

**Τ.Ε.Ι. Σερρών
Τμήμα Μηχανολογίας**

Μελέτη αντιστάσεων για το Ερευνητικό Σκάφος Bernicia



Από τον Δημήτρη Γκαγκανάτσιο

**Επιβλέπων
ΠΡΟΔΡΟΜΟΥ Ιωάννης**

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Σκοπός.....	2

Κεφάλαιο 2 : Αντίσταση σε ήρεμη θάλασσα

2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Πειράματα με μοντέλο.....	4
2.3 Δεξαμενή.....	5
2.4 Πειραματική διαδικασία.....	6
2.5 Μέθοδοι υπολογισμού αντίστασης μέσω αναγωγής.....	6
2.5.1 2-D Extrapolation.....	7
2.5.2 3-D Extrapolation.....	8
2.6 Form Factor (Συντελεστής μορφής).....	9
2.7 Αποτελέσματα.....	10

Κεφάλαιο 3: Υπολογισμός αντίστασης με αναλυτικούς τρόπους

3.1 Εισαγωγή.....	21
3.2 Holtrop and Mennen.....	21
3.2.1 Περιγραφή της μεθόδου.....	21
3.2.2 Excel Software.....	28
3.2.3 Αποτελέσματα.....	29
3.2.4 Σχόλια.....	40
3.3 Oortmerssen : Μια εναλλακτική μέθοδος πρόβλεψης της απαιτούμενης ισχύος.....	42
3.3.1 Περιγραφή της μεθόδου.....	42
3.3.2 Προγραμματισμός στο Excel	44
3.3.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	44
3.3.4 Σχόλια.....	51
3.4 Σύγκριση μεταξύ όλων των μεθόδων	52
3.4.1 Σχόλια.....	53

Κεφάλαιο 4: Αντίσταση σε θάλασσα με κύματα

4.1 Εισαγωγή.....	54
4.2 Πειραματική διαδικασία.....	54
4.3 Αποτελέσματα για κύματα από πλώρα	55
4.4 Αποτελέσματα για κύματα από πρύμα	65

Κεφάλαιο 5: Αντίσταση κυμάτων από το Maxsurf

5.1 Εισαγωγή.....	69
5.2 Seakeeper (μέρος του Maxsurf)	69
5.2.1 Παράμετροι κα αποτελέσματα	69
5.2.2 Σχόλια.....	73
5.3 Tribon.....	74
5.3.1 Παράμετροι και αποτελέσματα	74
5.3.2 Σχόλια.....	76
<u>Κεφάλαιο 6: Αντίσταση Αέρα</u>	
6.1 Εισαγωγή.....	78
6.2 Η μέθοδος του Isherwood	78
6.2.1 Αποτελέσματα	79
6.3 NPL/BSRA.....	82
6.3.1 Αποτελέσματα.....	83
6.4 BSRA.....	85
6.4.1 Αποτελέσματα.....	86
6.5 Σχόλια.....	88
<u>Κεφάλαιο 7</u>	
Συμπεράσματα.....	89
Βιβλιογραφία.....	91

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή

Λέγοντας συντελεστής απόδοσης εννοούμε τον συσχετισμό μεταξύ της προσδιδόμενης ενέργειας και του παραγόμενου έργου. Με δεδομένο πως τα πλοία έχουν μια πληθώρα αναγκών που πρέπει να ικανοποιηθούν, είναι φανερό πως μόνο ένα μέρος από την ενέργεια αυτή θα φτάσει τελικά να μεταμορφωθεί σε κινητική ενέργεια και να κινήσει το πλοίο. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από τους επιμέρους συντελεστές απόδοσης.

Ο συντελεστής απόδοσης των πλοίων αποτελούσε πάντα ένα θέμα προς εξερεύνηση τόσο από τους σχεδιαστές όσο και από όλους γενικά τους μηχανικούς που αναμιγνύονται είτε στην κατασκευή είτε στην συντήρησή τους. Η ανάγκη για συνεχή βελτίωση στον σχεδιασμό και στην λειτουργία των θαλάσσιων οχημάτων, σαν μέρος της διαδικασίας εξέλιξης, είναι αυτό που οδηγεί την έρευνα στην βαθύτερη και τελικά πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των νόμων που διέπουν την συμπεριφορά τους.

Ο ολικός συντελεστής απόδοσης ενός πλοίου μπορεί να τεντωθεί από τόσα σημεία όσα είναι και τα μεμονωμένα εξαρτήματα που το αποτελούν και άρα εξαρτάται άμεσα από τις κατά τόπου βελτιώσεις και ανακαλύψεις, μέσα στα πλαίσια της ναυτιλιακής κοινότητας και όχι μόνο. Το γενικό ενδιαφέρον για τους διαφορετικούς τομείς της αποδοτικότητας των πλοίων παραμένει σταθερό στο πέρασμα του χρόνου αλλά κάποιοι από αυτούς για πολιτικούς, περιβαλλοντολογικούς, και κυρίως οικονομικούς λόγους γίνονται επίκεντρο ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Μοιραία όμως, τα στοιχεία εκείνα με το μεγαλύτερο μερίδιο στην απόδοση και άρα με τα μεγαλύτερα οφέλη σε περίπτωση βελτίωσης τους, είναι πάντα αυτά που θα τεθούν επί τάπητος πρώτα είτε σκοπός είναι η ευθυγράμμιση με τις πρόσφατες ανάγκες της αγοράς (π.χ. μεγαλύτερες ταχύτητες) και γενικότερα η τεχνική βελτίωση είτε η περαιτέρω βελτίωση της οικονομικής απόδοσης του πλοίου.

Η άνοδος των τιμών του ακατέργαστου πετρελαίου τα τελευταία έτη, έχει τοποθετήσει την κατανάλωση καυσίμων στην κορυφή των προτεραιοτήτων και έχει αναγκάσει τις επιχειρήσεις να επαναπροσδιορίσουν την λίστα με τους προς βελτίωση τομείς. Όσο αυτή η άνοδος συνεχίζεται τόσο θα συνεχίζεται και η όλο και πιο λεπτομερής έρευνα εκείνων των λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός πλοίου που μπορούν να καταδείξουν τα σημεία με το δυνατότερο αντίκτυπο στην κατανάλωση και γιατί όχι σημεία με μικρότερη αλλά κρίσιμη για τον ανταγωνισμό επίδραση.

Η δυναμική φύση των πλοίων εντούτοις είναι τέτοια, που η συνεχής παρακολούθηση των επιμέρους στοιχείων και η κατάλληλη ανάλυση των δεδομένων είναι απαραίτητες πριν μπορούν να εξαχθούν οποιαδήποτε ασφαλή συμπεράσματα.

Λαμβάνοντας υπόψη πως η συλλογή και εξασφάλιση του ποιοτικού επιπέδου των δεδομένων είναι γενικά πολύ δύσκολη διαδικασία, τα πειράματα και οι διάφοροι αναλυτικοί τρόποι υπολογισμού μπορούν να σηκώσουν μέρος του φορτίου και να αποτελέσουν άλλο ένα εργαλείο έρευνας και εξέλιξης.

1.2 Σκοπός

Μόνο ένα μέρος του πλήρους φακέλου της απόδοσης ενός πλοίου μπορεί να καλυφθεί στον εδώ διαθέσιμο χώρο. Αυτή η εργασία θα προσπαθήσει να καλύψει τους τρεις βασικότερους τομείς της αντίστασης που δέχεται ένα πλοίο: αντίσταση σε ήρεμη θάλασσα, αντίσταση σε κύματα και αντίσταση του αέρα. Οι αντιστάσεις αυτές ουσιαστικά αναφέρονται στο ποσό της ενέργειας που από κινητική της προπέλας γίνεται κινητική του πλοίου και άρα αγνοούν την ενέργεια που ξοδεύεται για τις διάφορες αντλίες, ηλεκτρογεννήτριες, θέρμανση, κλιματισμό και λοιπές ανάγκες του οχήματος. Εντούτοις αναφέρονται χωρίς αμφιβολία σε μια πολύ σημαντική πτυχή της απόδοσης.

Για αυτό τον σκοπό πειράματα με μοντέλο υπό κλίμακα θα διεξαχθούν στην δεξαμενή του πανεπιστημίου του Newcastle με απώτερο σκοπό να προσδιοριστεί η σχέση της αντίστασης με τις αλλαγές στην ταχύτητα, στον καταμερισμό του φορτίου και τις διάφορες αλλαγές στις περιβαλλοντολογικές συνθήκες.

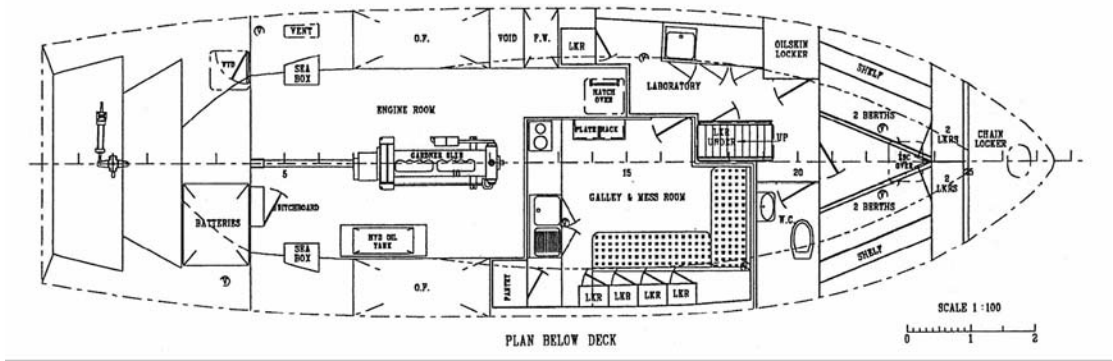
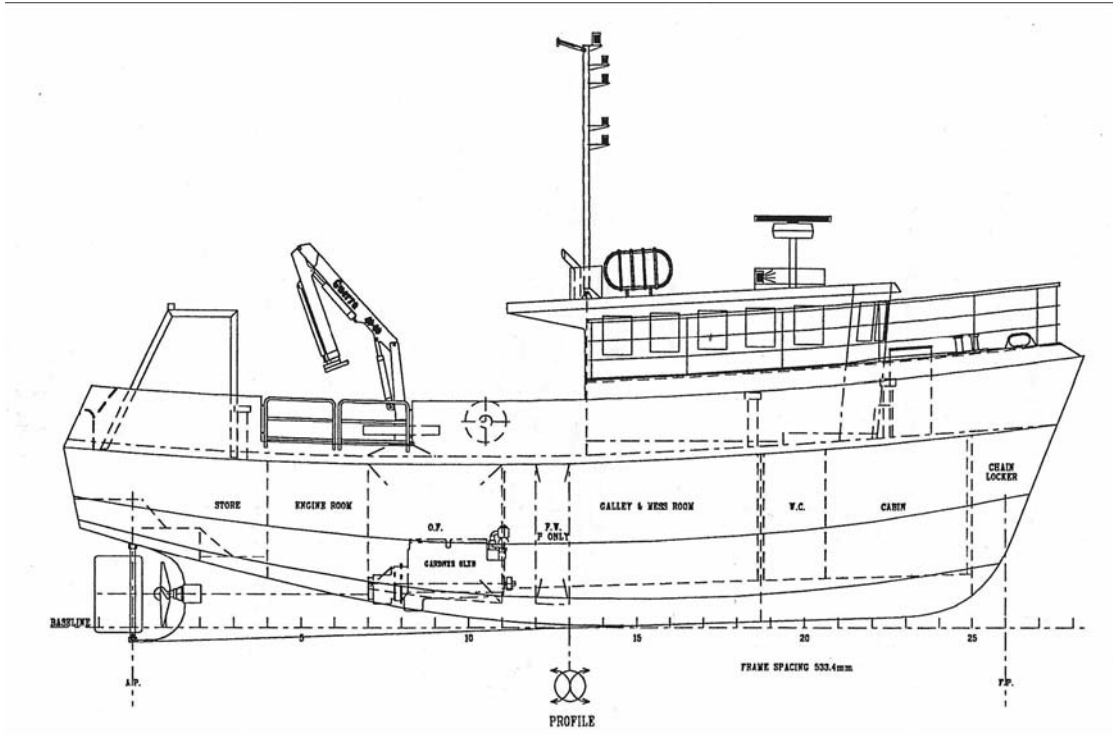
Πειράματα σε αεροσύραγγα θα συμπληρώσουν το πρακτικό μέρος αυτής της πτυχιακής.

Ο προσδιορισμός των τιμών αυτών μπορεί να καταδείξει ποιες είναι οι βέλτιστες συνθήκες για την λειτουργία του σκάφους και ποιες είναι αυτές που διαδραματίζουν τον βασικότερο ρόλο στην κατανάλωση της ενέργειας.

Επιπρόσθετα, αναλυτικοί τρόποι υπολογισμού θα χρησιμοποιηθούν σε μια προσπάθεια να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα από τα πειράματα και να καταδειχθούν τυχόν λάθη στην μία ή στην άλλη μέθοδο.

Προγράμματα σαν το Maxsurf και το Tribon θα αποτελέσουν άλλο ένα μέτρο σύγκρισης.

Το υπό κλίμακα μοντέλο είναι αυτό του ερευνητικού σκάφους Bernicia. Το σκάφος είναι ιδιοκτησία του πανεπιστημίου του Newcastle και χρησιμοποιείται κυρίως σαν ερευνητική πλατφόρμα από το τμήμα των ναυπηγών καθώς και από άλλα τμήματα. Ο επιστημονικός εξοπλισμός του επιτρέπει συλλογή δεδομένων υπό πραγματικές συνθήκες και χρόνο. Το σχέδιο του Bernicia φαίνεται παρακάτω.



Κεφάλαιο 2

Αντίσταση σε ήρεμη θάλασσα

2.1 Εισαγωγή

Η αντίσταση σε ήρεμη θάλασσα είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της ολικής αντίστασης ενός πλοίου. Ο υπολογισμός της είναι κάτι παραπάνω από απλά άλλο ένα κομμάτι στο παζλ της αντίστασης καθώς η χρησιμότητα της εκτείνεται και στον υπολογισμό της αντίστασης στα κύματα.

Αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσει μια περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας μαζί με τα συλλεχθέντα δεδομένα και τη σημασία τους.

2.2 Πειράματα με μοντέλο

Προκειμένου να έχουμε ένα χρήσιμο σετ από δεδομένα, το μοντέλο θα πρέπει να δοκιμαστεί σε ταχύτητες που θα αντιπροσωπεύουν αυτές τις πραγματικής κλίμακας και την ίδια στιγμή να παρέχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα με όσο το δυνατό περισσότερη λεπτομέρεια των μεταβολών της αντίστασης. Κατά συνέπεια τα πειράματα έγιναν σε διαφορετικές ταχύτητες και σε διαφορετικές συνθήκες φόρτωσης, οι τιμές των οποίων φαίνονται στον πίνακα 2.1.

* Λέγοντας «συνθήκες φόρτωσης» εννοείτε η υψομετρική διαφορά της πλώρης με την πρύμνη. Στα μεγάλα φορτηγά πλοία όντως ο καταμερισμός του φορτίου είναι πολύ σημαντικός και γενικά καθορίζει την διαφορά αυτή, στην υπό εξέταση περίπτωση όμως μια που δεν υπάρχει φορτίο η διαφορά μεταξύ πλώρης και πρύμνης καθορίζεται από την φυσική τάση του σκάφους να σηκώνει την πλώρη του. Προκειμένου να εξομοιώσουμε ακριβώς αυτή την συμπεριφορά και να εξερευνήσουμε την επίδραση της στην αντίσταση, τρεις διαφορετικές «συνθήκες φόρτωσης» θα δοκιμαστούν.

Πραγματική κλίμακα				
	Βύθιση	Υψομ διαφ	LCF	Μετατόπιση
Φόρτωση 1	1.87	0	6.284	60.44
Φόρτωση 2	1.87	0,71	6.78	59.27
Φόρτωση 3	1.87	0,89	6.914	59.21

Κλίμακα 1/12				
	Βύθιση	Υψομ διαφ	LCF	Μετατόπιση
Φόρτωση 1	155.8	0,0	523.7	34.98
Φόρτωση 2	155.8	59,2	565.0	34.30
Φόρτωση 3	155.8	74,2	576.2	34.27

Πίνακας 2.1

Εννέα ταχύτητες επιλέχθηκαν που καλύπτουν ολόκληρο το φάσμα λειτουργίας του σκάφους. Επομένως για κάθε μια από τις τρεις συνθήκες φόρτωσης εννέα τεστ έπρεπε να γίνουν. Οι ταχύτητες παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2.

Φόρτωση 1,2,3		
Πραγματική ταχύτητα (κόμβοι)	(m/s)	Ταχύτητα μοντέλου (m/s)
3	1.54	0,45
4	2.06	0,59
5	2.57	0,74
6	3.09	0,89
7	3.60	1.04
8	4.12	1.19
9	4.63	1.34
10	5.14	1.48
11	5.66	1.63

Πίνακας 2.2

Στις δυο αριστερές στήλες στον πίνακα 2.2 φαίνονται οι ταχύτητες του Bernicia σε πραγματικές συνθήκες. Σύμφωνα με αυτές η ταχύτητες που συνήθως δουλεύει το σκάφος είναι από 3 μέχρι 9-10 κόμβοι. Οι αντίστοιχες ταχύτητες για το μοντέλο βρέθηκαν μέσω της ισότητας του αριθμού Froude:

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

Όπου

λ : κλίμακα = 12

V_s : ταχύτητα πλοίου (s: ship) σε m/s

V_m : ταχύτητα μοντέλου (m: model) σε m/s

2.3 Δεξαμενή

Η δεξαμενή στο πανεπιστήμιο του Newcastle όπου διεξάχθηκαν τα πειράματα έχει μήκος 37m, πλάτος 3.7m και ονομαστικό βάθος 1.27m. Το μοντέλο ρυμουλκείται από ένα μηχανισμό που παίρνει κίνηση από ηλεκτροκινητήρα και κινείται πάνω σε ράγα. Είναι ικανό να επιταχύνει μοντέλα τριών μέτρων έως τα 3m/s. Η σύνδεση μεταξύ του μηχανισμού που βρίσκεται ακριβώς πάνω από το μοντέλο και του τελευταίου γίνεται

μέσω μεταλλικής ράβδου η οποία επιτρέπει μόνο την κάθετη κίνηση και το πιτσάρισμα. Επιπλέον διατάξεις περιλαμβάνουν τις «παραλίες», ένα συνδυασμό διάτρητου υλικού με πλέγμα σύρματος που σκοπό έχει να απορροφήσει την ενέργεια των κυμάτων μετά από κάθε τεστ με αποτέλεσμα να ηρεμεί τα νερά όσο το δυνατόν γρηγορότερα για το επόμενο τεστ. Η δεξαμενή περιλαμβάνει επίσης μηχανισμό παραγωγής και μέτρησης κυμάτων. Ανάμεσα στην σύνδεση της ράβδου με το μοντέλο έχει τοποθετηθεί ένα δυναμόμετρο που μετράει την αντίσταση που δέχεται το Bernicia ανά πάσα στιγμή. Οι τιμές αυτές μαζί με τις μεταβολές στην κίνηση του μοντέλου που καταγράφονται από ποτενσιόμετρα ενσωματωμένα στον μηχανισμό ρυμούλκησης, μεταφέρονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και παρουσιάζονται γραφικά με την βοήθεια του λογισμικού Labview.

2.4 Πειραματική διαδικασία

Μετά από την απαραίτητη διαδικασία ισορρόπησης έτσι ώστε να φέρουμε το μοντέλο στην επιθυμητή θέση και το κατάλληλο σετάρισμα του προγράμματος, το μοντέλο επιταχύνεται στην επιθυμητή ταχύτητα μέχρι να καλύψει σχεδόν όλο το μήκος της δεξαμενής. Αυτόματοι διακόπτες φροντίζουν ώστε η επιβράδυνση να γίνεται χωρίς κίνδυνο πρόσκρουσης.

Κατά την διάρκεια του τεστ δεδομένα λαμβάνονται από τους σένσορες κάθε 0.01s. Η επίδραση της απότομης επιτάχυνσης και επιβράδυνσης στην αρχή και το τέλος του τεστ αντίστοιχα, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Άλλοι παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το βάθος (από μέρα σε μέρα παρατηρούνται αλλαγές) και η καθαρότητα του νερού πρέπει να καταγράφονται και όπου αυτό είναι δυνατό να ρυθμίζονται. Μικρό βάθος και βρώμικο νερό μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στην μετρούμενη αντίσταση.

Εξίσου σημαντική είναι η ηρεμία του νερού λίγο πριν το τεστ. Γι' αυτό τον λόγο 20 με 30 λεπτά αναμονής πριν από κάθε τεστ είναι απαραίτητα ούτως ώστε το νερό να ηρεμήσει. Ο χρόνος αναμονής εξαρτάται από την ταχύτητα του προηγούμενου τεστ (όσο μεγαλύτερη τόσο περισσότερη η αναμονή)

2.5 Μέθοδοι υπολογισμού αντίστασης μέσω αναγωγής

Δυο μέθοδοι πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό της αντίστασης σε ήρεμη θάλασσα. Η πρώτη ονομάζεται 2-D extrapolation (αναγωγή) και η δεύτερη 3-D extrapolation. Και οι δυο αυτοί μέθοδοι αναγάγουν τα συλλεχθέντα δεδομένα από την δεξαμενή σε πραγματική κλίμακα. Ένας αλγόριθμος για την κάθε μια θα δοθεί παρακάτω.

2.5.1 2-D Extrapolation

Η ολική αντίσταση του μοντέλου δίνεται από τα πειράματα. Ο συντελεστής ολικής αντίστασης μπορεί τότε να υπολογιστεί βάσει του παρακάτω τύπου:

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2} \rho_M S_M V_M^2}$$

Όπου:

R_{TM} : ολική αντίσταση του μοντέλου (N)

ρ_M : πυκνότητα του νερού στην δεξαμενή (kg/m^3)

S_M : επιφάνεια του μοντέλου που βρέχεται από νερό (m^2)

V_M : ταχύτητα του μοντέλου (m/s)

Το επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός του αριθμού Reynolds:

$$Re_M = \frac{V_M L_M}{\nu_M}$$

Όπου:

Re_M : ο αριθμός Reynolds για το μοντέλο

L_M : το μήκος του μοντέλου (m)

ν_M : το κινηματικό ιξώδες

Στην συνέχεια ο αριθμός Reynolds μπορεί να αντικατασταθεί στον τύπο ITTC-57 ο οποίος επιτρέπει την εύρεση του συντελεστή τριβής.

$$C_{FM} = \frac{0.075}{(\log_{10} Re_M - 2)^2}$$

Όπου:

C_{FM} : συντελεστής τριβής

Ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης μπορεί τώρα εύκολα να υπολογιστεί:

$$C_{RM} = C_{TM} - C_{FM}$$

Στην πραγματική κλίμακα ακριβώς η ίδια σειρά υπολογισμών επαναλαμβάνεται (από τον αριθμό Reynolds και κάτω) μέχρι τον συντελεστή αντίστασης τριβής C_{FS} . Από κει και πέρα ο ολικός συντελεστής αντίστασης για το σκάφος μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον νόμο του Froude ο οποίος εξισώνει τους συντελεστές υπόλοιπης αντίστασης του μοντέλου με αυτόν του σκάφους.

$$C_{RM} = C_{RS}$$

Οπότε ο C_{TS} μπορεί να βρεθεί όπως προηγουμένως:

$$C_{TS} = C_{FS} + C_{RS}$$

Τέλος το R_T βρίσκεται άμεσα από τον τύπο:

$$R_{TS} = C_{TS} \frac{1}{2} \rho_s S_s V_s^2$$

2.5.2 3-D Extrapolation

Ο τρόπος αυτός ακολουθεί την ίδια μεθοδολογία μέχρι τον προσδιορισμό του συντελεστή αντίστασης τριβής. Από κει και πέρα η εύρεση του ολικού συντελεστή επιτυγχάνεται μέσω του συντελεστή αντίστασης των κυμάτων αφού βέβαια πριν έχει υπολογιστεί η αντίσταση viscous . Η βασική διαφορά άρα με την προηγούμενη μέθοδο είναι πως η αντίσταση του πλοίου χωρίζεται στα επιμέρους στοιχεία της με διαφορετικό σκεπτικό. Η αντίσταση viscous δεν είναι τίποτα άλλο από την αντίσταση τριβής πολλαπλασιαζόμενη με έναν συντελεστή που λαμβάνει υπόψη το τρισδιάστατο του σκάφους.

**Λέγοντας συντελεστής αντίστασης των κυμάτων εννοούμε την ενέργεια που φεύγει από το πλοίο σαν ενέργεια των κυμάτων. Όχι την σύγκρουση του πλοίου με τα κύματα. Τα πειράματα αυτά είναι σε ήρεμα νερά.

$$C_{VM} = (1+k) C_{FM}$$

Τώρα η ο συντελεστής αντίστασης των κυμάτων μπορεί να υπολογιστεί:

$$C_{WM} = C_{TM} - C_{VM}$$

Το C_{TM} έχει προσδιοριστεί προηγουμένως.

Χρησιμοποιώντας τον νόμο του Froude εξισώνουμε τους συντελεστές αντίστασης των κυμάτων:

$$C_{WM} = C_{WS}$$

Η viscous αντίσταση για το πλοίο υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο.

$$C_{VS} = (1+k) C_{FS}$$

Ο υπολογισμός του C_{TS} επιτρέπει πλέον και την εύρεση της αντίστασης:

$$C_{TS} = C_{VS} + C_{WS}$$

Τέλος:

$$R_{TS} = C_{TS} \frac{1}{2} \rho_s S_s V_s^2$$

2.6 Form Factor (συντελεστής μορφής)

Ο συντελεστής μορφής όπως άλλωστε προδίδει και το όνομά του, ουσιαστικά λαμβάνει υπόψη την τρισδιάστατη μορφή του πλοίου σε σχέση με μια δυσδιάστατη πλάκα.

***Τα πρώτα πειράματα για τον προσδιορισμό του συντελεστή τριβής, και της αντίστασης τριβής γενικότερα έγιναν από τον William Froude ο οποίος χρησιμοποίησε μια επίπεδη πλάκα με παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά του υλικού του πλοίου και με ίδιο μήκος (υπό κλίμακα) υπό εξέταση. Οι τιμές αυτές που προέκυψαν αποκλίνουν σε σχέση με την πραγματικότητα ακριβώς λόγω της διαφοράς μεταξύ δυο και τριών διαστάσεων.

Αγνοώντας τον διαχωρισμό της ροής έχουμε:

$$C_T = C_W + (1+k)C_F$$

Διαιρώντας με C_F και υποθέτοντας $C_W = y Fn^4$ όπου το y είναι ένας συντελεστής, έχουμε:

$$\frac{C_T}{C_F} = (1+k) + \frac{yFn^4}{C_F}$$

Παριστώντας γραφικά την παραπάνω σχέση με το $\frac{C_T}{C_F}$ στον άξονα y και το $\frac{yFn^4}{C_F}$

στον άξονα x μπορούμε να υπολογίσουμε τον συντελεστή μορφής. Αυτό μπορεί να γίνει σε χαμηλούς αριθμούς Froude όπου η αντίσταση των κυμάτων, όπως φαίνεται και από τον τύπο, μηδενίζεται. Άρα ο συντελεστής μορφής θα είναι το σημείο εκείνο που η γραφική τέμνει τον άξονα y . Γι' αυτό το λόγο επιπρόσθετα πειράματα σε πολύ χαμηλούς αριθμούς Froude (και άρα ταχύτητες) είναι απαραίτητα. Το φάσμα των τιμών του αριθμού Froude ξεκινάει από 0.1 και φτάνει μέχρι 0.22. Αυτού του είδους τα τεστ είναι πολύ απαιτητικά αφού η ακρίβεια των μετρήσεων σε τόσο χαμηλές ταχύτητες μειώνεται δραματικά και επομένως χρειάζεται μεγάλη προσοχή ώστε να διασφαλιστούν όσο το δυνατόν ιδανικότερες συνθήκες.

Δυστυχώς όμως, εργασίες συντήρησης που γινόντουσαν εκείνη την περίοδο δίπλα από την δεξαμενή, στο εργαστήριο, δεν επέτρεψαν την τήρηση των συνθηκών αυτών, με αποτέλεσμα τα ληφθέντα αποτελέσματα να είναι μη αξιόπιστα. Κατόπιν τούτου, οι τιμές των συντελεστών μορφής που θα χρησιμοποιηθούν στις μεθόδους αναγωγής 2-D και 3-D θα παρθούν από προηγούμενα πειράματα στο ίδιο μοντέλο το 2005. Η διαφορά με τις παρόν μετρήσεις είναι το διαφορετικό βύθισμα στα 1.97m σε αντίθεση με αυτό που χρησιμοποιούμε εδώ στα 1.87m. Στο επόμενο κεφάλαιο, σαν μέρος των αναλυτικών υπολογισμών για τις εκεί μεθόδους, οι συντελεστές μορφής υπολογίζονται με καθαρά μαθηματικό τρόπο και οι τιμές τους φαίνεται να συμφωνούν με τις επιλεγμένες τιμές εδώ

	(1+k)
Loading Condition 1	1.35
Loading Condition 2	1.3
Loading Condition 3	1.28

2.7 Αποτελέσματα

Σαν αποτέλεσμα των προαναφερθέντων μεθόδων υπολογισμού, συντελεστές αντίστασης για το πλοίο στην πραγματική κλίμακα μπορούν πλέον να βρεθούν και να αναπαρασταθούν γραφικά.

Για κάθε τεστ η μέση τιμή της αντίστασης και της ταχύτητας χρησιμοποιήθηκε (μια τιμή δίνεται από τον υπολογιστή για κάθε 0.01s) ενώ οι τιμές που επηρεάστηκαν από την απότομη επιτάχυνση και επιβράδυνση αποκλείστηκαν από τους υπολογισμούς. Τα αποτελέσματα για κάθε μια «συνθήκη φόρτωσης» παρουσιάζονται παρακάτω.

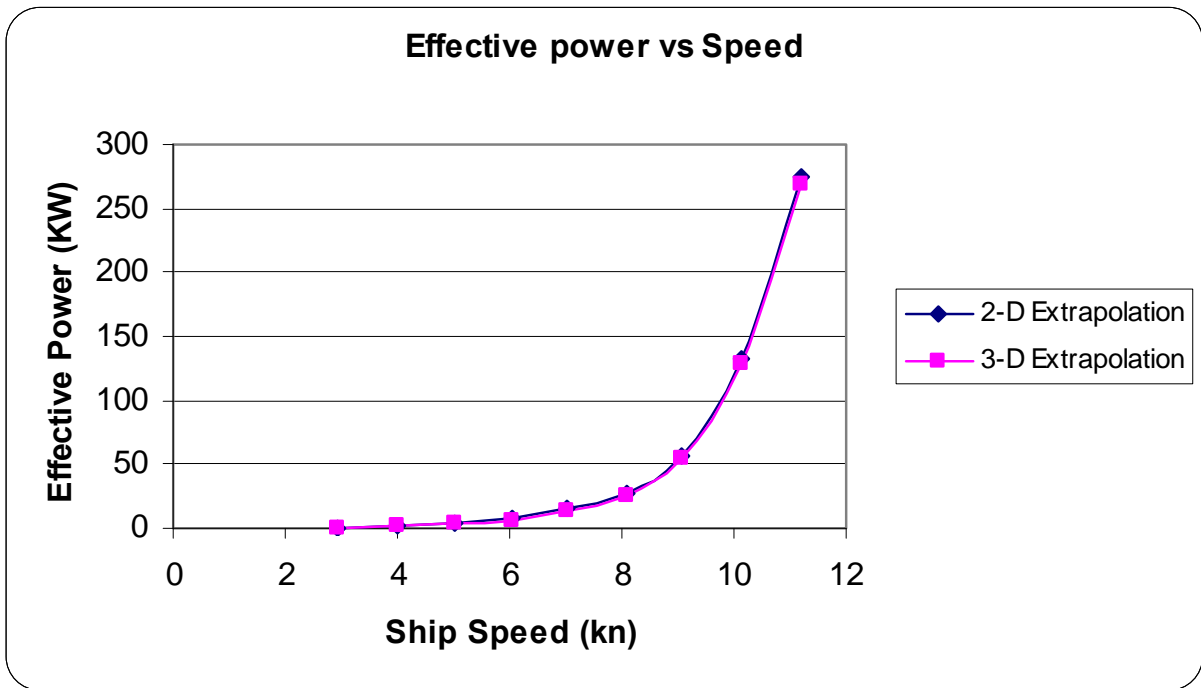
Run	R _T (N)	V _S (knots)	C _{TM}	R _{ηM}	C _{FM}	1+k	C _{VM}	R _{ηS}	C _{FS}	C _{VS}	C _{WS=C_{WM}}	C _{TS}	R _{TS} (N)	P _E (kW)
1.1	0.413442	2.951206	0.007211	515300.2	0.005443	1.35	0.007348	20440569	0.002659449	0.003590255	-0.00013727	0.003453	351.2594	0.533247
1.2	0.788725	3.980689	0.007561	695054.7	0.005081	1.35	0.006859	27570943	0.002533911	0.00342078	0.000701583	0.004122	762.9512	1.56227
1.3	1.193512	5.021762	0.007189	876833	0.004824	1.35	0.006513	34781598	0.002442475	0.003297342	0.000676423	0.003974	1170.438	3.02347
1.4	1.87289	6.03221	0.007818	1053264	0.004635	1.35	0.006257	41780134	0.002373771	0.00320459	0.001561013	0.004766	2025.372	6.284667
1.5	3.177596	7.042935	0.009731	1229743	0.004484	1.35	0.006053	48780594	0.002317952	0.003129235	0.003677623	0.006807	3943.557	14.28706
1.6	4.725349	8.06969	0.011023	1409021	0.004357	1.35	0.005882	55892076	0.002270523	0.003065206	0.005140499	0.008206	6241.137	25.90726
1.7	8.010267	9.08761	0.014734	1586757	0.004251	1.35	0.005738	62942366	0.002230301	0.003010907	0.008995161	0.012006	11580.68	54.13584
1.8	15.72893	10.1239	0.023311	1767700	0.004157	1.35	0.005612	70119880	0.00219466	0.002962791	0.017698778	0.020662	24733.92	128.8077
1.9	28.36448	11.20541	0.034315	1956539	0.004072	1.35	0.005498	77610615	0.002161933	0.00291861	0.028816958	0.031736	46541.02	268.2653

Πίνακας 2.3 Αποτελέσματα για την φόρτωση 1 από την μέθοδο 3-D

Run	R _T (N)	V _S (knots)	C _{TM}	R _{ηM}	C _{FM}	C _{FM=C_{FS}}	R _{ηS}	C _{FS}	C _{TS}	R _{TS} (N)	P _E (kW)
1.1	0.413442	2.951206	0.007211	515300.2	0.005443	0.001768	20440569	0.002659	0.004427197	450.2745533	0.68356206
1.2	0.788725	3.980689	0.007561	695054.7	0.005081	0.00248	27570943	0.002534	0.005013815	927.7568819	1.899736531
1.3	1.193512	5.021762	0.007189	876833	0.004824	0.002365	34781598	0.002442	0.004807371	1415.693697	3.657012068
1.4	1.87289	6.03221	0.007818	1053264	0.004635	0.003183	41780134	0.002374	0.005557076	2361.286102	7.326996913
1.5	3.177596	7.042935	0.009731	1229743	0.004484	0.005247	48780594	0.002318	0.007564933	4381.893867	15.87510134
1.6	4.725349	8.06969	0.011023	1409021	0.004357	0.006665	55892076	0.002271	0.008935987	6795.252193	28.20742115
1.7	8.010267	9.08761	0.014734	1586757	0.004251	0.010483	62942366	0.00223	0.012713196	12260.36641	57.31312376
1.8	15.72893	10.1239	0.023311	1767700	0.004157	0.019154	70119880	0.002195	0.021348499	25551.25661	133.0641281
1.9	28.36448	11.20541	0.034315	1956539	0.004072	0.030242	77610615	0.002162	0.032404215	47512.33177	273.8640554

Πίνακας 2.4 Αποτελέσματα για την φόρτωση 1 από την μέθοδο 2-D

Σύγκριση μεταξύ των δυο μεθόδων μπορεί να γίνει μέσω του σχήματος 2.1



Σχήμα 2.1 Ισχύς σύμφωνα με την 2-D και την 3-D μέθοδο για την φόρτωση 1

Τα αποτελέσματα μεταξύ των δυο μεθόδων φαίνεται να συμφωνούν ενώ οι απαιτούμενη ισχύς πέρα από τους 10 κόμβους αυξάνεται δραματικά. Το Bernicia «φοράει» έναν κινητήρα diesel των 120 kw και επομένως δεν μπορεί να ξεπεράσει τους 9-10 κόμβους.

