορεί να πλέει χωρίς να βυθίζεται.

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μελέτη της επίδρασης της ανύψωσης της καρίνας στις κινήσεις του ιστοπλοϊκού και ιδιαίτερα στις αποκρίσεις του στις κινήσεις του διατοιχισμού και του προνευτασμού. Η αναζήτηση σχετικού προγράμματος έγινε με γνώμονα ότι με την χρήση των panels που θα σχηματίζει πάνω στην γάστρα θα μπορεί να περιγραφεί με ακρίβεια η γεωμετρία της καρίνας την επίδραση της οποίας εξετάζουμε υπό διάφορους συνδυασμούς ταχύτητας προχώρησης και κατεύθυνσης κυματισμών. Για αυτό τον λόγο επιλέχθηκε αρχικά το SWAN 2002 που όμως δεν έδειξε να αντιλαμβάνεται την ικανότητα απόσβεσης της καρίνας. Τελικά και καθώς κάλυπτε όλα τα παραπάνω, επιλέχθηκε το λογισμικό WAVELOAD, διαθέσιμο στο εργαστήριο μελέτης πλοίου.

4.2 Περιγραφή του Λογισμικού WAVELOAD

Το WAVELOAD είναι ένα υπολογιστικό πρόγραμμα υδροδυναμικής ανάλυσης στο πεδίο των συχνοτήτων, για την πρόβλεψη των κινήσεων, των κατανομών πιέσεων και των φορτίων που αναπτύσσονται σε πλοία και θαλάσσιες κατασκευές. Είναι ένας κώδικας που βασίζεται στο δυναμικό της ροής και στην συνάρτηση Green με διόρθωση για την πρόσω ταχύτητα. Το πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ο μετασχηματισμός της διαφορικής εξίσωσης σε ολοκληρωτική η επίλυση της οποίας είναι ευκολότερη.

Συγκεκριμένα (αναλυτική περιγραφή του μοντέλου του WAVELOAD βρίσκεται στο παράρτημα), η γενική μορφή των βασικών γραμμικοποιημένων εξισώσεων του Euler σε έξι βαθμούς ελευθερίας είναι η παρακάτω [7 – PNA 1989]

$$\sum_{k=1}^6 \Delta_{jk} * \ddot{n}_k(t) = F_j(t) \quad , \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (4.1)$$

όπου Δ_{jk} είναι τα στοιχεία του γενικευμένου αδρανειακού μητρώου του πλοίου, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται η μάζα Δ , η ροπή αδράνειας I , καθώς και όλες οι πιθανές συζεύξεις τους.

Επιπροσθέτως $\ddot{n}_k(t)$ είναι η επιταχύνση στην διεύθυνση k, ενώ F_j η συνολική δύναμη ή ροπή που επενεργεί στο σώμα στην κατεύθυνση j, αποτελούμενη από υδροδυναμική και υδροστατική συνιστώσα. Οι συνιστώσες αυτές υπολογίζονται από την ολοκλήρωση των πιέσεων του ρευστού πάνω στην βρεχόμενη επιφάνεια και για κάθε μία ισχύει

$$F_{Hj} = \iint_S P n_j ds \quad , j = 1, 2, \dots, 6 \quad (4.2)$$

όπου P η πίεση του ρευστού,

n_j το κάθετο διάνυσμα επιφανείας

S η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας

Η πίεση P για μη συνεκτικό και αστρόβιλο ρευστό είναι

$$P = 0.5\rho U_0^2 - \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} - 0.5\rho(\nabla\Phi \times \nabla\Phi) - \rho g z \quad (4.3)$$

όπου ρ η πυκνότητα, $\nabla\Phi$ το ολικό διάνυσμα ταχύτητας του ρευστού και U_0 η ταχύτητα προχώρησης του σκάφους. Οι τρεις πρώτοι όροι αναπαριστούν την υδροδυναμική συνεισφορά στην πίεση ενώ ο τελευταίος την υδροστατική.

Με αντικατάσταση της σχέσης (7) στην (6) προκύπτει $F_{Hj} = F_{HSj} + F_{HDj}$

$$\text{με } F_{HSj} = -\rho g \iint_S z n_j ds \quad (4.4)$$

η υδροστατική συνιστώσα

$$\text{και } F_{HDj} = -\rho \iint_S \left(0.5U_0^2 - \frac{\partial \phi}{\partial t} - 0.5\nabla\Phi \times \nabla\Phi \right) n_j ds \quad (4.5)$$

η υδροδυναμική συνιστώσα.

Για τη τελευταία πρέπει να υπολογιστεί πρώτα το δυναμικό ταχύτητας του ρευστού Φ . Θεωρούμε πως το ολικό δυναμικό μπορεί να χωριστεί στο απλό άθροισμα των παρακάτω

$$\begin{aligned} \Phi(x,y,z,t) &= [-U_0x + \Phi_S(x,y,z)] + \Phi_T e^{i\omega_e t} = \\ &= [-U_0x + \Phi_S(x,y,z)] + [\Phi_I + \Phi_D + \sum_{j=1}^6 \Phi_j n_j] e^{i\omega_e t} \end{aligned} \quad (4.6)$$

με αντικατάσταση της (4.3) και (4.6) στην (4.5) έχουμε

$$\tilde{F}_{HDj} = F_{EXj} + F_{Rj} = \{F^I_j + F^D_j\}e^{i\omega_e t} + F_{Rj} \quad , \quad \text{όπου}$$

F_{EXj} η δύναμη διέγερσης στην j διεύθυνση

F^I_j η δύναμη Froude-Krylov

F^D_j η δύναμη λόγω αλληλεπίδρασης των κυμάτων με την γάστρα

F_{Rj} η δύναμη λόγω διάχυσης ενέργειας υπό μορφή κυματισμών

Ακριβώς εδώ εισέρχεται η συνάρτηση Green και με επίλυση των δυναμικών σύμφωνα με το Theory Manual του Waveload [3] έχουμε

$$F^I_j = \left[\rho U \iint_S \text{Im}[\Phi_I] n_j dS + \rho U \iint_S \text{Re}\left[\frac{\partial \Phi_I}{\partial x}\right] n_j dS - \rho \iint_S \text{Re}[\nabla \Phi_I \cdot \nabla \Phi_S] n_j dS \right] e^{-i\omega_e t} \quad (4.7)$$

$$F^D_j = \left[-\rho \omega_e \iint_S \text{Im}[\Phi_D] n_j dS + \rho U \iint_S \text{Re}\left[\frac{\partial \Phi_D}{\partial x}\right] n_j dS + \rho \iint_S \text{Re}[\nabla \Phi_D \cdot \nabla \Phi_S] n_j dS \right] e^{-i\omega_e t} \quad (4.8)$$

$$F_{Rj} = \rho \omega_e^2 \sum_{k=1}^6 \bar{x}k \left[\iint_S \text{Re}[\Phi_K] n_j dS + \frac{U}{\omega_e} \iint_S \text{Im}\left[\frac{\partial \Phi_K}{\partial x}\right] n_j dS - \frac{1}{\omega_e} \iint_S \text{Im}[\nabla \Phi_K \cdot \nabla \Phi_S] n_j dS \right] + \rho \omega_e \sum_{k=1}^6 \bar{x}k \left[\iint_S \text{Im}[\Phi_K] n_j dS - U \iint_S \text{Re}\left[\frac{\partial \Phi_K}{\partial x}\right] n_j dS + \iint_S \text{Re}[\nabla \Phi_K \cdot \nabla \Phi_S] n_j dS \right] \quad (4.9)$$

όπου με διαχωρισμό πραγματικών και φανταστικών μερών τελικά η F_{Rj} γίνεται

$$F_{Rj} = \sum_{k=1}^6 (\omega_e^2 A_{jk} - i\omega_e B_{jk}) \bar{n}_k e^{i\omega_e t} \quad (4.10)$$

με A_{jk} και B_{jk} την πρόσθετη μάζα και απόσβεση αντίστοιχα.

Από την (4.1) και τη σχέση για την συχνότητα συνάντησης $\omega_e = \omega_0 - \frac{\omega_0^2}{g} U_0 \cos \mu$

έχουμε $\ddot{n}_k(t) = -\omega_e^2 n_k e^{i\omega_e t}$

τελικά η (4.1) γίνεται

$$F_j(t) = \sum_{k=1}^6 -\omega_e^2 \Delta_{jk} \bar{n}_k e^{i\omega_e t} = -\sum_{k=1}^6 C_{jk} \bar{n}_j e^{i\omega_e t} + F^I_j e^{i\omega_e t} + F^D_j e^{i\omega_e t} + \sum_{k=1}^6 (\omega_e A_{jk} - i\omega_e B_{jk}) \bar{n}_k e^{i\omega_e t}$$

και με μεταφορά των υδροστατικών δυνάμεων επαναφοράς, της πρόσθετης μάζας και των όρων απόσβεσης στο αριστερό μέρος έχουμε για τις εξισώσεις κίνησης του πλοίου

$$\sum_{k=1}^6 [-\omega_e^2 (\Delta_{jk} + A_{jk}) + i\omega_e B_{jk} + C_{jk}] \bar{n}_k = F^I_j + F^D_j = F_j, \quad j=1,2,\dots,6 \quad (4.11)$$

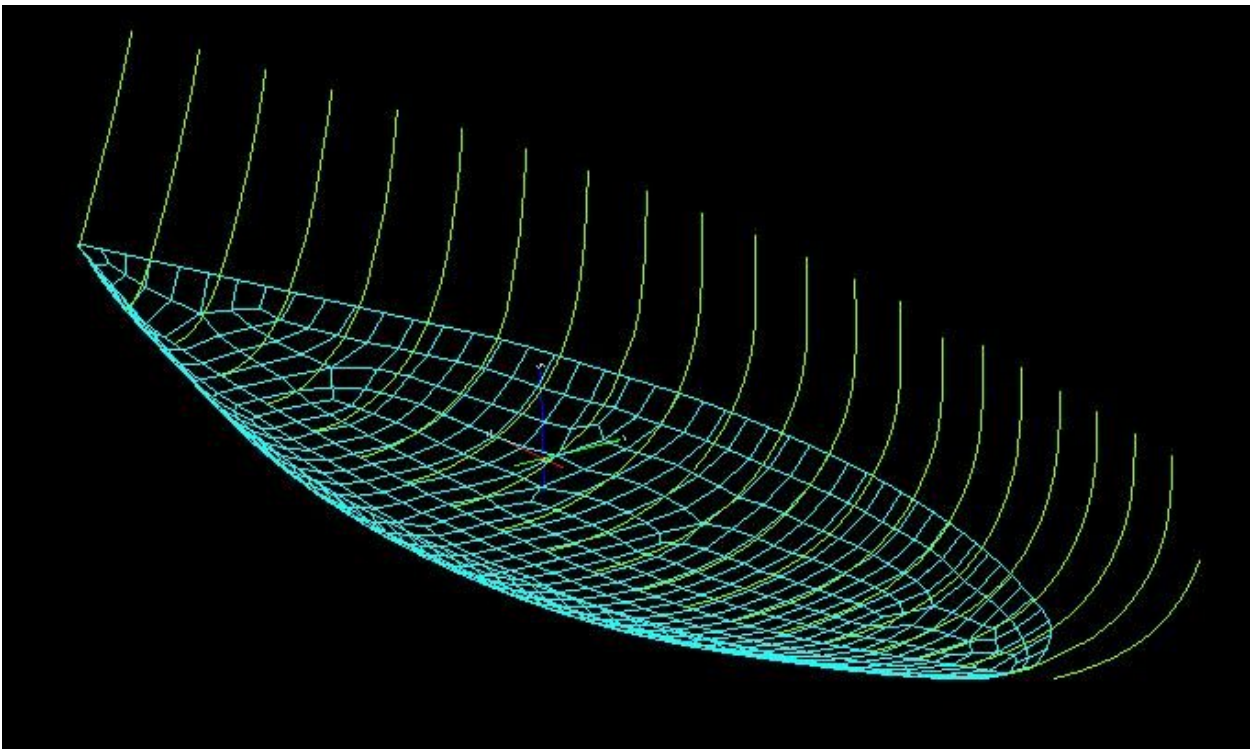
όπου C_{jk} οι συντελεστές επαναφοράς .

Το WAVELOAD δεν απαιτεί σχεδίαση της μελετούμενης γάστρας από κάποιο άλλο πρόγραμμα, καθώς είναι ενσωματωμένες σε αυτό υπορουτίνες που σχηματίζουν τρισδιάστατα πολύεδρα γύρω από τη γάστρα (στην περίπτωση μας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω, τελικά η γεωμετρία εισήχθει ύστερα από επεξεργασία στο σχεδιαστικό πρόγραμμα RHINOCEROS). Στις δυνατότητες του WAVELOAD περιλαμβάνεται η δυνατότητα υπολογισμού με m-terms, όρων που λαμβάνουν υπόψη την ροή γύρω από τη γάστρα και την επίδρασή της στην κύματα που δημιουργούνται. Έχουν σημαντική επίδραση στις κινήσεις των πλοίων και ιδιαίτερα σε αυτά με απότομες αλλαγές γεωμετρίας στην πρύμνη.

4.3 Χρήση του Λογισμικού WAVELOAD

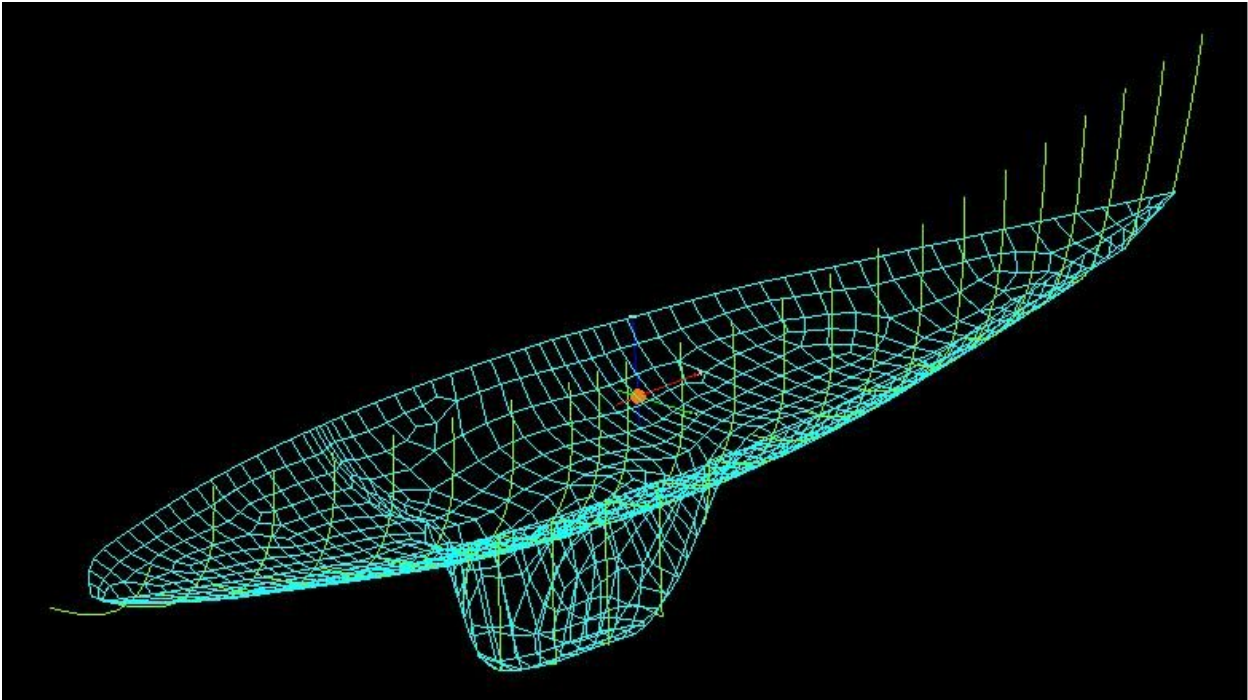
Σαν δεδομένα εισαγωγής το πρόγραμμα απαιτεί την γεωμετρία της γάστρας υπό την μορφή τρισδιάστατων συντεταγμένων (x,y,z) μέσω ενός αρχείου *.lof καθώς και ένα αρχείο με διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά προκειμένου να υπολογιστεί η επίδραση της συνεκτικότητας στην απόσβεση(damping) *.dmp (δείγματα και περιγραφή από τα δύο αρχεία παρατείνονται στο παράρτημα).

Το *dmp αρχείο δίνει την δυνατότητα ορισμού καρίνας στην γάστρα, για τον υπολογισμό των συνεκτικών φαινομένων της απόσβεσης. Έτσι υπολογίζεται ο όρος B_{44}^* (συνεκτική απόσβεση σε διατοιχισμό) που εμπεριέχεται στον υπολογισμό του B_{44} (συντελεστής απόσβεσης σε διατοιχισμό). Οπότε αρχικά η γεωμετρία που δηλώθηκε στο πρόγραμμα περιελάμβανε μόνο την γυμνή γάστρα (canoe body) και στοιχεία της καρίνας όπως οι χορδές στην ρίζα και το ακροπερύγιο καθώς και το άνοιγμα δηλώθηκαν στο εν λόγω αρχείο. Η γάστρα και τα panels που σχημάτησε το πρόγραμμα απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα.

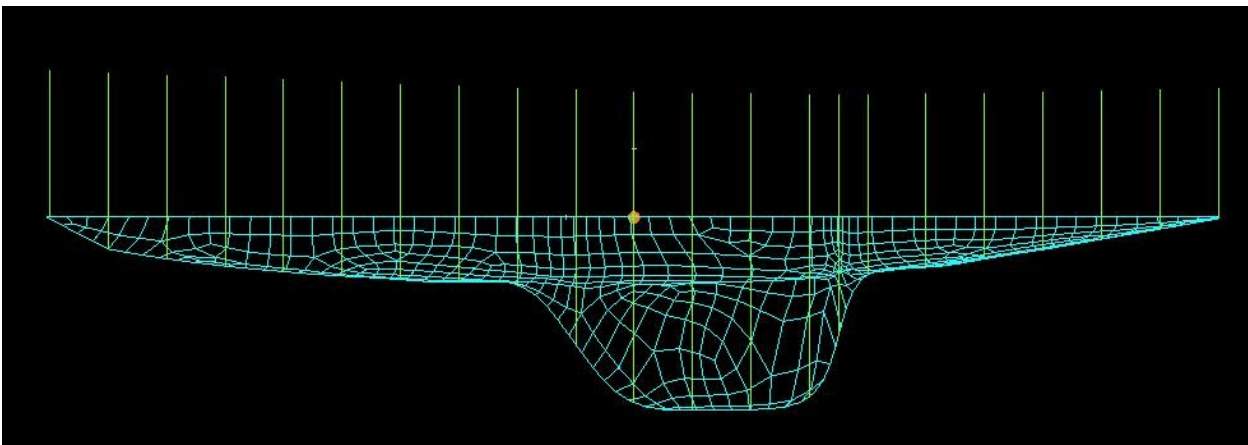


Σχήμα 1 : Η γεωμετρία και τα panels της γάστρας

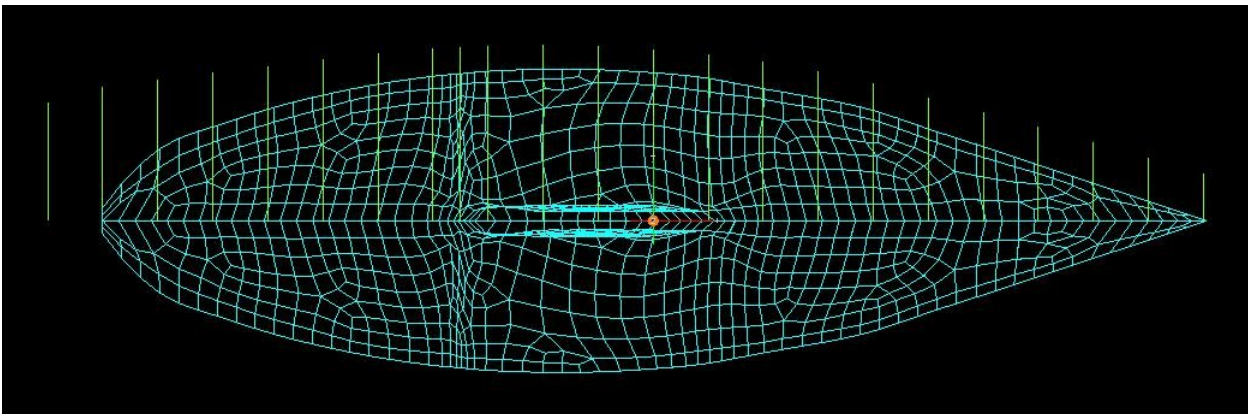
Δυστυχώς ενώ το πρόγραμμα έδειξε ότι αντιλαμβάνεται την διαφορά δεδομένων εισαγωγής (input) ανάμεσα σε viscous και non-viscous περιπτώσεις, οι αποκρίσεις που εξήγαγε παρουσιάζονταν ίδιες. Αυτό σημαίνει ότι δεν λαμβάνει υπόψη την αντίσταση που επιφέρουν στον διατοιχισμό η τριβή (viscous friction resistance) και η δημιουργία δινών γύρω από την γάστρα (eddy making resistance). Πολύ πιθανό το πρόβλημα αυτό του κώδικα να οφείλεται στις μικρές διαστάσεις της γάστρας και ιδιαίτερα στο βύθισμα της, καθώς σε διερεύνηση «συμπεριφοράς» του κώδικα, τα αποτελέσματα έδειχναν να ομαλοποιούνται περισσότερο με πολυ μικρές αλλαγές του βυθίσματος. Επίσης σε δοκιμές σε γάστρα δεκαπλάσιου περίπου μήκους ο κώδικας έδειξε να ανταποκρίνεται στα συνεκτικά φαινόμενα. Για αυτό το λόγο έγινε δοκιμή να οριστεί η καρίνα σαν προέκταση των νομέων έτσι ώστε να εκμεταλλευτούμε τουλάχιστον την potential επίδρασή της.



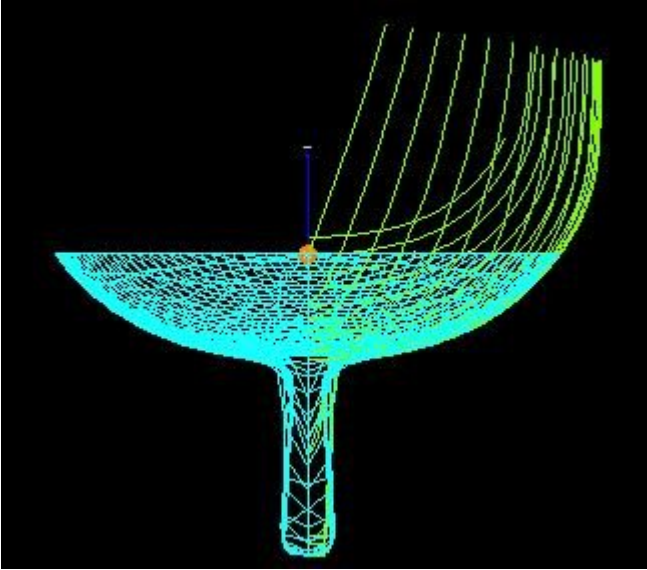
Σχήμα 2 : Η καρίνα ορισμένη σαν προέκταση των νομέων



Σχήμα 3 : Η καρίνα ορισμένη σαν προέκταση των νομέων – Profile View

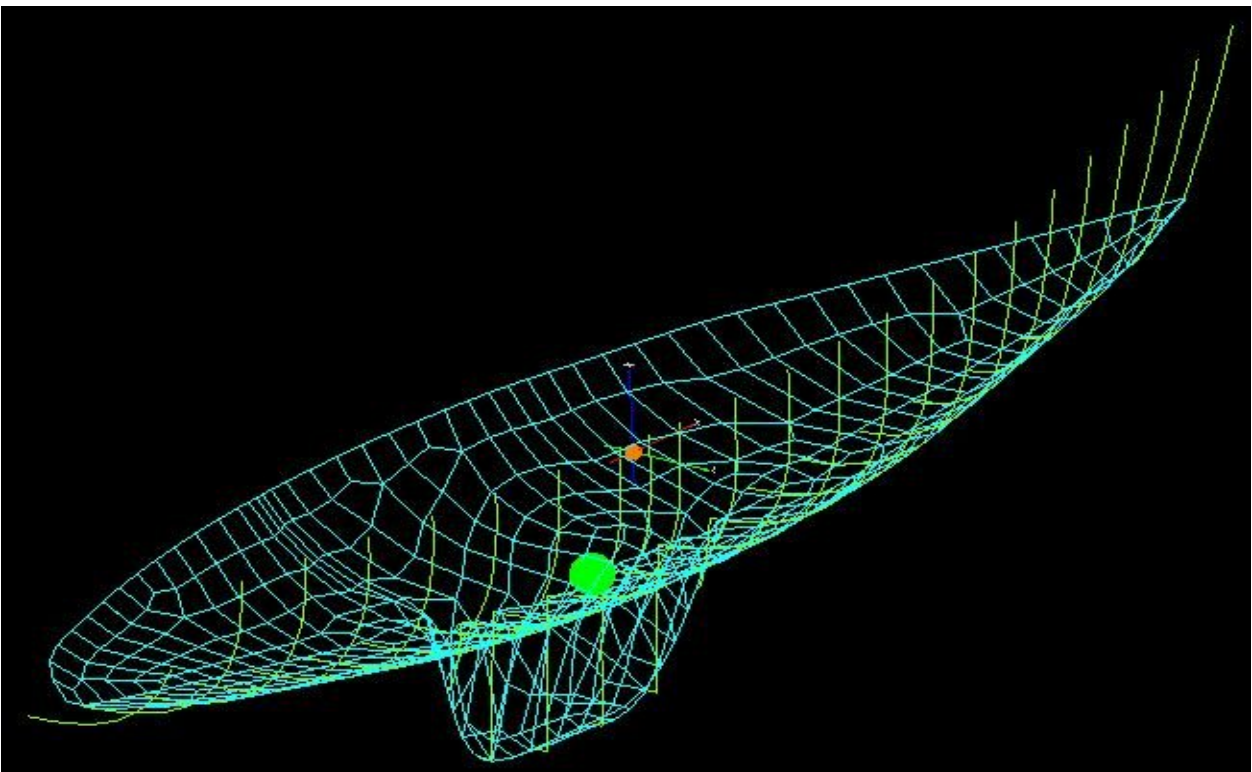


Σχήμα 4 : Η καρίνα ορισμένη σαν προέκταση των νομέων – Top View

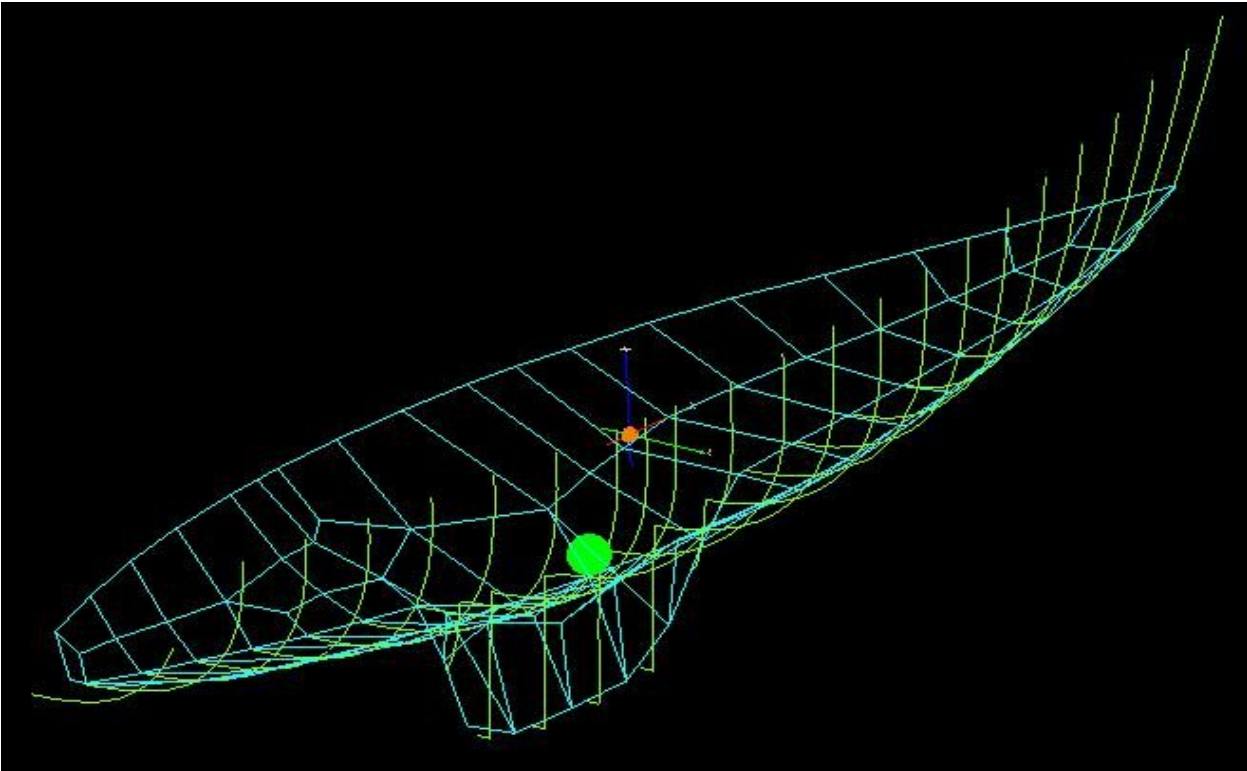


Σχήμα 5 : Η καρίνα ορισμένη σαν προέκταση των νομέων – Sections View

Παρατηρούμε πως για να περιγραφεί με λεπτομέρεια η γεωμετρία της καρίνας πρέπει ο αριθμός των panels πάνω στην γάστρα να είναι ιδιαίτερα μεγάλος. Για να τονιστεί όμως η επίδραση της καρίνας επιθυμούμε περισσότερα panels σε αυτή παρά στο canoe body. Κάτι τέτοιο ήταν αδύνατο με το συγκεκριμένο πρόγραμμα, αφού μείωση των panels στην γάστρα συμπαρέσυρε σε εκφυλισμό της γεωμετρίας της καρίνας.

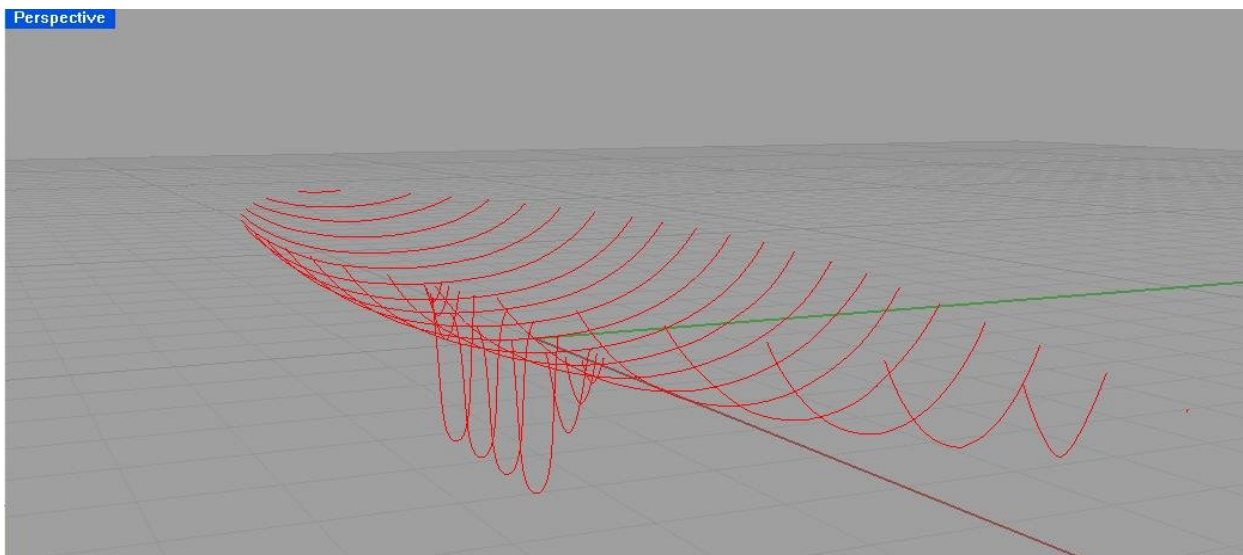


Σχήμα 6 : Γάστρα με 462 panels

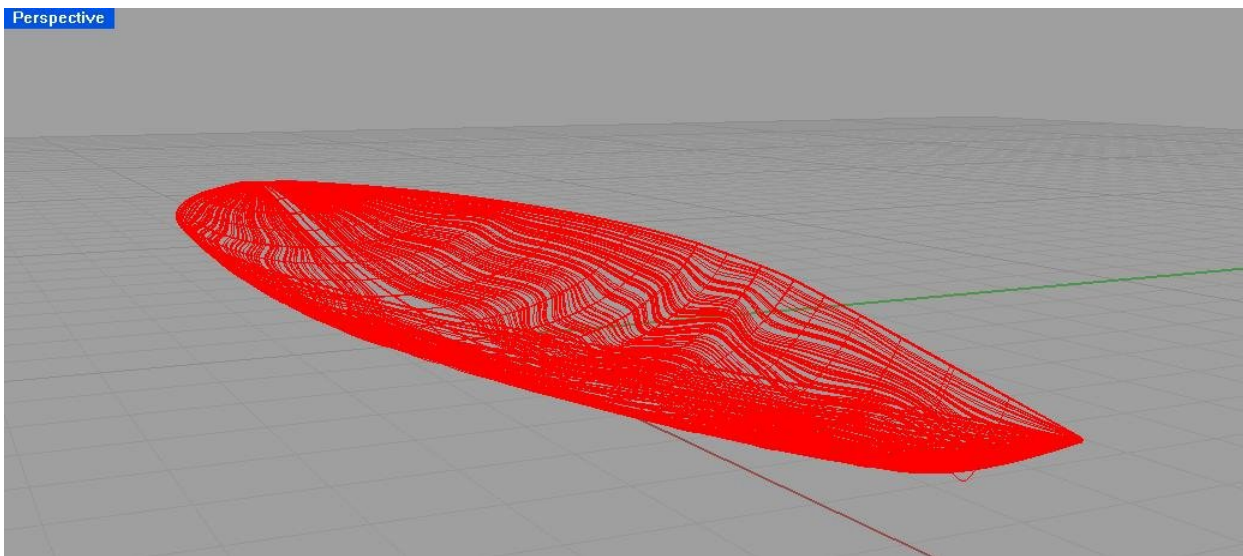


Σχήμα 7 : Εκφυλισμός γεωμετρίας της γάστρας με 88 panels

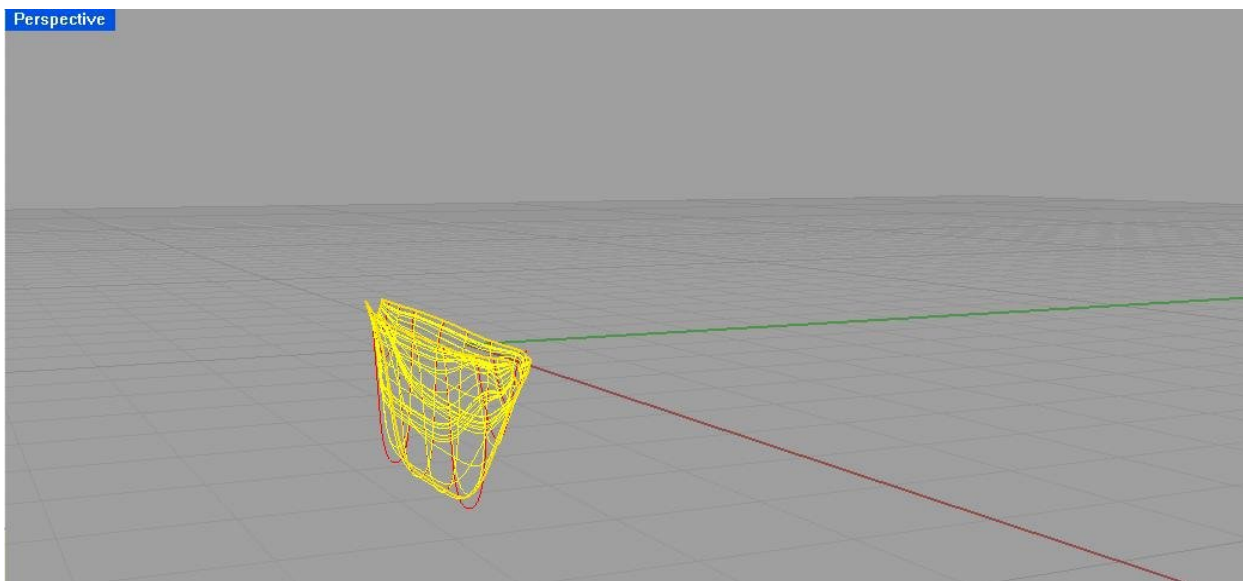
Με γνώμονα τα παραπάνω και για να μην χαθεί η λεπτομερής γεωμετρική περιγραφή της καρίνας, έγινε δοκιμή όπου αντί να χρησιμοποιηθεί η μηχανή του προγράμματος, να μεταφερθούν οι γραμμές του ιστοπλοϊκού από το σχεδιαστικό πρόγραμμα AUTOCAD στο RHINOCEROS, να μετατραπούν σε τρισδιάστατη γεωμετρία και πάνω σε αυτή να γίνουν δύο ξεχωριστά mesh. Το πρώτο θα αποτελείται από μικρό αριθμό πολυγώνων και θα αφορά το canoe body. Το δεύτερο, με σαφώς περισσότερα πολύγωνα θα αφορά την καρίνα. Τα δύο meshes θα ενωθούν σε ένα και θα γίνουν εξαχθούν σε αρχείο wamit, τύπο συμβατό με το WAVELOAD. Η διαδικασία αυτή έγινε 4 φορές, μία για την κανονική καρίνα και άλλες τρεις για τις εκάστοτε ανυψώσεις. Αρχικά είχε προγραμματιστεί να γίνουν 6 αλλά ο χρόνος προσπέλασης του κώδικα αυξήθηκε σημαντικά. Αυτό επειδή ενώ στα αυτόματα meshes οι υπολογισμοί εκμεταλλευόντουσαν την συμμετρία της γάστρας, στα meshes του RHINOCEROS είναι πολύ συνήθες να υπάρχουν ανακρίβειες των κόμβων των πολυγώνων, της τάξεως των δεκάτων του χιλιοστού, οι οποίες αφενός είναι πολύ επίπονο να εντοπιστούν και να διορθωθούν και αφετέρου δεν επιτρέπουν στον κώδικα να τρέξει παρά μόνο αν του οριστεί η προσομοίωση στο σύνολο της γεωμετρίας του σκάφους.



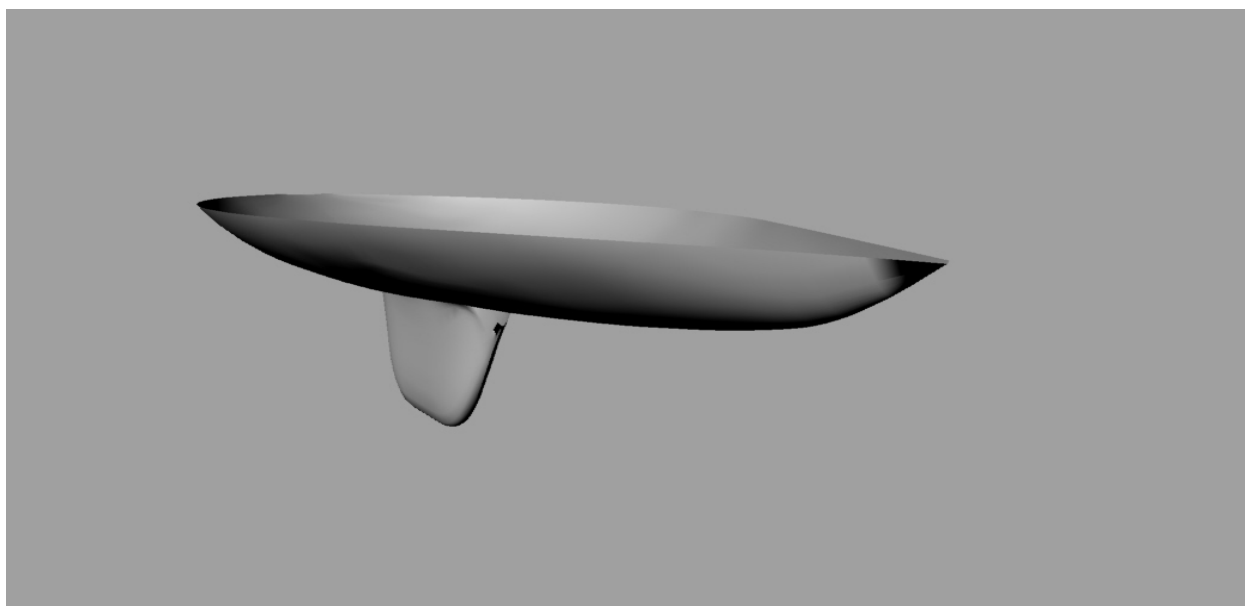
Σχήμα 8 : Οι νομείς του σκάφους στο CAD RHINOCEROS



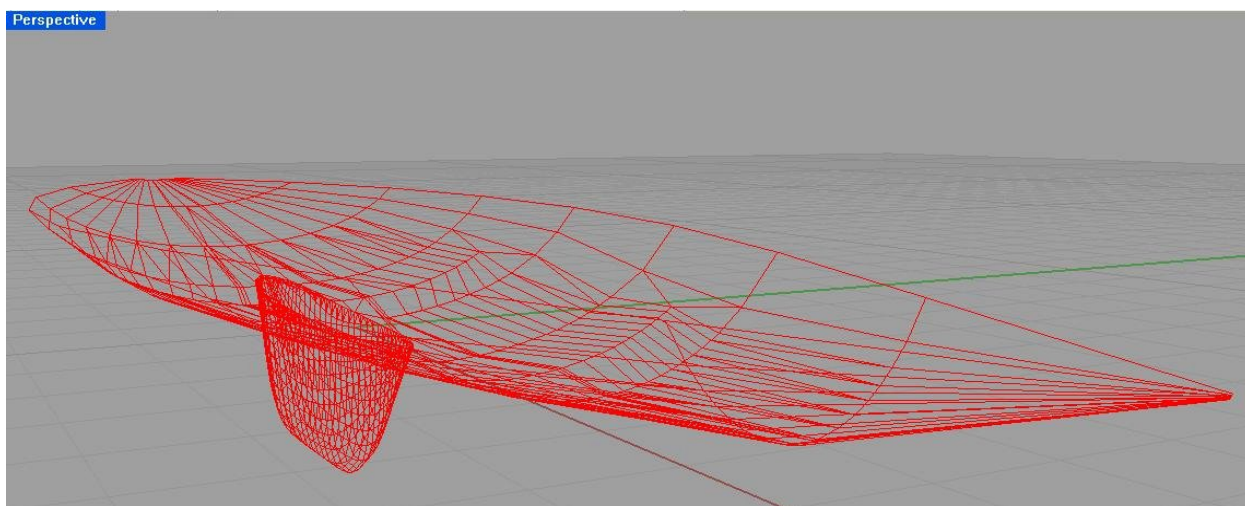
Σχήμα 9 : Η επιφάνεια του canoe body στο RHINOCEROS



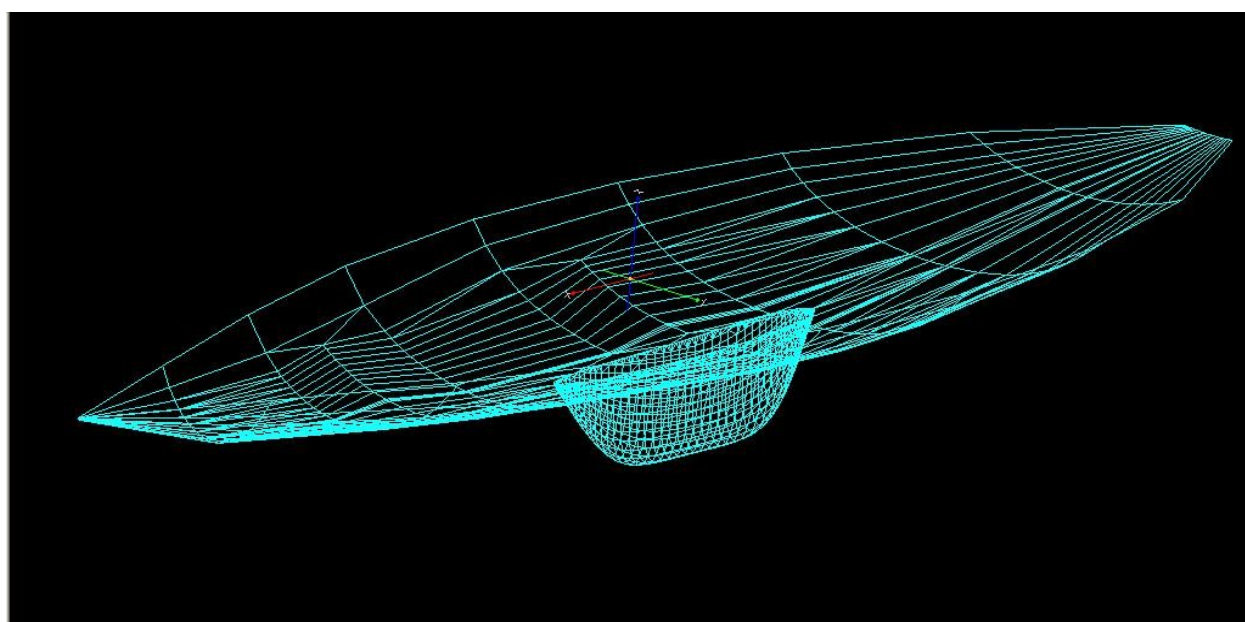
Σχήμα 10 : Η επιφάνεια της καρίνας στο RHINOCEROS

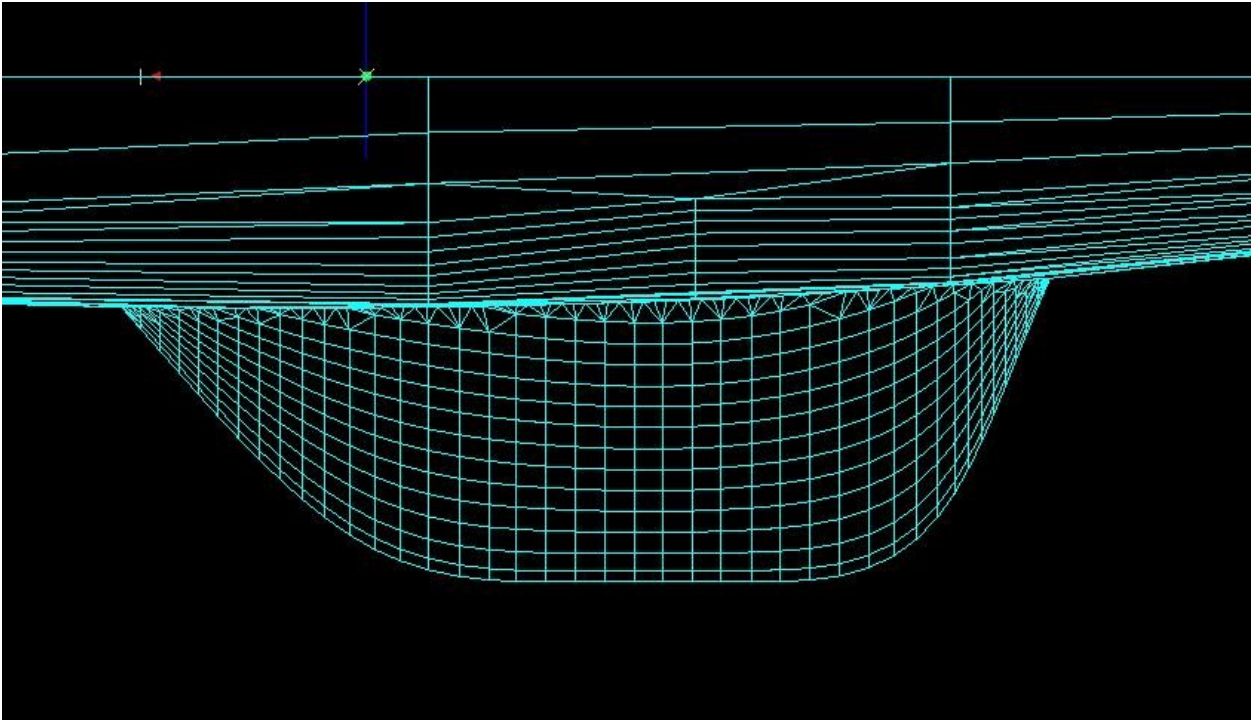


Σχήμα 11 : Η συνολική επιφάνεια του canoe body στο RHINOCEROS



Σχήμα 12 & 13 : Το τελικό MESH όπως σχηματίστηκε στο RHINOCEROS





Σχήμα 14 : Η καρίνα από το RHINOCEROS – Profile View

Είναι εμφανής η διαφορά αριθμού των panels στην καρίνα και το canoe body. Κάθε διαδοχική ανύψωση της καρίνας ήταν και πάλι κατά 35 cm.

