



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
ΠΛΟΙΟΥ

ΚΟΡΦΙΑΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΖΑΜΠΙΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ,
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧ/ΩΝ ΜΗΧ/ΚΩΝ

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	2	
Σκοπός.....	2	
1.ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ-ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ		
1.1 Εισαγωγή.....	3	
1.2Υπόθεση Froude.....	4	
1.3Μέθοδος πρόβλεψης ολικής αντίστασης πλοίου.....	6	
2. ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ		
2.1 Αντίσταση και τραχύτητα.....	9	
2.2 Θαλάσσια ρύπανση.....	11	
3.ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ		
3.1 Εισαγωγή.....	16	
3.2 Πειραματική δεξαμενή.....	16	
3.3 Bulk Carrier Huron.....	16	
3.4 Πειράματα αντίστασης.....	21	
3.5 Συναρτήσεις μεταφοράς.....	30	
3.6 Πειράματα wavecuts.....	30	
4.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ		
4.1 Κατάσταση Heavy Ballast.....	32	
4.2 Κατάσταση Full Load.....	58	
5.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ WAVECUTS.....		84
6.ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		
6.1 Κατάσταση Heavy Ballast.....	102	
6.2 Κατάσταση Full Load.....	110	
7.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....		116
8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		118

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΛΟΙΟΥ» εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2013-2014.

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης και πειράματα δειγματοληψίας της μορφής της ελεύθερης επιφάνειας (Wavcuts) στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (πειραματική δεξαμενή) του Ε.Μ.Π. . Χρησιμοποιήθηκε ξύλινο μοντέλο του bulk carrier HURON που κατασκευάστηκε στο ξυλουργείο του Ε.Ν.Θ.Υ.. Από τα πειράματα αυτά προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα για την επίδραση της τραχύτητας της γάστρας του προτύπου στον υπολογισμό των χαρακτηριστικών αντίστασης του υπό μελέτη σκάφους. Για την πολύτιμη βοήθεια και τη συμβολή τους στη διεκπεραίωση της διπλωματικής αυτής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κυρίους:

-Γ. Τζαμπίρα, Καθηγητή Ε.Μ.Π.

-Ι. Τραχανά, μέλος Ε.Ν.Θ.Υ. , Ε.Τ.Ε.Π. του Ε.Μ.Π.

-Φ. Κασάπη, μέλος Ε.Ν.Θ.Υ. , Ε.Ε.Δ.Ι.Π. του Ε.Μ.Π.

-Γ. Μυλωνά, ξυλουργό Ε.Ν.Θ.Υ. του Ε.Μ.Π.

-Δ. Λιαροκάπη, μέλος Ε.Ν.Θ.Υ. ,Ι.Δ.Α.Χ.

-Δ. Τριπερίνα, Διπλ. Ναυπηγό Ε.Μ.Π.

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη της επίδρασης της τραχύτητας της γάστρας στην αντίσταση ενός bulk carrier. Γενικά, η αυξημένη τραχύτητα στην επιφάνεια της γάστρας προκαλεί αύξηση της ολικής αντίστασης του πλοίου και κατά συνέπεια μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου. Στη σημερινή εποχή, είναι επιτακτική η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από τους πλοιοκτήτες. Για το λόγο αυτό

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

διερευνώνται διάφοροι τρόποι για τον έλεγχο της τραχύτητας της επιφάνειας της γάστρας, με τους οποίους μπορεί να μειωθεί η ολική αντίσταση του πλοίου.

Για την μελέτη αυτή, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά πειραμάτων ρυμούλκησης του πρότυπου bulk carrier Huroon σε ήρεμο νερό. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης και wavecuts για δύο καταστάσεις φόρτωσης με διαφορετικές συνθήκες τραχύτητας. Στην πρώτη, η γάστρα του μοντέλου ήταν «γυμνή», ενώ στη δεύτερη ήταν «ντυμένη» με γυαλόχαρτο συγκεκριμένης τραχύτητας. Έτσι, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την επίδραση της τραχύτητας. Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται περιγραφή των πειραμάτων, που διεξήχθησαν καθώς και των μεθόδων ανάλυσής τους. Ακολουθεί παράθεση των αποτελεσμάτων και σχολιασμός τους ενώ στο τέλος γίνεται μία σύνοψη των τελικών συμπερασμάτων.

1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ-ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1 Εισαγωγή

Ένα πλοίο διαφέρει από τις μεγάλες μηχανολογικές κατασκευές της ξηράς στο γεγονός ότι πρέπει να σχεδιαστεί έτσι, ώστε να κινείται αποτελεσματικά στο νερό με ελάχιστη εξωτερική δύναμη. Η αντίσταση ενός πλοίου σε μια δεδομένη ταχύτητα είναι η δύναμη που απαιτείται για να ρυμουλκηθεί το πλοίο σε αυτή την ταχύτητα σε ήρεμο νερό.

Γιατί όμως η αντίσταση ενός πλοίου είναι τόσο σημαντική; Οι πλοιοκτήτες απαιτούν από τους μελετητές ναυπηγούς, να σχεδιάσουν το πλοίο κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μία συγκεκριμένη βέλτιστη ταχύτητα. Ένας τρόπος για να εξασφαλιστεί αυτό είναι η εγκατάσταση ενός πολύ ισχυρού κινητήρα στο υπό μελέτη πλοίο, έτσι ώστε για όλες τις πιθανές τιμές της αντίστασης, το πλοίο να είναι σε θέση να κινείται με τη βέλτιστη ταχύτητα.

Αυτή η λύση όμως δεν είναι η καλύτερη δυνατή. Η εγκατάσταση ενός ισχυρότερου κινητήρα από τον απαιτούμενο, οδηγεί σε υψηλότερο κόστος κατασκευής, υψηλότερο κόστος λειτουργίας και υψηλότερο κόστος συντήρησης. Για την ελαχιστοποίηση του κόστους στη συγκεκριμένη ταχύτητα, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την αντίστοιχη τιμή της αντίστασης. Με αυτό τον τρόπο, μέσω του τύπου $P = F \cdot V$ μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ισχύ και κατ'επέκταση να προσδιορίσουμε τον κινητήρα που θα εγκατασταθεί.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Σε κάθε σημείο επαφής της γάστρας με το περιβάλλον ρευστό ασκείται μια στοιχειώδης δύναμη, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως η συνισταμένη μιας κάθετης στην επιφάνεια συνιστώσας που οφείλεται στην πίεση και μιας εφαπτόμενης στην επιφάνεια συνιστώσας που οφείλεται στην συνεκτικότητα (Νευτώνειες τάσεις). Η αντίσταση του πλοίου είναι η προβολή κατά την διεύθυνση κίνησης του πλοίου του ολοκληρώματος των στοιχειωδών αυτών δυνάμεων στην επιφάνεια της γάστρας. Προκύπτουν έτσι με φυσικό τρόπο οι δύο βασικές συνιστώσες της αντίστασης του πλοίου:

- **Η αντίσταση τριβής:** είναι η συνιστώσα της αντίστασης που παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των εφαπτομενικών τάσεων (τάσεις συνεκτικότητας) και προβολή κατά την διεύθυνση της ροής
- **Η αντίσταση πίεσης:** είναι η συνιστώσα της αντίστασης που παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των κάθετων τάσεων (δυνάμεις πίεσης) και προβολή κατά την διεύθυνση της ροής.

1.2 Υπόθεση Froude

Ο William Froude ήταν ο πρώτος που διαπίστωσε ότι η υπόλοιπη αντίσταση ενός μοντέλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της υπόλοιπης αντίστασης του αντίστοιχου πραγματικού πλοίου, στηριζόμενος στην αρχή της ομοιότητας που αναπτύχθηκε από το Νεύτωνα. Η αντίσταση τριβής ωστόσο, ακολουθεί τους δικούς της νόμους και δεν μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω. Ο Froude μελέτησε την αντίσταση τριβής ρυμουλκούμενων επίπεδων πλακών, προκειμένου να προσδιορίσει εμπειρικά τις σχέσεις μεταξύ της αντίστασης τριβής, μήκους, επιφάνειας και ταχύτητας. Αυτό που διαπίστωσε ήταν ότι η διαφορά μεταξύ του συντελεστή ολικής αντίστασης και συντελεστή αντίστασης τριβής επίπεδης πλάκας, είναι περίπου σταθερή, δηλαδή ανεξάρτητη του αριθμού Reynolds για γεωμετρικά όμοια μοντέλα του πλοίου τα οποία βρίσκονται στον ίδιο αριθμό Froude.

Ας εξετάσουμε όμως πιο αναλυτικά το φαινόμενο της αντίστασης ρυμούλκησης πλοίου επιφάνειας. Με τη βοήθεια της διαστατικής ανάλυσης διαπιστώνουμε ότι ο συντελεστής ολικής αντίστασης C_T που ορίζεται:

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot WS \cdot V^2}$$

Εξαρτάται από τρεις αδιάστατους όρους:

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

$$C_T = f\left(\frac{V \cdot L}{\nu}, \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}, \frac{\rho}{\rho \cdot V^2}\right)$$

Όπου:

- R_T : η ολική αντίσταση του πλοίου
- ρ : η πυκνότητα του μέσου (νερού)
- WS : η βρεχόμενη επιφάνεια
- V : η ταχύτητα του πλοίου
- L : το μήκος του πλοίου
- ν : η κινηματική συνεκτικότητα του μέσου (νερού)
- p : η πίεση του νερού

ενώ οι αδιάστατοι όροι, είναι:

- $\frac{V \cdot L}{\nu}$: αριθμός Reynolds (Re)
- $\frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$: αριθμός Froude (Fr)
- $\frac{\rho}{\rho \cdot V^2}$: αδιάστατη πίεση

Για να εξασφαλιστεί πλήρης ομοιότητα συνθηκών ροής μοντέλου (m) και πλοίου (s) πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα και οι δύο ισότητες:

$$C_T(\text{Re}, \text{Fr}) = C_F(\text{Re}) + C_R(\text{Fr})$$

$$\text{Fr}_m = \text{Fr}_s$$

$$\text{Re}_m = \text{Re}_s$$

Αυτό στην πράξη αποδεικνύεται αδύνατο για τους συνήθως μεγάλους λόγους $\lambda = L_s/L_m$ και για πραγματικά ρευστά. Οι δείκτες s,m συμβολίζουν πλοίο και μοντέλο αντίστοιχα. Έτσι, στο σημείο αυτό, ο Froude, με βάση τις παρατηρήσεις του, διατύπωσε την υπόθεση ότι:

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

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

Όπου:

- C_T : ο συντελεστής ολικής αντίστασης
- C_F : ο συντελεστής αντίστασης τριβής
- C_R : ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης

Η προηγούμενη εξίσωση συντελεστών εκφράζει ότι η ολική αντίσταση ενός πλοίου που εξαρτάται από τους αριθμούς Re και Fr μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες: την αντίσταση τριβής που εξαρτάται αποκλειστικά από τον αριθμό Re και την υπόλοιπη αντίσταση που εξαρτάται αποκλειστικά από τον αριθμό Fr.

Η υπόθεση του Froude σήμερα εξηγείται με την παρατήρηση ότι είναι ακριβές να δεχθούμε ότι:

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

Που ουσιαστικά σημαίνει ότι η προσέγγιση είναι:

$$C_R(Re,Fn)=C_R(Fn)$$

Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ρεαλιστικό δεδομένου ότι κύρια συνιστώσα της υπόλοιπης αντίστασης είναι η αντίσταση κυματισμού R_w , η οποία εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τον αριθμό Froude.

1.3 Μέθοδος πρόβλεψης Ολικής Αντίστασης Πλοίου

1. Κατασκευή μοντέλου σε κλίμακα $\lambda = L_s/L_m$ και μέτρηση της αντίστασής του σε περιοχή ταχυτήτων τέτοια ώστε $Fr_m = Fr$ που σε ταχύτητες σημαίνει:

$$V_m = V_s \cdot \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

2. Μέτρηση της ολικής αντίστασης R_{Tm} του μοντέλου και εύρεση του συντελεστή

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

ολικής αντίστασης του μοντέλου C_{Tm} , σύμφωνα με την παρακάτω αδιαστατοποίηση:

$$C_{Tm} = \frac{R_{Tm}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_{fm} \cdot WS_m \cdot V_m^2}$$

3. Υπολογισμός του συντελεστή αντίστασης τριβής του μοντέλου κατά Ι.Τ.Τ.С με βάση τη σχέση για επίπεδη πλάκα:

$$C_{fm} = \frac{0.075}{(\log_{10} Re_m - 2)^2}$$

Όπου: $Re_m = \frac{V_m \cdot L_m}{\nu_m}$, ο αριθμός Reynolds για το μοντέλο

4. Εύρεση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης ο οποίος σύμφωνα με τα προαναφερθέντα είναι κοινός για το μοντέλο και το πλοίο για τον ίδιο αριθμό Froude από την σχέση:

$$C_{Rm} = C_{Tm} - C_{fm}$$

5. Υπολογισμός του συντελεστή αντίστασης τριβής του πλοίου κατά I.T.T.C. :

$$C_{FS} = \frac{0.075}{(\log_{10} Re_s - 2)^2}$$

Όπου: $Re_s = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu_s}$, ο αριθμός Reynolds για το πραγματικό πλοίο

6. Υπολογισμός του συντελεστή ολικής αντίστασης του πλοίου από την σχέση:

$$C_{TS} = (C_{FS} + C_A) + C_{RS}$$

Όπου:

- $C_{RS} = C_{RM}$, σύμφωνα με την υπόθεση Froude
- $C_A = 0.0004$, διορθωτικός συντελεστής συσχέτισης

7. Εύρεση της ολικής αντίστασης του πλοίου από την σχέση

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot WS \cdot V^2 \cdot C_T$$

8. Υπολογισμός της ισχύος ρυμούλκησης EHP από την σχέση

$$EHP = \frac{V_s \cdot R_T}{75}$$

- EHP : η ισχύς ρυμούλκησης του πλοίου, σε PS

- VS : η ταχύτητα του πλοίου , σε kn
- RT : η ολική αντίσταση του πλοίου , σε Kp

2. ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ

2.1 Αντίσταση και τραχύτητα

Η συνολική αντίσταση σε ένα πλοίο είναι το άθροισμα όλων των αεροδυναμικών και υδροδυναμικών δυνάμεων στην κατεύθυνση της εξωτερικής ροής του ρευστού που τείνουν να αντισταθούν σε κάθε κίνηση. Η αντίσταση χωρίζεται σε δυο τύπους: αντίσταση λόγω συνεκτικότητας, η οποία κυριαρχεί σε χαμηλές ταχύτητες και καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την αντίσταση τριβής που προκαλείται από την τραχύτητα της επιφάνειας ενός κύτους, και η αντίσταση λόγω κυματισμών, η οποία κυριαρχεί σε υψηλή ταχύτητα και καθορίζεται από το μήκος του πλοίου και το λόγο του πλάτους προς το βύθισμα. Σε νεόκτιστα, λεία πλοία η αντίσταση τριβής αντιπροσωπεύει το 80-85% της συνολικής αντίστασης για βραδέα σκάφη και το 50% σε ταχύπλοα σκάφη (Todd, 1980). Η αντίσταση συνεκτικότητας συμβαίνει στο στρώμα του ρευστού που είναι σε άμεση γειτνίαση με μια οριοθετημένη επιφάνεια, γνωστή ως το οριακό στρώμα. Σε υψηλούς αριθμούς Reynolds (ο αριθμός Reynolds είναι ο λόγος των αδρανειακών δυνάμεων προς τις συνεκτικές δυνάμεις) είναι επιθυμητό να έχουμε ένα στρωτό οριακό στρώμα, καθώς αυτό προσδίδει μικρότερη τριβή στην επιφάνεια οριοθέτησης. Όπως το ρευστό ρέει κατά μήκος μιας επιφάνειας γίνεται αναπόφευκτα τυρβώδες αυξάνοντας την αντίσταση, αν και ένα στρωτό υποστρώμα παραμένει άμεσα γειτονικό προς την επιφάνεια κάτω από αυτό το τυρβώδες οριακό στρώμα. Επιπλέον τύρβη προκαλείται από την προεξοχή των στοιχείων τραχύτητας της επιφάνειας μέσω αυτού του στρωτού υποστρώματος. Εάν το ύψος των στοιχείων τραχύτητας είναι μικρό σε σχέση με το πάχος του υποστρώματος, τότε η επιφάνεια θα συμπεριφέρεται σαν να είναι υδραυλικά λεία, και η μετάβαση σε τραχιά συμπεριφορά θα οφείλεται στη μείωση του πάχους του στρωτού υποστρώματος με αύξηση του αριθμού Reynolds. Αυτό συνοψίζεται στην έννοια του κρίσιμου ύψους τραχύτητας που προέρχεται από τη συνάρτηση τραχύτητας του Nikuradse για την ομοιόμορφη τραχύτητα της άμμου. Η έννοια αυτή δηλώνει ότι υπάρχει ένα κρίσιμο ύψος τραχύτητας κάτω από το οποίο δεν υπάρχει καμία αύξηση στην αντίσταση, που ονομάζεται «υδροδυναμικά λεία κατάσταση» (Schultz, 2002). Σε ένα πλοίο, υπάρχουν τρία επίπεδα της τραχύτητας, δηλαδή i) τη δομική τραχύτητα που προκαλείται από τη διαδικασία της κατασκευής (π.χ. σημεία συγκόλλησης), ii) την τραχύτητα που προκαλείται από τη διαδικασία εφαρμογής επικαλύψεων (coatings) (δηλαδή η επικάλυψη θα είναι τραχύτερη

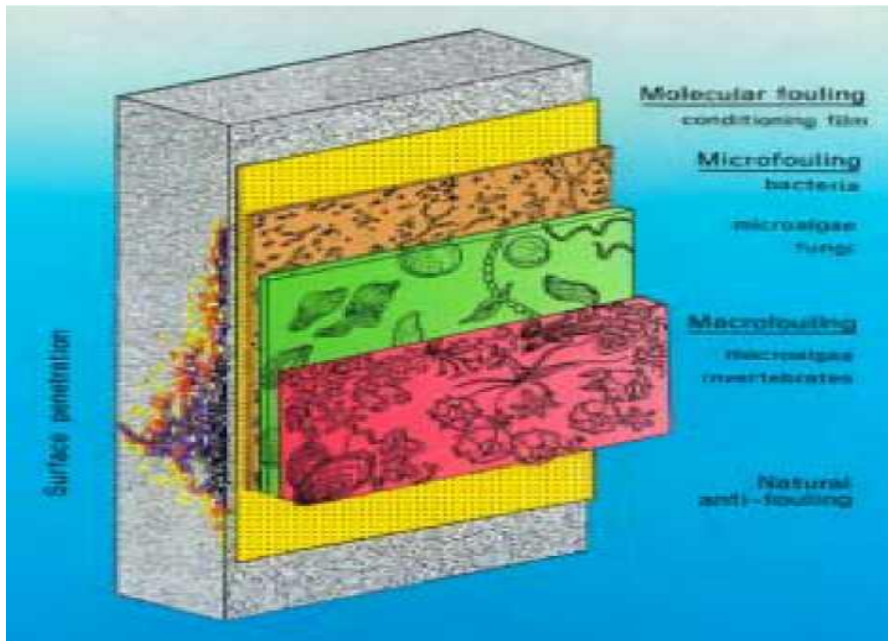
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