Τα επιμέρους στοιχεία που αποτελούν την αντίσταση και στα οποία έγινε αναφορά προηγουμένως παρουσιάζονται στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Επιμέρους αντιστάσεις από την μέθοδο 3-D



Σχήμα 2.3 Επιμέρους αντιστάσεις από την μέθοδο 2-d

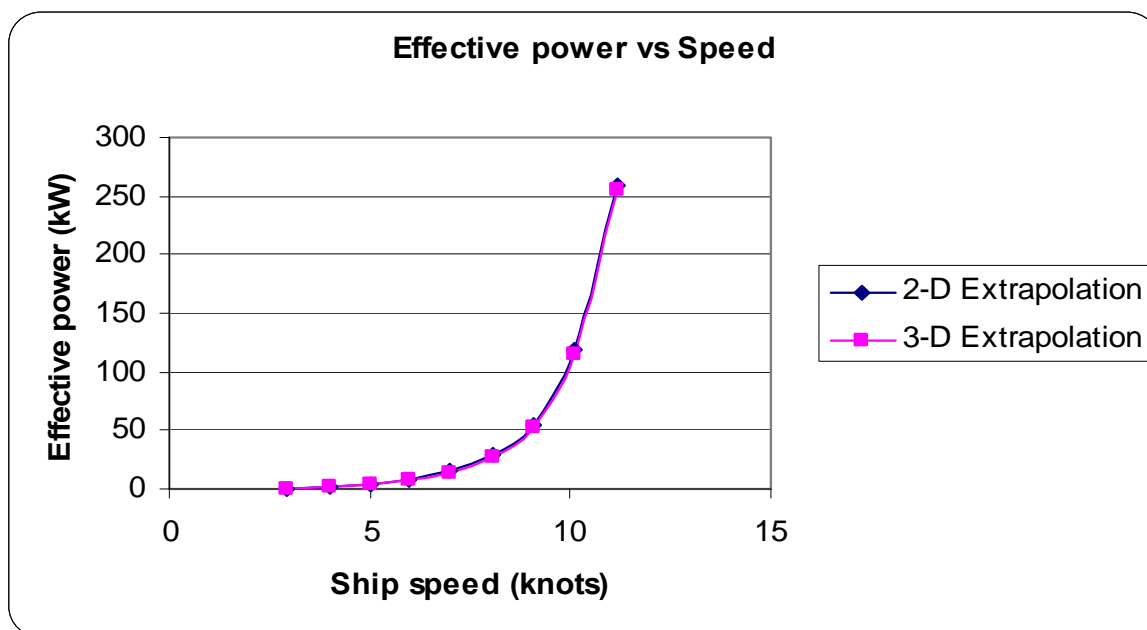
Η φόρτωση 2 είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος καθώς είναι η κατάσταση στην οποία συνήθως λειτουργεί το Bernicia. Όπως και πριν, τα δεδομένα παρουσιάζονται σε πίνακα με την απαιτούμενη ισχύ να παρίστανται γραφικά σε σχέση με την ταχύτητα του πλοίου τόσο σύμφωνα με την μέθοδο 2-D όσο και με την 3-D.

Run	R _T (N)	V _s (knots)	C _{TM}	Rn _M	C _{FM}	1+k	C _{VM}	Rn _S	C _{FS}	C _{VS}	C _{WS} =C _{WM}	C _{TS}	R _{TS} (N)	P _E (kW)
2.1	0.382265	2.921376	0.008441	510091.7	0.005456	1.3	0.007093	20233961	0.002664	0.003463	0.001349	0.004812	386.3093	0.580529
2.2	0.799864	3.984524	0.009495	695724.3	0.00508	1.3	0.006604	27597505	0.002534	0.003294	0.002891	0.006184	923.686	1.893223
2.3	1.165958	4.999424	0.008791	872932.6	0.004829	1.3	0.006278	34626880	0.002444	0.003177	0.002514	0.005691	1338.177	3.441394
2.4	1.83893	5.990708	0.009657	1046017	0.004642	1.3	0.006035	41492686	0.002376	0.003089	0.003622	0.006711	2265.803	6.982343
2.5	2.912418	7.009086	0.011172	1223833	0.004488	1.3	0.005835	48546150	0.00232	0.003016	0.005337	0.008353	3860.39	13.91854
2.6	4.737081	8.050596	0.013774	1405687	0.004359	1.3	0.005667	55759826	0.002271	0.002953	0.008107	0.01106	6743.481	27.92628
2.7	7.4146	9.062892	0.017013	1582441	0.004253	1.3	0.005529	62771167	0.002231	0.002901	0.011484	0.014384	11114.43	51.81494
2.8	13.95148	10.10026	0.025773	1763573	0.004159	1.3	0.005407	69956178	0.002195	0.002854	0.020366	0.02322	22284.46	115.7806
2.9	26.77951	11.16615	0.040477	1949683	0.004075	1.3	0.005298	77338684	0.002163	0.002812	0.035179	0.037991	44561.71	255.9565

Πίνακας 2.5 Αποτελέσματα από την μέθοδο 3-D για την φόρτωση 2

Run	R _T (N)	V _s (knots)	C _{TM}	Rn _M	C _{FM}	C _{RM} =C _{RS}	Rn _S	C _{FS}	C _{TS}	R _{TS} (N)	P _E (kW)
2.1	0.382265	2.921376	0.008441	510091.7	0.005456	0.002985	20233961	0.002664	0.005649	453.5578	0.681587
2.2	0.799864	3.984524	0.009495	695724.3	0.00508	0.004415	27597505	0.002534	0.006948	1037.777	2.127069
2.3	1.165958	4.999424	0.008791	872932.6	0.004829	0.003962	34626880	0.002444	0.006407	1506.397	3.874006
2.4	1.83893	5.990708	0.009657	1046017	0.004642	0.005015	41492686	0.002376	0.007391	2495.289	7.689534
2.5	2.912418	7.009086	0.011172	1223833	0.004488	0.006684	48546150	0.00232	0.009004	4161.093	15.00271
2.6	4.737081	8.050596	0.013774	1405687	0.004359	0.009415	55759826	0.002271	0.011686	7125.383	29.50782
2.7	7.4146	9.062892	0.017013	1582441	0.004253	0.012759	62771167	0.002231	0.014991	11583.11	53.99989
2.8	13.95148	10.10026	0.025773	1763573	0.004159	0.021614	69956178	0.002195	0.023809	22849.88	118.7183
2.9	26.77951	11.16615	0.040477	1949683	0.004075	0.036402	77338684	0.002163	0.038565	45234.58	259.8214

Πίνακας 2.6 Αποτελέσματα από την μέθοδο 2-D για την φόρτωση 2



Σχήμα 2.4 Απαιτούμενη ισχύς από τις δυο μεθόδους για την φόρτωση 2

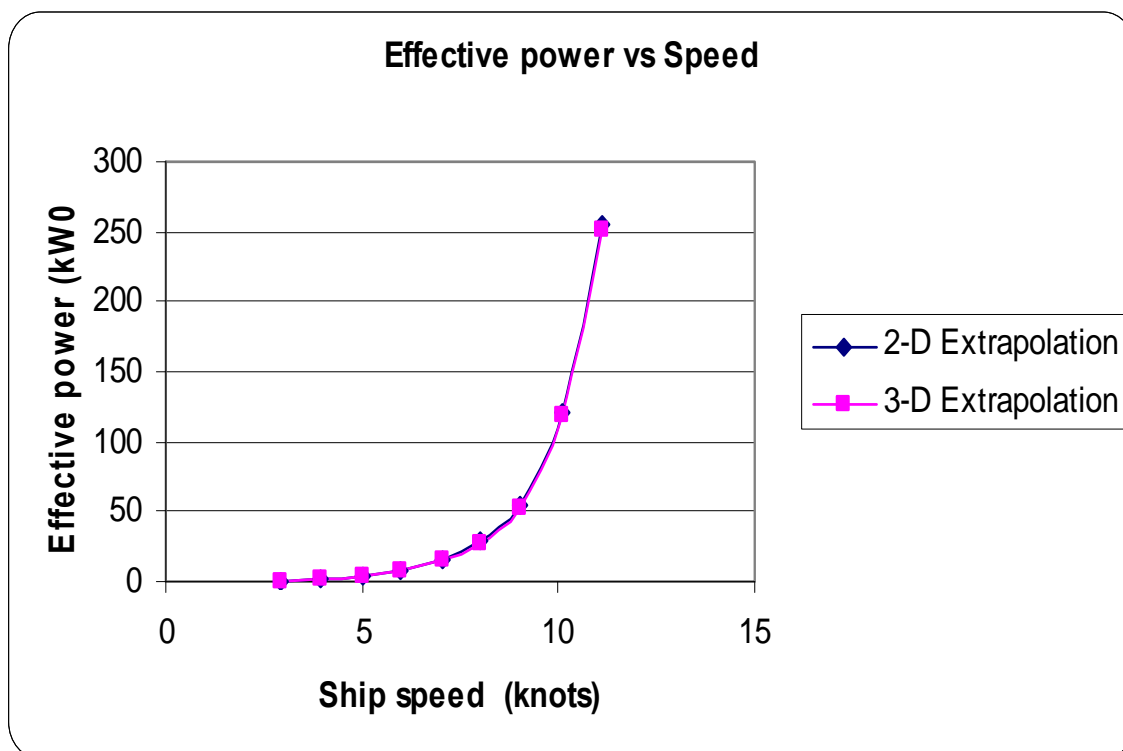
Εανά, οι δυο μέθοδοι φαίνεται να συμφωνούν στην προβλεπόμενη ισχύ.
Τέλος για την φόρτωση 3:

Run	R _T (N)	V _S (knots)	C _{TM}	R _{ηM}	C _{FM}	1+k	C _{VM}	R _{ηS}	C _{FS}	C _{VS}	C _{WS} =C _{WM}	C _{TS}	R _{TS} (N)	P _E (kW)
3.1	0.396115	2.919214	0.008965	509714.1	0.005457	1.28	0.006985	20218984	0.002664	0.00341	0.001979838	0.00539	422.4448	0.634362
3.2	0.778214	3.955355	0.009593	690631.2	0.005088	1.28	0.006513	27395477	0.002536	0.003247	0.00308034	0.006327	910.3768	1.852284
3.3	1.26175	5.010951	0.009691	874945.2	0.004826	1.28	0.006178	34706718	0.002443	0.003127	0.003513184	0.006641	1533.546	3.952919
3.4	1.90862	5.984793	0.010277	1044984	0.004643	1.28	0.005943	41451715	0.002377	0.003042	0.004333809	0.007376	2429.766	7.480223
3.5	3.015235	7.026628	0.011778	1226896	0.004486	1.28	0.005742	48667646	0.002319	0.002968	0.0060357	0.009004	4088.509	14.7779
3.6	4.749294	8.023436	0.014228	1400945	0.004362	1.28	0.005584	55571714	0.002272	0.002909	0.008644424	0.011553	6840.258	28.23149
3.7	7.473194	9.052071	0.017589	1580552	0.004254	1.28	0.005445	62696220	0.002232	0.002856	0.012144122	0.015001	11304.54	52.63828
3.8	14.25461	10.08678	0.02702	1761219	0.00416	1.28	0.005325	69862821	0.002196	0.002811	0.021694946	0.024506	22930.85	118.98
3.9	26.25357	11.13792	0.040815	1944755	0.004077	1.28	0.005219	77143203	0.002164	0.00277	0.035596048	0.038366	43772.5	250.7879

Πίνακας 2.7 Αποτελέσματα από την 3-D για την φόρτωση 3

Run	R _T (N)	V _S (knots)	C _{TM}	R _{ηM}	C _{FM}	C _{RM} =C _{RS}	R _{ηS}	C _{FS}	C _{TS}	R _{TS} (N)	P _E (kW)
3.1	0.396115	2.919214	0.008965	509714.1	0.005457	0.003508	20218984	0.002664	0.006172	483.7294	0.726389135
3.2	0.778214	3.955355	0.009593	690631.2	0.005088	0.004505	27395477	0.002536	0.007042	1013.183	2.061456676
3.3	1.26175	5.010951	0.009691	874945.2	0.004826	0.004865	34706718	0.002443	0.007308	1687.648	4.350136814
3.4	1.90862	5.984793	0.010277	1044984	0.004643	0.005634	41451715	0.002377	0.008011	2638.808	8.123776045
3.5	3.015235	7.026628	0.011778	1226896	0.004486	0.007292	48667646	0.002319	0.009611	4364.073	15.77392987
3.6	4.749294	8.023436	0.014228	1400945	0.004362	0.009866	55571714	0.002272	0.012138	7186.7	29.66134847
3.7	7.473194	9.052071	0.017589	1580552	0.004254	0.013335	62696220	0.002232	0.015567	11731.3	54.62547068
3.8	14.25461	10.08678	0.02702	1761219	0.00416	0.02286	69862821	0.002196	0.025056	23445.59	121.6507515
3.9	26.25357	11.13792	0.040815	1944755	0.004077	0.036738	77143203	0.002164	0.038902	44383.78	254.2901091

Πίνακας 2.8 Αποτελέσματα από την 2-D για την φόρτωση 3



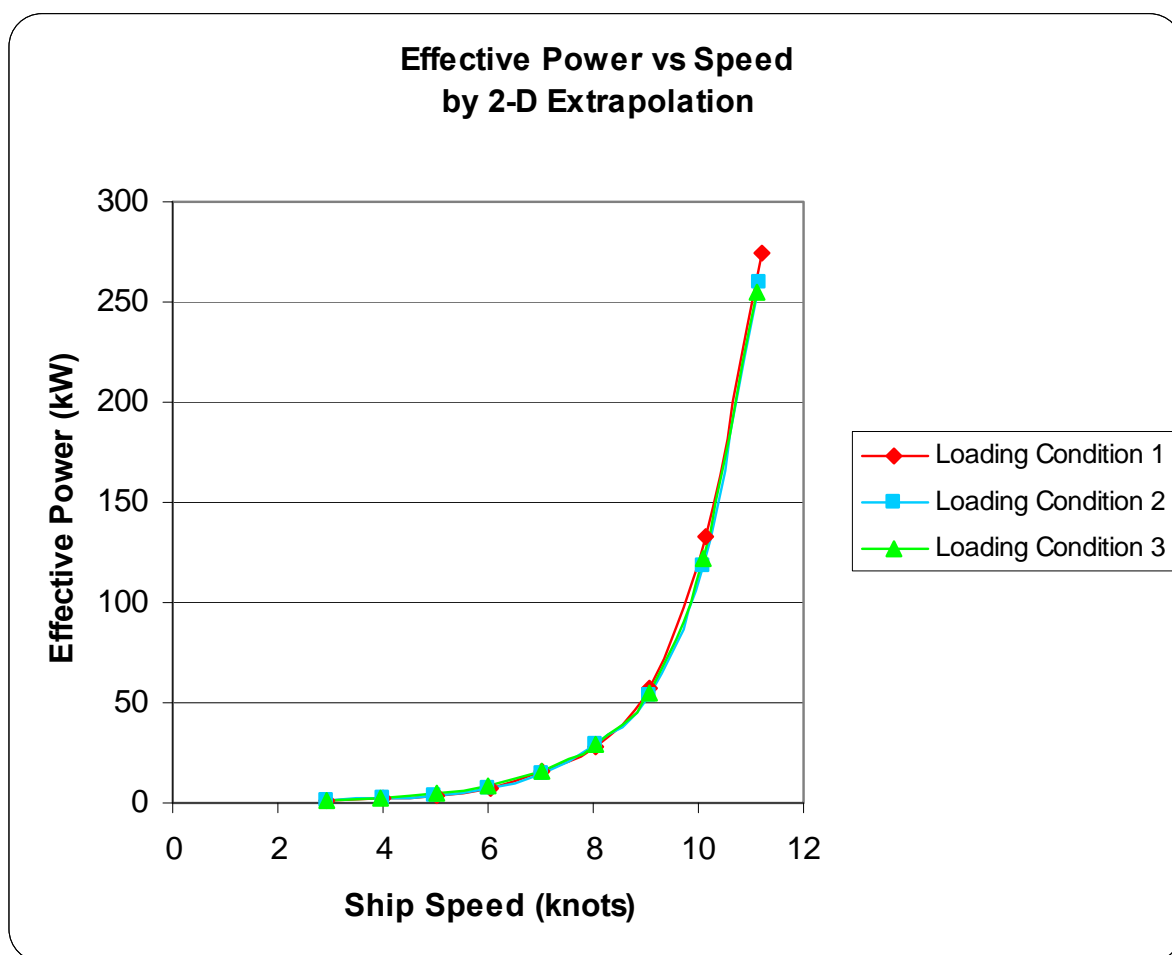
Σχήμα 2.5 Απαιτούμενη ισχύς από τις δυο μεθόδους για την φόρτωση 3

Κάποια από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του Bernicia τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στους παραπάνω υπολογισμούς παρουσιάζονται παρακάτω:

	Model		Full scale	
	L (m)	S (m ²)	L (m)	S (m ²)
Loading Condition 1	1.24	0.598	14.87	86.11
Loading condition 2	1.24	0.482	14.87	69.357
Loading condition 3	1.24	0.471	14.87	67.806

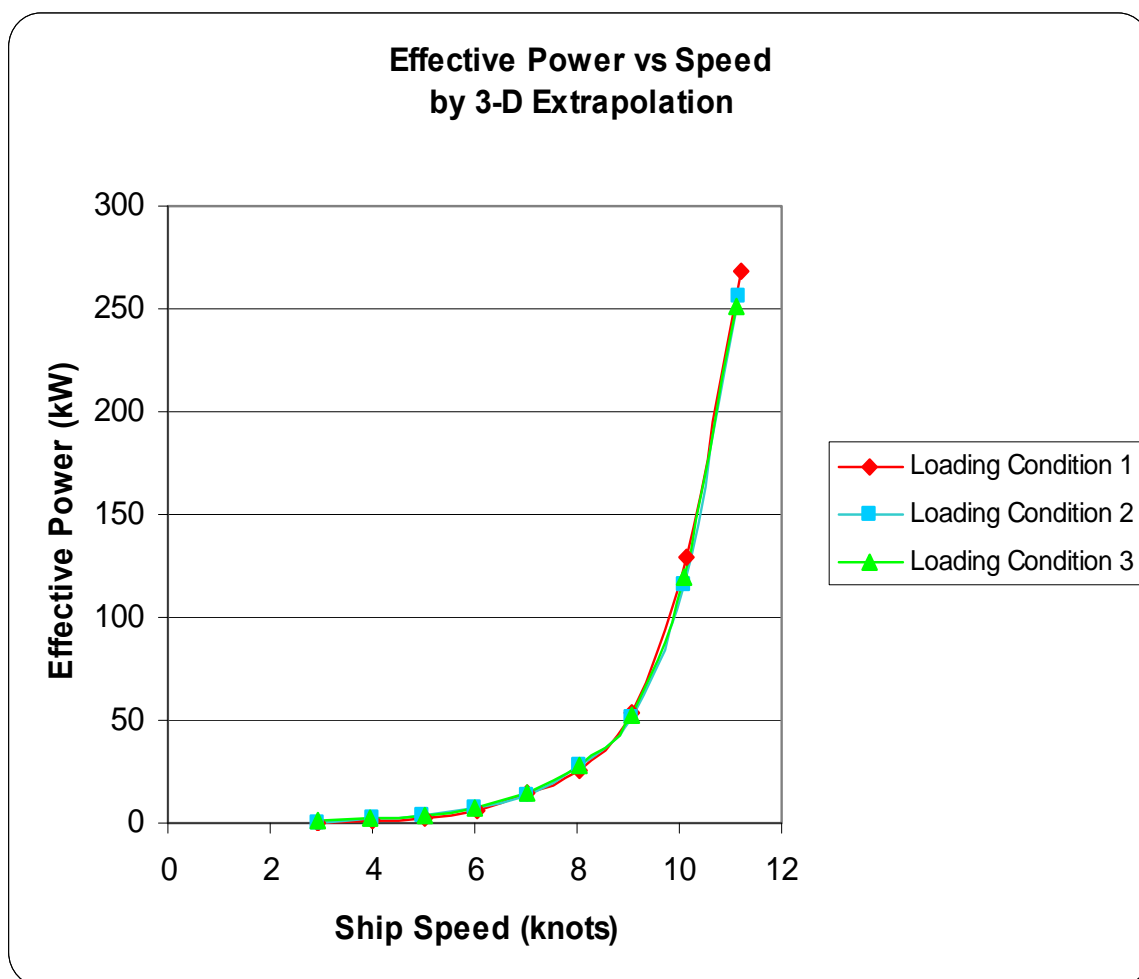
Το μήκος πάρθηκε από το σχέδιο του σκάφους στο AutoCAD για βύθισμα 1,87m και η υγρή επιφάνεια από την υδροστατική για το συγκεκριμένο βύθισμα και φόρτωση. Η κλίμακα όπως έχει αναφερθεί είναι 12.

Σύγκριση μεταξύ των τριών «συνθηκών φόρτωσης» από την μέθοδο 2-D φαίνεται παρακάτω.



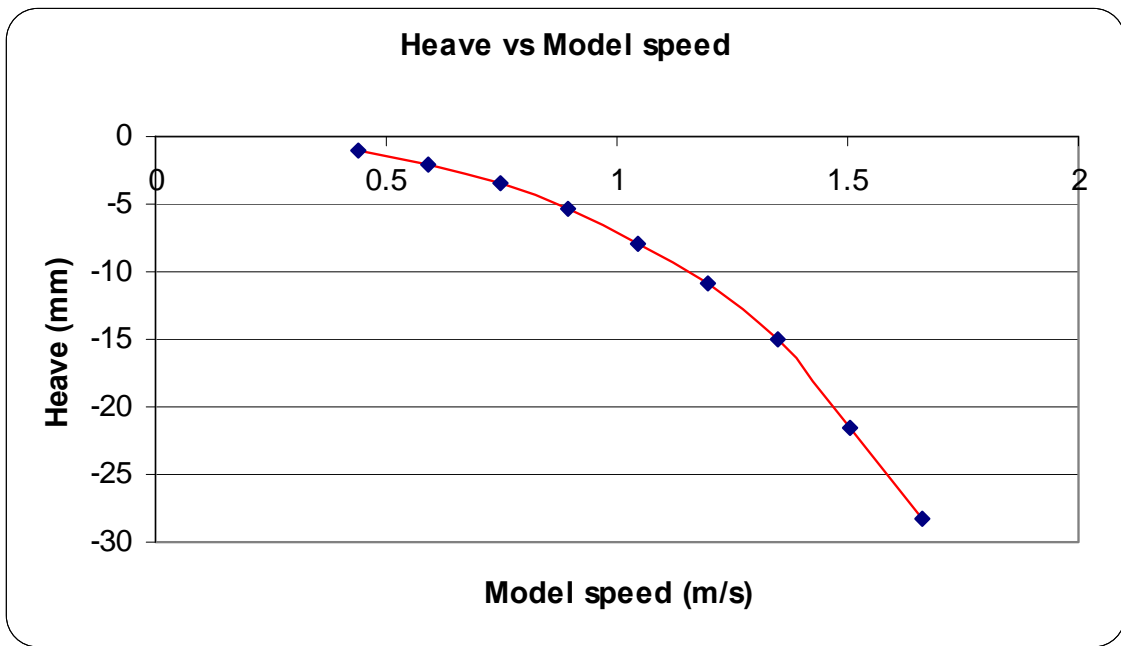
Σχήμα 2.7 Αποτελέσματα για όλες τις φορτώσεις από την 2-D

Σύμφωνα με το σχήμα 2.7 η φόρτωση 1 δείχνει να απαιτεί ελάχιστα περισσότερη ισχύ καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Στις χαμηλότερες ταχύτητες όμως, η φόρτωση 2 είναι πιο απαιτητική.
Παρομοίως η 3-D μέθοδος δίνει:

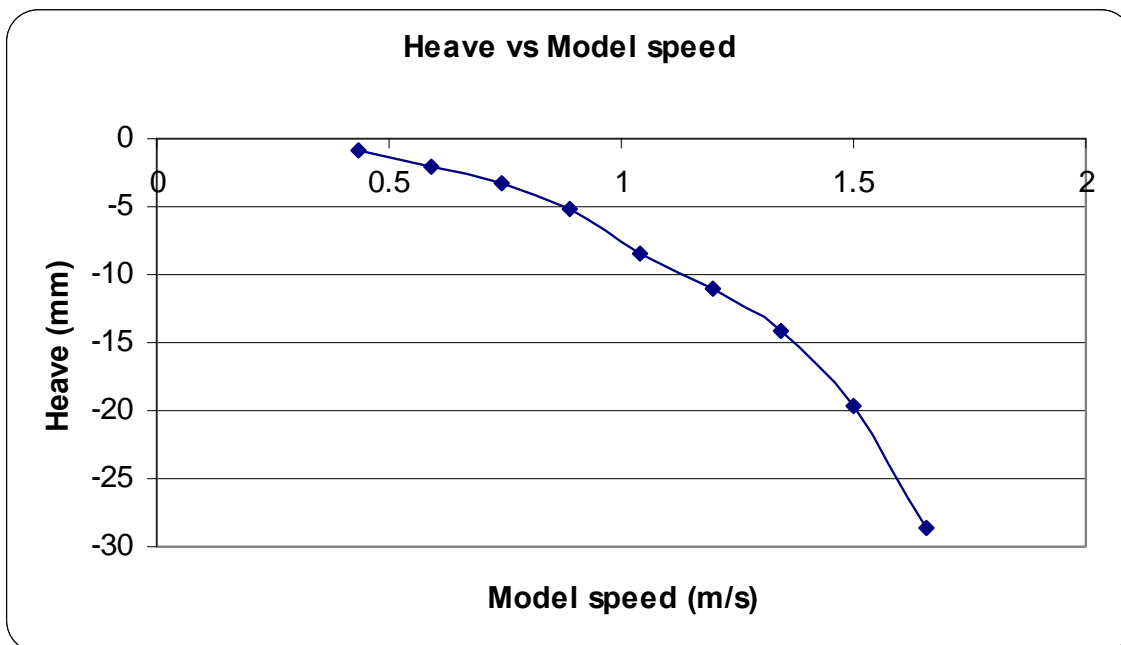


Σχήμα 2.8 Αποτελέσματα για όλες τις φορτώσεις από την 3-D

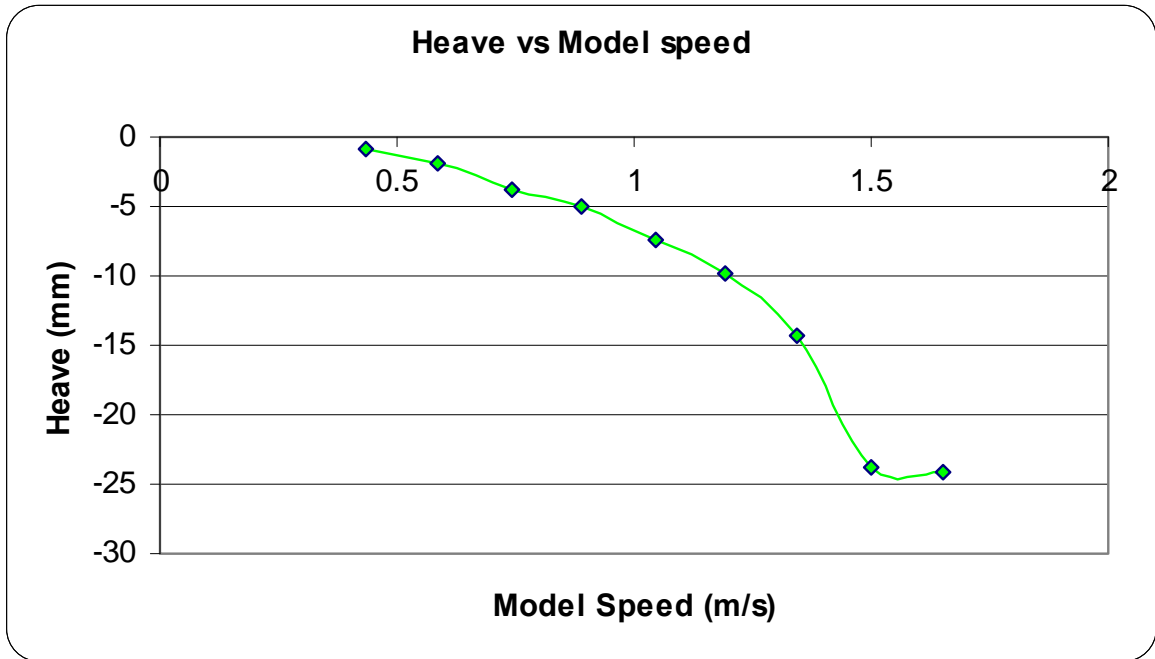
Εανά παρατηρείται συμφωνία μεταξύ των δυο μεθόδων.
Οι κινήσεις pitch και heave κατά την διάρκεια του τεστ παρουσιάζονται ευθύς αμέσως. Υπενθυμίζεται πως τα δεδομένα που επηρεάστηκαν από την επιτάχυνση και επιβράδυνση του μοντέλου δεν περιλήφθηκαν.



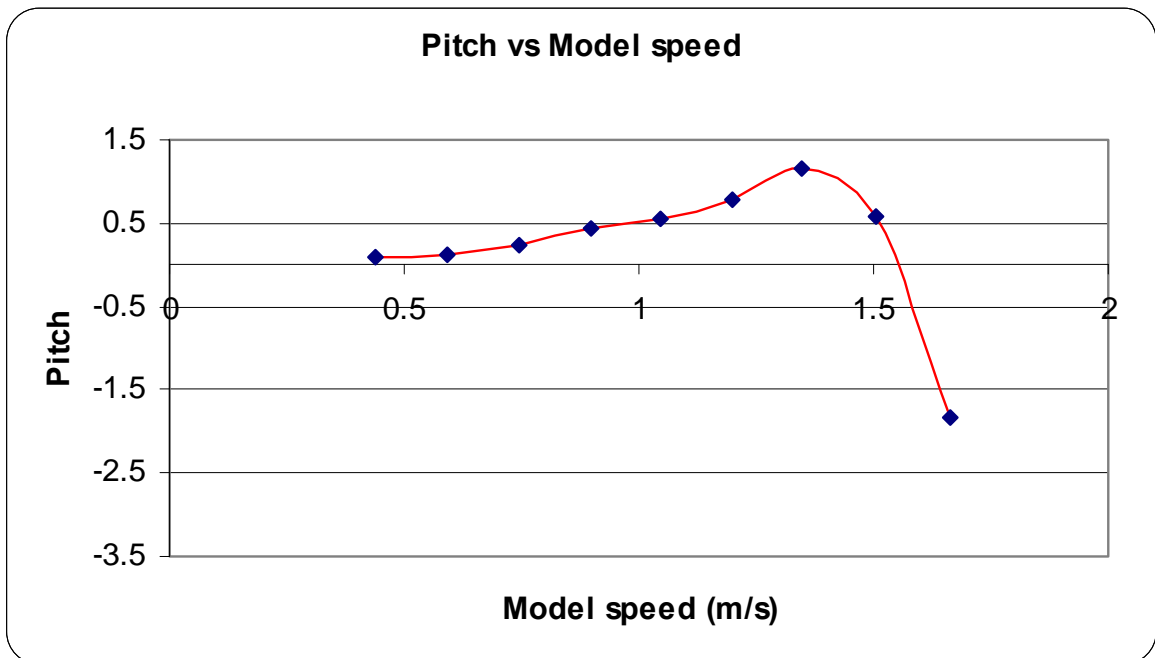
Σχήμα 2.9 Κίνηση heave για την φόρτωση 1



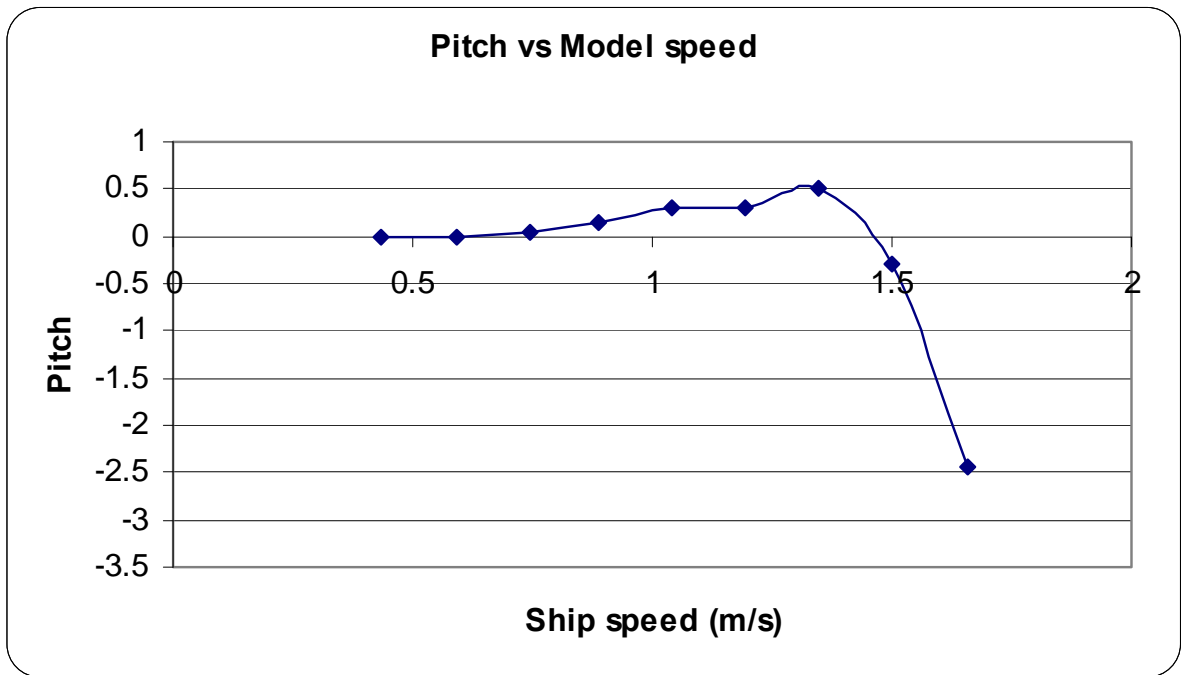
Σχήμα 2.10 Κίνηση heave για την φόρτωση 2



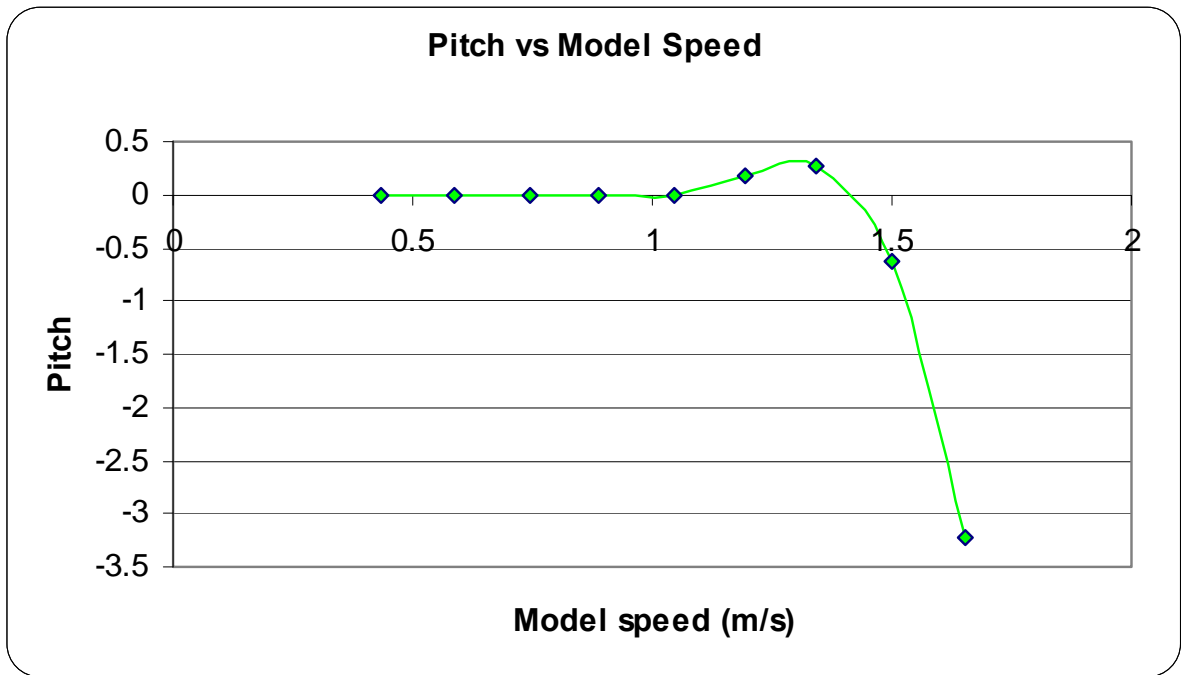
Σχήμα 2.11 Κίνηση heave για την φόρτωση 3



Σχήμα 2.12 Κίνηση pitch για την φόρτωση 1



Σχήμα 2.13 Κίνηση pitch για την φόρτωση 2



Σχήμα 2.14 Κίνηση pitch για την φόρτωση 3

Κεφάλαιο 3

Υπολογισμός αντίστασης με αναλυτικούς τρόπους

3.1 Εισαγωγή

Σε μια προσπάθεια να δοθεί μια πιο πλήρης εικόνα και περαιτέρω επαληθευτικά κριτήρια, η χρήση αναλυτικών τρόπων υπολογισμού κρίνεται απαραίτητη. Σε αυτό το κεφάλαιο δυο τέτοιοι μέθοδοι θα παρουσιαστούν μαζί με τα αποτελέσματά τους για το υπό εξέταση σκάφος. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους αυτοί οι αναλυτικοί τρόποι χρειάζονται μόνο κάποια γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου κι όχι πειραματικά δεδομένα για να δώσουν αποτελέσματα, πράγμα που τους καθιστά κατάλληλους για μια πρόωγη πρόβλεψη της απαιτούμενης ισχύς του σκάφους, ιδιαίτερα στο αρχικό στάδιο της σχεδίασης. Οι αναφερόμενοι τρόποι είναι του Holtrop & Mennen και του Oortmerssen.