Με αυτό τον συνδυασμό προέκυψαν έγιναν και οι υπολογισμοί. Σε συχνότητες πλησίον του συντονισμού εμφανίστηκαν ακραίες τιμές, αλλά επειδή η μέθοδος είναι θεωρητικά η πιο ορθή και επειδή όπως έχει ήδη αναφερθεί τα αποτελέσματα ενδέχεται να ήταν πιο λογικά αν είχε βρεθεί τρόπος υπέρθεσης της επίδρασης της συνεκτικότητας στους υπολογισμούς, επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος τρόπος για να γίνει η διερεύνηση.

Οι υπολογισμοί έγιναν για τις παρακάτω καταστάσεις.

ΚΑΡΙΝΑ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΚΡΟΠΤΕΡΥΓΙΟΥ ΑΠΟ BASELINE CANOE BODY
ΚΑΝΟΝΙΚΗ	-2m
ΥΨΩΜΕΝΗ ΚΑΤΑ 35cm	-1.65m
ΥΨΩΜΕΝΗ ΚΑΤΑ 70cm	-1.3m
ΥΨΩΜΕΝΗ ΚΑΤΑ 105cm	-0.95m

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ (μοίρες)
0
15
30
45
60
75
90
105
120
135
150
165
180

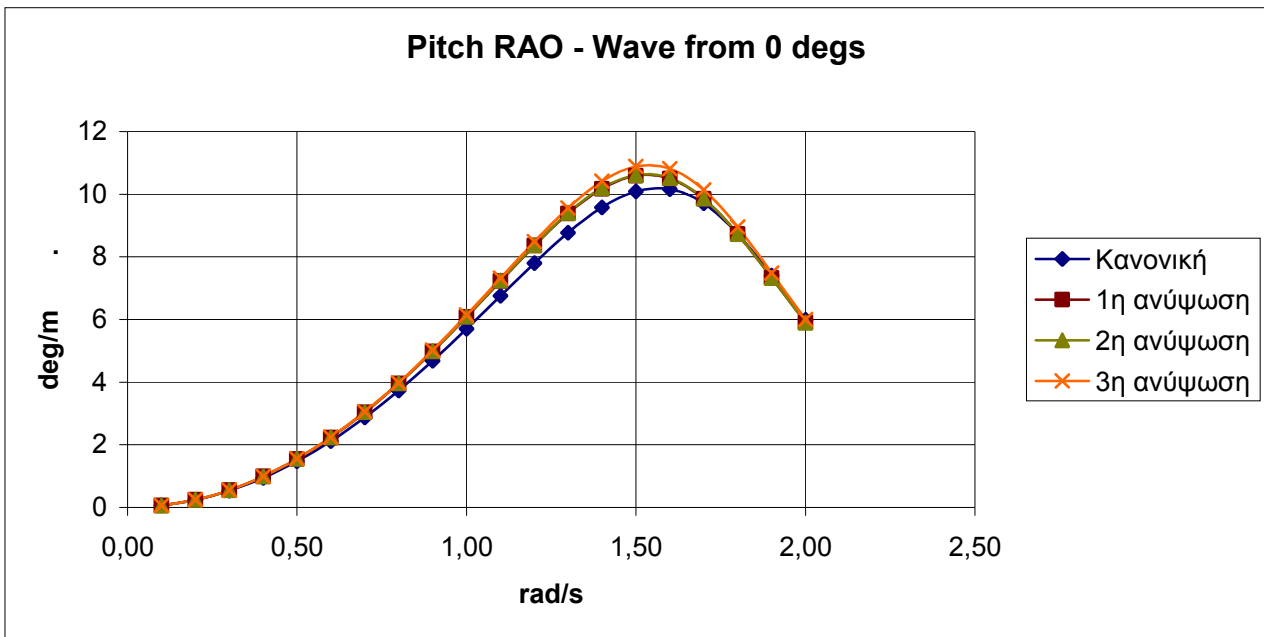
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ
0.1 – 2 rad/sec

ΤΑΧΥΤΗΤΑ V_S (kn)
0
2
4
7
9

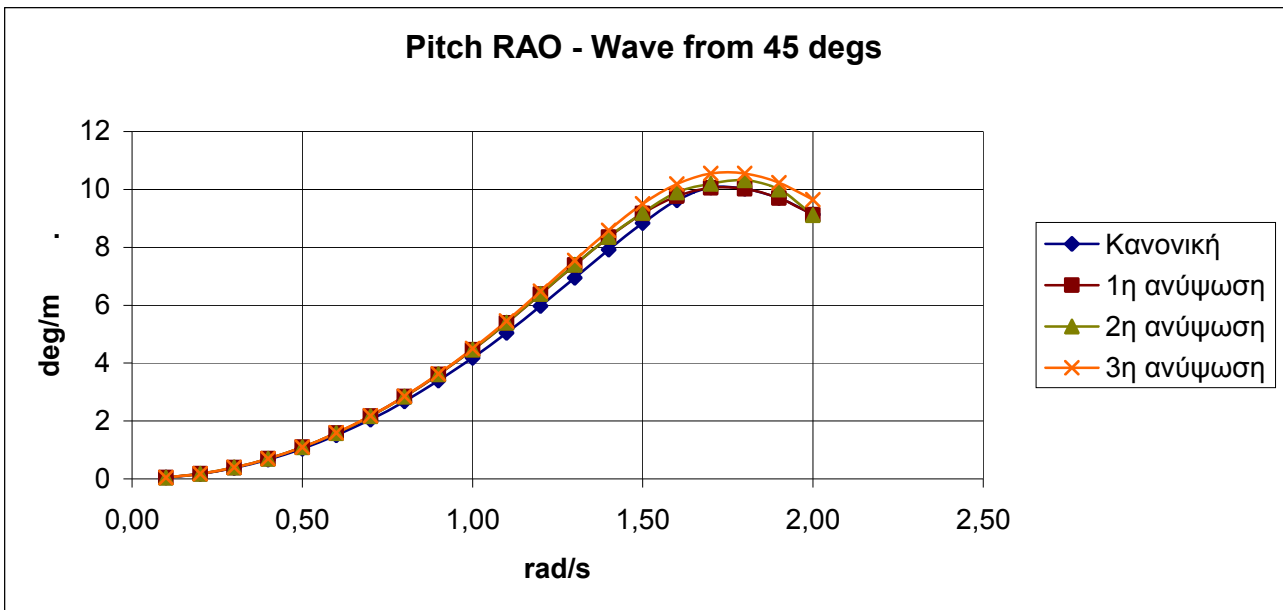
4.4 Μελέτη Συμπεριφοράς στον Προνευτασμό (Pitch).

Τα διαγράμματα που ακολουθούν αποδίδουν γραφικά την επίδραση της ανύψωσης της καρίνας στον προνευτασμό (pitch) . Πρόκειται για τις περιπτώσεις που οι κυματισμοί κατευθύνονται προς το σκάφος από 0° (following), 45° και 135° (quartering) και 180°(head), για ταχύτητες 0, 4, 7 και 9 κόμβων, ενώ για τις υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο παράρτημα.

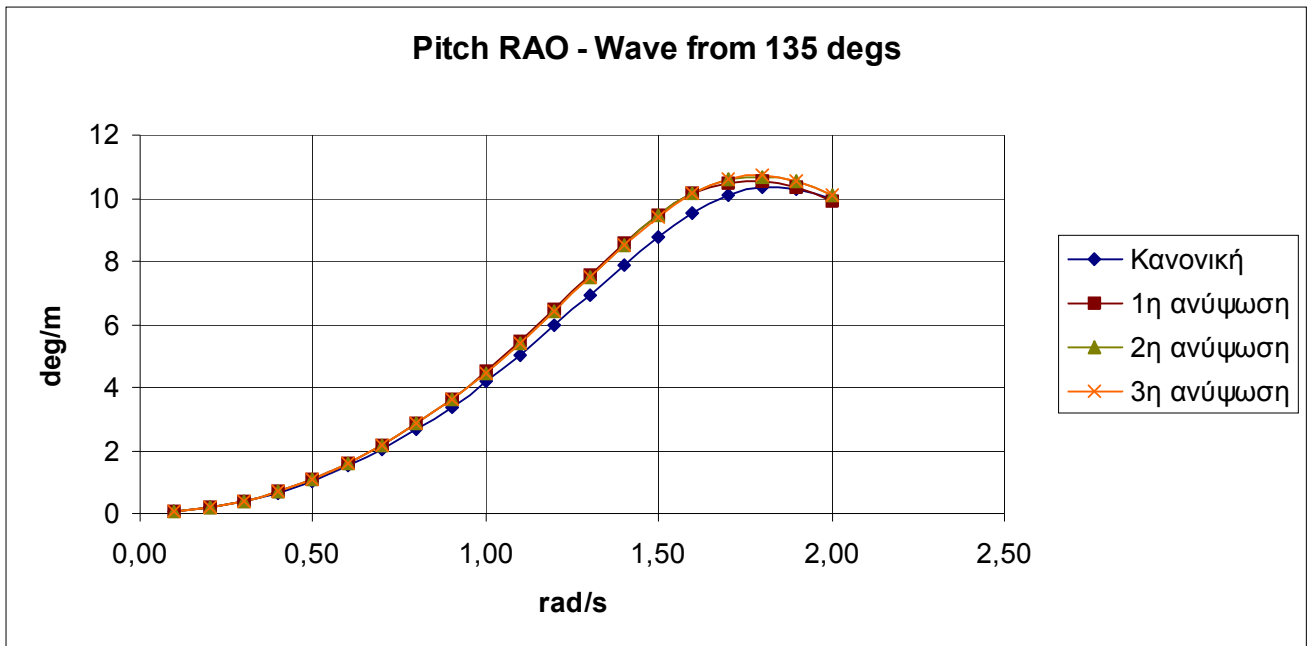
Για ταχύτητα 0 κόμβων



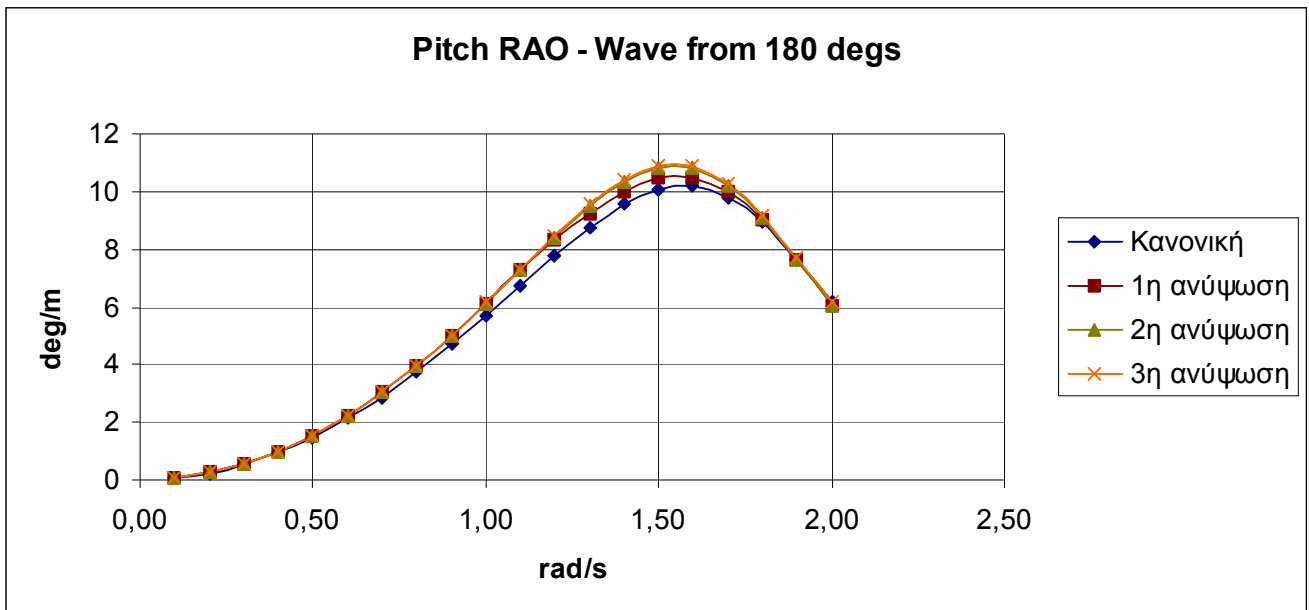
Σχήμα 15 : Pitch Rao - Ταχύτητα 0 kn



Σχήμα 16 : Pitch Rao - Ταχύτητα 0 kn

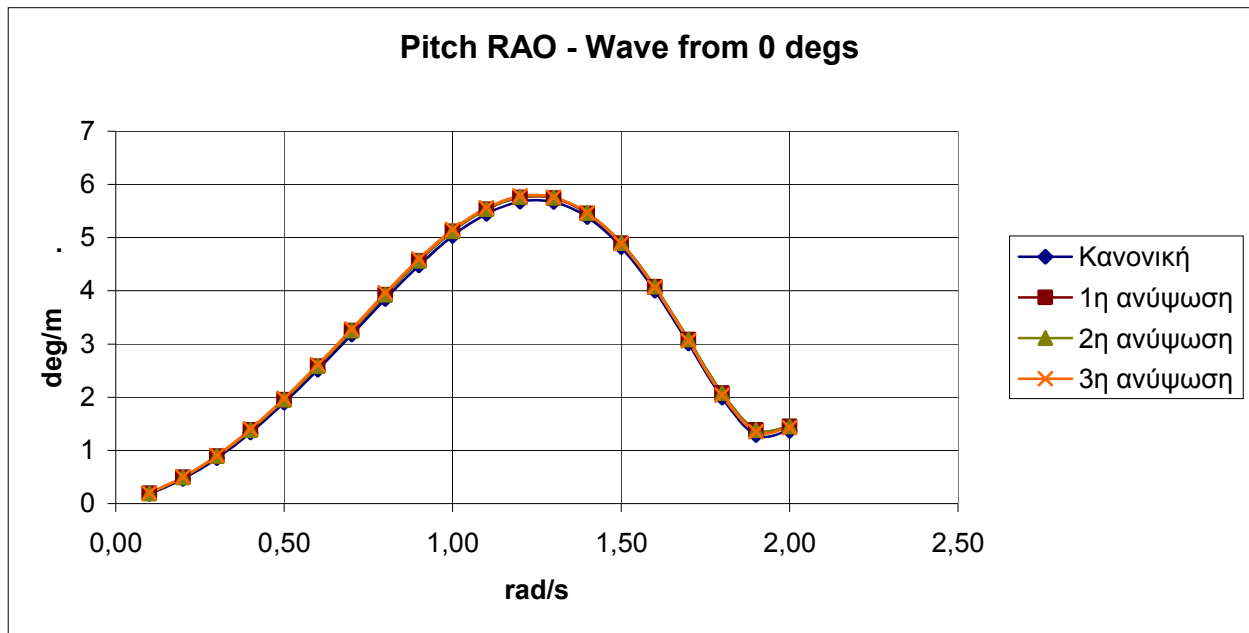


Σχήμα 17 : Pitch Rao - Ταχύτητα 0 kn

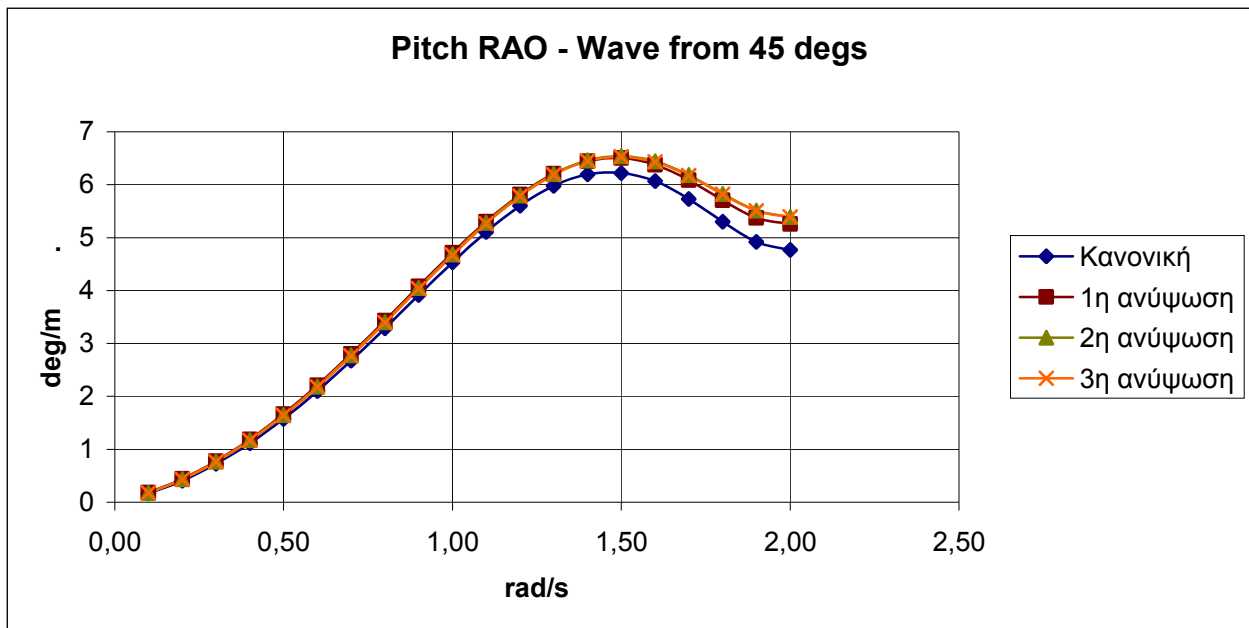


Σχήμα 18 : Pitch Rao - Ταχύτητα 0 kn

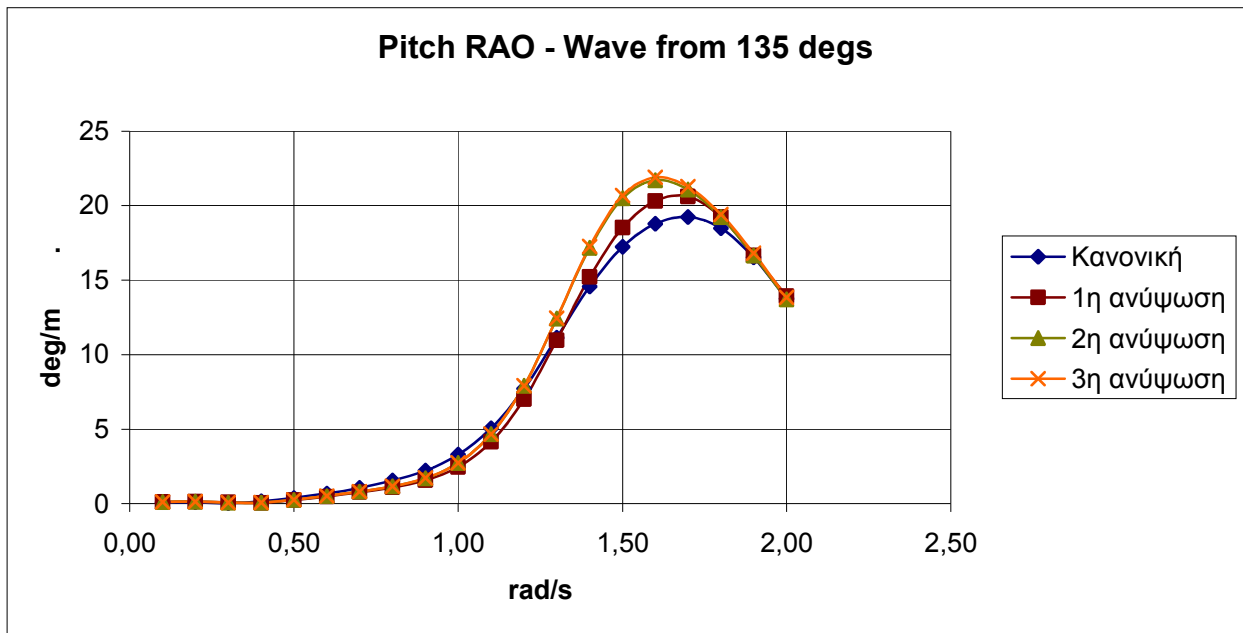
Για ταχύτητα 4 κόμβων



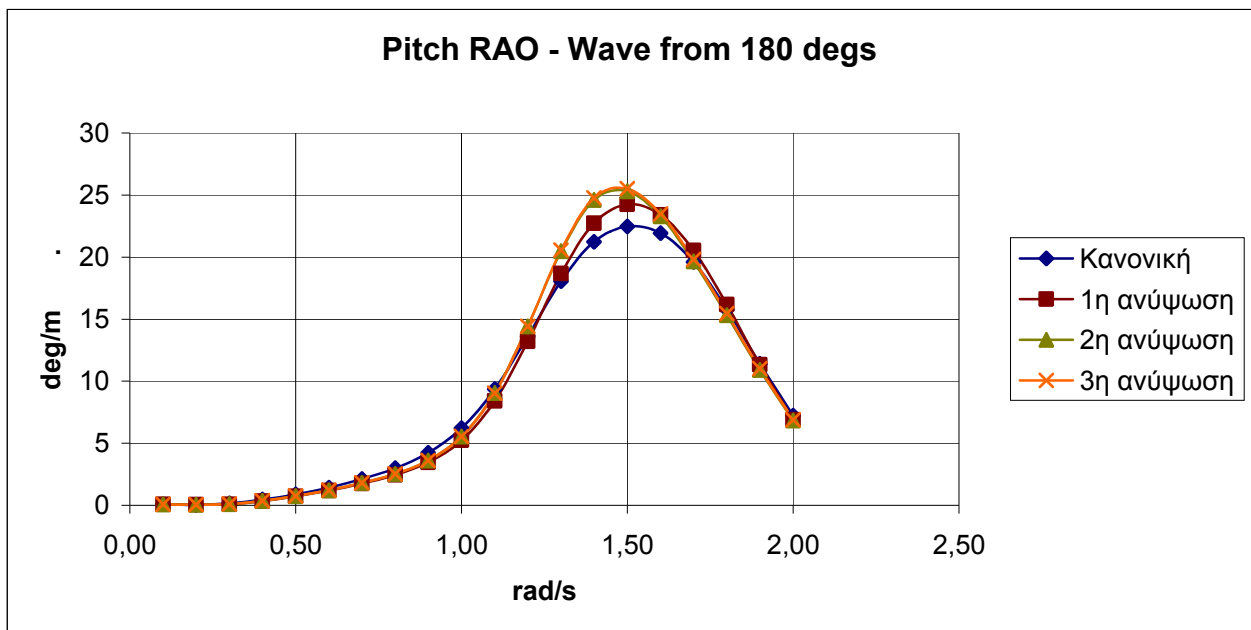
Σχήμα 19 : Pitch Rao - Ταχύτητα 4 kn



Σχήμα 20 : Pitch Rao - Ταχύτητα 4 kn

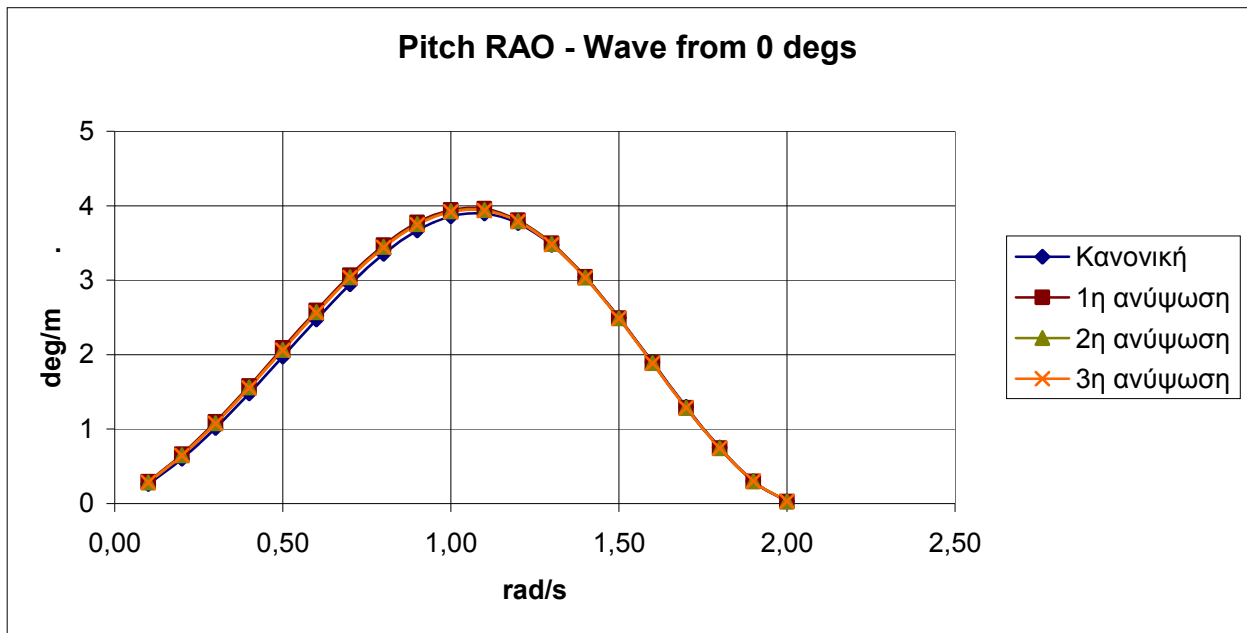


Σχήμα 21 : Pitch Rao - Ταχύτητα 4 kn

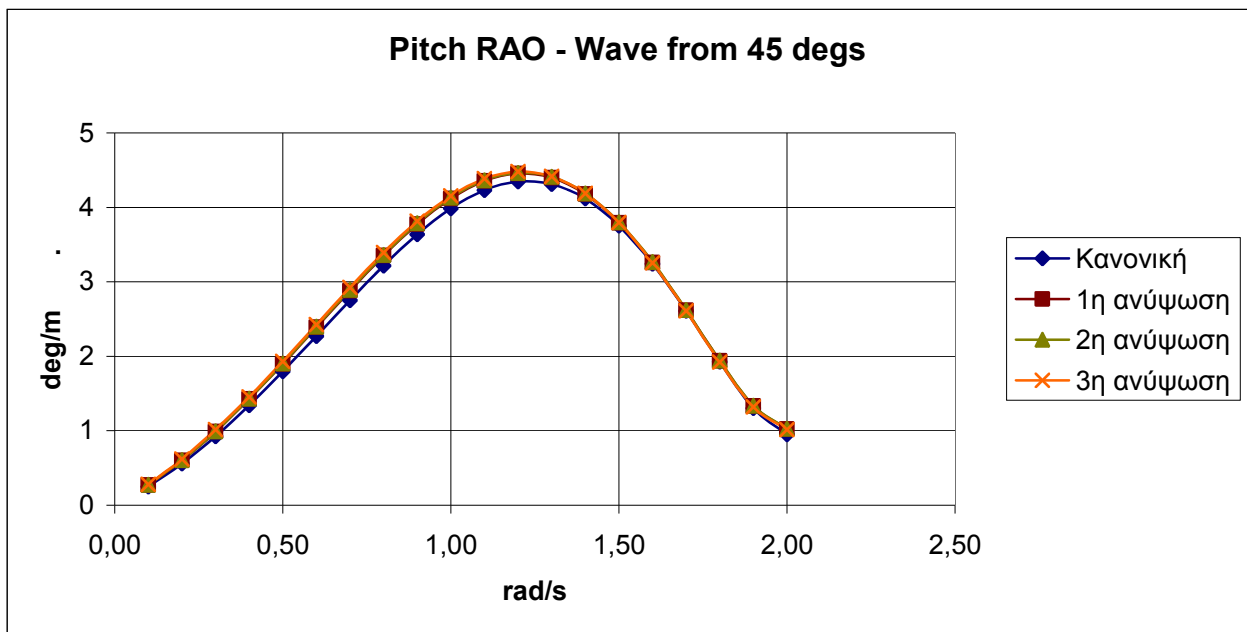


Σχήμα 22 : Pitch Rao - Ταχύτητα 4 kn

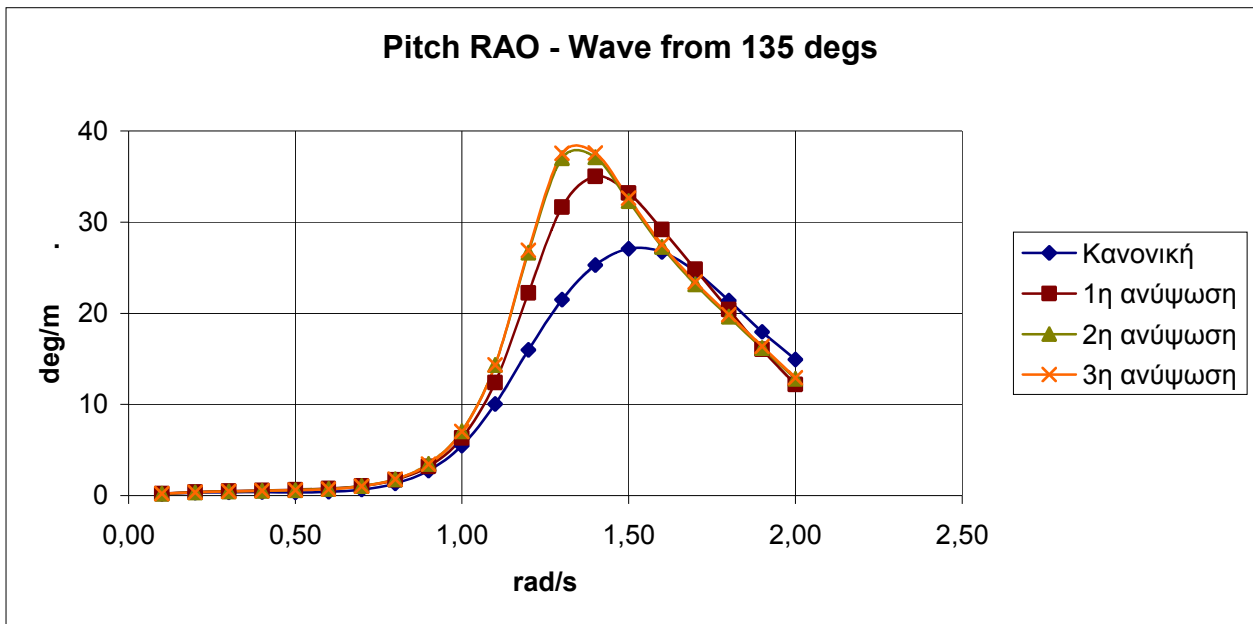
Για ταχύτητα 7 κόμβων



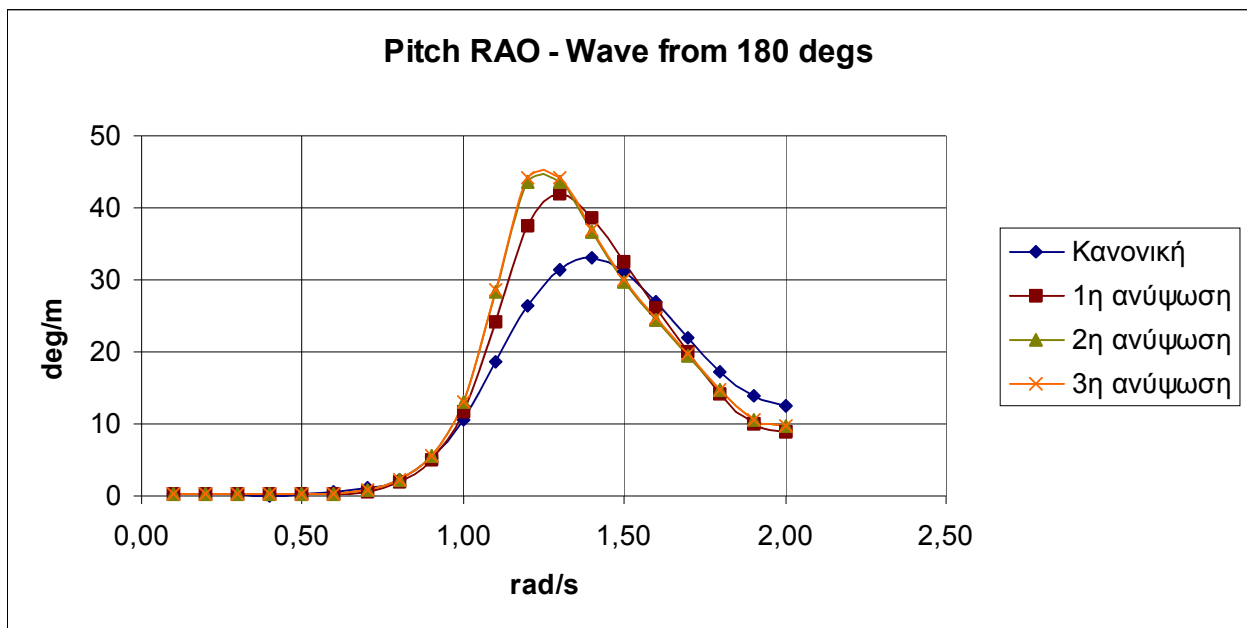
Σχήμα 23 : Pitch Rao - Ταχύτητα 4 kn



Σχήμα 24 : Pitch Rao - Ταχύτητα 7 kn

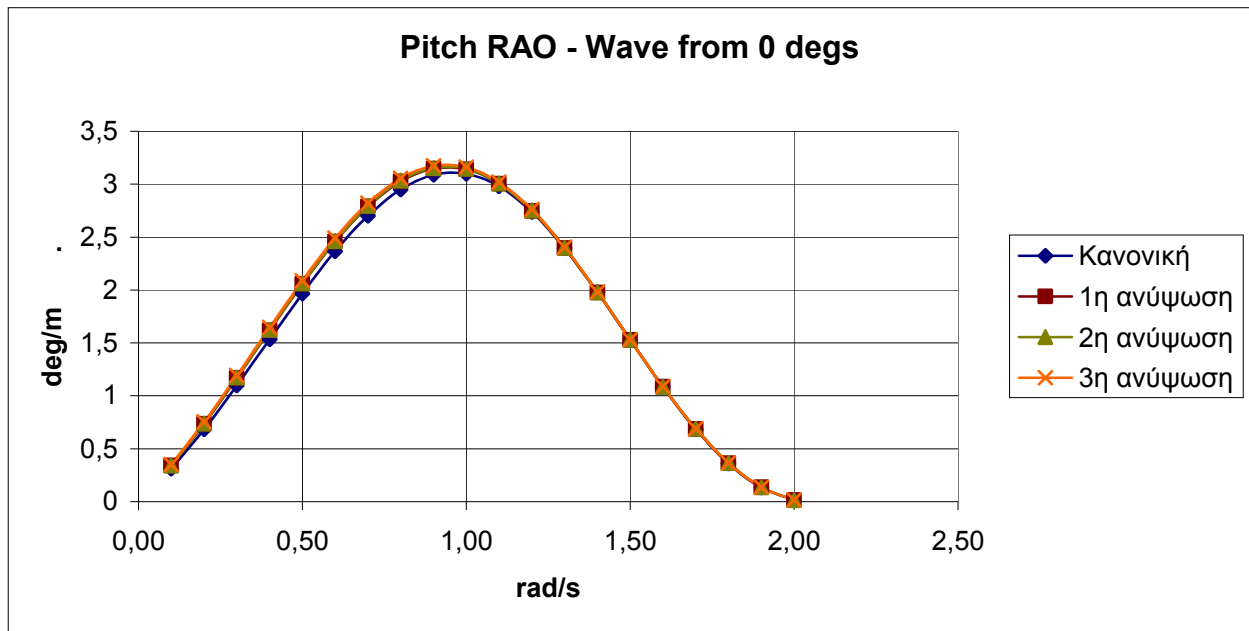


Σχήμα 25 : Pitch Rao - Ταχύτητα 7 kn

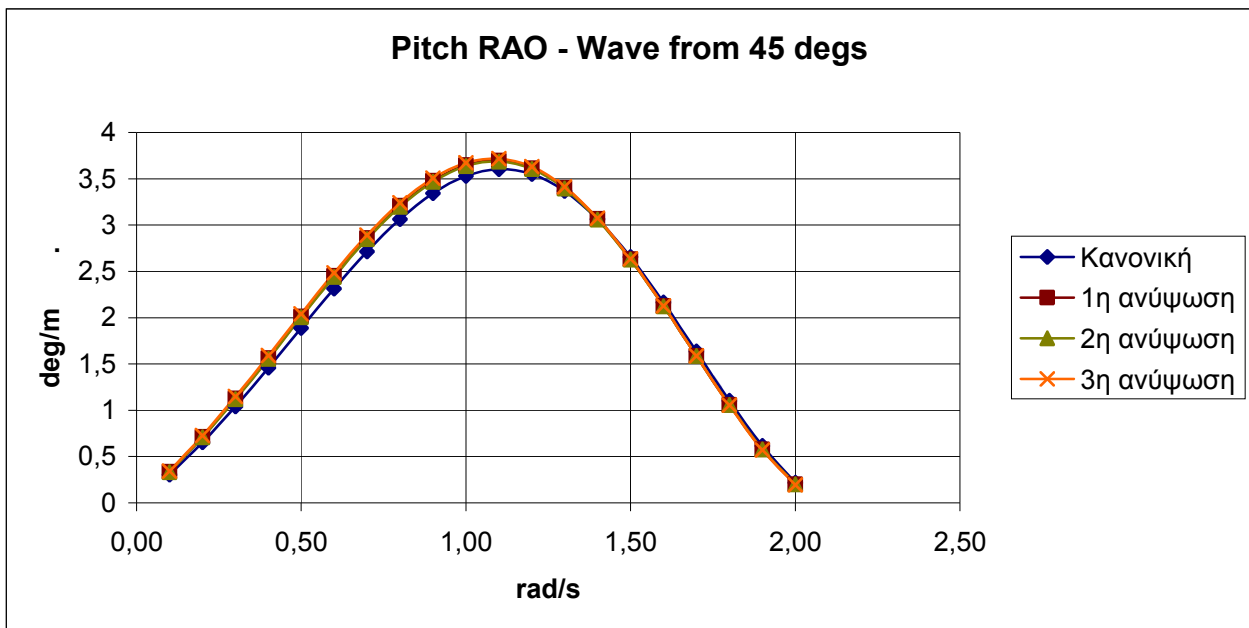


Σχήμα 26 : Pitch Rao - Ταχύτητα 7 kn

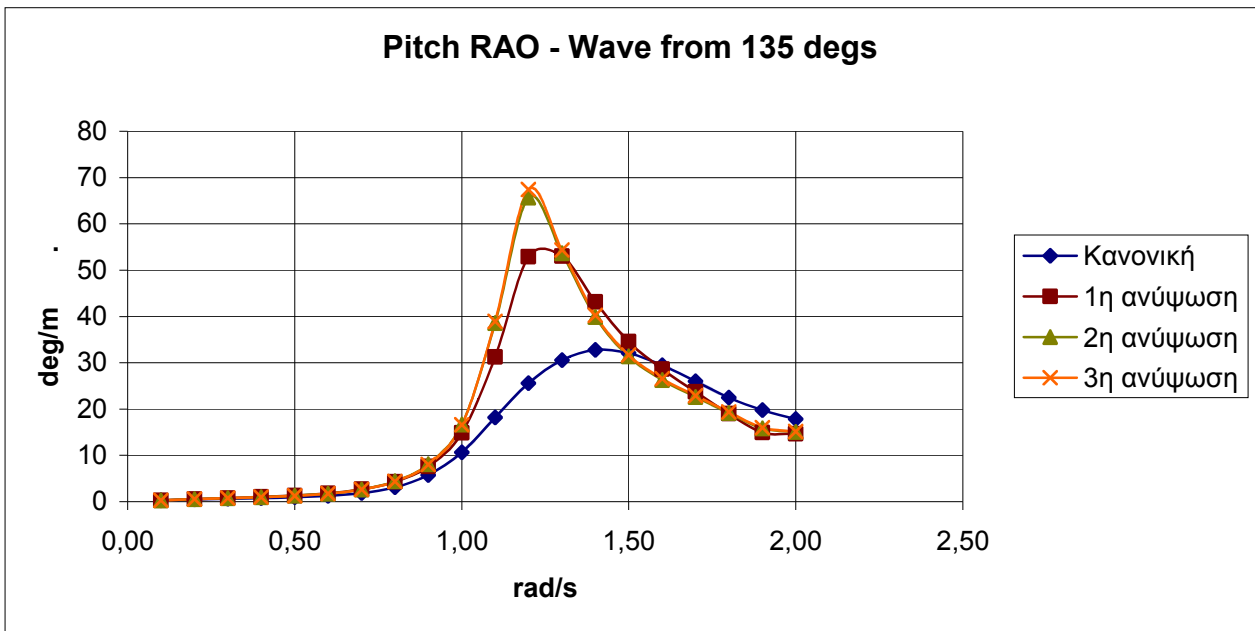
Για ταχύτητα 9 κόμβων



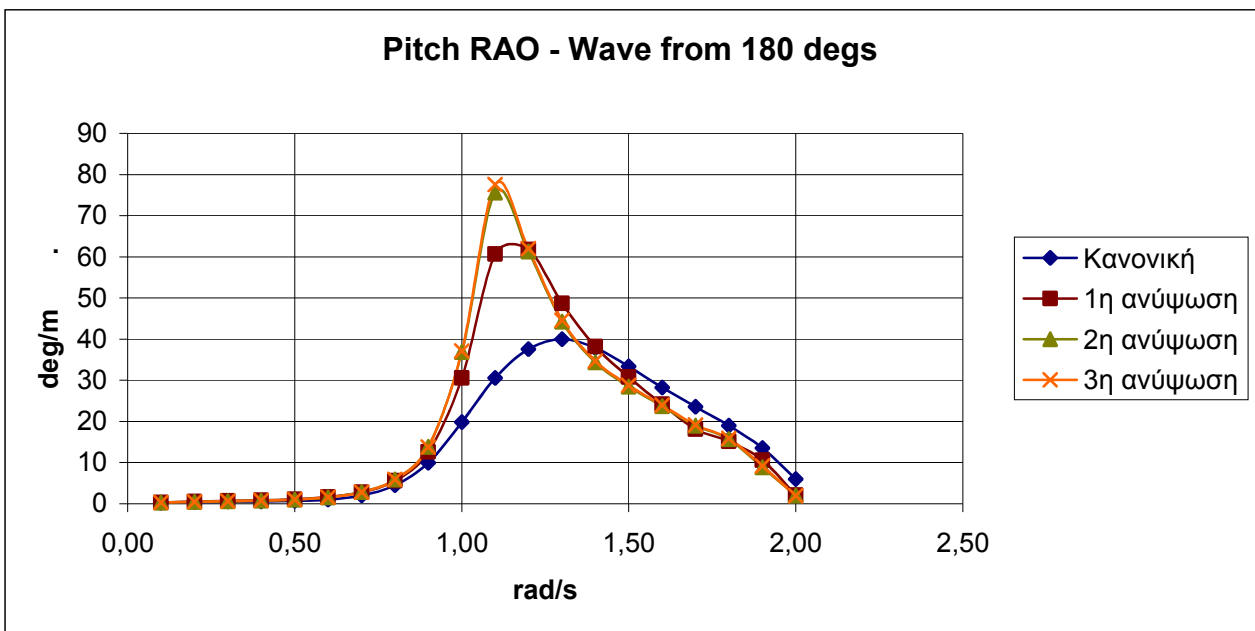
Σχήμα 27 : Pitch Rao - Ταχύτητα 9 kn



Σχήμα 28 : Pitch Rao - Ταχύτητα 9 kn



Σχήμα 29 : Pitch Rao - Ταχύτητα 9 kn



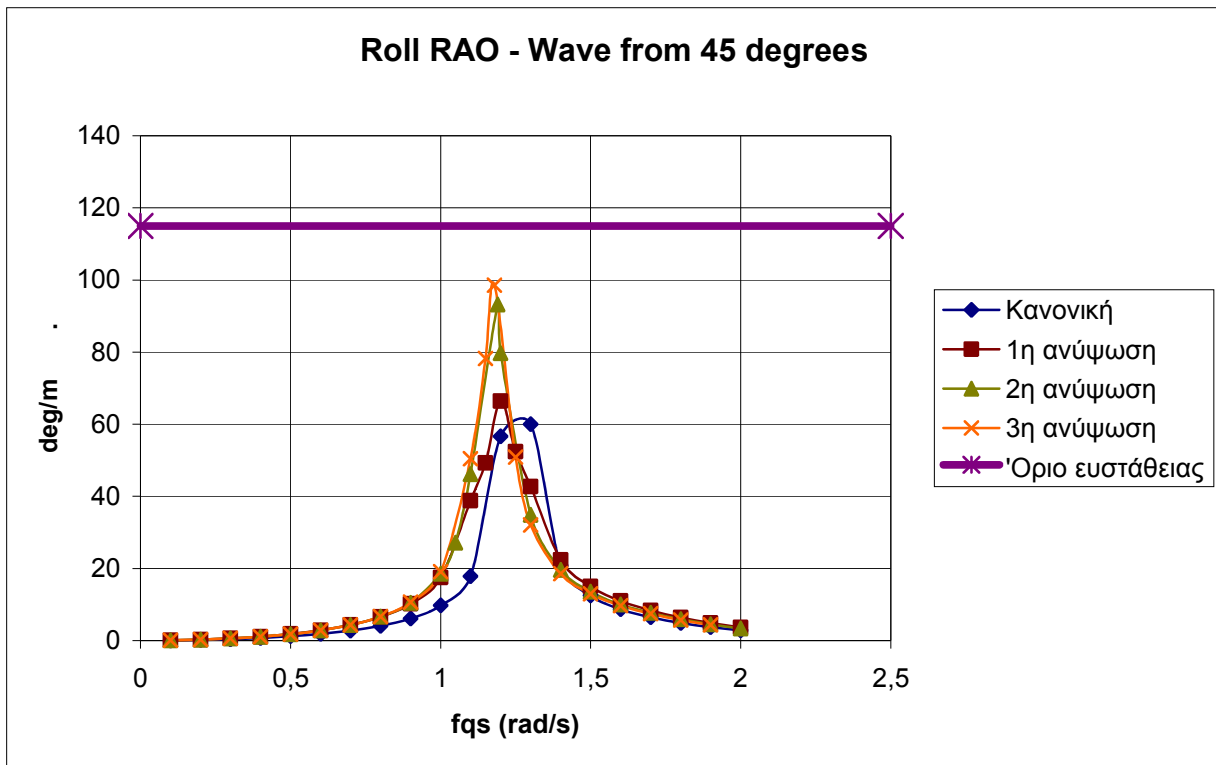
Σχήμα 30 : Pitch Rao - Ταχύτητα 9 kn

Παρατηρούμε πως στις πολύ χαμηλές ταχύτητες πλεύσης η διαφοροποίηση στον προνευτασμό λόγω καρίνας είναι ελάχιστη σε όλο το φάσμα των κυματισμών και η διαφορά αυτή ισούται με μία μοίρα περίπου (Σχήματα 15-20). Η κατάσταση για τους κυματισμούς που προέρχονται από μετωπικές διευθύνσεις αλλάζει όσο η ταχύτητα μεγαλώνει, και το φαινόμενο γίνεται έντονα βίαιο καθιστώντας την πλεύση με την καρίνα ανυψωμένη απαγορευτική (Σχήματα 25,26,29,30). Αντίθετα για τους πρυμναίους κυματισμούς η μέγιστη γωνία προνευτασμού μειώνεται (Σχήματα 23,24,27,28). Αξίζει να σημειωθεί πως η συμπεριφορά της γάστρας με τις δύο τελευταίες θέσεις της καρίνας είναι σχεδόν ταυτόσημη. Θα μπορούσαμε να πούμε λοιπόν πως από μία θέση της καρίνας και έπειτα, η επίδραση της τελευταίας στον προνευτασμό δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες μεταβολές.