όταν εφαρμόζεται με ρολό απ' ότι με μια μέθοδο ψεκασμού) και iii) τη μικρο-τραχύτητα που είναι συνάρτηση των συστατικών και της δομής του συστήματος επικάλυψης και η όποια συχνά κρύβεται στο στρώτο υπόστρωμα. Κατά την μοντελοποίηση της σχέσης μεταξύ μακρο-τραχύτητας (όριο 50 mm), μικρο-τραχύτητας (όριο 10 mm) και της αντίστασης, ο Weinell (2003) διαπίστωσε ότι σε μια ιδανικά βαμμένη επιφάνεια ο συντελεστής που οφείλεται στη μικρο-τραχύτητα ήταν μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερος από αυτόν που αναλογεί στη μακρο-τραχύτητα. Ο συντελεστής που οφείλεται στη μακρο-τραχύτητα είχε ένα αρνητικό σημάδι σε υψηλότερες ταχύτητες που σημαίνει ότι είχε μειωτική επίδραση στην αντίσταση καθώς η ταχύτητα αυξάνεται. Μια αύξηση 5 mm στη μικρο-τραχύτητα αντιστοιχεί σε μια 4% αύξηση στην αντίσταση. Ο Weinell (2003) ανέφερε επίσης ότι μια αύξηση 3% της κάλυψης σε μια προσομοιωμένη ραφή συγκόλλησης διπλασίασε την αντίσταση. Ωστόσο, μόλις η δομική τραχύτητα έχει εξαλειφθεί όσο το δυνατόν περισσότερο, μια διαφορά 4% στην αντίσταση μεταξύ των επικαλύψεων είναι μια σημαντική εξοικονόμηση σε μια εξαιρετικά ανταγωνιστική αγορά. Έχοντας ένα πλοίο με χαμηλή αντίσταση είναι σημαντικό τόσο για περιβαλλοντικούς όσο και για οικονομικούς λόγους. Έχει υπολογιστεί ότι οι παγκόσμιες εκπομπές το 1996 από τα εμπορικά πλοία ήταν στην περιοχή των 10.12 Tg ($Tg = kg \cdot 10^9$) των NOx ετησίως και 8,48 Tg των SOx ανά έτος, κάνοντας τους κινητήρες των πλοίων από τις υψηλότερες ρυπογόνες πηγές καύσης του κόσμου ανά τόνο καυσίμου που καταναλώνεται (Corbett & Fishbank, 1997). Σύμφωνα με διαθέσιμα από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) (2002) αριθμητικά στοιχεία, οι παγκόσμιες θαλάσσιες ναυτιλιακές εκπομπές είναι ισοδύναμες με το 50% της συνολικής παραγωγής NOx και το 59% του συνόλου των εκπομπών SOx των ΗΠΑ. Ο λόγος για αυτή την κλίμακα των εκπομπών είναι ότι το 90% του παγκοσμίου εμπορίου διεξάγεται από τη διεθνή ναυτιλιακή βιομηχανία και χωρίς αυτό, η εισαγωγή και εξαγωγή αγαθών στην κλίμακα που απαιτείται για τον σύγχρονο κόσμο, δεν θα ήταν δυνατή. Η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη (UNCTAD) εκτιμά ότι οι δαπάνες λειτουργίας και μόνο των εμπορικών πλοίων συνεισφέρουν περίπου 380 δισεκατομμύρια αμερικανικά δολάρια σε ναύλους στο πλαίσιο της παγκόσμιας οικονομίας, που ισοδυναμεί με περίπου 5% του συνολικού παγκόσμιου εμπορίου (UNCTAD, 2004). Το 2002, η βιομηχανία απέστειλε περίπου 5,5 χιλιάδες εκατομμύρια τόνους σε απόσταση περίπου 4,6 εκατομμυρίων μιλίων, δίνοντας περίπου 23 χιλιάδες δισεκατομμύρια tonemiles του συνολικού εμπορίου (UNCTAD, 2004). Το Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ δαπανά \$ 500 εκατομμύρια ετησίως για τα καύσιμα πρόωσης, και ακόμη και με τη σημερινή αντιρρυπαντική τεχνολογία (antifouling-AF) εκτιμάται ότι περίπου 30 έως 60 εκατομμύρια δολάρια το χρόνο εξακολουθούν να σπαταλιούνται σε υδροδυναμική αντίσταση (Seligman & Zirino, 1998). Μια μείωση της αντίστασης σημαίνει ότι λιγότερα καύσιμα καίγονται ανά μίλι, πράγμα που σημαίνει λιγότερες ατμοσφαιρικές εκπομπές και χαμηλότερο κόστος των καυσίμων για τον χειριστή

και τελικά τον καταναλωτή. Εικάζεται ότι όλα τα θαλάσσια σκάφη υπόκεινται σε ένα ορισμένο ποσό θαλάσσιας ρύπανσης και, ως εκ τούτου, δεν λειτουργούν όσο το δυνατό αποτελεσματικά. Κοιτάζοντας αυτά τα αριθμητικά στοιχεία, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι πιθανές περιβαλλοντικές και οικονομικές εξοικονομήσεις που θα μπορούσαν να συμβούν από την ανάπτυξη και τη χρησιμοποίηση αποτελεσματικών, υδροδυναμικά αποδοτικών αντιρρυπαντικών βαφών είναι πολύ σημαντικές.

2.2 Θαλάσσια ρύπανση

Ρύπανση (fouling) ονομάζεται η ανεπιθύμητη ανάπτυξη των οργανισμών σε τεχνητές κατασκευές βυθισμένες στο θαλασσινό νερό, εκ των οποίων η πιο ορατή μορφή (macro-fouling) είναι οι πεταλίδες και τα φύκια. Ο έλεγχος της ρύπανσης είναι απαραίτητος προκειμένου να αποφευχθεί αύξηση της αντίστασης και, κατά συνέπεια, αυξημένες απαιτήσεις ισχύος και κατανάλωσης καυσίμου, προκειμένου να διατηρηθεί η ίδια υπηρεσιακή ταχύτητα. Η ρύπανση αυτή μπορεί επίσης να επιταχύνει τη διάβρωση (Edyvean, 1982) και μειώνει την αποτελεσματικότητα της έλικας (Mosaad, 1986). Για τα συμβατικά πλοία, το 50-80% της αντίστασης προκαλείται από την τριβή μεταξύ του ύδατος και της διαβρεχόμενης επιφανείας του πλοίου. Η λεία, βρεγμένη επιφάνεια που έχει ένα νεόκτιστο πλοίο έχει μια τραχύτητα περίπου 80-130 μm. Ωστόσο, η τραχύτητα της επιφάνειας, η οποία έχει ρυπανθεί με φύκια για παράδειγμα, μπορεί εύκολα να υπερβαίνει τα 1000 μm, προκαλώντας τεράστια προστιθέμενη αντίσταση. Ο Williams (1923) αναφέρει μια αύξηση του 300% για την αντίσταση ενός βαριά λερωμένης πλάκας σε σύγκριση μια καθαρής κατάστασης. Οι Schultz και Swain (1998, 1999, 2000) πραγματοποίησαν πειράματα σήραγγας νερού LDV με επίπεδες πλάκες «λερωμένες» από φύκια και βρήκαν μια αύξηση 125% στην αντίσταση τριβής.



Εικόνα 1 Τα 4 στάδια της διαδικασίας της ρύπανσης

Η διαδικασία της ρύπανσης που επηρεάζει την τραχύτητα της γάστρας του πλοίου, πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα. Ρύπανση ξεκινά από τη στιγμή που το πλοίο είναι βυθισμένο στο θαλασσινό νερό. Στη γάστρα του πλοίου συσσωρεύεται ταχέως διαλυμένη οργανική ύλη και μόρια όπως πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες και θραύσματα πρωτεϊνών (Egan, 1987). Αυτή η διαδικασία θεωρείται ως το πρώτο στάδιο της απόθεσης ακαθαρσιών. Ξεκινά μέσα σε δευτερόλεπτα, σταθεροποιείται μέσα σε λίγες ώρες, και θέτει το σκηνικό για αργότερα στάδια ρύπανσης. Η γένεση της ρύπανσης σχεδόν πάντα συμβαίνει όταν το πλοίο είναι σε κατάσταση ηρεμίας, συνηθέστερα στο λιμάνι. Τα λιμάνια διαφέρουν σημαντικά στην τάση τους να προκαλέσουν ρύπανση (British Maritime Technology - BMT, 1986) και το πρόβλημα της ρύπανσης είναι πιο σοβαρό στα τροπικά νερά (Stevens, 1937). Η φύση της ρύπανσης εξαρτάται από το είδος των ζώων και φυτών που υπάρχουν στο νερό, την αλατότητα και τη θερμοκρασία του νερού, το βαθμός του φωτισμού της επιφάνειας του κύτους, την εποχή που ο ελλιμενισμός λαμβάνει χώρα και το χρόνος που δαπανάται στο λιμάνι.

Όταν ένα φιλμ κλιματισμού έχει διαμορφωθεί, βακτήρια και μονοκύτταροι οργανισμοί όπως διάτομα ανιχνεύουν την επιφάνεια και εγκαθίστανται σε αυτό, σχηματίζοντας ένα μικροβιακό φιλμ (Fletcher και Chamberlain, 1975). Αυτό το δεύτερο στάδιο της απόθεσης ακαθαρσιών περιλαμβάνει την έκκριση των βλεννογόνων πολυσακχαριτών, και γενικά διευκολύνει το δρόμο για τη δημιουργία μακρο-ρύπανσης (macro-fouling) (Fischer, 1984). Αυτή η «βρωμιά» έχει ήδη ένα σημαντικό αντίκτυπο στις επιδόσεις του πλοίου, όπως συζητήθηκε για πρώτη φορά από τον McEntee (1915).

Μια ξεχωριστή ενότητα ήταν αφιερωμένη στην επίδραση της ρύπανσης στο έργο της αντιδιαβρωτικής για το πρώτο μισό του 20ου αιώνα καθώς και τη θαλάσσια ρύπανση και πρόληψη της (Ωκεανογραφικό Ινστιτούτο Woods Hole - WHOI, 1952). Πειράματα σε δοκίμια που είναι επικαλυμμένα με διαφορετικές βαφές, έδειξαν μετά από δεκαήμερη έκθεση μια αυξημένη αντίσταση μεγαλύτερη από 10% , η οποία αποδόθηκε στις επιπτώσεις της μεμβράνης καθιζημάτων. Ο Watanabe (1969), σε αναγνώριση του γεγονότος ότι η βαφή φάνηκε να μην έχει καμία επίπτωση στη «γλίτσα» (slime), εξέτασε τις επιπτώσεις στην αντίσταση τριβής που προκύπτουν άμεσα από την παρουσία της, και εξήχθη το συμπέρασμα ότι μια σημαντική αύξηση στην αντίσταση θα προκύψει ως αποτέλεσμα του σχηματισμού της. Ο Loeb (1984) μέτρησε την επίδραση πολλών διαφορετικών τύπων μικροβιακής γλίτσας στην αντίσταση περιστρεφόμενων δίσκων από διαφορετικά υλικά τραχύτητας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αντίσταση τριβής των δίσκων αυξήθηκε 10 έως 20%. Ο Lewthwaite (1985) ανέπτυξε μια τεχνική για τον προσδιορισμό της τοπικής τριβής αντίστασης της επιφάνειας ενός πλοίου υπό συνθήκες πλευσης. Χρησιμοποιώντας ένα μικρό καθετήρα τύπου pitot έλαβε λεπτομερείς μετρήσεις του προφίλ της ταχύτητας του οριακού στρώματος και ως εκ τούτου, της τοπικής τριβής αντίστασης. Έτσι, υπολόγισε μια αύξηση της αντίστασης τριβής περίπου 80%, όπως επίσης και απώλεια ταχύτητας 15%. Μερικά ενδιαφέροντα πειράματα διεξήχθησαν με την επίστρωση μίας επίπεδη επιφάνειας με agar-gel διαφορετικών συγκεντρώσεων (El-Labbad, 1986). Το agar είναι μια ουσία που προέρχεται από φύκια, και το gel θα είναι αντιπροσωπευτικό των διαφόρων ειδών γλίτσας. Μια επιφάνεια επικαλυμμένη με ένα στρώμα agar-gel πάχους 3 mm και συγκέντρωσης 0,5% θα αντιστοιχούσε σε ρύπανση με ελαφρές έως μέτριες μεμβράνες γλίτσας, και μια συγκέντρωση από 1% σε βαριά γλίτσα. Δοκιμές έδειξαν ότι ο συντελεστής αντίστασης τριβής αυξήθηκε 4-11% και 13-21% αντίστοιχα.

Το Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ πραγματοποίησε δοκιμές ισχύος ύστερα από υποβρύχιο καθαρισμό της φρεγάτας. Μια σημαντική αλλαγή στην κατανάλωση ενέργειας μετρήθηκε μετά την αφαίρεση του 22-μηνών στρώματος γλίτσας, που κυμαίνεται από 8-18% και η μέγιστη ταχύτητα του πλοίου, αυξήθηκε μετά τον καθαρισμό κατά περίπου 1 κόμβο (Bohlander,1991).

Η παρουσία κολλώδων εκκρίσεων και η τραχύτητα των ακανόνιστων μικροβιακών αποικιών επιτρέπει την εγκατάσταση περισσότερων σωματιδίων και οργανισμών. Αυτά είναι πιθανό να περιλαμβάνουν σπόρια φυκιών, θαλάσσιους μύκητες και πρωτόζωα. Η μετάβαση από μια μικροβιακή μεμβράνη σε μια πιο σύνθετη που περιλαμβάνει συνήθως πολυκύτταρους πρωτογενείς παραγωγούς, φυτοφάγα ζώα και τους αποικοδομητές θεωρείται ως το τρίτο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

στάδιο της ρύπανσης (Davis και Williamson, 1995. Bertram, 2000). Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την εγκατάσταση και την ανάπτυξη ρυπογόνων φυκιών και ζώων. Πράσινα φύκια, κυρίως Enteromorpha, μπορούν να μεγαλώσουν μέχρι 150 χιλιοστά σε μια ζώνη πλάτους λίγων μέτρων στην ίσαλο γραμμή. Αναπτύσσονται γρήγορα και η τριβή μπορεί να προκαλέσει ακόμη πιο ισχυρή ανάπτυξη μέσα σε λίγες εβδομάδες. Καφέ φύκια, κυρίως Ectocarpus όπως δείχνεται στην εικόνα 3, αυξάνονται περαιτέρω κάτω από την πλευρά του κύτους. Και τα δύο αυτά είδη φυκιών έχουν μια εξαιρετική αναπαραγωγική ικανότητα και μπορούν να αντέξουν σε ευρεία διακυμάνσεις στις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η αποξήρανση και η αλατότητα (Callow et al., 1986). Η ρύπανση από ζώα μπορεί να αποτελείται από πεταλίδες, μύδια, πολύζωα, και σκουληκιά. Όπως αναφέρθηκε, η ανάπτυξή τους μειώνει την απόδοση του πλοίου δραστικά και πρέπει οπωσδήποτε να αποφεύγεται. Μερικά παραδείγματα ρύπανσης φαίνονται στις ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 2 Ρύπανση από πράσινα φύκια



Εικόνα 3 Ρύπανση από καφέ φύκια



Εικόνα 4 Ρύπανση από καφέ φύκια



Εικόνα 5 Ρύπανση από πεταλίδες

3.ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Ως γνωστόν, ο θεωρητικός υπολογισμός της αντίστασης ενός πλοίου καθίσταται εξαιρετικά δυσχερής και ως εκ τούτου αυτή ευρέως προσδιορίζεται μέσω πειραμάτων. Είναι προφανές ότι εξίσου οικονομικά δυσχερής καθίσταται και η διεξαγωγή πειραμάτων σε φυσική κλίμακα. Καταλήγουμε λοιπόν στην λύση διεξαγωγής πειραμάτων προτύπων σε ειδικές δεξαμενές ρυμούλκησης. Η διεξαγωγή πειραμάτων μοντέλων πλοίων αποτελεί αξιόπιστη και οικονομική μέθοδο διερεύνησης αφού καθίσταται ευχερής και γρήγορη η διαφοροποίηση των υδροδυναμικών παραμέτρων, η επίδραση των οποίων διερευνάται. Η ρυμούλκηση των μοντέλων γίνεται με την προσαρμογή τους σε ειδικό φορείο της δεξαμενής και πιο συγκεκριμένα στο δυναμόμετρο του φορείου. Η προσαρμογή είναι τέτοια ώστε να επιτρέπεται η κίνηση του μοντέλου κατά τον κατακόρυφο άξονα (heave) καθώς και η περιστροφή του περί τον εγκάρσιο (pitch), ενώ περιορίζονται όλοι οι υπόλοιποι βαθμοί ελευθερίας του.

3.2 Πειραματική Δεξαμενή

Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στη δεξαμενή της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής. Πρόκειται για δεξαμενή μήκους 100 m, πλάτους 4.6m και βάθους 3m. Η Πειραματική αυτή Δεξαμενή είναι εξοπλισμένη με φορείο δοκιμών και με σύστημα παραγωγής και αποσβέσεως κυματισμών (το οποίο δε χρησιμοποιήθηκε, καθότι πρόκειται για πείραμα σε ήρεμο νερό). Για τη παρακολούθηση των πειραμάτων, υπάρχουν κατά μήκος της μιας πλευράς της δεξαμενής 18m ειδικών παραθύρων ύψους 1m. Στη μια άκρη της δεξαμενής υπάρχει το σύστημα παραγωγής κυματισμών, το οποίο αποτελείται πτερύγιο ανοξείδωτου χάλυβα (πλάτος 4.6mm και ύψος 2m) εδρασμένο σε βάθρο χάλυβα ύψους 1.30m από τον πυθμένα της δεξαμενής. Το πτερύγιο κινείται μέσω υδραυλικού συστήματος ισχύος 15KW. Το νερό από την πίσω πλευρά του πτερυγίου αντλείται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Στο άλλο άκρο της δεξαμενής έχει κατασκευαστεί ειδική ημιπερατή ακτή συνολικού μήκους 11.1m για την απόσβεση των προσπιπτόντων κυματισμών, που πετυχαίνει μέσο συντελεστή απόσβεσης 95%.

Το φορείο έχει βάρος 5.5 tons και κινείται πάνω σε σιδηροτροχιές κατά μήκος της δεξαμενής με μέγιστη ταχύτητα 5.5m/s ή 10.5 knots. Το φορείο δοκιμών οδηγείται από ειδικό χειριστήριο και διαθέτει γέφυρα προσδέσεως των προτύπων και γέφυρα παρακολούθησης των πειραμάτων. Στο πίσω μέρος του φορείου υπάρχει σύστημα αναρτήσεως για τη βαθμονόμηση μεγάλων οργάνων μέτρησης ταχύτητας νερού. Πάνω στο φορείο τοποθετείται όλος ο αναγκαίος εξοπλισμός για τη διεξαγωγή των διαφόρων πειραμάτων. Η ταχύτητα του φορείου μετριέται με ειδικό τροχό με φωτοηλεκτρικό σύστημα με ακρίβεια 0.1mm/s .



Εικόνα : Πειραματική Δεξαμενή

Το φορείο κινείται στην περιοχή των χαμηλών ταχυτήτων (μέχρι 0.5m/s) με ειδικό ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος, που τροφοδοτείται με ανορθωμένη από το δίκτυο τάση. Για μεγαλύτερες ταχύτητες, υπάρχουν τέσσερις κινητήρες συνεχούς ρεύματος που τροφοδοτούνται από σύστημα 51KW μέσω εναέριων ροηφόρων αγωγών.

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων αντίστασης, το μοντέλο συνδέεται με το φορείο μέσω του δυναμόμετρου. Η ώση στο μοντέλο μεταφερόταν από το δυναμόμετρο το οποίο

στερεωνόταν στο μέσο του πλάτους κατά το εγκάρσιο (CL) και στην θέση του διαμήκους κέντρου άντωσης (LCB) κατά το διάμηκες. Η τελευταία αυτή θέση, επιλέχθηκε με βάση την πείρα του εργαστηρίου, τόσο γιατί βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφη με το κέντρο βάρους του πλοίου (LCG), όσο και γιατί, για συνήθεις μορφές πλοίων, βρίσκεται κοντά στο κέντρο πλευστότητας, γύρω από το οποίο γίνονται οι περιστροφές, σύμφωνα με την θεωρία μικρών μεταβολών. Ανάμεσα στο πρυμναίο όργανο στήριξης και το δυναμόμετρο υπάρχει το φρένο, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη συγκράτηση του μοντέλου όταν αυτό είναι ακίνητο.