3.2 Holtrop & Mennen

Η έρευνα “An Approximate Power Prediction Method” που δημοσιεύτηκε το 1982 από τους Holtrop & Mennen βασίστηκε σε έναν αριθμό από δεδομένα προερχόμενα από πειράματα με μοντέλα και σένσορες σε εν λειτουργία πλοία και προσπάθησε να γενικεύσει τα στοιχεία των δεδομένων αυτών ώστε να εξάγει τύπους και νόμους εφαρμόσιμους σε όσο το δυνατόν περισσότερα πλοία.

Σε μια προσπάθεια επέκτασης της μεθόδου, που δεν παρουσίαζε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε υψηλούς αριθμούς Froude, δημοσιεύτηκε η έρευνα του 1984, “An Approximate Power Prediction Method- A Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data” από τους ίδιους συγγραφείς και η οποία κάλυπτε περισσότερους τύπους πλοίων, βασισμένη σε 334 πειράματα με μοντέλα. Η αναδημοσιευμένη μέθοδος είναι αυτή που παρουσιάζεται στις γραμμές που ακολουθούν.

3.2.1 Περιγραφή της μεθόδου

Σύμφωνα με τους Holtrop και Mennen η ολική αντίσταση δίνεται από:

$$R_{\text{Total}} = R_F(1+k_1) + R_{\text{APP}} + R_W + R_B + R_{\text{TR}} + R_A$$

Όπου:

R_F : αντίσταση τριβής σύμφωνα με τον τύπο ITTC-57

$1+k_1$: form factor (συντελεστής μορφής)

R_{APP} : αντίσταση παρελκόμενων στοιχείων

R_W : αντίσταση κυμάτων

R_B : επιπρόσθετη αντίσταση λόγω του bulbous bow κοντά στην επιφάνεια του νερού (δεν υπάρχει στο Bernicia)

R_{TR} : επιπρόσθετη αντίσταση λόγω της βύθισης του πίσω μέρους της πρύμνης

R_A : επιπλέον αντίσταση από το λάθος στο υπό κλίμακα μοντέλο.

Ο Form factor βρίσκεται από:

$$1+k_1 = 0.93 + 0.487118 c_{14} \left(\frac{B}{L}\right)^{1.06806} \left(\frac{T}{L}\right)^{0.46106} \left(\frac{L}{L_R}\right)^{0.121563} \left(\frac{L^3}{\nabla}\right)^{0.36486} (1-C_p)^{-0.604247}$$

Where:

B: πλάτος

T: βύθισμα

L: μήκος πλοίου στο επίπεδο της θάλασσας

∇ : εκτόπισμα

C_p : πρισματικός συντελεστής

L_R : παράμετρος για το μήκος που διένυσε το μοντέλο κατά το τεστ

Το L_R βρίσκεται ως εξής:

$$L_R = L \left(1 - C_p + \frac{0.06C_p lcb}{4C_p - 1} \right)$$

Όπου:

lcb: η διαμήκης θέση του κέντρου της άνωσης από το μέσο του μήκους L μπροστά.

Ο συντελεστής c_{14} εξαρτάται από την μορφή της πρύμνης ο οποίος με τη σειρά του λαμβάνεται σύμφωνα με το C_{stern} :

$$c_{14} = 1 + 0.011 C_{stern}$$

Afterbody form	C_{stern}
Pram with gondola	-25
V-Shaped sections	-10
Normal section shape	0
U-Shaped sections with Hogner stern	10

Η αντίσταση των παρελκόμενων εξαρτημάτων ή συγκεκριμένων σχεδιαστικών, μη συμβατικών λύσεων, δίνεται από τον τύπο:

$$R_{APP} : 0.5 \rho V^2 S_{APP} (1+k_2)_{eq} C_F$$

Όπου:

ρ : πυκνότητα του νερού

V : ταχύτητα του πλοίου

S_{APP} : η βρεγμένη επιφάνεια των παρελκόμενων εξαρτημάτων

C_F : η αντίσταση τριβής σύμφωνα με τον τύπο ITTC-57

$1+k_2$ είναι ο συντελεστής αντίστασης των παρελκόμενων και ο οποίος δίνεται από τον παρακάτω πίνακα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του σκάφους:

Approximate $1+k_2$ values	
Rudder behind skeg	1.5 – 2
Rudder behind stern	1.3 – 1.5
Twin screw balance rudders	2.8
Shaft brackets	3
Skeg	1.5 – 2
Strut bossings	3
Hull bossings	2
Shafts	2 – 4
Stabilizer fins	2.8
dome	2.7
Bilge keels	1.4

Σε περίπτωση συνδυασμού κάποιων χαρακτηριστικών το $1+k_2$ μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$(1+k_2)_{eq} = \frac{\Sigma(1+k_2)S_{APP}}{\Sigma S_{APP}}$$

Τυχόν ανοίγματα για bow thrusters στην πλώρη του πλοίου θα έχουν σαν αποτέλεσμα επιπλέον αντίσταση:

$$\rho V^2 \pi d^2 C_{BTO}$$

Όπου:

d: διάμετρος των ανοιγμάτων

C_{BTO} : ποικίλει από 0.003 έως 0.012 (με χαμηλές τιμές για τοποθέτηση στο bulbous bow)

Η αντίσταση κυμάτων μαζί με κάποιες αλλαγές στον υπολογισμό της αντίστασης τριβής ήταν τα στοιχεία εκείνα που δέχτηκαν τις σημαντικότερες τροποποιήσεις στην δεύτερη δημοσίευση του 1984.

Για αριθμούς Froude πάνω από 0.55 η καινούρια φόρμουλα είναι :

$$R_{W-B} = c_{17} c_2 c_5 \nabla \rho g \exp m_3 F n^d + m_4 \cos(\lambda F n^{-2})$$

Όπου:

$$c_{17} = 6919.3 \left(\frac{\nabla}{L^3} \right)^{2.0097} \left(\frac{L}{B} - 2 \right)^{1.40692} C_M^{-1.3346}$$

$$c_2 = \exp(-1.89 \sqrt{c_3})$$

$$c_3 = \frac{0.56 A_{BT}^{1.5}}{\{BT(0.31 \sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B)\}}$$

Με:

A_{BT} : η κάθετη επιφάνεια του bulbous bow (διατομή)

h_B : η κάθετη απόσταση του κέντρου του A_{BT} πάνω από το επίπεδο του keel

T_F : το βύθισμα στο μπροστινό μέρος

$$c_5 = 1 - \frac{0.8 A_T}{B T C_M}$$

$$m_3 = -7.2035 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.326869} \left(\frac{T}{B} \right)^{0.605375}$$

$$d = -0.9$$

$$m_4 = c_{15} 0.4 \exp(-0.034 Fn^{-3.29})$$

$$c_{15} = -1.69385 \quad \text{όταν} \quad \frac{L^3}{\nabla} < 512$$

$$c_{15} = -1.69385 + \left(\frac{L/\nabla^{1/3} - 8}{2.36} \right) \quad \text{όταν} \quad 512 < \frac{L^3}{\nabla} < 1726.91$$

$$c_{15} = 0 \quad \text{όταν} \quad \frac{L^3}{\nabla} > 1726.91$$

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 \frac{L}{B} \quad \text{όταν} \quad \frac{L}{B} < 12$$

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.36 \quad \text{όταν} \quad \frac{L}{B} > 12$$

Για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.4 παρουσιάστηκε ο ακόλουθος τύπος:

$$R_{W-A} = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g \exp m_1 Fn^4 + m_4 \cos(\lambda Fn^{-2})$$

Όπου:

$$c_1 = 2223105 c_7^{3.78613} \left(\frac{T}{B} \right)^{1.07961} (90 - i_E)^{-1.37565}$$

$$c_7 = 0.229577 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.33333} \quad \text{όταν} \quad \frac{B}{L} < 0.11$$

$$c_7 = \frac{B}{L} \quad \text{όταν} \quad 0.11 < \frac{B}{L} < 0.25$$

$$c_7 = 0.5 - 0.0625 \frac{L}{B} \quad \text{όταν} \quad \frac{B}{L} > 0.25$$

$$i_E = 1 + 89 \exp - \left(\frac{L}{B} \right)^{0.80856} (1 - C_{WP})^{0.30484} (1 - C_p - 0.0225 lcb)^{0.6367} \left(\frac{L_R}{B} \right)^{0.34574} \left(\frac{100 \nabla}{L^3} \right)^{0.16302}$$

$$m_1 = 0.014040 \frac{L}{T} - 1.75254 \frac{\nabla^{1/3}}{L} - 4.79323 \frac{B}{L} - c_{16}$$

$$c_{16} = 1.73014 - 0.7067 C_P \quad \text{όταν} \quad C_P > 0.8$$

$$c_{16} = 8.07981 C_P - 13.8673 C_P^2 + 6.984388 C_P^3$$

$$\text{όταν} \quad C_P < 0.8$$

Για αριθμούς Froude μεταξύ 0.4 and 0.55 προτείνεται :

$$R_W = R_{W-A0.4} + \frac{(10Fn - 4)(R_{W-B0.55} - R_{W-A0.4})}{1.5}$$

Όπου:

$R_{W-A0.4}$: η αντίσταση των κυμάτων για $Fn = 0.4$

$R_{W-B0.55}$: η αντίσταση των κυμάτων για $Fn = 0.55$

Η αντίσταση που προκύπτει από την τοποθέτηση ενός bulbous bow κοντά στην επιφάνεια καθορίζεται από:

$$R_B = \frac{0.11 \exp(-3P_B^{-2}) Fn_i^3 A_{BT}^{1.5} \rho g}{1 + Fn_i^2}$$

Όπου:

P_B : είναι μια ένδειξη για το βύθισμα της πλώρης

Fn_i : ο αριθμός Froude βασισμένος στην βύθιση

$$P_B = \frac{0.56 \sqrt{A_{BT}}}{T_F - 1.5h_B}$$

$$Fn_i = \frac{V}{\sqrt{g(T_F - h_B - 0.25\sqrt{A_{BT}}) + 0.15V^2}}$$

Η επιπρόσθετη αντίσταση πίεσης λόγω της βύθισης του πίσω μέρους της πρύμνης είναι:

$$R_{TR} = 0.5 \rho V^2 A_T c_6$$

Όπου:

$$c_6 = 0.2(1 - 0.2 Fn_T) \quad \text{όταν} \quad Fn_T < 5$$

$$c_6 = 0 \quad \text{όταν} \quad Fn_T \geq 5$$

$$Fn_T = \frac{V}{\sqrt{\frac{2gA_T}{B + BC_{WP}}}}$$

Με C_{WP} ο συντελεστής της επιφάνειας του πλοίου που καθορίζεται από την διατομή του πλοίου στην επιφάνεια της θαλάσσης (κάτοψη)

Η αντίσταση που προκύπτει από την συσχέτιση πλοίου- μοντέλου είναι:

$$R_A = 0.5 \rho V^2 S C_A$$

Όπου:

$$C_A = 0.006(L + 100)^{-0.16} - 0.0205 + 0.003\sqrt{\frac{L}{7.5}}C_B^4 c_2 (0.04 - c_4)$$

$$c_4 = \frac{T_F}{L} \quad \text{όταν} \quad \frac{T_F}{L} \leq 0.04$$

$$c_4 = 0.04 \quad \text{όταν} \quad \frac{T_F}{L} > 0.04$$

Αύξηση στο C_A λόγω αύξηση στην τραχύτητα της επιφάνειας μπορεί να ληφθεί υπόψη σύμφωνα με τον τύπο:

$$C_A = \frac{0.105k_s^{1/3} - 0.005579}{L^{1/3}}$$

L και k_s σε μέτρα.

Η επίδραση κάποιων παραγόντων πρόωσης και σπηλαίωσης στην αντίσταση του πλοίου (καθώς η ροή γύρω από την προπέλα μεταβάλλεται έχουμε επιπλέον αντίσταση) είναι πέρα από το σκοπό αυτής της εργασίας και επομένως δεν θα συμπεριληφθούν εδώ.

3.2.2 Excel

Για τον πιο γρήγορο και αποτελεσματικό χειρισμό όλων αυτών των τύπων και των αριθμών κρίθηκε σκόπιμο να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα στο Microsoft Excel. Το πρόγραμμα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να όλες οι απαραίτητες μεταβλητές να βρίσκονται συγκεντρωμένες βοηθώντας τον χρήστη στον εύκολο προσανατολισμό και παράλληλα γλιτώνοντας τον από περιττή δουλειά αφού ο προσδιορισμός κάθε μεταβλητής χρειάζεται να γίνει μόνο μια φορά και όχι τόσες φορές όσες χρησιμοποιείται σε τύπους. Ένα κουτάκι μέσα στο πρόγραμμα δηλαδή μπορεί να είναι συνδεδεμένο με παραπάνω από μια πράξη. Επομένως, η εισαγωγή των τιμών των μεταβλητών, που ουσιαστικά είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου, είναι το μόνο που χρειάζεται να κάνει ο χρήστης με τα ενδιάμεσα και τελικά αποτελέσματα να δίδονται από το πρόγραμμα απευθείας. Ιδιαίτερη προσοχή κατά την δημιουργία του προγράμματος δόθηκε στο να κρατηθεί η σειρά υπολογισμών ίδια, διευκολύνοντας στην επαλήθευση των τιμών.

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει και τις δυο προαναφερθείσες μεθόδους επιτρέποντας έτσι και μια σύγκριση μεταξύ τους. Πολλοί από τους συντελεστές είναι κοινοί και για τις δυο δημοσιεύσεις. Τα αποτελέσματα από την πιο πρόσφατη μέθοδο που υποτίθεται πως είναι και τα πιο ακριβή έχουν κίτρινο χρώμα.

Για τον τύπο της πρύμνης, ο χρήστης μπορεί να διαλέξει από μια λίστα drop-down με τις ανάλογες επιλογές.

Η βρεγμένη επιφάνεια υπολογίστηκε από τον τύπο του Holtrop:

$$S = L(2T+B) \sqrt{C_M} (0.453 + 0.4425 C_B - 0.2862 C_M - 0.003467 \frac{B}{T} + 0.3696 C_{WP}) + 2.38 \frac{A_{BT}}{C_B}$$

Αξίζει να σημειωθεί πως ο συντελεστής αντίστασης παρελκόμενων $1+k_2$ πρέπει να προσδιοριστεί από τον χρήστη βάσει του εν λόγω πίνακα.
Η ολική αντίσταση παριστάνεται γραφικά ακολουθούμενη από τα επιμέρους στοιχεία της.

3.2.3 Αποτελέσματα

Στις σελίδες που ακολουθούν, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν στις τρεις συνθήκες φόρτωσης (κάποια αλλάζουν με την φόρτωση, όπως η βρεγμένη επιφάνεια) και τα αποτελέσματα που έδωσε το Excel μαζί με την γραφική τους αναπαράσταση θα παρουσιαστούν.

Για μια ρεαλιστική εκτίμηση των αποτελεσμάτων, οι όποιες συνθήκες και απλουστεύσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η μέθοδος λοιπόν, ισχύει, σύμφωνα με τους συγγραφείς, για:

- $0.05 < F_n < 1.00$
- $3.90 < L/B < 14.9$
- $2.1 < B/T < 4.00$
- $0.55 < C_p < 0.85$

Το φάσμα των αριθμών Froude καλύπτει αυτό που δουλέψαμε, όπως επίσης και η αναλογία $\frac{B}{T}$. Αντίθετα, η αναλογία $\frac{L}{B}$ είναι μικρότερη από 3.9 και ο πρισματικός συντελεστής C_p τηρήθηκε μόνο για την φόρτωση 1.

Waterline length	L_{WL} (m)	14.87
Length between perpendiculars	L_{BP} (m)	13.86
Displacement length	L_D (m)	14.365
Distance of lcb from bow	FB (m)	6.926
lcb as % of $0.5L_{WL}$	LCB %	1.785589976
Beam	B (m)	4.72
Wetted surface area	S (m^2)	76.89407936
Longitudinal prismatic coefficient	C_P	0.638
Midship section coefficient	C_M	0.706
Mean draught	T (m)	1.87
Displacement volume	Displ (m^3)	60.44
Wetted area of appendages	S_{AA}	5
Transom area	A_T	0.8
Waterplane area coefficient	C_{WP}	0.773
Trim	(m)	0
Aft Draught	T_A (m)	1.87
Forward Draught	T_F (m)	1.87
Position of centre of A_{BT}	h_B	0
Transverse Area of bulbous	A_{BT} (m^2)	0
Block Coefficient	C_B	0.451
Afterbody form	choose	Normal sections
Stern type		Normal sections
Average hull roughness	k_s (m)	0.000125

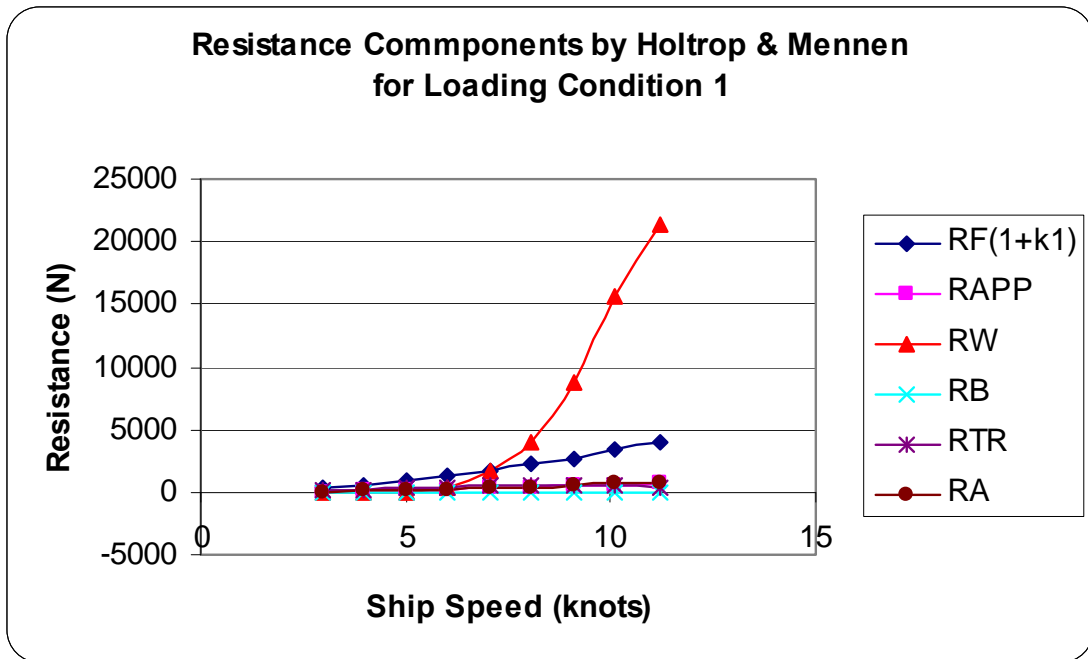
Πίνακας 3.1 Δεδομένα για την φόρτωση 1

V(knots)	2.951206413	3.980688883	5.021762	6.03221	7.042935192	8.069689853	9.08761	10.12389819	11.20541
$R_F(1+k_1)$	342.2907205	593.351692	910.2209	1276.427	1699.088928	2184.962522	2721.869	3324.046937	4011.457
R_{APP} (N)	62.822692	108.901435	167.0584	234.2704	311.8440963	401.0194239	499.5612	610.0824954	736.247
R_W	0.021140022	2.78147801	54.58089	370.7574	1762.218244	3987.547116	8711.043	15638.75015	21443.16
R_B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R_{TR}	147.0832419	241.00686	340.76	431.7576	506.8469485	556.4177227	568.6235	532.578796	431.1027
R_A	56.76834382	103.281732	164.3688	237.1701	323.3065001	424.4443328	538.2777	668.0401886	818.3941
Total Resistance (N)	608.9861383	1049.3232	1636.989	2550.383	4603.304717	7554.391117	13039.37	20773.49856	27440.36
P_E (kW)	0.924502209	2.14866378	4.228661	7.913757	16.67724758	31.35864362	60.95473	108.1828387	158.1679
Using previous method	0.925880836	2.15199239	4.227404	7.797359	17.44001163	30.42973258	59.80096	153.3958257	373.6084

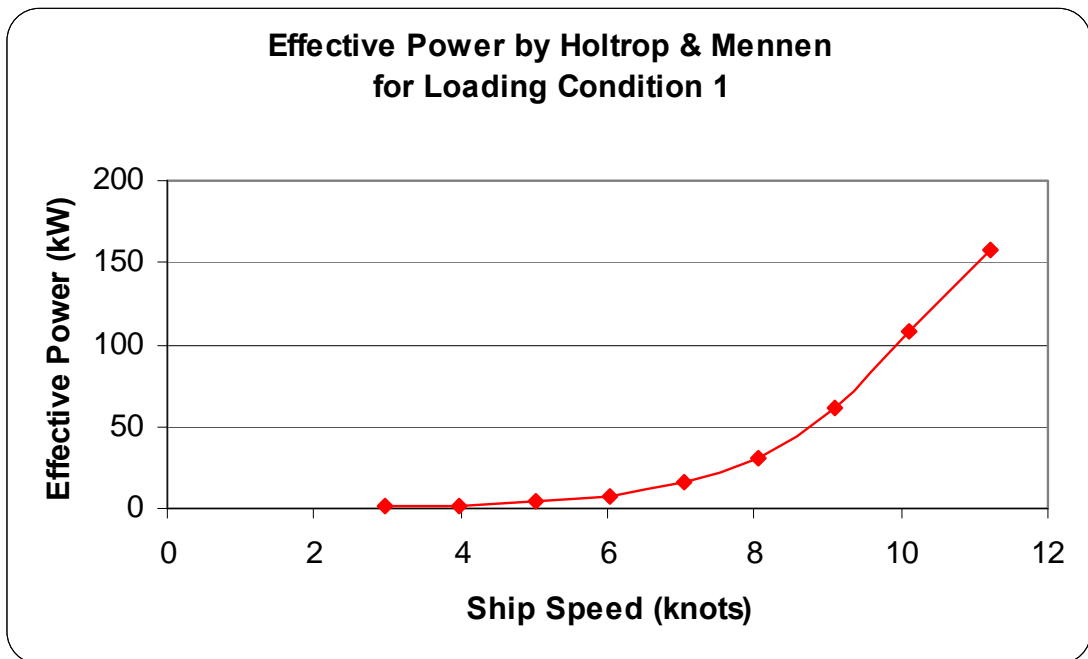
Πίνακας 3.2 Αποτελέσματα επιμέρους και ολικής αντίστασης και απαιτούμενης ισχύς για την φόρτωση 1

Frictional Resistance										
V(m/s)	1.518100579	2.04766633	2.583194	3.102969	3.622885863	4.15104846	4.674666	5.207733227	5.764063	
Stern Type	Normal sections									
C _{stern}	0									
C ₁₃	1									
T/L _{WL}	0.125756557									
C ₁₂	0.629992335									
L _R (m)	6.037836878									
1+k ₁	1.420909289									
v (m ² /s)*10 ⁻⁶	1.10438E-06									
R _n	20440569.02	27570943.3	34781598	41780134	48780594.34	55892075.74	62942366	70119880.01	77610615	
logR _n	7.310492981	7.44045163	7.54135	7.62097	7.688247087	7.747350239	7.798943	7.845841164	7.889921	
C _F	0.002659449	0.00253391	0.002442	0.002374	0.002317952	0.002270523	0.00223	0.00219466	0.002162	
R _F (N)	241.5346532	418.693779	642.29	900.7003	1198.948234	1541.80097	1920.665	2345.586591	2830.652	
R _F (1+k ₁)	343.1988324	594.92588	912.6358	1279.813	1703.596683	2190.759321	2729.091	3332.865776	4022.1	
Afterbody form	Normal sections									
C _{stern}	0									
C ₁₄	1									
1+k ₁	1.417149531									
R _F (1+k ₁)	342.2907205	593.351692	910.2209	1276.427	1699.088928	2184.962522	2721.869	3324.046937	4011.457	
Resistance of Appendages										
1+k ₂	4									
C _F	0.002659449	0.00253391	0.002442	0.002374	0.002317952	0.002270523	0.00223	0.00219466	0.002162	
R _{APP} (N)	62.822692	108.901435	167.0584	234.2704	311.8440963	401.0194239	499.5612	610.0824954	736.247	
Wave making Resistance										
C ₃	0									
?C ₃	0									
C ₂	1									
L _{WL} /B	3.150423729									
λ	0.828035288									
C ₁₆	1.324121679									
m ₁	-3.196442521									
L ³ _{WL} /displ	54.40119628									
C ₁₅	-1.69385									
F _n	0.125692845	0.16953884	0.213878	0.256914	0.299960911	0.343690728	0.387044	0.431180132	0.477242	
m ₂	-0.001229106	-0.0212609	-0.07747	-0.15154	-0.22690345	-0.295702067	-0.35368	-0.40264243	-0.44446	
B/L _{WL}	0.317417619									
C ₇	0.303098517									
L _R (m)	6.037836878									
I _E	35.75839303									
C ₁	36.66255419									
d	-0.9									
C ₅	0.897294981									
cosΔFn ²	-0.544135869	-0.8610379	0.733015	0.999774	-0.97546171	0.747346323	0.727791	-0.255710231	-0.88046	
R _W	0.021154165	2.83285173	51.67969	329.8591	1968.250948	3757.972867	8457.009	24311.82515	58809.01	
m ₄	-1.82998E-14	-5.773E-06	-0.00295	-0.03464	-0.11355003	-0.216359196	-0.31301	-0.394315598	-0.45982	
m ₃	-2.826315686									
C ₁₇	4.358085155									
R _{W-B 0.55}	30611.60989									
R _{W-A 0.4}	11709.64514									
R _W	0.021140022	2.78147801	54.58089	370.7574	1762.218244	3987.547116	8711.043	15638.75015	21443.16	
Bulbous bow Resistance										
g(T _F -h _B -0.25?A _{BT})	18.3447									
F _{n1}	0.351148901	0.47009308	0.587308	0.697535	0.803826506	0.907359972	1.005303	1.100020894	1.193401	
P _B	0									
R _B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Additional Pressure Resistance due to Immersed Transom										
F _{nT}	1.108489077	1.49516823	1.886201	2.265731	2.645364518	3.031019117	3.413355	3.802590868	4.208812	
C ₆	0.155660437	0.14019327	0.124552	0.109371	0.094185419	0.078759235	0.063466	0.047896365	0.031648	
R _{TR}	147.0832419	241.00686	340.76	431.7576	506.8469485	556.4177227	568.6235	532.578796	431.1027	
Model-Ship Correlation										
T _F /L _{WL}	0.125756557									
C ₄	0.04									
C ₂	1									
C _A	0.000758783									
k _S (m)	0.000125									
ΔC _A	-0.000133728									
R _A	56.76834382	103.281732	164.3688	237.1701	323.3065001	424.4443328	538.2777	668.0401886	818.3941	

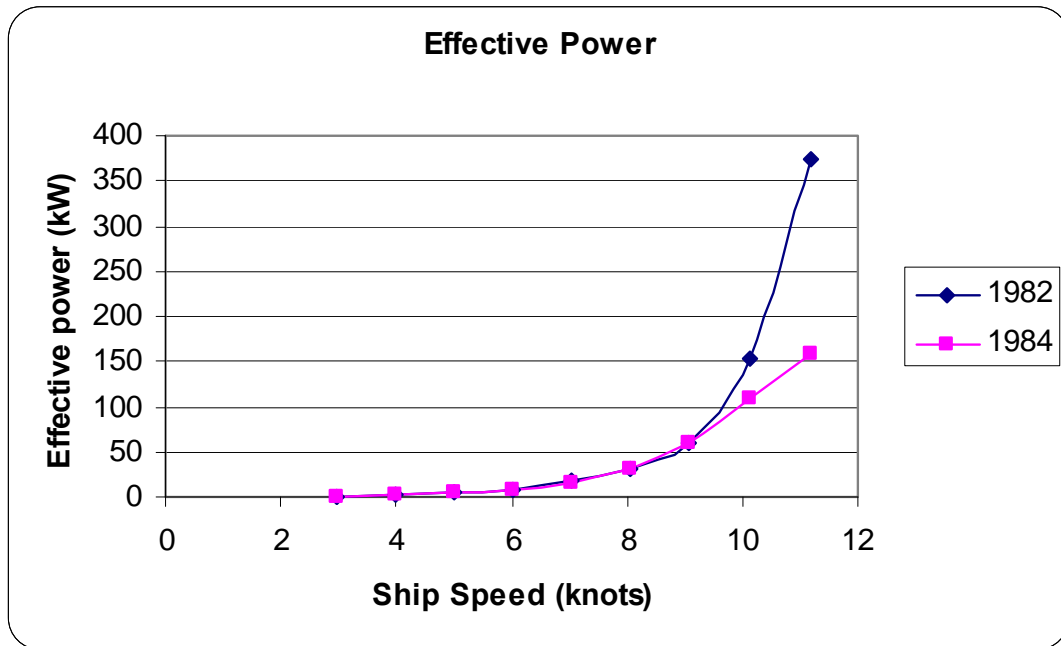
Πίνακας 3.3 Συνολικά αποτελέσματα από το excel για την φόρτωση 1



Σχήμα 3.1 Επιμέρους αντιστάσεις από τη μέθοδο του 1984



Σχήμα 3.2 Προβλεπόμενη ισχύς από τη μέθοδο του 1984



Σχήμα 3.3 Προβλεπόμενη ισχύς από για την φόρτωση 1

Ακολουθούν τα αποτελέσματα για την φόρτωση 2:

Waterline length	L_{WL} (m)	14.87
Length between perpendiculars	L_{BP} (m)	13.86
Displacement length	L_D (m)	14.365
Distance of lcb from bow	FB (m)	6.926
lcb as % of $0.5L_{WL}$	LCB %	1.785589976
Beam	B (m)	4.72
Wetted surface area	S (m^2)	59.74833166
Longitudinal prismatic coefficient	C_p	0.47
Midship section coefficient	C_M	0.506
Mean draught	T (m)	1.87
Displacement volume	Displ (m^3)	59.27
Wetted area of appendages	S_{AA}	5
Transom area	A_T	0.8
Waterplane area coefficient	C_{WP}	0.539
Trim	(m)	0.71
Aft Draught	T_A (m)	2.225
Forward Draught	T_F (m)	1.515
Position of centre of A_{BT}	h_B	0
Transverse Area	A_{BT} (m^2)	0
Block Coefficient	C_B	0.382
Afterbody form	choose	Normal sections
Stern type		Normal sections
Average hull roughness	k_s (m)	0.000125

Πίνακας 3.4 Δεδομένα για την φόρτωση 2

Το Excel παρουσίασε τις εξής τιμές:

Frictional Resistance									
V(m/s)	1.502755994	2.04963903	2.571704	3.08162	3.605473924	4.141226386	4.661952	5.195575232	5.743867
Stern Type Normal sections									
C _{stern}	0								
c ₁₃	1								
T/L-WL	0.125756557								
c ₁₂	0.629992335								
L _R (m)	8.731962031								
1+k ₁	1.284753712								
v (m ² /s)*10 ⁻⁶	1.10438E-06								
R _n	20233960.81	27597504.8	34626880	41492686	48546150.11	55759825.75	62771167	69956177.86	77338684
logR _n	7.306080904	7.44086982	7.539413	7.617972	7.686154794	7.746321408	7.79776	7.844826073	7.888397
C _F	0.002663873	0.00253352	0.002444	0.002376	0.002319658	0.002271336	0.002231	0.002195422	0.002163
R _F (N)	184.2086921	325.910993	494.9886	691.0032	923.3540907	1192.77639	1484.896	1814.700703	2185.222
R _F (1+k ₁)	236.6628009	418.715358	635.9385	887.769	1186.282595	1532.423894	1907.725	2331.443463	2807.471
Afterbody form Normal sections									
C _{stern}	0								
c ₁₄	1								
1+k ₁	1.302595958								
R _F (1+k ₁)	239.9494977	424.530342	644.7702	900.098	1202.757306	1553.705704	1934.219	2363.8218	2846.461
Resistance of Appendages									
1+k ₂	4								
C _F	0.002663873	0.00253352	0.002444	0.002376	0.002319658	0.002271336	0.002231	0.002195422	0.002163
R _{APP} (N)	61.66153497	109.094592	165.6912	231.3046	309.0811291	399.2668436	497.0501	607.4481587	731.4753
Wave making Resistance									
c ₃	0								
?c ₃	0								
c ₂	1								
L _{WL} /B	3.150423729								
λ	0.585107288								
c ₁₆	1.459364245								
m ₁	-3.328681189								
L ³ _{WL} /displ	55.47508525								
c ₁₅	-1.69385								
F _n	0.124422373	0.16970217	0.212927	0.255146	0.29851927	0.342877498	0.385992	0.430173497	0.47557
m ₂	-0.000585759	-0.0116156	-0.04123	-0.08053	-0.12182102	-0.159831592	-0.19124	-0.217961282	-0.24046
B/L _{WL}	0.317417619								
c ₇	0.303098517								
L _R (m)	8.731962031								
l _E	16.832733								
c ₁	24.28901121								
d	-0.9								
c ₅	0.856700112								
cosλFn ²	0.995371225	0.1031153	0.943056	-0.90607	0.96031643	0.261422105	-0.70698	-0.999793801	-0.85015
R _W	0.004573574	0.90963716	18.20778	152.2855	564.2010005	1937.014884	5585.113	12571.74762	22919.53
m ₄	-6.32809E-15	-5.99E-06	-0.00273	-0.03235	-0.11035539	-0.214435337	-0.31084	-0.392671318	-0.45775
m ₃	-2.826315686								
c ₁₇	6.535656019								
R _{W-B 0.55}	31853.62179								
R _{W-A 0.4}	8392.205776								
R _W	0.004576241	0.91072677	18.881	145.7808	570.4475355	1909.561133	6077.916	13111.62553	20212.05
Bulbous bow Resistance									
g(T _F -h _B -0.25?A _{BT})	14.86215								
F _{n1}	0.385437479	0.52073814	0.645875	0.763596	0.879329841	0.991797049	1.095121	1.194740309	1.290481
P _B	0								
R _B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Additional Pressure Resistance due to Immersed Transom									
F _{nT}	1.022313941	1.39435448	1.749511	2.096404	2.452777611	2.817246102	3.171492	3.534511931	3.907511
c ₆	0.159107442	0.14422582	0.13002	0.116144	0.101888896	0.087310156	0.07314	0.058619523	0.0437
R _{TR}	147.3164651	248.417187	352.5611	452.2081	543.0445125	613.9126261	651.7429	648.7739607	591.112
Model-Ship Correlation									
T _F /L _{WL}	0.101882986								
c ₄	0.04								
c ₂	1								
C _A	0.000758783								
k _S (m)	0.000125								
ΔC _A	-0.000133728								
R _A	43.22300448	80.4067997	126.5843	181.7591	248.8070785	328.243367	415.9811	516.6605351	631.4612