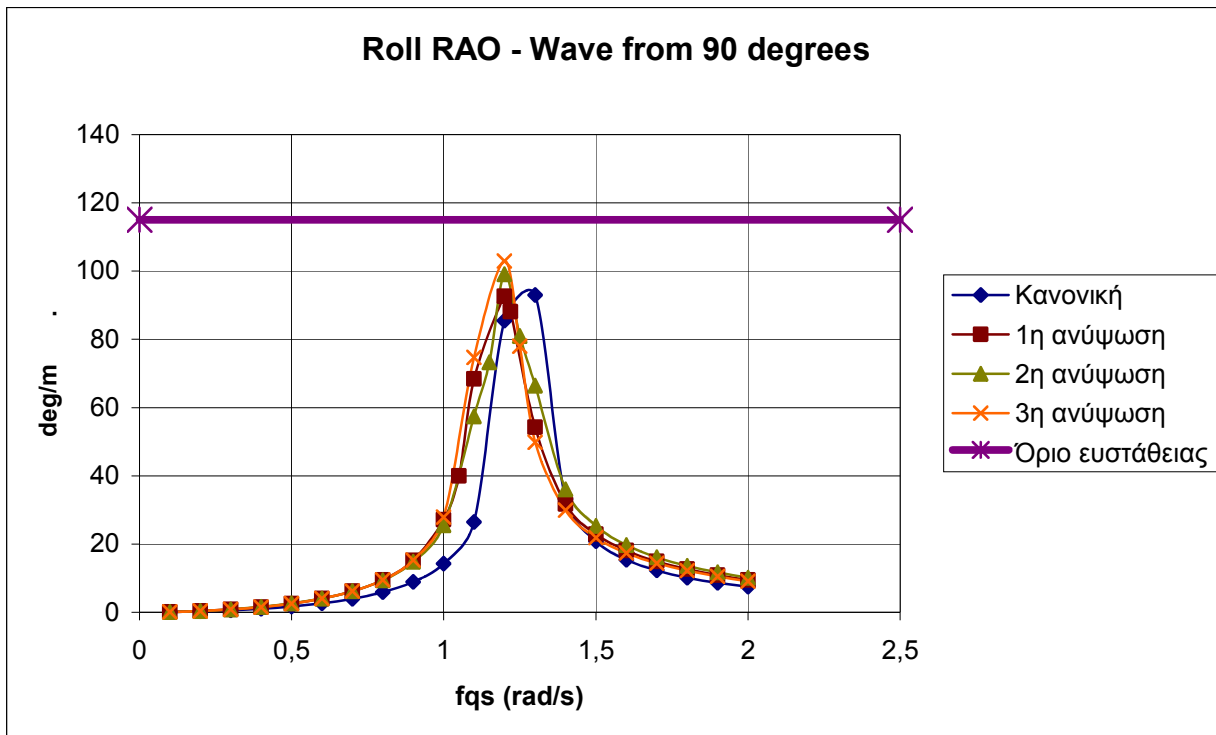
4.5 Μελέτη Συμπεριφοράς στον Διατοιχισμό (Roll).

Τα παρακάτω διαγράμματα αποδίδουν γραφικά την επίδραση της ανύψωσης της καρίνας στην απόκριση σε διατοιχισμό. Για λόγους ομοιότητας παρατείνονται οι περιπτώσεις των ιδίων ταχυτήτων που παρουσιάστηκαν και στη περίπτωση του προνευτασμού (0, 4, 7, 9 kn), ενώ οι κυματισμοί έρχονται από κατευθύνσεις 45° , 90° και 135° . Οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατείνονται στο παράρτημα. Σημειώνουμε ότι το πρόγραμμα δεν αναγνωρίζει ότι μετά από κάποια κλίση επέρχεται ανατροπή. Για αυτό το λόγο μαζί με τις καμπύλες απόκρισης στον διατοιχισμό, τα διαγράμματα περιέχουν και μία οριζόντια γραμμή στις 115° που εκφράζουν την γωνία όπου ο μοχλοβραχίονας GZ μηδενίζεται για την λιγότερο ευνοϊκή περίπτωση ευστάθειας, την 3^η ανύψωση της καρίνας.

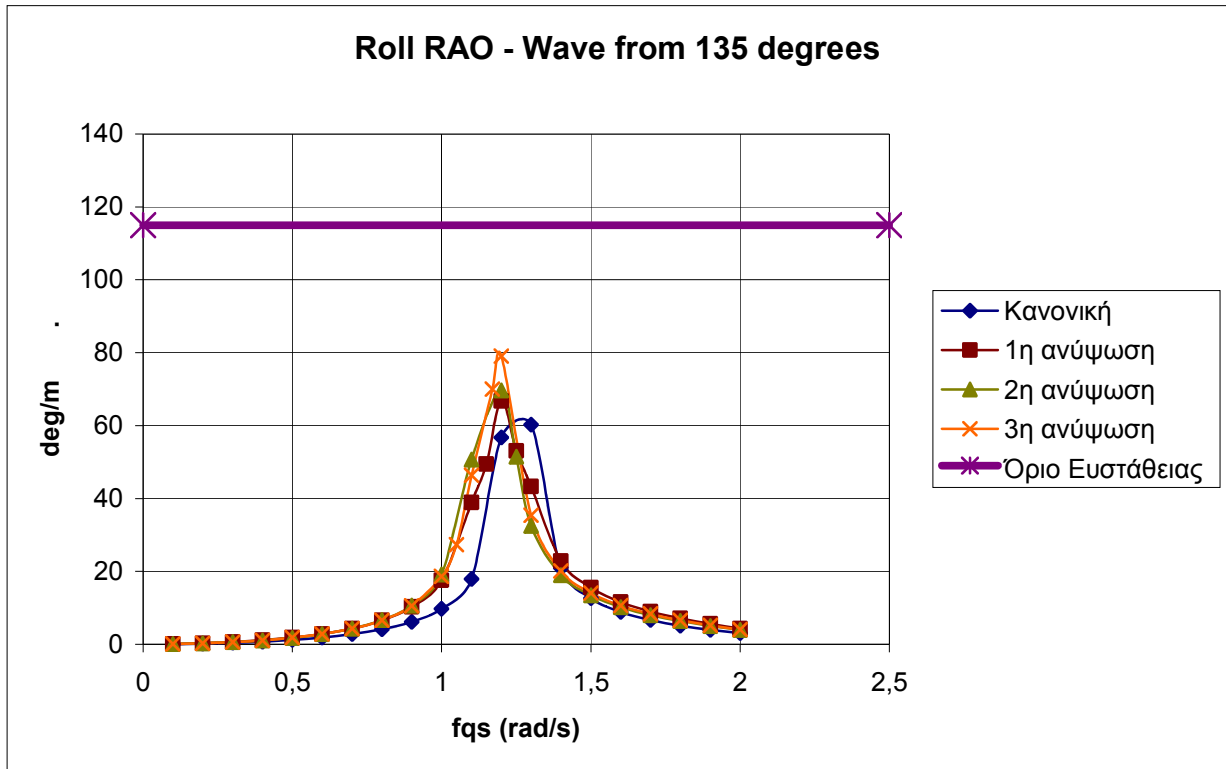
Για ταχύτητα 0 κόμβων



Σχήμα 31 : Roll Rao - Ταχύτητα 0 kn

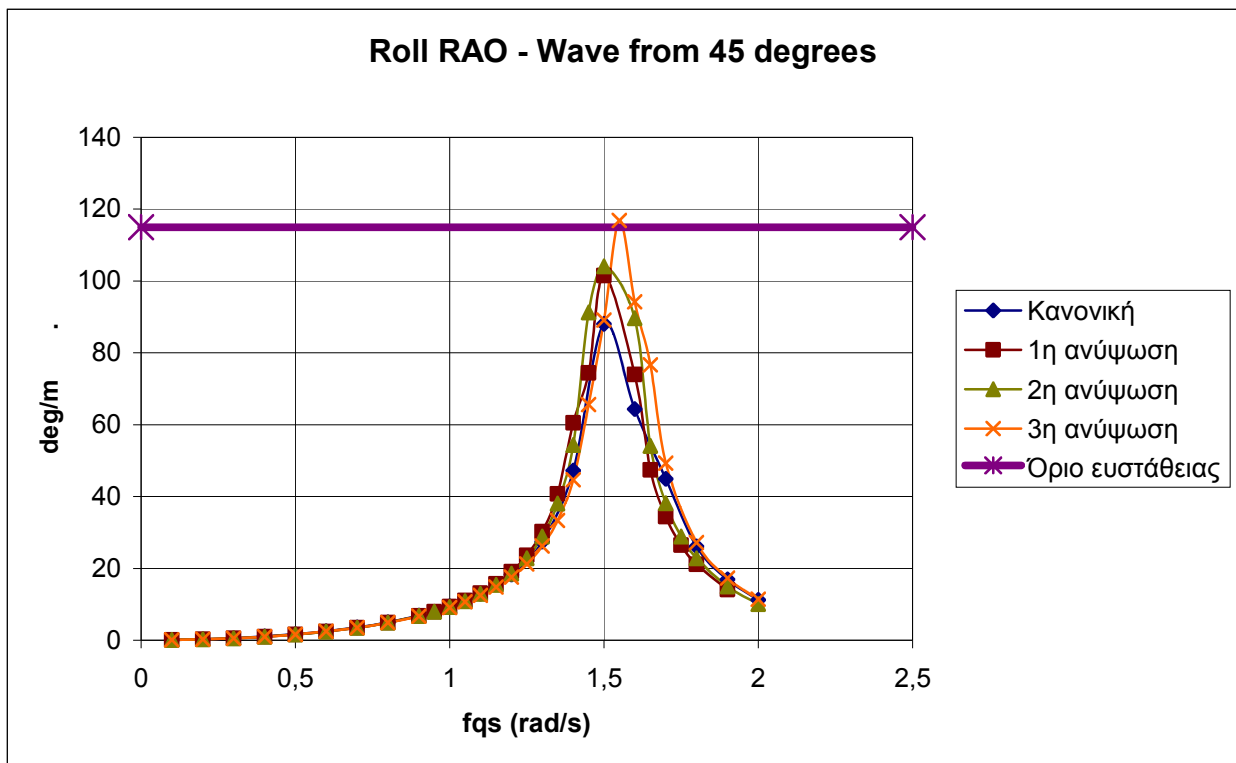


Σχήμα 32 : Roll Rao - Ταχύτητα 0 kn

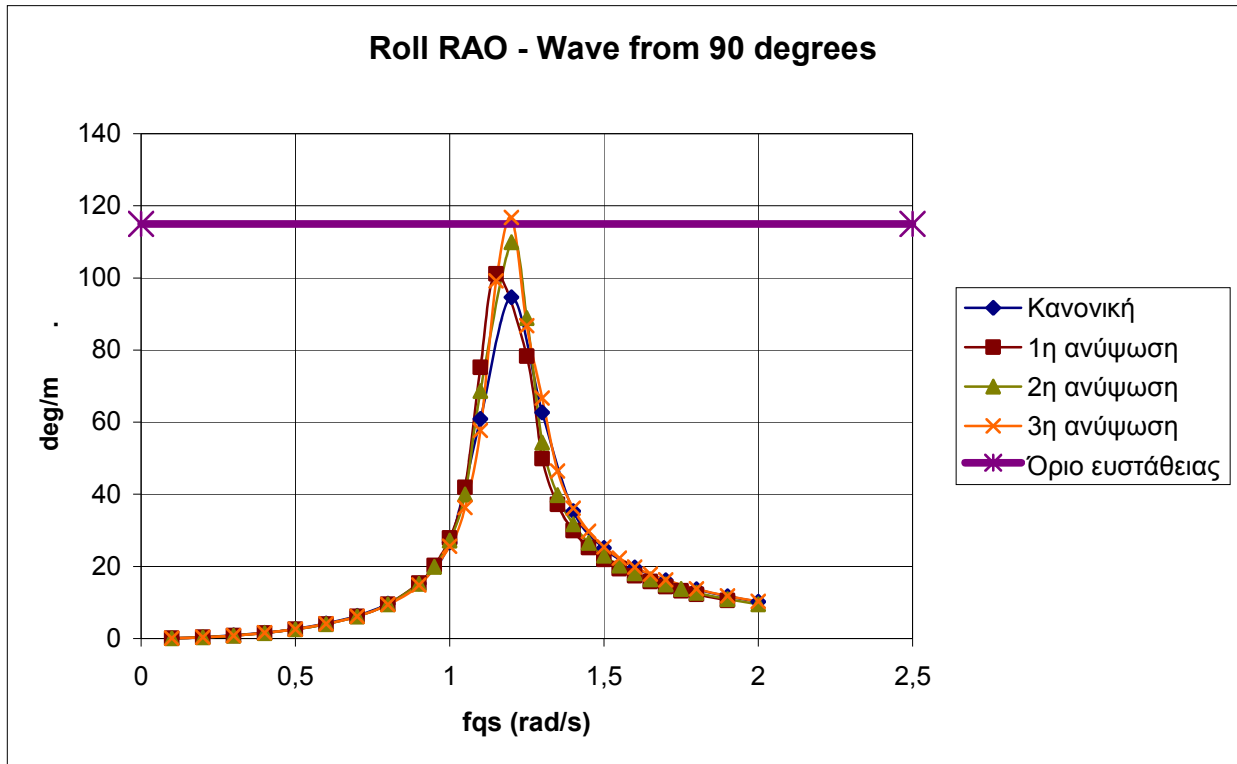


Σχήμα 33 : Roll Rao - Ταχύτητα 0 kn

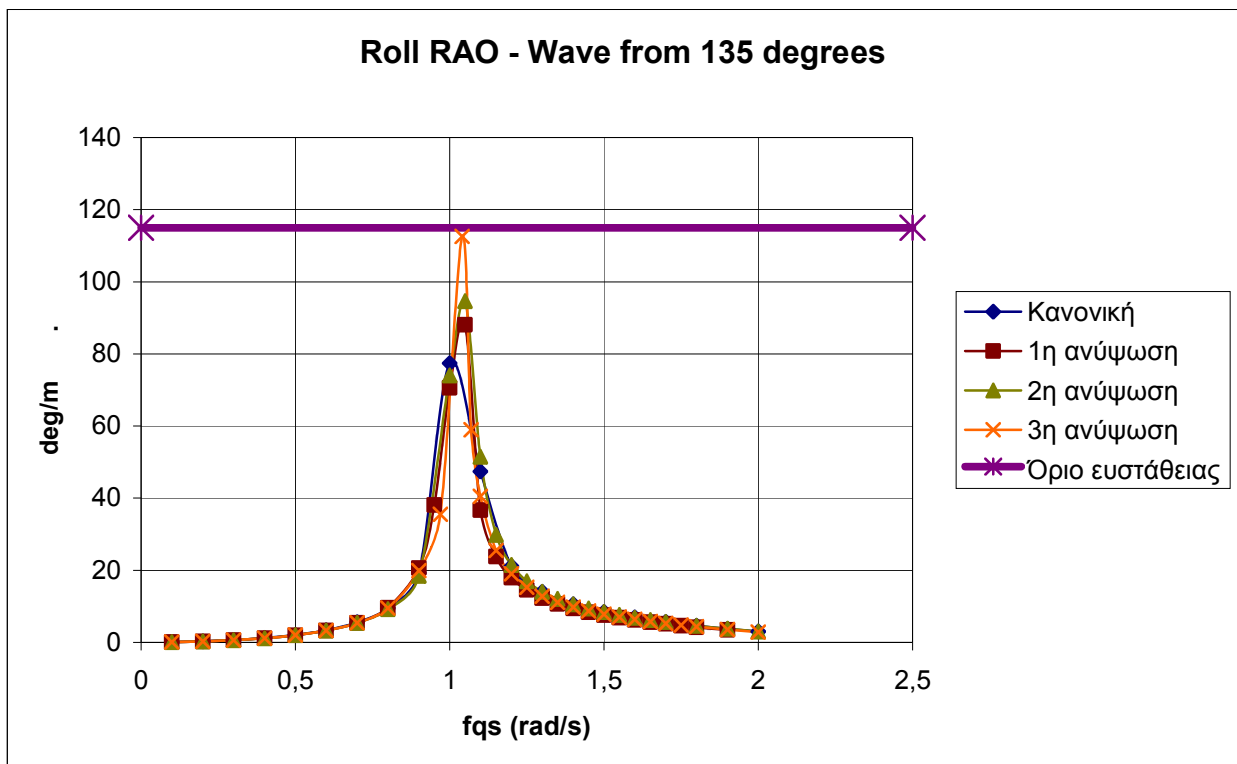
Για ταχύτητα 4 κόμβων



Σχήμα 34 : Roll Rao - Ταχύτητα 4 kn

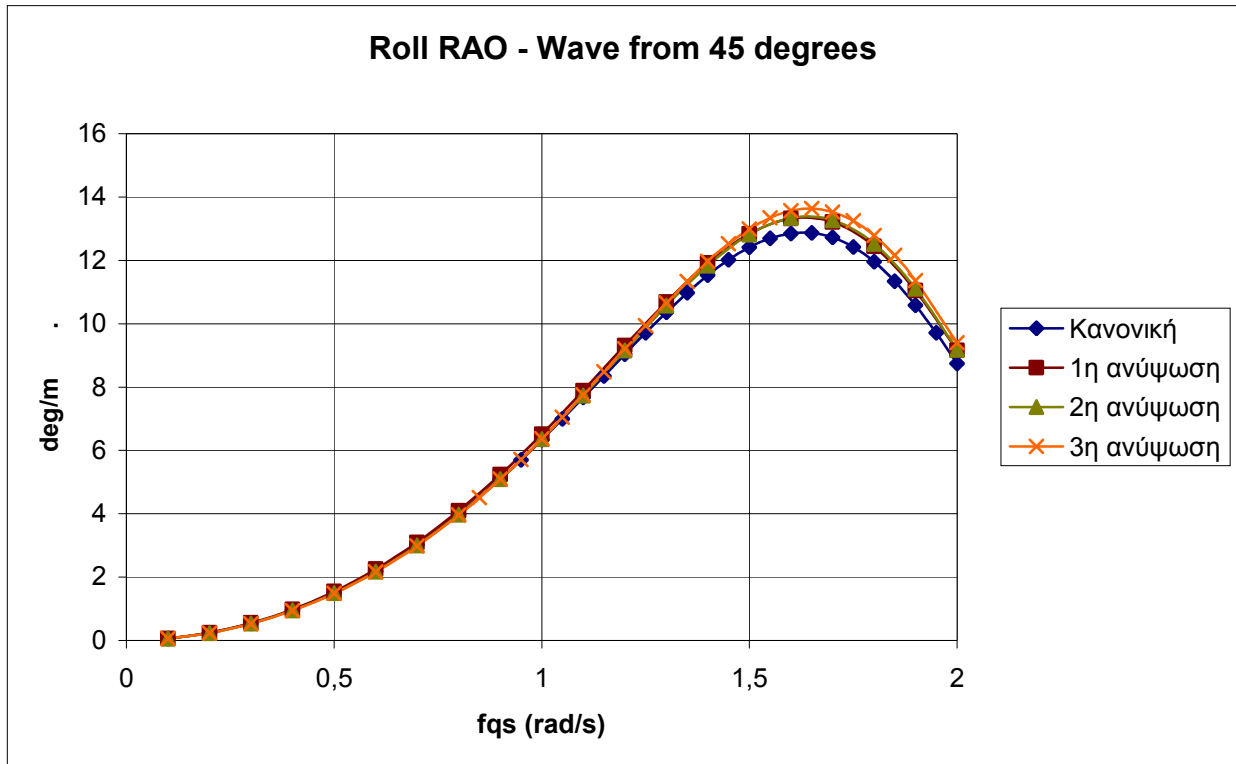


Σχήμα 35 : Roll Rao - Ταχύτητα 4 kn

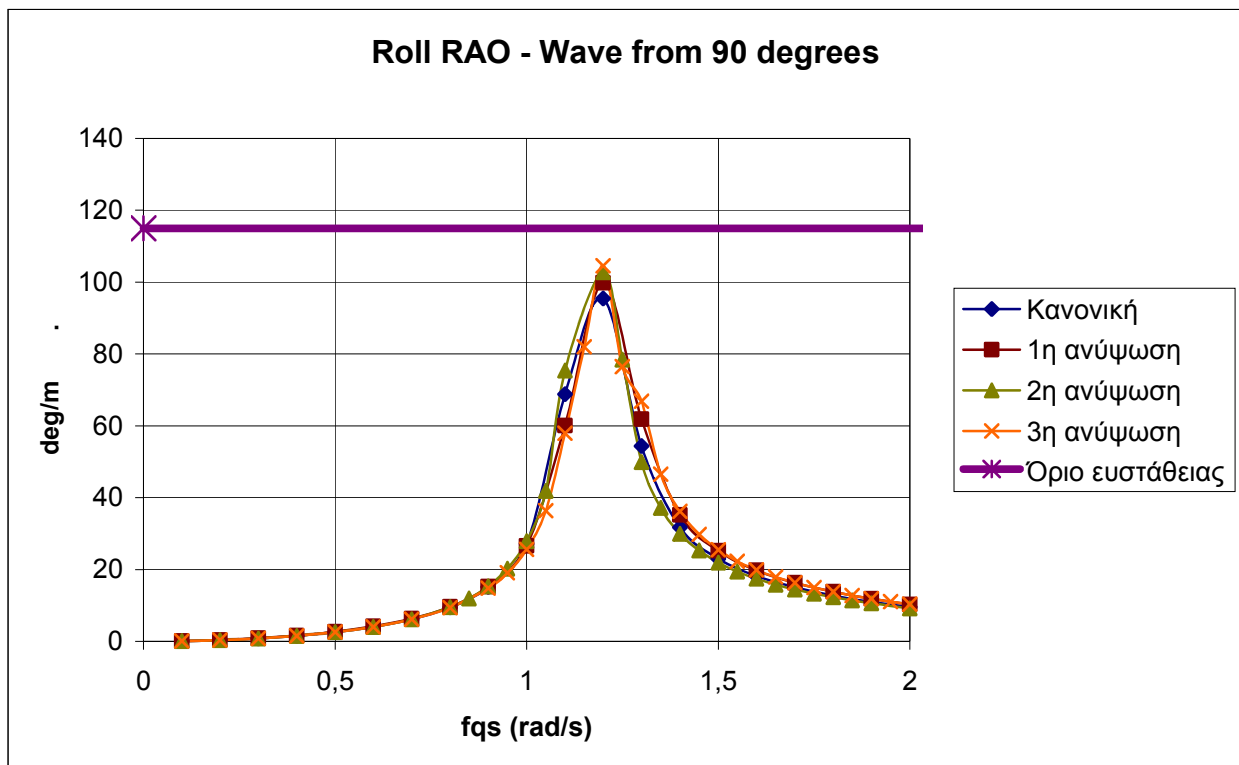


Σχήμα 36 : Roll Rao - Ταχύτητα 4 kn

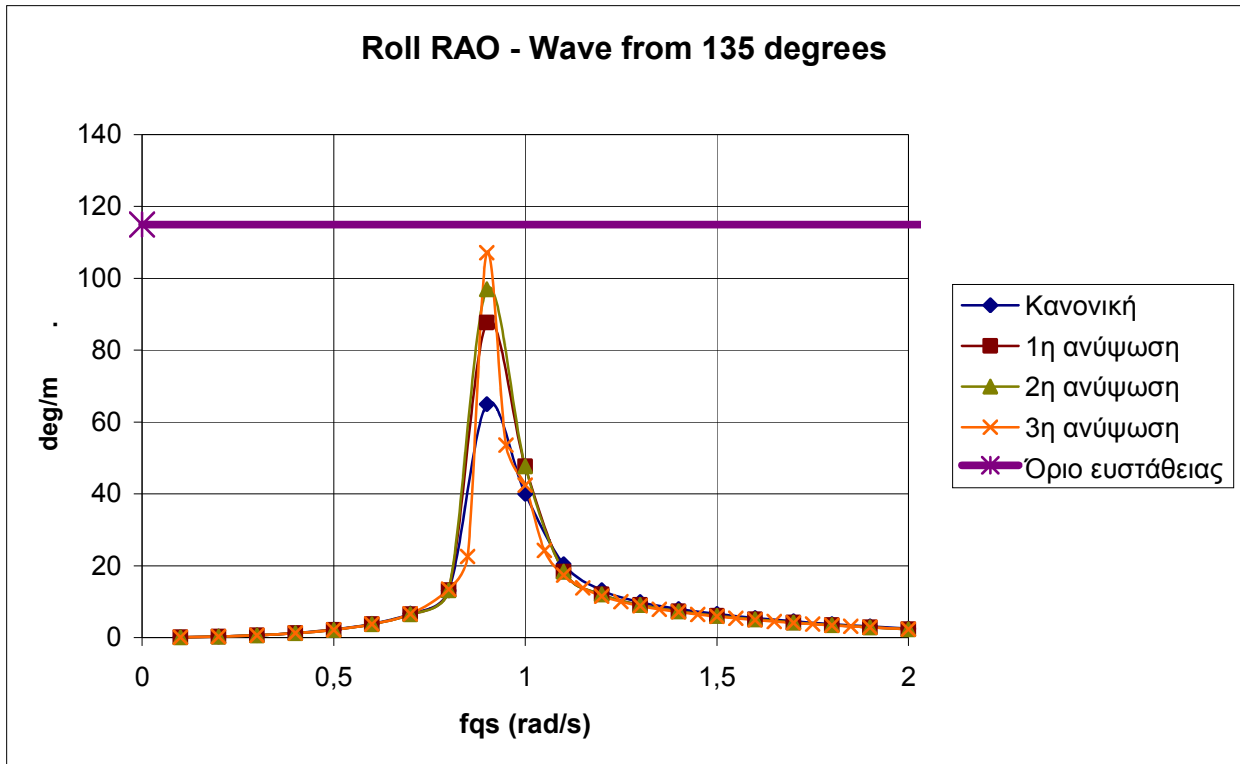
Για ταχύτητα 7 κόμβων



Σχήμα 37 : Roll Rao - Ταχύτητα 7 kn

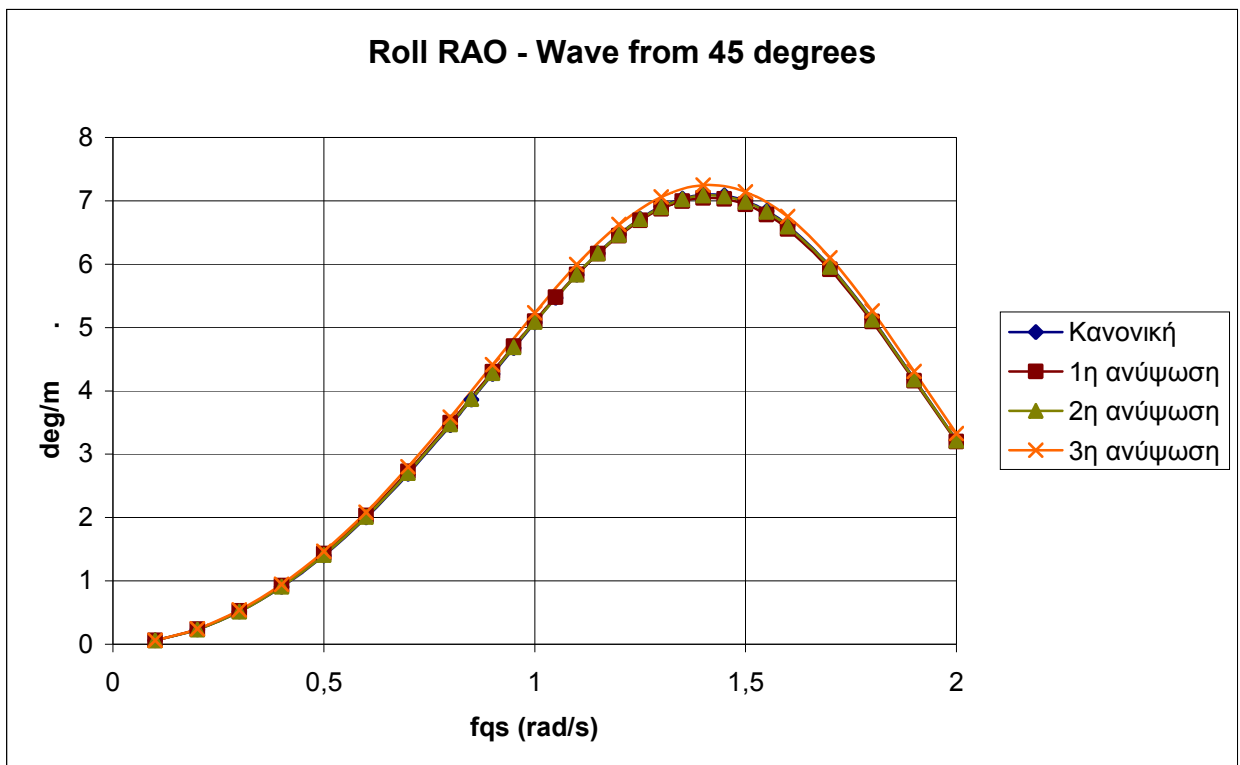


Σχήμα 38 : Roll Rao - Ταχύτητα 7 kn

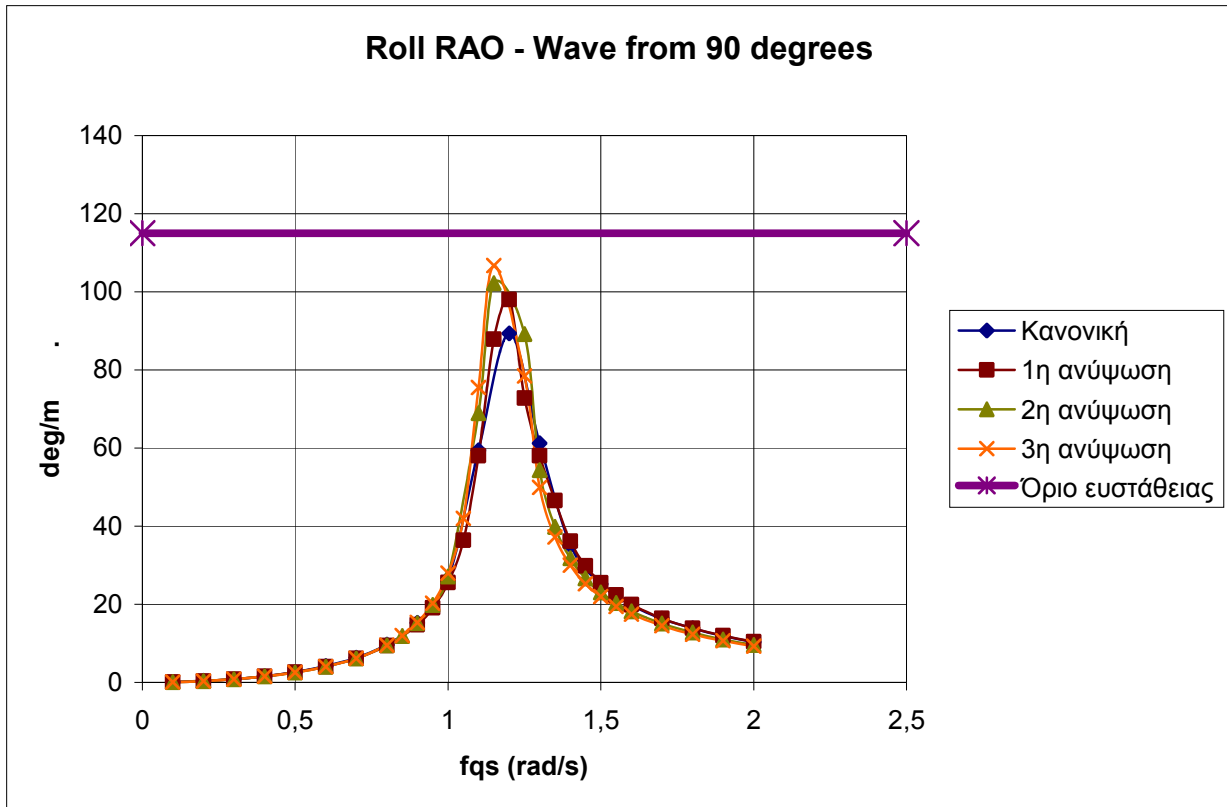


Σχήμα 39 : Roll Rao - Ταχύτητα 7 kn

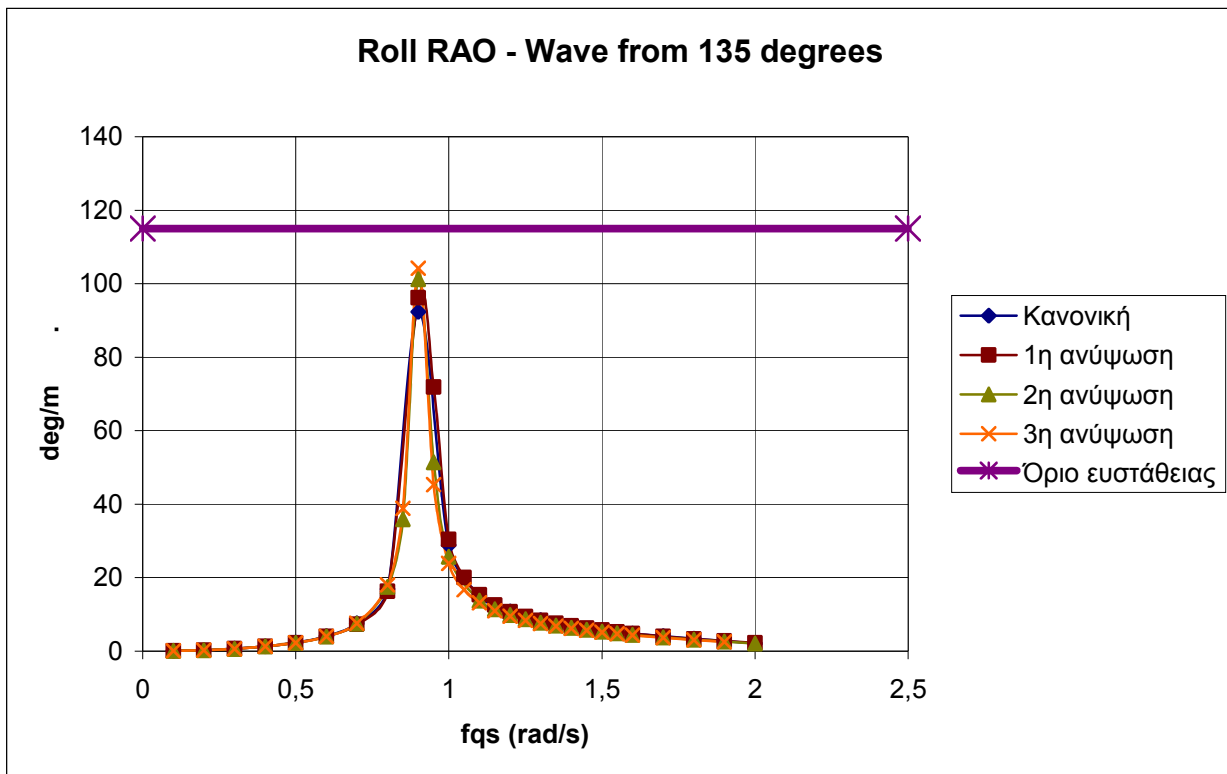
Για ταχύτητα 9 κόμβων



Σχήμα 40 : Roll Rao - Ταχύτητα 9 kn



Σχήμα 41 : Roll Rao - Ταχύτητα 9 kn



Σχήμα 42 : Roll Rao - Ταχύτητα 9 kn

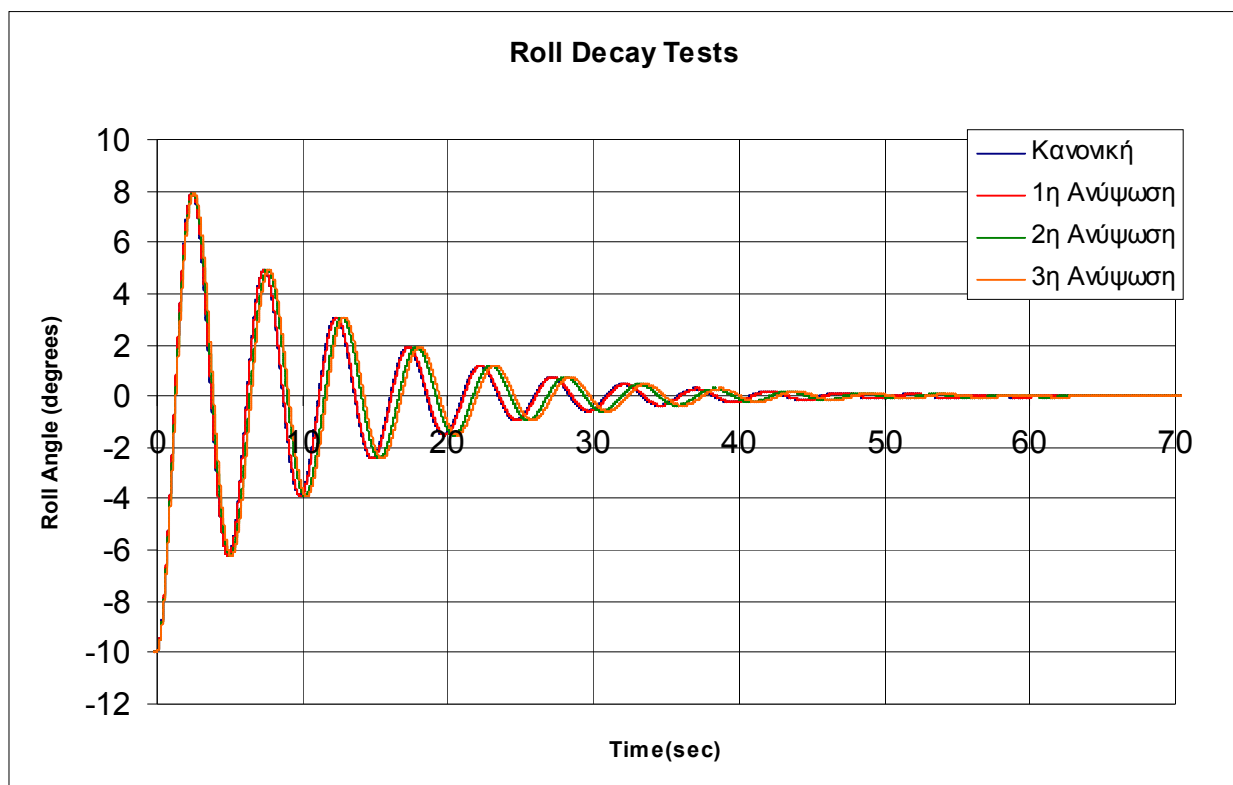
Στον διατοιχισμό το ιστιοπλοϊκό όπως ήταν αναμενόμενο, δείχνει να λαμβάνει ιδιαίτερα μεγάλες γωνίες στην περιοχή του συντονισμού. Η μικρότερη επιφάνεια της καρίνας επιφέρει απώλεια προσφερόμενης απόσβεσης και με κάθε ανύψωσή της τα Roll RAO αυξάνονται με μέγιστη διαφορά ως και 40° μεταξύ των ακραίων περιπτώσεων. Έτσι η τρίτη ανύψωση της καρίνας είναι απαγορευτική στη σύνολο των περιπτώσεων καθώς η απόκρισή της στον διατοιχισμό ξεπερνά ή αγγίζει την γωνία μόνιμης ανατροπής όπως υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 3 (Σχήματα 34,35,36). Ενώ στις χαμηλές ταχύτητες οι διαφορές είναι μεγάλες (Σχήματα 31-36), στις υψηλότερες (7 και 9 κόμβους) οι αποκρίσεις στον διατοιχισμό δείχνουν να συγκλίνουν και να μειώνονται με κορυφαία την περίπτωση των κυματισμών από κατεύθυνση 45° (following-quartering seas) όπου από τις 100° για 0 κόμβους, πέφτουν στις 7° για τους 9 κόμβους (Σχήματα 37,40) με τα όρια της περιοχής των επικίνδυνων κυματισμών να περιορίζονται σε κατευθύνσεις μεγαλύτερες των 45° . Υπενθυμίζουμε ότι στους υπολογισμούς που έγιναν δεν συμπεριλήφθηκε η επίδραση της συνεκτικότητας, που σημαίνει ότι τα εξαγόμενα RAO αναμένεται να είχαν χαμηλότερες τιμές.

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία εναλλακτική προσέγγιση των κινήσεων του σκάφους υπό την δράση προσπίπτωντων κυματισμών με το λογισμικό Seakeeper – Maxsurf που βασίζει τους υπολογισμούς του στην Θεωρία Λωρίδων. Πρωτού εξαχθούν τα RAO γίνεται προσομοίωση Decay Test.

5.2 Decay Tests

Ας υποθέσουμε πως το ιστιοπλοϊκό δέχεται πλάγιο κύμα και εκτελεί ελεύθερη ταλάντωση (διατοιχισμό). Ο διατοιχισμός εξασθενεί αφού δεν υπάρχει συνεχής δύναμη διέγερσης στο σύστημα. Η απόσβεση αυτή οφείλεται στο ότι το πλοίο μέσω του διατοιχισμού διαχέει την ενέργεια που δέχτηκε από το εξωτερικό αίτιο, στο περιβάλλον ρευστό, μέσω επιδράσεων συνεκτικότητας και του συστήματος κυματισμών που δημιουργεί κατά την ταλάντωση. Ο αδιάστατος συντελεστής απόσβεσης ορίστηκε ίσος με 0,075. Οι γάστρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτές που έχουν ήδη σχηματιστεί για τις διάφορες καρίνες(περιγραφή διαδικασίας στο κεφάλαιο 6). Για τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις η καμπύλες των decay test παρουσίασαν ελάχιστη διαφορά όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 1 : Decay Tests

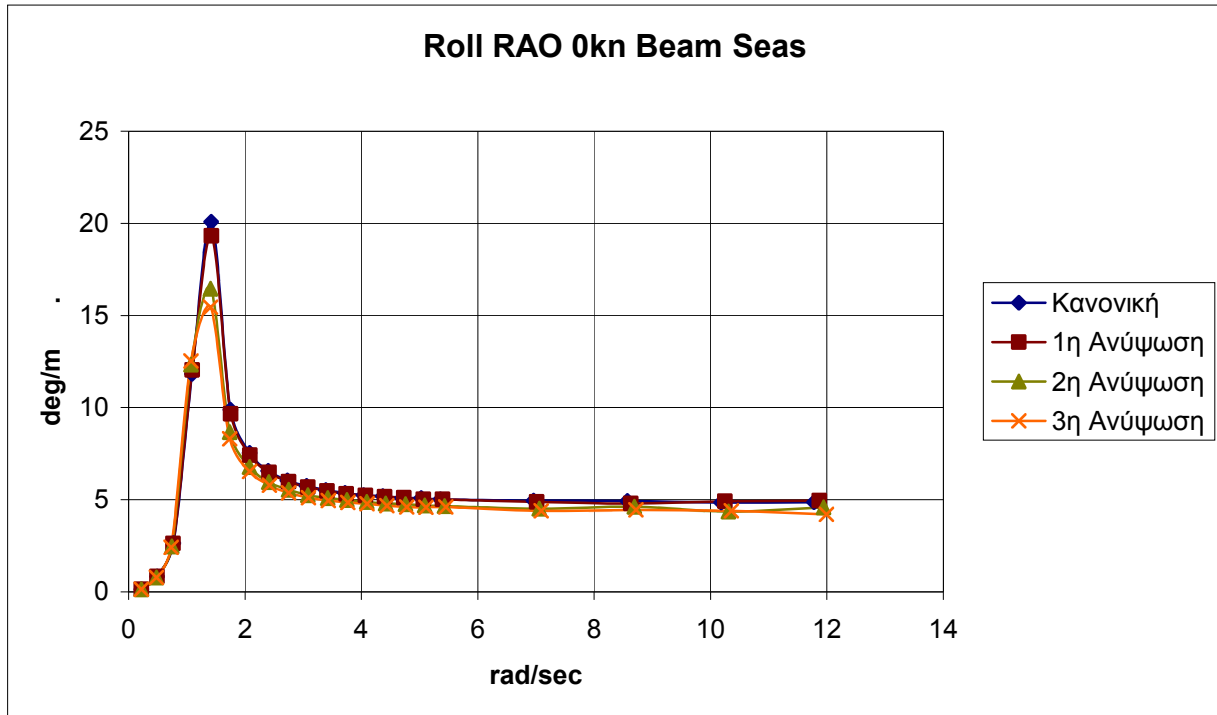
Από τα αποτελέσματα βρίσκουμε τις ακόλουθες ιδιοπεριόδους

Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
To	4.944	4.960	5.114	5.167

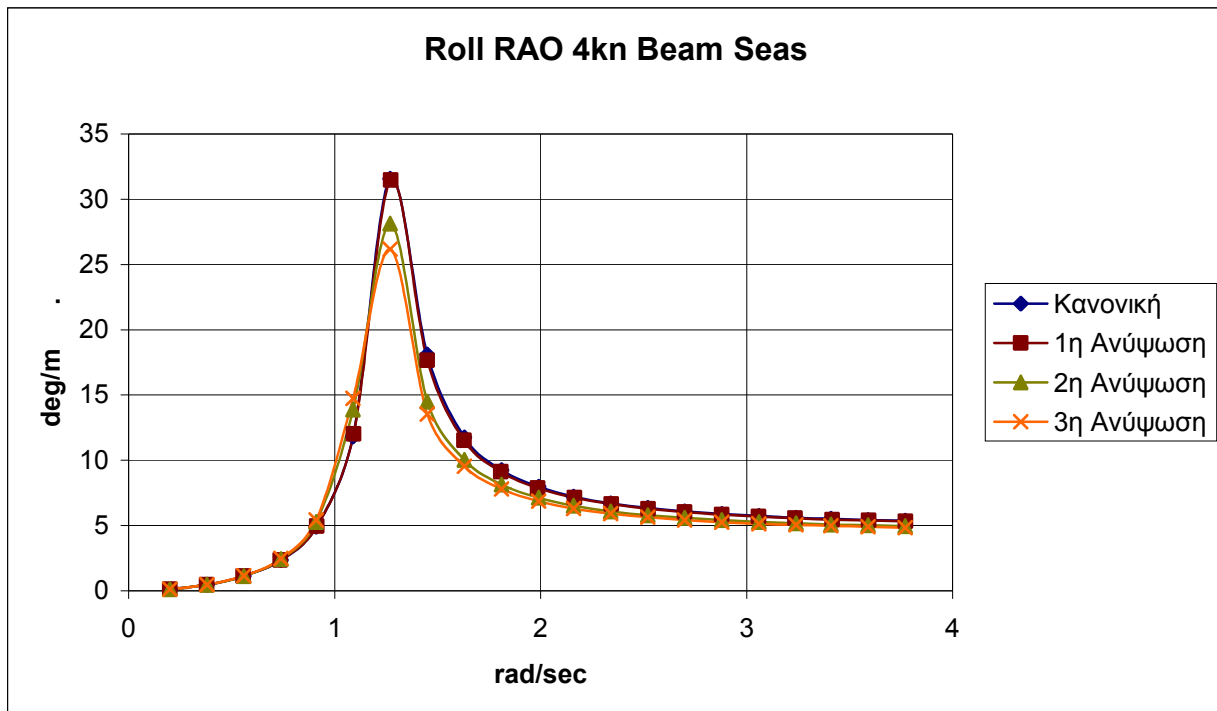
Η μεταβολή τους οφείλεται στην αλλαγή του GM καθώς το κέντρο βάρους ανεβαίνει.

5.3 Μελέτη Διατοιγισμού.