Τέλος, στο πίσω μέρος του φορείου ακολουθεί ένας μηχανισμός βίαιης απόσβεσης υψηλών κυματισμών που δημιουργεί το πρότυπο και δεν αποσβαίνονται γρήγορα από μόνοι τους (σιδερώστρα). Η απόσβεση αυτή επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση της σιδερώστρας επαπτομενικά της επιφάνειας του νερού κατά την επιστροφή του φορείου στη θέση εκκίνησης. Επίσης ένας άλλος τρόπος απόσβεσης των κυματισμών ήταν η τοποθέτηση στα άκρα και κατά μήκος της δεξαμενής, φελλών απόσβεσης.

Τα μετρητικά συστήματα επί του φορείου είναι πλήρως αυτοματοποιημένα με χρήση Η/Υ, ο οποίος κάνει στη συνέχεια και την ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων. Η πειραματική δεξαμενή διαθέτει όλα τα όργανα που απαιτούνται για τη μέτρηση των μεγεθών που μας ενδιαφέρουν (δυνάμεις, ροπές, κινήσεις, ταχύτητες ρευστού, πιέσεις ρευστού) καθώς και πλήρες σύστημα βιντεοσκοπήσεως των πειραμάτων.

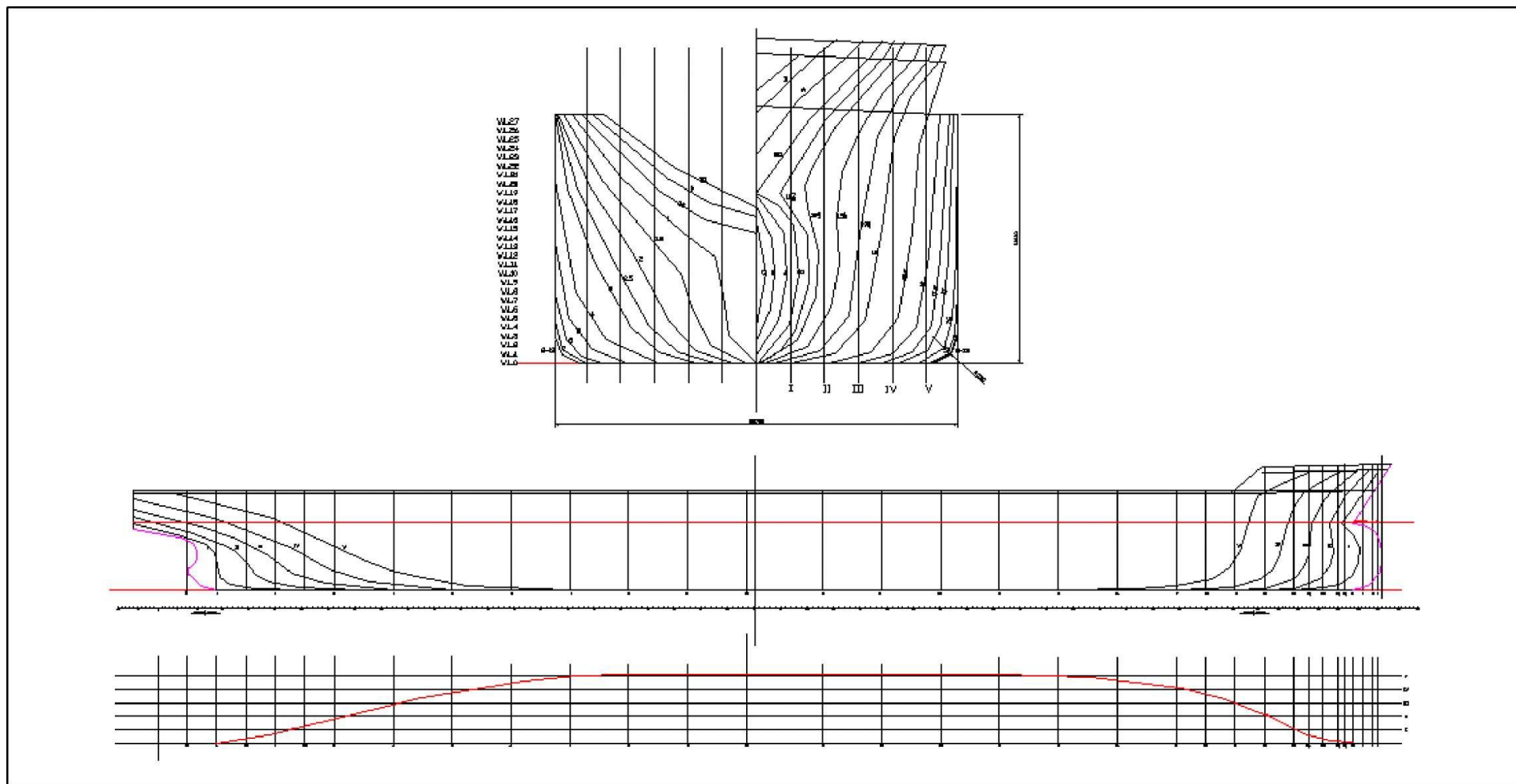
3.3 BULK CARRIER HURON

Το πρότυπο με το οποίο έγιναν τα πειράματα ανήκει στο bulk carrier HURON σε κλίμακα 1/35. Για το μοντέλο, αυτό έγιναν δοκιμές σε 2 διαφορετικά βυθίσματα που αντιστοιχούσαν σε δύο καταστάσεις φόρτωσης: στην Heavy Ballast και στην Full Load. Για κάθε κατάσταση έγιναν πειράματα σε 13 ταχύτητες. Στόχος ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της τραχύτητας στην αντίσταση του σκάφους σε σχέση με την "γυμνή γάστρα". Στη συνέχεια παρατίθενται τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου και του μοντέλου καθώς και το σχέδιο νομέων.

Χαρακτηριστικά Μοντέλου	Σύμβολο		Κατάσταση Heavy Ballast	
			Ship	Model
Μήκος Ισάλου	LWL	m	179,88	5,139
Μήκος με βολβό	LBULB	m	179,97	5,142
Πλάτος Ισάλου	BWL	m	23,7	0,677
Μέσο βύθισμα	T _M	m	7,25	0,207
Trim	t	deg	0,000	0,000
Εκτόπισμα	Δ	mt	25996	591,5
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	5720,90	4,670
Συντελεστής Γάστρας	CB		0,820	0,820
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0,872	0,872
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0,825	0,825

Χαρακτηριστικά Μοντέλου	Σύμβολο		Κατάσταση Full Load	
			Ship	Model
Μήκος Ισάλου	LWL	m	183,20	5,234
Μήκος με βολβό	LBULB	m	187,51	5,358
Πλάτος Ισάλου	BWL	m	23,7	0,677
Μέσο βύθισμα	T _M	m	10,15	0,29
Trim	t	deg	0,000	0,000
Εκτόπισμα	Δ	mt	37290	848,5
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S.	m ²	6883,9	5,620
Συντελεστής Γάστρας	CB		0,820	0,820
Συντελεστής Ισάλου Επ.	CWP		0,872	0,872
Πρισματικός Συντελεστής	CP		0,825	0,825

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ



3.4 Πειράματα Αντίστασης

Αφού επιλέχθηκε το μοντέλο στα οποία θα γίνουν τα πειράματα, ακολούθησε η διαδικασία της προετοιμασίας του για τα πειράματα. . Για το μοντέλο, αυτό έγιναν δοκιμές σε 2 διαφορετικά βυθίσματα που αντιστοιχούσαν σε δύο καταστάσεις φόρτωσης: στην Heavy Ballast και στην Full Load.

Αρχικά, έγιναν πειράματα αντίστασης σε γυμνή γάστρα και για τις δύο καταστάσεις.



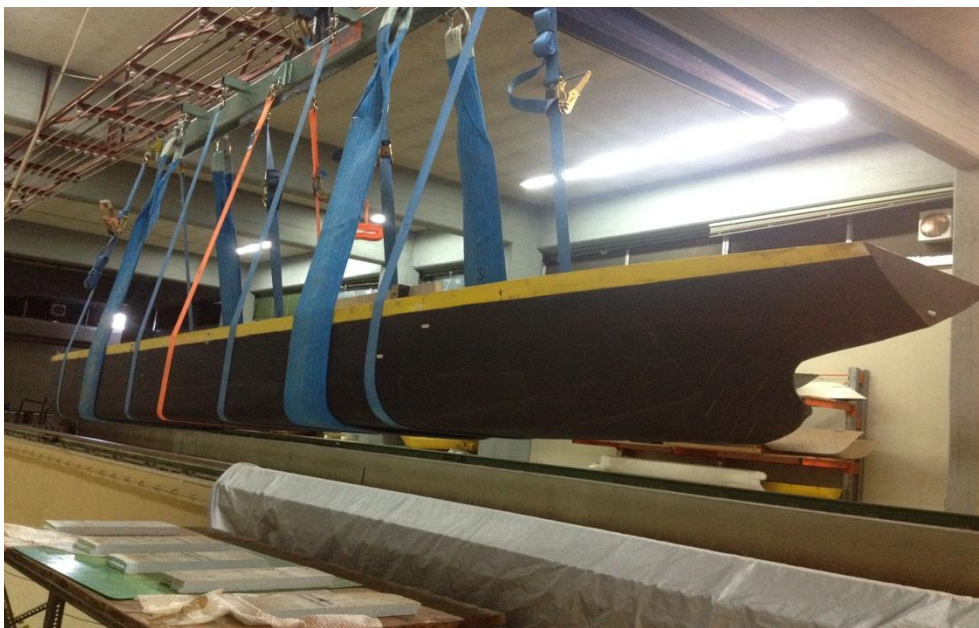
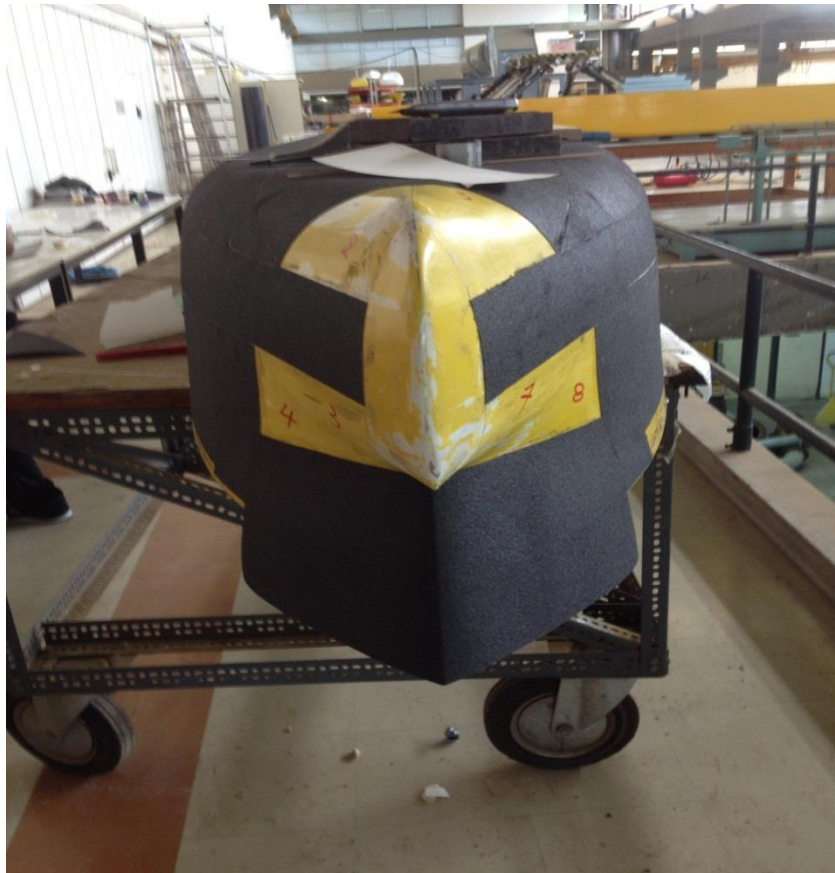
Εικόνα 2 : Προετοιμασία πειράματος γυμνής γάστρας

Στην συνέχεια, ντύσαμε το μοντέλο με γυαλόχαρτο No.80 και έγιναν πειράματα για τις δύο καταστάσεις φόρτωσης. Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες κατά την προετοιμασία του μοντέλου.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ
ΠΛΟΙΟΥ



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ
ΠΛΟΙΟΥ



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Στην συνέχεια αφαιρέθηκε το συγκεκριμένο γυαλόχαρτο μόνο από τον πυθμένα του μοντέλου (Flat of Bottom) και επαναλήφθηκε η διαδικασία. Η επιφάνεια του FOB μετρήθηκε 2,215 m².



Στο δεύτερο μέρος των πειραμάτων, αρχικά, καλύψαμε το Flat of Bottom με γυαλόχαρτο No.40 (το οποίο έχει μεγαλύτερους κόκκους από το προηγούμενο) όπως φαίνεται και στις παρακάτω φωτογραφίες.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ
ΠΛΟΙΟΥ



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ
ΠΛΟΙΟΥ

Έπειτα, καλύφθηκε και η υπόλοιπη επιφάνεια με το γυαλόχαρτο Νο.40 και πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα της αντίστασης.



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ



Πριν από την έναρξη κάθε πειράματος χαράσσαμε τα βυθίσματα για την αντίστοιχη κατάσταση φόρτωσης με την βοήθεια του χαρακτή πάνω στο μοντέλο σε τρία σημεία: σε ένα νομέα στον πλώρη, στο μέσο νομέα καθώς και σε ένα

νομέα στην πρύμνη. Επιπλέον, χαράσσαμε και στο εσωτερικό του μοντέλου το κέντρο άντωσης της εκάστοτε κατάστασης, αφού εκεί - για τους λόγους όπου ήδη έχουμε αναφέρει θα τοποθετούνταν το πέλημα του δυναμόμετρου.

Στη συνέχεια ερματίζαμε το μοντέλο. Από τα υδροστατικά στοιχεία, είχαμε δεδομένο το απαιτούμενο εκτόπισμα της κάθε κατάστασης. Μετρούσαμε το βάρος του μοντέλου με τη βοήθεια ηλεκτρονικής ζυγαριάς, και στη συνέχεια, υπολογίζαμε από τη διαφορά μεταξύ τους, αλλά και του δυναμόμετρου (καθώς επειδή το πέλημα του δυναμομέτρου ακουμπάει πάνω στο μοντέλο, ασκεί δύναμη σε αυτή ίση με 7.350 kg), τον ακριβή αριθμό των κιλών που απαιτούνταν να προσθέσουμε κάθε φορά για να φτάσουμε στο επιθυμητό εκτόπισμα.

Το μοντέλο ήταν έτοιμο να τοποθετηθεί στη δεξαμενή και να δεθεί στο δυναμόμετρο. Το δυναμόμετρο αποτελείται από ένα σταθερό και ένα κινητό στέλεχος. Διαθέτει τρεις άξονες βαθμούς ελευθερίας (κίνηση κατά το διάμηκες, κίνηση κατά το κατακόρυφο και περιστροφή περί τον κατακόρυφο άξονα. Διαθέτει τρεις αισθητήρες οι οποίοι μετρούν τα μεγέθη της αντίστασης, της γωνίας διαγωγής (pitch) και της ανύψωσης ή βύθισης (heave). Πριν από την έναρξη των μετρήσεων ήταν απαραίτητη κάθε φορά η βαθμονόμηση των οργάνων μετρήσεως:

- Βαθμονόμηση του οργάνου της αντίστασης (resistance). Κάθε μέρα πριν από την έναρξη των πειραμάτων πραγματοποιούνταν βαθμονόμηση του οργάνου της αντίστασης. Πάνω στο δυναμόμετρο μέτρησης, υπάρχει ένας ειδικά διαμορφωμένος πρόβολος, στην άκρη του οποίου τοποθετείται μία βάση. Στην βάση αυτή τοποθετούνται διάφορα βάρη. Για κάθε διαφορετικό βάρος που τοποθετούσαμε (καθώς και για την κατάσταση που ο πρόβολος παρέμενε χωρίς βάρη) εκτελούσαμε μετρήσεις του φορτίου που δεχόταν το δυναμόμετρο, με την βοήθεια του υπολογιστή. Με βάση τις μετρήσεις αυτές κατασκευαζόταν η συνάρτηση μεταφοράς, το αποτέλεσμα της οποίας ήταν γραμμικό.
- Βαθμονόμηση του οργάνου της γωνίας διαγωγής (pitch). Κάθε μέρα πριν από την έναρξη των πειραμάτων πραγματοποιούνταν βαθμονόμηση του οργάνου της γωνίας διαγωγής. Για το σκοπό αυτό, το δυναμόμετρο, ανυψώνονταν στον αέρα με τη βοήθεια γερανού προκειμένου να έχουμε

εύκολη πρόσβαση στο κάτω τμήμα του, μέσω του οποίου γίνεται και η βαθμονόμηση. Στη συνέχεια, τοποθετούσαμε πάνω στο τμήμα αυτό του δυναμομέτρου, μία διαμόρφωση που έμοιαζε με πόδι. Στη συνέχεια κατεβάζαμε το πέλμα του δυναμομέτρου, ώστε να ακουμπάει πάνω στη βάση του ποδιού. Ανάμεσα τους τοποθετούσαμε σφήνες διαφορετικών γωνιών, οπότε για διάφορες τιμές των γωνιών των σφηνών λαμβάναμε μετρήσεις από το όργανο. Και σε αυτή την περίπτωση το αποτέλεσμα των μετρήσεων ήταν γραμμικό.

- Βαθμονόμηση του οργάνου της γωνίας ανύψωσης (heave). Κάθε μέρα πριν από την έναρξη των πειραμάτων πραγματοποιούνταν βαθμονόμηση του οργάνου της ανύψωσης της κατακόρυφης κίνησης (heave). Για το σκοπό αυτό, δέναμε το δυναμόμετρο στο μοντέλο. Στη συνέχεια, με σημείο αναφοράς το ύψος στο οποίο έχει δεθεί στο μοντέλο, ανεβοκατεβάζαμε το στέλεχος του δυναμομέτρου λαμβάνοντας μετρήσεις για τις διάφορες ανυψώσεις και βυθίσεις του στελέχους, και από αυτές κατασκευάζαμε τη συνάρτηση μεταφοράς, το αποτέλεσμα της οποίας ήταν γραμμικό.

Με το πέρας των βαθμονομήσεων μπορούσαμε να ξεκινήσουμε τα πειράματα.

3.5 Συναρτήσεις Μεταφοράς

Όπως αναφέρθηκε, πάνω στο φορείο υπάρχουν μετρητικά συστήματα, τα οποία κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, λαμβάνουν μετρήσεις για διάφορα μεγέθη, όπως της αντίστασης ρυμούλκησης (resistance), της γωνίας διαγωγής (pitch) και της ανύψωσης (heave) του προτύπου. Οι μετρήσεις αυτές οι οποίες είναι σε Volts ανάγονται στις φυσικές μονάδες μέτρησης των μετρούμενων μεγεθών που είναι σε Kp, μοίρες και cm αντίστοιχα, με την βοήθεια μια συνάρτησης μεταφοράς, η οποία προκύπτει από τη διαδικασία της βαθμονόμησης ή «καλιμπραρίσματος» του οργάνου και προηγείται του πειράματος.

Κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης, από γνωστά ζεύγη τιμών (x,y), όπου x οι μετρήσεις σε Volts των γνωστών y φυσικών μεγεθών, προκύπτουν οι τρεις συναρτήσεις μεταφοράς που είναι γραμμικές, δηλαδή της μορφής:

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

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

$$y = y - y_0 = [a \cdot X_1 + b] - [a \cdot x_0 + b] = a (x_1 - x_0)$$

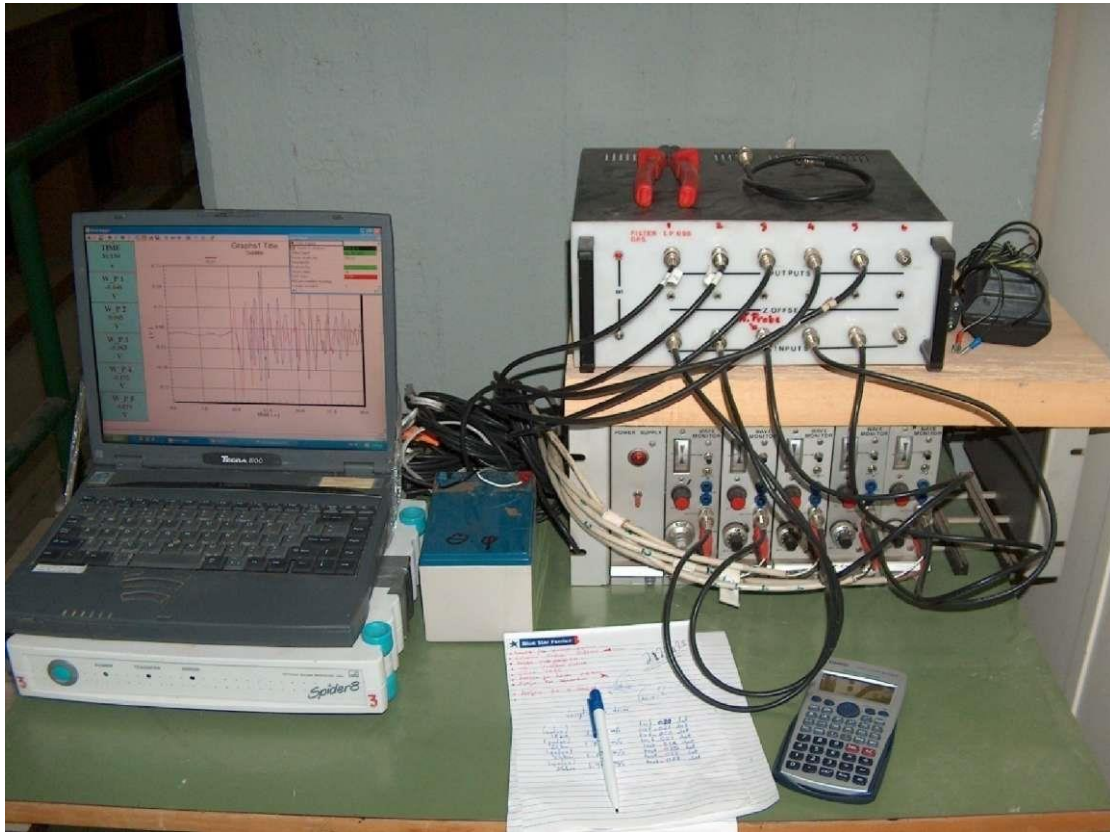
Η εξαγωγή και χρήση της συνάρτησης μεταφοράς για τον υπολογισμό της τελικής τιμής της μέτρησης γίνεται αφενός για να ληφθούν υπόψη διαταραχές που επηρεάζουν το σύστημα μέτρησης - όπως η συχνότητα και η τάση του δικτύου τροφοδοσίας ρεύματος, η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας των οργάνων κλπ. - και αφετέρου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

3.6 Πειράματα Wavecuts

Εκτός των άλλων, πραγματοποιήθηκαν πειράματα μέτρησης των κυματομορφών (wavecuts) που παράγονται σε διάφορες ταχύτητες στην κατάσταση Full Load.

Για την μέτρηση των τομών της ελεύθερης επιφάνειας (wavecuts) χρησιμοποιήθηκε ένας σταθερός οριζόντιος πρόβολος, κάθετος στην πλευρά της δεξαμενής, άρα και στην

διεύθυνση κίνησης του μοντέλου. Ο πρόβολος στερεώθηκε στην εσωτερική πλευρά της δεξαμενής με τρόπο που του εξασφάλιζε σταθερότητα και ταυτόχρονα δεν εμπόδιζε την διέλευση του φορείου. Στο πάνω μέρος του προβόλου ήταν τοποθετημένα ένας αριθμημένος κανόνας και η ράβδος στερέωσης των μετρητικών ύψους κύματος (wave probes).



Εικόνα 2 : Εξοπλισμός Διεξαγωγής Πειραμάτων Wavecuts

Τα όργανα μέτρησης της ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου αντίστασης (resistance type wave probe). Το καθένα από αυτά αποτελείται από δύο παράλληλα τοποθετημένα λεπτά σύρματα. Το μήκος τους είναι 40cm και η μεταξύ τους απόσταση 6mm. Τα σύρματα ενώνονται στο κάτω άκρο τους ώστε να δημιουργούν ένα κλειστό κύκλωμα. Το πάνω μέρος τους τοποθετείται σε ειδική βάση που είναι αναρτημένη στο πρόβολο, έτσι ώστε το probe να είναι μισοβυθισμένο και κάθετο στην ελεύθερη επιφάνεια. Για τις μετρήσεις τοποθετήθηκαν τρία (3) waveprobes σε αποστάσεις 5,10 και 15 cm μετρούμενες από το μέγιστο πλάτος του μοντέλου.

Η λειτουργία του οργάνου βασίζεται στη διαφορά αντίστασης ενός γυμνού σύρματος όταν αυτό βρίσκεται στον αέρα και όταν είναι βυθισμένο στο νερό. Καθώς

διέρχεται ένα κύμα από το waverprobe, μεταβάλλεται η αναλογία του ελεύθερου προς το βυθισμένο μήκος του. Η αναλογία αυτή, λόγω της σταθερής τάσης, οδηγεί σε αλλαγή της έντασης του ρεύματος, η οποία μέσω κατάλληλης βαθμονόμησης μεταφράζεται σε ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας.

Πολύ σημαντική για την ακρίβεια των μετρήσεων ήταν η διαδικασία βαθμονόμησης, η οποία αποσκοπεί στην εξαγωγή μιας γραμμικής σχέσης μεταξύ έντασης ρεύματος και βυθισμένου μήκους. Λόγω της μεγάλης ευαισθησίας του οργάνου στις περιβαλλοντολογικές αλλαγές, έπρεπε μερικές φορές να γίνεται ακόμα και δύο φορές την ίδια μέρα. Για τους ίδιους λόγους πριν από κάθε μέτρηση λαμβανόταν μία μηδενική μέτρηση (μέτρηση θορύβου), ο μέσος όρος της οποίας αφαιρούνταν από την κανονική μέτρηση που ακολουθούσε. Επίσης, ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε και στις ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των probes, για να μην επάγει το μαγνητικό πεδίο του ενός, ρεύμα στο άλλο.

Μετρήσεις έγιναν για τρεις διαφορετικές αποστάσεις από τον διαμήκη άξονα του μοντέλου. Το δε σήμα από τα τρία waverprobes μεταφέρονταν μέσω καλωδίων στη βάση μέτρησης που βρισκόταν παραπλεύρως της δεξαμενής σε σταθερό σημείο. Εκεί ενισχυόταν, φιλτράρονταν για υψίσυχο θόρυβο, ψηφιοποιούνταν και τελικά κατέληγε σε ένα φορητό υπολογιστή όπου καταγράφονταν. Για την ψηφιοποίηση χρησιμοποιήθηκε σταθερή συχνότητα δειγματοληψίας 200 Hz.

4.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

4.1 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ HEAVY BALLAST

- **Γυμνή γάστρα**

Για την κατάσταση γυμνής γάστρας οι μετρήσεις είναι οι ακόλουθες:

Speed	Resistance		Pitch		Heave	
0	0,032		1,17		6,653	
0,516	0,148	0,116	1,172	0,002	6,659	0,006
0	0,032		1,171		6,655	
0,596	0,179	0,147	1,17	-0,001	6,663	0,008
0	0,034		1,171		6,656	
0,697	0,234	0,2	1,168	-0,003	6,677	0,021
0	0,034		1,171		6,655	
0,773	0,276	0,242	1,165	-0,006	6,686	0,031

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

0	0,034		1,172		6,654	
0,859	0,337	0,303	1,165	-0,007	6,697	0,043
0	0,034		1,17		6,651	
0,946	0,409	0,375	1,161	-0,009	6,709	0,058
0	0,035		1,171		6,658	
1,045	0,488	0,453	1,157	-0,014	6,726	0,068
0	0,04		1,183		6,66	
1,118	0,559	0,519	1,164	-0,019	6,742	0,082
0	0,036		1,181		6,635	
1,204	0,651	0,615	1,157	-0,024	6,759	0,124
0	0,035		1,171		6,651	
1,217	0,666	0,631	1,147	-0,024	6,768	0,117
0	0,036		1,179		6,645	
1,29	0,778	0,742	1,147	-0,032	6,784	0,139
0	0,038		1,178		6,659	
1,381	0,936	0,898	1,137	-0,041	6,813	0,154
0	0,036		1,177		6,642	
1,461	1,144	1,108	1,129	-0,048	6,835	0,193
Επαναληπτικές μετρήσεις						
0	0,037		1,176		6,649	
1,204	0,647	0,61	1,154	-0,022	6,762	0,113

Με τη χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς οι οποίες στις συγκεκριμένες μετρήσεις ήταν:

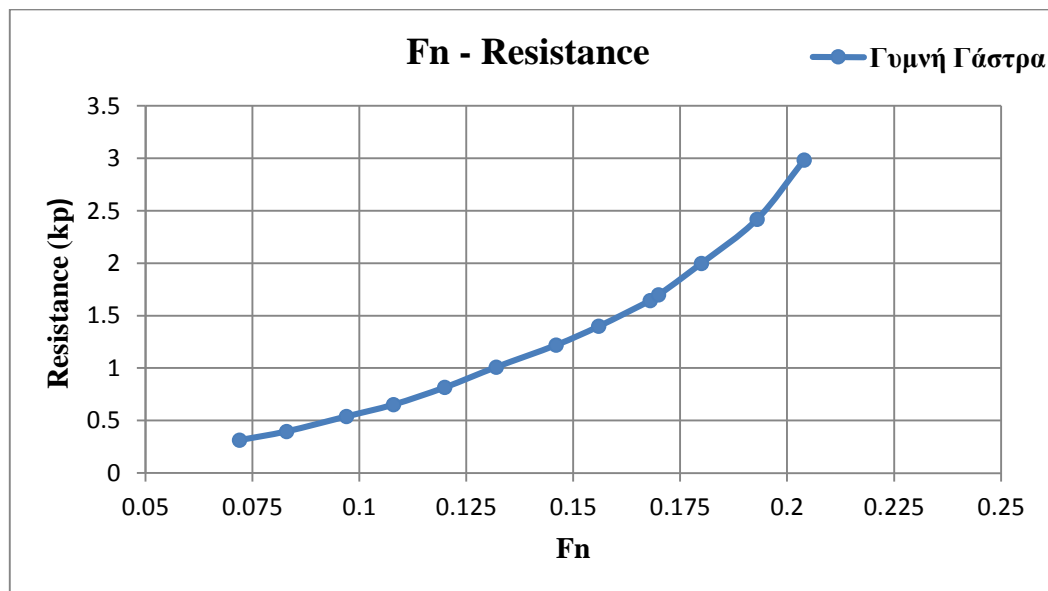
- Resistance : $y = 2,6885x - 0,0637$ και $y = 2,692x - 0,1074$ για την επαναληπτική μέτρηση
- Pitch : $y = -2,2961x + 2,5776$
- Heave : $y = -4,5799 + 30,467$

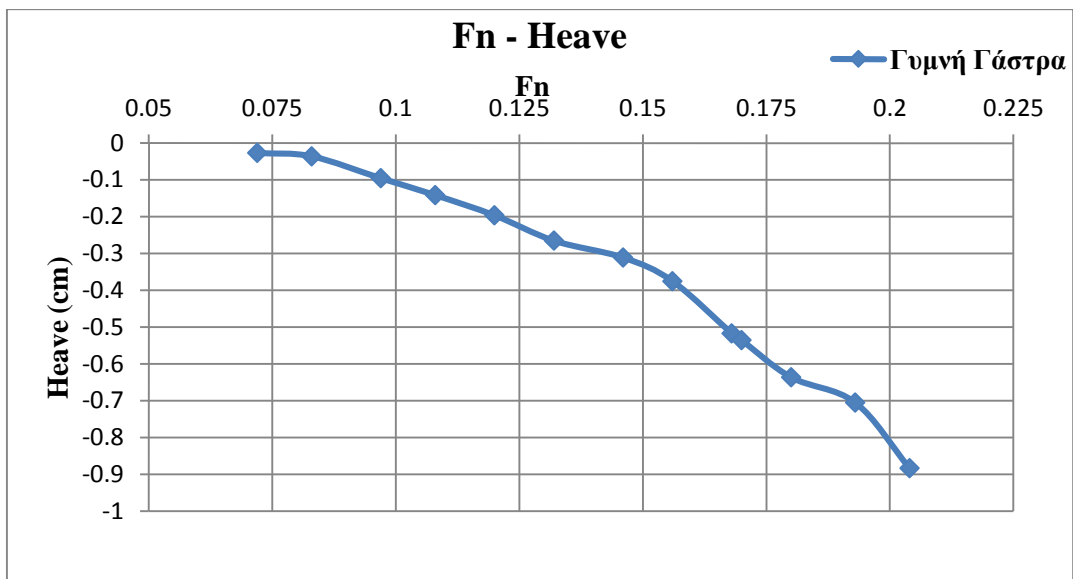
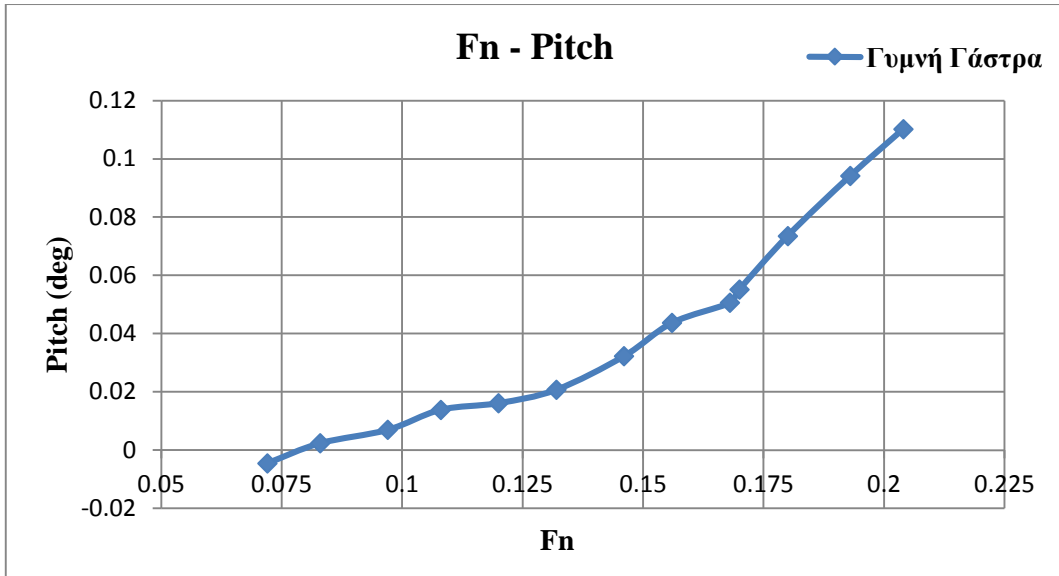
Υπολογίσαμε τις πραγματικές τιμές, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Speed (m/s)	Froude Number	Resistance (kp)	Pitch (deg)	Heave (cm)
0,516	0,072	0,311866	-0,0045922	-0,0274794
0,596	0,083	0,3952095	0,0022961	-0,0366392
0,697	0,097	0,5377	0,0068883	-0,0961779
0,773	0,108	0,650617	0,0137766	-0,1419769
0,859	0,12	0,8146155	0,0160727	-0,1969357
0,946	0,132	1,0081875	0,0206649	-0,2656342
1,045	0,146	1,2178905	0,0321454	-0,3114332
1,118	0,156	1,397148	0,0436259	-0,3755518
1,204	0,168	1,64212	0,0505142	-0,5175287
1,217	0,17	1,6964435	0,0551064	-0,5358483
1,29	0,18	1,997464	0,0734752	-0,6366061
1,381	0,193	2,417416	0,0941401	-0,7053046
1,461	0,204	2,982736	0,1102128	-0,8839207

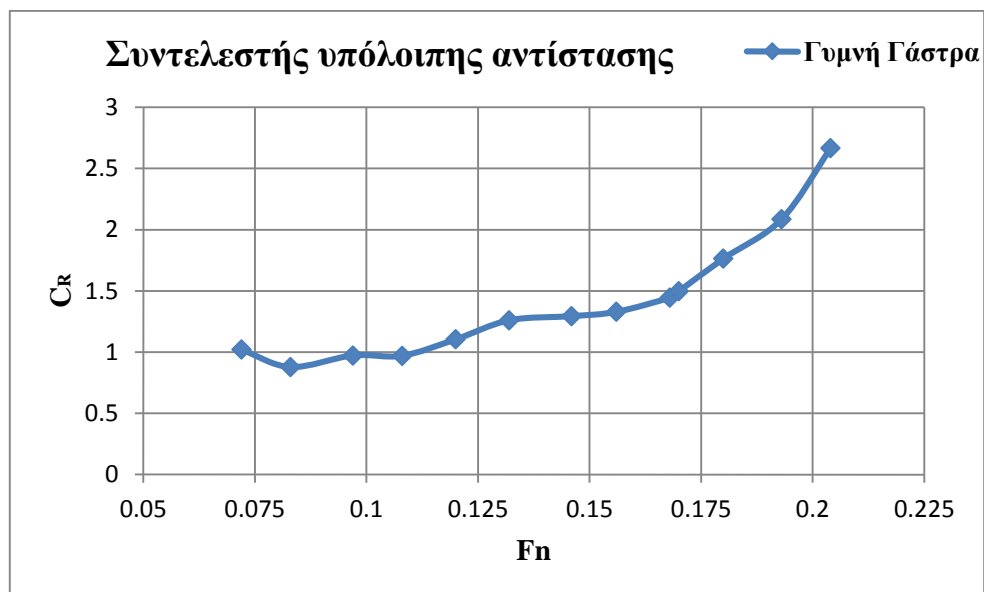
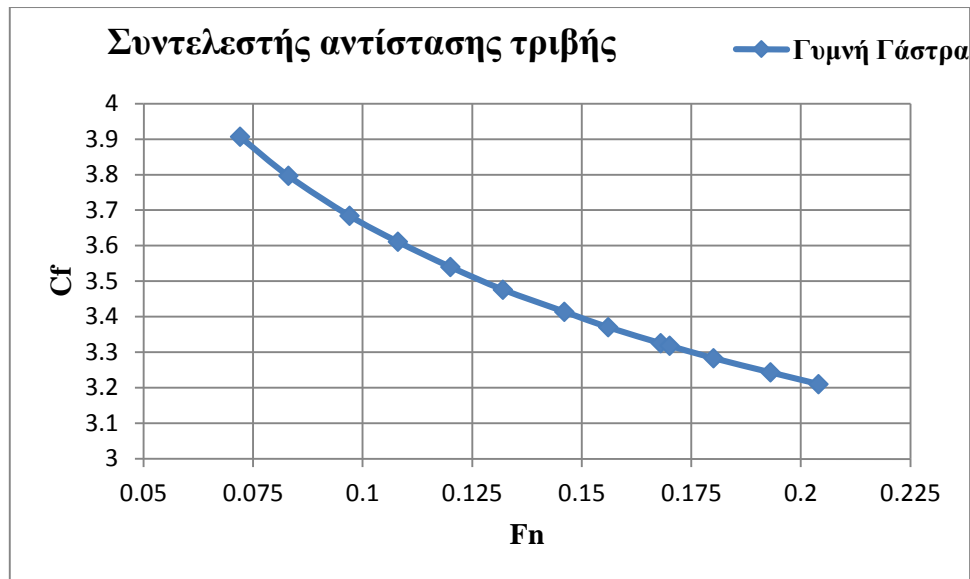
Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν 14,7° C.