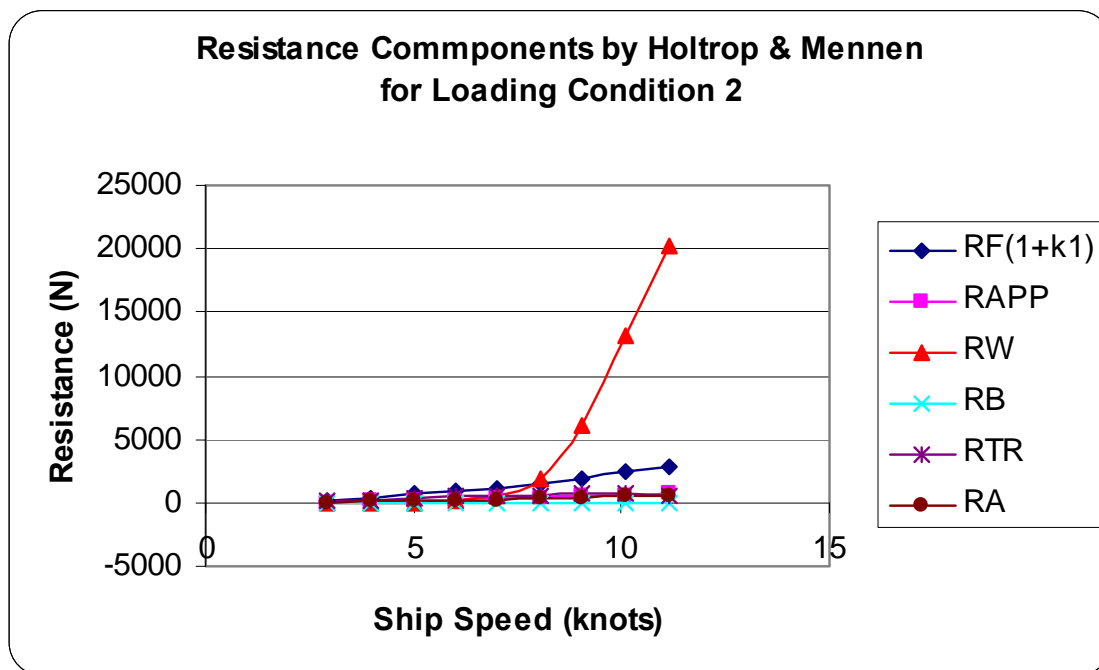
Πίνακας 3.5 Αποτελέσματα από το excel για την φόρτωση 2

Η ισχύς και οι ενδιάμεσοι συντελεστές παρουσιάζονται μετά:

V(m/s)	2.92137635	3.98452377	4.999424	5.990708	7.009086167	8.050595619	9.062892	10.10026289	11.16615
$R_F(1+k_1)$	239.9494977	424.530342	644.7702	900.098	1202.757306	1553.705704	1934.219	2363.8218	2846.461
R_{APP} (N)	61.66153497	109.094592	165.6912	231.3046	309.0811291	399.2668436	497.0501	607.4481587	731.4753
R_W	0.004576241	0.91072677	18.881	145.7808	570.4475355	1909.561133	6077.916	13111.62553	20212.05
R_B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R_{TR}	147.3164651	248.417187	352.5611	452.2081	543.0445125	613.9126261	651.7429	648.7739607	591.112
R_A	43.22300448	80.4067997	126.5843	181.7591	248.8070785	328.243367	415.9811	516.6605351	631.4612
Total Resistance (N)	492.1550785	863.359647	1308.488	1911.151	2874.137561	4804.689673	9576.909	17248.32998	25012.56
P_E (kW)	0.739588994	1.76957563	3.365043	5.88944	10.36262803	19.89730765	44.64709	89.61499605	143.6688
Using previous method	0.734649887	1.75765477	3.340599	5.871492	10.28070717	19.92286706	42.22615	86.6417957	158.9963

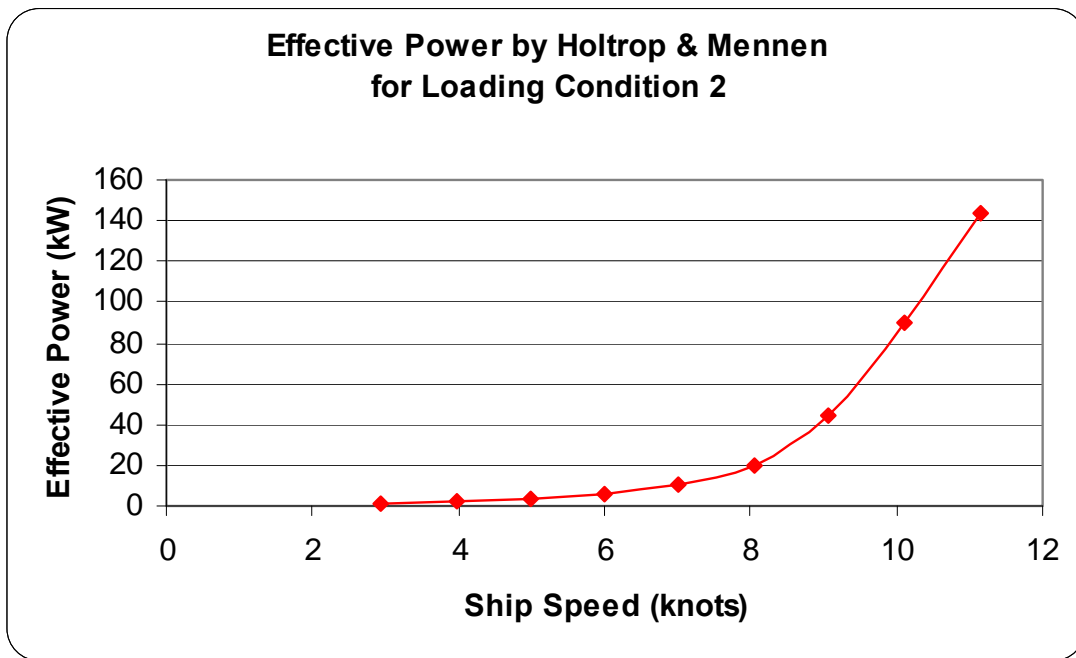
Πίνακας 3.6 Ισχύς και επιμέρους αντιστάσεις για την φόρτωση 2

Η γραφική αναπαράσταση του πίνακα 3.6 φαίνεται παρακάτω:



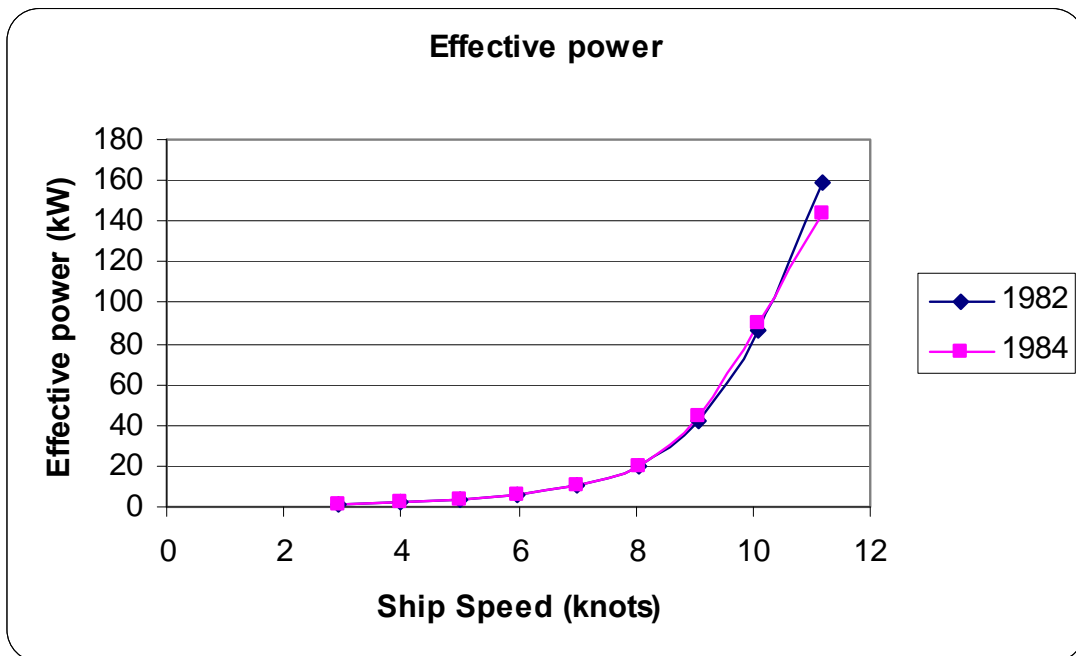
Σχήμα 3.4 Αντιστάσεις για την φόρτωση 2

Το διάγραμμα της ισχύος ακολουθεί:



Σχήμα 3.5 Ισχύς για την φόρτωση 2

Η σύγκριση των δυο μεθόδων ακολουθεί:



Σχήμα 3.6 Προβλεπόμενη ισχύς από τις δυο μεθόδους για την φόρτωση 2

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την φόρτωση 3 είναι:

Waterline length	L_{WL} (m)	14.87
Length between perpendiculars	L_{BP} (m)	13.86
Displacement length	L_D (m)	14.365
Distance of lcb from bow	FB (m)	6.926
lcb as % of $0.5L_{WL}$	LCB %	1.785589976
Beam	B (m)	4.72
Wetted surface area	S (m^2)	59.76137877
Longitudinal prismatic coefficient	C_P	0.473
Midship section coefficient	C_M	0.506
Mean draught	T (m)	1.87
Displacement volume	Displ (m^3)	59.21
Wetted area of appendages	S_{AA}	5
Transom area	A_T	0.8
Waterplane area coefficient	C_{WP}	0.537
Trim	(m)	0.71
Aft Draught	T_A (m)	2.225
Forward Draught	T_F (m)	1.515
Position of centre of A_{BT}	h_B	0
Transverse Area	A_{BT} (m^2)	0
Block Coefficient	C_B	0.384
Afterbody form	choose	Normal sections
Stern type		Normal sections
Average hull roughness	k_s (m)	0.000125

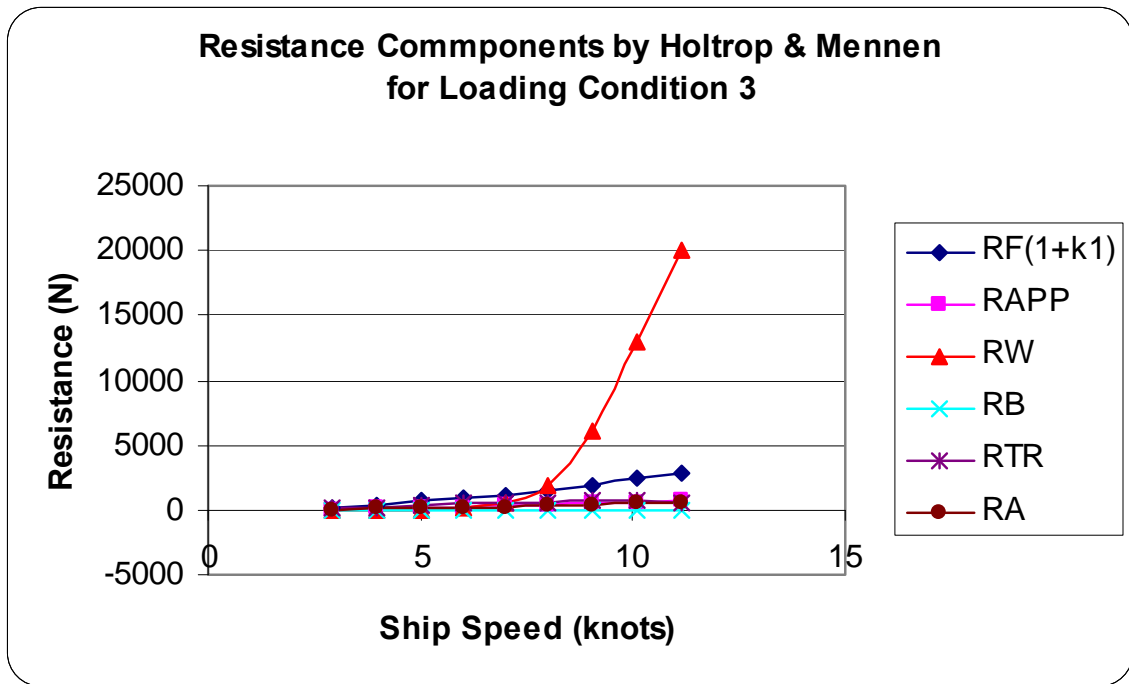
Πίνακας 3.7 Δεδομένα για την φόρτωση 3

V(knots)	2.919213967	3.95535504	5.010951	5.984793	7.026627772	8.023436103	9.052071	10.08678407	11.13792
$R_f(1+k_t)$	239.9854925	419.461454	648.4913	899.816	1210.149305	1546.361612	1932.864	2361.547456	2837.428
R_{APP} (N)	61.5777496	107.629391	166.396	230.8833	310.5115652	396.7801018	495.9526	605.9482029	728.054
R_W	0.004551673	0.82264609	19.53021	145.211	585.4946138	1842.65961	5996.317	13043.88897	20086.01
R_B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R_{TR}	147.1509995	245.547498	353.8734	451.8488	544.7932622	612.9423763	652.2661	650.1390929	594.8084
R_A	43.16846595	79.2511742	127.1965	181.44	250.1086171	326.1035719	415.0789	515.3950066	628.4103
Total Resistance (N)	491.8872593	852.712164	1315.487	1909.199	2901.057364	4724.847273	9492.479	17176.91873	24874.71
P_E (kW)	0.738639387	1.7349577	3.390844	5.877617	10.48586408	19.50065204	44.20064	89.12487721	142.5159
Using previous method	0.73373701	1.72335411	3.366295	5.861096	10.40209479	19.54192692	41.95389	86.35307059	157.8886

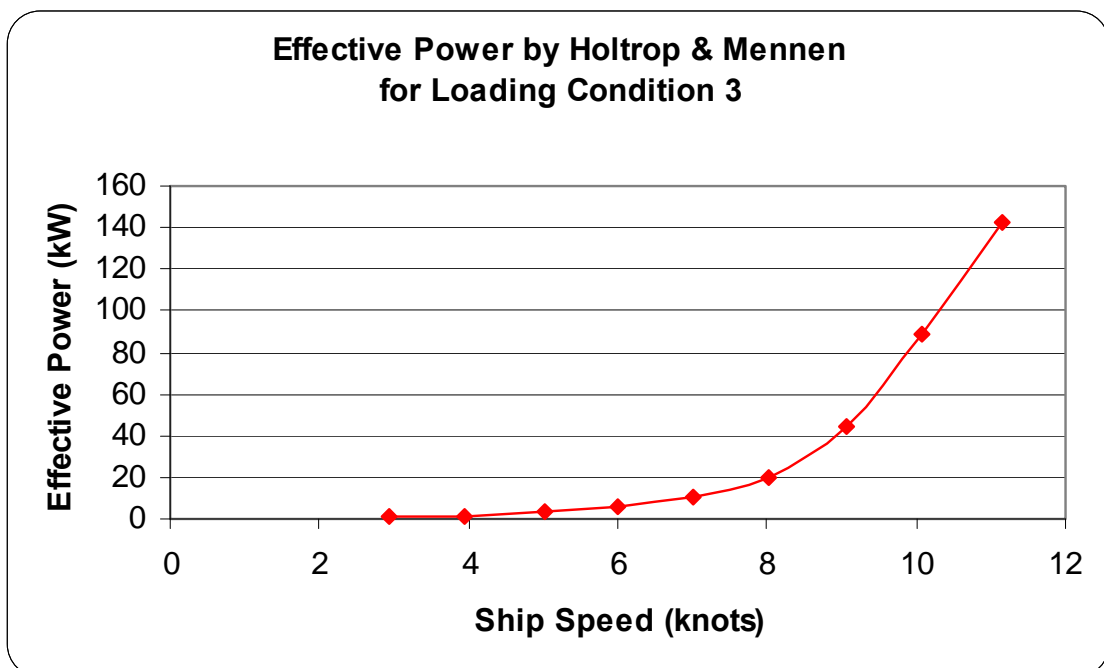
Πίνακας 3.8 Επιμέρους αντιστάσεις και ισχύς για την φόρτωση 3

Frictional Resistance									
V(m/s)	1.501643665	2.03463463	2.577633	3.078577	3.614497326	4.127255531	4.656385	5.188641724	5.729348
Stern Type		Normal sections							
C _{stern}	0								
C ₁₃	1								
T/L _{WL}	0.125756557								
C ₁₂	0.629992335								
L _R (m)	8.681263427								
1+k ₁	1.286536266								
v (m2/s)*10-6	1.10438E-06								
R _n	20218983.77	27395477.1	34706718	41451715	48667646.31	55571714.22	62696220	69862821.16	77143203
logR _n	7.305759324	7.43767887	7.540414	7.617543	7.687240343	7.744853794	7.797241	7.844246119	7.887298
C _F	0.002664196	0.0025365	0.002443	0.002377	0.002318772	0.002272497	0.002232	0.002195858	0.002164
R _F (N)	183.9985609	321.60404	497.2028	689.8952	927.829963	1185.606298	1481.941	1810.615004	2175.476
R _F (1+k ₁)	236.7208214	413.755261	639.6695	887.5752	1193.686896	1525.325499	1906.57	2329.421865	2798.828
Afterbody form		Normal sections							
C _{stern}	0								
C ₁₄	1								
1+k ₁	1.304279182								
R _F (1+k ₁)	239.9854925	419.461454	648.4913	899.816	1210.149305	1546.361612	1932.864	2361.547456	2837.428
Resistance of Appendages									
1+k ₂	4								
C _F	0.002664196	0.0025365	0.002443	0.002377	0.002318772	0.002272497	0.002232	0.002195858	0.002164
R _{APP} (N)	61.5777496	107.629391	166.396	230.8833	310.5115652	396.7801018	495.9526	605.9482029	728.054
Wave making Resistance									
C ₃	0								
?C ₃	0								
C ₂	1								
L _{WL} /B	3.150423729								
λ	0.589445288								
C ₁₆	1.458347566								
m ₁	-3.327509401								
L ³ _{WL} /displ	55.53130051								
C ₁₅	-1.69385								
F _n	0.124330277	0.16845986	0.213418	0.254894	0.299266373	0.341720765	0.385531	0.429599429	0.474368
m ₂	-0.000587608	-0.0111749	-0.04218	-0.08131	-0.1240735	-0.160947431	-0.19338	-0.220433842	-0.243
B/L _{WL}	0.317417619								
C ₇	0.303098517								
L _R (m)	8.681263427								
I _E	16.9633587								
C ₁	24.34879059								
d	-0.9								
C ₅	0.856700112								
cosαFn ²	0.907753713	-0.343201	0.930497	-0.93856	0.955820813	0.329142173	-0.67917	-0.998634283	-0.86676
R _W	0.004549246	0.82580592	18.82827	152.0853	578.7811051	1873.696288	5540.102	12541.80797	22807.77
m ₄	-5.84861E-15	-4.506E-06	-0.00284	-0.03203	-0.11200782	-0.211694912	-0.30989	-0.391729301	-0.45625
m ₃	-2.826315686								
C ₁₇	6.52236587								
R _{W-B 0.55}	31983.02032								
R _{W-A 0.4}	8387.868868								
R _W	0.004551673	0.82264609	19.53021	145.211	585.4946138	1842.65961	5996.317	13043.88897	20086.01
Bulbous bow Resistance									
g(T _F -h _B -0.25?A _{BT})	14.86215								
F _{n1}	0.385158531	0.5170795	0.647271	0.762908	0.881274444	0.988942679	1.094048	1.193486762	1.288032
P _B	0								
R _B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Additional Pressure Resistance due to Immersed Transom									
F _{n1T}	1.020893236	1.38324743	1.752405	2.092972	2.457317909	2.805916845	3.165646	3.527500806	3.895101
C ₆	0.159164271	0.1446701	0.129904	0.116281	0.101707284	0.087763326	0.073374	0.058899968	0.044196
R _{TR}	147.1509995	245.547498	353.8734	451.8488	544.7932622	612.9423763	652.2661	650.1390929	594.8084
Model-Ship Correlation									
T _F /L _{WL}	0.101882986								
C ₄	0.04								
C ₂	1								
C _A	0.000758783								
k _S (m)	0.000125								
ΔC _A	-0.000133728								
R _A	43.16846595	79.2511742	127.1965	181.44	250.1086171	326.1035719	415.0789	515.3950066	628.4103

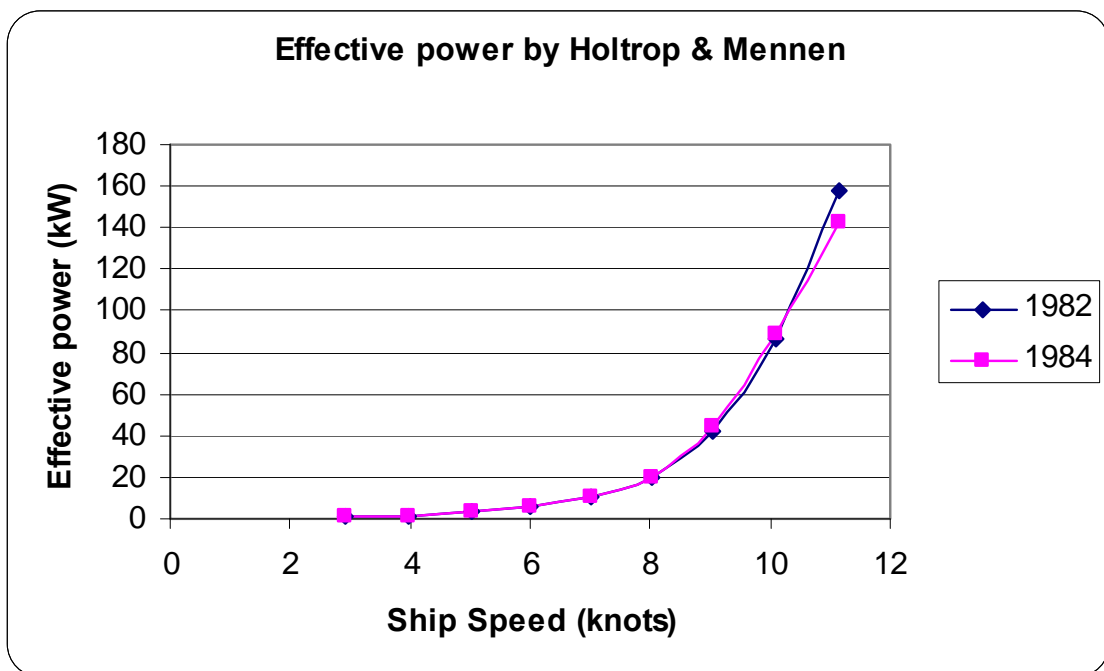
Πίνακας 3.9 Αποτελέσματα από το excel για την φόρτωση 3



Σχήμα 3.7 Επιμέρους αντιστάσεις για την φόρτωση 3



Σχήμα 3.8 Ισχύς για την φόρτωση 3

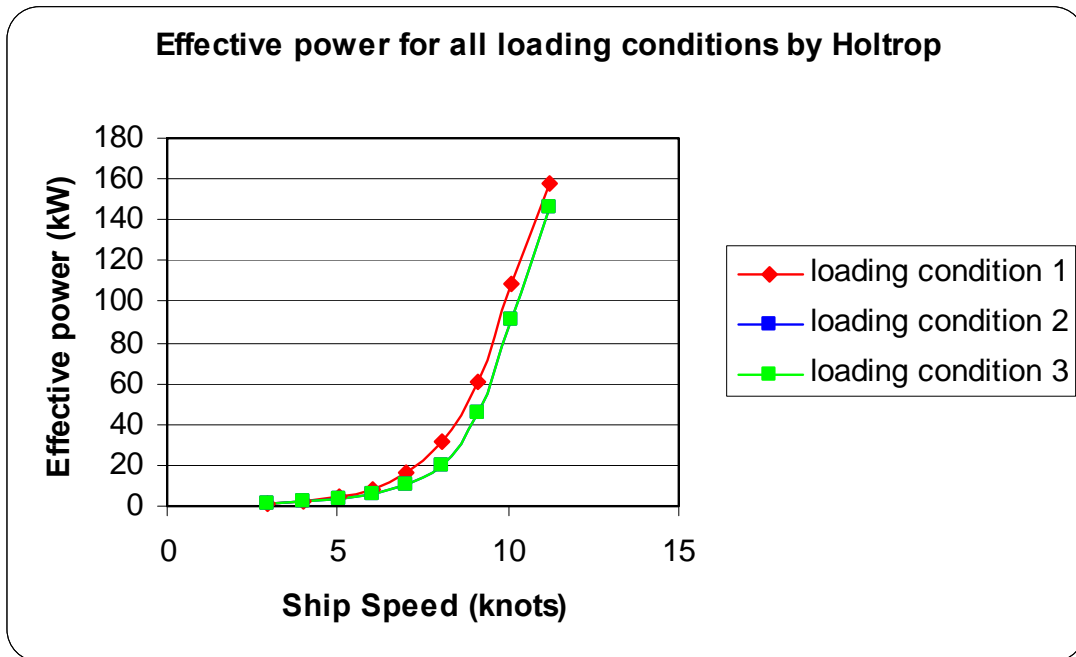


Σχήμα 3.9 Προβλεπόμενη ισχύς από τις δυο μεθόδους για την φόρτωση 3

3.2.4 Σχόλια

Χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν κοιτώντας τα ανωτέρω σχήματα.

- Ο Holtrop πάντα προβλέπει λιγότερη ισχύ από τις μεθόδους αναγωγής. Αυτό αληθεύει για όλες τις φορτώσεις και θα φανεί πιο καθαρά αργότερα όταν όλες οι διαφορετικές μέθοδοι με τα αποτελέσματά τους θα παρασταθούν γραφικά.
- Η μέθοδος του 1982 υπερεκτιμά την ισχύ, ιδιαίτερα σε υψηλές ταχύτητες και πιο συγκεκριμένα στην φόρτωση 1 η διαφορά είναι τεράστια. Πιθανός λόγος είναι η υψηλή τιμή της αντίστασης κυμάτων που προβλέπει η παλιά μέθοδος (1982).
- Το σχήμα 3.10 δείχνει πως η φόρτωση 1 απαιτεί περισσότερη ισχύ σε όλη την γκάμα των ταχυτήτων ενώ οι άλλες δυο συνθήκες βρίσκονται κοντά μεταξύ τους.



Σχήμα 3.10 Προβλεπόμενες ισχύς και για τις τρεις φορτώσεις από τον Holtrop (1984)

3.3 Oortmerssen : Μια εναλλακτική μέθοδος πρόβλεψης της απαιτούμενης ισχύος

Όπως και οι προηγούμενες μέθοδοι από τους Holtrop & Mennen οι οποίες βασίστηκαν σε συλλογή δεδομένων από πειράματα με μοντέλα για να εξάγουν τύπους που να παράγουν ικανοποιητικά αποτελέσματα έτσι και η μέθοδος από τον Oortmerssen θα χρησιμεύσει σαν άλλο ένα μέσο σύγκρισης. Η μέθοδος αυτή παρουσιάστηκε το 1971 στην έρευνα με τίτλο «A Power Prediction Method and its Application to Small Ships».

Οι συντελεστές του εδώ προτεινόμενου μαθηματικού μοντέλου εξάχθηκαν από πειράματα με 93 μοντέλα στο Netherlands ship Model Basin.

3.3.1 Περιγραφή της μεθόδου

Σύμφωνα με τον Oortmerssen η ολική αντίσταση μπορεί να βρεθεί από:

$$\frac{R_T}{\nabla^2} = c_1 e^{-\frac{m}{9}Fn^{-2}} + c_2 e^{-mFn^{-2}} + c_3 e^{-mFn^{-2}} \sin Fn^{-2} + c_4 e^{-mFn^{-2}} \cos Fn^{-2} + \frac{0.075}{(0.43428 \ln(Rn) - 2)^2} \frac{1/2 \rho V^2 S}{\Delta}$$

Όπου:

$$c_i = (d_{i,0} + d_{i,1} lcb + d_{i,2} lcb^2 + d_{i,3} C_P + d_{i,4} C_P^2 + d_{i,5} \frac{L_D}{B} + d_{i,6} \left(\frac{L_D}{B}\right)^2 + d_{i,7} C_{WL} + d_{i,8} C_{WL}^2 + d_{i,9} \frac{B}{T} + d_{i,10} \left(\frac{B}{T}\right)^2 + d_{i,11} C_M) 10^{-3}$$

Με:

L_D : μήκος εκτοπίσματος που υπολογίζεται βάσει του μήκους του πλοίου στο ύψος της θάλασσας L_{WL} και του μήκους μεταξύ των καθέτων L_{PP} .

$$L_D = 0.5 (L_{WL} + L_{PP})$$

C_{WL} : παράμετρος για την γωνία εισόδου της ροής του νερού

$$C_{WL} = i_E \frac{L_D}{B}$$

Οι συντελεστές d_i παίρνονται από τον πίνακα 3.10 που φαίνεται παρακάτω:

$i =$	1	2	3	4
$d_{i,0}$	+ 79.32134	+ 6714.88397	- 908.44371	+ 3012.14549
$d_{i,1}$	- 0.09287	+ 19.83000	+ 2.52704	+ 2.71437
$d_{i,2}$	- 0.00209	+ 2.66997	- 0.35794	+ 0.25521
$d_{i,3}$	- 246.45896	- 19662.02400	+ 755.18660	- 9198.80840
$d_{i,4}$	+ 187.13664	+ 14099.90400	- 48.93952	+ 6886.60416
$d_{i,5}$	- 1.42893	+ 137.33613	- 9.86873	- 159.92694
$d_{i,6}$	+ 0.11898	- 13.36938	- 0.77652	+ 16.23621
$d_{i,7}$	+ 0.15727	- 4.49852	+ 3.79020	- 0.82014
$d_{i,8}$	- 0.00064	+ 0.02100	- 0.01879	+ 0.00225
$d_{i,9}$	- 2.52862	+ 216.44923	- 9.24399	+ 236.37970
$d_{i,10}$	+ 0.50619	- 35.07602	+ 1.28571	- 44.17820
$d_{i,11}$	+ 1.62851	-128.72535	+ 250.64910	+ 207.25580

Πίνακας 3.10

Τέλος το m μπορεί να βρεθεί από:

$$m = 0.14347 C_p^{-2.1976}$$

Ο αριθμός Froude βασίζεται στο μήκος εκτοπίσματος.

Σε μια πιο απλουστευμένη μορφή ο τύπος της αντίστασης μπορεί να γραφεί:

$$R_T = (c_1 f_1 + c_2 f_2 + c_3 f_3 + c_4 f_4) \Delta + (C_F + \Sigma \Delta C_F) 0.5 \rho V^2 S$$

Όπου:

$\Sigma \Delta C_F$: είναι η επιπλέον αύξηση στην αντίσταση τριβής λόγω της τραχύτητας, της αντίστασης του αέρα, του bilge keel και του τιμονιού.

Allowance for:	ΔC_F
Roughness all-welded hull	0.00035
Steering resistance	0.00004
Bilge keel resistance	0.00004
Air resistance	0.00008

Σημείωση: το πρώτο μισό της εξίσωσης δίνει κιλά ενώ το δεύτερο μισό Newtons, επομένως το πρώτο μέρος πρέπει να πολλαπλασιαστεί με g.

3.3.2 Προγραμματισμός στο Excel

Για άλλη μια φορά το πρόγραμμα Excel χρησιμοποιήθηκε για την αριθμητική εφαρμογή της μεθόδου, βασισμένο στα ίδια σχεδιαστικά κριτήρια δηλαδή γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Η βρεγμένη επιφάνεια σε αυτή την περίπτωση δίνεται από τον τύπο τον Oortmerssen:

$$S = 3.223 \nabla^{2/3} + 0.5402 L_D \nabla^{1/3}$$

Η γωνία εισόδου του νερού i_E πάρθηκε 32.9 μοίρες από τα σχέδια του πλοίου.

Εναλλακτικά, ο προτεινόμενος τύπος από τον Holtrop για την γωνία εισόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο οποίος υπολογίζει σχεδόν την ίδια τιμή για την φόρτωση 1 αλλά αρκετά μικρότερες τιμές για τις άλλες δυο συνθήκες. Η επίδρασή τους στην ισχύ είναι μια αύξηση της τάξης των 7-8 kW σε σχέση με τα αποτελέσματα που δίνουν οι 32.9 μοίρες.

3.3.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Ο Oortmerssen, στην ερευνά του δίνει τους περιορισμούς μέσα στους οποίους η μέθοδος του ισχύει και άρα τα πλαίσια μέσα στα οποία είναι αξιόπιστη. Αυτοί παρουσιάζονται ευθύς αμέσως:

- $1.9 < \frac{B}{T} < 4.0$
- $3.0 < \frac{L_D}{B} < 7.0$
- $0 < \nabla < 3500$ σε m^3
- $0 < S < 1300$ σε m^2

- $0.5 < C_P < 0.725$
- $0.73 < C_M < 0.97$
- $10 < i_E < 38$ και $42 < i_E < 46$
- $-8 < l_{cb} < -5.6$ και $-4.4 < l_{cb} < 2.8$

Η γεωμετρία του Bernicia καλύπτει τους περισσότερους από τους περιορισμούς με μόνο το C_M να είναι λίγο εκτός. Επομένως μπορούμε να περιμένουμε ικανοποιητικές τιμές αποτελεσμάτων. Αυτά παρουσιάζονται στις σελίδες που ακολουθούν ξεκινώντας από την φόρτωση 1.