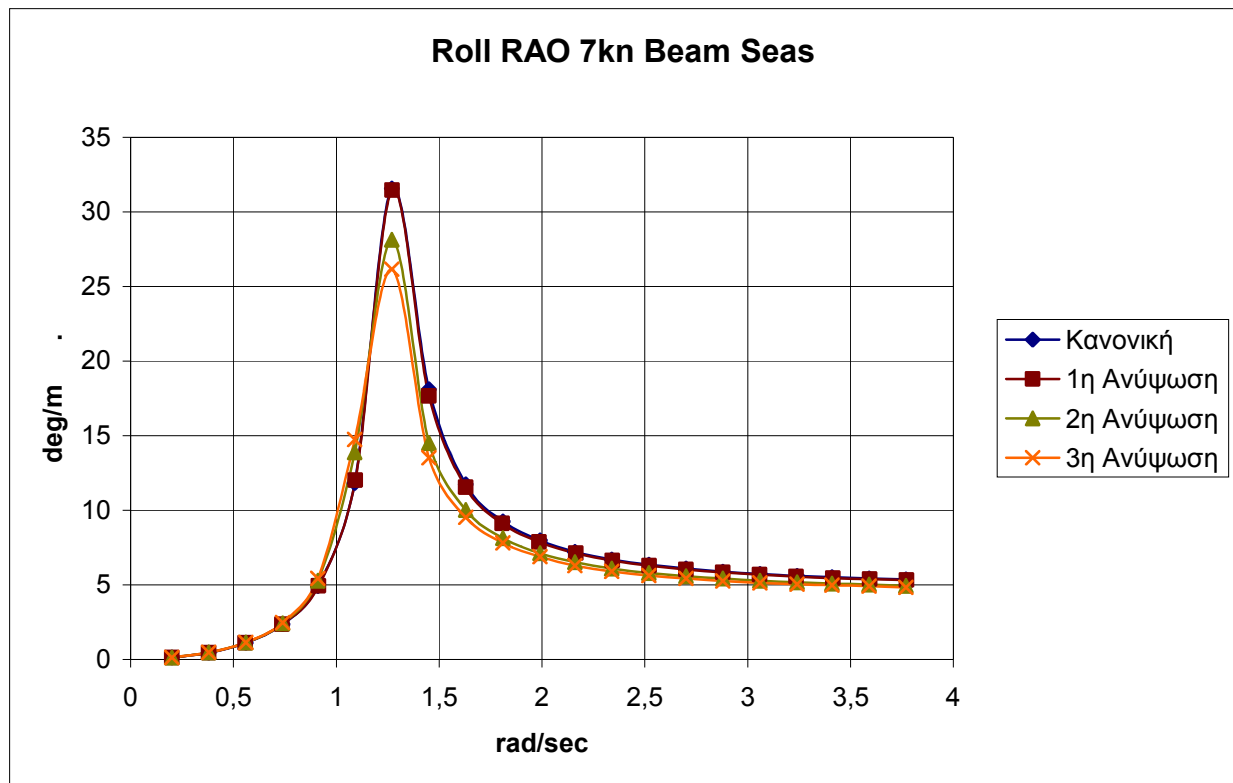
Παρατείνονται τα διαγράμματα για πλάγιους κυματισμούς και ταχύτητα γάστρας 0, 4 και 7 kn.



Σχήμα 2 : Roll Rao για ταχύτητα 0 κόμβων

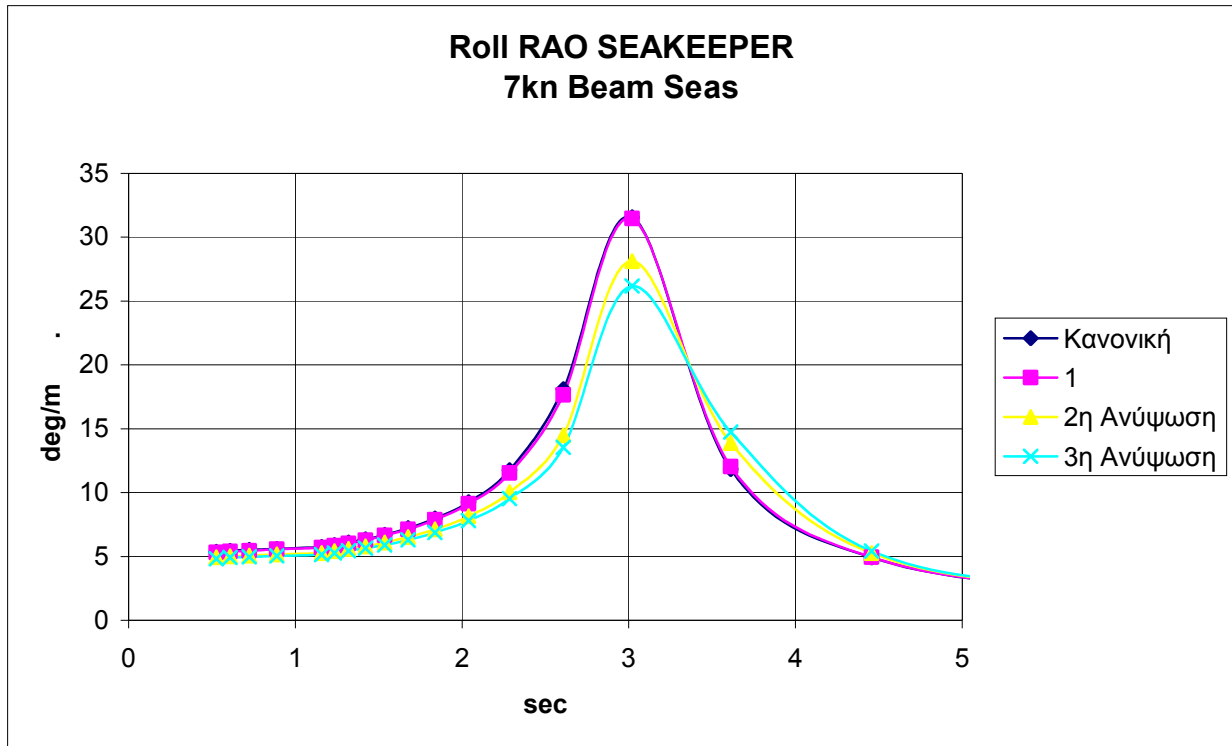


Σχήμα 3 : Roll Rao για ταχύτητα 4 κόμβων

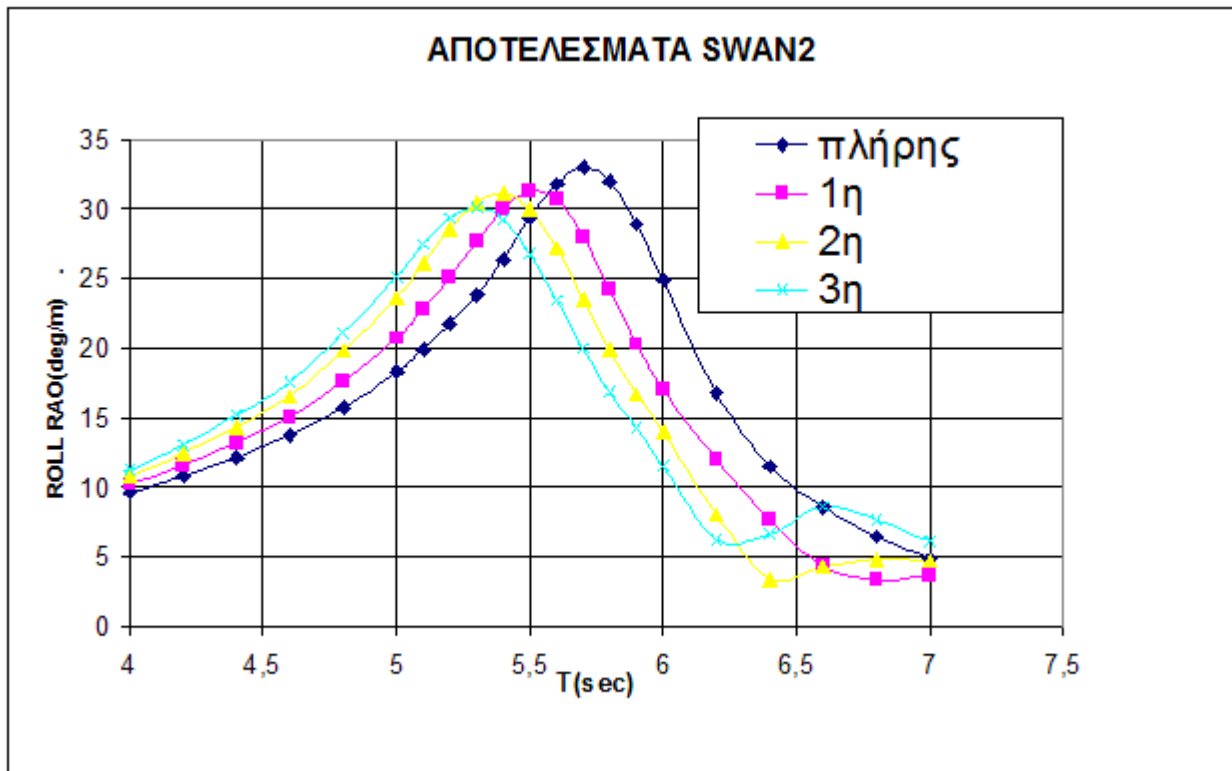


Σχήμα 4 : Roll Rao για ταχύτητα 7 κόμβων

Το ενδιαφέρον συμπέρασμα που προκύπτει από τα RAO που υπολογίζει το Maxsurf είναι ότι παρουσιάζει την ίδια τάση αποτελεσμάτων με το SWAN(Σχήματα 5,6).

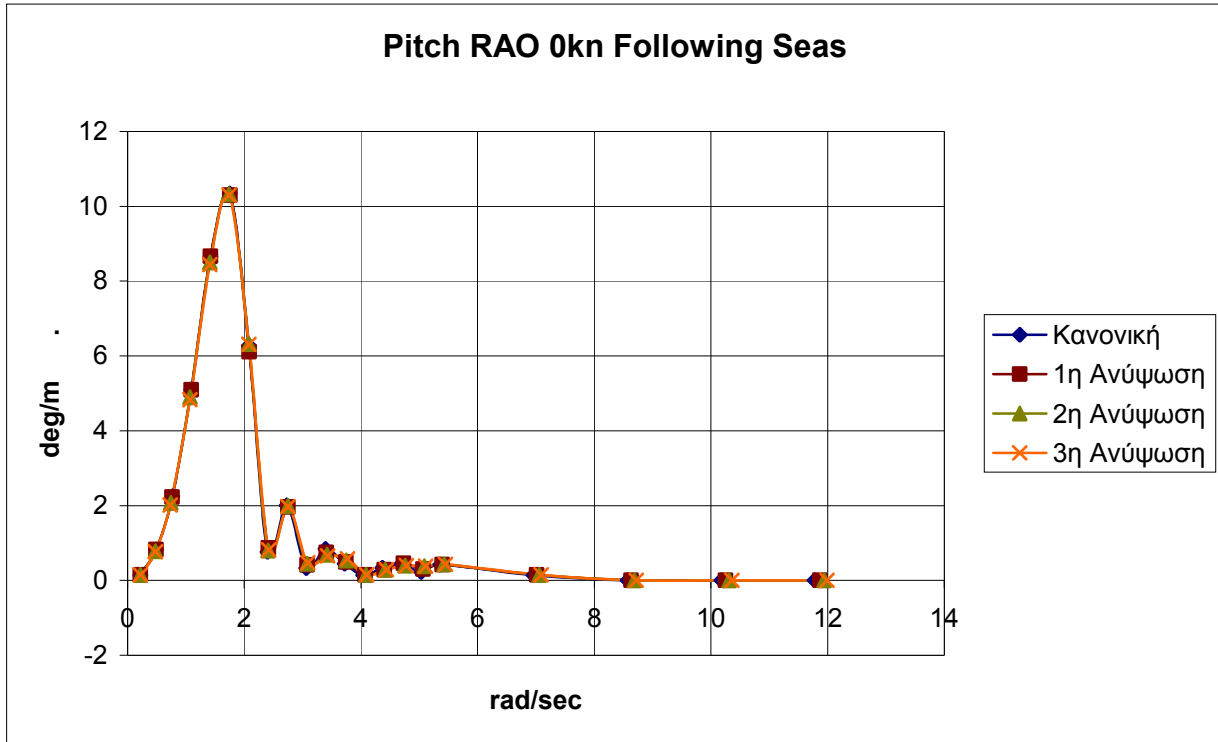


Σχήμα 5 : Roll Rao για ταχύτητα 7 κόμβων από το Seakeeper του Maxsurf

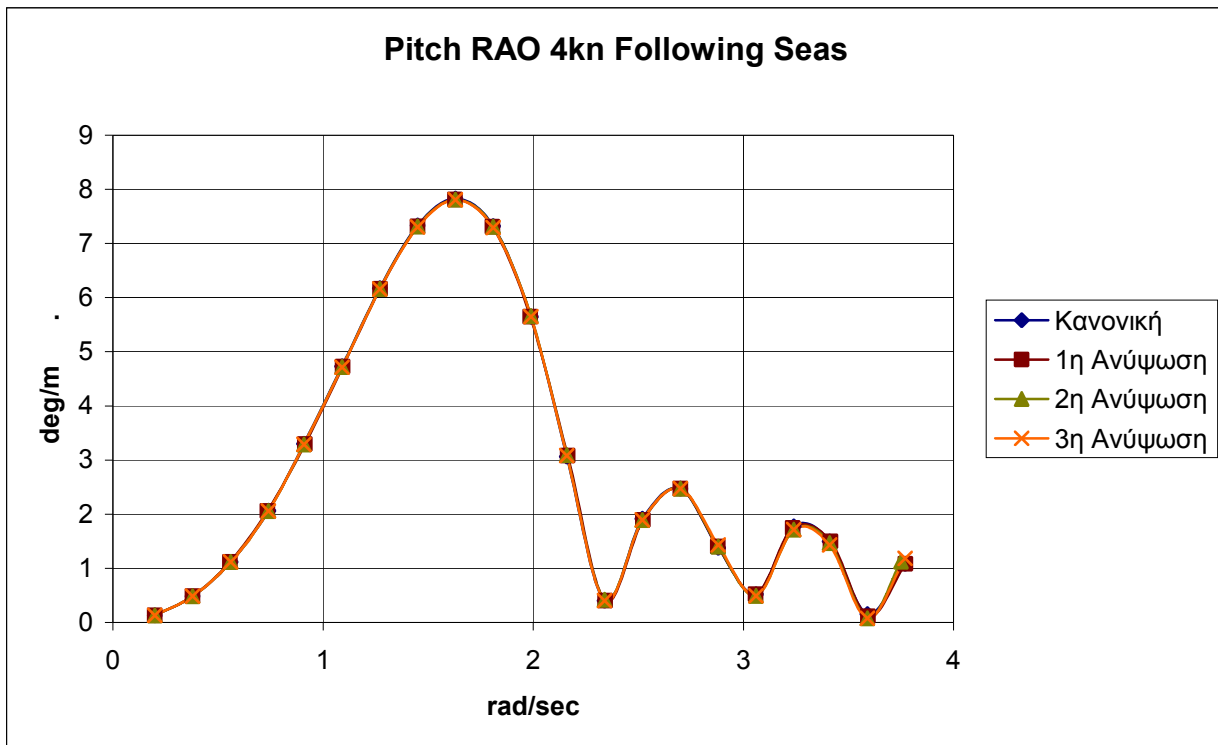


Σχήμα 6 : Roll Rao για ταχύτητα 7 κόμβων όπως υπολογίστηκαν από το SWAN

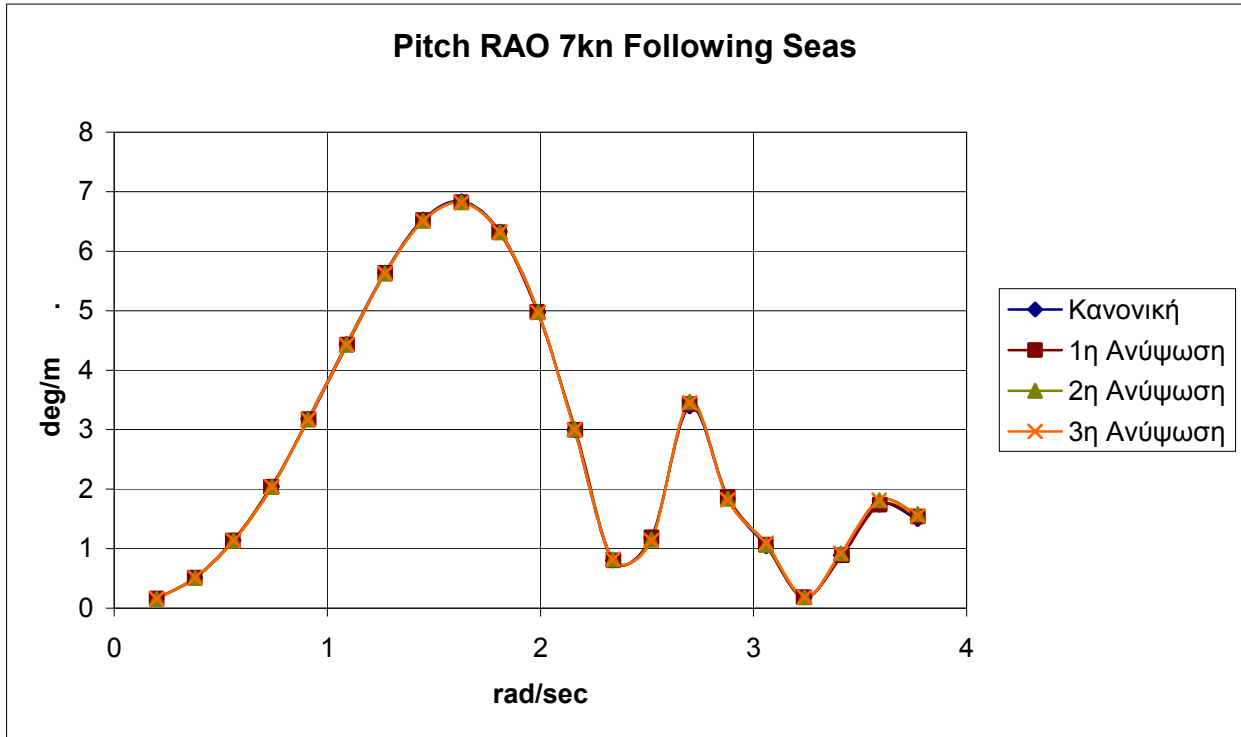
5.4 Μελέτη Προνευτασμού.



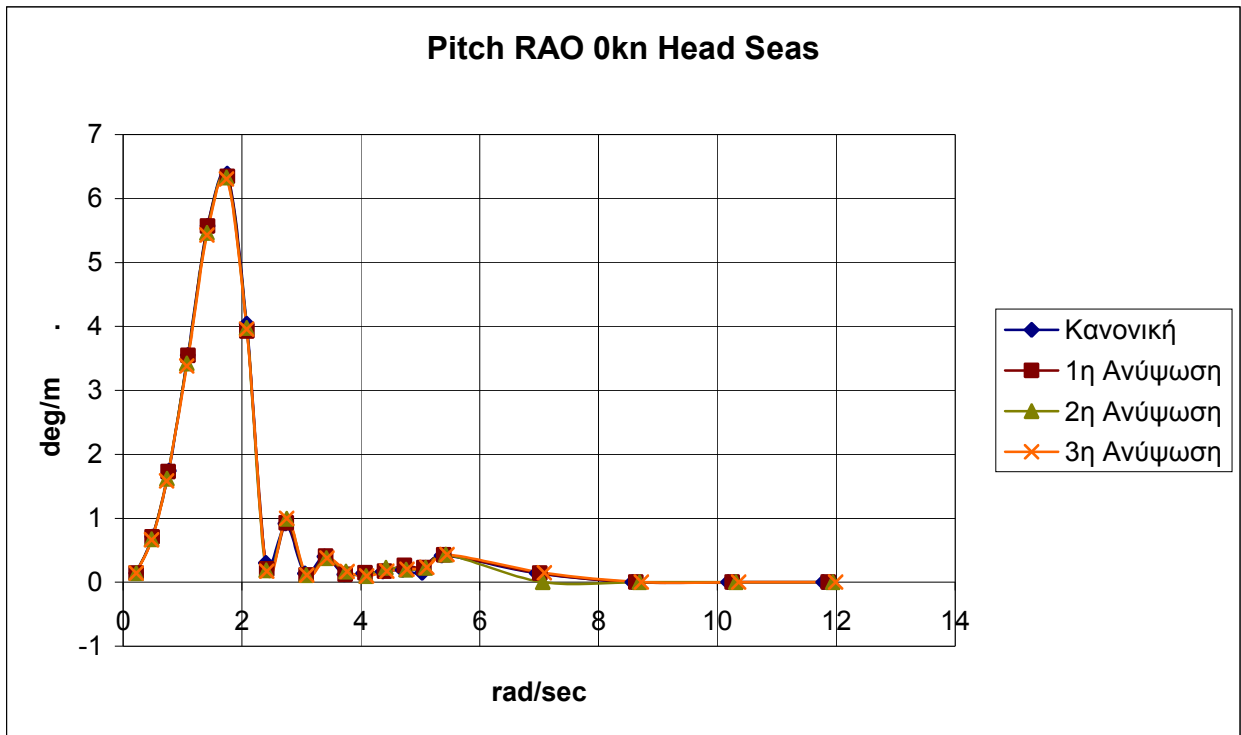
Σχήμα 7 : Pitch Rao για ταχύτητα 0 κόμβων



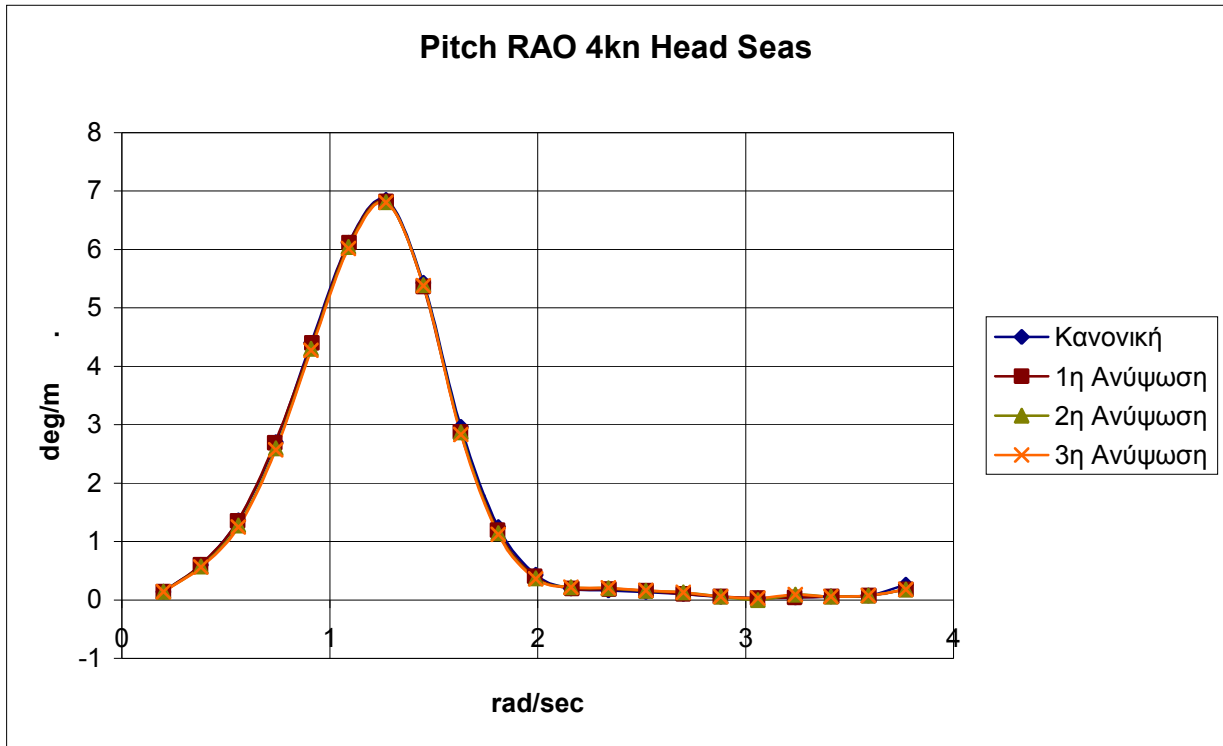
Σχήμα 8 : Pitch Rao για ταχύτητα 4 κόμβων



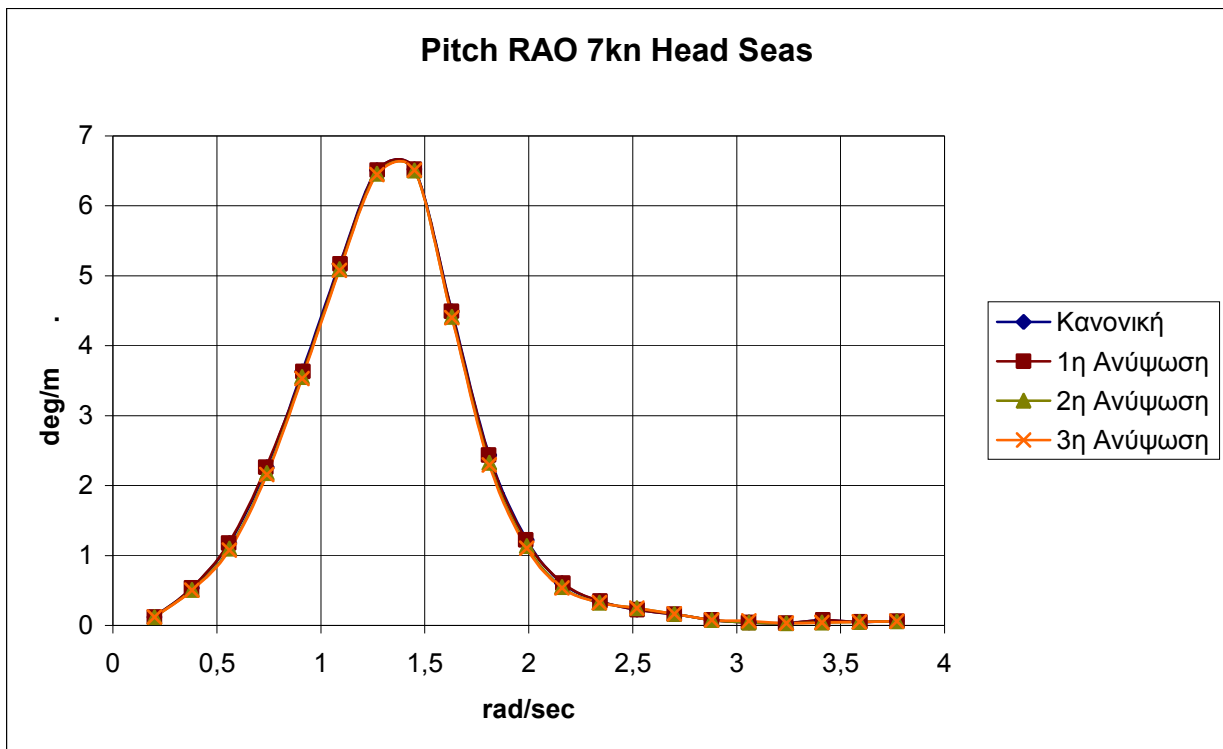
Σχήμα 9 : Pitch Rao για ταχύτητα 7 κόμβων



Σχήμα 10 : Pitch Rao για ταχύτητα 0 κόμβων

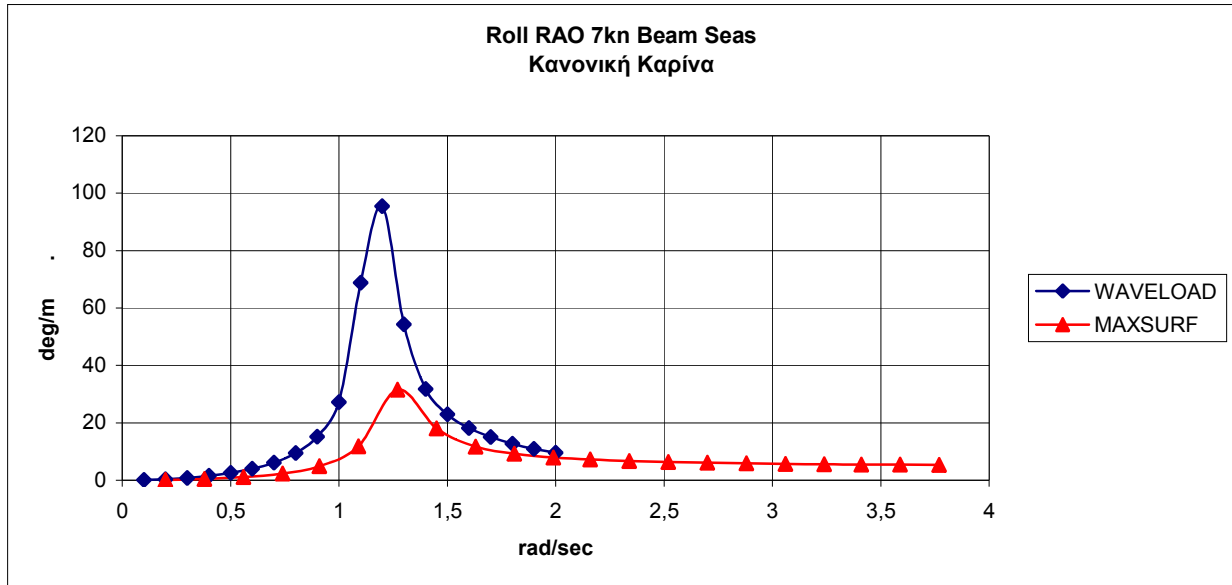


Σχήμα 11 : Pitch Rao για ταχύτητα 4 κόμβων

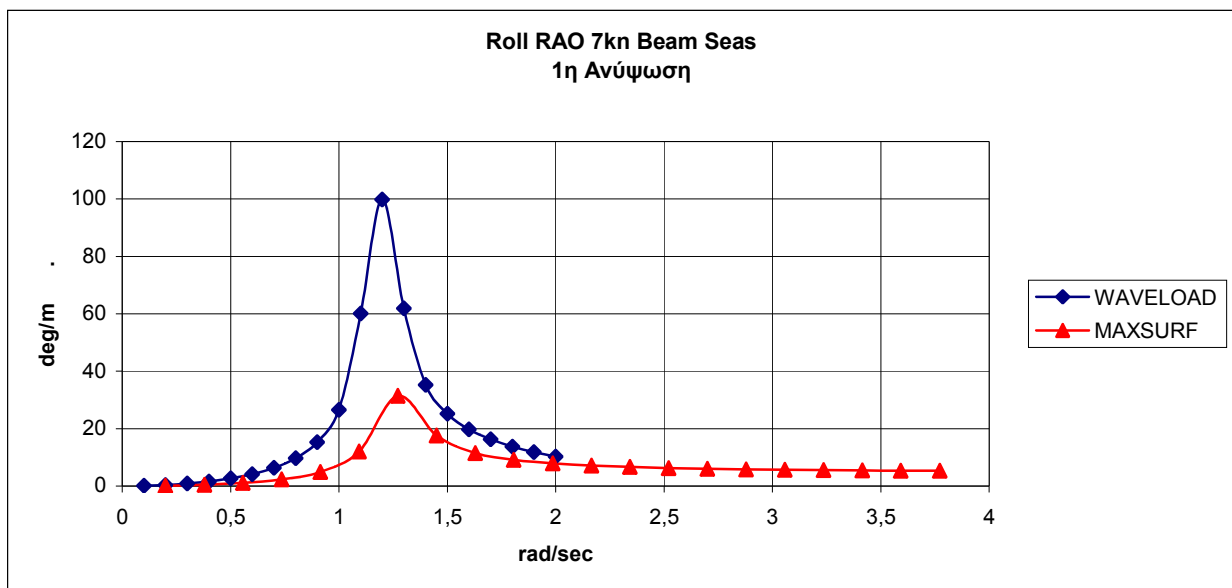


Σχήμα 12 : Pitch Rao για ταχύτητα 7 κόμβων

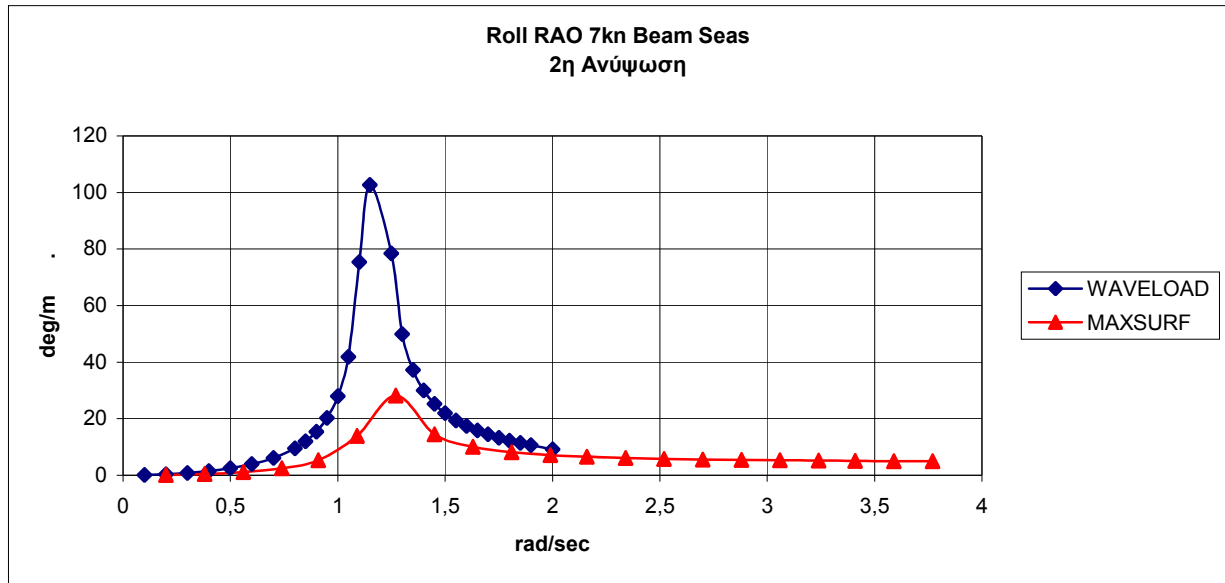
Ακολουθεί μία σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων του WAVELOAD και του SEAKEEPER. Οι καμπύλες παρουσιάζουν την ίδια τάση με τις εξαγόμενες από το WAVELOAD αλλά σε πολύ μικρότερη κλίμακα (σχήματα 13-16).



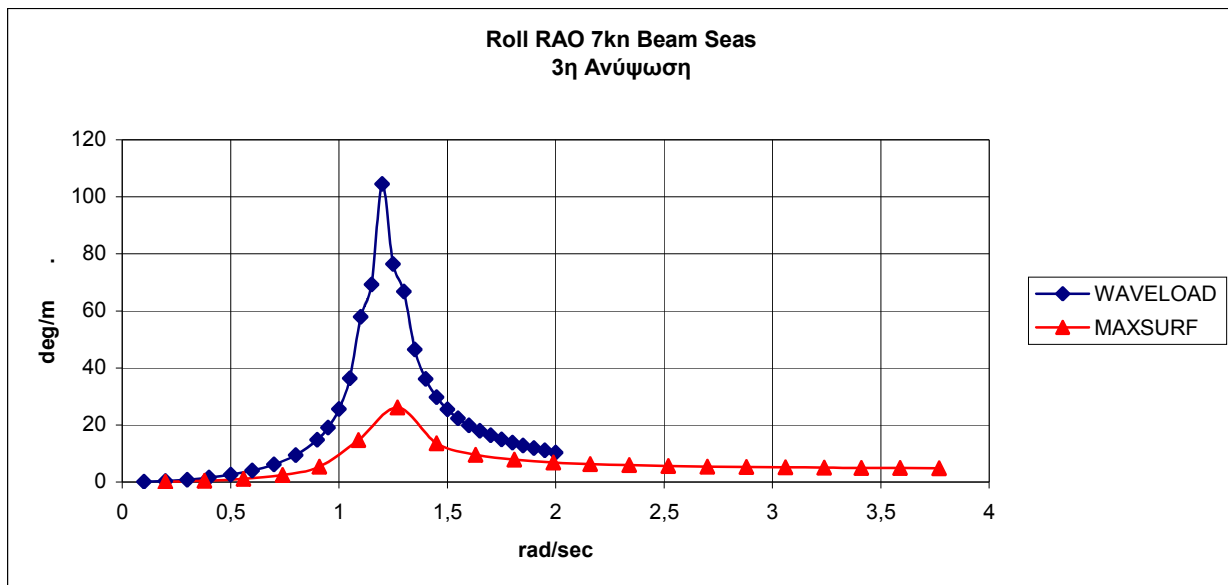
Σχήμα 13 : Σύγκριση Roll Rao μεταξύ WAVELOAD και MAXSURF



Σχήμα 14 : Σύγκριση Roll Rao μεταξύ WAVELOAD και MAXSURF



Σχήμα 15 : Σύγκριση Roll Rao μεταξύ WAVELOAD και MAXSURF



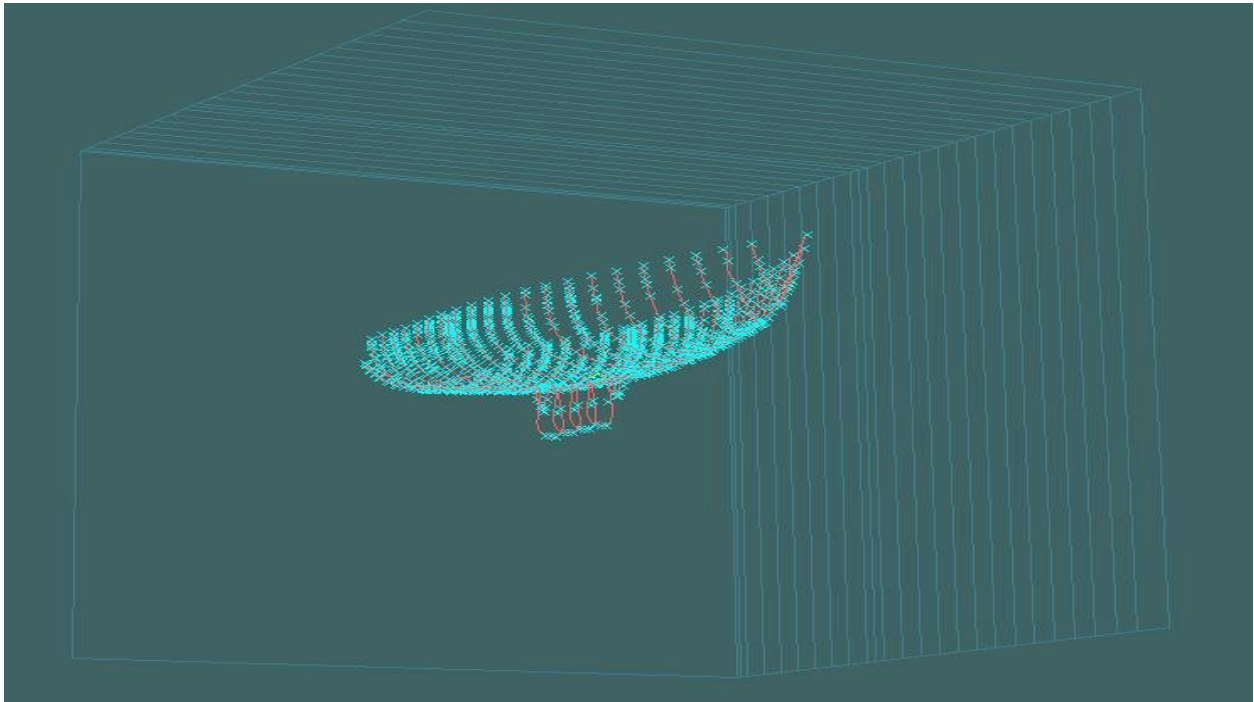
Σχήμα 16 : Σύγκριση Roll Rao μεταξύ WAVELOAD και MAXSURF

Τα αποτελέσματα του SEAKEEPER - MAXSURF φανερώνουν ότι δεν δείχνει να αντιλαμβάνεται την επίδραση της καρίνας στον διατοιχισμό, καθώς η απόκριση στην περιοχή του συντονισμού μειώνεται με τις μικρότερες καρίνες ενώ έχουμε τον ίδιο συντελεστή απόσβεσης (Σχήματα 2-4). Προφανώς υπάρχει πρόβλημα στην μοντελοποίηση της καρίνας αφού σε υπολογισμό των αποκρίσεων διατοιχισμού μόνο για το Canoe Body, ο κώδικας έδειξε αναμενόμενη συμπεριφορά, με τις μεγαλύτερες τιμές για τον αδιάστατο συντελεστή απόσβεσης να δίνουν τις μικρότερες αποκρίσεις. Επιπλέον η απόκριση στον προνευτασμό δεν παρουσιάζει καμία αλλαγή με τις διάφορες καρίνες (Σχήματα 7-12). Για αυτό τον λόγο τα αποτελέσματα δεν μπορούν να αποτελέσουν βάση για ασφαλή συμπεράσματα.

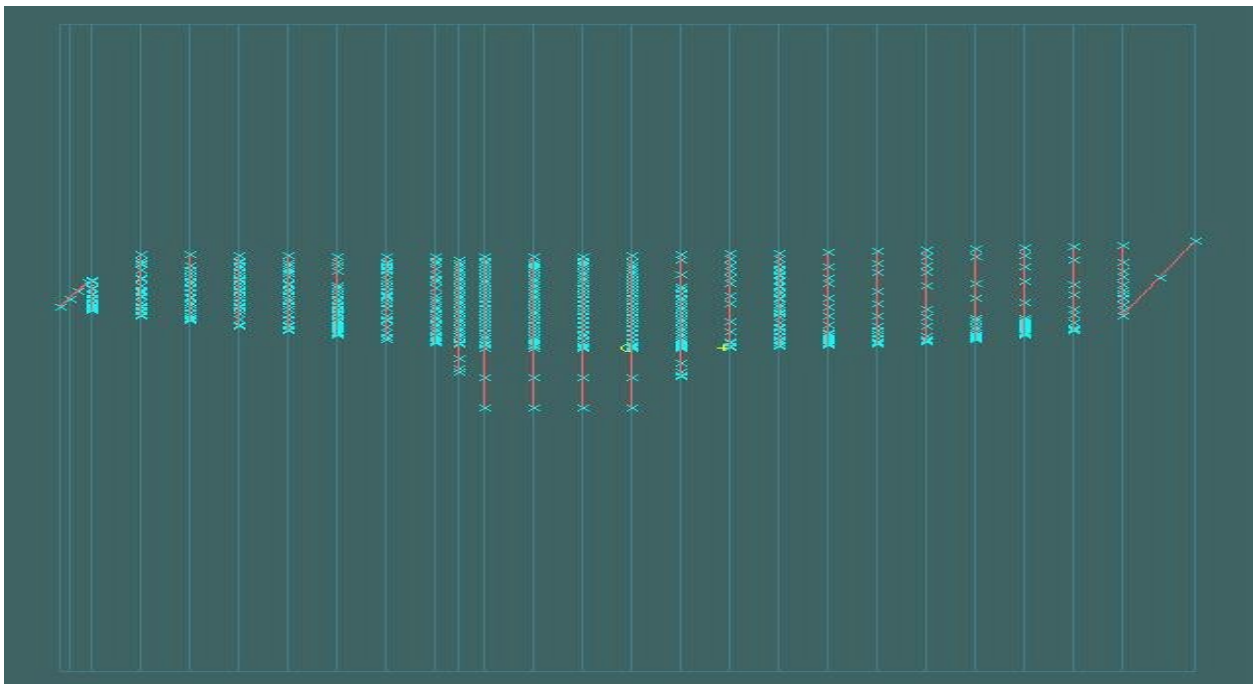
6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται υπολογισμός της αντίστασης του ιστιοπλοϊκού για τους διάφορους συνδυασμούς της καρίνας με την γάστρα.

Η μελέτη της αντίστασης του ιστιοπλοϊκού με τις διάφορες καρίνες θα γίνει μέσω του υπολογιστικού πακέτου MAXSURF. Αρχικά η γεωμετρία του σκάφους εισήχθη στην σουίτα PREFIT σε μορφή σημείων, τα οποία και παρεμβλήθηκαν με splines. (Σχήματα 1,2)

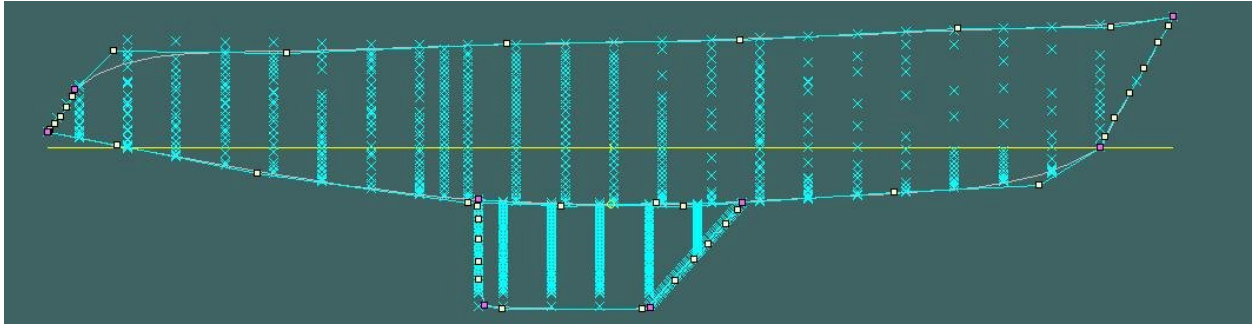


Σχήμα 1 : prefit – perspective view

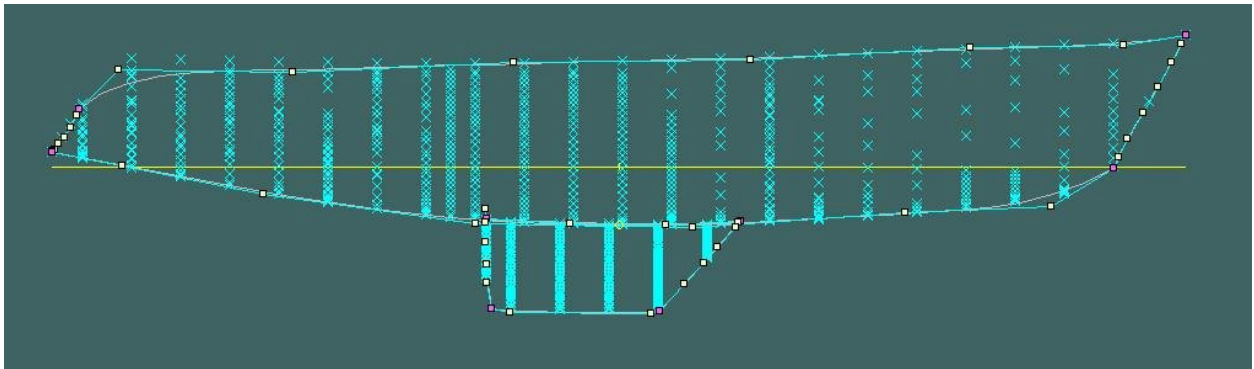


Σχήμα 2 : prefit – profile view

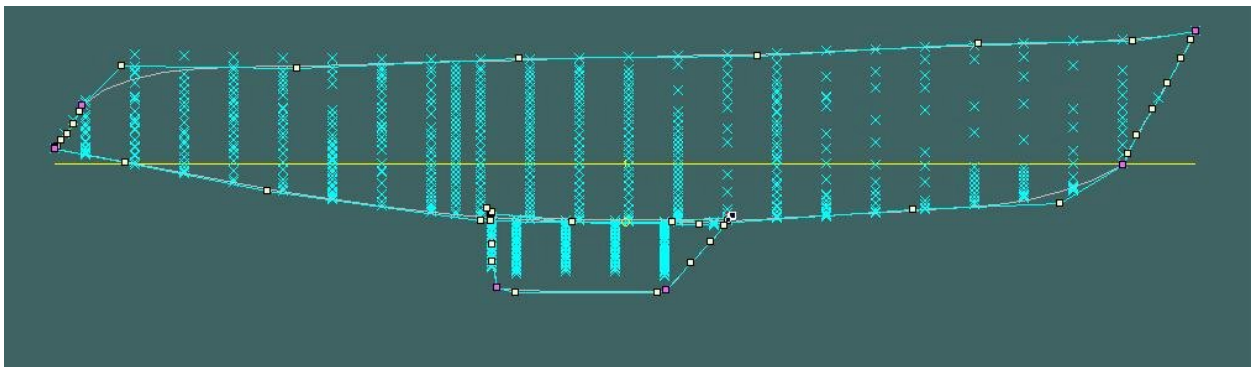
Οι splines αυτές με την σειρά τους αποτέλεσαν οδηγούς για δημιουργία επιφάνειας στο MAXSURF. Η επιφάνεια του canoe body παρέμεινε αναλλοίωτη, ενώ 4 διαφορετικές επιφάνειες δημιουργήθηκαν για τις διάφορες καρίνες. (Σχήματα 3-6)



Σχήμα 3 : maxsurf – πλήρης καρίνα



Σχήμα 4 : 1^η ανύψωση καρίνας

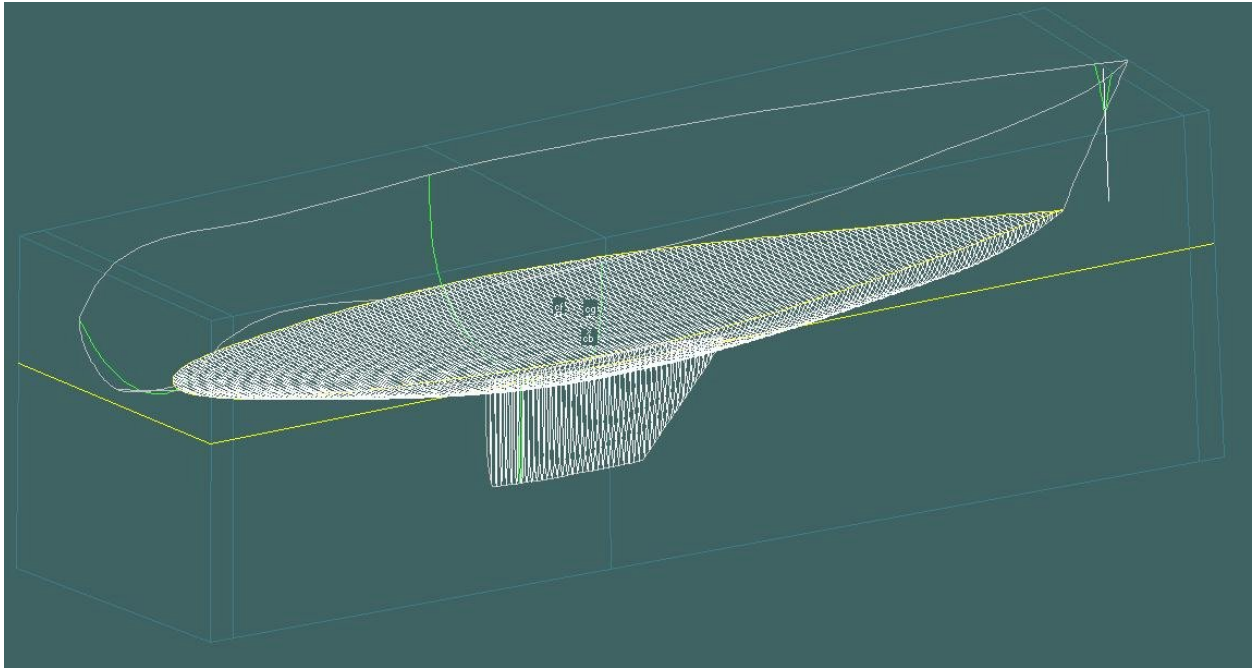


Σχήμα 5 : 2^η ανύψωση καρίνας



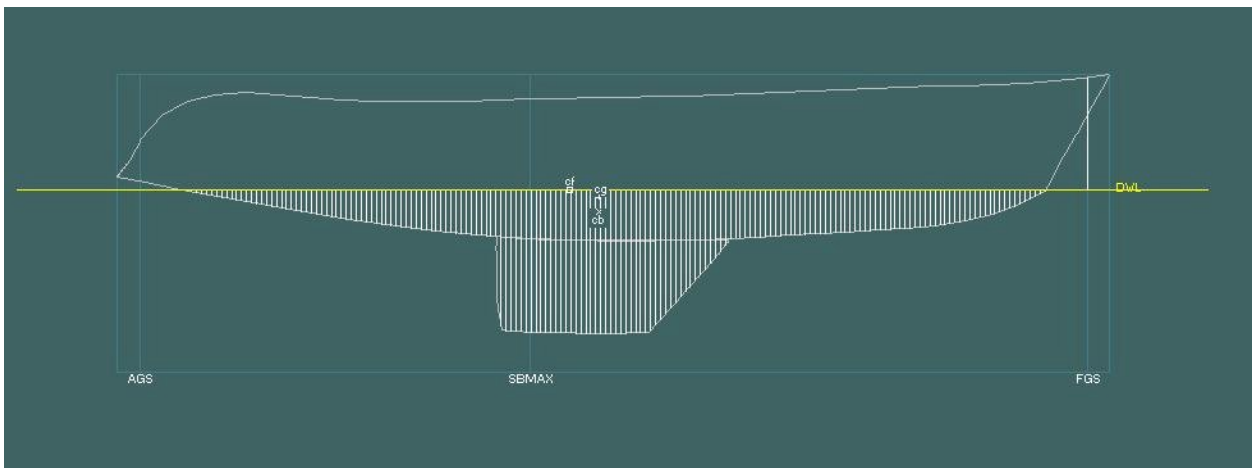
Σχήμα 6 : 3^η ανύψωση καρίνας

Η ένωση κάθε καρίνας με το canoe body αποτέλεσαν και τα εισαγόμενα αρχεία για την σουίτα SPAN - **S**ailing **P**erformance **A**nalysis(Σχήματα 7,8). Το SPAN είναι πρόγραμμα πρόβλεψης της απόδοσης ιστιοπλοϊκών σε διάφορες καταστάσεις ανέμου. Βασισμένο στους αλγόριθμους του Gerritsma [4 – 1992] το SPAN επιλύει τις εξισώσεις για την άντωση και αντίσταση της γάστρας και του συστήματος του ιστίου και καταλήγει σε μια βέλτιστη λύση ταχύτητας και εγκάρσιας κλίσης.