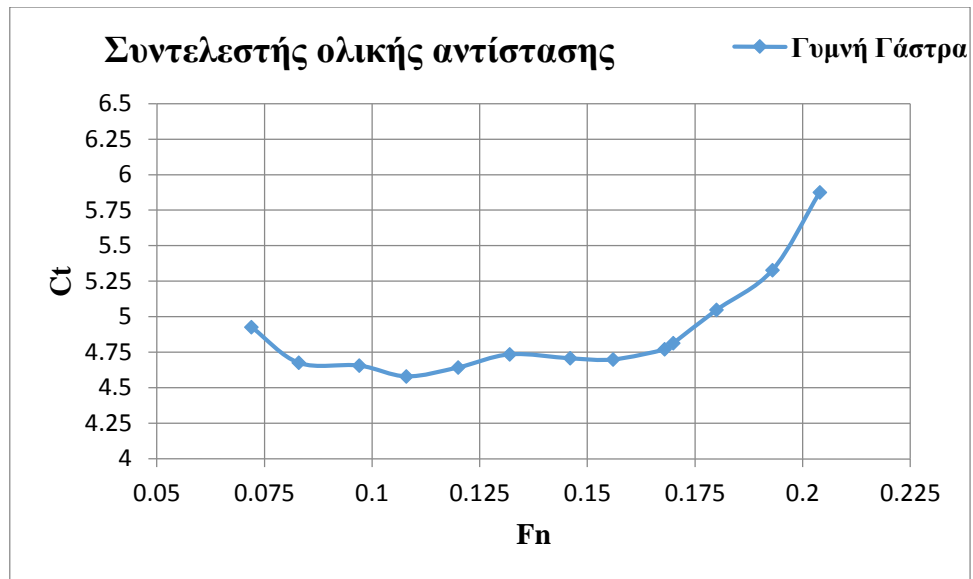
Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.



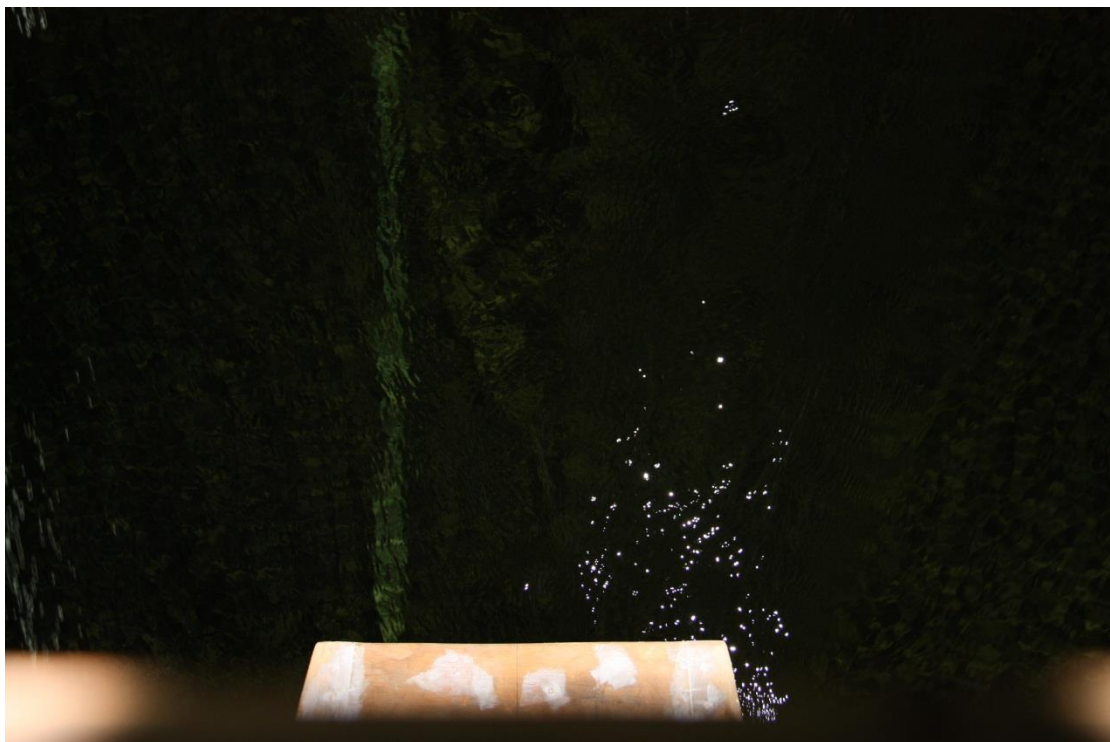


Με χρήση του προγράμματος Resout υπολογίσαμε τους συντελεστές αντίστασης τριβής C_f , υπόλοιπης αντίστασης C_R και ολικής αντίστασης C_T και στη συνέχεια δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα:





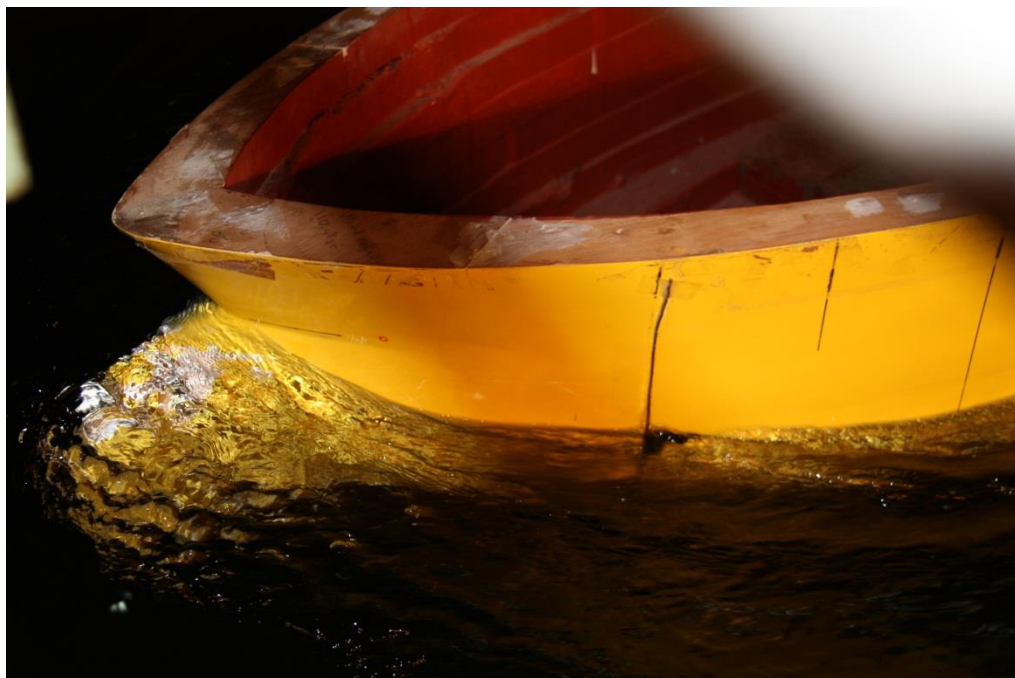
Στη συνέχεια παρατίθενται φωτογραφίες από τα πειράματα:



Εικόνα : Ροή στην πρύμνη για $F_n=0,146$



Εικόνα : Ροή στην πρόμνη για $Fn=0,17$



Εικόνα : Ροή στην πλώρη για $Fn=0,17$

• **Γυαλόχαρτο Νο.80 σε όλο το μοντέλο**

Για την κατάσταση με το γυαλόχαρτο Νο.80 οι μετρήσεις είναι οι ακόλουθες:

Speed	Resistance		Pitch		Heave	
0	0,015		1,127		5,278	
0,517	0,131	0,116	1,127	0	5,289	0,011
0	0,018		1,128		5,28	
0,594	0,17	0,152	1,126	-0,002	5,297	0,017
0	0,02		1,127		5,283	
0,697	0,229	0,209	1,123	-0,004	5,307	0,024
0	0,02		1,124		5,283	
0,773	0,278	0,258	1,121	-0,003	5,318	0,035
0	0,021		1,123		5,283	
0,857	0,346	0,325	1,117	-0,006	5,329	0,046
0	0,022		1,123		5,284	
0,948	0,431	0,409	1,111	-0,012	5,344	0,06
0	0,017		1,126		5,279	
1,048	0,528	0,511	1,112	-0,014	5,359	0,08
0	0,019		1,126		5,281	
1,118	0,619	0,6	1,108	-0,018	5,377	0,096
0	0,02		1,124		5,283	
1,206	0,738	0,718	1,102	-0,022	5,396	0,113
0	0,023		1,119		5,274	
1,218	0,76	0,737	1,095	-0,024	5,402	0,128
0	0,021		1,125		5,282	
1,292	0,893	0,872	1,091	-0,034	5,419	0,137
0	0,023		1,12		5,283	
1,382	1,091	1,068	1,08	-0,04	5,452	0,169
0	0,021		1,121		5,283	
1,462	1,333	1,312	1,072	-0,049	5,472	0,189

Με τη χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς οι οποίες στις συγκεκριμένες μετρήσεις ήταν:

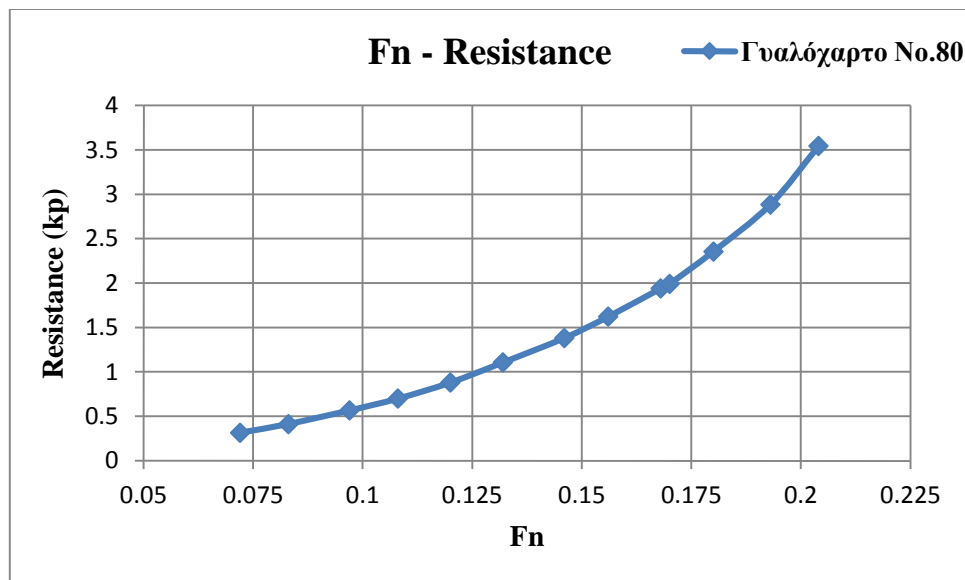
- Resistance : $y = 2,7002x - 0,0425$
- Pitch : $y = -2,2845x + 2,5264$
- Heave : $y = -4,5203 + 23,813$

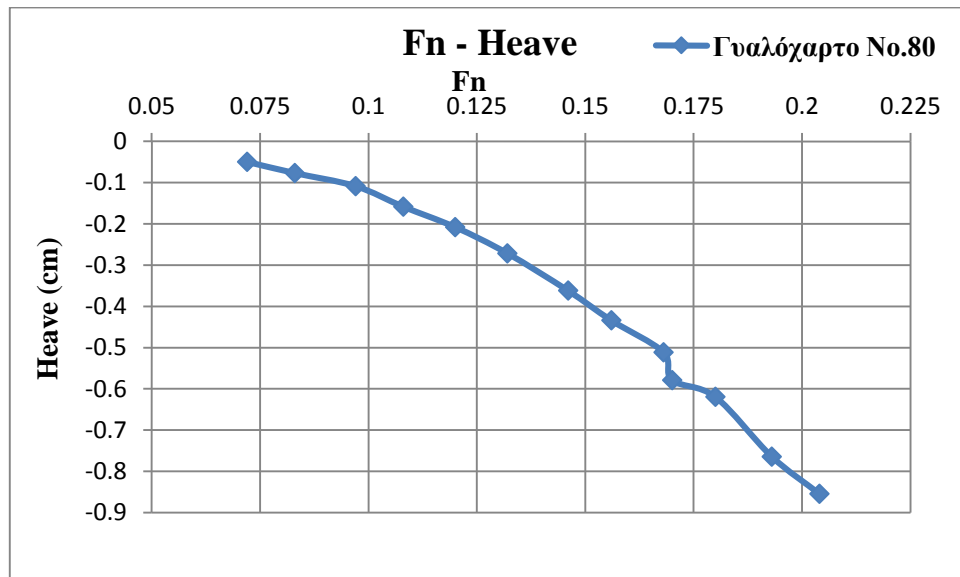
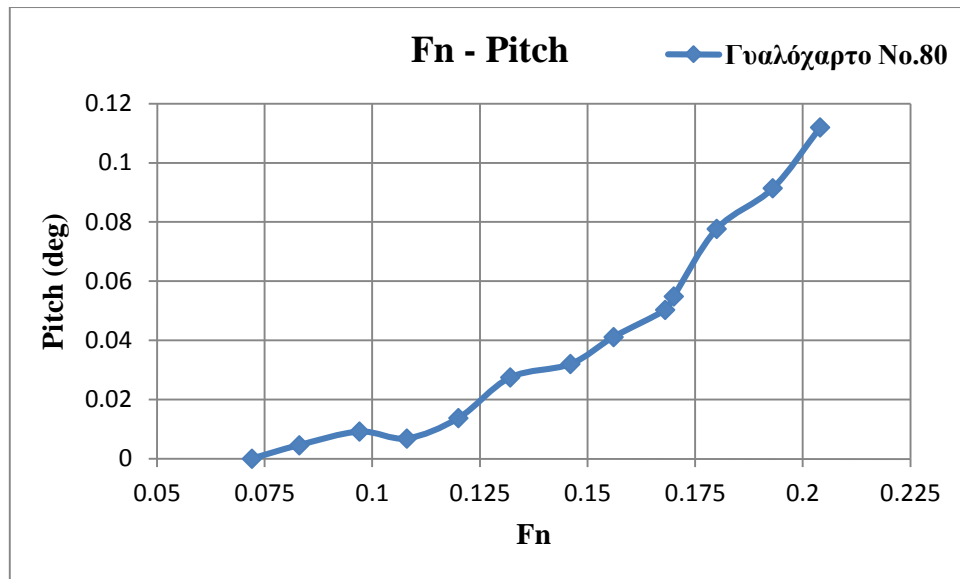
Υπολογίσαμε τις πραγματικές τιμές, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Speed (m/s)	Froude Number	Resistance (kp)	Pitch (deg)	Heave (cm)
0,517	0,072	0,3132232	0	-0,0497233
0,594	0,083	0,4104304	0,004569	-0,0768451
0,697	0,097	0,5643418	0,009138	-0,1084872
0,773	0,108	0,6966516	0,0068535	-0,1582105
0,857	0,12	0,877565	0,013707	-0,2079338
0,948	0,132	1,1043818	0,027414	-0,271218
1,048	0,146	1,3798022	0,031983	-0,361624
1,118	0,156	1,62012	0,041121	-0,4339488
1,206	0,168	1,9387436	0,050259	-0,5107939
1,218	0,17	1,9900474	0,054828	-0,5785984
1,292	0,18	2,3545744	0,077673	-0,6192811
1,382	0,193	2,8838136	0,09138	-0,7639307
1,462	0,204	3,5426624	0,1119405	-0,8543367

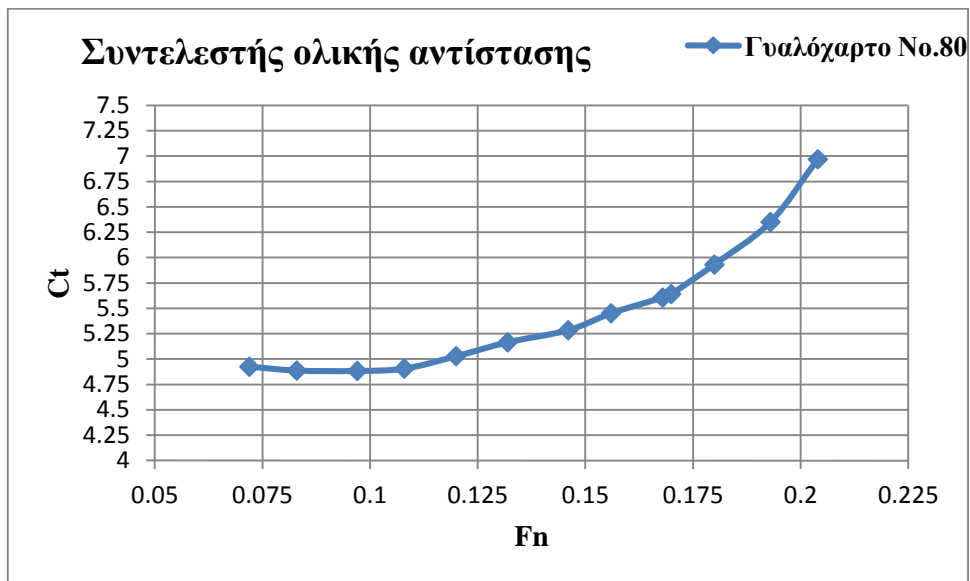
Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν 17,5° C.

Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

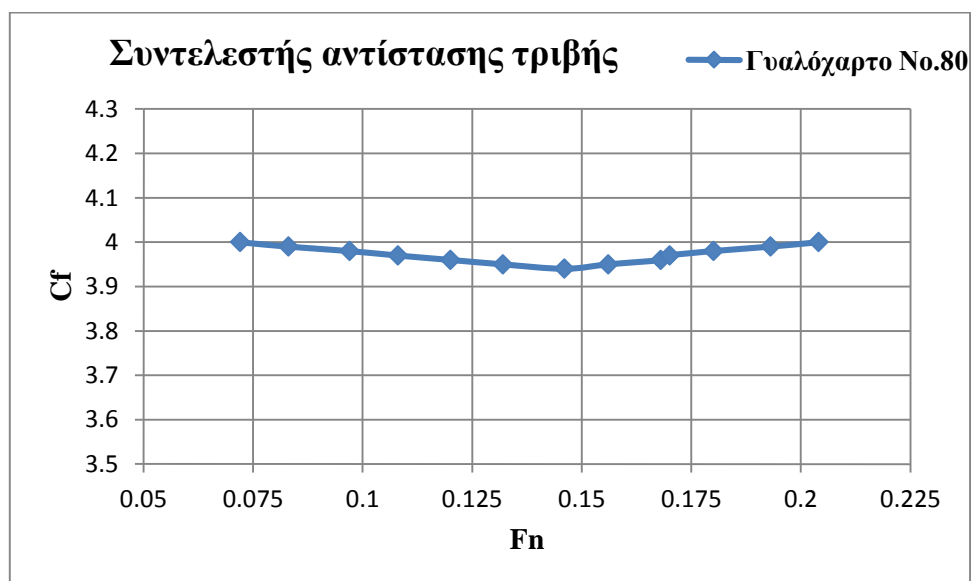


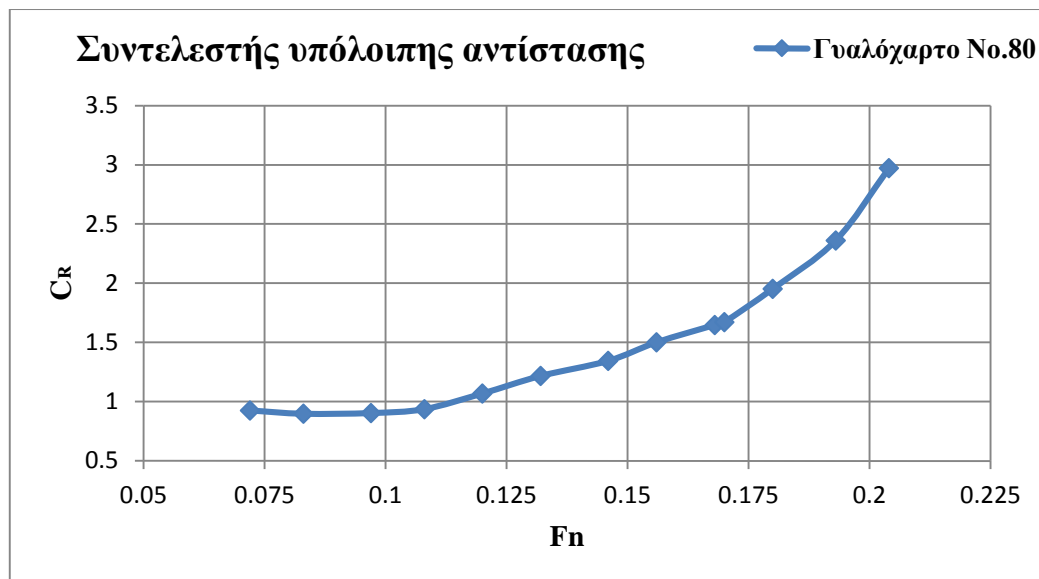


Με χρήση του προγράμματος Resout υπολογίσαμε τον συντελεστή ολικής αντίστασης C_T και στη συνέχεια δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα.