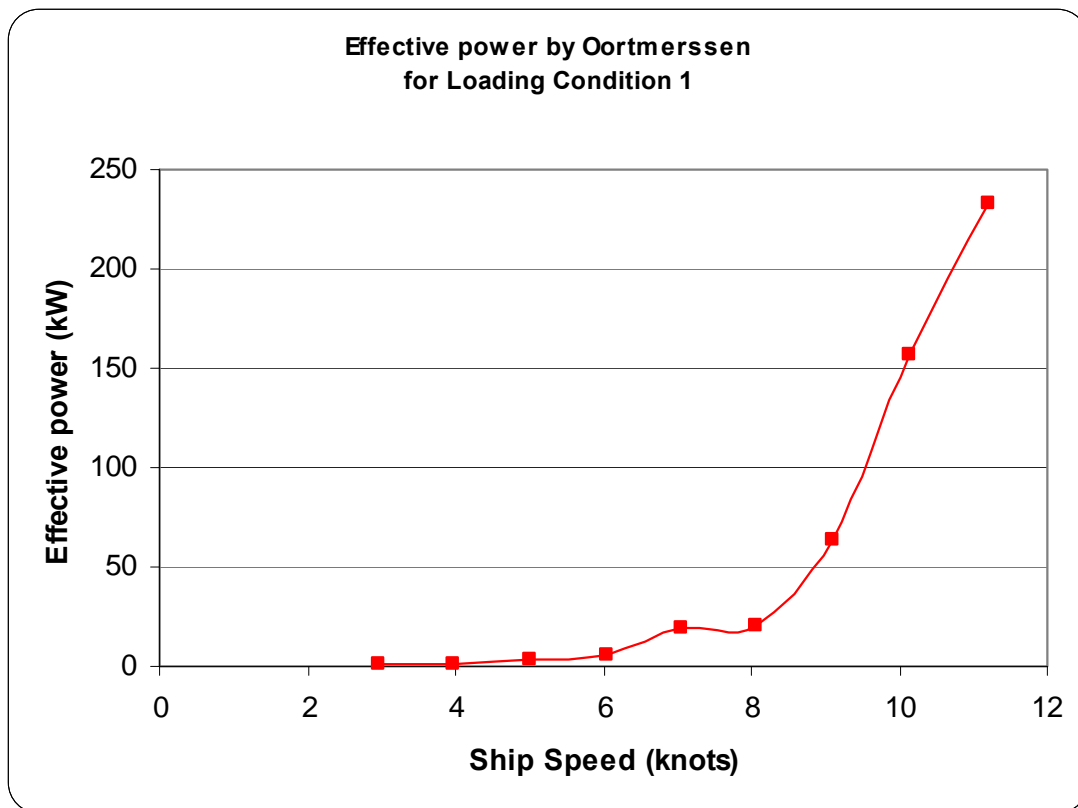
Waterline length	L_{WL} (m)	14.87
Length between perpendiculars	L_{BP} (m)	13.86
Displacement length	L_D (m)	14.365
Distance of lcb from bow	FB (m)	6.926
lcb as % of $0.5L_{WL}$	LCB %	1.78559
Beam	B (m)	4.72
Entrance angle	i_E (deg)	32.9
Wetted surface area	S (m^2)	78.33841
Prismatic coefficient	C_P	0.638
Midship section coefficient	C_M	0.706
Mean draught	T (m)	1.87
Displacement	Displ (m^3)	60.44

Πίνακας 3.11 Δεδομένα για την φόρτωση 1

Τα αποτελέσματα που έδωσε το excel μαζί με τους ενδιάμεσους συντελεστές είναι:

V_S (knots)	2.951206	3.980689	5.021762	6.03221	7.042935	8.06969	9.08761	10.1239	11.20541
LCB	1.78559								
C_P	0.638								
B/T	2.524064								
L_D/B	3.043432								
C_{WL}	100.1289								
C_M	0.706								
c₁	0.002124								
c₂	0.203367								
c₃	-0.11956								
c₄	0.017198								
m	0.385201								
V_S(m/s)	1.518101	2.047666	2.583194	3.102969	3.622886	4.151048	4.674666	5.207733	5.764063
Fn	0.127883	0.172493	0.217605	0.261391	0.305188	0.34968	0.393789	0.438694	0.485558
v_s	1.1E-06								
Rn	19746387	26634607	33600380	40361239	47123957	53993925	60804781	67738539	74974881
m/9 Fn⁻²	-2.61709	-1.43847	-0.90387	-0.62642	-0.45953	-0.35003	-0.27601	-0.22239	-0.18154
f₁	0.073015	0.23729	0.405	0.534503	0.631583	0.704668	0.758809	0.8006	0.833989
m Fn⁻²	-23.5538	-12.9462	-8.13481	-5.63777	-4.13573	-3.15026	-2.48405	-2.00154	-1.63382
f₂	5.9E-11	2.39E-06	0.000293	0.003561	0.015991	0.042841	0.083405	0.135127	0.195182
sin Fn⁻²	-0.99348	0.812523	0.766116	0.878183	-0.96664	0.947892	0.164778	-0.88528	-0.89116
f₃	-5.9E-11	1.94E-06	0.000225	0.003127	-0.01546	0.040609	0.013743	-0.11962	-0.17394
cos Fn⁻²	-0.11403	-0.58293	-0.6427	-0.47833	-0.25612	-0.31859	0.986331	0.465064	-0.4537
f₄	-6.7E-12	-1.4E-06	-0.00019	-0.0017	-0.0041	-0.01365	0.082265	0.062843	-0.08855
C_F	0.002675	0.002548	0.002456	0.002387	0.00233	0.002282	0.002242	0.002206	0.002173
DC_F	0.00051								
C_F+DC_F	0.003185	0.003058	0.002966	0.002897	0.00284	0.002792	0.002752	0.002716	0.002683
R_F	294.6639	514.7864	794.5633	1119.712	1496.722	1931.86	2414.407	2957.337	3578.945
C_W	0.000155	0.000504	0.00089	0.001456	0.006371	0.005119	0.018345	0.044564	0.060739
R_W	94.25934	306.4706	540.7802	885.0947	3872.11	3111.222	11149.1	27083.5	36913.29
R_T (N)	388.9233	821.257	1335.343	2004.806	5368.833	5043.082	13563.51	30040.84	40492.23
P_E (kW)	0.590425	1.68166	3.449452	6.220852	19.45067	20.93408	63.40489	156.4447	233.3998

Πίνακας 3.12 Αποτελέσματα από το excel για την φόρτωση 1



Σχήμα 3.11 Ισχύς από τον Oortmerssen για την φόρτωση 1

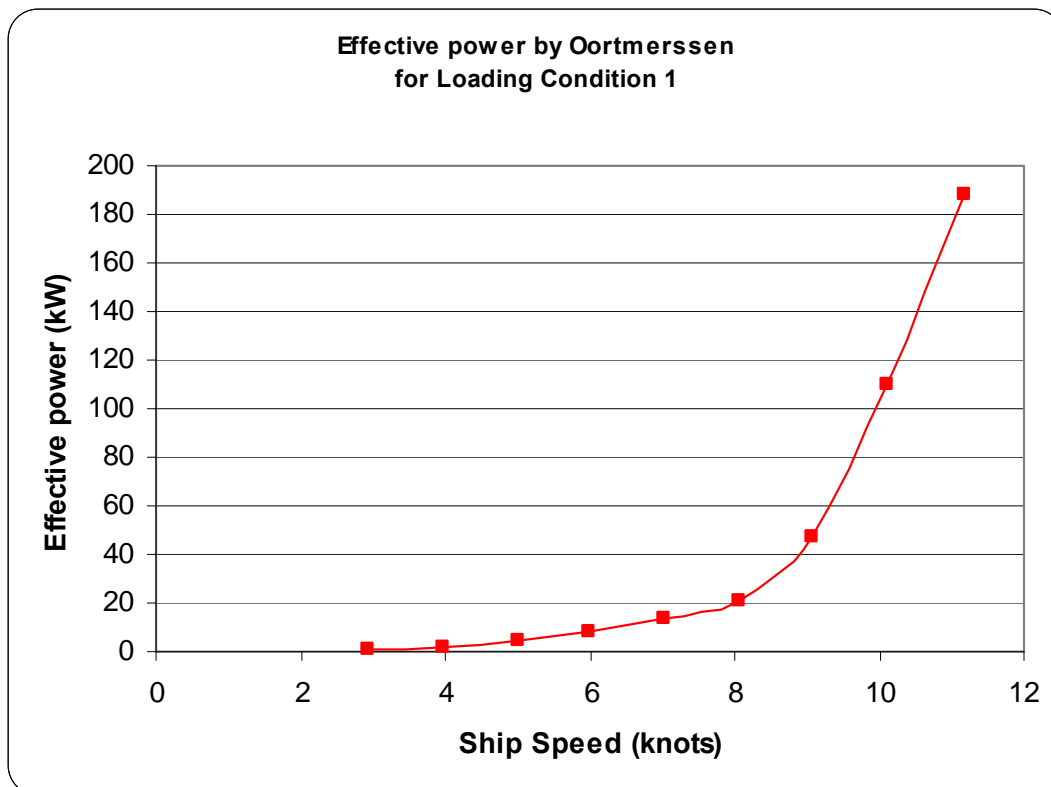
Τα δεδομένα για την φόρτωση 2 ακολουθούν:

Waterline length	L_{WL} (m)	14.87
Length between perpendiculars	L_{BP} (m)	13.86
Displacement length	L_D (m)	14.365
Distance of lcb from bow	FB (m)	6.926
lcb as % of $0.5L_{WL}$	LCB %	1.78559
Beam	B (m)	4.72
Entrance angle	i_E (deg)	32.9
Wetted surface area	S (m^2)	77.52612
Prismatic coefficient	C_P	0.47
Midship section coefficient	C_M	0.506
Mean draught	T (m)	1.87
Displacement	Displ (m^3)	59.27

Πίνακας 3.13 Γεωμετρικά στοιχεία για την φόρτωση 2

V_s (knots)	2.921376	3.984524	4.999424	5.990708	7.009086	8.050596	9.062892	10.10026	11.16615
LCB	1.78559								
C_p	0.47								
B/T	2.524064								
L_D/B	3.043432								
C_{WL}	100.1289								
C_M	0.506								
c₁	0.008369								
c₂	0.924473								
c₃	-0.28745								
c₄	0.239247								
m	0.753978								
V_s(m/s)	1.502756	2.049639	2.571704	3.08162	3.605474	4.141226	4.661952	5.195575	5.743867
Fn	0.126591	0.172659	0.216637	0.259592	0.303721	0.348852	0.392718	0.43767	0.483857
v_s	1.1E-06								
Rn	19546795	26660266	33450916	40083554	46897475	53866167	60639396	67580396	74712186
m/9 Fn⁻²	-5.22774	-2.81019	-1.78504	-1.24318	-0.90817	-0.68839	-0.54319	-0.43734	-0.35783
f₁	0.005366	0.060193	0.16779	0.288466	0.403262	0.502385	0.58089	0.645749	0.699189
m Fn⁻²	-47.0497	-25.2917	-16.0654	-11.1886	-8.17351	-6.19549	-4.88875	-3.9361	-3.22051
f₂	3.69E-21	1.04E-11	1.05E-07	1.38E-05	0.000282	0.002039	0.007531	0.019524	0.039935
sin Fn⁻²	-0.41684	0.848493	0.631615	0.7634	-0.988	0.934806	0.199411	-0.87369	-0.90431
f₃	-1.5E-21	8.8E-12	6.66E-08	1.06E-05	-0.00028	0.001906	0.001502	-0.01706	-0.03611
cos Fn⁻²	0.908979	-0.52921	-0.77528	-0.64593	-0.15444	-0.35516	0.979916	0.486478	-0.42687
f₄	3.35E-21	-5.5E-12	-8.2E-08	-8.9E-06	-4.4E-05	-0.00072	0.00738	0.009498	-0.01705
C_F	0.002679	0.002548	0.002458	0.002389	0.002332	0.002283	0.002243	0.002207	0.002174
DC_F	0.00051								
C_F+DC_F	0.003189	0.003058	0.002968	0.002899	0.002842	0.002793	0.002753	0.002717	0.002684
R_F	286.1438	510.3652	779.7969	1093.871	1467.888	1903.351	2377.185	2913.848	3518.537
C_w	4.49E-05	0.000504	0.001404	0.002422	0.003705	0.005368	0.013158	0.03063	0.049073
R_w	26.76317	300.2376	836.9501	1443.376	2208.337	3199.327	7841.557	18254.62	29246.07
R_T (N)	312.9069	810.6027	1616.747	2537.246	3676.225	5102.677	10218.74	21168.46	32764.61
P_E (kW)	0.470223	1.661443	4.157794	7.818829	13.25453	21.13134	47.63928	109.9824	188.1955

Πίνακας 3.14 Αποτελέσματα από το excel για την φόρτωση 2



Σχήμα 3.12 Ισχύς από τον Oortmerssen για την φόρτωση 2

Waterline length	L_{WL} (m)	14.87
Length between perpendiculars	L_{BP} (m)	13.86
Displacement length	L_D (m)	14.365
Distance of lcb from bow	FB (m)	6.926
lcb as % of $0.5L_{WL}$	LCB %	1.78559
Beam	B (m)	4.72
Entrance angle	i_E (deg)	32.9
Wetted surface area	S (m^2)	77.48429
Prismatic coefficient	C_P	0.473
Midship section coefficient	C_M	0.506
Mean draught	T (m)	1.87
Displacement	Displ (m^3)	59.21

Table 3.15 Δεδομένα για την φόρτωση 3

V_s (knots)	2.919214	3.955355	5.010951	5.984793	7.026628	8.023436	9.052071	10.08678	11.13792
LCB	1.78559								
C_p	0.473								
B/T	2.524064								
L_D/B	3.043432								
C_{WL}	100.1289								
C_M	0.506								
c₁	0.008159								
c₂	0.905121								
c₃	-0.28533								
c₄	0.231132								
m	0.743509								
V_s(m/s)	1.501644	2.034635	2.577633	3.078577	3.614497	4.127256	4.656385	5.188642	5.729348
Fn	0.126497	0.171395	0.217137	0.259336	0.304481	0.347675	0.392249	0.437085	0.482634
v_s	1.1E-06								
Rn	19532327	26465099	33528043	40043974	47014845	53684443	60566994	67490210	74523343
m/9 Fn⁻²	-5.16279	-2.8122	-1.75217	-1.22834	-0.89109	-0.68343	-0.53693	-0.43243	-0.35466
f₁	0.005726	0.060073	0.173397	0.292778	0.410208	0.504881	0.584538	0.648933	0.701414
m Fn⁻²	-46.4651	-25.3098	-15.7695	-11.0551	-8.01983	-6.15089	-4.8324	-3.89183	-3.19191
f₂	6.61E-21	1.02E-11	1.42E-07	1.58E-05	0.000329	0.002132	0.007967	0.020408	0.041093
sin Fn⁻²	-0.33112	0.493893	0.704381	0.744117	-0.97821	0.913575	0.214586	-0.86682	-0.91335
f₃	-2.2E-21	5.03E-12	9.98E-08	1.18E-05	-0.00032	0.001947	0.00171	-0.01769	-0.03753
cos Fn⁻²	0.943589	-0.86952	-0.70982	-0.66805	-0.2076	-0.40667	0.976705	0.498628	-0.40717
f₄	6.24E-21	-8.9E-12	-1E-07	-1.1E-05	-6.8E-05	-0.00087	0.007782	0.010176	-0.01673
C_F	0.002679	0.002551	0.002457	0.002389	0.002331	0.002284	0.002243	0.002207	0.002175
DC_F	0.00051								
C_F+DC_F	0.003189	0.003061	0.002967	0.002899	0.002841	0.002794	0.002753	0.002717	0.002685
R_F	285.5953	503.1419	782.7395	1091.26	1473.985	1890.301	2370.578	2904.977	3499.945
C_w	4.67E-05	0.00049	0.001415	0.002397	0.003721	0.005293	0.013292	0.031166	0.049759
R_w	27.81443	291.8241	842.38	1427.335	2215.199	3151.202	7913.473	18555.35	29625.23
R_T (N)	313.4097	794.966	1625.119	2518.594	3689.185	5041.503	10284.05	21460.33	33125.18
P_E (kW)	0.47063	1.617465	4.188962	7.753688	13.33455	20.80757	47.88651	111.35	189.7857

Πίνακας 3.16 Αποτελέσματα από το excel για την φόρτωση 3

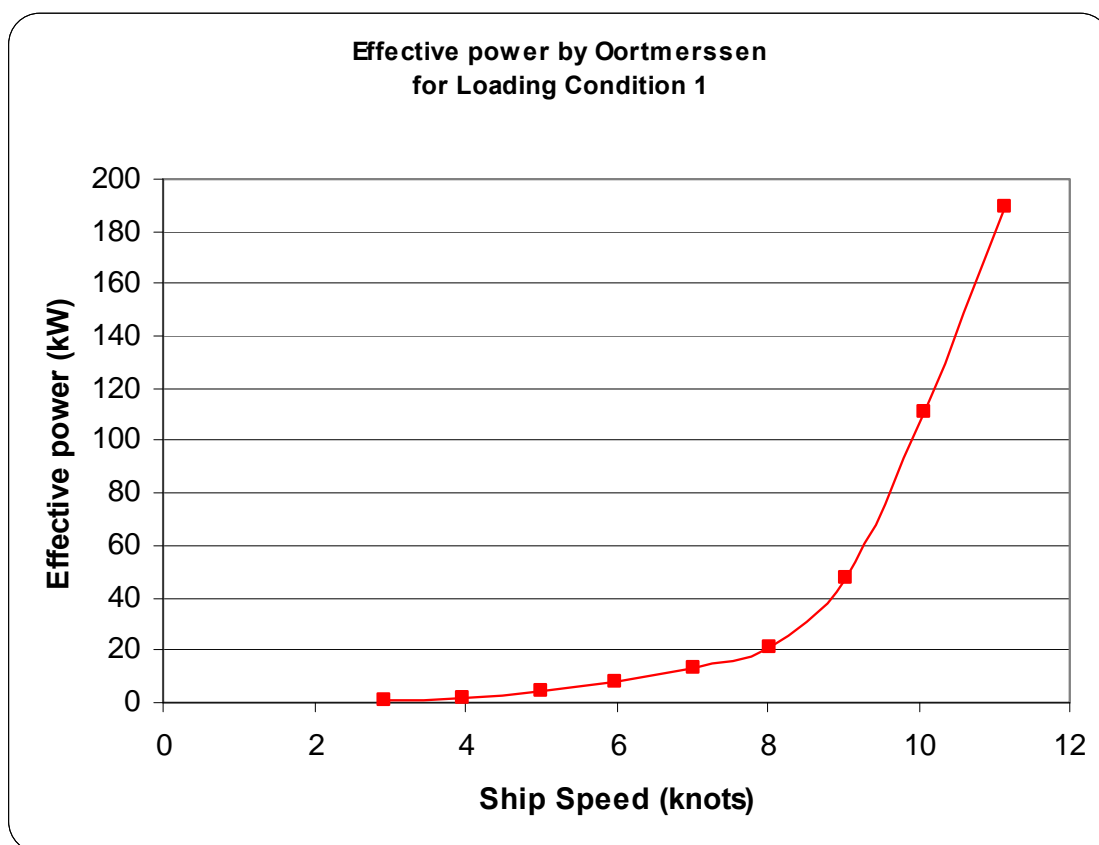
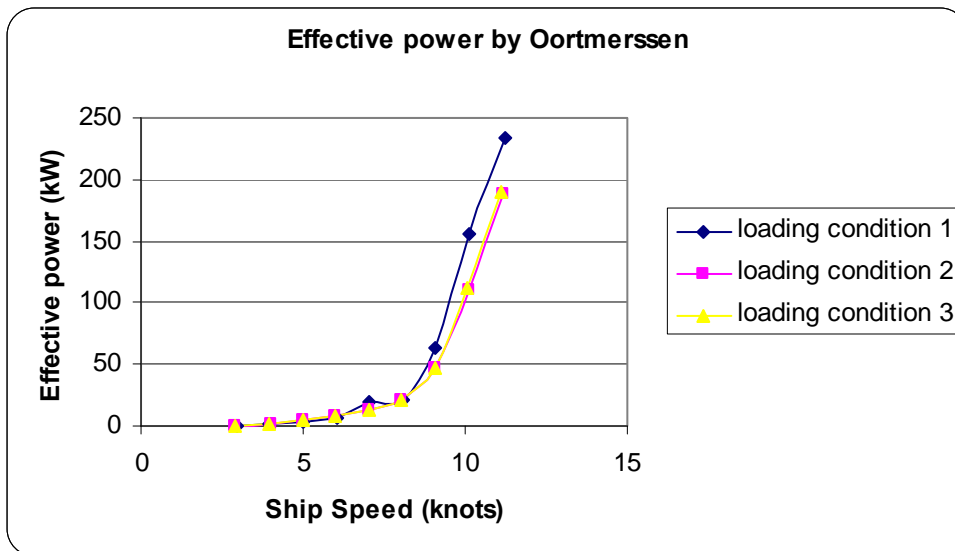


Figure 3.13 Ισχύς από τον Oortmerssen για την φόρτωση 3

3.3.4 Σχόλια

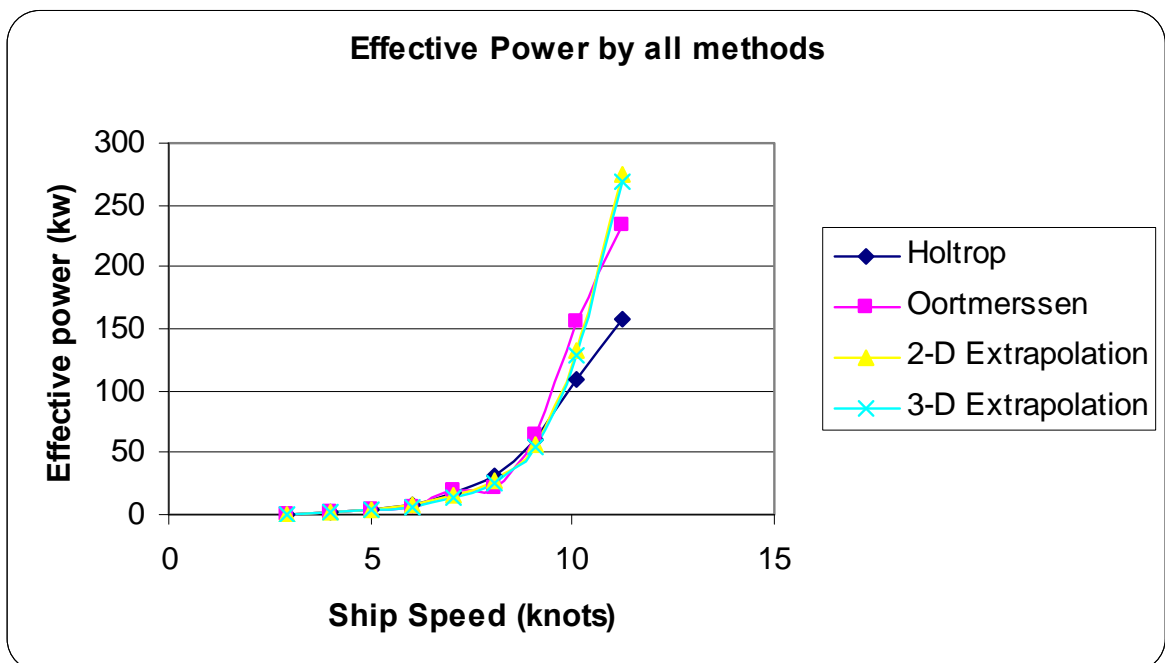
- Η φόρτωση 1, σύμφωνα με τον Oortmerssen απαιτεί περισσότερη ισχύ από τις άλλες δυο συνθήκες, ένα συμπέρασμα που ευθυγραμμίζεται με την πρόβλεψη του Holtrop. Μια πιο κοντινή ματιά στα αποτελέσματα καταδεικνύει πως η αντίσταση κυμάτων είναι ο κύριος συντελεστής πίσω από αυτό.
- Ο Oortmerssen, ακριβώς όπως ο Holtrop, υποτιμά την απαιτούμενη ισχύ σε σχέση με αυτή που προβλέπουν τα πειράματα αλλά όχι στον ίδιο βαθμό.
- Μέχρι τους 9 κόμβους δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των συνθηκών φόρτωσης αλλά από κει και πέρα το κενό στην προβλεπόμενη ισχύ αγγίζει τα 40 kW. Ο Holtrop από την άλλη μεριά προβλέπει έναν διαχωρισμό στα αρχικά στάδια αλλά όχι αυτήν την διαφορά στην κορυφή.



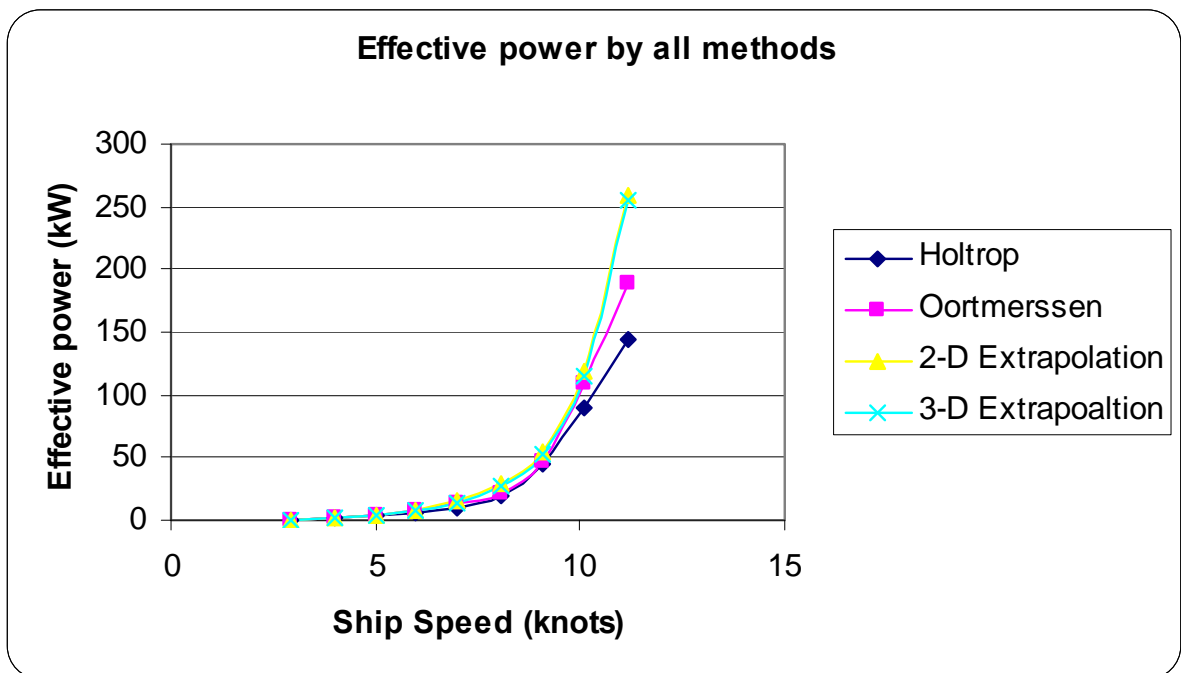
Σχήμα 3.14 Ισχύς για όλες τις συνθήκες από τον Oortmerssen

3.4 Σύγκριση μεταξύ όλων των μεθόδων

Προκειμένου να έχουμε μια πιο σφαιρική αντίληψη των αποτελεσμάτων, δίνονται οι ακόλουθες γραφικές παραστάσεις. Σε αυτές, όλα τα αποτελέσματα από τους διάφορους τρόπους παρουσιάζονται (πειράματα, Holtrop, Oortmerssen) για τις συνθήκες 1 και 2 καθώς οι 2 και 3 φαίνεται να δίνουν παρόμοια αποτελέσματα (άρα δεν συμπεριελήφθησαν).



Σχήμα 3.15 Προβλεπόμενη ισχύς από όλες τις μεθόδους για την φόρτωση 1



Σχήμα 3.16 Προβλεπόμενη ισχύς από όλες τις μεθόδους για την φόρτωση 2

3.4.1 Σχόλια

- Ο Holtrop υποτιμά σε μεγάλο βαθμό την ισχύ κάτι για το οποίο πιθανόν να ευθύνεται η μη τήρηση των περιορισμών
- Ο Oortmerssen ακολουθεί πιστά την γραμμή της ισχύος από τις μεθόδους αναγωγής αλλά την υπερεκτιμά σε ταχύτητες κοντά στους 9 κόμβους και τις υποτιμά από τους 10 και μετά τελειώνοντας περίπου 20 kW πιο κάτω.
- Οι φορτώσεις 2 και 3 παρουσιάζουν μια διαφορετική εικόνα ιδιαίτερα στους υπολογισμούς του Oortmerssen. Σε αναλογία με τον Holtrop οι προβλέψεις αυτές φέρουν σημαντικά μικρότερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις μεθόδους αναγωγής.

Κεφάλαιο 4

Αντίσταση σε θάλασσα με κύματα

4.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθεί με την αντίσταση του μοντέλου σε κανονικά κύματα. Ο όρος «κανονικά» αναφέρεται στην σταθερή με το χρόνο, ημιτονοειδή μορφή των κυμάτων σε αντίθεση με τα «ακανόνιστα» που παρουσιάζουν μια τυχαία κατανομή ύψους και περιόδου κύματος.

Η αντίσταση των κυμάτων οφείλεται κυρίως, στην ενέργεια του πλοίου που χάνεται στο νερό με την μορφή κυμάτων λόγω της κίνησης που προκαλούν τα κύματα σε αυτό και στην σύγκρουση του σκάφους με τα κύματα σύμφωνα με την διατήρηση της ορμής..

Η αντίσταση αυτή δεν θα πρέπει να συγχέεται με την αντίσταση λόγω των κυμάτων στην ήρεμη θάλασσα όπου εκεί εννοείται η απώλεια ενέργειας λόγω των κυμάτων που αφήνει το πλοίο στο πέρασμά του.

Η πειραματική διαδικασία και τα αποτελέσματα αυτής θα παρουσιαστούν παρακάτω.

4.2 Πειραματική διαδικασία

Κύματα από πλώρα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο δεύτερο κεφάλαιο, η δεξαμενή του πανεπιστημίου του Newcastle είναι εξοπλισμένη με μηχανισμό παραγωγής κυμάτων διαφορετικών συχνοτήτων και ύψους. Πιο συγκεκριμένα το εύρος των περιόδων μπορεί να μεταβάλλεται από 0.5 sec εως 2 sec.

Τρία set από τεστ διεξήχθησαν, ένα με αντίστοιχη ταχύτητα 3 κόμβων, το δεύτερο με 5 κόμβους και το τρίτο με 7, έχοντας όλα κοινή «φόρτωση» την συνθήκη φόρτωσης 2 η οποία είναι και η πιο ρεαλιστική για το Bernicia. Το ύψος κύματος διαλέχτηκε σαν 0.020 m το αντίστοιχο των 24 εκατοστών πραγματικού κύματος.

Ολόκληρο το διαθέσιμο εύρος περιόδων καλύφθηκε, συμπληρώνοντας συνολικά 7 τεστ για κάθε ταχύτητα, ξεκινώντας από 0.5 sec μέχρι τα 2 sec με διαστήματα 0.25 sec.

Παράλληλα με την αντίσταση και τις κινήσεις pitch και heave του μοντέλου, η μορφή του κύματος επίσης καταγράφηκε, με τη βοήθεια δυο, κατάλληλων οργάνων τοποθετημένων σχετικά κοντά το ένα με το άλλο έτσι ώστε να μπορεί να γίνει μια εκτίμηση της αξιοπιστίας τους. Η ημιτονοειδής μορφή του κύματος άλλωστε είναι μια απαραίτητη συνθήκη. Επειδή το πέρασμα του μοντέλου επηρεάζει αυτή τη μορφή οι σένσορες τοποθετήθηκαν στο τέλος της δεξαμενής, εκεί όπου το μοντέλο επιβραδύνει και σταματάει. Στα περισσότερα πειράματα αυτού του είδους, όπου η σχέση μεταξύ του ύψους του κύματος και του μέτρου της αντίστοιχης κίνησης-αντίδρασης από πλευράς του πλοίου είναι το ζητούμενο, ένας τουλάχιστον σένσορας

βρίσκεται πάνω στον μηχανισμό κίνησης και άρα κινείται με το μοντέλο. Εντούτοις εδώ, η αύξηση στην αντίσταση έχει προτεραιότητα έναντι των συσχετισμών των κινήσεων.

Δυο άτομα είναι απαραίτητα σε αυτού του είδους το πείραμα. Ένα για να επιταχύνει το μοντέλο στην απαιτούμενη ταχύτητα όπως ακριβώς και στην περίπτωση της ήρεμης θάλασσας, και άλλο ένα για να ξεκινήσει τους μηχανισμούς παραγωγής και μέτρησης των κυμάτων. Σε αντίθεση με την καταμέτρηση των κινήσεων και της αντίστασης του μοντέλου που ενεργοποιείται και απενεργοποιείται αυτόματα σε συγκεκριμένα σημεία στο μήκος της διαδρομής, η έναρξη και λήξη της καταμέτρησης των κυμάτων πρέπει να γίνει χειροκίνητα.

Πιο αναλυτικά, μετά την επιλογή του ύψους και της περιόδου, η παραγωγή των κυμάτων μπορεί να ξεκινήσει. Την στιγμή που θα καλύψουν τα δυο τρίτα της δεξαμενής το μοντέλο ξεκινάει από τον χειριστή. Αντίσταση, ταχύτητα και κίνηση καταγράφονται αυτόματα ενώ οι σένσορες των κυμάτων ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται κατά βούληση από τον δεύτερο χειριστή.

Υπενθυμίζεται πως χρειάζεται να περάσει αρκετός χρόνος μέχρι την διεξαγωγή του επόμενου τεστ ώστε το νερό να ηρεμήσει τελείως. Ο χρόνος αυτός είναι περισσότερο στα πειράματα με τα κύματα.

Κύματα από πρύμα

Με σχεδόν τον μισό χρόνο λειτουργίας του Bernicia να είναι σε κύματα από πρύμα, ένα ανάλογο πείραμα θα ήταν πολύ ενδιαφέρον.

Ο μόνος τρόπος να διεξαχθούν τέτοια τεστ (μια που ο μηχανισμός παραγωγής των κυμάτων είναι σταθερός) είναι να αντιστραφεί η φορά του μοντέλου και η διαδικασία να ξεκινάει πλέον από το τέλος της δεξαμενής και να τελειώνει εκεί που πριν άρχιζε.

Το μοναδικό επιπρόσθετο πρόβλημα είναι πως το σύστημα καταμέτρησης (αντίσταση-κινήσεις) δεν είναι προγραμματισμένο να δουλεύει σε αυτή την κατεύθυνση και άρα ένα τρίτο άτομο πρέπει να πιέζει το κουμπί ενεργοποίησης του συστήματος που βρίσκεται πάνω στο κινούμενο μοντέλο, ενώ αυτό περνάει από μπροστά του.

Το μοντέλο στέλνεται αφού τα κύματα το έχουν προσπεράσει και βρίσκονται στην μέση της δεξαμενής.

Η συνθήκη φόρτωσης παρέμεινε ίδια, ολόκληρο το εύρος συχνοτήτων καλύφθηκε με τα ίδια διαστήματα, στο ίδιο ύψος κύματος, ενώ εδώ μόνο μια ταχύτητα δοκιμάστηκε, των 7 κόμβων.

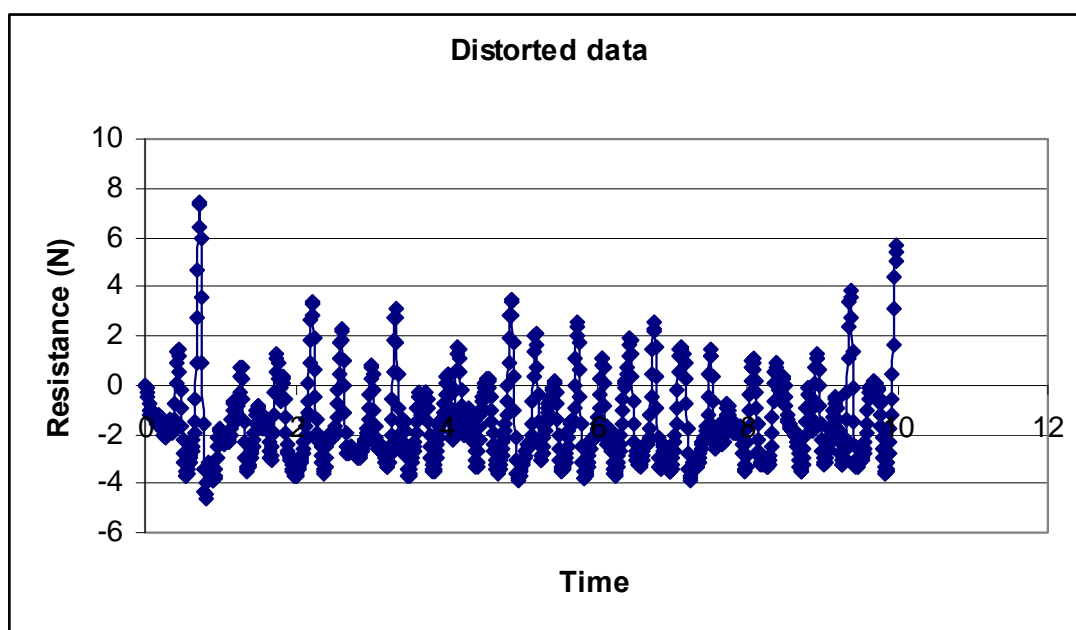
4.3 Αποτελέσματα για κύματα από πλώρα

Τα πειράματα για τον προσδιορισμό της επιπρόσθετης αντίστασης των κυμάτων εμπεριέχουν ένα μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας λόγω της πολύπλοκης φύσης του συσχετισμού των κινήσεων του πλοίου με αυτή των κυμάτων (που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την αντίσταση) αλλά και γιατί το ποσοστό της αντίστασης αυτής είναι ελάχιστο σε σχέση με την ολική αντίσταση. Επομένως, ιδανικές συνθήκες πειράματος

και ακρίβεια στις μετρήσεις είναι στοιχεία που πρέπει να εξασφαλίζονται σε κάθε περίπτωση.

Η συνεχής παρακολούθηση των αποτελεσμάτων μετά από κάθε τεστ μπορεί να καταδείξει έγκαιρα, λάθη και παραλείψεις ενώ την ίδια στιγμή να σώσει πολύτιμο χρόνο.

Όντως, το πρώτο σετ των αποτελεσμάτων παρουσίασε απαράδεκτες τιμές, δείγμα των οποίων φαίνεται στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 Δείγμα λάθος αποτελεσμάτων για ταχύτητα 5 κόμβων και περίοδο 0.5 sec

Όπως θα παρατηρήσει κάποιος, το μέσο όρο της αναπαριστάμενης αντίστασης στο σχήμα 4.1 είναι αρνητικό κάτι που καταδεικνύει ότι τα κύματα (πλώρα) ουσιαστικά σπρώχνουν το μοντέλο αντί να το καθυστερούν. Αυτό είναι φυσικά απαράδεκτο, και αυτό που μένει από κει και πέρα είναι η προσεκτική εξέταση του μηχανισμού που στηρίζει και ρυμουλκεί το μοντέλο και εντέλει ο προσδιορισμός της αιτίας. Αρχικά, έγινε η υπόθεση πως η ύπαρξη θορύβου (δονήσεις) στο σύστημα είναι ο κυρίως λόγος, κάτι που μάλιστα μπορούσε να γίνει αντιληπτό από τους πιο έμπειρους. Καθάρισμα των ραγών πάνω στις οποίες κινείται ο μηχανισμός ρυμούλκησης και των τροχών ήταν οι πρώτες διορθωτικές κινήσεις. Παρόλα αυτά, αυτό που φάνηκε σαν το πραγματικό πρόβλημα, ήταν πως η δοκός που συνέδεε το μοντέλο με το «τραίνο» δεν ήταν καλά φιξαρισμένο επιτρέποντας έτσι μια διαμήκης κίνηση του μοντέλου. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να εξηγήσει τις αρνητικές τιμές της αντίστασης αφού το σκάφος τώρα μπορούσε να κινηθεί μπρος πίσω. Το έδρανο που σαν σκοπό έχει να αποτρέψει αυτή την κίνηση είχε χαλαρώσει οπότε το πρόβλημα λύθηκε αρκετά γρήγορα. Το έδρανο αυτό φαίνεται στην εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1 Το έδρανο που κρατάει την δοκό σταθερή

Τα τεστ που ακολούθησαν παρουσίασαν μια βελτίωση που όμως δεν ήταν καθολική αφού αρνητικές τιμές λιγότερης έντασης και σε μικρότερο βαθμό ξαναεμφανίστηκαν.