Σχήμα 7 : perspective view από το SPAN

Πέρα από την γεωμετρική πληροφορία τα λοιπά δεδομένα που απαιτεί το πρόγραμμα είναι η θέση του κέντρου βάρους καθώς και η ιστιοφορία. Τα πρώτα παραμένουν όπως δηλώθηκαν και στο WAVELOAD . Για την ιστιοφορία λήφθηκαν οι τιμές που αναγράφονται στην διπλωματική εργασία[1 – Μακρής] απ' όπου και αντλήθηκαν και οι γραμμές του σκάφους(Σχήμα 9).



Σχήμα 8 : profile view από το SPAN

Σχήμα 9 : Εισαγωγή Δεδομένων Ιστιοφορίας

Foresails:		Mast:		Mainsail:	
I	29,7 m	MDT1	0,116 m	P	27,045 m
J	8,6 m	MDL1	0,213 m	E	8,5 m
LP	8,2 m	MDT2	0,116 m	MGU	2,043 m
SPL	0 m	MDL2	0,152 m	MGM	4,2 m
SL	0 m	HBI	2,08 m	BAS	3,875 m
SMW	0 m	TL	0 m	<input type="checkbox"/> Full length battens	

όπου

I : Ύψος από το κατάστρωμα ως το ανώτερο σημείο πλωριού πανιού(τζένοα/φλόκος)

J : Οριζόντια απόσταση από το κατάρτι ως το ακρότερο σημείο του ίδιου πανιού

LP : Κάθετος του τριγώνου του ίδιου πανιού από το κατάρτι

SPL : Μήκος Σπινακόξυλου (οριζόντιος βραχίονας στήριξης μπαλονιού)

SL : Ύψος Μπαλονιού

SMW : Μέγιστο μήκος άνοιγματος μπαλονιού

MDT1, MDL1 , MDT2 , MDL2 : διαστάσεις καταρτιών

HBI : Κοίλο στην περιοχή του καταρτιού

TL : Μήκος λεπτότερου τμήματος του καταρτιού (αν υπάρχει)

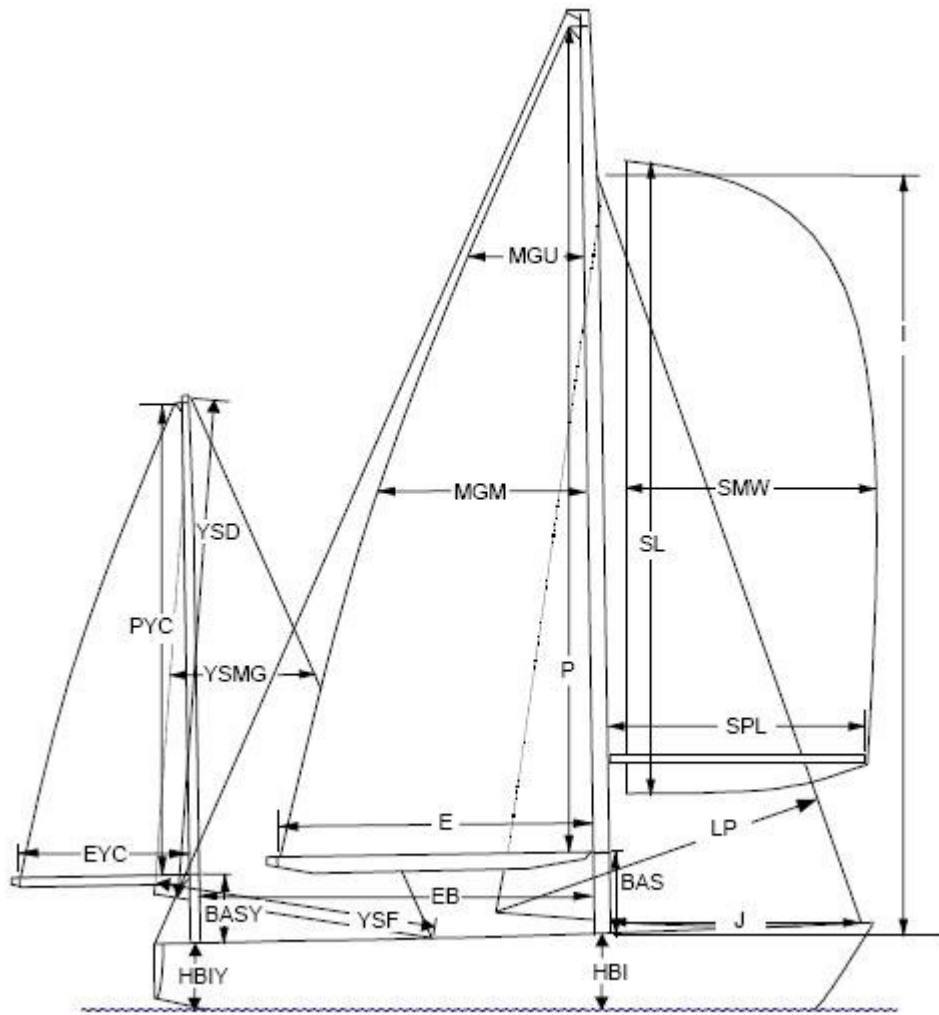
P : Μέγιστο ύψος κυρίως πανιού (μαϊστρας)

E: Μέγιστο μήκος κυρίως πανιού

MGU : Μήκος που αναφέρεται στην καμπυλότητα του κυρίως πανιού στο ανώτερο ύψος του .

MGM : Μήκος που αναφέρεται στην καμπυλότητα του κυρίως πανιού στο μέσο ύψος του.

BAS : Ύψος οριζόντιου βραχίονα (μάτσα) κυρίως πανιού από το κοίλο.



Σχήμα 10 : Επεξήγηση Όρων Ιστιοφορίας

Η επιφάνεια της ιστιοφορίας διατηρήθηκε σταθερή για όλους τους υπολογισμούς. Στον επίδρομο του υπό μελέτη σκάφους δεν υφίσταται πανί .

Σύμφωνα με τον Gerritsma [4 – 1992] η ολική αντίσταση ενός ιστιοπλοϊκού σε ήρεμο νερό συνίσταται από 3 όρους

$$R_{\varphi} = R_T + R_i + R_H \quad (6.1)$$

όπου

- R_T - η αντίσταση όρθιας θέσης (με μηδενική γωνία πλευρικής απόκλισης)
 R_i - η επαγόμενη αντίσταση λόγω της επίδρασης της πλευρικής δύναμης στα παρελκόμενα της γάστρας
 R_H - η αντίσταση λόγω εγκάρσιας κλίσης.

6.2 Αντίσταση όρθιας θέσης (Upright Resistance).

Η αντίσταση όρθιας θέσης αποτελείται από την αντίσταση λόγω τριβής R_F και την υπόλοιπη αντίσταση R_R . Η αντίσταση λόγω τριβής υπολογίζεται μέσω της σχέσης της ITTC

$$C_F = \frac{0.075}{(\text{LOG}R_n - 2)^2}, \quad R_n = \frac{VL}{\nu} \quad (6.2)$$

όπου

- L το μήκος στον αριθμό Reynolds R_n , είναι $L = 0.7L_{WL}$ για τη γάστρα, και η μέση χορδή για την καρίνα
 ν η κινηματική συνεκτικότητα, ίση με $1.19 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ για θαλασσινό νερό θερμοκρασίας 15 βαθμών Κελσίου.
 V η ταχύτητα σε m/sec

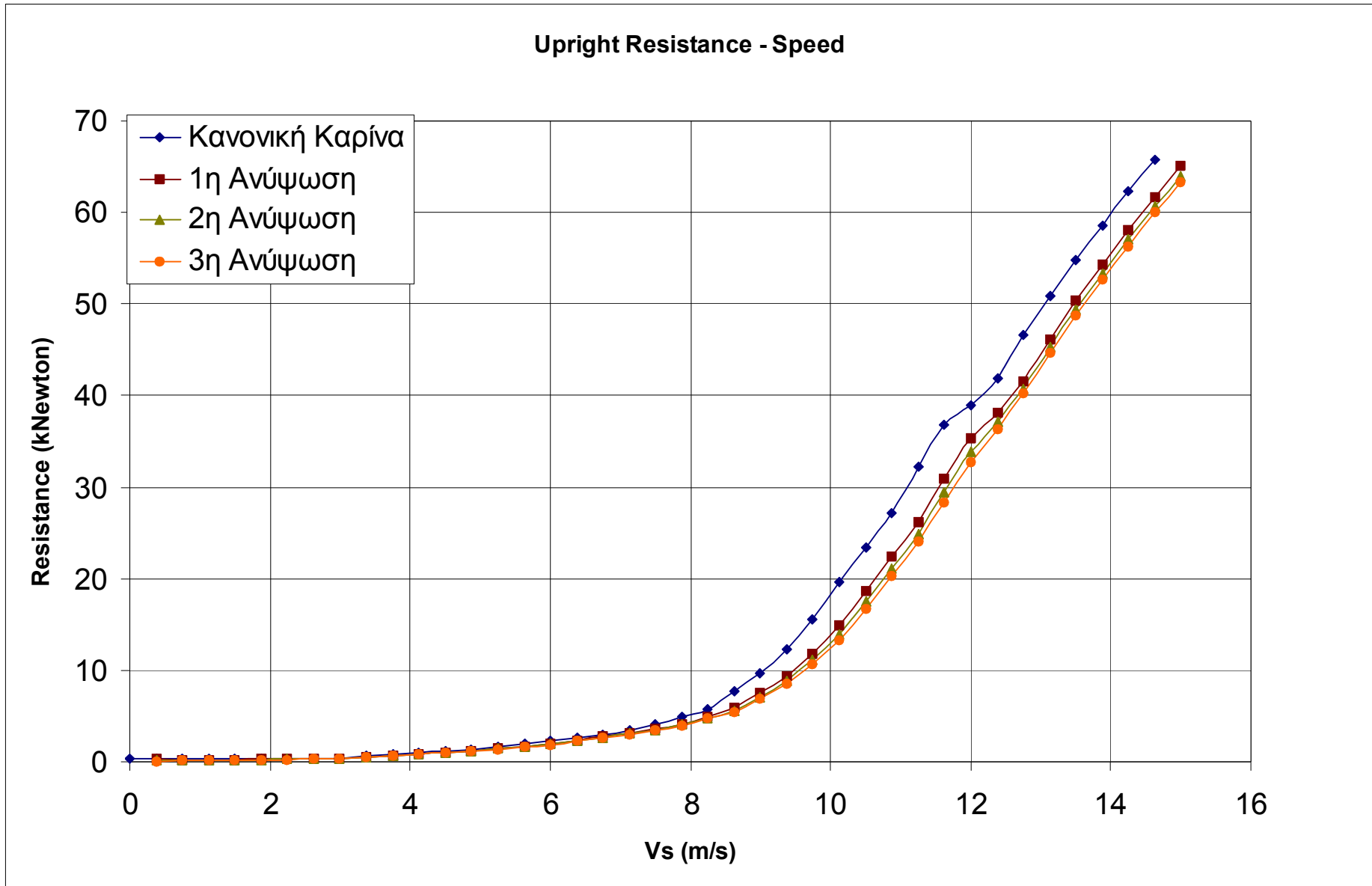
Η αντίσταση τριβής υπολογίζεται από την σχέση

$$R_F = 0.5\rho V^2(S_c * C_{Fc} + S_k * C_{Fk} + S_r * C_{Fr}) \quad (6.3)$$

όπου οι δείκτες c , k και r αναφέρονται στο canoe body, στη καρίνα και στο πηδάλιο αντίστοιχα. Επειδή στη συγκεκριμένη μελέτη εξετάζεται μόνο η επίδραση της καρίνας οι όροι του πηδαλίου παραλείπονται από το πρόγραμμα. Η επιφάνεια και η μέση χορδή για κάθε καρίνα βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Θέση Καρίνας	Κανονική	1 ^η Ανύψωση	2 ^η Ανύψωση	3 ^η Ανύψωση
Επιφάνεια S(m ²)	14.7	11.15	8.7	6.1
Μέση χορδή c(m)	3.65	3.56	3.34	3.18

Αρχικά παρουσιάζεται η αντίσταση όρθιας θέσης όπως αυτή υπολογίζεται από το SPAN σε διάγραμμα, από 0 μέχρι 15 κόμβους, ταχύτητας γάστρας. Η σχετική θέση των καμπυλών ήταν αναμενόμενη καθώς η μικρότερη καρίνα σημαίνει και μικρότερη επιφάνεια απέναντι στην προσπίπτουσα ροή(Σχήμα 11).



Σχήμα 11 : Αντίσταση Όρθιας Θέσης

6.3 Επαγόμενη Αντίσταση (Induced Resistance).

Η επαγόμενη αντίσταση είναι αποτέλεσμα της γωνίας πλευρικής απόκλισης. Καθώς το ιστιοπλοϊκό κινείται ελαφρά προς τα πλάγια, τότε αναπτύσσεται ροή γύρω από την καρίνα, από την περιοχή των υψηλότερων πιέσεων (υπήνεμη) προς αυτή των χαμηλότερων πιέσεων (προσήνεμη). Η ροή αυτή ακολουθεί κατηφορική κίνηση στην υπήνεμη πλευρά όσο πλησιάζει προς το ακροπερύγιο της καρίνας ενώ είναι οριζόντια στην ρίζα της. Η αντίθετη τάση εμφανίζεται στην προσήνεμη πλευρά. Ενώ στην βάση η ροή είναι πάλι οριζόντια, στην άκρη της καρίνας ακολουθεί ανηφορική διεύθυνση. Οι δύο ροές αυτές αφού διασχίσουν την καρίνα συναντιώνται στο χείλος εκφυγής της. Οι διαφορά κατεύθυνσης που έχουν επάγει στρόβιλους, με τον πιο έντονο να βρίσκεται στο ύψος του ακροπερυγίου. Όλοι οι στρόβιλοι καταλήγουν να ενώνονται σε ένα, πρύμνηθεν του ιστιοπλοϊκού. Ο στρόβιλος αυτός γίνεται εμφανής σε μεγάλες γωνίες εγκάρσιας κλίσης, καθώς πλησιάζοντας την επιφάνεια αέρας αναρροφάται στον πυρήνα του. Καθώς ο στρόβιλος περιέχει περιστροφική ενέργεια, επιφέρει αύξηση στην ολική αντίσταση με την μορφή μιας συνιστώσας της, της λεγόμενης επαγόμενης αντίστασης. Επειδή με κάθε ανύψωση της καρίνας ο στρόβιλος αυτός πλησιάζει την γάστρα του σκάφους, σε πραγματικές συνθήκες εδώ θα ήταν αναμενόμενη μια μικρή αύξηση της επαγόμενης αντίστασης.

Η προσέγγιση του SPAN βασίζεται στα εξής

Ο συντελεστής επαγόμενης αντίστασης για μία ανωστική επιφάνεια με λόγω επιμήκους AR_E δίδεται από την σχέση

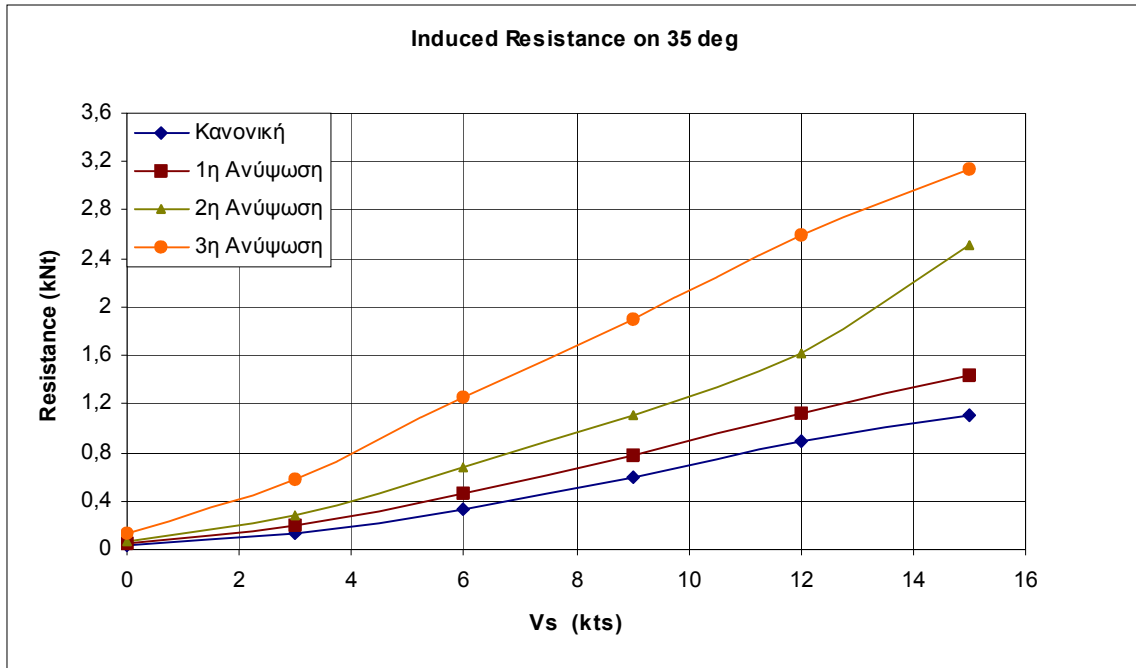
$$C_{Di} = \frac{C_L^2}{\pi * AR_E} \quad (6.4)$$

σε αντιστοιχία για το συνδυασμό γάστρας και καρίνας η επαγόμενη αντίσταση που προκύπτει από την πλευρική δύναμη F_H μπορεί να γραφτεί ως

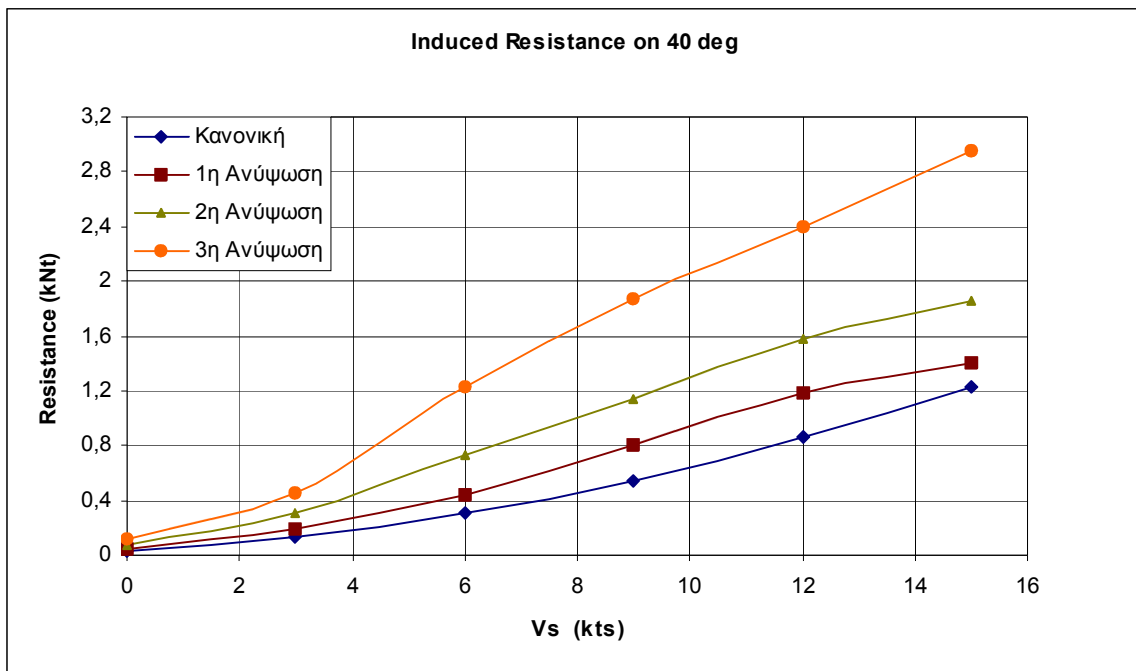
$$R_i = \frac{1}{\pi * AR_E} * \frac{F_H^2}{qS_C}, \quad (6.5)$$

όπου $q = 0.5\rho V^2$, και AR_E ο ενεργός λόγος επιμήκους. Όσο μικραίνει ο λόγος επιμήκους της καρίνας AR_E , η επαγόμενη αντίσταση αυξάνει.

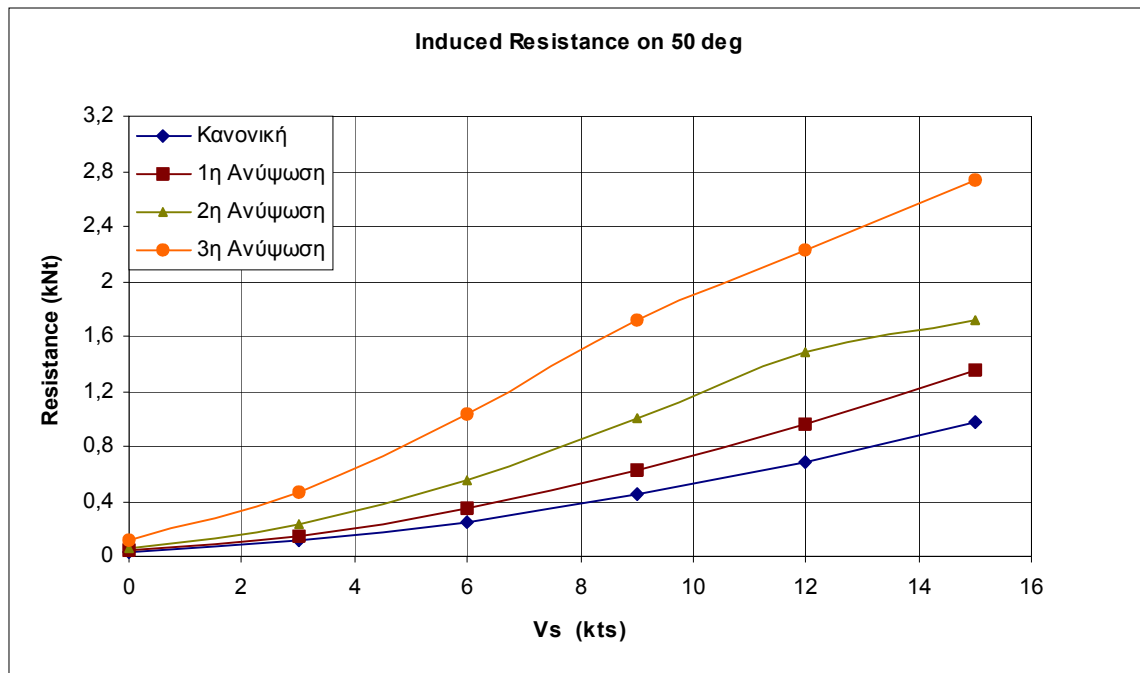
Στα διαγράμματα απεικονίζεται η επαγόμενη αντίσταση που αναπτύσσει η καρίνα του ιστιοπλοϊκού για γωνίες κίνησης προς τον άνεμο από 35° ως και 110° (Σχήματα 12-20).



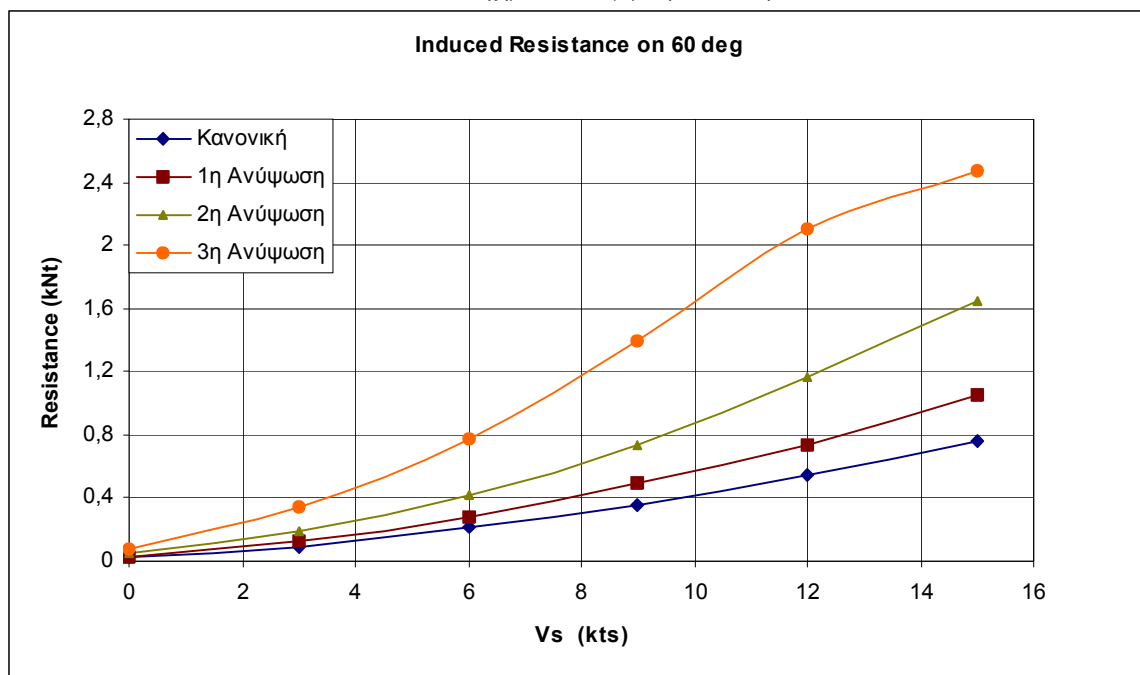
Σχήμα 12 : Επαγόμενη Αντίσταση



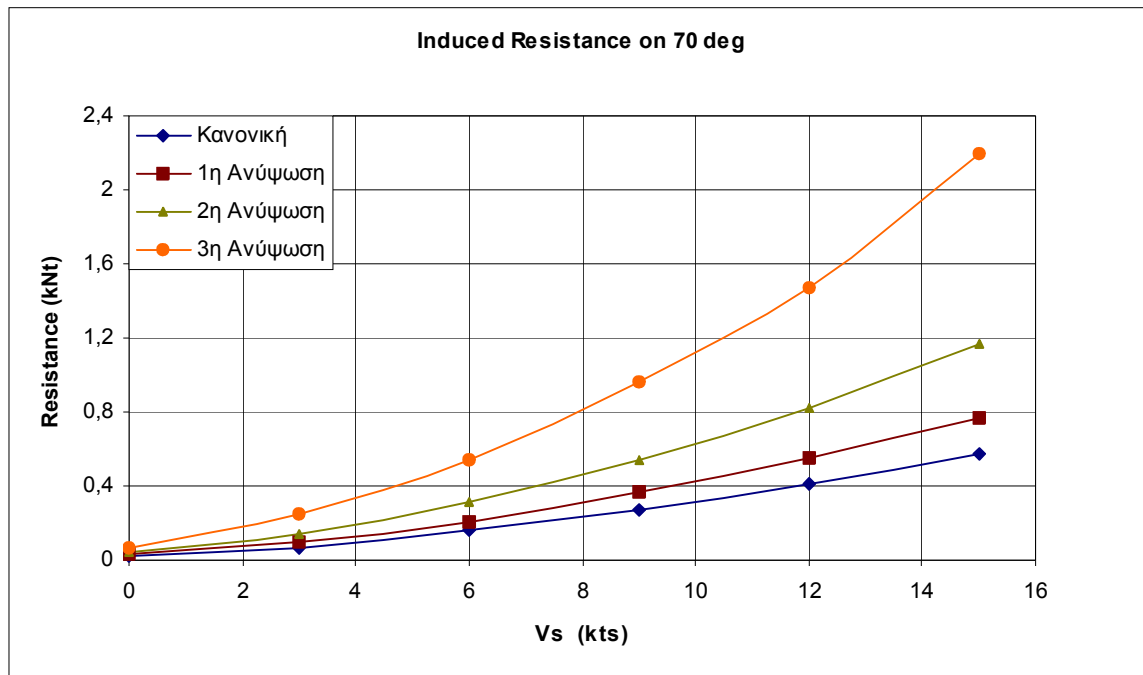
Σχήμα 13 : Επαγόμενη Αντίσταση



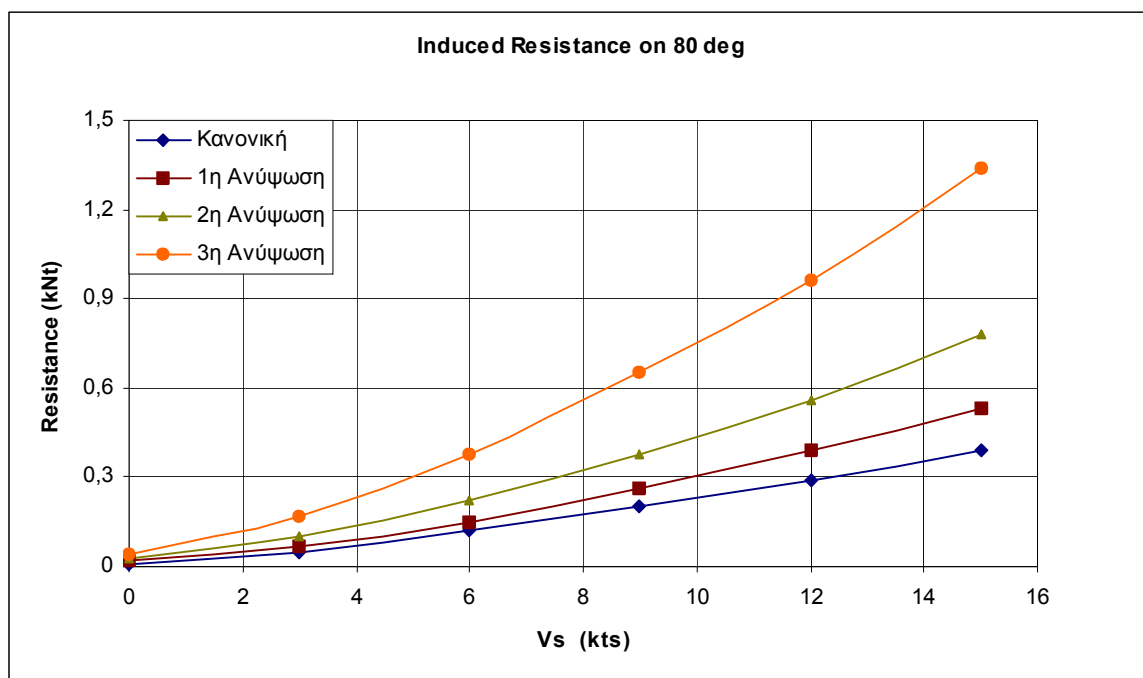
Σχήμα 14 : Επαγόμενη Αντίσταση



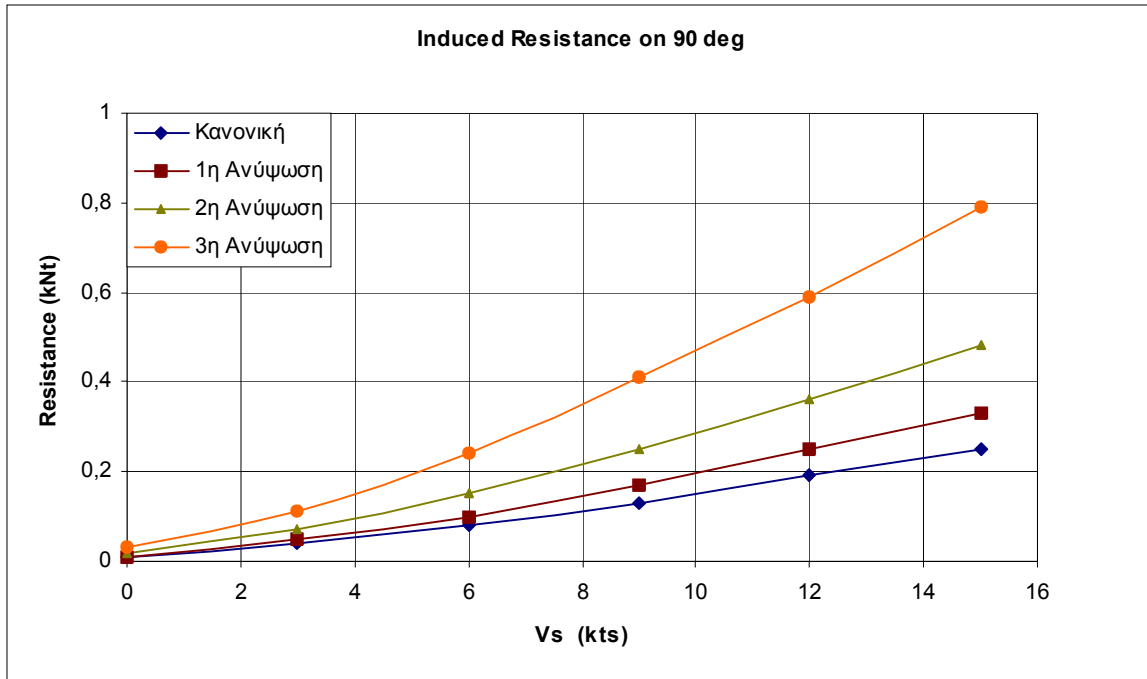
Σχήμα 15 : Επαγόμενη Αντίσταση



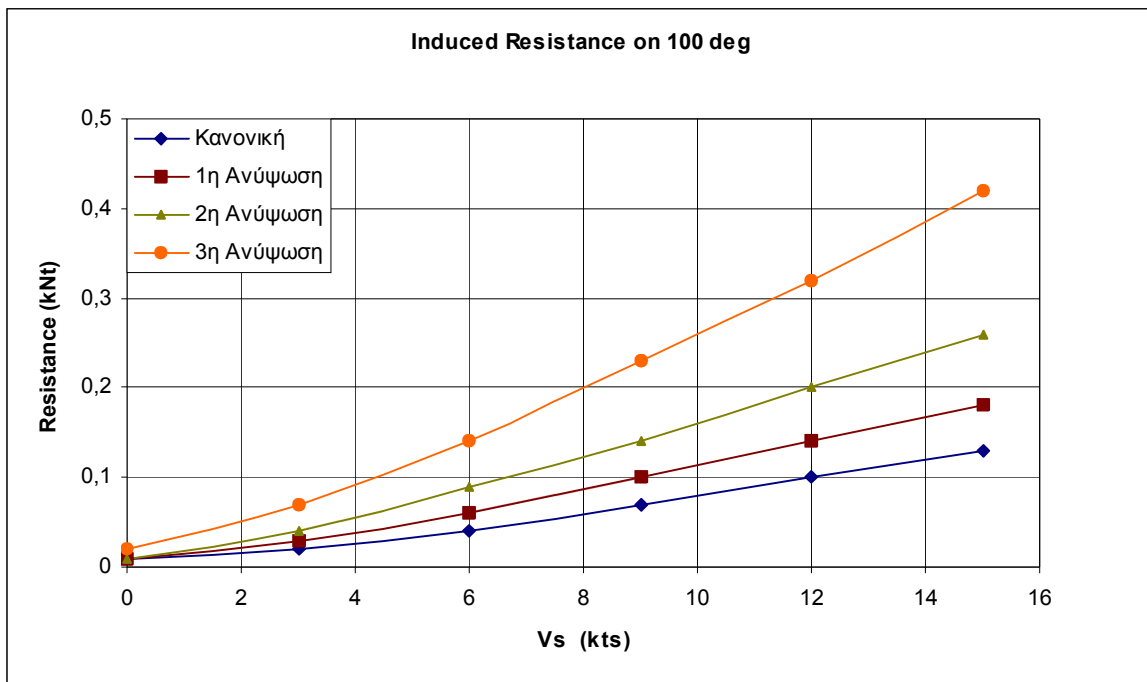
Σχήμα 16 : Επαγόμενη Αντίσταση



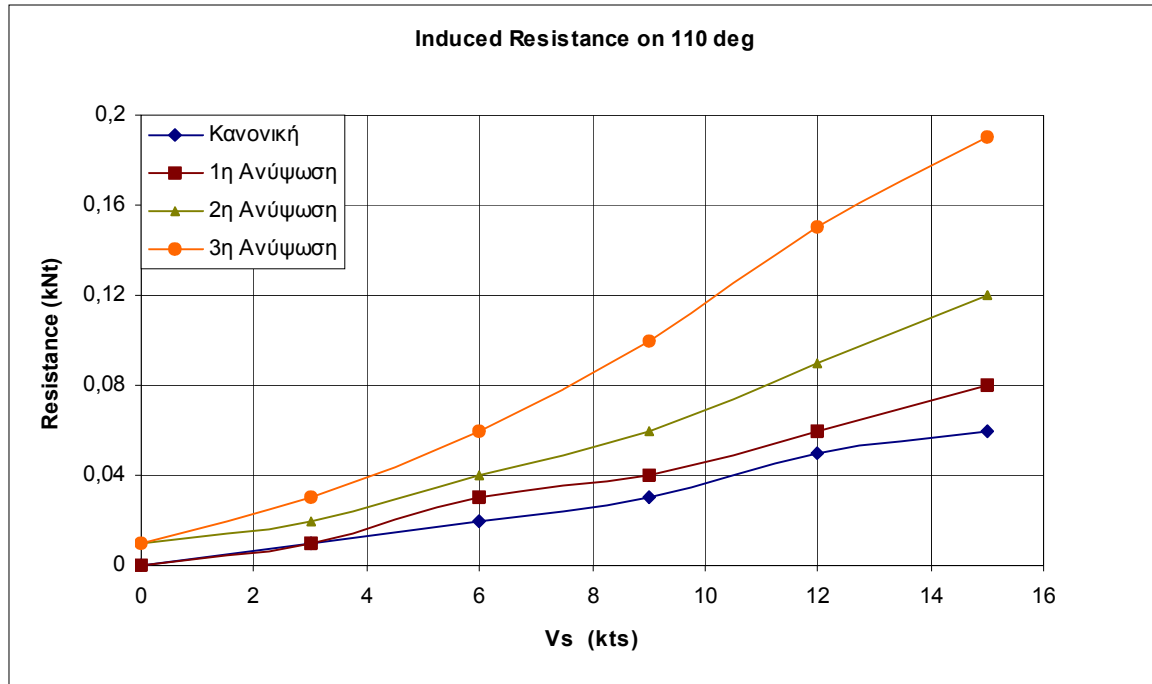
Σχήμα 17 : Επαγόμενη Αντίσταση



Σχήμα 18 : Επαγόμενη Αντίσταση



Σχήμα 19 : Επαγόμενη Αντίσταση



Σχήμα 20 : Επαγόμενη Αντίσταση

6.4 Η Αντίσταση Εγκάρσιας Κλίσης.

Η αντίσταση λόγω εγκάρσιας κλίσης δεν υπολογίζεται από το συγκεκριμένο πρόγραμμα. Σύμφωνα με τους τύπους του Gerritsma[2-1992] , στους οποίους βασίστηκε το SPAN, αυτή μπορεί να προσεγγιστεί από την σχέση

$$R_H = qS_C * C_H * Fn^2 * \phi \quad (6.6)$$

όπου

ϕ η γωνία κλίσης σε rad

Fn ο αριθμός Froude

S_C η βρεχόμενη επιφάνεια και

$$C_H * 10^3 = 6.747\left(\frac{T_C}{T}\right) + 2.517\left(\frac{B_{WL}}{T_C}\right) + 3.71\left(\frac{B_{WL}}{T}\right)$$

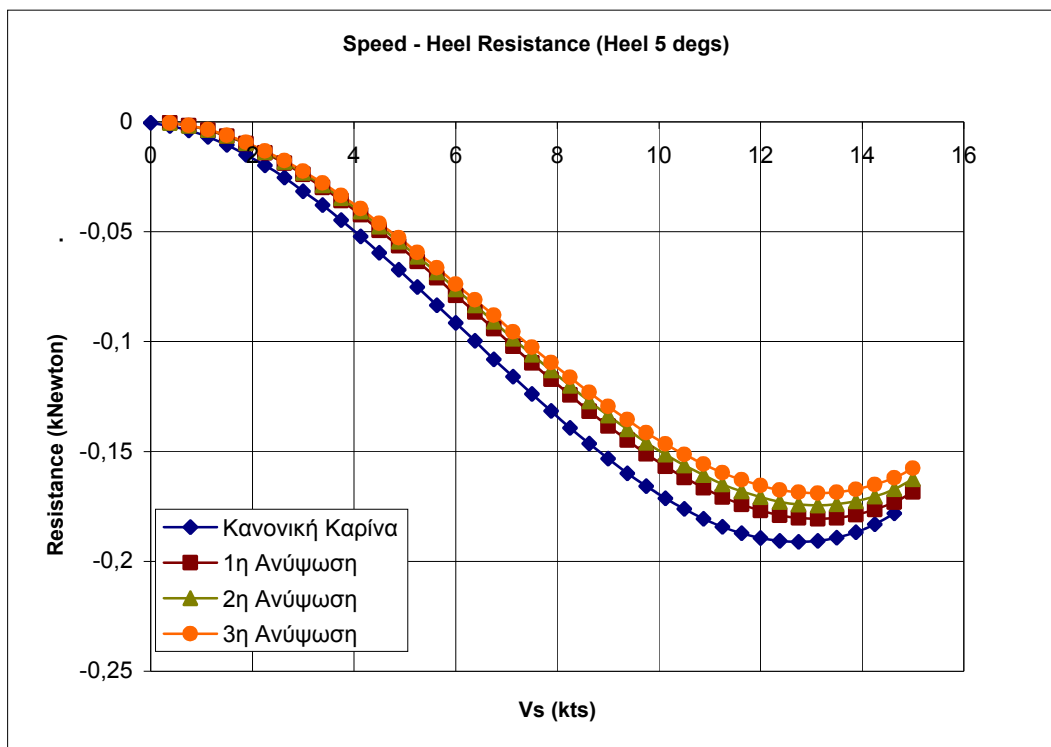
με το T να είναι το μέγιστο βύθισμα και T_C το βύθισμα της γυμνής γάστρας και B_{WL} .