Λόγω της ύπαρξης της τραχύτητας δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός των συντελεστών τριβής και υπόλοιπης αντίστασης. Γι'αυτό τον λόγο χρησιμοποιούμε το διάγραμμα συντελεστή τριβής για τραχείες πλάκες σαν συνάρτηση του αριθμού Reynolds και του μεγέθους L/K_s , όπου L το μήκος του μοντέλου και K_s το μέγεθος του κόκκου του γυαλόχαρτου. Το παραπάνω διάγραμμα καθώς και τα μεγέθη των κόκκων επισυνάπτονται στο παράρτημα. Ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης προκύπτει ως η διαφορά του συντελεστή ολικής αντίστασης και του συντελεστή τριβής που προέκυψε από το διάγραμμα. Παρακάτω δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα.

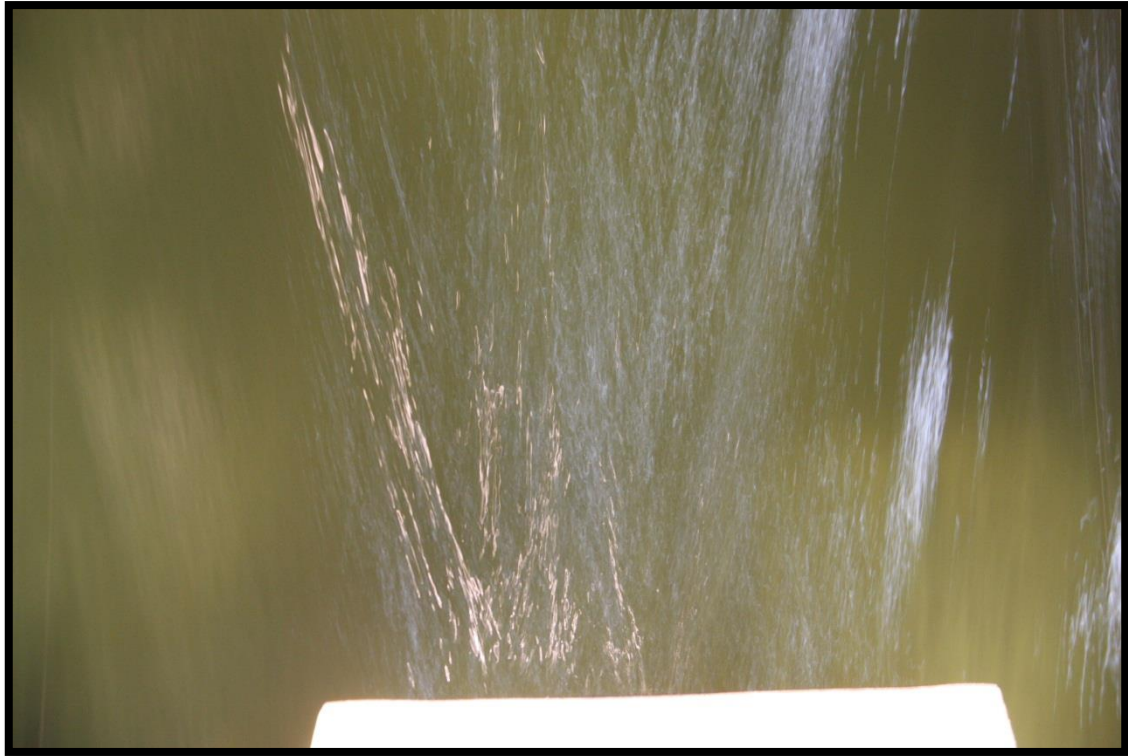




Στη συνέχεια παρατίθενται φωτογραφίες από τα πειράματα:



Εικόνα : Ροή στην πρύμνη για $F_n=0,146$



Εικόνα : Ροή στην πρόμνη για $F_n=0,17$



Εικόνα : Ροή στην πλώρη για $F_n=0,17$

• **Γυαλόγαρτο Νο.80 με γυμνό Flat of Bottom (FOB)**

Η επιφάνεια του Flat of Bottom που έμεινε γυμνή είναι 2,215 m². Για την κατάσταση αυτή οι μετρήσεις είναι οι ακόλουθες:

Speed	Resistance		Pitch		Heave	
0	0,009		1,154		5,37	
0,516	0,124	0,115	1,154	0	5,382	0,012
0	0,011		1,151		5,371	
0,599	0,161	0,15	1,151	0	5,386	0,015
0	0,013		1,15		5,372	
0,697	0,215	0,202	1,149	-0,001	5,398	0,026
0	0,014		1,148		5,372	
0,773	0,261	0,247	1,147	-0,001	5,405	0,033
0	0,016		1,148		5,373	
0,856	0,327	0,311	1,143	-0,005	5,418	0,045
0	0,016		1,148		5,372	
0,944	0,4	0,384	1,14	-0,008	5,431	0,059
0	0,015		1,147		5,372	
1,044	0,5	0,485	1,135	-0,012	5,449	0,077
0	0,017		1,149		5,371	
1,117	0,585	0,568	1,132	-0,017	5,466	0,095
0	0,008		1,152		5,371	
1,204	0,686	0,678	1,131	-0,021	5,488	0,117
0	0,011		1,151		5,372	
1,217	0,708	0,697	1,128	-0,023	5,487	0,115
0	0,013		1,152		5,373	
1,291	0,842	0,829	1,121	-0,031	5,508	0,135
0	0,013		1,149		5,372	
1,382	1,023	1,01	1,11	-0,039	5,535	0,163
0	0,015		1,148		5,372	
1,463	1,267	1,252	1,101	-0,047	5,562	0,19

Με τη χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς οι οποίες στις συγκεκριμένες μετρήσεις ήταν:

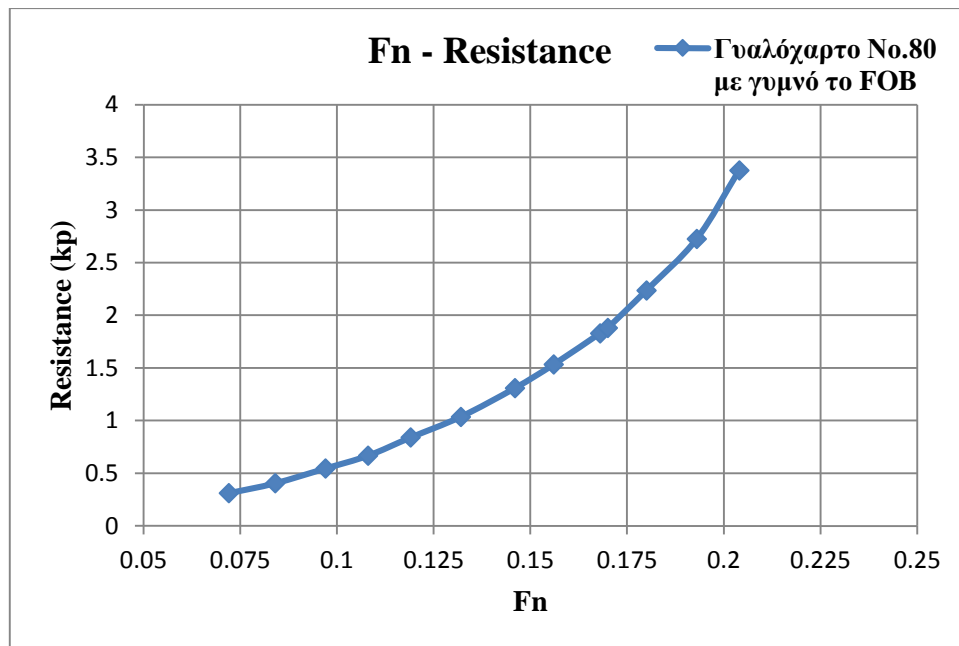
- Resistance : $y = 2,6970x - 0,0154$
- Pitch : $y = -2,2845x + 2,5264$
- Heave : $y = -4,5203 + 23,813$

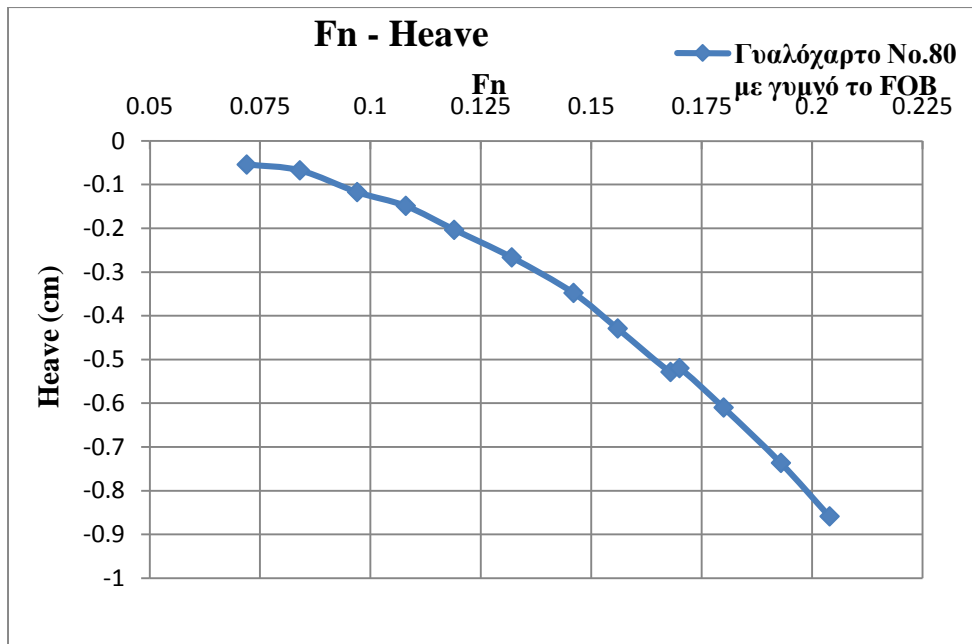
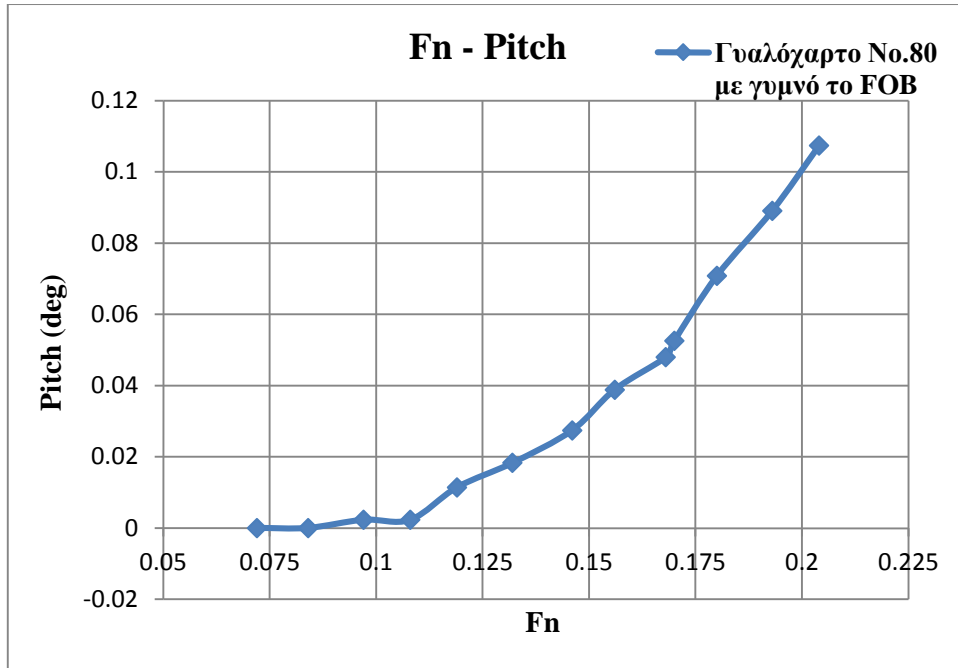
Υπολογίσαμε τις πραγματικές τιμές, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Speed (m/s)	Froude Number	Resistance (kp)	Pitch (deg)	Heave (cm)
0,516	0,072	0,310155	0	-0,0542436
0,599	0,084	0,40455	0	-0,0678045
0,697	0,097	0,544794	0,0022845	-0,1175278
0,773	0,108	0,666159	0,0022845	-0,1491699
0,856	0,119	0,838767	0,0114225	-0,2034135
0,944	0,132	1,035648	0,018276	-0,2666977
1,044	0,146	1,308045	0,027414	-0,3480631
1,117	0,156	1,531896	0,0388365	-0,4294285
1,204	0,168	1,828566	0,0479745	-0,5288751
1,217	0,17	1,879809	0,0525435	-0,5198345
1,291	0,18	2,235813	0,0708195	-0,6102405
1,382	0,193	2,72397	0,0890955	-0,7368089
1,463	0,204	3,376644	0,1073715	-0,858857

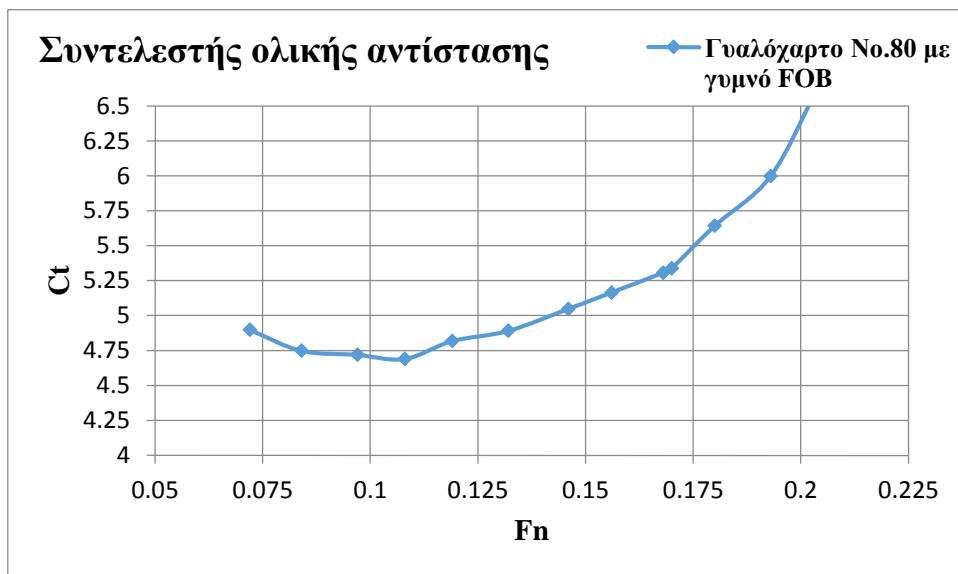
Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν 18,5° C.

Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.





Με χρήση του προγράμματος Resout υπολογίσαμε τον συντελεστή ολικής αντίστασης C_T και στη συνέχεια δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα:



Επειδή στα συγκεκριμένα πειράματα η τραχύτητα δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκταση του μοντέλου, δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός του συντελεστή αντίστασης τριβής C_f και του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης C_R .

- **Γυαλόχαρτο No.40 σε όλο το μοντέλο**

Για την κατάσταση με το γυαλόχαρτο No.40 οι μετρήσεις είναι οι ακόλουθες:

Speed	Resistance		Pitch		Heave	
0	0,01		1,043		5,505	
0,518	0,155	0,145	1,049	0,006	5,512	0,007
0	0,01		1,042		5,506	
0,598	0,192	0,182	1,048	0,006	5,52	0,014
0	0,011		1,045		5,509	
0,7	0,266	0,255	1,046	0,001	5,529	0,02
0	0,011		1,042		5,51	
0,77	0,342	0,331	1,044	0,002	5,543	0,033
0	-0,006		1,053		5,492	
0,859	0,398	0,404	1,054	0,001	5,535	0,043
0	-0,006		1,054		5,493	
0,945	0,494	0,5	1,051	-0,003	5,55	0,057
0	-0,005		1,053		5,494	
1,045	0,624	0,629	1,045	-0,008	5,566	0,072
0	0,012		1,043		5,511	
1,119	0,739	0,727	1,029	-0,014	5,6	0,089
0	0,01		1,042		5,505	
1,206	0,886	0,876	1,024	-0,018	5,617	0,112
0	-0,005		1,054		5,494	
1,217	0,873	0,878	1,035	-0,019	5,605	0,111

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

0	0,011		1,043		5,508	
1,29	1,019	1,008	1,017	-0,026	5,638	0,13
0	-0,007		1,054		5,493	
1,381	1,224	1,231	1,018	-0,036	5,651	0,158
0	0,011		1,043		5,509	
1,464	1,519	1,508	0,998	-0,045	5,692	0,183
Επαναληπτικές μετρήσεις						
0	-0,005		1,054		5,494	
0,698	0,249	0,254	1,058	0,004	5,515	0,021

Με τη χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς οι οποίες στις συγκεκριμένες μετρήσεις ήταν:

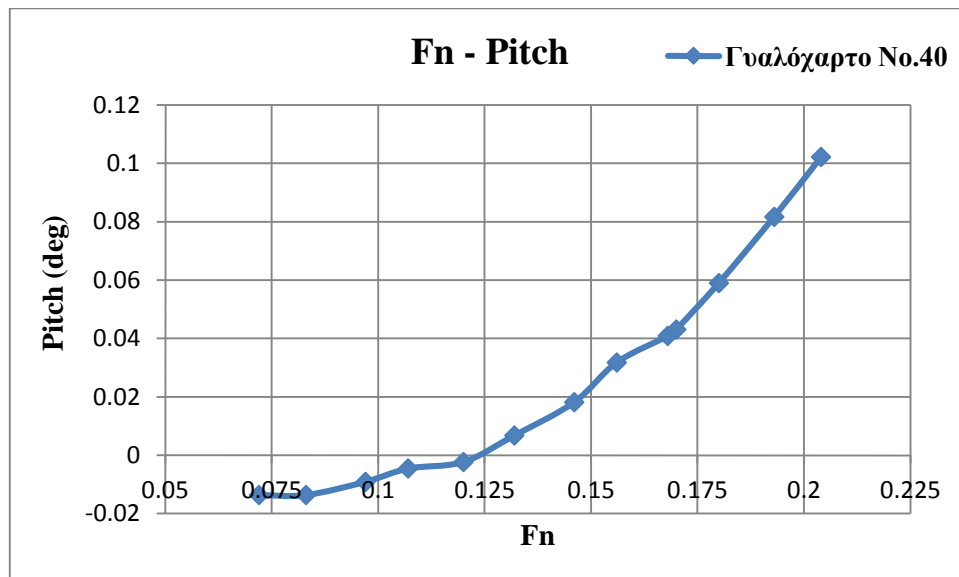
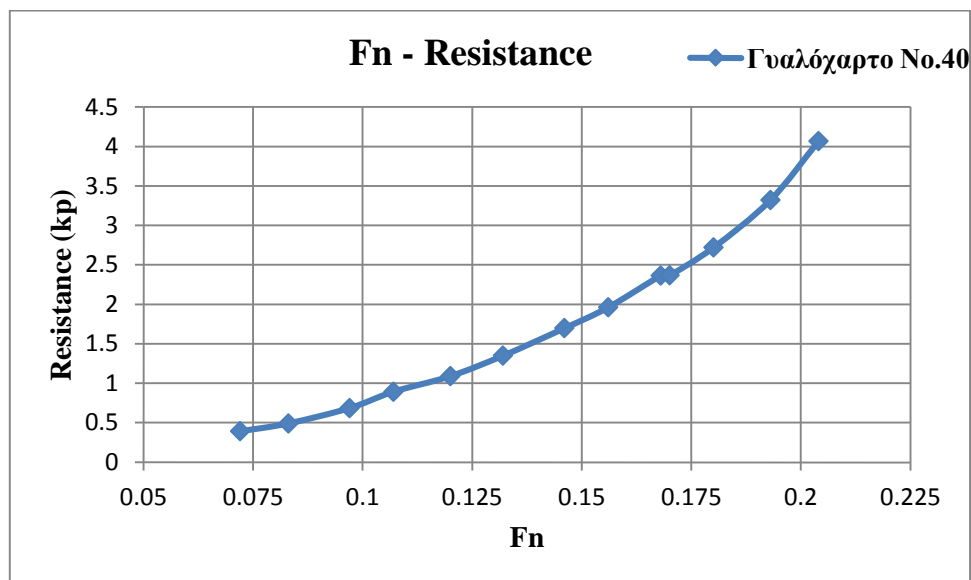
- Resistance : $y = 2,6974x - 0,0253$
- Pitch : $y = -2,2715x + 2,3222$
- Heave : $y = -4,5292 + 24,901$