Τα αποτελέσματα από τα τεστ παρουσιάζονται παρακάτω και για τις τρεις ταχύτητες.

Run	T_w (sec)	ω_w (rad/s)	ζ_w (m)	Speed (m/s)	ω_e (rad/s)	ω_{eF} (rad/s)	R_T (N)	R_{calm} (N)	R_{AW} (N)	σ_{AW}	$\omega_{eF}?$ (L/g)
4.1	0.5	12.56	0.02145	0.436022	19.57162	5.649841	0.806103	0.572176	0.233927	0.416011	3.98076185
4.2	0.75	8.373333	0.02145	0.43609	11.4901	3.316906	2.390738	0.572176	1.818562	3.234094	2.33702394
4.3	1	6.28	0.02145	0.435271	8.029888	2.318029	5.283259	0.572176	4.711083	8.378096	1.63323566
4.4	1.25	5.024	0.02145	0.434321	6.141484	1.772894	3.245133	0.572176	2.672957	4.753533	1.24914448
4.5	1.5	4.186667	0.02145	0.43405	4.962213	1.432467	0.799594	0.572176	0.227419	0.404437	1.00928714
4.6	1.75	3.588571	0.02145	0.434047	4.158357	1.200414	0.447925	0.572176	-0.12425	-0.22097	0.84578713
4.7	2	3.14	0.02145	0.435149	3.577349	1.032692	0.50603	0.572176	-0.06615	-0.11763	0.72761343

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα για την ταχύτητα των 3 κόμβων

Run	T _w (sec)	ω _w (rad/s)	ζ _w (m)	speed (m/s)	ω _e (rad/s)	ω _{eF} (rad/s)	R _T (N)	R _{calm} (N)	R _{AW} (N)	σ _{AW}	ω _{eF} ?(L/g)
5.1	0.5	12.56	0.017813	0.724983	24.21837	6.991241	1.798174	1.365673	0.432501	1.115197	4.92588493
5.2	0.75	8.373333	0.017813	0.726579	13.56624	3.916237	2.333282	1.365673	0.967609	2.494962	2.7592998
5.3	1	6.28	0.017813	0.726347	9.200077	2.655833	2.851273	1.365673	1.4856	3.830592	1.87124564
5.4	1.25	5.024	0.017813	0.726177	6.892412	1.989668	3.170448	1.365673	1.804775	4.653578	1.40187923
5.5	1.5	4.186667	0.017813	0.726308	5.484409	1.583213	1.375177	1.365673	0.009504	0.024507	1.11549908
5.6	1.75	3.588571	0.017813	0.726764	4.542613	1.311339	1.2775	1.365673	-0.08817	-0.22735	0.92394287
5.7	2	3.14	0.017813	0.726347	3.870019	1.117178	1.979975	1.365673	0.614302	1.583966	0.78714089

Πίνακας 4.2 Αποτελέσματα για την ταχύτητα των 5 κόμβων

Run	T _w (sec)	ω _w (rad/s)	ζ _w (m)	speed (m/s)	ω _e (rad/s)	ω _{eF} (rad/s)	R _T (N)	R _{calm} (N)	R _{AW} (N)	σ _{AW}	ω _{eF} ?(L/g)
6.1	0.5	12.56	0.017657	1.020681	28.97346	8.363917	3.771959	3.275562	0.496397	1.302793	5.89304435
6.2	0.75	8.373333	0.017657	1.021053	15.67087	4.523789	4.162784	3.275562	0.887223	2.328514	3.18736889
6.3	1	6.28	0.017657	1.021607	10.38709	2.998494	4.241992	3.275562	0.96643	2.536394	2.11267748
6.4	1.25	5.024	0.017657	1.021583	7.652476	2.209079	5.642285	3.275562	2.366723	6.211459	1.55647199
6.5	1.5	4.186667	0.017657	1.021896	6.012556	1.735675	3.766507	3.275562	0.490946	1.288487	1.22292118
6.6	1.75	3.588571	0.017657	1.045155	4.960574	1.431994	3.607657	3.275562	0.332095	0.871584	1.0089538
6.7	2	3.14	0.017657	1.047728	4.193026	1.210422	4.380347	3.275562	1.104786	2.899508	0.8528387

Πίνακας 4.3 Αποτελέσματα για την ταχύτητα των 7 κόμβων

Οι τιμές των ταχυτήτων που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς είναι το μέσο όρο για κάθε τεστ.

Παρομοίως, το ύψος κύματος παίρνεται σαν το μέσο όρο από τις τιμές που δίνουν τα όργανα για κάθε τεστ.

Η συχνότητα συνάντησης δίνεται από:

$$\omega_e = \omega_w \left(1 - \frac{\omega_w V}{g} \cos \mu\right)$$

όπου το μ είναι 180 μοίρες για κύματα από πλώρα.

Στην πραγματική κλίμακα η συχνότητα συνάντησης μπορεί να βρεθεί διαιρώντας την συχνότητα συνάντησης του μοντέλου με την ρίζα του λ (scale factor = 12).

Η ολική αντίσταση R_T είναι η μέση αντίσταση από τις τιμές που έδωσε το πείραμα και από τις οποίες η αντίσταση ήρεμης θάλασσας R_{calm} πρέπει να αφαιρεθεί έτσι ώστε να υπολογιστεί η επιπρόσθετη αντίσταση λόγω των κυμάτων R_{AW} που είναι και το ζητούμενο.

Σημείωση: Η αντίσταση ήρεμης θάλασσας προέκυψε από τα πειράματα στην ίδια ταχύτητα αλλά επειδή πέρασε αρκετός καιρός από την διεξαγωγή των πειραμάτων αυτών και οι συνθήκες έχουν αλλάξει, τα τεστ αυτά επαναλήφθηκαν. Αυτός είναι ο λόγος που οι τιμές της R_{calm} δεν συμφωνούν με αυτές που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2.

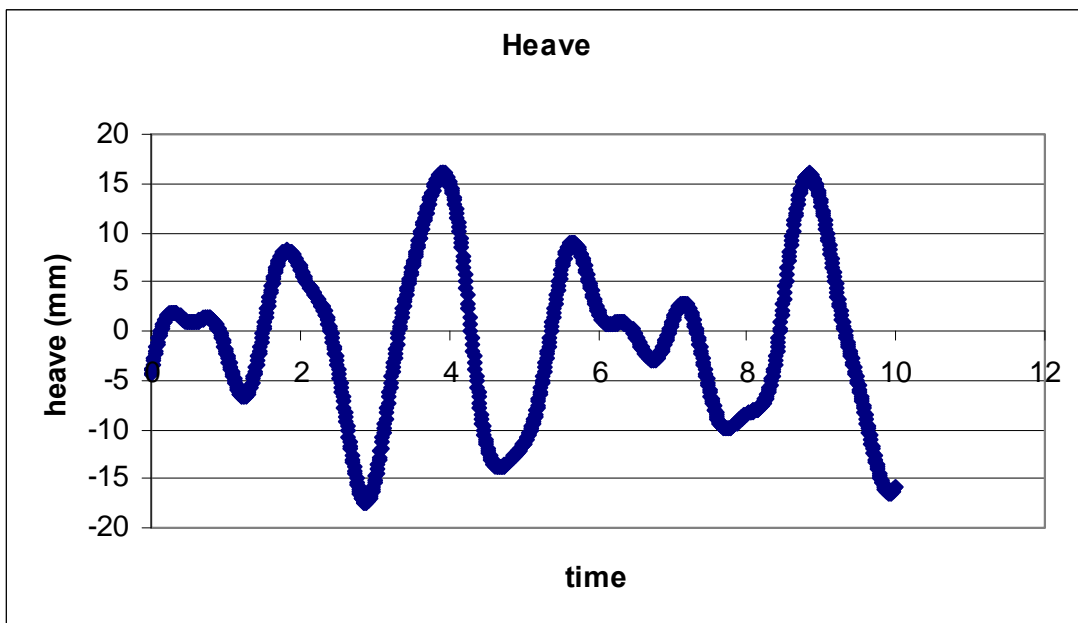
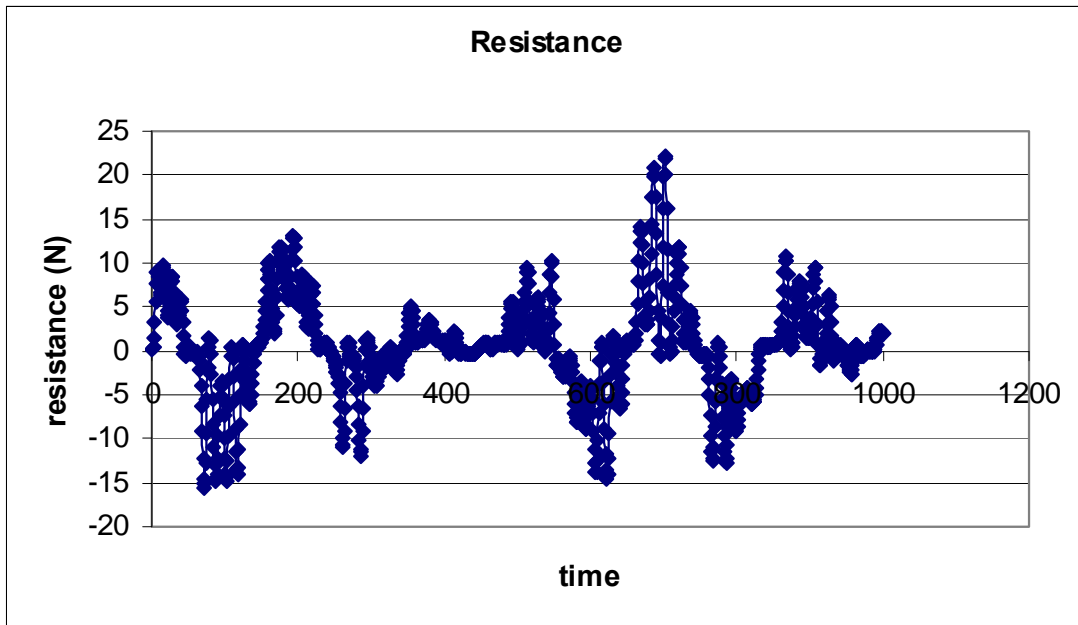
Τέλος ο συντελεστής επιπρόσθετης αντίστασης των κυμάτων προσδιορίζεται από:

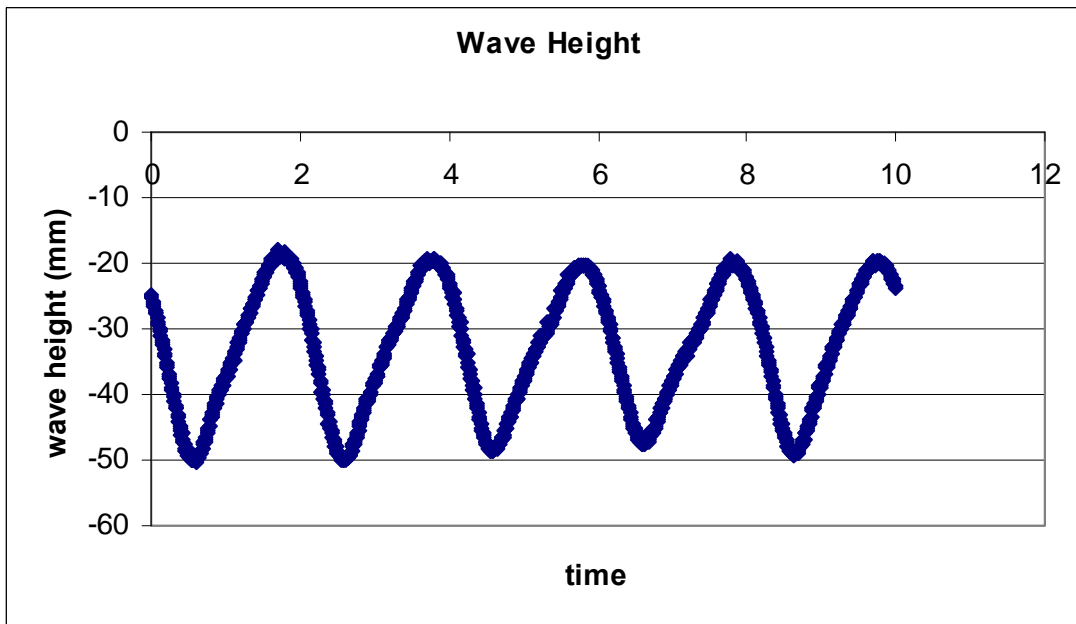
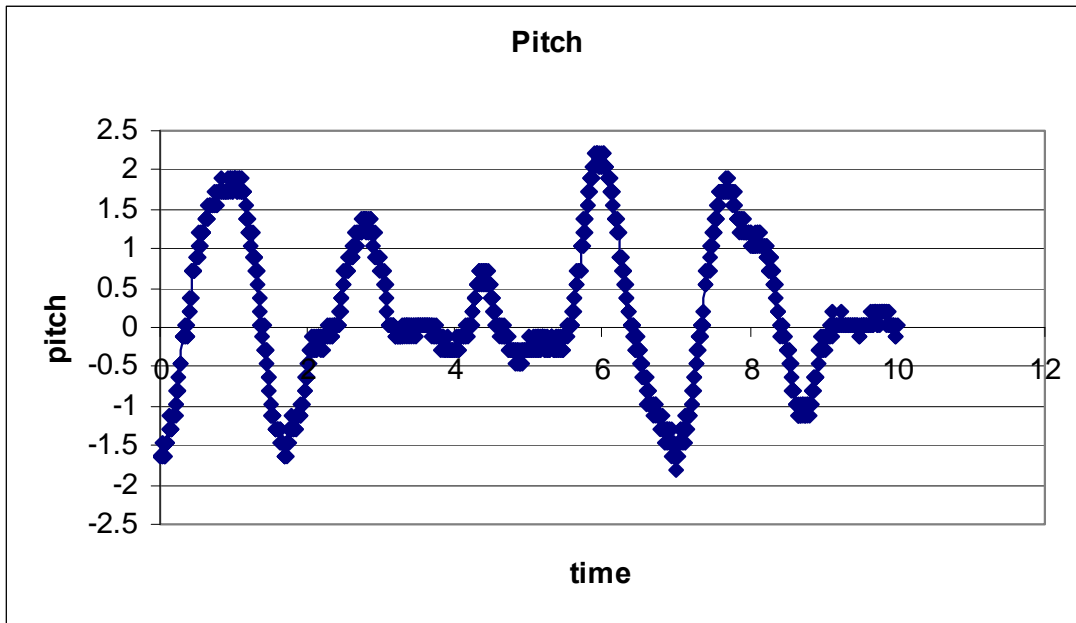
$$\sigma_{AW} = \frac{R_{AW}}{\rho g \zeta_a^2 (B^2/L)}$$

Όπου

- σ_{AW} : συντελεστής αντίστασης κυμάτων
- R_{AW} : αντίσταση κυμάτων (N)
- ρ : πυκνότητα του νερού (kg/m^3)
- g : επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s^2)
- B : το πλάτος του μοντέλου (m)
- L : το μήκος του μοντέλου (m)

Κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και προς όφελος μιας πιο ενδότερης κατανόησης των φαινομένων, οι κινήσεις heave (διαμήκης κίνηση κατά την οποία το μοντέλο κάνει μπρος-πίσω), pitch (κάθετη περιστροφική κίνηση), η μορφή του κύματος και η αντίσταση αναπαραστάθηκαν γραφικά με το χρόνο. Κοιτώντας τις γραφικές, γίνεται φανερό πως σε υψηλότερες περιόδους κύματος (2 sec) και άρα σε χαμηλότερες συχνότητες, οι μεταβολές της αντίστασης διαφέρουν σε σχέση με το αναμενόμενο και με αυτό που προέκυψε για το υπόλοιπο εύρος συχνοτήτων. Μια από τις σημαντικότερες υποθέσεις που έγιναν κατά τον υπολογισμό της αντίστασης στα κύματα και απαραίτητη συνθήκη πάνω στην οποία βασίζεται η αρχή της υπέρθεσης (σύμφωνα με την οποία η αντίσταση ενός πλοίου που κινείται σε ακανόνιστα κύματα μπορεί να βρεθεί προσθέτοντας τις επιμέρους αντιστάσεις που παρουσιάζει το πλοίο σε κύματα τέτοιου ύψους και συχνότητας που αν προστεθούν δίνουν την εν λόγω ακανόνιστη μορφή κύματος) είναι πως οι κινήσεις του πλοίου είναι ανάλογες με το ύψος κύματος και πως η αντίσταση μεταβάλλεται ανάλογα με το τετράγωνο του ύψους κύματος. Αυτή η απαραίτητη αναλογία πρακτικά σημαίνει πως θα πρέπει να έχουμε ένα ομαλό ημιτονοειδές σχήμα όταν αναφερόμαστε στις κινήσεις και την αντίσταση του πλοίου, μια και τέτοια είναι και η μορφή των κυμάτων. Τα σχήματα 4.2 δείχνουν τις ανωμαλίες στις κινήσεις του μοντέλου και κατά συνέπεια την επαγόμενη αντίσταση.





Σχήμα 4.2 Αντίσταση, heave, pitch, και η μορφή των κυμάτων για την ταχύτητα των 3 κόμβων και περίοδο 2 sec

Παρόμοια σχήματα προκύπτουν για την συχνότητα των 2 sec των ταχυτήτων 5 και 7 κόμβων.

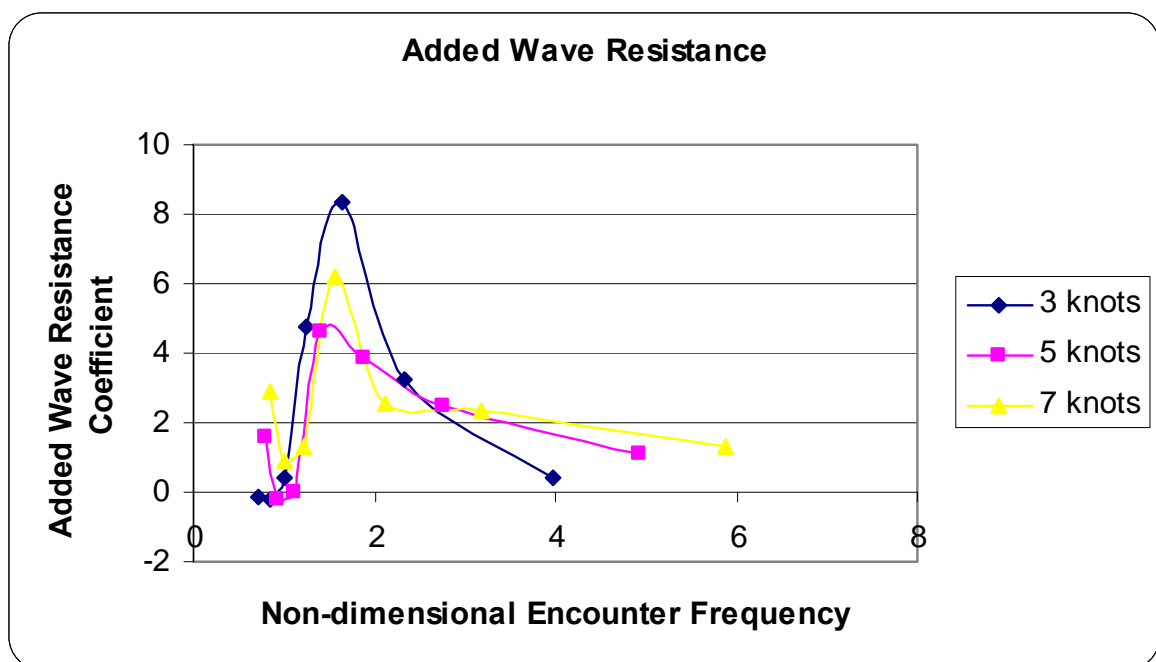
Σημείωση: Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4.2 οι μετρήσεις των κυμάτων έγιναν χειροκίνητα και επομένως κάποιος θα πρέπει να έχει υπόψη του πως τα 10 sec στα οποία μετρήθηκε η μορφή του κύματος δεν είναι τα ίδια με αυτά στα οποία

μετρούνται οι κινήσεις του σκάφους και η αντίσταση αφού το σημείο έναρξης είναι διαφορετικό.

Η μορφή του κύματος είναι μια καλή ημιτονοειδής προσέγγιση αλλά ακολουθείται από τις κινήσεις heave και pitch. Αφού η αντίσταση εξαρτάται από το heave, το pitch και την διαφορά φάσης μεταξύ τους, η μορφή της επίσης θα διαφέρει από το ιδανικό.

Σε αυτά τα τεστ που παρουσιάζουν τις προαναφερθείσες αποκλίσεις, αντί για το αριθμητικό μέσο στους υπολογισμούς, προτιμήθηκε το στατιστικό μέσο. Οι τιμές των μέσων όρων αυτών ήταν υψηλότερες από το αριθμητικό μέσο και αυτό φαίνεται στα τελικά σχήματα.

Τέλος, ο συντελεστής επιπρόσθετης αντίστασης των κυμάτων παριστάνεται με την αδιάστατη συχνότητα συνάντησης $\omega_e \sqrt{\frac{L}{g}}$ για τις τρεις ταχύτητες.

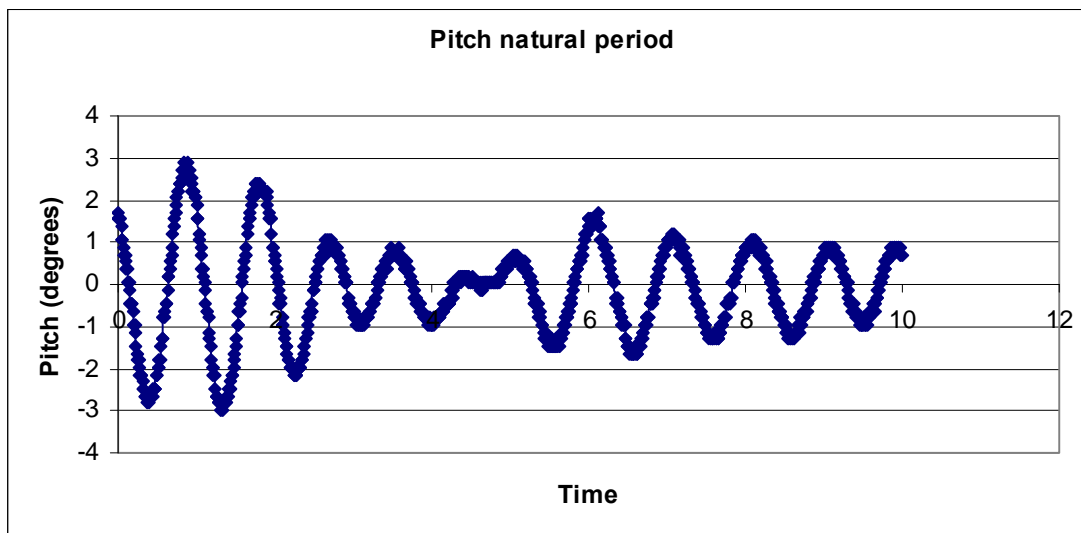


Σχήμα 4.3 Συντελεστές αντιστάσεις κυμάτων

Παραδόξως, η ταχύτητα των 3 κόμβων παρουσιάζει την υψηλότερη αντίσταση με αυτές των 5 και 7 κόμβων να ακολουθούν όπως αναμενόταν.

Το μέγιστο στους 3 κόμβους είναι μια καθαρή ένδειξη συντονισμού κάτι που μπορεί να επαληθευτεί αν γνωρίζαμε τις φυσικές περιόδους των κινήσεων pitch και heave του μοντέλου.

Για αυτόν τον σκοπό η κάθετη κίνηση (heave) εμποδίστηκε (υπάρχει τέτοια πρόβλεψη στον μηχανισμό) και με την εφαρμογή δύναμης πάνω στο μοντέλο και την ταυτόχρονη πίεση του κουμπιού καταμέτρησης, το μοντέλο αφέθηκε ελεύθερο να ταλαντευθεί. Η μέτρηση αυτή της περιόδου μπορούσε να γίνει και με χρονόμετρο.



Σχήμα 4.4 Φυσική περίοδος της κίνησης pitch

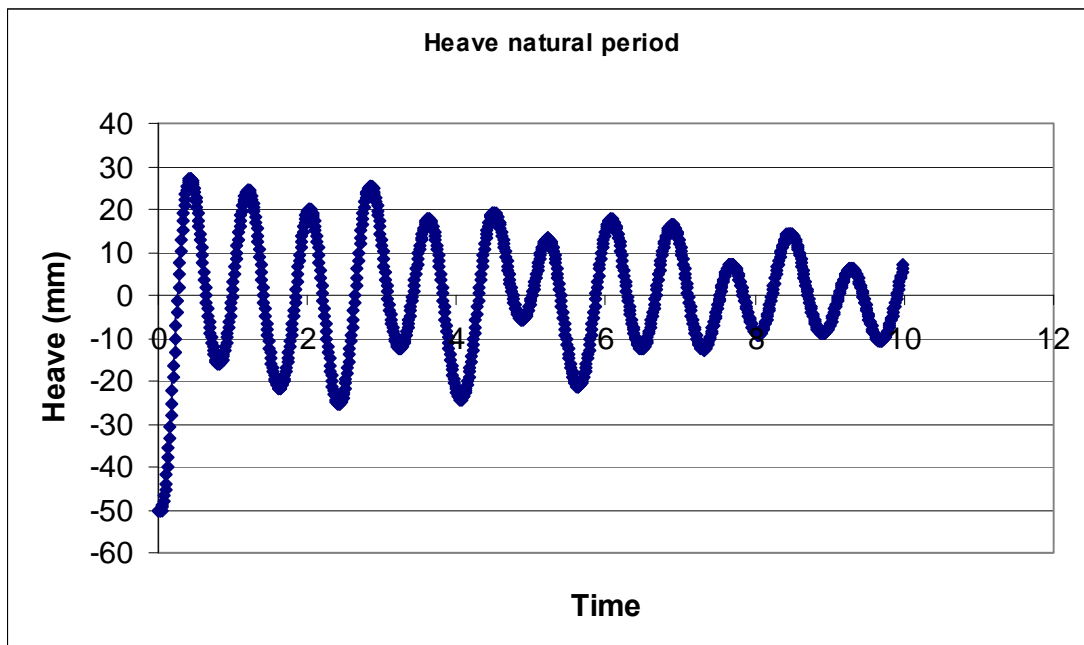
Το τεστ αυτό επαναλήφθηκε 5 φορές έτσι ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν πιο καθαρό γράφημα. Το τελευταίο φαίνεται στο σχήμα 4.4 από το οποίο η φυσική περίοδος για την κίνηση pitch μπορεί να προσδιοριστεί στο 1 sec.

Αντίστοιχα, για την φυσική περίοδο της κίνησης heave, η κίνηση pitch έπρεπε να σταθεροποιηθεί. Ο σχεδιασμός του μηχανισμού στήριξης του μοντέλου δεν προβλέπει κάτι τέτοιο και άρα αυτό έπρεπε να γίνει με τον κάπως ανορθόδοξο τρόπο που φαίνεται στην εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.2 Σταθερό pitch

Όπως και πριν, το σχήμα 4.5 δίνει την ελεύθερη ταλάντωση απ' την οποία εξαγεται η φυσική περίοδος της κίνησης heave. Από αυτό προκύπτει μια τιμή της τάξης των 0.8 sec.



Σχήμα 4.5 Φυσική περίοδος heave

Για την καλύτερη εκτίμηση της επίδρασης του συντονισμού στην αντίσταση, η τελευταία παριστάνεται στο σχήμα 4.6 προς την περίοδο κύματος.

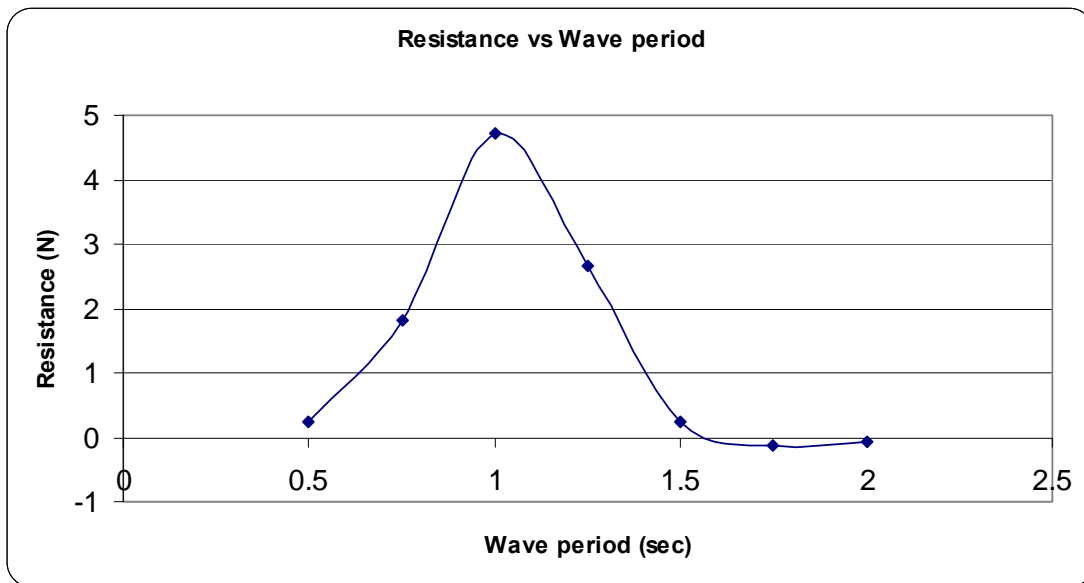


Figure 4.6 Resistance against wave period for speed of 3 knots

Το μέγιστο στην αντίσταση παρουσιάζεται ακριβώς στο σημείο του 1 sec το οποίο με τη σειρά του είναι η φυσική περίοδος της κίνησης pitch. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού η αντίσταση καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το pitch, ειδικά σε μήκη κύματος κοντά στο μήκος του πλοίου όπως συμβαίνει σε αυτή την περίπτωση.

4.4 Αποτελέσματα για κύματα από πρύμα

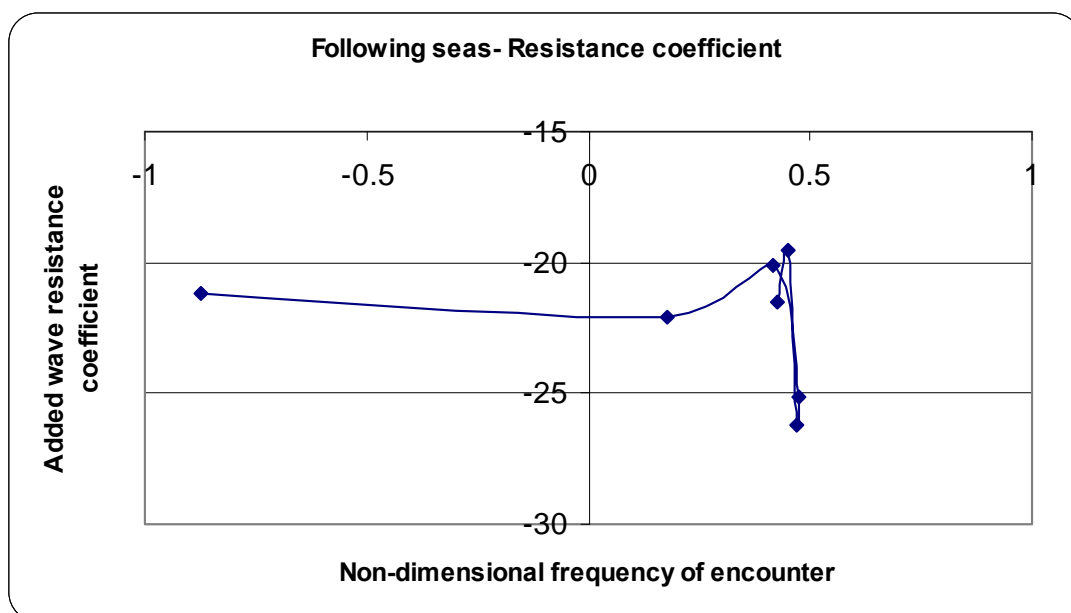
Δυο σειτ πειραμάτων διεξήχθησαν για την περίπτωση των κυμάτων από πρύμα. Η δεύτερη ουσιαστικά αποτελεί μια απόπειρα επαλήθευσης. Τα αρχικά αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 4.7 όπου έχουν αναπαρασταθεί προς την αδιάστατη συχνότητα συνάντησης. Τα επαληθευτικά αποτελέσματα φαίνονται στους πίνακες 4.4 και 4.5.