Ο Oossannen [5-1993] αναφέρει ότι αυτός ο τύπος δεν προσφέρει ασφαλή αποτελέσματα καθώς ο όρος T_C/T αναφέρεται πιθανώς σε κάποιο γεωμετρικό χαρακτηριστικό των μοντέλων της σειράς Delft, παρά στην επίδραση της έκτασης της καρίνας στην αντίσταση, ρόλο που αφήνει

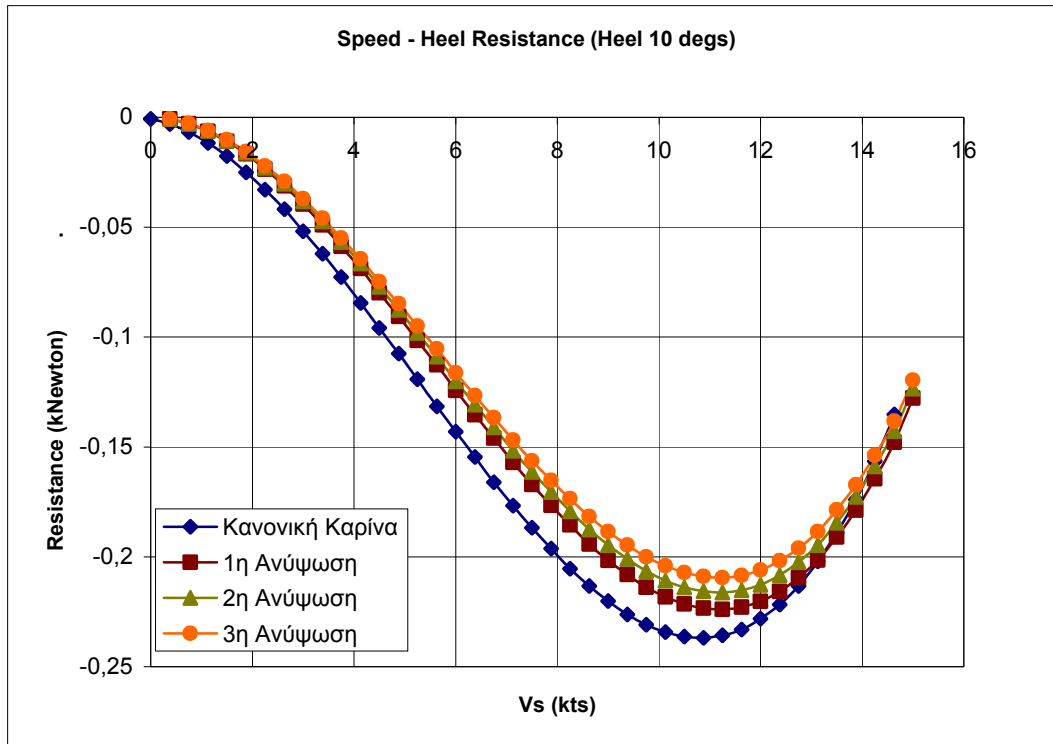
στην βρεχόμενη επιφάνεια, και προτείνει με την σειρά του τον παρακάτω τύπο που έχει προκύψει από παλινδρομική ανάλυση.

$$R_F = 0.5 * \rho * V_B^2 * S_C * \phi * [0.000891 * F_n * (\frac{B_{WL}}{T}) + 0.004267 \phi^2 (\frac{B_{WL}}{T_C}) - 0.003142] \quad (6.7)$$

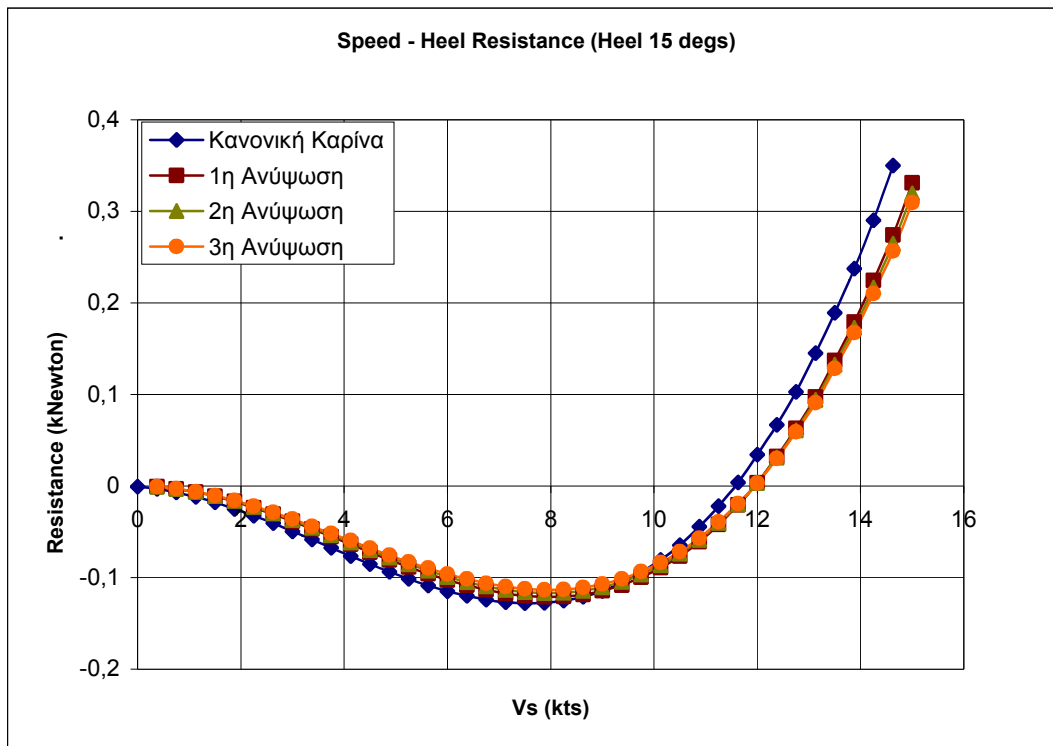
τα παρακάτω διαγράμματα περιγράφουν την συμπεριφορά της αντίστασης λόγω εγκάρσιας κλίσης σε γωνίες 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35° και 40°. Η επίδραση της βρεχόμενης επιφάνειας είναι εμφανής, καθώς με κάθε ανύψωση της καρίνας η συγκεκριμένη συνιστώσα της αντίστασης ελαττώνεται (Σχήματα 21-28).



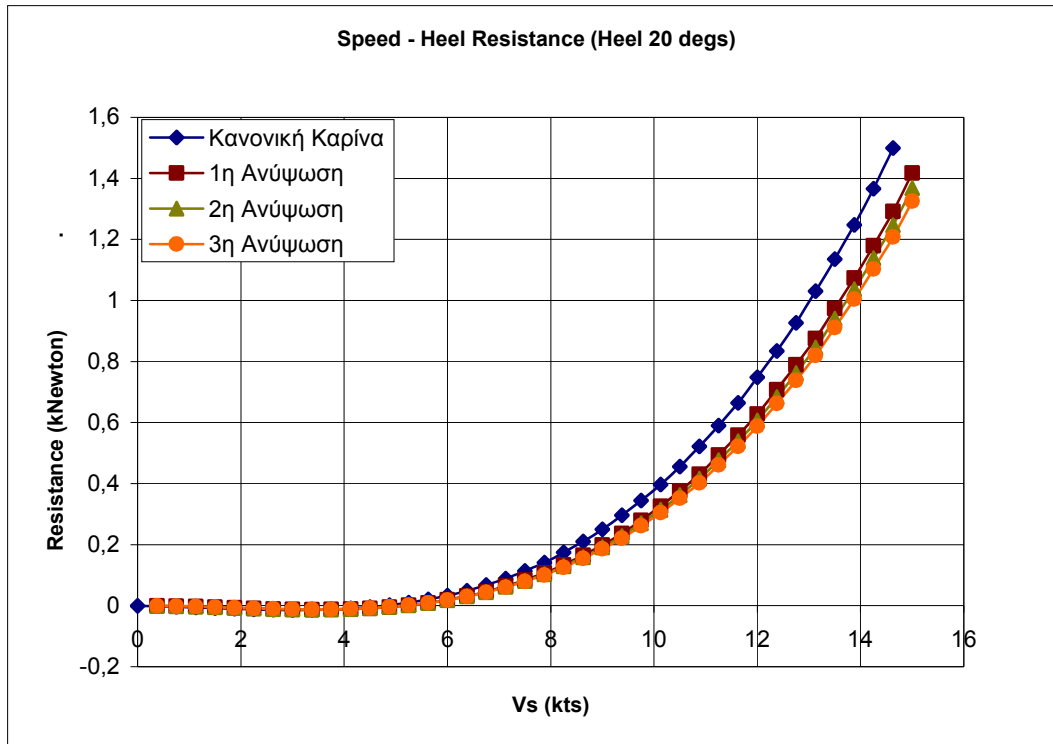
Σχήμα 21 : Αντίσταση Εγκάρσιας Κλίσης



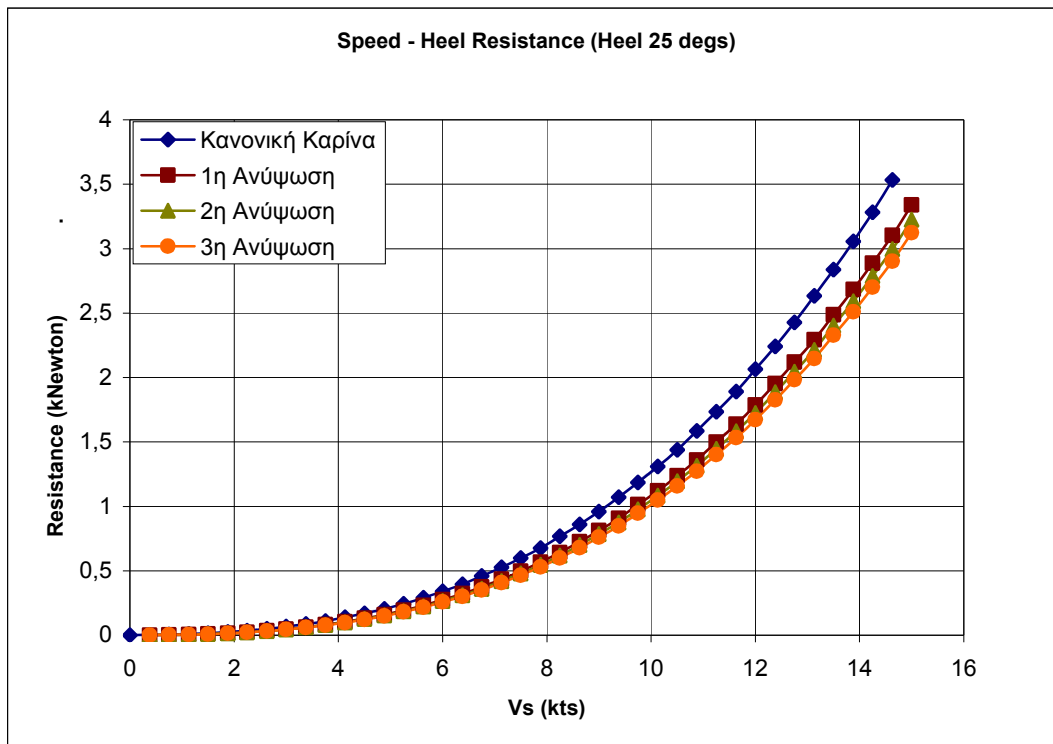
Σχήμα 22 : Αντίσταση Εγκάρσιας Κλίσης



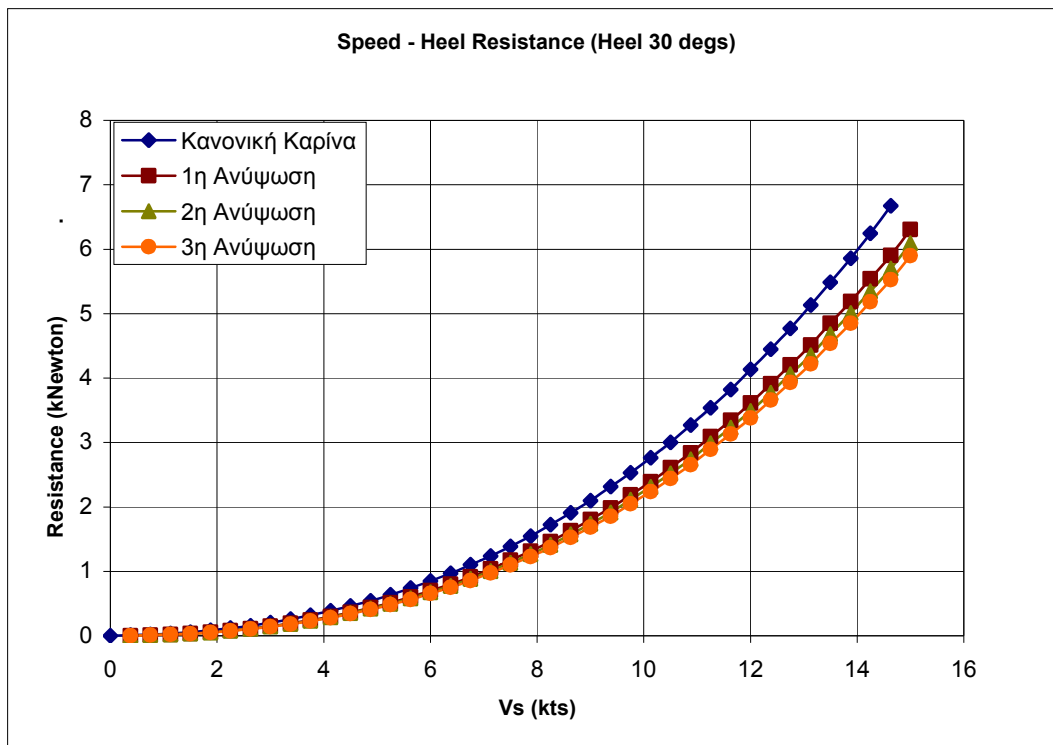
Σχήμα 23 : Αντίσταση Εγκάρσιας Κλίσης



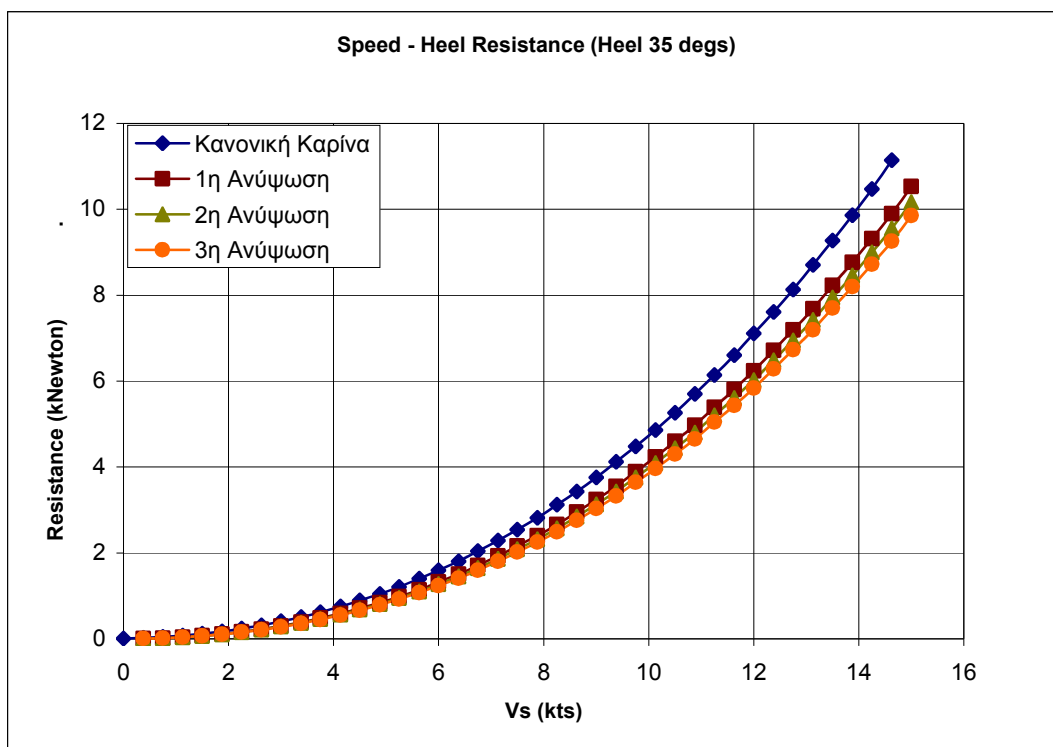
Σχήμα 24 : Αντίσταση Εγκάρσιας Κλίσης



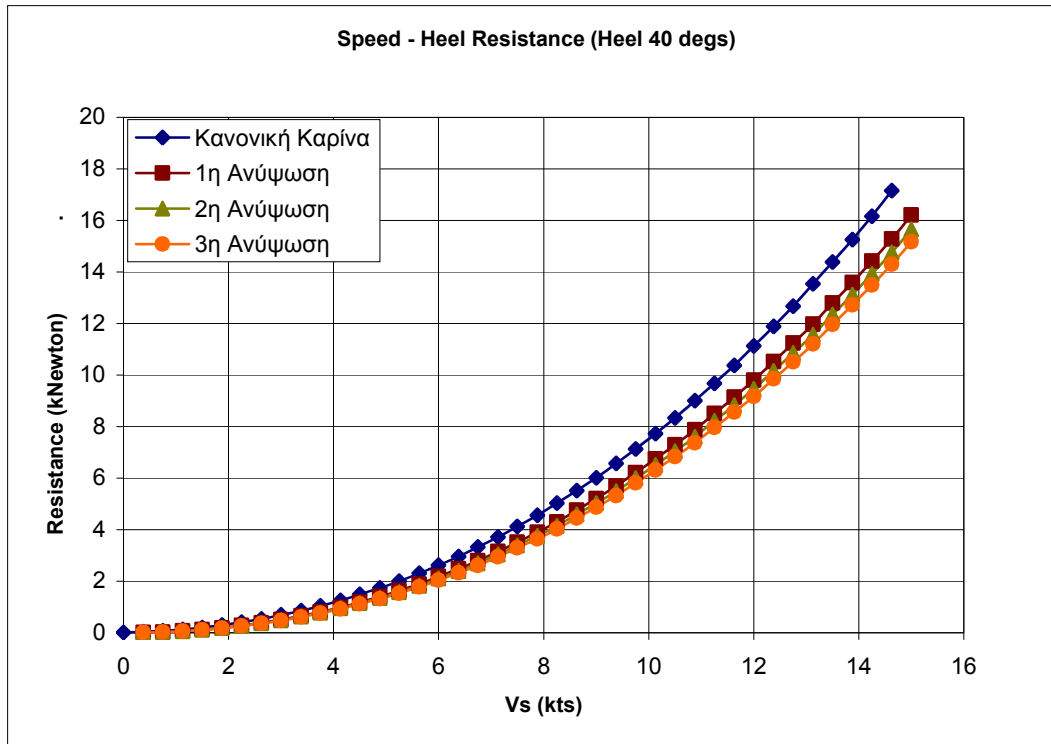
Σχήμα 25 : Αντίσταση Εγκάρσιας Κλίσης



Σχήμα 26 : Αντίσταση Εγκάρσιας Κλίσης



Σχήμα 27 : Αντίσταση Εγκάρσιας Κλίσης

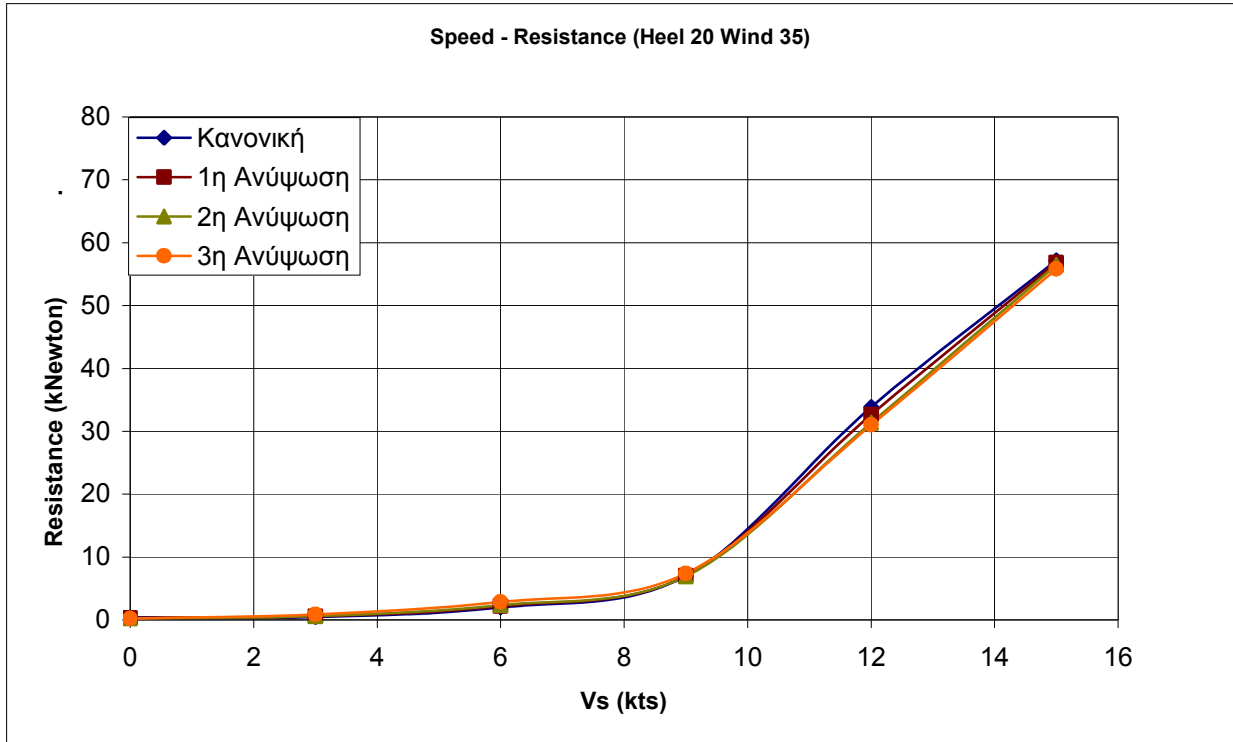


Σχήμα 28 : Αντίσταση Εγκάρσιας Κλίσης

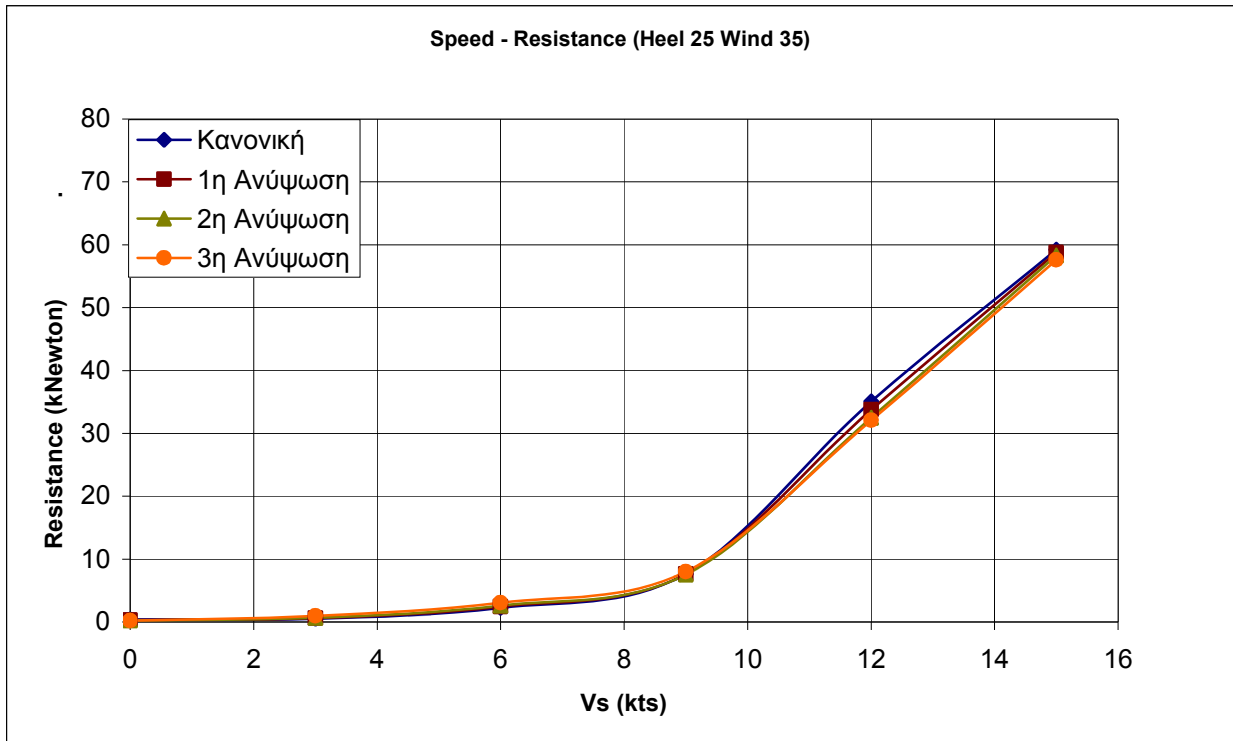
Σε μικρές γωνίες κλίσης αυτός ο τύπος παρουσιάζει την αντίσταση αντί να ανθίσταται, να ενισχύει την κίνηση. Στην πραγματικότητα αυτό ίσως να συμβαίνει αν θεωρήσει κανείς ότι σε αυτές τις γωνίες η γάστρα λόγω ελαφριάς ασυμμετρίας σε port – starboard λειτουργεί όλη σαν ανωστική επιφάνεια απέναντι σε ροή. Η μορφή του τύπου όμως δεν δείχνει ότι εμπεριέχει την φυσική του φαινομένου και για αυτό θα βασιστούμε στα αποτελέσματα γωνιών εγκάρσιας κλίσης 20° , 35° έως 40° , όπου και η αντίσταση δείχνει να αυξάνεται συνέχεια.

6.5 Ολική Αντίσταση (Total Drag).

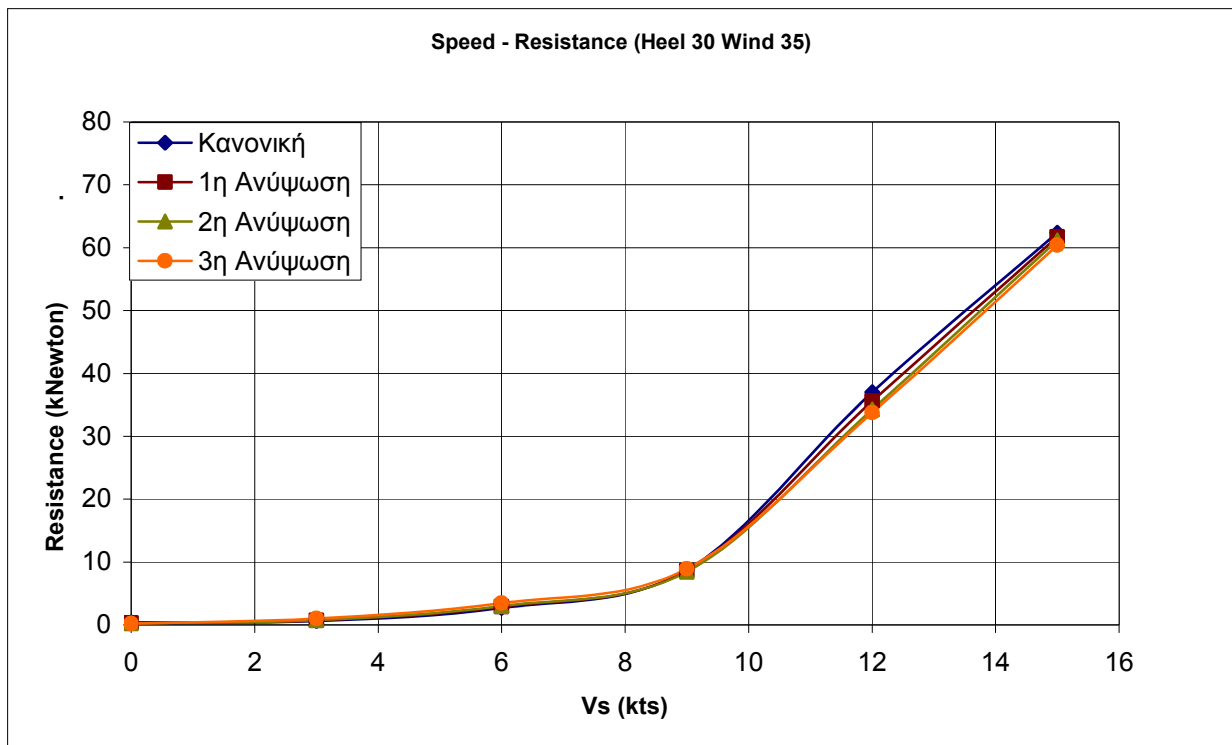
Αν προσθέσουμε όλες τις συνιστώσες της αντίστασης για τις περιπτώσεις που υπολογίσαμε $R_\phi = R_T + R_i + R_H$ προκύπτει πληθώρα συνδυασμών μεταξύ της προσπίπτουσας ροής λόγω κατεύθυνσης ανέμου και γωνίας εγκάρσιας κλίσης. Παρατείνονται ενδεικτικά οι συνδυασμοί γωνιών κλίσης 20° , 25° , 30° και 35° και με κατεύθυνση ανέμου 35° , 70° , 90° και 110° καθώς η συμπεριφορά είναι ίδια. Η ολική αντίσταση παρουσιάζεται παρακάτω (Σχήματα 29-44).



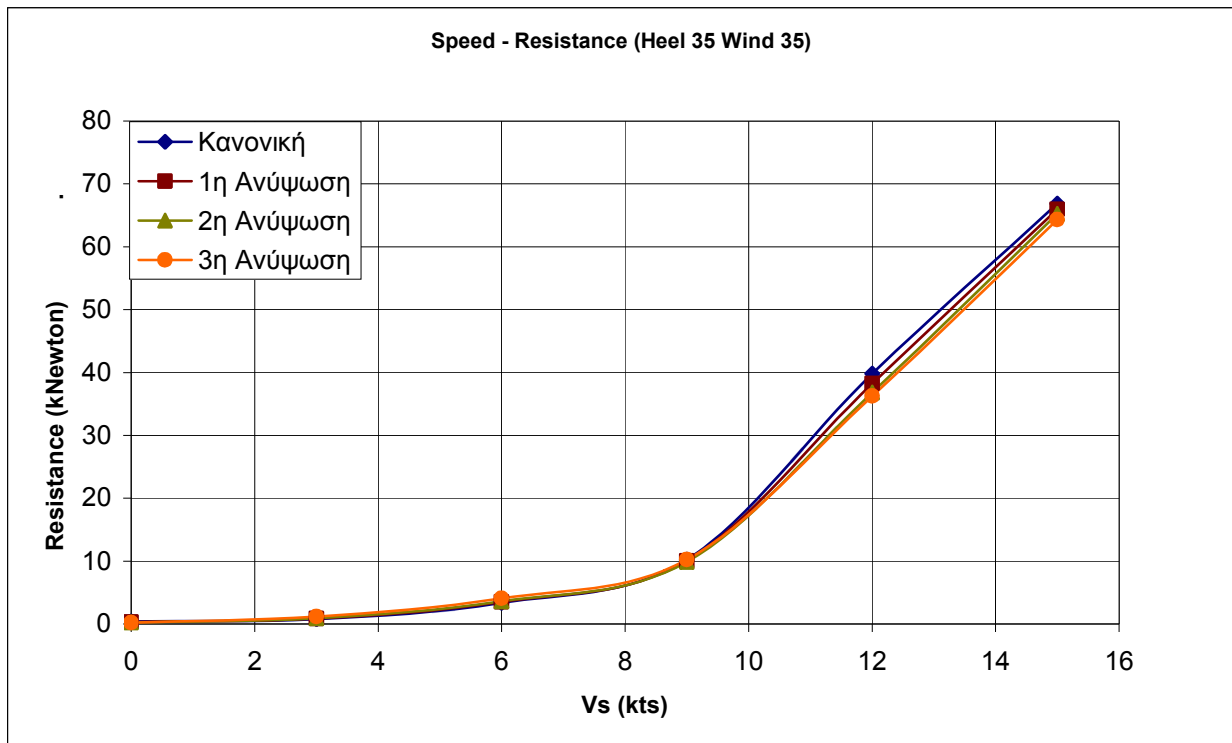
Σχήμα 29 : Ολική Αντίσταση



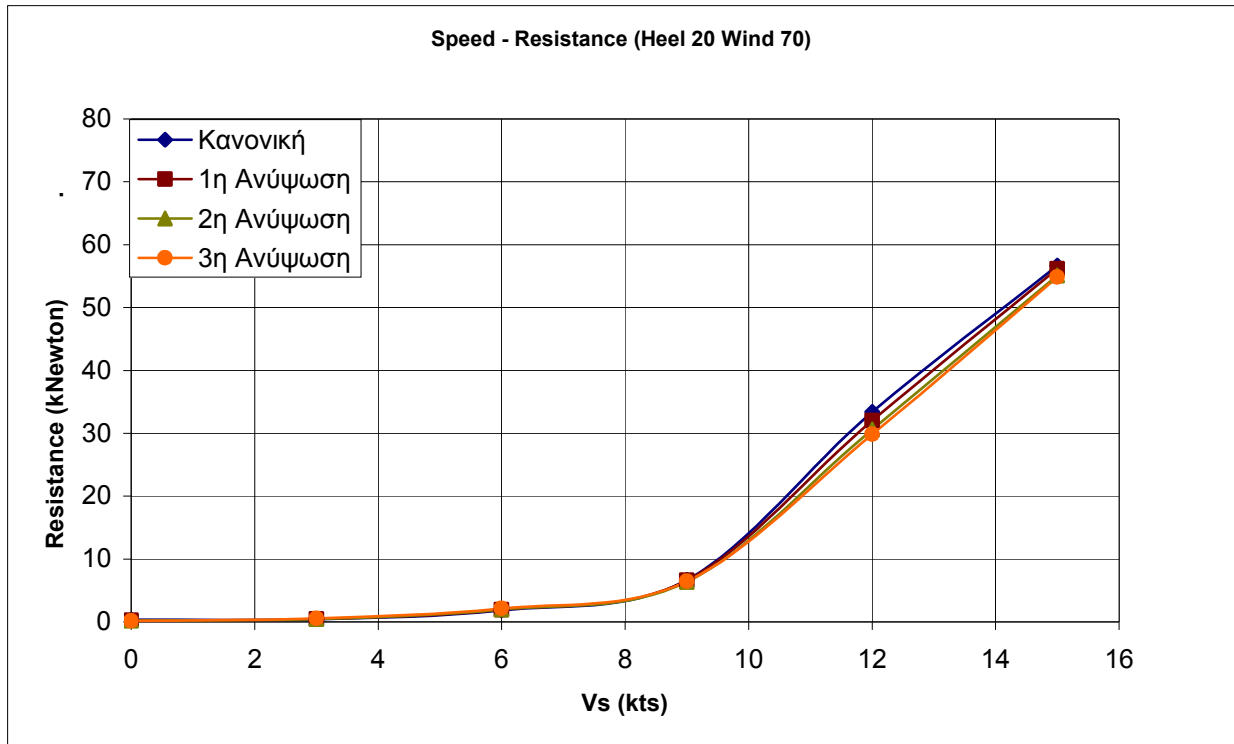
Σχήμα 30 : Ολική Αντίσταση



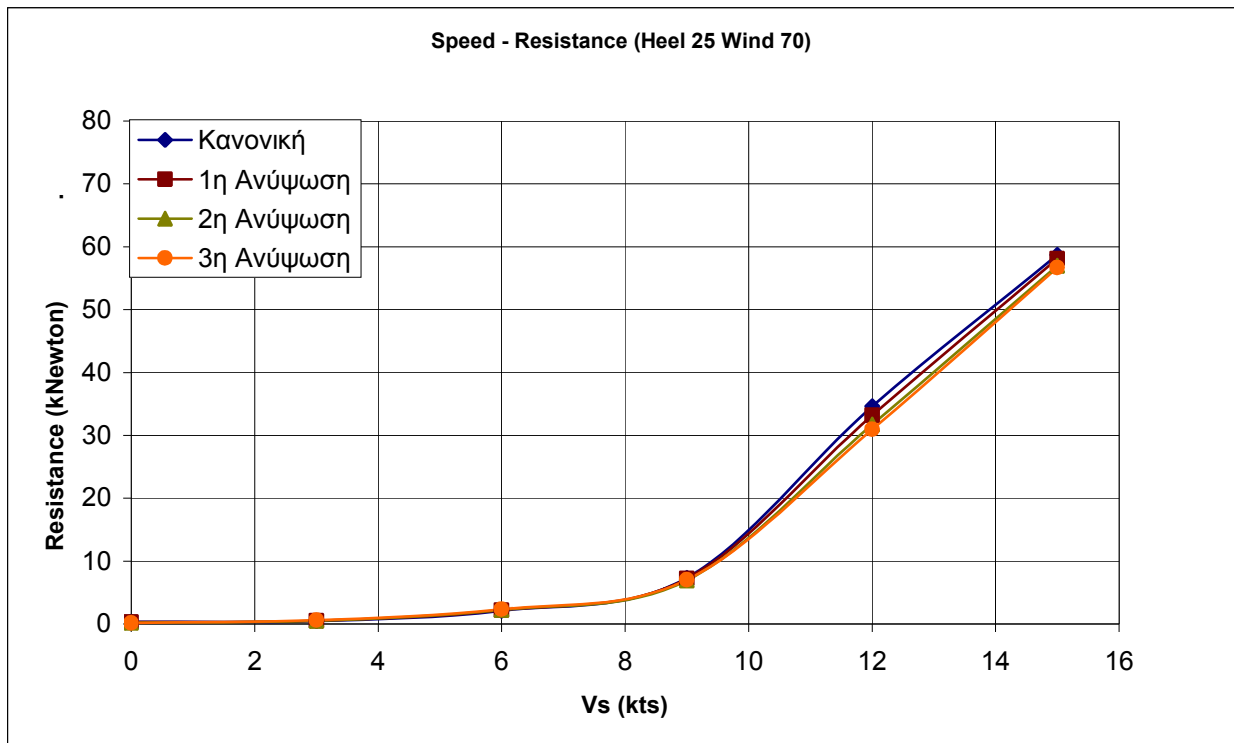
Σχήμα 31 : Ολική Αντίσταση



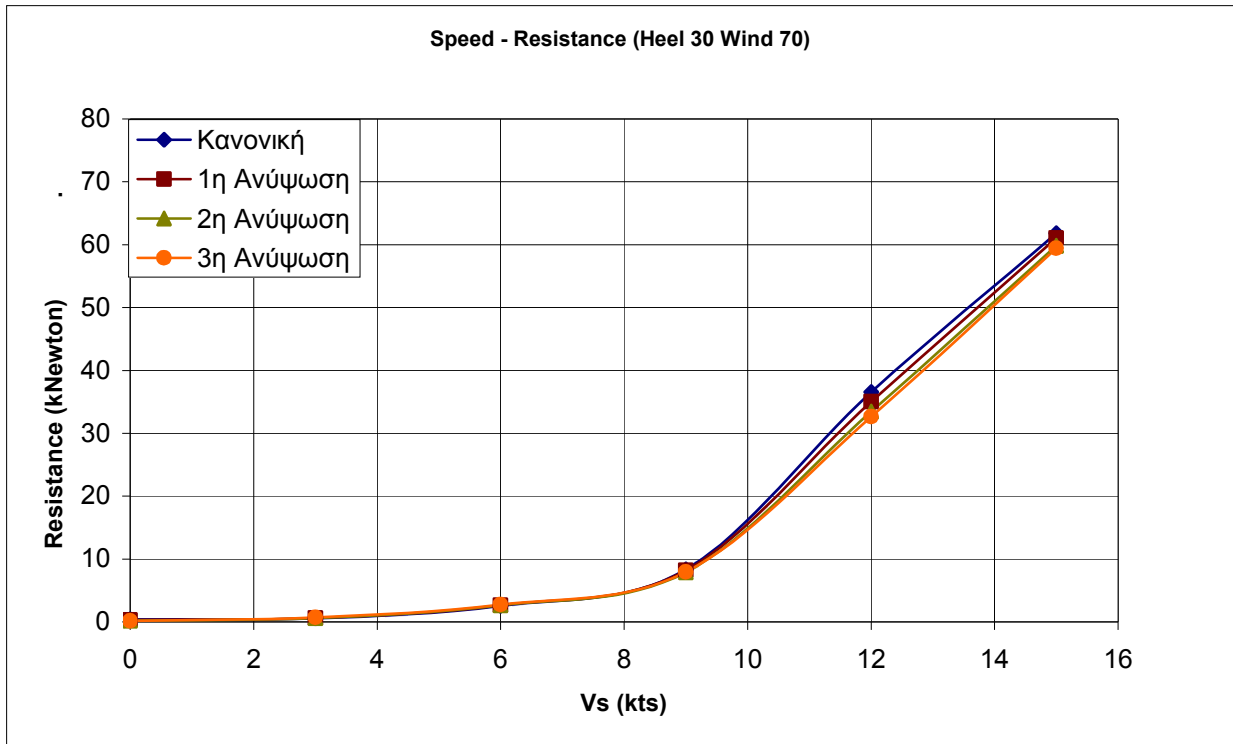
Σχήμα 32 : Ολική Αντίσταση



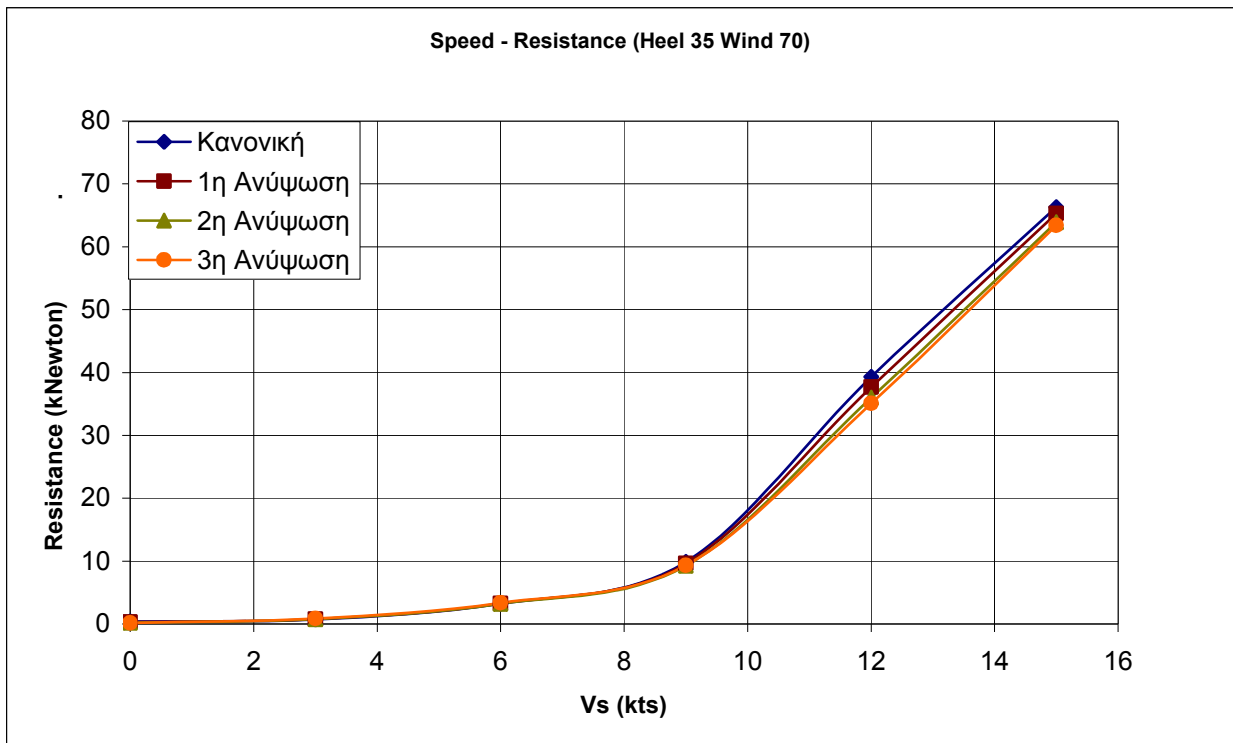
Σχήμα 33 : Ολική Αντίσταση



Σχήμα 34 : Ολική Αντίσταση



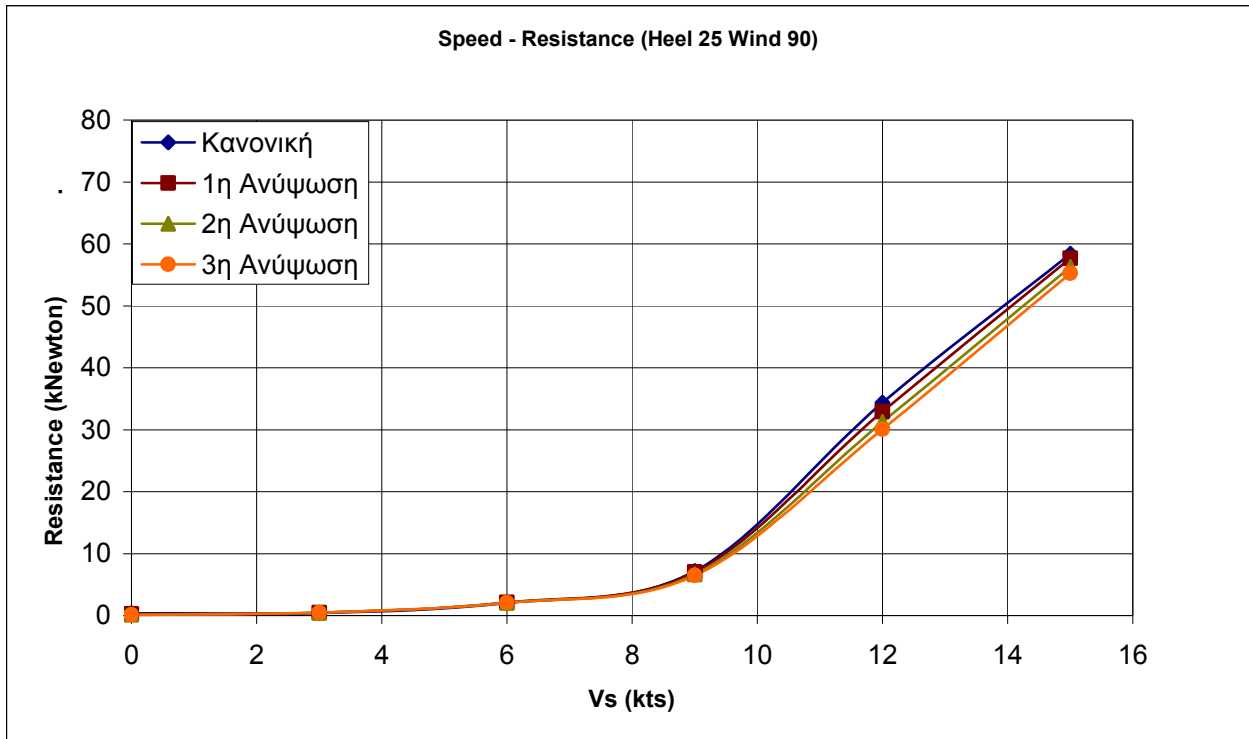
Σχήμα 35 : Ολική Αντίσταση



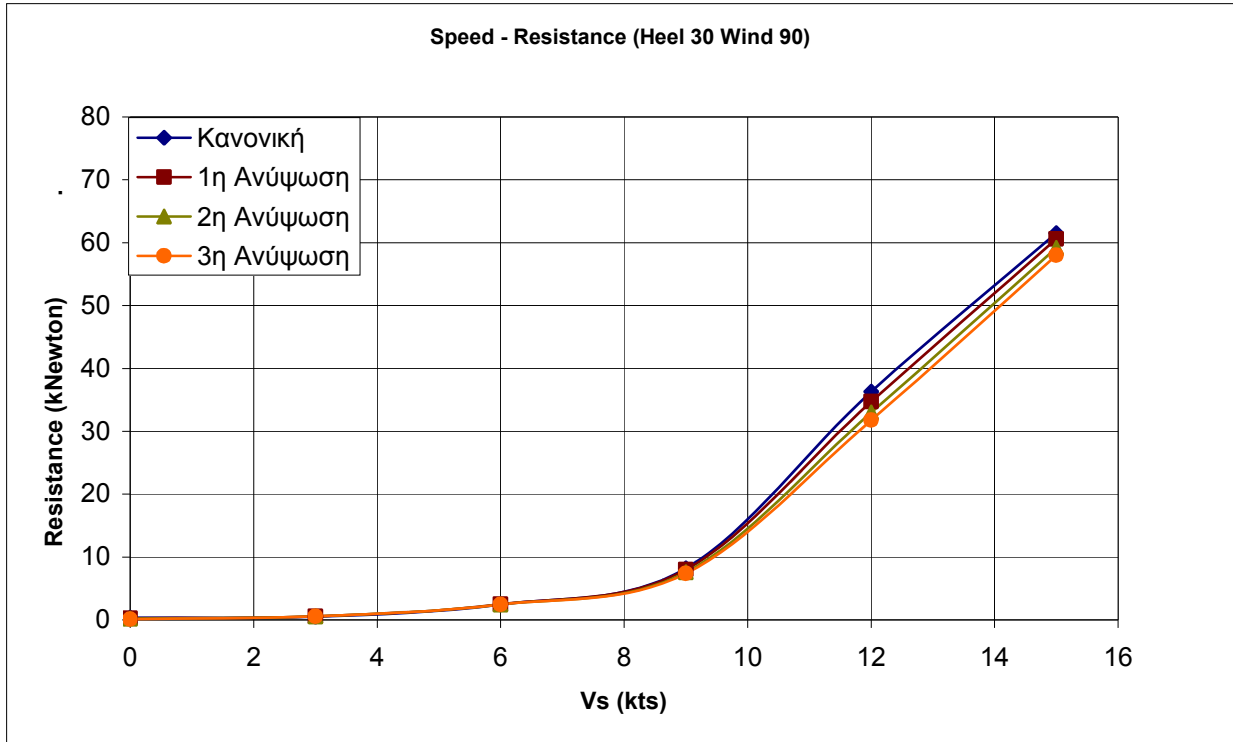
Σχήμα 36 : Ολική Αντίσταση



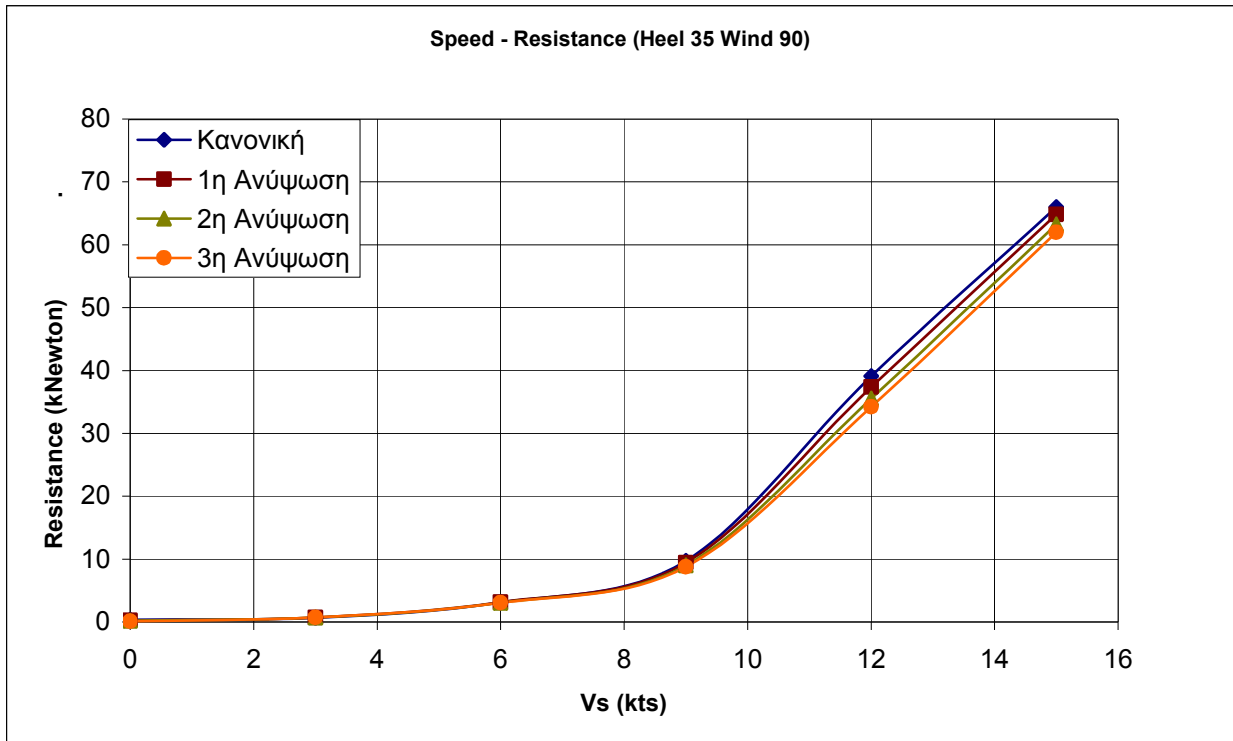
Σχήμα 37 : Ολική Αντίσταση



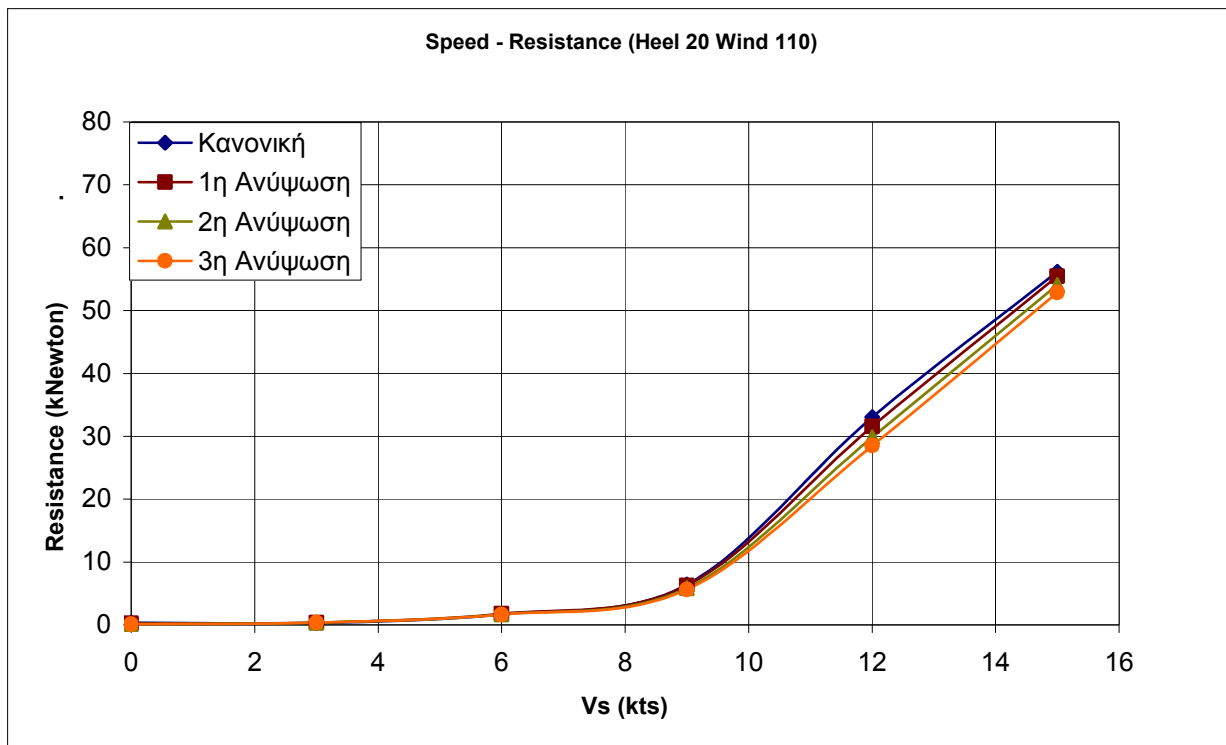
Σχήμα 38 : Ολική Αντίσταση



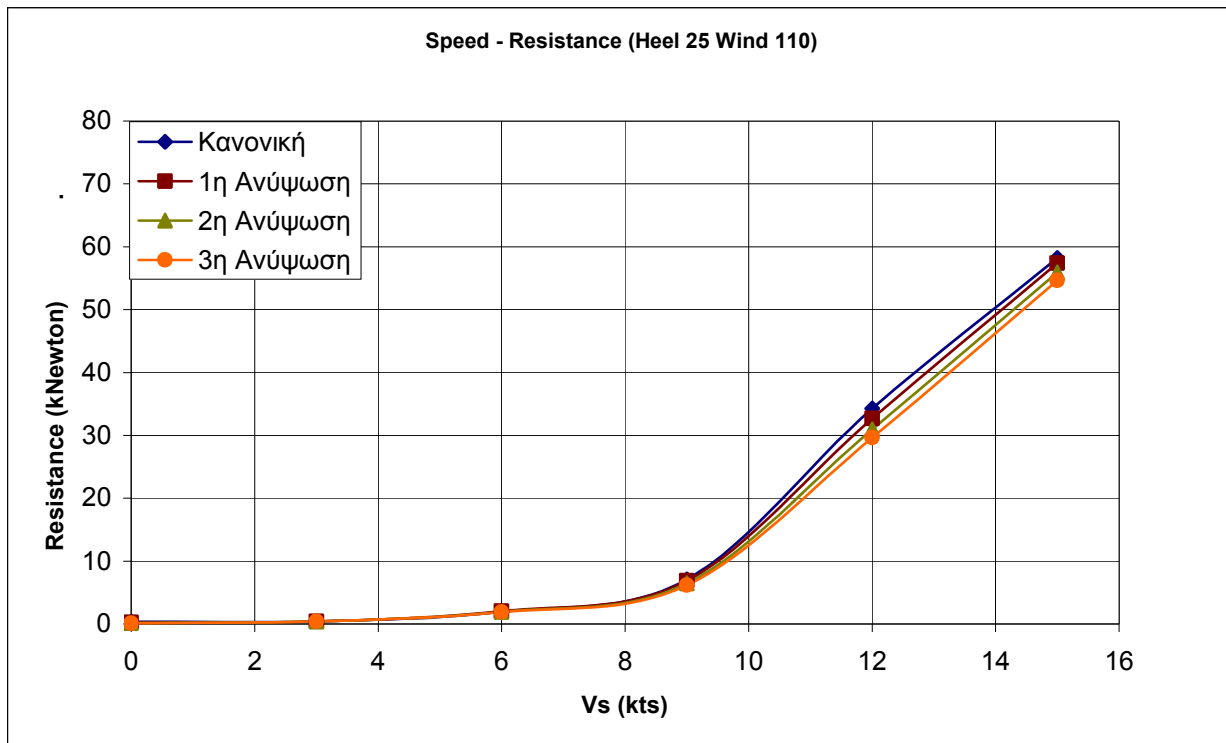
Σχήμα 39 : Ολική Αντίσταση



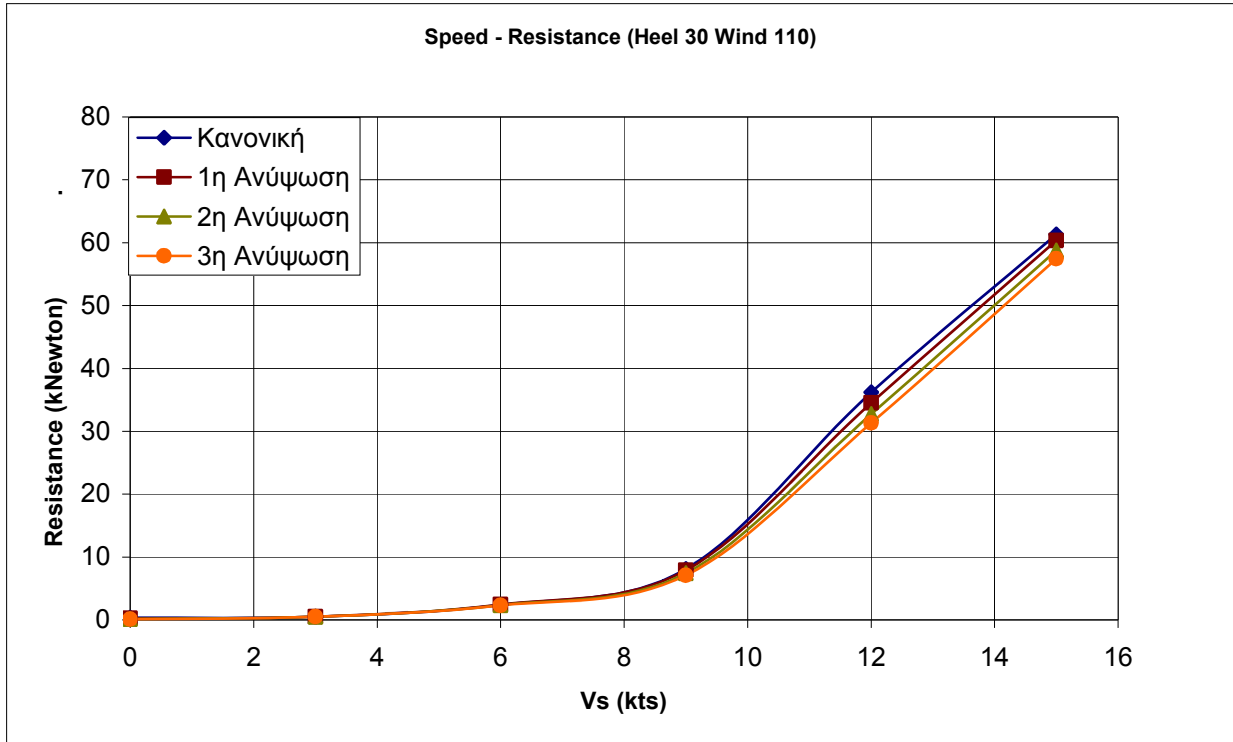
Σχήμα 40 : Ολική Αντίσταση



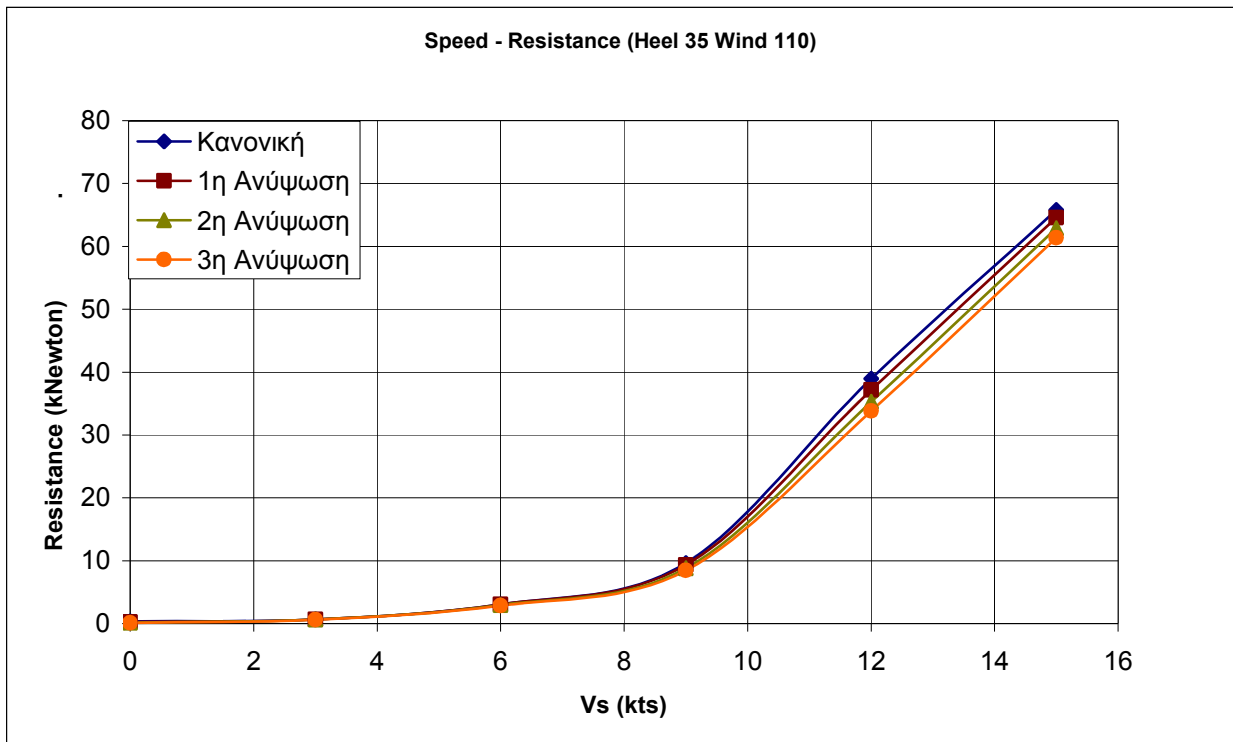
Σχήμα 41 : Ολική Αντίσταση



Σχήμα 42 : Ολική Αντίσταση



Σχήμα 43 : Ολική Αντίσταση



Σχήμα 44 : Ολική Αντίσταση

Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να συμπεράνουμε πως για όλες τις περιπτώσεις που εξετάσαμε υπάρχει σαφές κέρδος στο ιστιοπλοϊκό με την μικρότερη καρίνα, καθώς η αύξηση στην επαγόμενη αντίσταση υπερκαλύπτεται από την μείωση στην αντίσταση όρθιας θέσης και την αντίσταση λόγω εγκάρσιας κλίσης.

Συμπεράσματα

Μέσα από την μελέτη που διενεργήσαμε, τις μεθοδολογίες και τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, πρέπει πρωτίστως να αναφέρουμε την δυσκολία του συνόλου των λογισμικών να μοντελοποιήσουν την καρίνα. Αυτός ενδεχομένως είναι και ο λόγος που πολλές φορές τα αποτελέσματα παρουσίαζαν μη ρεαλιστικές τάσεις, όπως στο Seakeeper του MAXSURF όπου οι αποκρίσεις στον διατοιχισμό φαίνονταν να μειώνονται όσο μειώνονταν και η επιφάνεια της καρίνας.

Όσον αφορά την μελέτη της στατικής ευστάθειας παρατηρούμε ότι η ανύψωση της καρίνας έχει σαφή επίδραση στη μεταβολή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς και συγκεκριμένα μείωσή του με κάθε βηματική ανύψωση. Επισημαίνουμε ότι παρά την απώλεια αυτή του εύρους ευστάθειας το σκάφος εξακολουθεί να ικανοποιεί το κριτήριο STIX – Δείκτη Ευστάθειας για ιστιοφόρα σκάφη.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του Waveload παρατηρήσαμε ότι στις πολύ χαμηλές ταχύτητες πλεύσης η διαφοροποίηση στον προνευτασμό λόγω καρίνας είναι ελάχιστη σε όλο το φάσμα των κυματισμών. Η κατάσταση αλλάζει για τους κυματισμούς που προέρχονται από μετωπικές διευθύνσεις όσο η ταχύτητα μεγαλώνει, και το φαινόμενο γίνεται έντονα βίαιο καθιστώντας την πλεύση με την καρίνα ανυψωμένη απαγορευτική. Για τους πρυμναίους κυματισμούς η μέγιστη γωνία προνευτασμού μειώνεται καθώς η ταχύτητα αυξάνει.

Στον διατοιχισμό το ιστιοπλοϊκό όπως ήταν αναμενόμενο, δείχνει να λαμβάνει ιδιαίτερα μεγάλες γωνίες στην περιοχή του συντονισμού. Η μικρότερη επιφάνεια της καρίνας επιφέρει απώλεια προσφερόμενης απόσβεσης και με κάθε ανύψωσή της τα Roll RAO αυξάνονται μεταξύ των περιπτώσεων. Έτσι η τρίτη ανύψωση της καρίνας είναι απαγορευτική στο σύνολο των συνδυασμών κύματος και ταχύτητας προχώρησης καθώς η απόκρισή της στον διατοιχισμό ξεπερνά ή αγγίζει την γωνία μόνιμης ανατροπής των 115° όπως υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 3 . Υπενθυμίζουμε ότι στους υπολογισμούς που έγιναν δεν συμπεριλήφθηκε η επίδραση της συνεκτικότητας, που συνεισφέρει σαν επιπλέον παράγοντας απόσβεσης, πράγμα που σημαίνει ότι τα εξαγόμενα από τον κώδικα RAO είναι υπερτιμημένα.

Όσον αφορά την αντίσταση, παρατηρήσαμε το όφελος στην ταχύτητα πλεύσης για την προσομοίωση με ανυψωμένες καρίνες, όπου και καθίσταται σαφές το προβάδισμα επί των

βαθύτερων σχεδιάσεων, καθώς για την επίτευξη της ίδιας ταχύτητας υπό τις ίδιες συνθήκες εμφάνισαν μικρότερη αντίσταση.

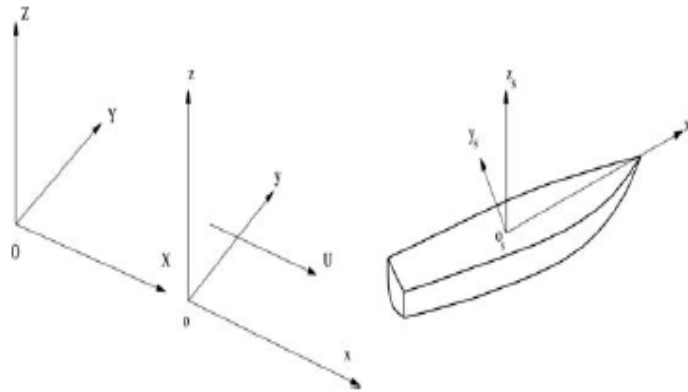
Αναφέρουμε επίσης ότι είχε προγραμματιστεί επίδραση της ανύψωσης της καρίνας στην ελκτικότητα του ιστιοπλοϊκού που την φέρει, αλλά λόγω πίεσης χρόνου η μελέτη αυτή δεν κατέστη εφικτή. Παραπέμπουμε τον ενδιαφερόμενο αναγνώστη στην βιβλιογραφική αναφορά δύο χρήσιμων μοντέλων [12], [13].

Συμπερασματικά η μοντελοποίηση της πλεύσης ιστιοπλοϊκού σκάφους αποτελεί ιδιαίτερα επίπονη διαδικασία, καθώς υπεισέρχεται πληθώρα λειτουργικών παραμέτρων. Όσον αφορά την πλεύση με την καρίνα που εξετάσαμε δεν είναι ξεκάθαρο αν υπερτερεί ή όχι έναντι άλλων σχεδιάσεων, καθώς για να καταλήξει κανείς σε αυτό το συμπέρασμα θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του το κέρδος στην ταχύτητα υπό συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες και θα πρέπει να το αντιπαραβάλει με την εκάστοτε αύξηση στη μέγιστη γωνία απόκρισης που θα λαμβάνει το σκάφος υπό τις συνθήκες αυτές.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4Α

Στο εδάφιο αυτό του παραρτήματος παρουσιάζεται το υπολογιστικό μοντέλο που χρησιμοποιεί το Waveload.

Θεωρούμε δεξιόστροφο σύστημα συντεταγμένων με σταθερή ταχύτητα του σώματος U πάνω στον άξονα Ox . Το επίπεδο xOy είναι η αδιατάρακτη ελεύθερη επιφάνεια και ο άξονας Oz κατευθύνεται προς τα πάνω.



Θεωρείται το βάθος της θάλασσας άπειρο, και η αστρόβιλη ροή ασυμπίεστου και μη συνεκτικού ρευστού γύρω από ένα σώμα που διασχίζει την ελεύθερη επιφάνεια, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η potential flow theory.

Η γενική μορφή των βασικών γραμμικοποιημένων εξισώσεων του Euler σε έξι βαθμούς ελευθερίας είναι η παρακάτω [2 – PNA 1989]

$$\sum_{k=1}^6 \Delta_{jk} * \ddot{n}_k(t) = F_j(t) \quad , \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (\text{Π4.1})$$

όπου Δ_{jk} είναι τα στοιχεία του γενικευμένου αδρανειακού μητρώου του πλοίου, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται η μάζα Δ , η ροπή αδράνειας I , καθώς και όλες οι πιθανές συμπλέξεις τους. Επιπροσθέτως $\ddot{n}_k(t)$ είναι οι επιταχύνση στην διεύθυνση k , ενώ F_j η συνολική δύναμη ή ροπή που επενεργεί στο σώμα στην κατεύθυνση j . Οι δύο τελευταίες ποσότητες αυτές αποτελούν αρμονικές συναρτήσεις του χρόνου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4Α

Κατά την γραμμικοποίηση των εξισώσεων αρκετοί όροι Δ_{jk} μηδενίζονται και για ένα πλοίο συμμετρικό ως προς τον διαμήκη άξονα καταλήγουμε στις παρακάτω έξι εξισώσεις :

$$\Delta(\ddot{n}_1 + \bar{z}_c \ddot{n}_5) = F_1 \quad (\text{surge}) \quad (\text{Π4.2})$$

$$\Delta(\ddot{n}_2 - \bar{z}_c \ddot{n}_4 + \dot{x}_c \ddot{n}_6) = F_2 \quad (\text{sway})$$

$$\Delta(\ddot{n}_3 - \bar{x}_c \ddot{n}_5) = F_3 \quad (\text{heave})$$

$$I_{44} \ddot{n}_4 - I_{46} \ddot{n}_6 - \Delta \bar{z}_c \ddot{n}_2 = F_4 \quad (\text{roll})$$

$$I_{55} \ddot{n}_5 + \Delta(\bar{z}_c \ddot{n}_1 - \bar{x}_c \ddot{n}_3) = F_5 \quad (\text{pitch})$$

$$I_{66} \ddot{n}_6 - I_{64} \ddot{n}_4 + \Delta \bar{x}_c \ddot{n}_2 = F_6 \quad (\text{yaw})$$

όπου

$F_j(t)$, $j = 1,2,3$ είναι οι συνολικές δυνάμεις στους άξονες $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$

$F_j(t)$, $j = 4,5,6$ είναι οι ολικές ροπές περί τους $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ άξονες

Δ η συνολική μάζα του σκάφους

I_{jj} , $j = 4,5,6$ είναι οι ροπές αδράνειας περί τους $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ άξονες

$I_{46} = I_{64}$ είναι το γινόμενο αδράνειας roll - yaw

$(\bar{x}_c, 0, \bar{z}_c)$ οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους σύμφωνα με το σύστημα $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$

$\ddot{n}_j(t)$ είναι η επιτάχυνση στον j th βαθμό ελευθερίας, όπου

$j = 1,2,\dots,6$ αναφέρεται στα surge, sway, heave, roll, pitch, yaw.

Το γενικευμένο μητρώο αδράνειας θα είναι λοιπόν

$$\Delta_{jk} = \begin{bmatrix} \Delta & 0 & 0 & 0 & +\Delta \bar{z}_c & 0 \\ 0 & \Delta & 0 & -\Delta \bar{z}_c & 0 & +\Delta \bar{x}_c \\ 0 & 0 & \Delta & 0 & -\Delta \bar{x}_c & 0 \\ 0 & -\Delta \bar{z}_c & 0 & I_{44} & 0 & -I_{46} \\ +\Delta \bar{z}_c & 0 & -\Delta \bar{x}_c & 0 & I_{55} & 0 \\ 0 & +\Delta \bar{x}_c & 0 & -I_{46} & 0 & I_{66} \end{bmatrix} \quad (\text{Π4.3})$$

Το μόνο γινόμενο αδράνειας που εμφανίζεται είναι το $I_{46} = I_{64}$, το οποίο εκτός από τις περιπτώσεις όπου υπάρχει συμμετρία πλώρης – πρύμνης όπου και μηδενίζεται, είναι μικρό.

Τα υπόλοιπα στοιχεία εκτός διαγωνίου, μηδενίζονται αν το κέντρο του συστήματος συντεταγμένων ταυτίζεται με το κέντρο βάρους. Στο WAVELOAD όμως το σύστημα αυτό το ορίζεται με αρχή στην τομή ισάλου επιφάνειας και μέσου νομέα.

Οι εξισώσεις κίνησης του Euler αν θεωρήσουμε ότι οι μόνες δυνάμεις που ασκούνται στο πλοίο είναι οι υδροδυναμικές και οι βαρυτικές, αναγράφονται ως εξής :

$$\sum_{k=1}^6 \Delta_{jk} * \ddot{n}_k(t) = F_j(t) = F_{Gj} + F_{Hj} \quad , \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (\text{Π4.4})$$

όπου

F_{Gj} η βαρυτική συνιστώσα που ασκείται στο πλοίο στην j διεύθυνση

F_{Hj} η υδροδυναμική συνιστώσα που ασκείται στο πλοίο στην j διεύθυνση

Δ_{jk} το αδρανειακό μητρώο όπως δόθηκε παραπάνω

Επειδή εξετάζουμε την απόκριση του σκάφους μόνο σε ημιτονοειδή κύματα, οι χρονικά εξαρτημένες κινήσεις του πλοίου $n_j(t)$, θα είναι ημιτονοειδείς σε σχέση με την συχνότητα συνάντησης με τα κύματα και μπορούν να γραφούν ως :

$$n_j(t) = \bar{n}_j(t) e^{i\omega_e t}$$

όπου ω_e η συχνότητα συνάντησης και ισούται με $\omega_e = \omega_0 - \frac{\omega_0^2}{g} U_0 \cos \mu$ (Π4.5)

\bar{n}_j είναι το πλάτος της απόκρισης του σκάφους στην j διεύθυνση, και $j = 1, 2, \dots, 6$ αναφέρεται στα surge, sway, heave, roll, pitch, yaw.

Η μέση βαρυτική δύναμη συνήθως συνδύαζεται με το υδροστατικό τμήμα των δυνάμεων λόγω του ρευστού και δίνουν τη καθαρή υδροστατική δύναμη. Οι υδροδυναμικές και υδροστατικές δυνάμεις που ασκούνται στο πλοίο υπολογίζονται από την ολοκλήρωση των πιέσεων του ρευστού πάνω στην βρεχόμενη επιφάνεια.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4Α

Η κάθε συνιστώσα της δύναμης που ασκεί το ρευστό δίδεται από την σχέση

$$F_{Hj} = \iint_S P n_j ds \quad , j = 1, 2, \dots, 6 \quad (\text{Π4.6})$$

όπου P η πίεση του ρευστού,

n_j το κάθετο διάνυσμα επιφανείας

S η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας.

Η πίεση P για μη συνεκτικό και αστρόβιλο ρευστό είναι

$$P = 0.5\rho U_0^2 - \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} - 0.5\rho(\nabla\Phi \times \nabla\Phi) - \rho g z \quad (\text{Π4.7})$$

όπου ρ η πυκνότητα, $\nabla\Phi$ το ολικό διάνυσμα ταχύτητας του ρευστού και U_0 η ταχύτητα προχώρησης του σκάφους. Οι τρεις πρώτοι όροι αναπαριστούν την υδροδυναμική συνεισφορά στην πίεση ενώ ο τελευταίος την υδροστατική.

Με αντικατάσταση της σχέσης (7) στην (6) προκύπτει $F_{Hj} = F_{HSj} + F_{HDj}$

$$\text{με } F_{HSj} = -\rho g \iint_S z n_j ds \quad (\text{Π4.8})$$

η υδροστατική συνιστώσα

$$\text{και } F_{HDj} = -\rho \iint_S \left(0.5U_0^2 - \frac{\partial \phi}{\partial t} - 0.5\nabla\Phi \times \nabla\Phi \right) n_j ds \quad (\text{Π4.9})$$

η υδροδυναμική συνιστώσα.

Αναλυτικά για την καθαρά υδροστατική συνιστώσα έχουμε

$$F^*_{HSj} = F_{Gj} + F_{HSj} \quad j = 1, 2, \dots, 6$$

και σύμφωνα με τον Newman από την (8) λαμβάνουμε

$$F^*_{HS1} = 0 \quad (\text{Π4.9a})$$

$$F^*_{HS2} = 0 \quad (\text{Π4.9b})$$

$$F^*_{HS3} = -\rho g S n_3 + \rho g S_1 n_5 \quad (\text{Π4.9c})$$

$$F^*_{HS4} = -\rho g \nabla (S_{22}/\nabla + \bar{z}_B - \bar{z}_C) n_4 = -\rho g \nabla \overline{GM}_T n_4 \quad (\text{Π4.9d})$$

$$\begin{aligned} F^*_{HS5} &= \rho g S_1 n_3 - \rho g \nabla (S_{11}/\nabla + \bar{z}_B - \bar{z}_C) n_5 \\ &= \rho g S_1 n_3 - \rho g \nabla (\overline{GM}_L + S \overline{LCF}^2 / \nabla) n_5 \end{aligned} \quad (\text{Π4.9e})$$

$$F^*_{HS6} = 0 \quad (\text{Π4.9f})$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4Α

και

\overline{GM}_T	το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος
\overline{GM}_L	το διαμήκες μετακεντρικό ύψος
\bar{z}_B	η κατακόρυφη θέση του κέντρου άντωσης
\overline{LCF}	η διαμήκης θέση του κέντρου πλευστότητας
$S = \int_L B(x)dx$	η επιφάνεια στην ίσαλο
$S_1 = \int_L xB(x)dx$	η πρώτη ροπή ισάλου επιφανείας περί τον y άξονα
$S_{11} = \int_L x^2 B(x)dx$	η δεύτερη ροπή ισάλου επιφανείας περί τον y άξονα
$S_{22} = \iint_L y^2 dydx = \int_L \frac{[B(x)]^3}{12} dx$	η δεύτερη ροπή ισάλου επιφανείας περί τον x άξονα
$B(x)$	το πλάτος της επιφανείας στη θέση x.

Για απλοποίηση τα παραπάνω γράφονται και ως

$$F^*_{HSj} = - \sum_{j=1}^6 C_{jk} \bar{n}_k e^{i\omega_k t} \quad (\text{Π4.10})$$

όπου C_{jk} οι συντελεστές επαναφοράς .

από τις (9),(10) προκύπτει

$$C_{jk} = 0 \text{ εκτός από}$$

$$C_{33} = \rho g \int_L B(x)dx$$

$$C_{35} = C_{53} = -\rho g \int_L xB(x)dx \quad (\text{Π4.11})$$

$$C_{44} = \rho g \nabla \overline{GM}_T$$

$$C_{55} = \rho g \nabla \left(\overline{GM}_L + \frac{\overline{LCF}^2}{\nabla} S \right) \approx \rho g S_{11}$$

$$= \rho g S_{11} + \rho g \nabla (\overline{KB} - \overline{KG})$$

επειδή σε πολλά πλοία η διαφορά $KB-KG$ είναι πολύ μικρή , μπορούμε να πούμε προσεγγιστικά

$$C_{55} = \rho g \int_L x^2 B(x) dx \quad (\text{Π4.12})$$

Για την υδροδυναμική συνιστώσα από την σχέση (Π4.9) παρατηρούμε πως πρέπει να υπολογιστεί πρώτα το δυναμικό ταχύτητας του ρευστού Φ . Θεωρούμε πως το ολικό δυναμικό μπορεί να χωριστεί στο απλό άθροισμα των παρακάτω

$$\Phi(x,y,z,t) = [-U_0x + \Phi_S(x,y,z)] + \Phi_T e^{i\omega_e t} = [-U_0x + \Phi_S(x,y,z)] \quad , \text{σταθερό τμήμα} \quad (\text{Π4.13})$$

$$\text{και } \Phi_T = [\Phi_I + \Phi_D + \sum_{j=1}^6 \Phi_j n_j] e^{i\omega_e t} \quad \text{το μη σταθερό τμήμα.}$$

όπου

Φ_S είναι το δυναμικό διαταραχής λόγω σταθερής προχώρησης του πλοίου

Φ_T είναι το δυναμικό διαταραχής λόγω αστάθειας

$$\Phi_T = [\Phi_I + \Phi_D + \sum_{j=1}^6 \Phi_j n_j] e^{i\omega_e t}$$

Φ_I είναι το δυναμικό λόγω προσπίπτοντος κύματος

Φ_D είναι το δυναμικό λόγω διάθλασης κύματος

Φ_j είναι το δυναμικό λόγω διάχυσης ενέργειας σε μορφή κυμάτων κατά την κίνηση στην j διεύθυνση

Τα στοιχεία του Φ_T είναι όλα χρονικά εξαρτημένα. Τα Φ_I και Φ_D προκύπτουν από την επίλυση του προβλήματος περίθλασης, όπου κύματα προσπίπτουν στην γάστρα. Τα κύματα περίθλασης προκύπτουν καθώς τα κύματα που χτυπούν το σκάφος διασκορπίζονται. Οι υδροδυναμικές συνιστώσες που εμφανίζονται από αυτά λέγονται δυνάμεις διέγερσης, ενώ αυτές που εμφανίζονται από το θέμα της διάχυσης ενέργειας

περιλαμβάνουν την πρόσθετη μάζα και την απόσβεση. Στο WAVELOAD τα δυναμικά αυτά υπολογίζονται μέσω της συνάρτησης Green.

Η ταχύτητα λόγω σταθερής προχώρησης του σκάφους σε ήρεμο νερό είναι

$$\underline{W} = -U_0 + \nabla \Phi_S \quad (\text{Π4.14})$$

με αντικατάσταση της (7) και (13) στην (9) έχουμε

$$\tilde{F}_{HDj} = F_{EXj} + F_{Rj} = \{F^I_j + F^D_j\}e^{i\omega_e t} + F_{Rj} \quad , \quad \text{όπου}$$

F_{EXj} η δύναμη διέγερσης στην j διεύθυνση

F^I_j η δύναμη Froude-Krylov (προκύπτει από την ολοκλήρωση της πίεσης που θα υφίστατο στο σύστημα κυματισμών αν δεν υπήρχε η γάστρα

F^D_j η δύναμη λόγω αλληλεπίδρασης των κυμάτων με την γάστρα

F_{Rj} η δύναμη λόγω διάχυσης ενέργειας υπό μορφή κυματισμών.

Σύμφωνα με το Theory Manual του Waveload [3] με επίλυση των Φ μέσω συνάρτησης Green έχουμε

$$F^I_j = \left[\rho U \iint_S \text{Im}[\Phi_I] n_j dS + \rho U \iint_S \text{Re}\left[\frac{\partial \Phi_I}{\partial x}\right] n_j dS - \rho \iint_S \text{Re}[\nabla \Phi_I \cdot \nabla \Phi_S] n_j dS \right] e^{-i\omega_e t} \quad (\text{Π4.15})$$

$$F^D_j = \left[-\rho \omega_e \iint_S \text{Im}[\Phi_D] n_j dS + \rho U \iint_S \text{Re}\left[\frac{\partial \Phi_D}{\partial x}\right] n_j dS + \rho \iint_S \text{Re}[\nabla \Phi_D \cdot \nabla \Phi_S] n_j dS \right] e^{-i\omega_e t} \quad (\text{Π4.16})$$

$$F_{Rj} = \rho \omega_e^2 \sum_{k=1}^6 \bar{x}k \left[\iint_S \text{Re}[\Phi_K] n_j dS + \frac{U}{\omega_e} \iint_S \text{Im}\left[\frac{\partial \Phi_K}{\partial x}\right] n_j dS - \frac{1}{\omega_e} \iint_S \text{Im}[\nabla \Phi_K \cdot \nabla \Phi_S] n_j dS \right] + \rho \omega_e \sum_{k=1}^6 \bar{x}k \left[\iint_S \text{Im}[\Phi_K] n_j dS - U \iint_S \text{Re}\left[\frac{\partial \Phi_K}{\partial x}\right] n_j dS + \iint_S \text{Re}[\nabla \Phi_K \cdot \nabla \Phi_S] n_j dS \right] \quad (\text{Π4.17})$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4Α

όπου με διαχωρισμό πραγματικών και φανταστικών μερών τελικά η F_{Rj}

$$F_{Rj} = \sum_{k=1}^6 (\omega_e^2 A_{jk} - i\omega_e B_{jk}) \bar{n}_k e^{i\omega_e t} \quad (\text{Π4.18})$$

όπου A_{jk} και B_{jk} η πρόσθετη μάζα και η απόσβεση αντίστοιχα.

Από την (1) και (5) έχουμε $\ddot{n}_k(t) = -\omega^2 n_k e^{i\omega_e t}$

Επίσης

$$F_j(t) = F_{Gj} + F_{Hj} = F_{Gj} + (F_{HSj} + F_{HDj}) = (F_{Gj} + F_{HSj}) + (F_{EXj} + F_{Rj}) = F_{HSj}^* + F_{EXj} + F_{Rj} \quad (\text{Π4.19})$$

οπότε και η (1) γίνεται

$$F_j(t) = \sum_{k=1}^6 -\omega_e^2 \Delta_{jk} \bar{n}_k e^{i\omega_e t} = F_{HSj}^* + F_{EXj} + F_{Rj} = -\sum_{k=1}^6 C_{jk} \bar{n}_j e^{i\omega_e t} + F_j^I e^{i\omega_e t} + F_j^D e^{i\omega_e t} + \sum_{k=1}^6 (\omega_e A_{jk} - i\omega_e B_{jk}) \bar{n}_k e^{i\omega_e t} \quad (\text{Π4.20})$$

και με μεταφορά των υδροστατικών δυνάμεων επαναφοράς, της πρόσθετης μάζας και των όρων απόσβεσης στο αριστερό μέρος έχουμε για τις εξισώσεις κίνησης του πλοίου

$$\sum_{k=1}^6 [-\omega_e^2 (\Delta_{jk} + A_{jk}) + i\omega_e B_{jk} + C_{jk}] \bar{n}_k = F_j^I + F_j^D = F_j, \quad j=1,2,\dots,6 \quad (\text{Π4.21})$$

όπου τα Δ_{jk} , A_{jk} , B_{jk} , και C_{jk} , έχουν ήδη οριστεί.

Για ένα σώμα με συμμετρία ως προς τον Ox άξονα, οι 6 συζευγμένες εξισώσεις μειώνονται σε 2 ομάδες των τριών, μία ομάδα για τα surge, heave, pitch και μία για τα sway, roll, yaw.

Επιπλέον για λεπτόγραμμα σχετικά γάστρες οι δυνάμεις οι σχετικές με το surge είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές που αφορούν τις υπόλοιπες 5 κινήσεις. Έτσι οι 3 συζευγμένες εξισώσεις για τα surge, heave, pitch μπορούν να απλοποιηθούν σε 2 για τα heave και pitch [2-Salvesen 1970].

Εξισώσεις σε Heave και Pitch :

$$(\Delta + A_{33})\ddot{\eta}_3 + B_{33}\dot{\eta}_3 + C_{33}n_3 + A_{35}\ddot{\eta}_5 + B_{35}\dot{\eta}_5 + C_{35}n_5 = F_3 e^{i\omega_e t} \quad (\text{Π4.22})$$

$$A_{53}\ddot{\eta}_3 + B_{53}\dot{\eta}_3 + C_{53}n_3 + (I + A_{55})\ddot{\eta}_5 + B_{55}\dot{\eta}_5 + C_{55}n_5 = F_5 e^{i\omega_e t} \quad (\text{Π4.23})$$

Δεν περιλαμβάνονται συνεκτικά φαινόμενα, απλούστευση επιτρεπτή καθώς στις κάθετες κινήσεις η συνεκτική απόσβεση είναι πολύ μικρή έτσι και αλλιώς. Οπότε η μόνη απόσβεση αφορά την διάχυση ενέργειας για την δημιουργία κυματισμών κατά την προχώρηση της γάστρας. Επιπροσθέτως θεωρούμε πως οι κυματισμοί αυτοί δεν επιδρούν στις διάφορες κινήσεις του πλοίου και πως το μήκος τους είναι της τάξεως του πλάτους του πλοίου και όχι του μήκους του. Έτσι έχουμε να κάνουμε με χαμηλές συχνότητες, όπου στα heave και pitch οι υδροστατικές δυνάμεις κυριαρχούν, οπότε ανακρίβειες στους υδροδυναμικούς συντελεστές έχουν μικρή μονάχα επίδραση στα τελικά αποτελέσματα.

Για τους συντελεστές πρόσθετης μάζας και απόσβεσης έχουμε

$$A_{33} = \int a_{33} dx - \frac{U}{\omega^2} b_{33}^A \quad (\text{Π4.24})$$

$$B_{33} = \int b_{33} dx + U a_{33}^A \quad (\text{Π4.25})$$

$$A_{35} = -\int x a_{33} dx - \frac{U}{\omega^2} B_{33}^0 + \frac{U}{\omega^2} x_A b_{33}^A - \frac{U^2}{\omega^2} a_{33}^A \quad (\text{Π4.26})$$

$$B_{35} = -\int x b_{33} dx - U A_{33}^0 + U x_A a_{33}^A - \frac{U^2}{\omega^2} b_{33}^A \quad (\text{Π4.27})$$

$$A_{53} = -\int x a_{33} dx + \frac{U}{\omega^2} B_{33}^0 + \frac{U}{\omega^2} x_A b_{33}^A \quad (\text{Π4.28})$$

$$B_{53} = -\int x b_{33} dx - U A_{33}^0 - U x_A a_{33}^A \quad (\text{Π4.29})$$

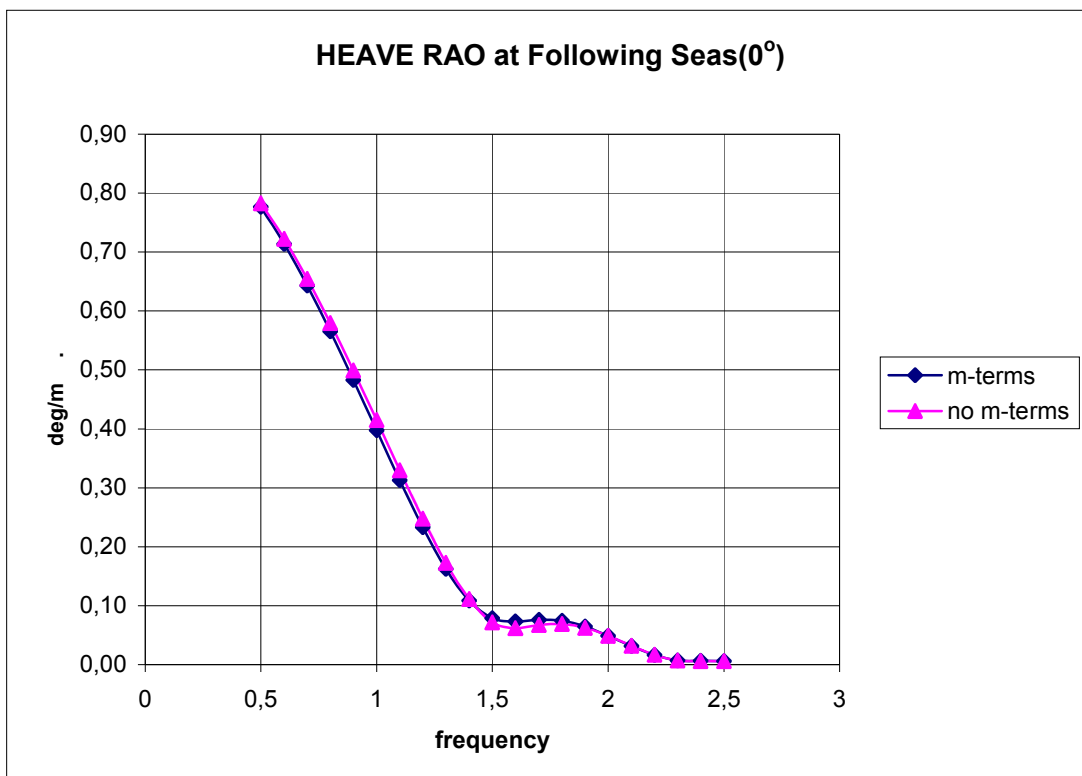
$$A_{55} = \int x^2 a_{33} dx + \frac{U}{\omega^2} A_{33}^0 - \frac{U}{\omega^2} x_A^2 b_{33}^A + \frac{U^2}{\omega^2} x_A a_{33}^A \quad (\text{Π4.30})$$

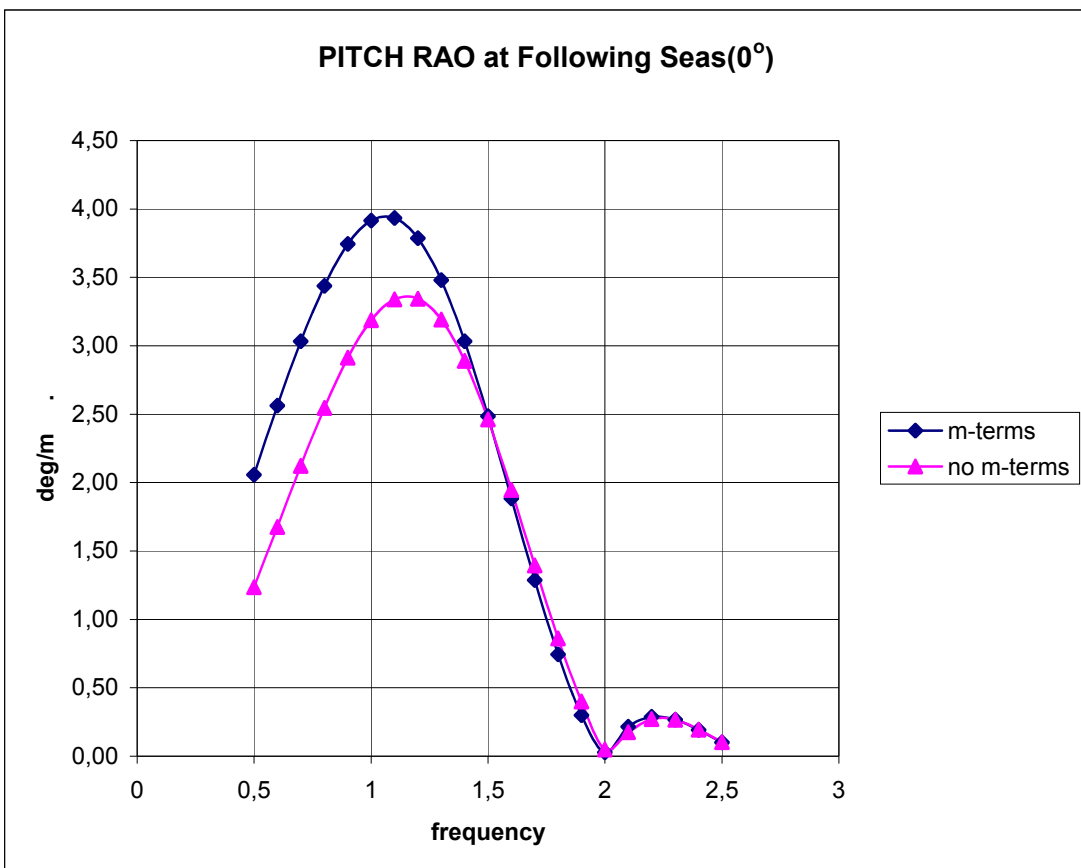
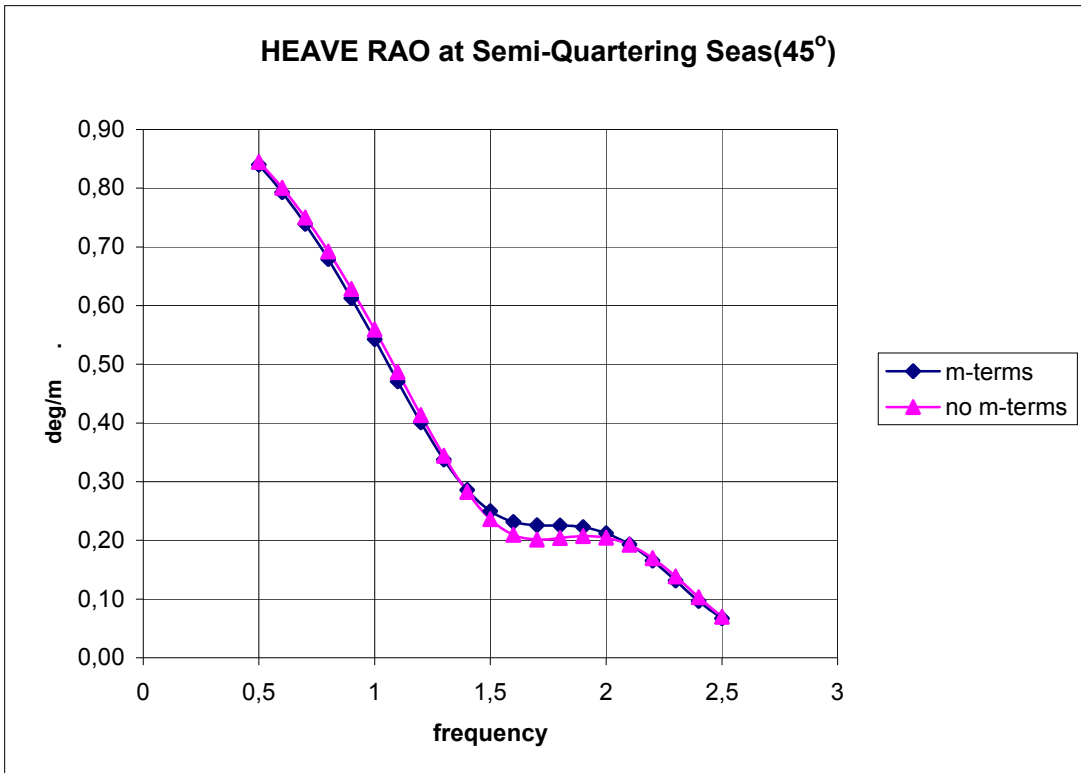
$$B_{55} = \int x^2 b_{33} dx + \frac{U}{\omega^2} B_{33}^0 + \frac{U}{\omega^2} x_A^2 a_{33}^A + \frac{U^2}{\omega^2} x_A b_{33}^A \quad (\text{Π4.31})$$

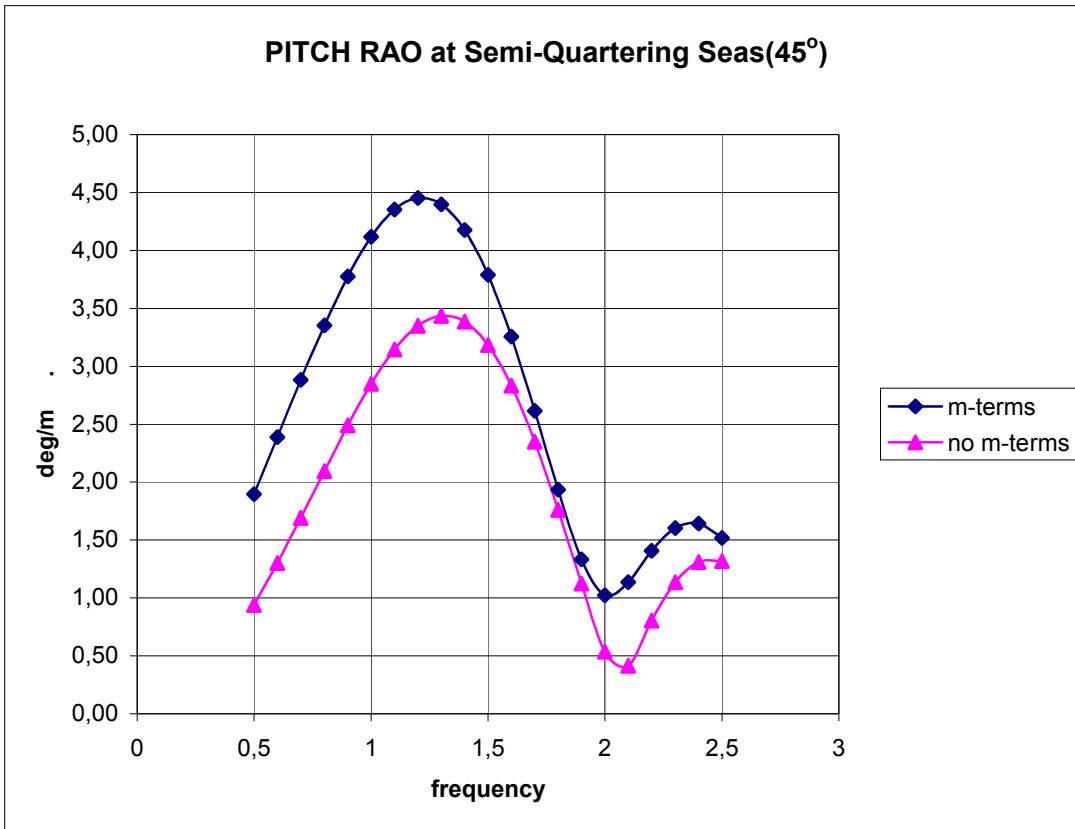
Όλες οι ολοκληρώσεις αφορούν το μήκος του πλοίου, οι όροι A_{33}^0 και B_{33}^0 αναφέρονται στο ανεξάρτητο της ταχύτητας μέρος των A_{33} και B_{33} , x_A είναι η x-συντεταγμένη και a_{33}^A και b_{33}^A η πρόσθετη μάζα και συντελεστής απόσβεσης για τον πυρμαίο νομέα.