Run	T_w (sec)	ω_w (rad/s)	ζ_w (m)	speed (m/s)	ω_o (rad/s)	$\omega_o F$ (rad/sec)	R_T (N)	R_{calm} (N)	R_{AW} (N)	σ_{AW}	$\omega_o F^2(L/g)$
1	0.5	12.56	0.015712	1.0485	-4.30082	-1.24154	-3.10647	3.275562	-6.38203	-21.1514	-0.8747634
2	0.75	8.373333	0.015712	1.050648	0.864287	0.249498	-3.39606	3.275562	-6.67162	-22.1112	0.17579125
3	1	6.28	0.015712	1.051178	2.05403	0.592947	-2.78446	3.275562	-6.06003	-20.0842	0.41777851
4	1.25	5.024	0.015712	1.049447	2.323832	0.670832	-4.31166	3.275562	-7.58723	-25.1457	0.47265475
5	1.5	4.186667	0.015712	1.049965	2.310624	0.66702	-4.63559	3.275562	-7.91115	-26.2192	0.46996833
6	1.75	3.588571	0.015712	1.045837	2.215674	0.63961	-2.6237	3.275562	-5.89926	-19.5514	0.45065597
7	2	3.14	0.015712	1.047213	2.087492	0.602607	-3.21366	3.275562	-6.48922	-21.5066	0.42458454

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα για κύματα από πρύμα- 7 κόμβοι

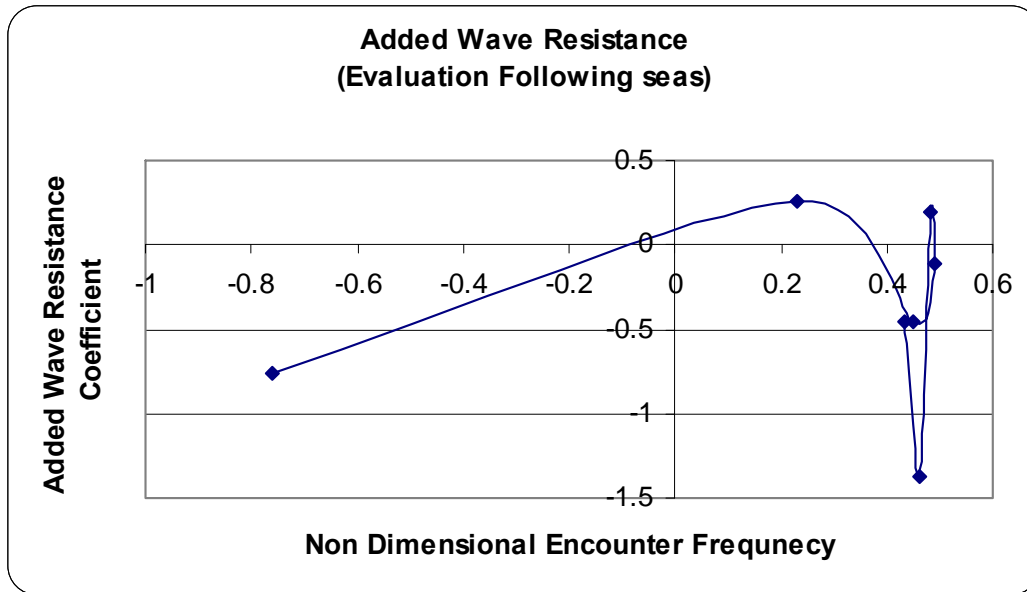
Run	T _w (sec)	ω _w (rad/s)	ζ _w (m)	Speed (m/s)	ω _o (rad/s)	ω _{oF} (rad/sec)	R _T (N)	R _{calm} (N)	R _{AW} (N)	σ _{AW}	ω _{oF} ?(L/g)
1	0.5	12.56	0.022182	1.013625	-3.73999	-1.07964	2.818147	3.275562	-0.45741	-0.76062	-0.7606941
2	0.75	8.373333	0.022182	1.013869	1.127147	0.325379	3.42512	3.275562	0.149559	0.252828	0.22925556
3	1	6.28	0.022182	1.010959	2.215719	0.639623	3.007178	3.275562	-0.26838	-0.4537	0.45066521
4	1.25	5.024	0.022182	1.01419	2.414545	0.697019	3.208836	3.275562	-0.06673	-0.1128	0.49110539
5	1.5	4.186667	0.022182	1.013666	2.375482	0.685743	3.387973	3.275562	0.112411	0.190031	0.48316013
6	1.75	3.588571	0.022182	1.007942	2.26542	0.65397	2.46345	3.275562	-0.81211	-1.37287	0.46077414
7	2	3.14	0.022182	1.010613	2.124277	0.613226	3.004836	3.275562	-0.27073	-0.45766	0.4320664

Πίνακας 4.5 Επαληθευτικά αποτελέσματα για κύματα από πρύμα – 7 κόμβοι



Σχήμα 4.7 Συντελεστής επιπρόσθετης αντίστασης κυμάτων για κύματα από πρύμα

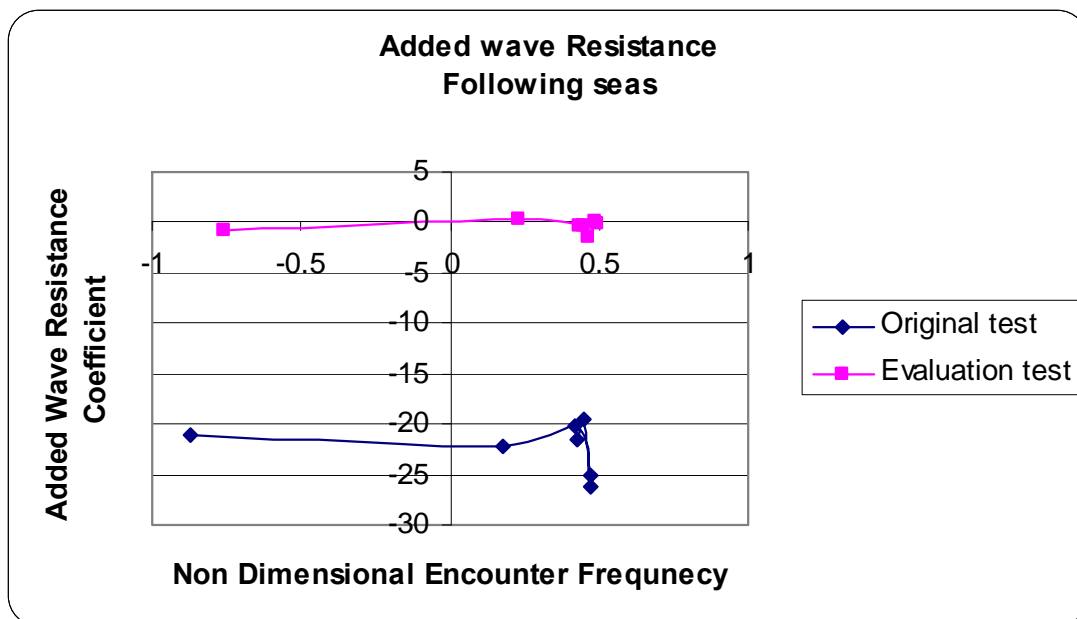
Οι αρνητικές τιμές δείχνουν πως τα κύματα στην ουσία αυξάνουν την ταχύτητα του πλοίου, ένα λογικό συμπέρασμα μια και τα κύματα έρχονται από πίσω. Επιπλέον, ο συνδυασμός της αντίστοιχης ταχύτητας των 7 κόμβων για το μοντέλο και των περιόδων των κυμάτων συμβάλλουν σε ένα πολύ «στενό» εύρος συχνοτήτων το οποίο καθιστά την εξαγωγή συμπερασμάτων ακόμη πιο δύσκολη. Τα επαληθευτικά τεστ που έγιναν αμέσως μετά, κατέληξαν με κάπως αποθαρρυντικά αποτελέσματα.



Σχήμα 4.8 Συντελεστής επιπρόσθετης αντίστασης κυμάτων από τα επαληθευτικά τεστ

Το σχήμα του παραπάνω γραφήματος μπορεί να μοιάζει κάπως με το προηγούμενο, συμπεριλαμβανομένου του στενού «εύρους» συχνοτήτων, αλλά κατά τα άλλα είναι μετατοπισμένο προς τα πάνω σε σχέση με τα αρχικά τεστ και η διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής του συντελεστή είναι σχεδόν τρεις φορές μικρότερη από πριν. Το μέσο ύψος κύματος ήταν υψηλότερο στο δεύτερο τεστ κάτι που λογικά έπρεπε να δώσει μεγαλύτερες απόλυτες τιμές αντίστασης. Αυτό που συμβαίνει όμως είναι το αντίθετο.

Αυτό μπορεί να φανεί καλύτερα από το σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 4.9 Συντελεστής αντίστασης από τα αρχικά και τα επαληθευτικά τεστ

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα δεν δίνουν καμία χρήσιμη ένδειξη για την σχέση της αντίστασης με τα κύματα από πρύμα. Ο λόγος είναι πως υπάρχει μεγάλος βαθμός αβεβαιότητας για την εγκυρότητα των τιμών κάτι για το οποίο οφείλεται η αδυναμία του συστήματος με την υπάρχουσα διάταξη να ανταποκριθεί στις υψηλές απαιτήσεις αξιοπιστίας.

Κατόπιν τούτου, αποφασίστηκε να ελεγχθεί το δυναμόμετρο που μετράει την αντίσταση στο μοντέλο και πιο συγκεκριμένα το ποσοστό απόκλισης από την ιδανική γραμμική συμπεριφορά. Η απόκλιση αυτή βρέθηκε να είναι 6 με 7% κάτι που σαφώς δεν δικαιολογεί τις διαφορές στις τιμές.

Άλλη μια πιθανή αιτία θα μπορούσε να είναι η κακή εξισορρόπηση του μοντέλου κατά μήκος του άξονα της κίνησης pitch πριν αυτό τοποθετηθεί στην δοκό ρυμούλκησης. Αν δηλαδή το μοντέλο έγερνε δεξιά ή αριστερά πριν τη σύνδεση του στο δυναμόμετρο (που είναι το άκρο της δοκού) αυτό θα είχε σαν συνέπεια μια σταθερή απόκλιση στα αποτελέσματα. Έχει ήδη αναφερθεί πως το σύστημα δεν επιτρέπει κίνηση roll. Έτσι όταν το μοντέλο βιδωθεί στο δυναμόμετρο αναγκάζεται εκ των πραγμάτων να μείνει όρθιο έστω κι αν έχει την τάση να γύρει. Η τάση αυτή όμως εξουδετερώνεται από το δυναμόμετρο με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι μετρήσεις του στις άλλες κατευθύνσεις.

Περαιτέρω πειράματα είναι απαραίτητα για να καταδείξουν την ακριβή φύση του προβλήματος και κυρίως για να δώσουν αποτελέσματα έγκυρα και χρήσιμα.

Κεφάλαιο 5

Αντίσταση κυμάτων από το Maxsurf

5.1 Εισαγωγή

Τα πειράματα ακολουθεί η χρήση εργαλείων software σαν το Maxsurf και το Tribon τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μια καλή βάση συγκρίσεων με τις τιμές των τεστ.

Σύντομη περιγραφή μαζί με τα αποτελέσματα των δυο προγραμμάτων παρουσιάζεται παρακάτω.

5.2 Seakeeper (μέρος του Maxsurf)

Το Seakeeper είναι ουσιαστικά ένα υποεργαλείο του Maxsurf το οποίο με την σειρά του αποτελεί ένα πρώτης τάξεως σχεδιαστικό software. Το Seakeeper έχει δυνατότητες που φτάνουν μέχρι τον υπολογισμό της αντίστασης σε «ακανόνιστα» κύματα που προκύπτει από τις τρεις κινήσεις του πλοίου (heave pitch and roll) αρκεί να υπάρχει το σχέδιο του πλοίου και αυτό να εισαχθεί στο πρόγραμμα.

Οι υπολογισμοί βασίζονται στην θεωρία Strip και πιο συγκεκριμένα, για την αντίσταση, στις τρεις μεθόδους από τον Salvesen (1978) και από τους Gerritsma και Beukelman (1967-1972).

5.2.1 Παράμετροι κα αποτελέσματα

Οι παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν είναι:

The vessel type: Πρέπει να γίνει επιλογή για τον τύπο του πλοίου ανάμεσα σε monohull και catamaran. Το Bernicia είναι φυσικά monohull

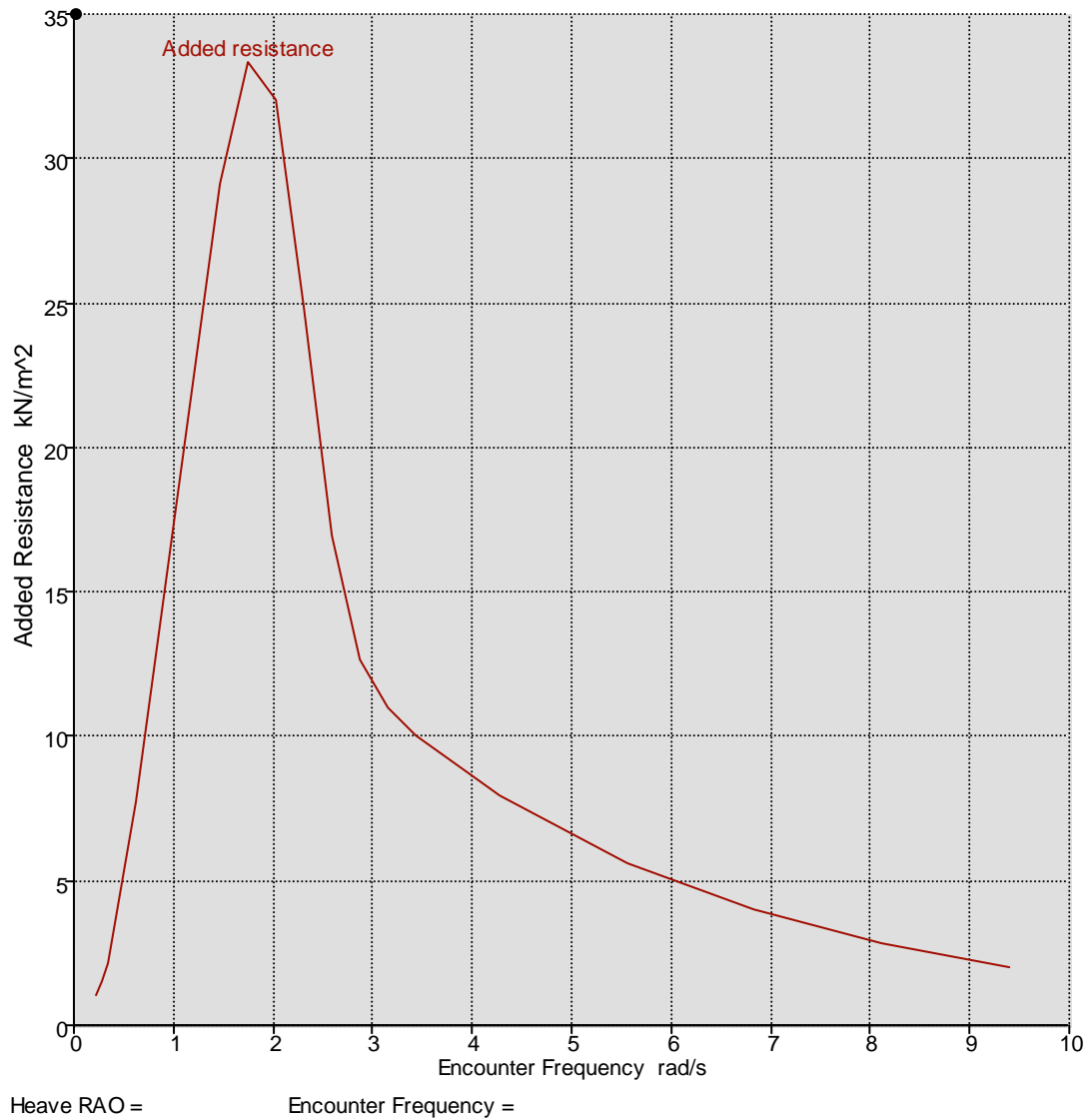
Mass distribution: Τα radius of gyration πρέπει να εισαχθούν για τις κινήσεις pitch και roll. Η Roll gyration δεν έχει σημαντική επίδραση στην αντίσταση οπότε η υπάρχουσα τιμή μπορεί να αφαιρεθεί όπως είναι. Για το pitch radius of gyration διαλέχτηκε η τιμή του 70%.

Damping factors: Ο αδιάστατος συντελεστής απόσβεσης ζητείται από το πρόγραμμα για την κίνηση roll αλλά όπως και πριν η τιμή αυτή δεν έχει μεγάλη σημασία για την δική μας περίπτωση. Παρέμεινε 0.15.

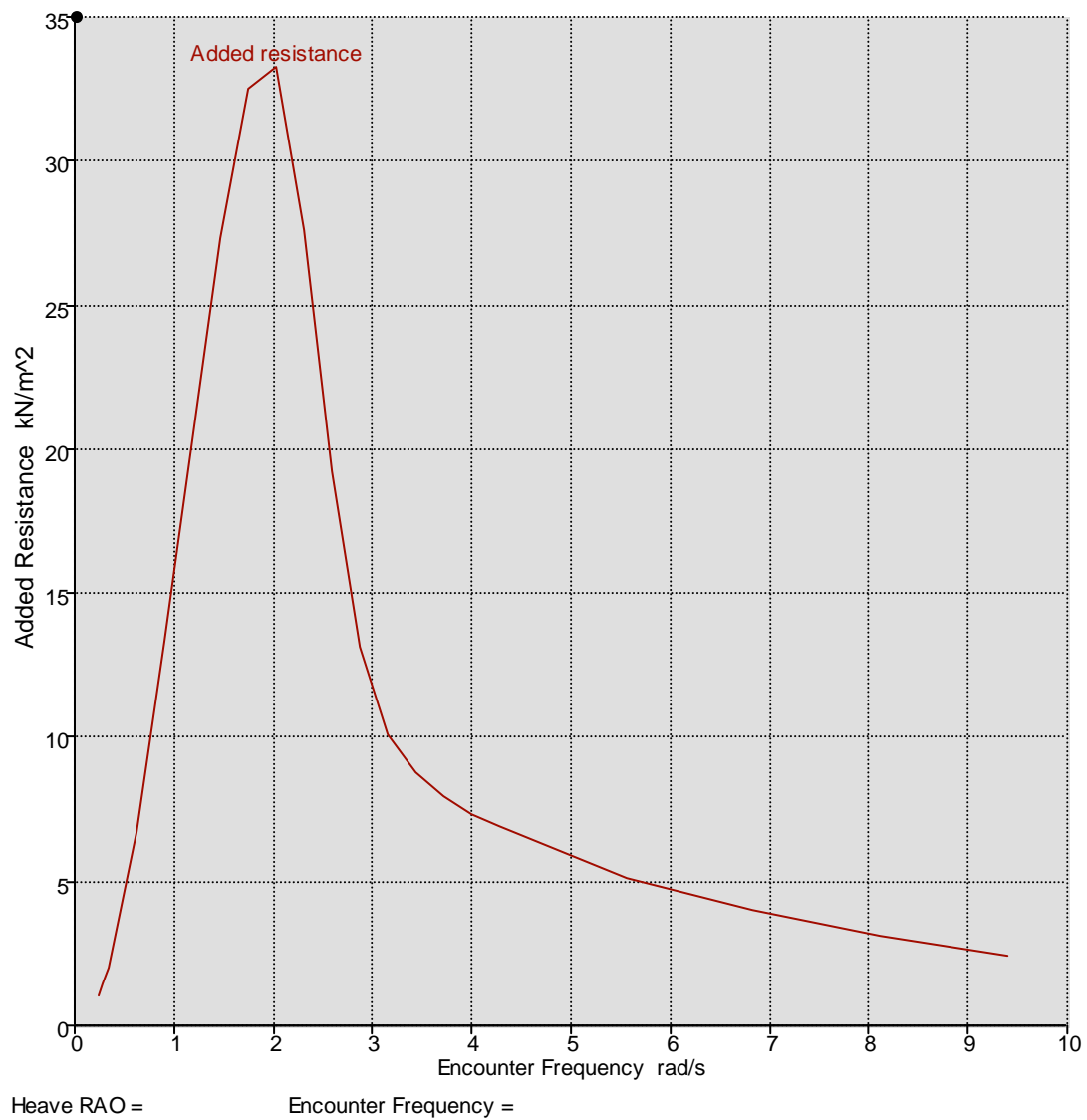
Environment: Σε αυτό το παράθυρο πρέπει να δοθεί η ταχύτητα του πλοίου, η κατεύθυνση των κυμάτων και η πυκνότητα του νερού. Η κατεύθυνση παρέμεινε 3.14 (180 μοίρες) ενώ η ταχύτητα άλλαξε ανά περίπτωση σε 3, 5 και 7 κόμβους.

Analysis method: Η μέθοδος υπολογισμού που θα χρησιμοποιηθεί επιλέχτηκε να είναι η μέθοδος του Salvesen.

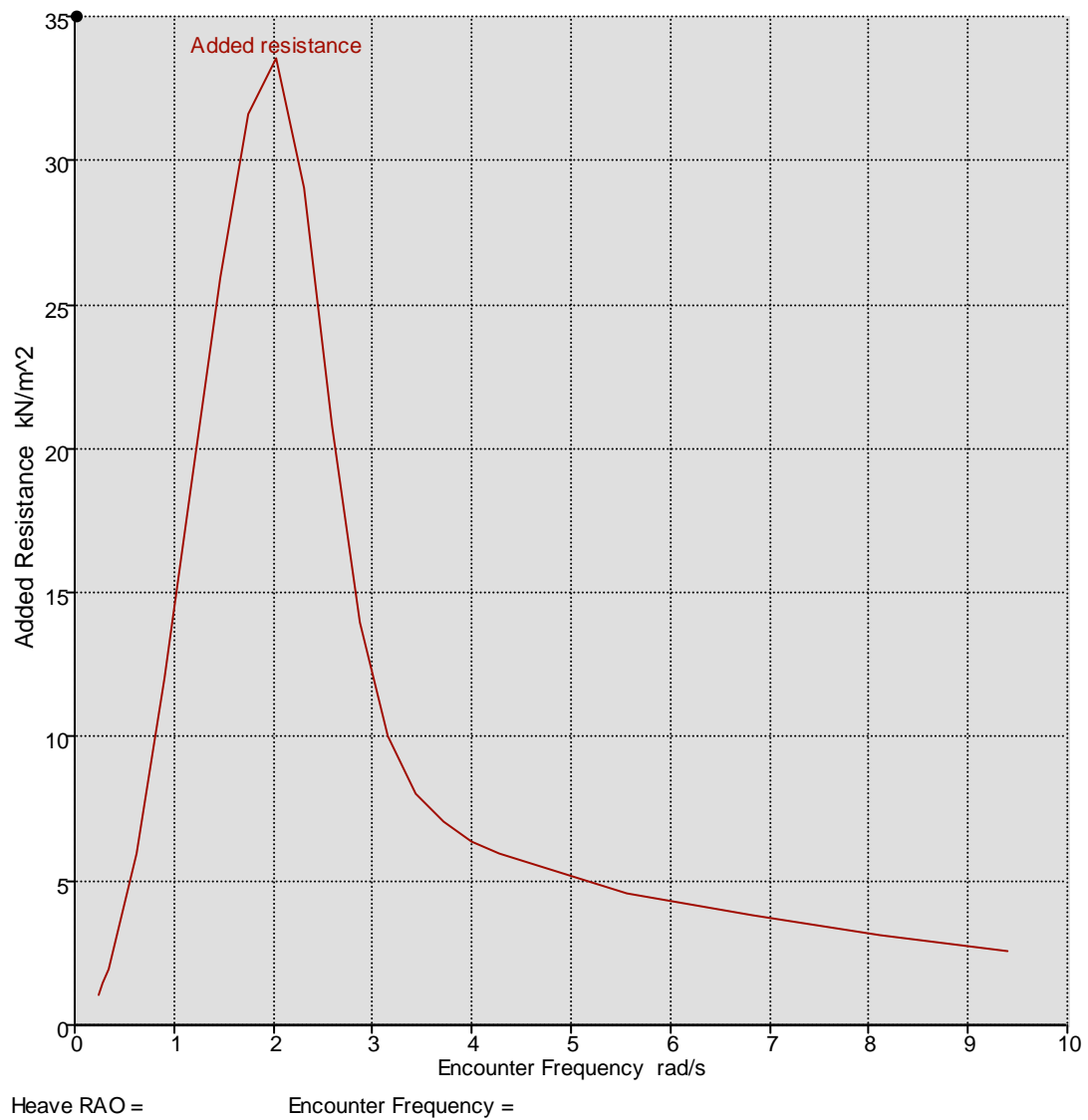
Η μέθοδος Salvesen δίνει καλύτερα αποτελέσματα για ένα πιο ευρύ φάσμα τύπων πλοίων ενώ οι άλλες δυο φέρονται να είναι πιο ακριβείς για φορτηγά πλοία υψηλών ταχυτήτων. Τα αποτελέσματα του Seakeeper για τις υπό εξέταση ταχύτητες ακολουθούν.



Σχήμα 5.1 Αντίσταση κυμάτων από το Seakeeper για 3 κόμβους

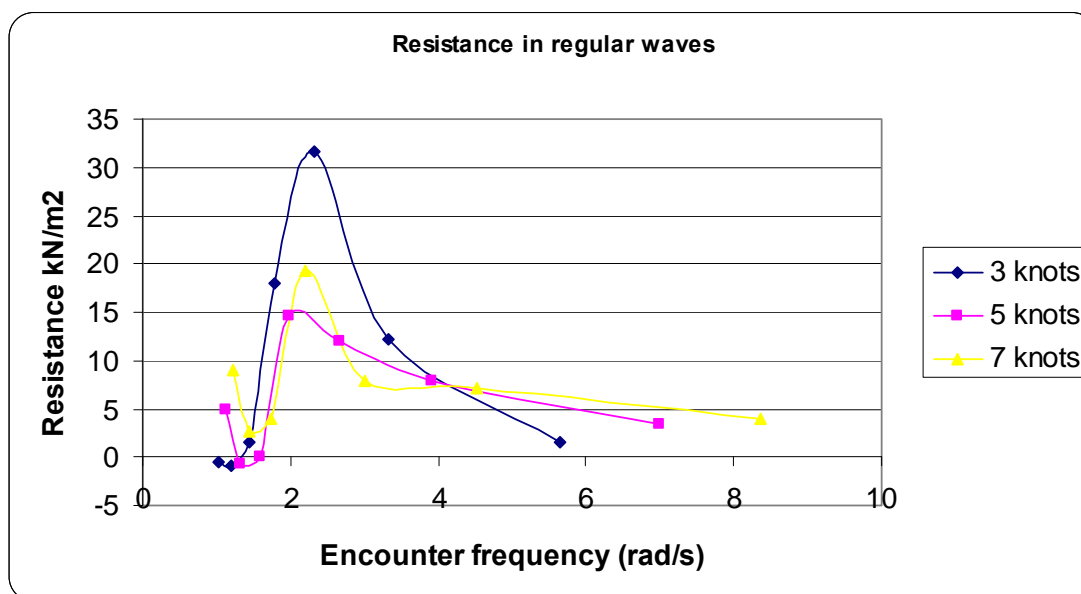


Σχήμα 5.2 Αντίσταση κυμάτων από το Seakeeper για 5 κόμβους



Σχήμα5.3 Αντίσταση κυμάτων από το Seakeeper για 7 κόμβους

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα από τα πειράματα αναγόμενα και παρουσιαζόμενα στις ίδιες μονάδες με αυτά που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα ώστε να μπορεί να γίνει μια αντιπαραβολή.



Σχήμα 5.4 Αντίσταση από τα πειράματα

5.2.2 Σχόλια

Όπως φαίνεται από τα ανωτέρω σχήματα, τα αποτελέσματα από το Seakeeper για τις τρεις ταχύτητες μοιάζουν πολύ μεταξύ τους κάτι που αντιτίθεται με αυτά των πειραμάτων αλλά και με την λογική.

Επίσης, το software υπερεκτιμά την αντίσταση, ειδικά για συχνότητες πριν από το μέγιστο σε όλες τις ταχύτητες. Με την εξαίρεση των 32-33 KN/m² για την ταχύτητα των 3 κόμβων όπου τόσο το πρόγραμμα όσο και τα πειράματα δείχνουν σαν το μέγιστο, τα μέγιστα των άλλων ταχυτήτων είναι υπερβολικά και το ίδιο συμβαίνει με τις τιμές της αντίστασης που ακολουθούν το μέγιστο. Στην περίπτωση των 3 κόμβων που οι κορυφές συμφωνούν πάντως, συμφωνούν και οι τιμές για τις υψηλότερες συχνότητες.

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον υπολογισμό των κινήσεων του πλοίου που είναι βέβαια η κύρια συνεισφορά στην αντίσταση.

Σύμφωνα με τον Salvesen, ακρίβεια του 10-15% για τις κινήσεις μεταφράζεται σε μια απόκλιση για την αντίσταση της τάξης του 20-30%.

5.3 Tribon

Το Tribon παρέχει περισσότερες επιλογές σε σχέση με το Maxsurf επιτρέποντας μεγαλύτερη ποικιλία δεδομένων και πληροφοριών να εξαχθούν. Παρόλα αυτά, το μέγεθος και η πολυπλοκότητά του το καθιστούν ένα εργαλείο δύσκολο στην εξοικείωση.

5.3.1 Παράμετροι και αποτελέσματα

Με δεδομένο πως το σχέδιο του πλοίου έχει μπει στο πρόγραμμα, οι διαθέσιμες επιλογές περιλαμβάνουν:

General: σε αυτή την καρτέλα κάποιες γενικές πληροφορίες ζητούνται. Ανάμεσά τους ο προσδιορισμός του σημείου 0 των αξόνων, η κατεύθυνση των κυμάτων και το εύρος των συχνοτήτων.

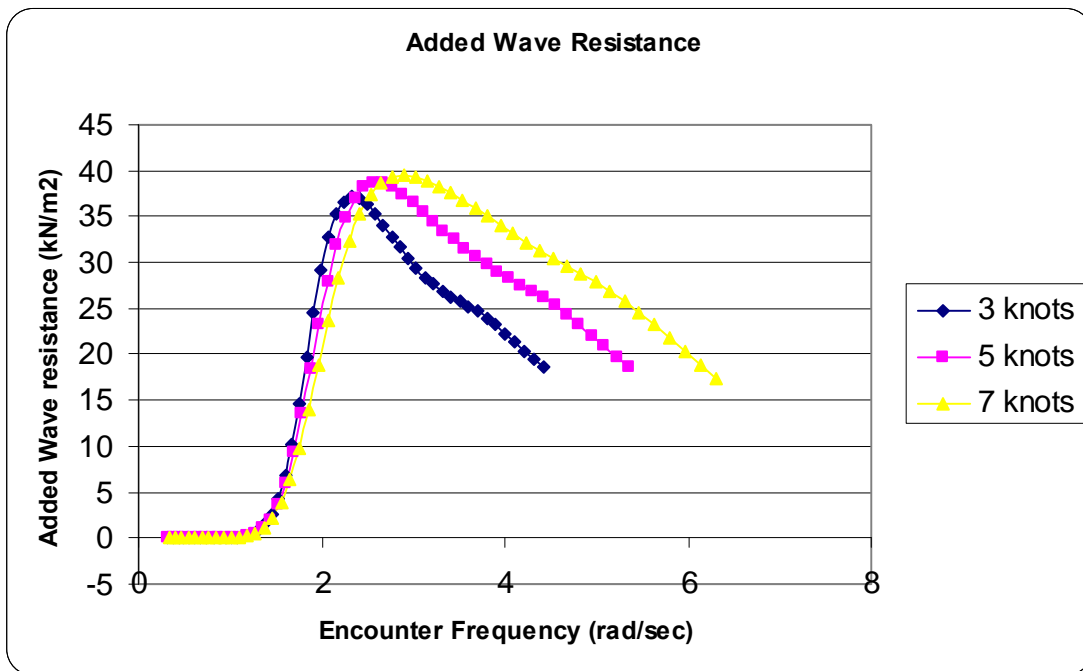
The loading condition of the vessel: Η συνθήκη φόρτωσης είναι απαραίτητο στοιχείο. Ένα μέσο βύθισμα των 1.87m με διαφορά μπρος πίσω 0.71m αντιστοιχεί στην πιο ρεαλιστική τιμή.

Regular data: Σε αυτή την καρτέλα, οι ενδιαφερόμενες ταχύτητες και η μέθοδος υπολογισμού πρέπει να προσδιοριστούν. Για την δική μας περίπτωση, ταχύτητες από 3 έως 10 κόμβοι και η μέθοδος Scores επιλέχθηκαν.

RAO output: Εδώ επιλέγεται αυτό που χρειάζεται να υπολογιστεί από το πρόγραμμα. Σε διαφορετική περίπτωση θα μπορούσε να είναι το μέγεθος των κινήσεων του σκάφους αν το ζητούμενο ήταν το άνετο ταξίδι κτλ. Εμείς ζητάμε την αντίσταση.

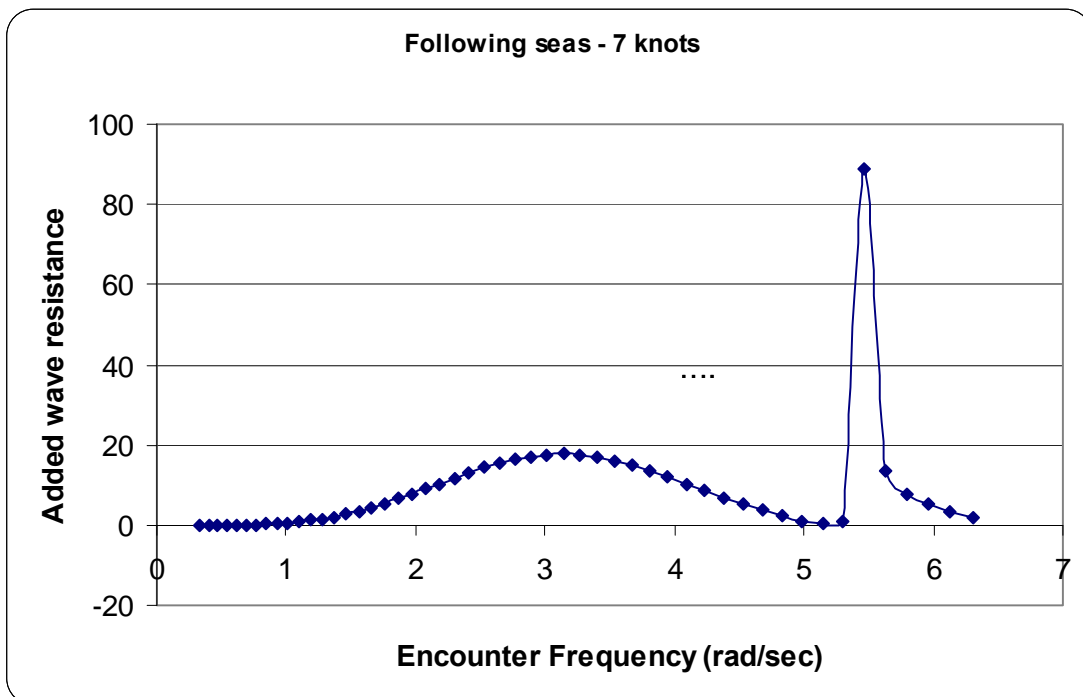
Hydrodynamics: Τέλος η μέθοδος Close fit επιλέχθηκε. .

Τα αποτελέσματα από το Tribon έχουν συντεταγμένες αδιάστατης αντίστασης προς συχνότητας κύματος. Όπως και πριν για την καλύτερη σύγκριση τα δεδομένα από το Tribon μετατράπηκαν σε HTML φάκελο και μετά εισάχθηκαν σε ένα φάκελο Excel όπου έγινε η μετατροπή των μονάδων σε kN/m^2 προς συχνότητα συνάντησης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5 Αντίσταση στα κύματα από το Tribon

The following seas case outcome is shown at figure 5.6



Σχήμα 5.6 Αντίσταση στα κύματα από πρύμα από το Tribon

5.3.2 Σχόλια

Το Tribon συμφωνεί με την καμπύλη των πειραμάτων μέχρι την συχνότητα συνάντησης των 2 rad/sec αλλά υπερεκτιμά τις τιμές της αντίστασης από και πέρα. Η μέγιστη τιμή των 35-40 kN/m² είναι μεγαλύτερη τόσο από τα πειράματα όσο και από τα αποτελέσματα του Maxsurf και το ίδιο ισχύει και για την περιοχή μετά από αυτό.

Στις μικρότερες συχνότητες όπου το Maxsurf υπερεκτιμά την αντίσταση, το Tribon ευθυγραμμίζεται με τα πειραματικά αποτελέσματα.

Όσο αναφορά τις ταχύτητες, στους 3 κόμβους και για συχνότητες μέχρι το μέγιστο, χρειάζεται περισσότερη ισχύς. Έως εκείνο το σημείο οι αντιστάσεις για τους 5 και 7 κόμβους ακολουθούν με αυτή τη σειρά. Μετά την συχνότητα που παρουσιάζεται το μέγιστο, η σειρά αντιστρέφεται με την ταχύτητα των 7 κόμβων να απαιτεί την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή ισχύς για να ξεπεράσει τα κύματα σε υψηλές συχνότητες. Στα κύματα από πρύμα παρατηρείται μια σημαντική απόκλιση μεταξύ του Tribon και των πειραμάτων. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4 τα πειραματικά δεδομένα είναι γενικά αναξιόπιστα (για την δική μας περίπτωση). Εντούτοις, το δεύτερο σετ πειραμάτων (επαληθευτικό) βρίσκεται πιο κοντά στα αποτελέσματα του προγράμματος αν και πάλι με απαράδεκτα μεγάλη διαφορά.

Το Tribon όπως προείπαμε, παρέχει πολλές διαφορετικές επιλογές μεθόδου υπολογισμού. Σε αντίθεση με το Maxsurf, εδώ έχουμε την επιλογή στην μέθοδο προσδιορισμού του υδροδυναμικού συντελεστή αλλά και στον υπολογισμό των δυνάμεων διέγερσης. Για την πρώτη περίπτωση διαλέγουμε μεταξύ των μεθόδων Lewis και Close fit ενώ στην δεύτερη μεταξύ Scores και Vugts. Η λεπτομερής εξήγηση των βημάτων αυτών δεν είναι σκοπός αυτής της εργασίας, είναι όμως η επίδραση τους στο τελικό αποτέλεσμα. Στην προκειμένη περίπτωση διαλέχτηκε η Scores και η Close fit μετά από εκτενή πειραματισμό με το πρόγραμμα.

Πιο συγκεκριμένα, κρατώντας την μέθοδο Lewis ίδια και αλλάζοντας μεταξύ Scores και Vugts μπορεί κανείς να παρατηρήσει πως η Scores προβλέπει περισσότερη αντίσταση σε μικρές συχνότητες αλλά τελικά φτάνει σε ένα μέτριο μέγιστο σημείο σε σχέση με αυτό της Vugts το οποίο όμως εξακολουθεί να είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό των πειραμάτων.