Τα a_{33}^A και b_{33}^A και h_3^A είναι ουσιαστικά τα m-terms τα οποία συνήθως δεν περιλαμβάνονται στις θεωρίες λωρίδων. Υπολογισμοί έχουν δείξει ότι έχουν σημαντική επίδραση στις κινήσεις των πλοίων και ιδιαίτερα σε αυτά με απότομες αλλαγές γεωμετρίας στην πρύμνη. Το αν απαιτείται η παρουσία τους στις εξισώσεις είναι συζητήσιμο. Η θέση είναι ότι η θεωρία λωρίδων μειονεκτεί στις απότομες αλλαγές στην πρύμνη καθώς αυτές αναιρούν την υπόθεση μικρών μεταβολών στην διαμήκη κατεύθυνση. Η αντίθεση όμως αφορά τις μεγαλύτερες ταχύτητες όπου η ροή στην πρύμνη δεν παρουσιάζει απότομες αλλαγές κατεύθυνσης και επομένως η θεωρία λωρίδων μπορεί να σταθεί ικανοποιητικά. Το γεγονός όμως είναι ότι με την παρουσία των m-terms στις εξισώσεις τα αποτελέσματα των αριθμητικών προσεγγίσεων πλησιάζουν πολύ τα αντίστοιχα πειραματικά.

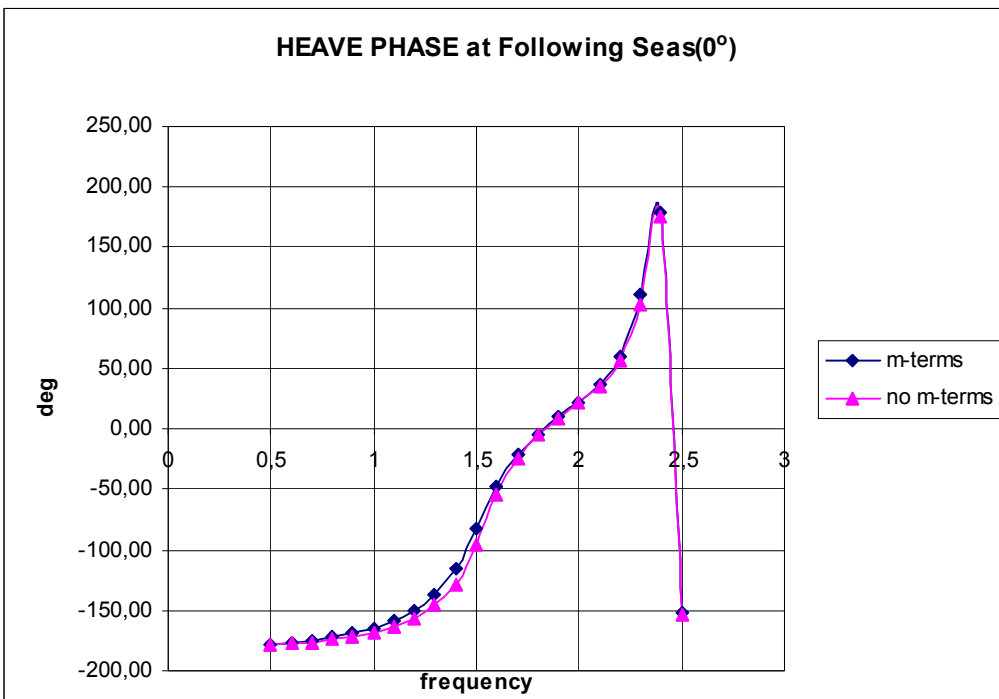
Παρακάτω βλέπουμε την επίδραση των m-terms σε Heave και Pitch RAOS ενδεικτικά για κυματισμούς που προέρχονται από κατεύθυνση 0° και 15° με την τρίτη ανύψωση καρίνας και ταχύτητα 7 kn.

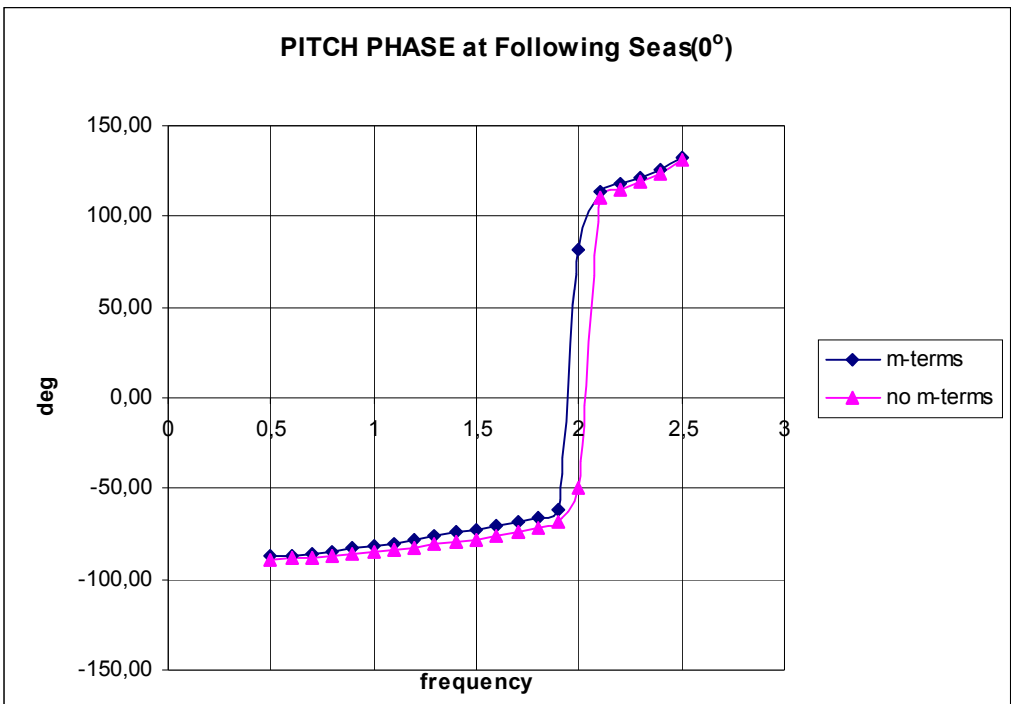
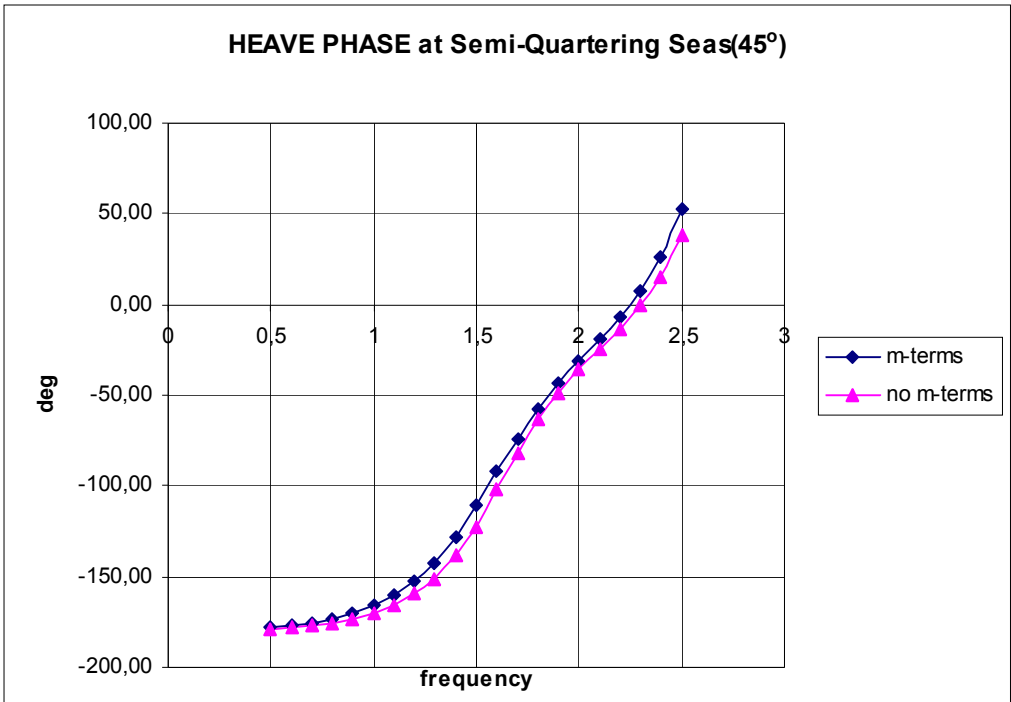


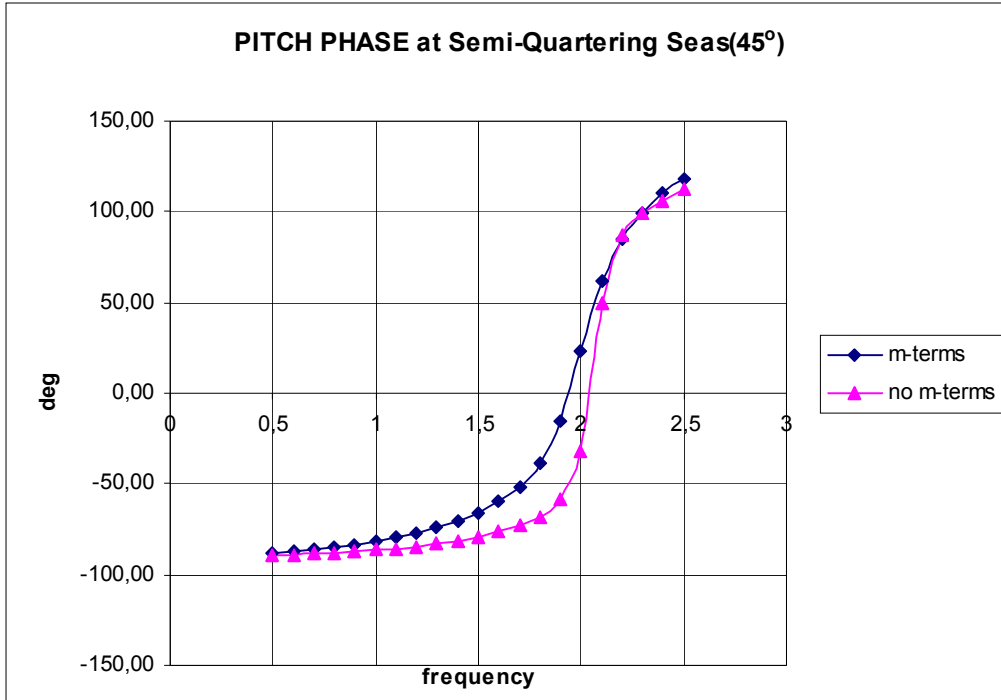




Εύκολα παρατηρούμε πως ενώ στο Heave τα αποτελέσματα με και χωρίς m-terms και αποκλίνουν ελάχιστα, στο Pitch το μέγιστο πλάτος αυξάνεται στα m-terms μέχρι και 1° ,μέγεθος μεγάλο σχετικά με την μέγιστη τιμή που παρουσιάζεται. Θα εξετάσουμε τώρα τις φάσεις στις προσεγγίσεις.







Πάλι στις 2 περιπτώσεις για το Heave η διαφορά δεν είναι τόσο μεγάλη, ενώ για το Pitch η απόκλιση των δύο προσεγγίσεων αυξάνει. Επειδή όπως ήδη αναφέρθηκε, σε συγκρίσεις μεταξύ των δύο μεθόδων και πειραματικών μετρήσεων σε δεξαμενές, οι τιμές που περιλαμβάνουν την επίδραση των m-terms έδειξαν να βρίσκονται πιο κοντά στις πειραματικές, επιλέγουμε να συνεχίσουμε με τα m-terms ενεργά στο WAVELOAD της TRIDENT.

Εξισώσεις σε Sway, Roll και Yaw :

$$(\Delta + A_{22})\ddot{n}_2 + B_{22}\dot{n}_2 + (A_{24} - Mz_C)\ddot{n}_4 + B_{24}\dot{n}_4 + A_{26}\ddot{n}_6 + B_{26}\dot{n}_6 = F_2 e^{i\omega_e t} \quad (\text{Π4.32})$$

$$\begin{aligned} (A_{42} - Mz_C)\ddot{n}_2 + B_{42}\dot{n}_2 + (A_{44} - I_4)\ddot{n}_4 + B_{44}\dot{n}_4 + C_{44}n_4 + (A_{46} - I_{46})\ddot{n}_6 + B_{46}\dot{n}_6 = \\ = F_4 e^{i\omega_e t} \end{aligned} \quad (\text{Π4.33})$$

$$A_{62}\ddot{n}_2 + B_{62}\dot{n}_2 + (A_{64} - I_{46})\ddot{n}_4 + B_{64}\dot{n}_4 + (A_{66} + I_{66})\ddot{n}_6 + B_{46}\dot{n}_6 = F_6 e^{i\omega_e t} \quad (\text{Π4.34})$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4Α

και

$$A_{22} = \int a_{22} dx - \frac{U}{\omega^2} b_{22}^A \quad (\Pi 4.35)$$

$$B_{22} = \int b_{22} dx + U a_{22}^A \quad (\Pi 4.36)$$

$$A_{24} = A_{42} = \int a_{24} dx - \frac{U}{\omega^2} b_{24}^A \quad (\Pi 4.37)$$

$$B_{24} = B_{42} = \int b_{24} dx + U a_{24}^A \quad (\Pi 4.38)$$

$$A_{26} = \int x a_{22} dx + \frac{U}{\omega^2} B_{22}^0 - \frac{U}{\omega^2} x_A b_{22}^A + \frac{U^2}{\omega^2} a_{22}^A \quad (\Pi 4.39)$$

$$B_{26} = \int x b_{22} dx - U A_{22}^0 + U x_A a_{22}^A + \frac{U^2}{\omega^2} b_{22}^A \quad (\Pi 4.40)$$

$$A_{44} = \int a_{44} dx - \frac{U}{\omega^2} b_{44}^A \quad (\Pi 4.41)$$

$$B_{44} = \int b_{22} dx + U a_{44}^A + B_{44}^* \quad (\Pi 4.42)$$

$$A_{46} = \int x a_{24} dx + \frac{U}{\omega^2} B_{24}^0 - \frac{U}{\omega^2} x_A b_{24}^A + \frac{U^2}{\omega^2} a_{24}^A \quad (\Pi 4.43)$$

$$B_{46} = \int x b_{24} dx - U A_{24}^0 + U x_A a_{24}^A + \frac{U^2}{\omega^2} b_{24}^A \quad (\Pi 4.44)$$

$$A_{62} = \int x a_{22} dx - \frac{U}{\omega^2} B_{22}^0 - \frac{U}{\omega^2} x_A b_{22}^A \quad (\Pi 4.45)$$

$$B_{62} = \int x b_{22} dx + U A_{22}^0 + U x_A a_{22}^A \quad (\Pi 4.46)$$

$$A_{64} = \int x a_{24} dx - \frac{U}{\omega^2} B_{24}^0 - \frac{U}{\omega^2} x_A b_{24}^A \quad (\Pi 4.47)$$

$$B_{64} = \int x b_{24} dx + U A_{24}^0 + U x_A a_{24}^A \quad (\Pi 4.48)$$

$$A_{66} = \int x^2 a_{22} dx + \frac{U^2}{\omega^2} A_{22}^0 - \frac{U}{\omega^2} x_A^2 b_{22}^A + \frac{U^2}{\omega^2} a_{22}^A \quad (\Pi 4.49)$$

$$B_{66} = \int x^2 b_{22} dx + \frac{U^2}{\omega^2} B_{22}^0 + U x_A^2 a_{22}^A + \frac{U^2}{\omega^2} x_A b_{22}^A \quad (\Pi 4.50)$$

Η απόσβεση είναι επισφαλές να υπολογίζεται χωρίς διόρθωση για την συνεκτικότητα. Συγκρίσεις μεταξύ αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων δείχνουν ότι ο συντελεστής B_{44} επηρεάζεται σημαντικά από τα συνεκτικά φαινόμενα, ακόμα και όταν η γάστρα δεν έχει bilge keels, και το πλάτος του διατοιχισμού μπορεί να υπολογισθεί με ικανοποιητική ακρίβεια σε συχνότητες γύρω από την περιοχή του συντονισμού μόνο αν συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς τα φαινόμενα αυτά (viscous roll damping)

Αυτό φαίνεται και στην περίπτωση μελέτης του ιστιοπλοϊκού με τον frequency domain κώδικα WAVELOAD της TRIDENT καθώς το πρόγραμμα ενώ αντιλαμβάνεται την διαφορά δεδομένων εισαγωγής (input) ανάμεσα σε viscous και non-viscous περιπτώσεις, οι αποκρίσεις που εξάγει παρουσιάζονται ίδιες.

Αυτό σημαίνει ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η αντίσταση που επιφέρουν στον διατοιχισμό η τριβή (viscous friction resistance) και η δημιουργία δινών γύρω από την γάστρα (eddy making resistance). Πολύ πιθανό το πρόβλημα αυτό του κώδικα να οφείλεται στις μικρές διαστάσεις της γάστρας και ιδιαίτερα στο βύθισμα της, καθώς σε διερεύνηση «συμπεριφοράς» του κώδικα, τα αποτελέσματα έδειχναν να ομαλοποιούνται περισσότερο με πολυ μικρές αλλαγές του βυθίσματος, καθώς σε δοκιμές σε γάστρα δεκαπλάσιου περίπου μήκους ο κώδικας έδειξε να ανταποκρίνεται στα συνεκτικά φαινόμενα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4Α

FORMAT ΑΡΧΕΙΟΥ *.lof ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Line of Form

9.492	12		(ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΘΕΣΗ ΝΟΜΕΑ ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ)
1	0	1.11	(Α/Α ΣΗΜΕΙΟΥ Y-Z ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ)
2	0.006	1.113	
3	0.069	1.277	
4	0.14	1.474	
5	0.227	1.716	
6	0.282	1.868	
7	0.326	1.991	
8	0.389	2.171	
9	0.476	2.422	
10	0.544	2.624	
11	0.635	2.907	
12	0.807	3.493	
end			(ΤΕΛΟΣ ΑΡΧΕΙΟΥ)

FORMAT ΑΡΧΕΙΟΥ *.dmp ΣΥΝΕΚΤΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Ο πρώτος αλγόριθμος υπολογίζει τον συντελεστή απόσβεσης που ωφείλεται στην παρουσία bilge keels στην γάστρα. Το συγκεκριμένο ιστιοπλοϊκό είναι απλής μορφής, με την έννοια ότι καρίνες υπό κλίση που δεν έχουν ρίζα πάνω στην center-line και θα μπορούσαν να θεωρηθούν σαν bilge keels έχουν παρουσιαστεί σε ιστιοπλοϊκά τα τελευταία χρόνια. Έτσι ο συγκεκριμένος αλγόριθμος παρέμενε ανενεργός.

Ο δεύτερος και τρίτος αλγόριθμος αφορούν την απόσβεση που επιφέρουν η δημιουργία δινών(eddy making) και η τριβή στο σκάφος και ορίζονται μέσω στοιχείων όπως το πλάτος κάθε νομέα, η βρεχόμενη επιφάνεια μεταξύ δύο νομέων, η γωνία εισόδου της γάστρας στην περιοχή της ισάλου κτλ. Οι αλγόριθμοι αυτοί επιλέχτηκαν να είναι ενεργοί.

Ο τέταρτος αλγόριθμος είναι ο σημαντικότερος για την συγκεκριμένη μελέτη, αφού αφορά την επίδραση παρελκομένων στην απόσβεση. Εδώ τα ζητούμενα δεδομένα είναι οι y,z συντεταγμένες της καρίνας, η γωνία που έχει, οι χορδές της ρίζας και του ακροπτερυγίου(root chord,end) chord και η έκτασή της (span).

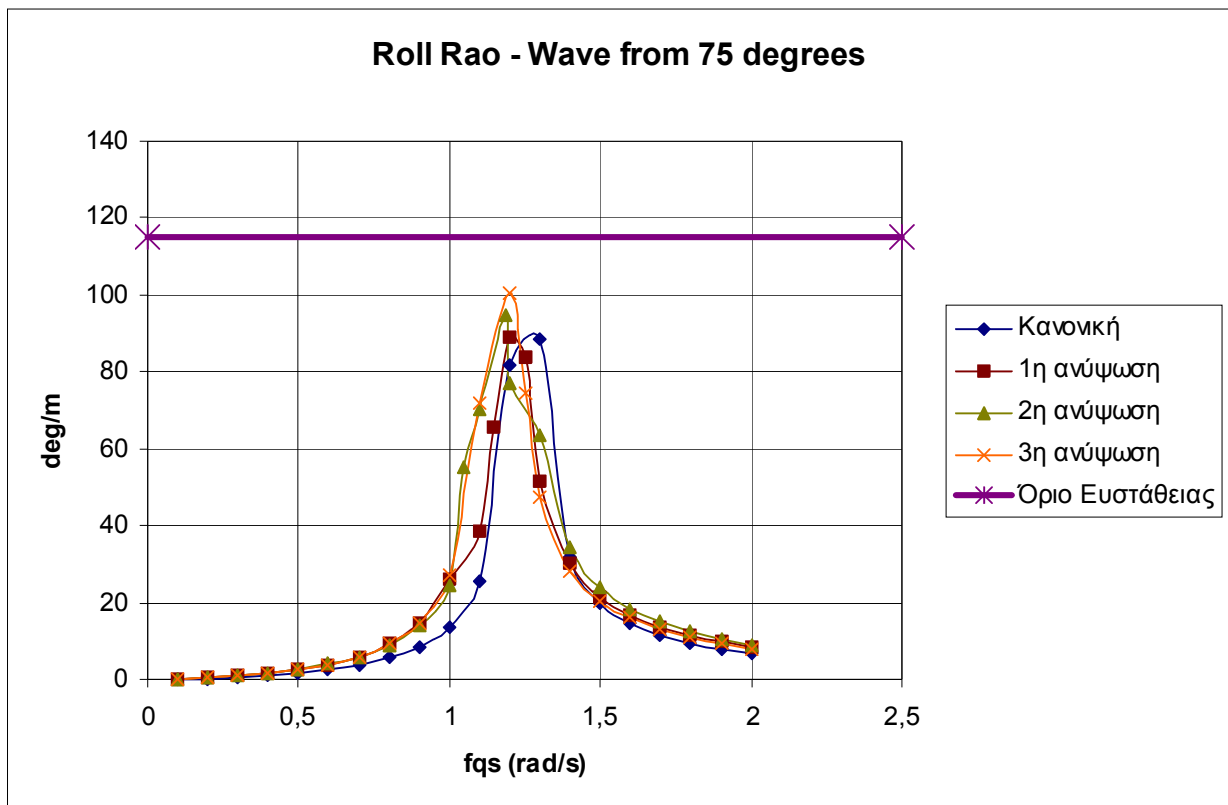
Τονίζεται ότι ο κώδικας δεν απαιτεί την διαμήκη θέση της καρίνας, παράγοντας που επιδρά στην πλευσιμότητα, αφού fin-keel-type πτερύγια τοποθετημένα προς την πλώρη έχουν πολύ διαφορετική επίδραση από αυτά που τοποθετούνται πρυμναία.[5 – Pavon 2004].

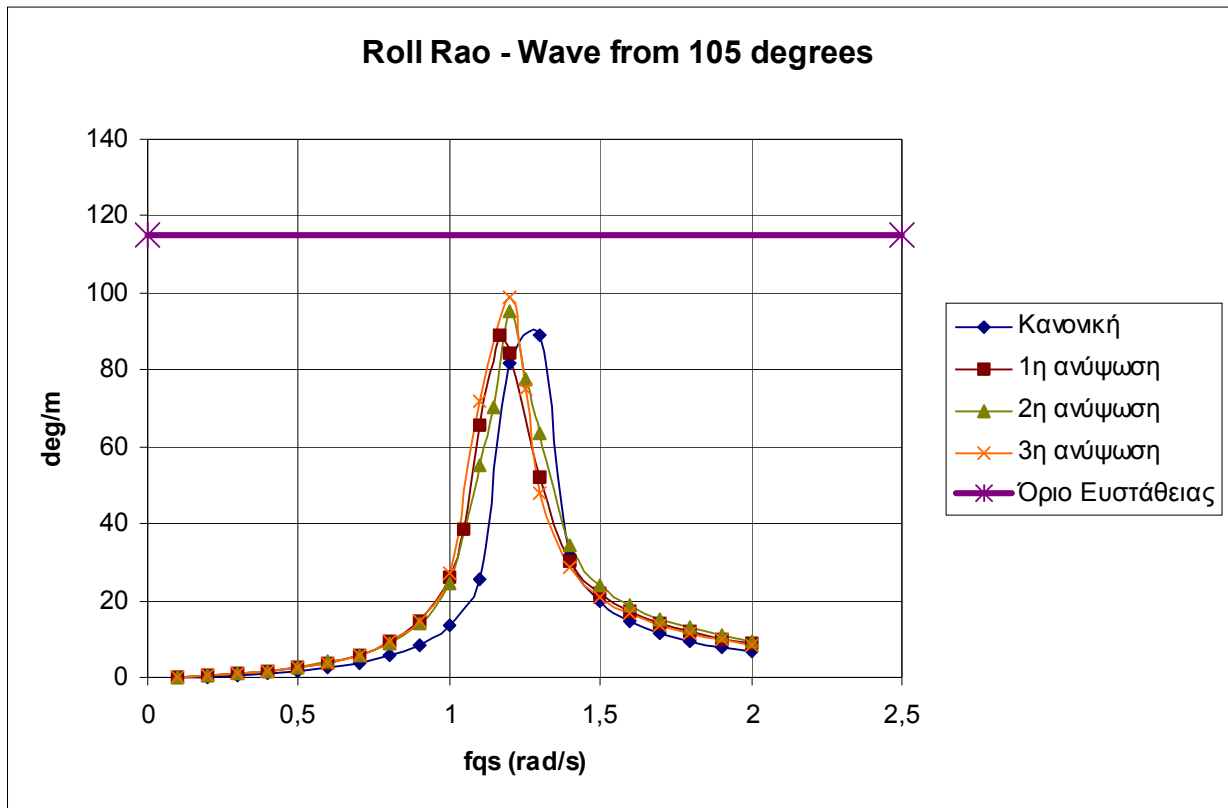
Έτσι αλλάζοντας τιμές στα root chord και span θα μπορούσαμε να προσομοιώσουμε την ανύψωση της καρίνας και την εισαγωγή της μέσα στην γάστρα.

Ο πέμπτος και τελευταίος αλγόριθμος αφορά την επίδραση του πηδαλίου ή skeg στο σκάφος

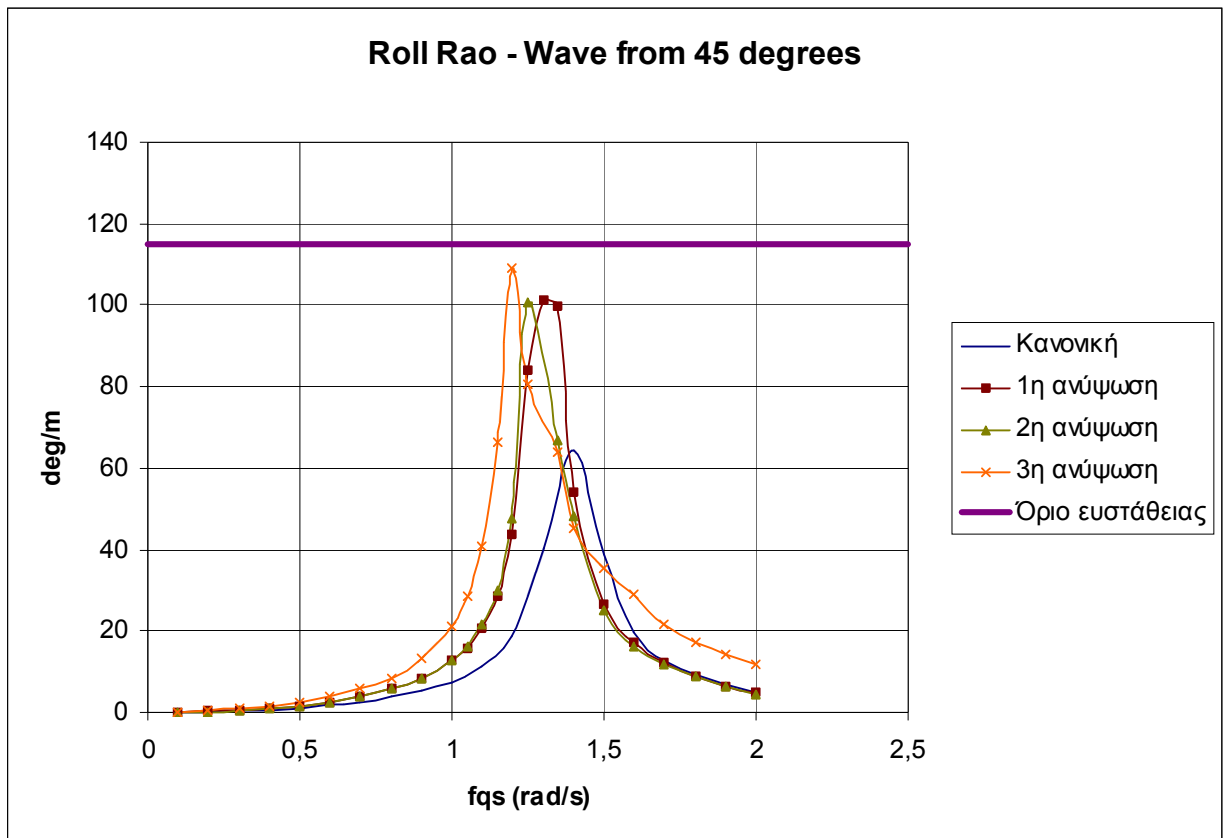
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

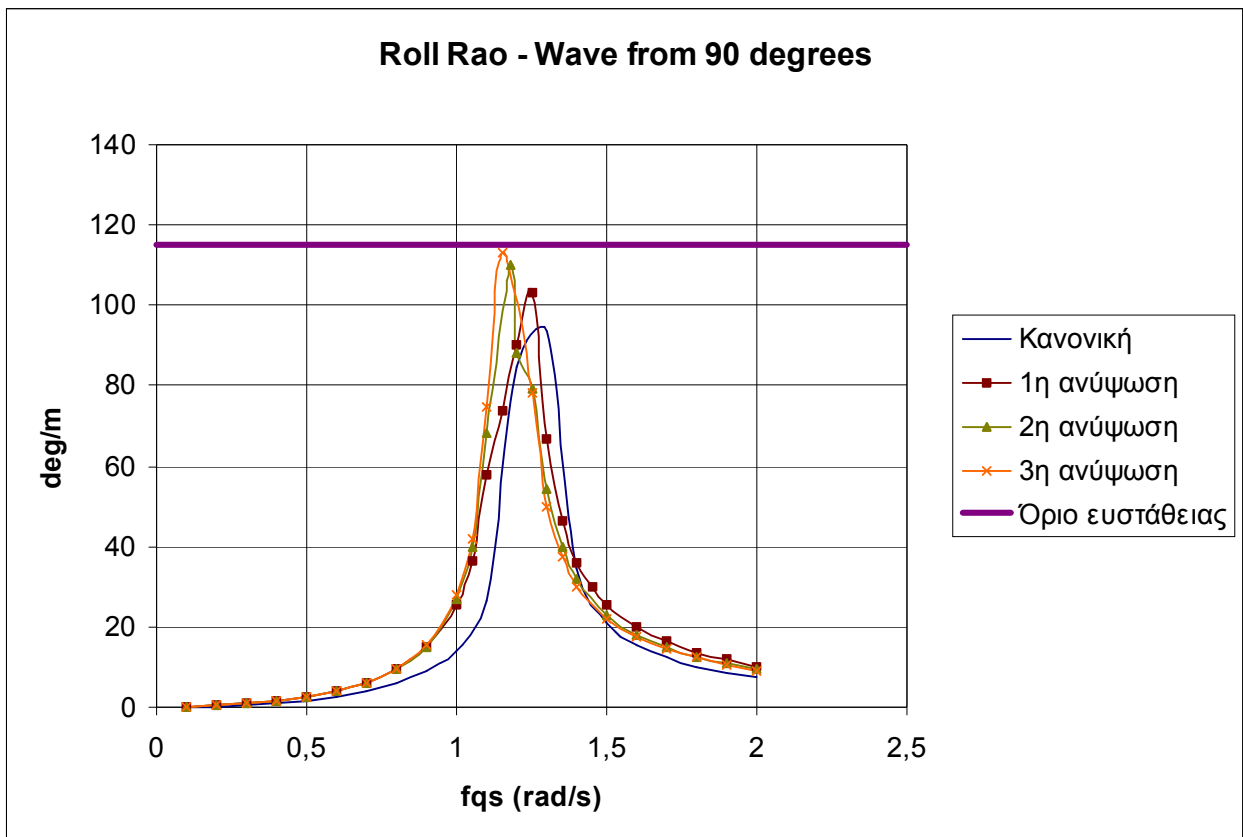
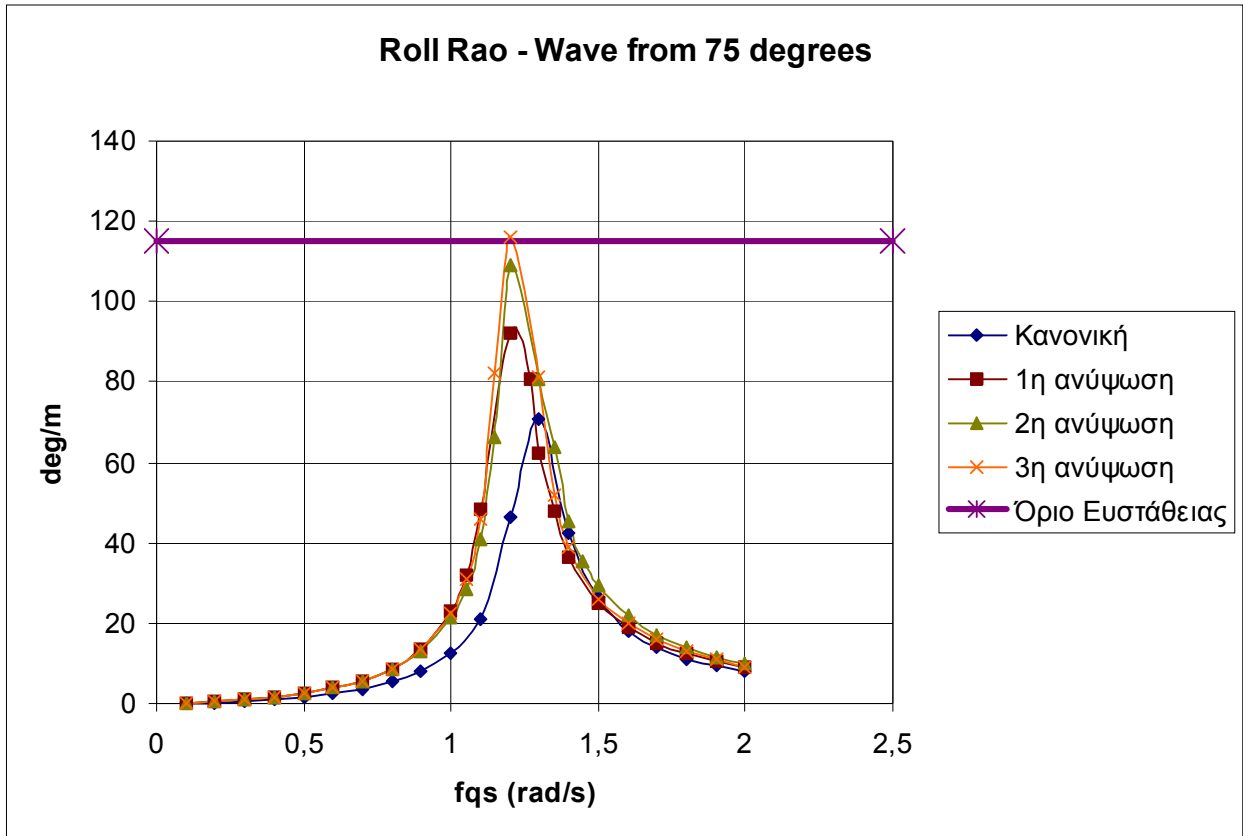
Roll RAO για 0kn

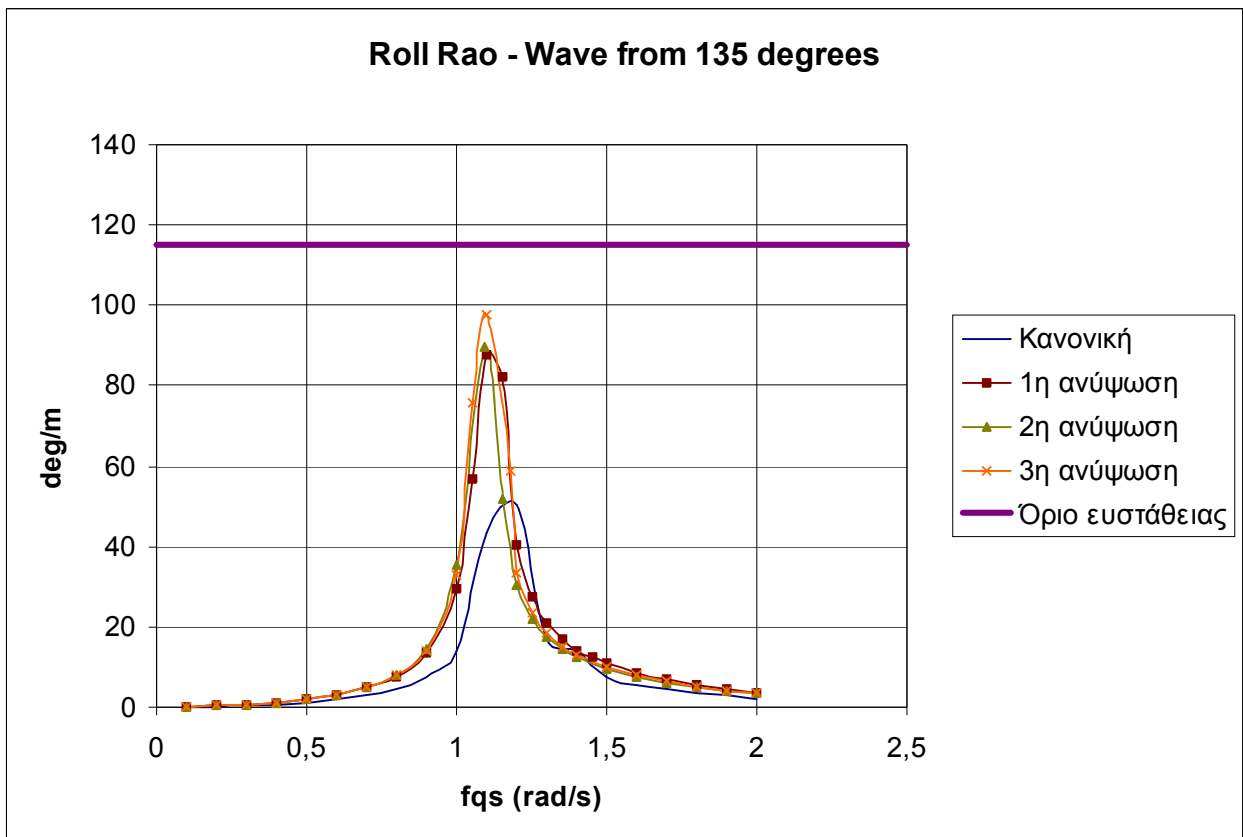
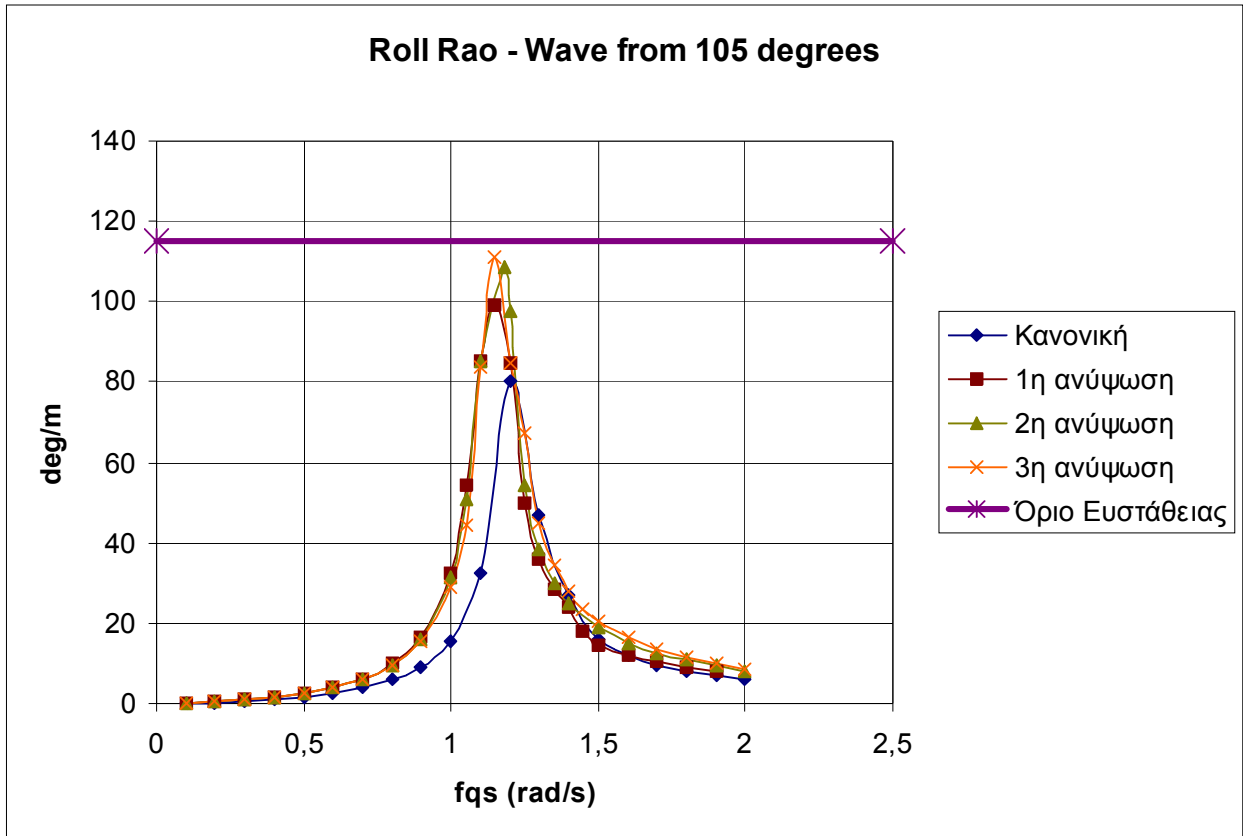




Roll RAO για 2kn







Roll RAO για 4kn