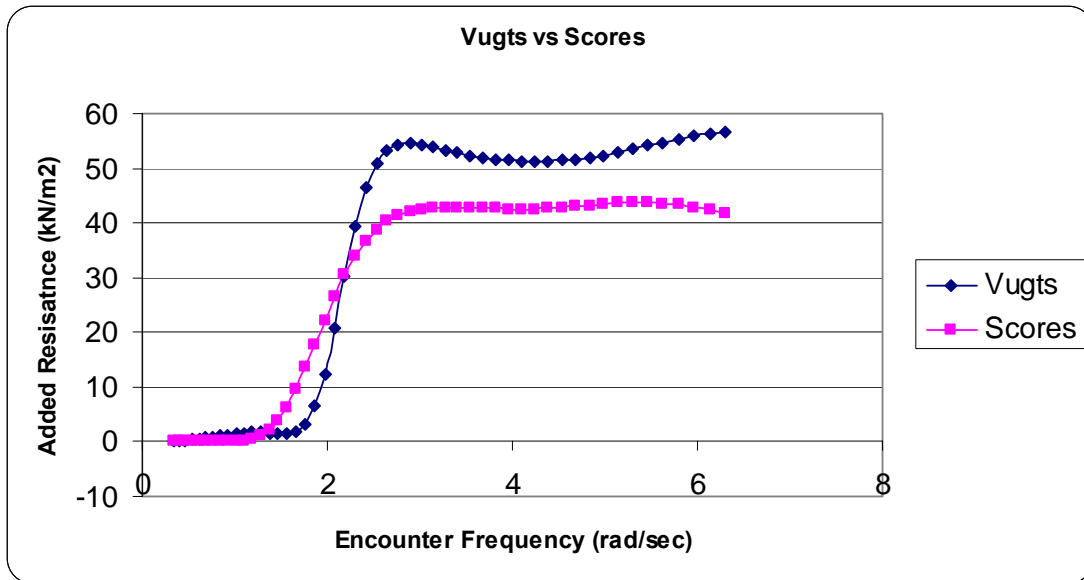
Παρομοίως, με την επιλογή της μεθόδου close fit, ο συσχετισμός μεταξύ Scores και Vugts καταλήγει σε ανάλογα αποτελέσματα, με την τελευταία να παρουσιάζει ψηλότερο μέγιστο και ελαφρά μεγαλύτερη αντίσταση από και πέρα αλλά και μικρότερες τιμές στις μικρότερες συχνότητες.

Η υπερεκτίμηση από τον Vugts μπορεί να αποδοθεί στους όρους ω_w/ω_e που περιλαμβάνονται στην θεωρία του. Για συγκεκριμένους συνδυασμούς ταχύτητας, κατεύθυνσης και συχνότητας κυμάτων ω_w , οι συχνότητες συνάντησης ω_e γίνονται πολύ μικρές με αποτέλεσμα να έχουμε μεγάλες τιμές δυνάμεων διέγερσης.

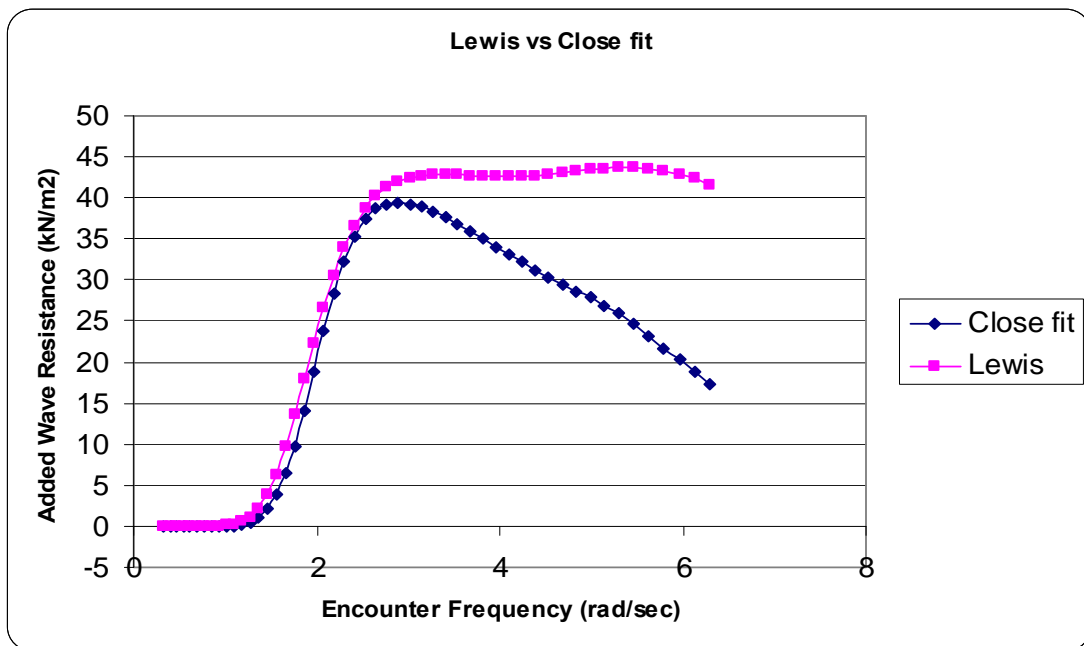
Από την άλλη μεριά, εναλλάσσοντας ανάμεσα στον Lewis και στην close fit με την μέθοδο Scores σταθερή, βλέπουμε πως ο Lewis υπερεκτιμά την αντίσταση σε όλο το εύρος συχνοτήτων.

Κρατώντας την Vugts σταθερή έχουμε ξανά τα ίδια αποτελέσματα αν και ελαφρά μικρότερες τιμές στις χαμηλές συχνότητες

Τα παραπάνω συμπεράσματα μπορούν εύκολα να επαληθευτούν κοιτάζοντας τα σχήματα 5.6 και 5.7. Η ταχύτητα των 7 κόμβων είναι η ταχύτητα στην οποία αναφέρονται τα σχήματα μια και αυτή η ταχύτητα η διαφορές είναι μεγενθυμένες.



Σχήμα 5.7 Vugts και Scores με την Lewis σταθερή



Σχήμα 5.8 Lewis και Close με την Scores σταθερή

Κεφάλαιο 6

Αντίσταση Αέρα

6.1 Εισαγωγή

Στο τελευταίο κεφάλαιο, θα μπορούμε στους υπολογισμούς της αντίστασης του αέρα για το Bernicia. Πειράματα σε αεροσύραγγα είχαν αρχικά προγραμματιστεί, σαν μέρος αυτής της εργασίας, τα οποία θα μπορούσαν να δώσουν χρήσιμα δεδομένα προς ανάλυση και σύγκριση με τα αντίστοιχα άλλων θεωρητικών μεθόδων. Δυστυχώς, το χρονοδιάγραμμα της αεροσύραγγας, στο πανεπιστήμιο του Newcastle, μαζί με εργασίες συντήρησης που έπρεπε να λάβουν χώρα, δεν επέτρεψαν στο τρίτο και τελευταίο μέρος της πτυχιακής αυτής να ολοκληρωθεί. Επομένως, οι θεωρητικές μέθοδοι είναι το μόνο υπολογιστικό εργαλείο για την αντίσταση του αέρα. Οι τρεις πιο κατάλληλες μέθοδοι για τον προκειμένο τύπο σκάφους είναι από τον Isherwood, την NPL/BSRA, και την απλή BSRA.

6.2 Η μέθοδος του Isherwood

Η μέθοδος από τον Isherwood γενικώς χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν οι διαμήκης και εγκάρσιες δυνάμεις του αέρα καθώς οι επαγόμενες ροπές για ένα μεγάλο εύρος τύπων πλοίων, συμπεριλαμβανομένων τράτων (Bernicia), με γωνίες ανέμου από οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Οι τύποι προέρχονται από πειράματα με 49 μοντέλα που διεξήχθησαν σε ροή χωρίς να ληφθεί υπόψη η μεταβολή της ταχύτητας λόγω τριβής με την επιφάνεια της θάλασσας. Το φαινόμενο θα αναλυθεί παρακάτω.

- ο Συντελεστής διαμήκης δύναμης

$$C_X = A_0 + A_1 \frac{2A_L}{L_{OA}^2} + A_2 \frac{2A_r}{B^2} + A_3 \frac{L_{OA}}{B} + A_4 \frac{S}{L_{OA}} + A_5 \frac{G}{L_{OA}} + A_6 M$$

- ο Συντελεστής εγκάρσιας δύναμης

$$C_Y = B_0 + B_1 \frac{2A_L}{L_{OA}^2} + B_2 \frac{2A_r}{B^2} + B_3 \frac{L_{OA}}{B} + B_4 \frac{S}{L_{OA}} + B_5 \frac{G}{L_{OA}} + B_6 \frac{A_{SS}}{A_L}$$

- ο Συντελεστής ροπής

$$C_N = C_0 + C_1 \frac{2A_L}{L_{OA}^2} + C_2 \frac{2A_r}{B^2} + C_3 \frac{L_{OA}}{B} + C_4 \frac{S}{L_{OA}} + C_5 \frac{G}{L_{OA}}$$

Όπου τα ζητούμενα δεδομένα είναι:

L_{OA} : ολικό μήκος(m)

B: πλάτος (m)

A_L : (m²)

A_T : εγκάρσια προβαλλόμενη επιφάνεια (m²)

A_{SS} : εγκάρσια προβαλλόμενη επιφάνεια του κομοδεσίου

S : περίμετρος της εγκάρσιας προβαλλόμενης επιφάνειας χωρίς την γραμμή της θάλασσας και των εύκαμπτων στοιχείων.

G: η απόσταση από την πλώρη του κέντρου της εγκάρσιας προβαλλόμενης επιφάνειας (m)

M: ο αριθμός των καταρτιών, η κεραιών που φαίνονται στην εγκάρσια προβαλλόμενη επιφάνεια

Οι συντελεστές A, B, C εξαρτώνται από την γωνία του ανέμου.

Οπότε οι δυνάμεις και οι ροπές μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας τους τύπους :

$$F_X = C_X \frac{\rho}{2} V_R^2 A_T$$

$$F_Y = C_Y \frac{\rho}{2} V_R^2 A_L$$

$$N = C_N \frac{\rho}{2} V_R^2 A_L L_{OA}$$

Όπου:

ρ : πυκνότητα του αέρα

V_R : ονομαστική σχετική ταχύτητα του αέρα στην ελεύθερη ροή

6.2.1 Αποτελέσματα

Τα απαραίτητα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του Bernicia για τους υπολογισμούς είναι:

L_{OA}	16.2	m
B	4.72	m
A_T	22	m ²
A_L	39	m ²

S	28.25	m
C	7.65	m
M	3	

Μέχρι στιγμής, τόσο για την ήρεμη θάλασσα όσο και για την αντίσταση στα κύματα, έχουμε ασχοληθεί αποκλειστικά με την διαμήκη κατεύθυνση. Η αντίσταση του αέρα δεν θα αποτελέσει εξαίρεση. Μόνο μετωπικός αέρας θα ληφθεί υπόψη πράγμα που σημαίνει πως μόνο η συνισταμένη στην x κατεύθυνση χρειάζεται να υπολογιστεί. Προκειμένου να προσδιορίσουμε την σχετική ταχύτητα του αέρα, η κατάσταση της θάλασσας στην οποία συνήθως λειτουργεί το Bernicia πρέπει να είναι γνωστή. Οι διαφορετικές υποψήφιες συνθήκες θάλασσας μαζί με τις αντίστοιχες ταχύτητες φαίνονται από κάτω.

Sea State Code & Description

SS0

Θάλασσα σαν καθρέπτης, άνεμος μικρότερος από 1 κόμβο. Το μέσο ύψος κυμάτων είναι 0.

SS1

Ομαλή θάλασσα, με λίγες ρυτίδες, χωρίς αφρό και με πολύ ελαφρούς ανέμους της τάξεως των 1-3 κόμβων. Το μέσο ύψος κυμάτων είναι 0-0.3 m (0-1 ft).

SS2

Ελαφριοί άνεμοι, 4-6 κόμβοι. Μέσο ύψος κυμάτων 0.3-0.6 m (1-2 ft).

SS3

Μέτρια θάλασσα, η κορυφές των κυμάτων αρχίζουν να σπάνε, άνεμοι απαλοί έως μέτριοι της τάξεως των 7-10 κόμβων. Μέσο ύψος κυμάτων 0.6-1.2 m (2-4 ft).

SS4

Σκληρή θάλασσα, μέτρια κύματα, μερικά από αυτά σπάνε, λίγο σπρέι, άνεμοι μέτριοι έως δυνατοί, 11-27 κόμβων. Μέσο ύψος κυμάτων 1.2-2.4 m (4-8 ft).

SS5

Πολύ σκληρή θάλασσα, άνεμοι 28-40 κόμβων. Μέσο ύψος κυμάτων 2.4-4.0 m (8-13 ft).

SS6

Άνεμοι 41-47 κόμβων, μέσο ύψος κυμάτων 4.0-6.1 m (13-20 ft).

SS7

Άνεμοι 48-55 κόμβων, μέσο ύψος κυμάτων 6.1-9.1 m (20-30 ft).

SS8

Άνεμοι 56-63 κόμβων. Μέσο ύψος κυμάτων 9.1-13.7 m (30-45 ft).

SS9

Άνεμοι από 64 κόμβους και πάνω. Μέσο ύψος κυμάτων 13.7 m και πάνω.

Πηγή: An Introduction to the World's Oceans. Duxbury, Duxbury & Sverdrup. McGraw Hill, 2000.

Για την sea state 3 και για ανέμους των 10 κόμβων, η σχετική ταχύτητα του ανέμου μπορεί να υπολογιστεί αν πρώτα επιλέξουμε την ταχύτητα του πλοίου. Οι υπολογισμοί θα γίνουν για τρεις ταχύτητες: των 3, 5 και 7 κόμβων.

Για μια σχετική γωνία ανέμου των 0 μοιρών έχουμε:

$$A_0 = 2.152$$

$$A_1 = -5$$

$$A_2 = 0.243$$

$$A_3 = -0.164$$

$$A_4 = 0$$

$$A_5 = 0$$

$$A_6 = 0$$

Με δεδομένο πως η πυκνότητα του αέρα είναι 1.228 kg/m^3 παίρνουμε:

Ταχύτητα του πλοίου 3 knots –σχετική ταχύτητα ανέμου 13 knots = 6.687 m/s

$$F_{X3} = 0.352 \text{ kN}$$

Ταχύτητα του πλοίου 5 knots –σχετική ταχύτητα ανέμου 15 knots = 7.716 m/s

$$F_{X5} = 0.468 \text{ kN}$$

Ταχύτητα του πλοίου 7 knots –σχετική ταχύτητα ανέμου 17 knots = 8.745 m/s

$$F_{X7} = 0.602 \text{ kN}$$

6.3 NPL/BSRA

Με την χορηγία της BSRA και τις εγκαταστάσεις της NPL πραγματοποιήθηκε μια σειρά από τεστ με σκοπό την πρόβλεψη εγκάρσιων δυνάμεων και ροπών από τον αέρα σε κινούμενα και ακίνητα πλοία. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω:

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho U^2 S}, \quad C_C = \frac{C}{\frac{1}{2}\rho U^2 S}, \quad C_N = \frac{N}{\frac{1}{2}\rho U^2 SL}$$

Όπου: D : αντίσταση
C : cross-wind force
N : ροπή
S : διαμήκης επιφάνεια
U : ταχύτητα του ανέμου
ρ : πυκνότητα του αέρα
L : ολικό μήκος

Ο συντελεστής μετωπικής αντίστασης δίνεται ως:

$$C_X = \frac{X}{\frac{1}{2}\rho U^2 (A |\cos \beta| + S |\sin \beta|)}$$

Όπου : U : ταχύτητα του ανέμου
ρ : πυκνότητα του αέρα
S : διαμήκης επιφάνεια
A : εγκάρσια προβαλλόμενη επιφάνεια
β : γωνία της κίνησης yaw (περιστροφική κίνηση γύρω από κάθετο στην θάλασσα άξονα)

Τα τεστ έγιναν λαμβάνοντας υπόψη την διαφορά στο μέτρο της ταχύτητας ανάλογα με το ύψος λόγω τις τριβής στην επιφάνεια κάτι που σημαίνει πως οι παραπάνω συντελεστές ισχύουν μόνο για ακίνητα πλοία. Για την περίπτωση ενός κινούμενου σκάφους χρειάζεται ένας διορθωτικός συντελεστής ο οποίος θα βοηθήσει στην καλύτερη προσέγγιση της πραγματικής ταχύτητας η οποία με τη σειρά της είναι το άθροισμα των σταθερών και ίσων διανυσμάτων ταχύτητας λόγω της κίνησης του πλοίου **και** των διανυσμάτων της ταχύτητας του ανέμου που μεγαλώνουν σε μέτρο

από την επιφάνεια της θάλασσας και πάνω. Για να γίνει πιο κατανοητό αυτό ο άνεμος που νοιώθει ένα πλοίο λόγω της κίνησής του είναι σταθερός σε όλα τα κάθετα σημεία (σύγκρουση του πλοίου με τα ακίνητα σωματίδια του αέρα) του πλοίου ενώ ο φυσικός άνεμος λόγω της τριβής με την επιφάνεια αλλάζει ανάλογα με το ύψος. Ο συντελεστής αυτός είναι Φ_1 .

Επιπλέον, ένας δεύτερος συντελεστής είναι απαραίτητος για να εξομοιώσει την διαφορά ανάμεσα στο ύψος της ελεύθερης ροής του αέρα στο τούνελ και το ύψος που είναι τοποθετημένο το ανεμόμετρο στο πλοίο. Αυτός ονομάζεται Φ_2 . Άρα ο συντελεστής αντίστασης για την περίπτωση ενός κινούμενου πλοίου είναι:

$$C_X' = C_X \Phi_1 \Phi_2$$

Όπου:

$$\Phi_1 = 1 + \frac{2}{(n+1)n} \left(\frac{V_G}{V_{RW}} \right)^2 + \frac{2}{n+1} \left(\frac{V_G}{V_{RW}} \right) \cos \gamma_R$$

$$\Phi_2 = \frac{2}{\pi} \left[\left(1 + \frac{\pi}{2} \right) - \frac{40}{Z_T} \right] \quad \text{για } Z_T > 40\text{m}$$

$$\Phi_2 = \left(\frac{40}{Z_T} \right)^{\frac{2}{n}} \quad \text{για } Z_T < 40\text{m}$$

$$n = 9.5$$

V_G = ταχύτητα του πλοίου σε σχέση με το έδαφος (κόμβοι)

V_{RW} = ταχύτητα του ανέμου σε σχέση με το πλοίο (κόμβοι)

γ_R = σχετική κατεύθυνση του ανέμου (degrees of the bow)

Z_T = ύψος του ανεμόμετρου πάνω από την θάλασσα (m)

6.3.1 Αποτελέσματα

Από τον πίνακα 6.1 για τύπο τράτας που είναι το Bernicia και για 0 μοίρες γωνίας ανέμου έχουμε :

$$C_X = 0.89$$

Yaw angle (degrees)	C_X	C_Y	C_N
0	+ 0.89	0	+ 0.004
10	+ 0.88	0.15	- 0.032
20	+ 0.88	0.33	- 0.064
30	+ 0.84	0.58	- 0.090
40	+ 0.75	0.81	- 0.109
50	+ 0.45	0.96	- 0.115
60	+ 0.31	0.99	- 0.094
70	+ 0.24	0.97	- 0.065
80	+ 0.16	0.96	- 0.032
90	+ 0.07	0.95	+ 0.002
100	- 0.01	0.94	+ 0.036
110	- 0.17	0.92	+ 0.069
120	- 0.41	0.89	+ 0.096
130	- 0.59	0.89	+ 0.115
140	- 0.74	0.84	+ 0.119
150	- 0.86	0.67	+ 0.105
160	- 0.92	0.43	+ 0.071
170	- 0.94	0.19	+ 0.034
180	- 0.91	0	+ 0.003

Πίνακας 6.1 Συντελεστές για σκάφος τύπου τράτας

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο της μεθόδου υπολογισμού, η πρώτη διόρθωση της ταχύτητας λόγω της κίνησης του πλοίου για τις τρεις υπό εξέταση ταχύτητες δίνει:

$$\Phi_{13} = 1.0448$$

$$\Phi_{15} = 1.0656$$

$$\Phi_{17} = 1.0818$$

Υποθέτοντας ένα ύψος ανεμομέτρου στα 3 μέτρα βρίσκουμε τον δεύτερο διορθωτικό συντελεστή:

$$\Phi_2 = 1.725$$

Επομένως οι διορθωμένοι συντελεστές είναι:

$$C_{X3}' = C_X \cdot \Phi_{13} \cdot \Phi_2 = 0.89 \cdot 1.0448 \cdot 1.725 = 1.604$$

$$C_{X5}' = C_X \cdot \Phi_{15} \cdot \Phi_2 = 0.89 \cdot 1.0656 \cdot 1.725 = 1.636$$

$$C_{X7}' = C_X \cdot \Phi_{17} \cdot \Phi_2 = 0.89 \cdot 1.0818 \cdot 1.725 = 1.661$$

Με αυτές τις τιμές μπορούμε τώρα να προχωρήσουμε στον υπολογισμό της αντίστασης:

$$X_3 = 0.573 \text{ kN}$$

$$X_5 = 0.584 \text{ kN}$$

$$X_7 = 0.593 \text{ kN}$$

Η τιμή της ταχύτητας που χρησιμοποιήθηκε στην εξίσωση της δύναμης ήταν 10 κόμβοι άρα 5.143 m/s.

6.4 BSRA

Η μέθοδος αυτή υπολογίζει μόνο της μετωπική αντίσταση είτε για ακίνητα είτε για κινούμενα σκάφη. Αυτή δίνεται από:

$$R_{AA} = \frac{A_T}{C} C_{AA1} V_{RW}^2$$

Όπου: C είναι ο συντελεστής πυκνότητας του αέρα και C_{AA1} είναι ο διορθωμένος συντελεστής αντίστασης::

$$C_{AA1} = C_{AA} \Phi_1 \Phi_2$$

Το C_{AA} μπορεί να υπολογιστεί από τα σχήματα που δίνονται στην βιβλιογραφία ενώ οι δυο διορθωτικοί συντελεστές είναι ίδιοι με προηγουμένως. Ο συντελεστής πυκνότητας του αέρα βρίσκεται από:

$$C = 5.838[1 + 0.003660(t^{\circ})] \frac{1012.5}{P_a}$$

Με

t° = θερμοκρασία αέρα ($^{\circ}\text{C}$)

P_a = πίεση αέρα (mbar)

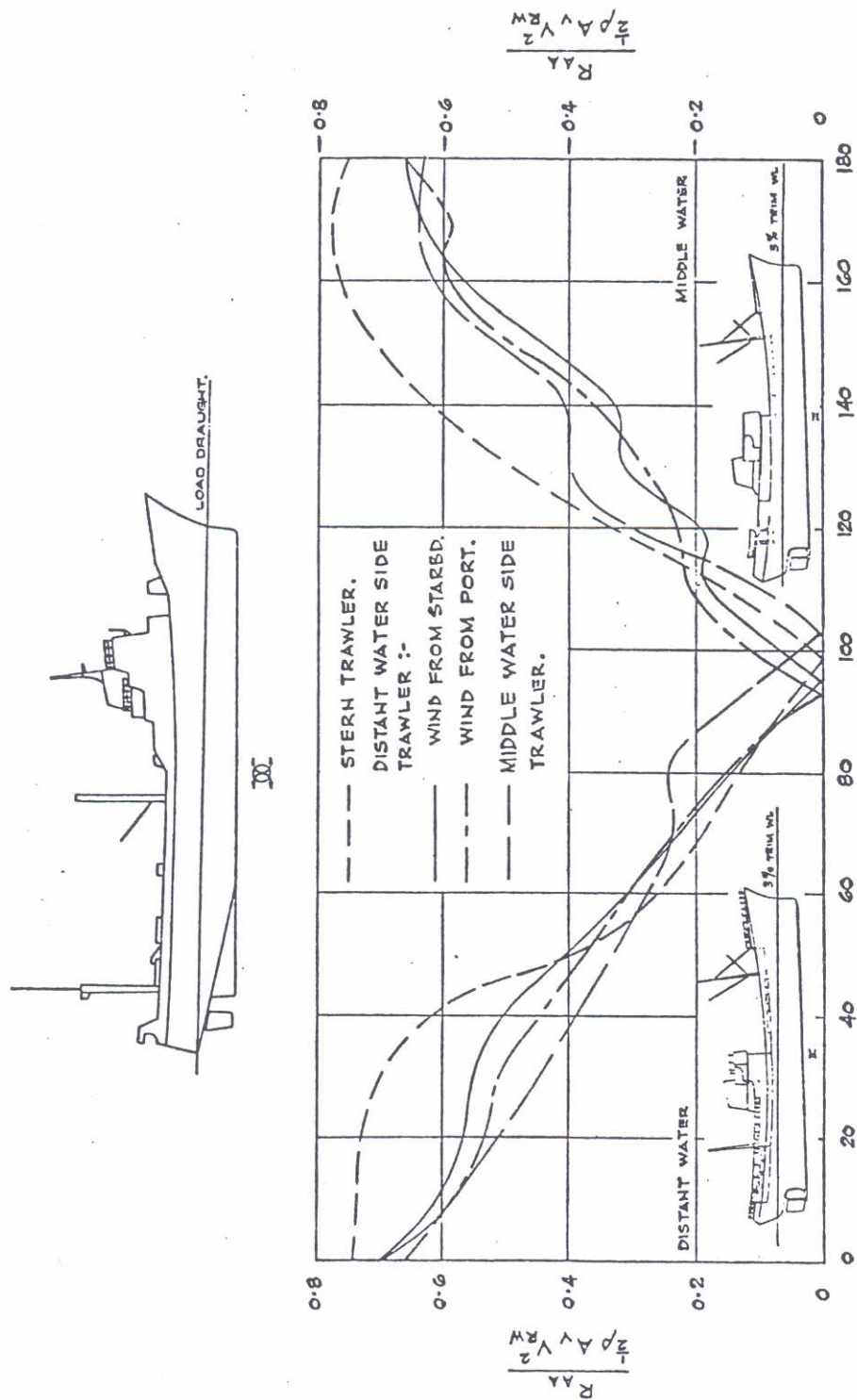
Επιπρόσθετα το V_{RW} είναι η σχετική ταχύτητα του ανέμου και θα πρέπει να εισαχθεί σε κόμβους παρόλο που οι μονάδες των υπόλοιπων όρων στην εξίσωση είναι SI.

6.4.1 Αποτελέσματα

Για θερμοκρασία αέρα 15°C και πίεση 1013.2 mbar το C μπορεί να υπολογιστεί:

$$C = 6.154$$

Για τον υπολογισμό του C_{AA1} , χρειάζεται το C_{AA} το οποίο με τη σειρά του μπορεί να υπολογιστεί απευθείας από το σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1 συντελεστές αντιστάσεις για τράτα

$$C_{AA} = 0.74$$

Επομένως, για τις τρεις ταχύτητες έχουμε:

$$C_{AA13} = C_{AA} \Phi_{13} \Phi_2 = 0.74 \cdot 1.0448 \cdot 1.725 = 1.333$$

$$C_{AA15} = C_{AA} \Phi_{15} \Phi_2 = 0.74 \cdot 1.0656 \cdot 1.725 = 1.36$$

$$C_{AA17} = C_{AA} \Phi_{17} \Phi_2 = 0.74 \cdot 1.0818 \cdot 1.725 = 1.381$$

Τέλος οι αντιστάσεις για κάθε ταχύτητα είναι:

$$R_{AA3} = \mathbf{0.805 \text{ kN}}$$

$$R_{AA5} = \mathbf{1.094 \text{ kN}}$$

$$R_{AA7} = \mathbf{1.426 \text{ kN}}$$

6.5 Σχόλια

Και οι τρεις μέθοδοι υποτίθεται πως είναι εφαρμόσιμες για τράτες παρόλα αυτά παρουσιάζουν αποτελέσματα με υπολογίσιμες διαφορές.

Η μέθοδος της BSRA προβλέπει την διπλή απαιτούμενη ισχύ από ότι η μέθοδος BSRA/NPL και μάλιστα στην χαμηλότερη ταχύτητα των 3 κόμβων ακόμα και 3 φορές περισσότερο από τον Isherwood για την ίδια ταχύτητα.

Από την άλλη μεριά, ο Isherwood με την BSRA/NPL φαίνεται να είναι αρκετά κοντά για τους 5 και 7 κόμβους με αυξημένη την διαφορά στους 3 κόμβους.

Αξίζει εδώ να σημειώσουμε την διαφορά στον τύπο του σκάφους που ισχύει η μέθοδος της BSRA και στο Bernicia.

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα

Για την αντίσταση σε ήρεμη θάλασσα τα ακόλουθα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν:

- Η συνθήκη φόρτωσης 1 κατά την οποία το σκάφος βρίσκεται στην απολύτως οριζόντια θέση απαιτεί την λιγότερη ισχύ για το μεγαλύτερο εύρος των τριών ταχυτήτων. Πάνω από τους 9 κόμβους η σειρά αντιστρέφεται με την ίδια φόρτωση να απαιτεί την περισσότερη ισχύ.
- Η αύξηση σε ισχύ για ταχύτητες μεγαλύτερες από τους 9 κόμβους και πέρα είναι εξωπραγματική καθιστώντας την λειτουργία σε αυτές μη οικονομικές. ο
- Οι δυο μέθοδοι αναγωγής σε πραγματική κλίμακα (2-D and 3-D extrapolation) παρουσιάζουν πολύ κοντινά αποτελέσματα.

Συγκρίνοντας τις δυο αναλυτικές μεθόδους υπολογισμού της αντίστασης σε ήρεμη θάλασσα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Ο Holtrop προβλέπει λιγότερη δύναμη σε σχέση με τα αποτελέσματα των πειραμάτων.
- Σε αντίθεση με τις μεθόδους αναγωγής ο Holtrop καταλήγει στο ότι η φόρτωση 1 απαιτεί περισσότερη ισχύ σε όλο το εύρος
- Η πρώτη δημοσίευση από τον Holtrop (1982) υπερεκτιμά σημαντικά την απαιτούμενη ιπποδύναμη απ' ότι η πιο πρόσφατη έρευνα (1984).
- Ο Oortmerssen παρουσιάζει μια ικανοποιητική συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα.
- Ο Oortmerssen, όπως και ο Holtrop, προβλέπει περισσότερη ανάγκη ισχύς για την φόρτωση 1.

Από τα πειράματα με κύματα καταλήγουμε στα εξής σημεία:

- Η μέγιστη αντίσταση παρουσιάζεται σε ελαφρώς μεγαλύτερη συχνότητα από την συχνότητα συγχρονισμού της κίνησης pitch.
- Γενικά, η αντίσταση αυξάνεται με την ταχύτητα. Το μέγιστο λόγω συντονισμού στους 3 κόμβους δεν επέτρεψε την γραφική αναπαράσταση του φαινομένου.

Η χρήση προγραμμάτων κατέληξε στα παρακάτω:

- Το Maxsurf υπερεκτιμά την αντίσταση κυμάτων για μικρές συχνότητες ενώ φαίνεται να υπάρχει μια ικανοποιητική ομοιότητα από την τιμή του μέγιστου και πέρα.
- Οι μέγιστες τιμές που προβλέπει το Tribon είναι αρκετά μεγαλύτερες από αυτές των πειραμάτων.
- Το Tribon συμφωνεί με τα πειράματα σε χαμηλές συχνότητες αλλά υπερεκτιμά την αντίσταση από το μέγιστο και μετά.
- Ο υπολογισμός των υδροδυναμικών συντελεστών με την μέθοδο Lewis δίνει μεγάλες τιμές αντίστασης.
- Μια σύγκριση μεταξύ του υπολογισμού των δυνάμεων διέγερσης από το Tribon αποκαλύπτει πως η μέθοδος Vugts προβλέπει περισσότερη αντίσταση στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες και μικρότερη στις χαμηλές συχνότητες σε σχέση πάντα με την Scores fit.

Για την αντίσταση αέρα μια περίληψη των τριών μεθόδων είναι η εξής:

- Η μέθοδος της BSRA προβλέπει μακράν τις υψηλότερες τιμές αντίστασης.
- Ο Isherwood από την άλλη μεριά δίνει το πιο ήπιο αποτέλεσμα.
- Ο Isherwood και η NPL/BSRA καταλήγουν σε παρόμοια αποτελέσματα για υψηλές ταχύτητες.

Όπως ίσως θα έχει παρατηρήσει κάποιος, πολλές από τις υπολογιστικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν είναι πάνω από 50 χρόνων χωρίς ωστόσο να έχει μειωθεί η χρήση τους. Αυτό από μόνο του είναι μια απόδειξη της αξιοπιστίας τους.

Η αξιοπιστία αυτή όμως ισχύει μόνο όταν οι μέθοδοι εφαρμοστούν μέσα στους αναφερόμενους περιορισμούς και με τις ανάλογες υποθέσεις και απλουστεύσεις υπόψη.

Μια και αυτός ο κανόνας δεν ακολουθήθηκε πιστά στην περίπτωση του Bernicia, οι όποιες αποκλίσεις στα αποτελέσματα είναι αναμενόμενες. Αν και η πλειονότητα των μεθόδων καλύπτουν μια ευρεία γκάμα γεωμετρικών χαρακτηριστικών και τύπων πλοίων εξακολουθεί να υπάρχει ένας μη συμβατικός αριθμός σχεδίων που δεν υπακούει στους εξαγόμενους τύπους και αλγόριθμων. Το Bernicia πέφτει σε αυτή την κατηγορία.

Τα αποτελέσματα από τα πειράματα, επίσης κατέληξαν σε σημαντικές αποκλίσεις από τις αναμενόμενες. Ο λόγος μπορεί να αποδοθεί σε σχεδιαστικά λάθη και φθορά του υπάρχοντος συστήματος ρυμούλκησης και καταμέτρησης του μοντέλου, που ήδη μετρά πολλές ώρες λειτουργίας και ξεπερασμένη διάταξη.

Βιβλιογραφία

- [1] Atlar, M. “Powering of Marine Vehicles” Lecture notes, University of Newcastle upon Tyne, 2005
- [2] Bhattacharyya, R. “Dynamics of marine vehicles” 1978
- [3] Harvald, Sv.Aa “Resistance and propulsion of ships” 1983
- [4] Oortmerssen, G. “ A power prediction method and its application to small ships”, International Shipbuilding Progress, v18, 1971
- [5] Holtrop, J. “A statistical re-analysis resistance and propulsion data”, International Shipbuilding Progress, v31, 1984
- [6] Holtrop, J. & Mennen, G.G.J. “An approximate power prediction method”, International Shipbuilding Progress, v29, 1982
- [7] Jorgen, S.T., Hugh, Y.H., David, D. “Added Resistance in waves”, SNAME, v81, 1973
- [8] Gerritsma, J., “Behaviour of a ship in a seaway”, International Shipbuilding Progress, v13, 1966
- [9] Maruo, H., “The excess resistance of a ship in rough seas”, International Shipbuilding Progress, v4, 1957
- [10] Gerritsma, J., Van Den Bosch, J.J., Beukelman, W., “Propulsion in regular and irregular waves”, International Shipbuilding Progress, v8, 1961
- [11] Korvin-Kroukovsky, B.V., Jacobs, W.R., “Pitching and Heaving motions of a ship in regular waves”, SNAME, v65, 1957
- [12] Salvesen, N., “Second-order steady-state forces and moments on surface ships in oblique regular waves”, International Symposium on the dynamics of marine vehicles and structures in waves, 1974
- [13] Dennis, M.St., Pierson, W.J., “On the motions of ships in confused seas”, SNAME, v61, 1953
- [14] Berlekom, W., “Wind forces on modern ship forms-effects on performance”, NECIES Transactions, v97, 1981
- [15] Isherwood, R.M., “Wind resistance of merchant ships”, RINA Transactions, v115, 1972
- [16] Thomson, G.R., “BSRA Standard method of speed trial analysis”, BSRA Report NS 466, 1978

[17] Gould, R.W.F., “Measurements of the wind forces on a series of models of merchant ships”, NPL Aero Report 1233, 1967

[18] Cowdrey, C.F., “Aerodynamic forces and yawing moments on a waterline model of S.S. St.Finbarr, NPL Aero Report 1193, 1966

[19] Mutton, R.J., “The effect of a foul release coating on the propeller of the research vessel Bernicia”, University of Newcastle upon Tyne, Report MT-2003-048, 2003

Βοηθητικά

- “Prediction of wind and current loads on VLCCs”, OCIFM, 1977
- Berlekom, W.B., Tragardh, P., Dellhag, A., “Large Tankers-Wind coefficients and speed loss due to wind and sea”, RINA Transactions, v117, 1975
- Moor, D.I., Murdey, D.C., “Motions and propulsion of single screw models in head seas”, RINA Transactions, v110, 1968
- Moor, D.I., Murdey, D.C., “Motions and propulsion of single screw models in head seas, Part II”, RINA Transactions, v112, 1970

Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν:

- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- Maxsurf
- Tribon