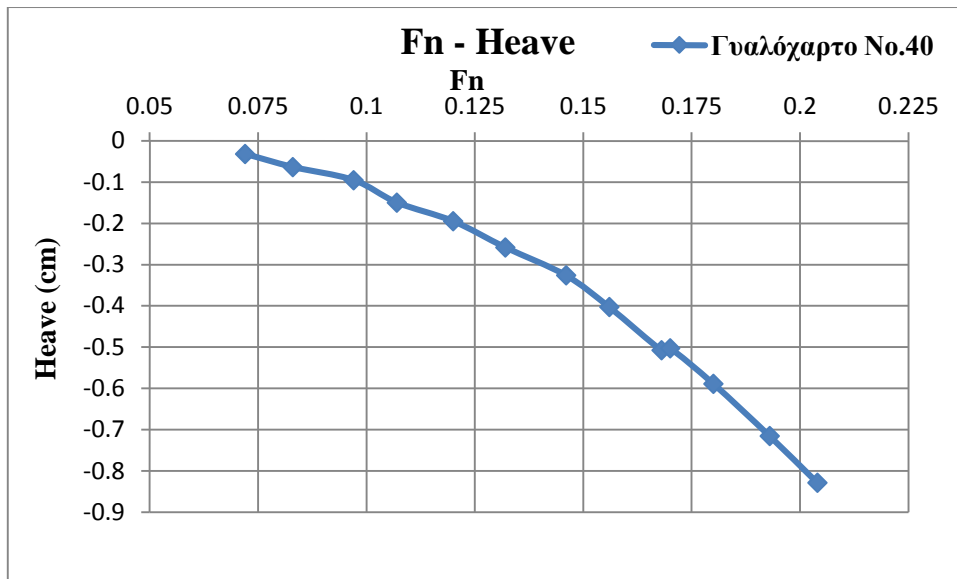
Υπολογίσαμε τις πραγματικές τιμές, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Speed (m/s)	Froude Number	Resistance (kp)	Pitch (deg)	Heave (cm)
0,518	0,072	0,391123	-0,013629	-0,0317044
0,598	0,083	0,4909268	-0,013629	-0,0634088
0,698	0,097	0,6851396	-0,009086	-0,0951132
0,77	0,107	0,8928394	-0,004543	-0,1494636
0,859	0,12	1,0897496	-0,002272	-0,1947556
0,945	0,132	1,3487	0,0068145	-0,2581644
1,045	0,146	1,6966646	0,018172	-0,3261024
1,119	0,156	1,9610098	0,031801	-0,4030988
1,206	0,168	2,3629224	0,040887	-0,5072704
1,217	0,17	2,3683172	0,0431585	-0,5027412
1,29	0,18	2,7189792	0,059059	-0,588796
1,381	0,193	3,3204994	0,081774	-0,7156136
1,464	0,204	4,0676792	0,1022175	-0,8288436

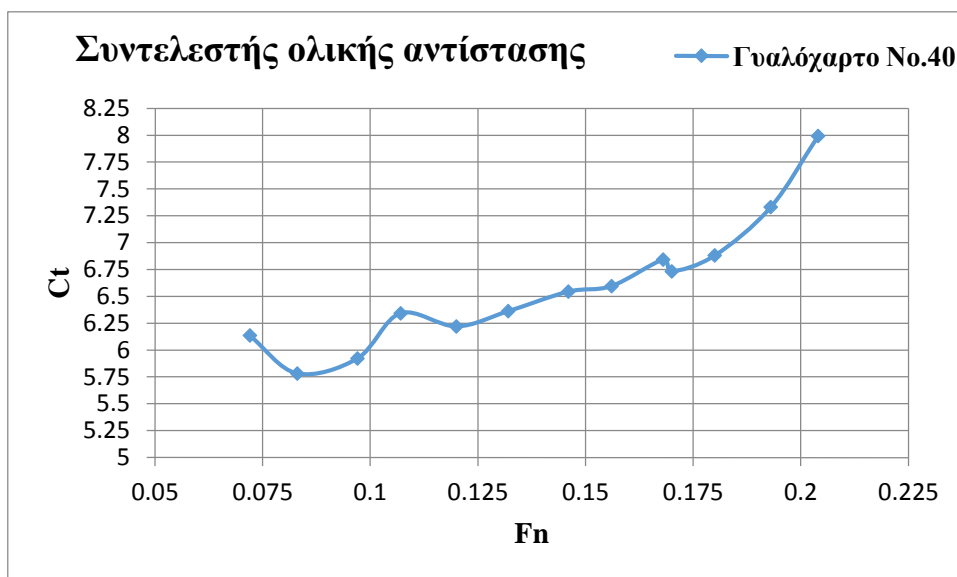
Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν 23,3° C.

Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

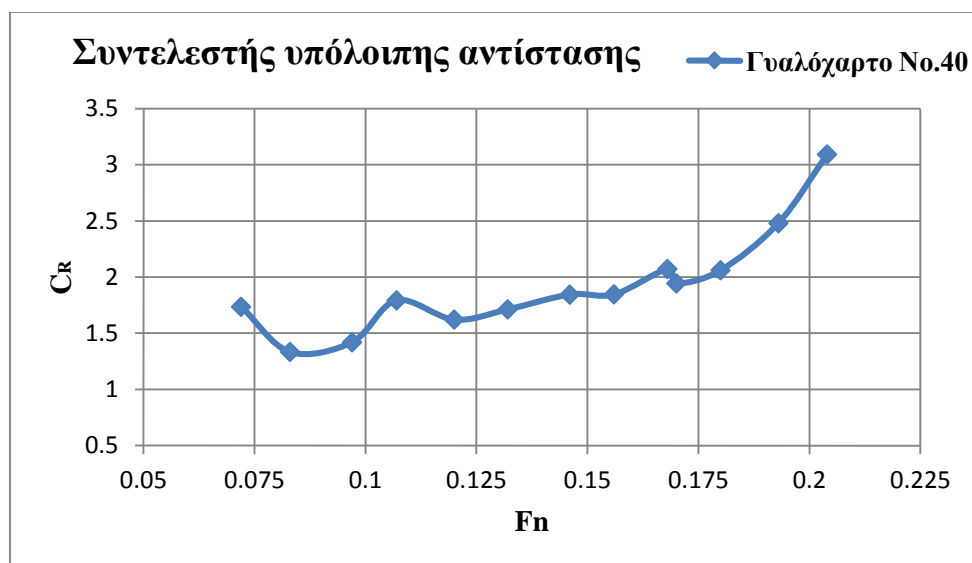
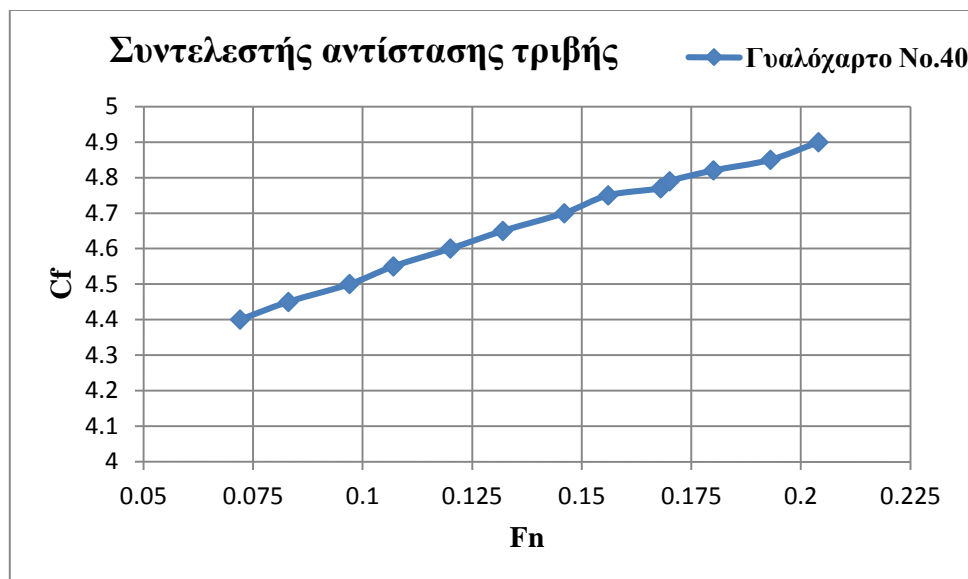




Με χρήση του προγράμματος Resout υπολογίσαμε τον συντελεστή ολικής αντίστασης C_T και στη συνέχεια δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα.



Λόγω της ύπαρξης της τραχύτητας δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός των συντελεστών τριβής και υπόλοιπης αντίστασης. Γι'αυτό τον λόγο χρησιμοποιούμε και εδώ το διάγραμμα συντελεστή τριβής για τραχείες πλάκες σαν συνάρτηση του αριθμού Reynolds και του μεγέθους L/K_s , όπου L το μήκος του μοντέλου και K_s το μέγεθος του κόκκου του γυαλόχαρτου. Το παραπάνω διάγραμμα καθώς και τα μεγέθη των κόκκων επισυνάπτονται στο παράρτημα. Ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης προκύπτει ως η διαφορά του συντελεστή ολικής αντίστασης και του συντελεστή τριβής που προέκυψε από το διάγραμμα. Παρακάτω δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα.



Στη συνέχεια παρατίθενται φωτογραφίες από τα πειράματα:



Εικόνα : Ροή στην πρόμνη για $Fn=0,146$



Εικόνα : Ροή στην πρόμνη για $Fn=0,17$



Εικόνα : Ροή στην πλώρη για $F_n=0,17$



Εικόνα : Ροή στην πρύμνη για $F_n=0,193$

• **Γυαλόχαρτο No.40 στο Flat of Bottom**

Η επιφάνεια του Flat of Bottom που καλύφθηκε με γυαλόχαρτο No.40 είναι 2,215 m².

Για την κατάσταση αυτή οι μετρήσεις είναι οι ακόλουθες:

Speed	Resistance		Pitch		Heave	
0	0,009		1,153		5,417	
0,517	0,131	0,122	1,16	0,007	5,426	0,009
0	0,011		1,155		5,419	
0,598	0,171	0,16	1,153	-0,002	5,431	0,012
0	0,013		1,154		5,419	
0,696	0,23	0,217	1,154	0	5,442	0,023
0	0,014		1,157		5,42	
0,775	0,279	0,265	1,153	-0,004	5,454	0,034
0	0,014		1,157		5,42	
0,857	0,349	0,335	1,15	-0,007	5,467	0,047
0	0,014		1,155		5,421	
0,944	0,425	0,411	1,147	-0,008	5,48	0,059
0	0,013		1,149		5,422	
1,045	0,523	0,51	1,141	-0,008	5,499	0,077
0	0,01		1,151		5,416	
1,118	0,601	0,591	1,14	-0,011	5,51	0,094
0	0,012		1,157		5,418	
1,204	0,711	0,699	1,13	-0,027	5,53	0,112
0	0,013		1,158		5,42	
1,219	0,728	0,715	1,13	-0,028	5,537	0,117
0	0,013		1,157		5,42	
1,291	0,856	0,843	1,124	-0,033	5,557	0,137
0	0,013		1,156		5,42	
1,383	1,03	1,017	1,115	-0,041	5,583	0,163
0	0,014		1,156		5,423	
1,464	1,257	1,243	1,105	-0,051	5,608	0,185

Με τη χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς οι οποίες στις συγκεκριμένες μετρήσεις ήταν:

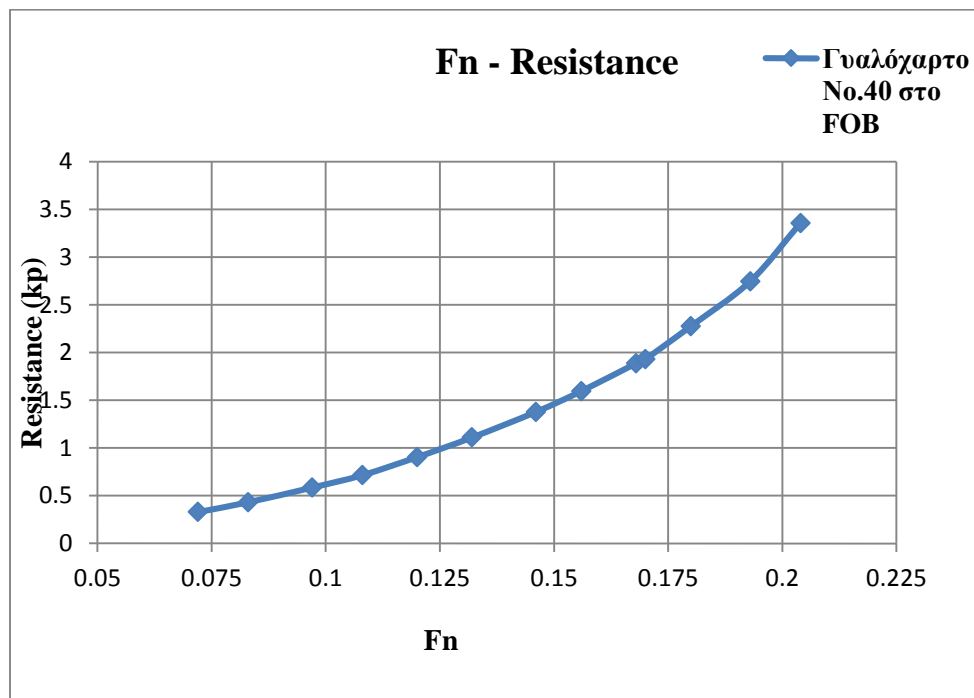
- Resistance : $y = 2,7010x - 0,0239$
- Pitch : $y = -2,28x + 2,4186$
- Heave : $y = -4,5581 + 24,694$

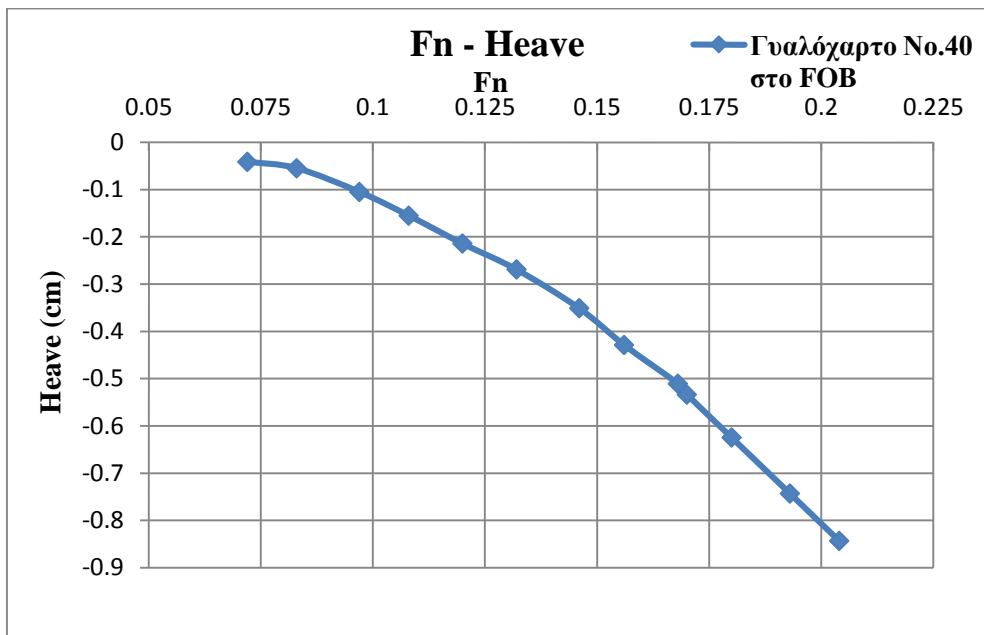
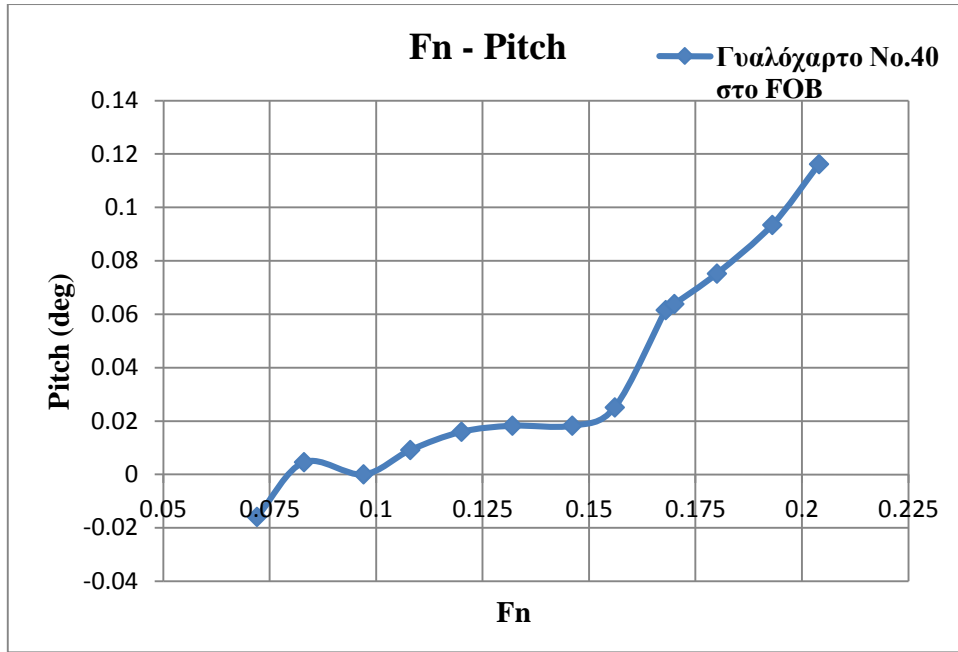
Υπολογίσαμε τις πραγματικές τιμές, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Speed (m/s)	Froude Number	Resistance (kp)	Pitch (deg)	Heave (cm)
0,517	0,072	0,329522	-0,01596	-0,0410229
0,598	0,083	0,43216	0,00456	-0,0546972
0,696	0,097	0,586117	0	-0,1048363
0,775	0,108	0,715765	0,00912	-0,1549754
0,857	0,12	0,904835	0,01596	-0,2142307
0,944	0,132	1,110111	0,01824	-0,2689279
1,045	0,146	1,37751	0,01824	-0,3509737
1,118	0,156	1,596291	0,02508	-0,4284614
1,204	0,168	1,887999	0,06156	-0,5105072
1,219	0,17	1,931215	0,06384	-0,5332977
1,291	0,18	2,276943	0,07524	-0,6244597
1,383	0,193	2,746917	0,09348	-0,7429703
1,464	0,204	3,357343	0,11628	-0,8432485

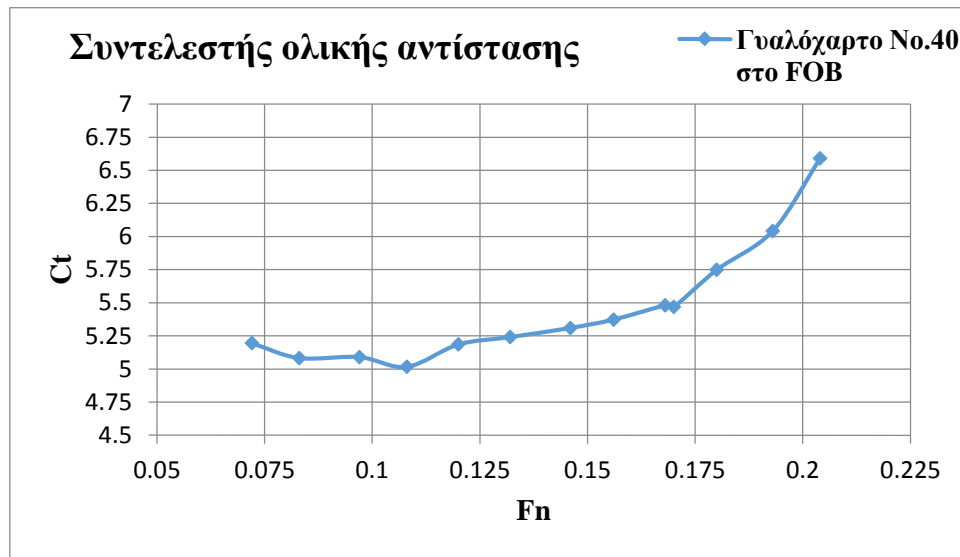
Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν 19,2° C.

Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.





Με χρήση του προγράμματος Resout υπολογίσαμε τον συντελεστή ολικής αντίστασης C_T και στη συνέχεια δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα:



Επειδή στα συγκεκριμένα πειράματα η τραχύτητα δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκταση του μοντέλου, δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός του συντελεστή αντίστασης τριβής C_f και του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης C_R .

4.2 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ FULL LOAD

- Γυμνή γάστρα

Για την κατάσταση γυμνής γάστρας οι μετρήσεις είναι οι ακόλουθες:

Speed	Resistance		Pitch		Heave	
0	0,036		1,185		6,995	
0,516	0,181	0,145	1,18	-0,005	6,998	0,003
0	0,034		1,184		6,984	
0,6	0,223	0,189	1,175	-0,009	7,012	0,028
0	0,036		1,181		6,992	
0,696	0,282	0,246	1,171	-0,01	7,025	0,033
0	0,035		1,18		6,99	
0,773	0,338	0,303	1,163	-0,017	7,036	0,046
0	0,035		1,179		6,986	
0,859	0,403	0,368	1,159	-0,02	7,049	0,063
0	0,035		1,177		6,996	
0,944	0,477	0,442	1,152	-0,025	7,068	0,072
0	0,033		1,177		6,983	
1,046	0,569	0,536	1,143	-0,034	7,088	0,105

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

0	0,035		1,175		6,994	
1,117	0,646	0,611	1,138	-0,037	7,108	0,114
0	0,036		1,175		6,997	
1,203	0,77	0,734	1,129	-0,046	7,128	0,131
0	0,035		1,175		6,99	
1,218	0,789	0,754	1,127	-0,048	7,136	0,146
0	0,036		1,176		6,998	
1,29	0,921	0,885	1,119	-0,057	7,154	0,156
0	0,036		1,172		6,996	
1,381	1,104	1,068	1,108	-0,064	7,186	0,19
0	0,036		1,173		6,996	
1,461	1,383	1,347	1,101	-0,072	7,217	0,221

Με τη χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς οι οποίες στις συγκεκριμένες μετρήσεις ήταν:

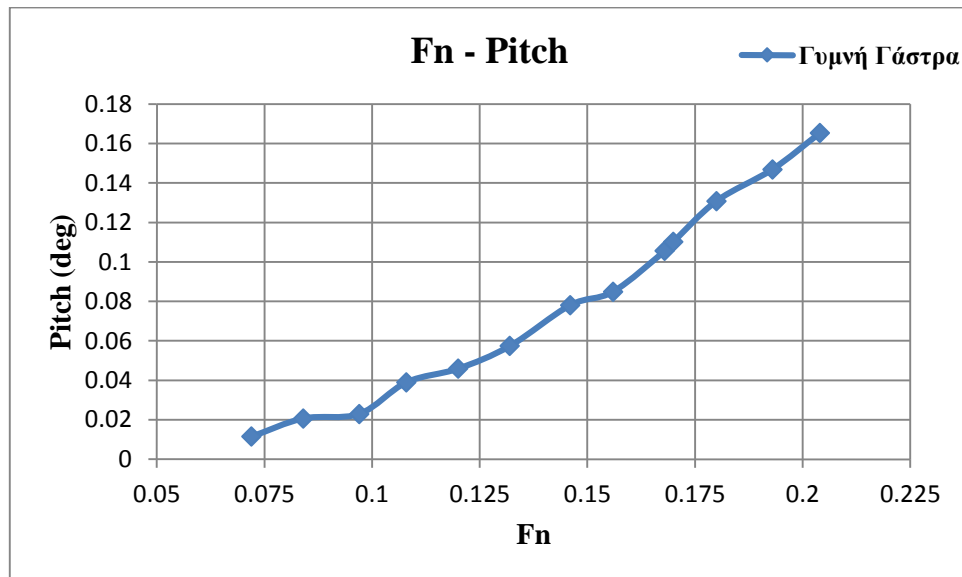
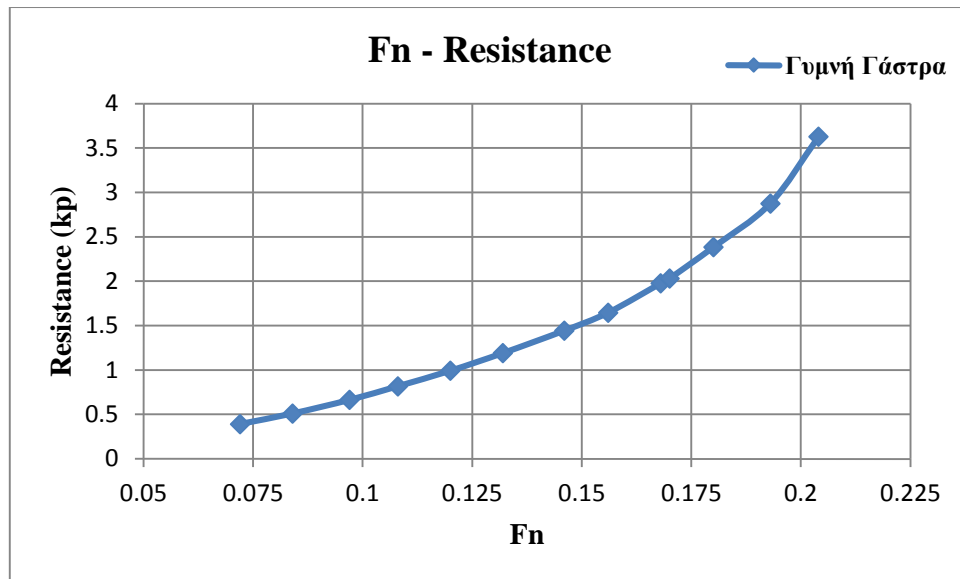
- Resistance : $y = 2,6918x - 0,104$
- Pitch : $y = -2,2961x + 2,5776$
- Heave : $y = -4,5799 + 30,467$

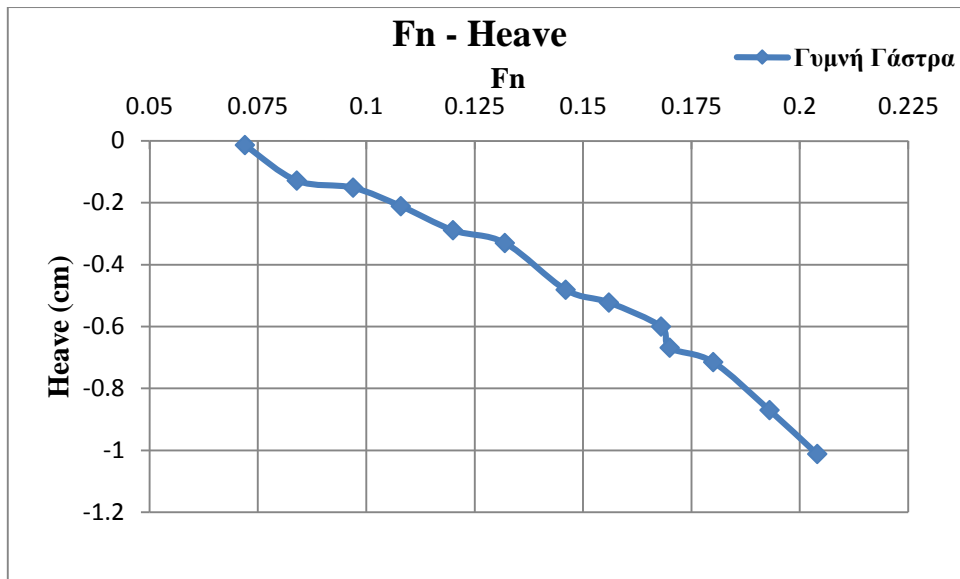
Υπολογίσαμε τις πραγματικές τιμές, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Speed (m/s)	Froude Number	Resistance (kp)	Pitch (deg)	Heave (cm)
0,516	0,072	0,390311	0,0114805	-0,0137397
0,6	0,084	0,5087502	0,0206649	-0,1282372
0,696	0,097	0,6621828	0,022961	-0,1511367
0,773	0,108	0,8156154	0,0390337	-0,2106754
0,859	0,12	0,9905824	0,045922	-0,2885337
0,944	0,132	1,1897756	0,0574025	-0,3297528
1,046	0,146	1,4428048	0,0780674	-0,4808895
1,117	0,156	1,6446898	0,0849557	-0,5221086
1,203	0,168	1,9757812	0,1056206	-0,5999669
1,218	0,17	2,0296172	0,1102128	-0,6686654
1,29	0,18	2,382243	0,1308777	-0,7144644
1,381	0,193	2,8748424	0,1469504	-0,870181
1,461	0,204	3,6258546	0,1653192	-1,0121579

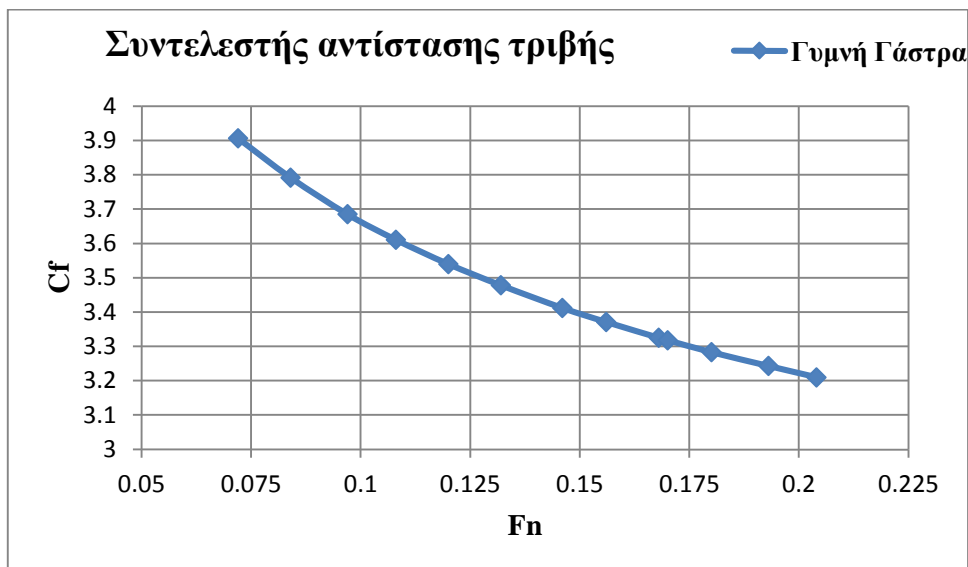
Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν 14,7° C.

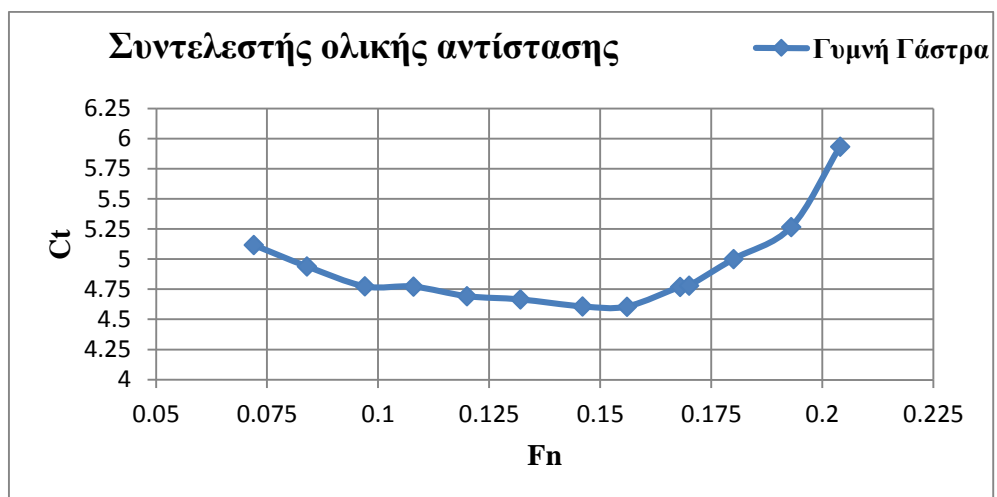
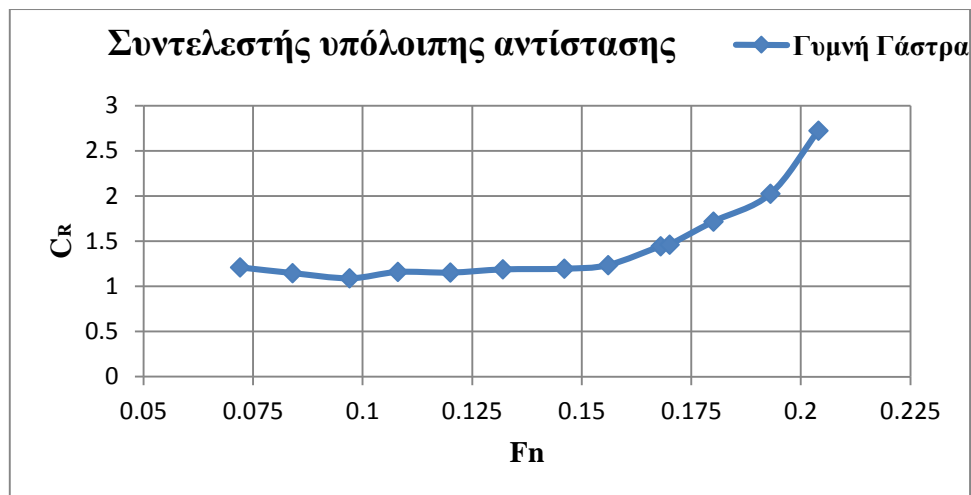
Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

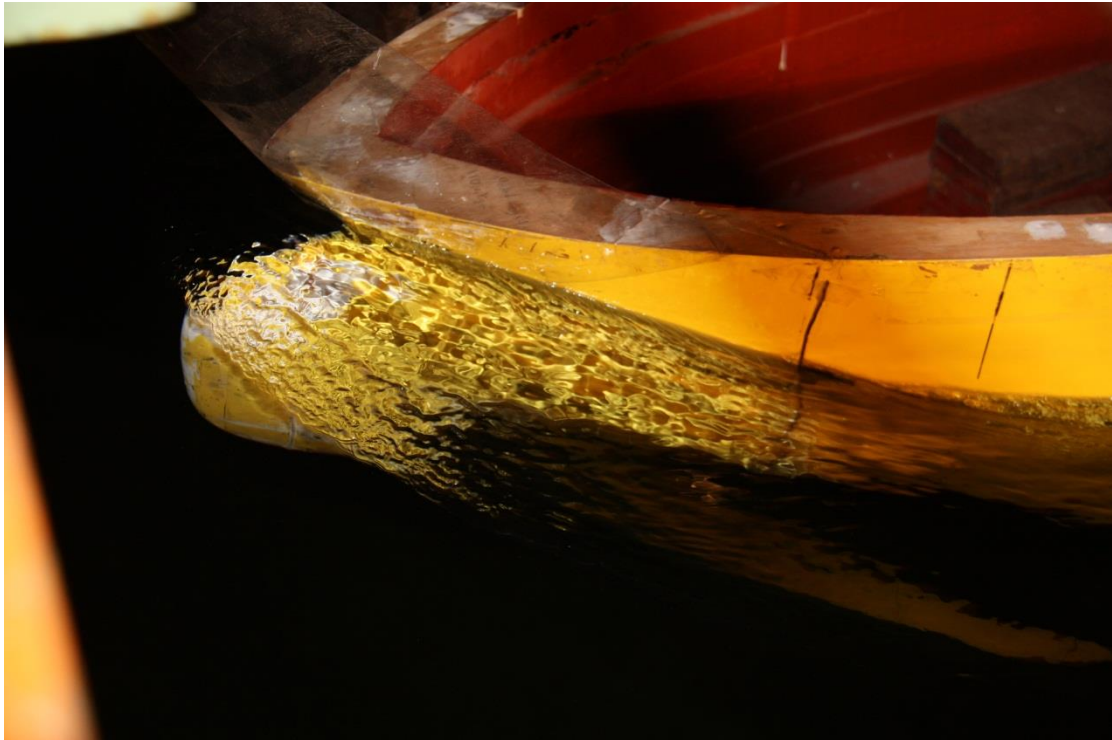




Με χρήση του προγράμματος Resout υπολογίσαμε τους συντελεστές αντίστασης τριβής C_f , υπόλοιπης αντίστασης C_R και ολικής αντίστασης C_T και στη συνέχεια δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα:







Εικόνα : Ροή στην πλώρη για $F_n=0,17$

- **Γυαλόχαρτο Νο.80 σε όλο το μοντέλο**

Για την κατάσταση με το γυαλόχαρτο Νο.80 οι μετρήσεις είναι οι ακόλουθες:

Speed	Resistance		Pitch		Heave	
0	0,013		1,125		7,1	
0,518	0,158	0,145	1,124	-0,001	7,113	0,013
0	0,015		1,125		7,101	
0,598	0,198	0,183	1,117	-0,008	7,123	0,022
0	0,016		1,121		7,1	
0,696	0,266	0,25	1,112	-0,009	7,131	0,031
0	0,017		1,118		7,103	
0,772	0,323	0,306	1,106	-0,012	7,145	0,042
0	0,018		1,112		7,103	
0,857	0,403	0,385	1,097	-0,015	7,161	0,058
0	0,015		1,124		7,1	
0,945	0,502	0,487	1,101	-0,023	7,175	0,075
0	0,019		1,115		7,103	
1,045	0,619	0,6	1,085	-0,03	7,202	0,099
0	0,017		1,114		7,102	
1,118	0,722	0,705	1,076	-0,038	7,221	0,119
0	0,016		1,121		7,101	

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

1,203	0,87	0,854	1,078	-0,043	7,242	0,141
0	0,017		1,12		7,101	
1,218	0,901	0,884	1,074	-0,046	7,249	0,148
0	0,019		1,114		7,103	
1,289	1,047	1,028	1,061	-0,053	7,271	0,168
0	0,018		1,113		7,102	
1,38	1,306	1,288	1,05	-0,063	7,303	0,201
0	0,018		1,118		7,102	
1,465	1,655	1,637	1,047	-0,071	7,327	0,225
Επαναληπτικές μετρήσεις						
0	0,019		1,11		7,104	
0,517	0,163	0,144	1,109	-0,001	7,115	0,011

Με τη χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς οι οποίες στις συγκεκριμένες μετρήσεις ήταν:

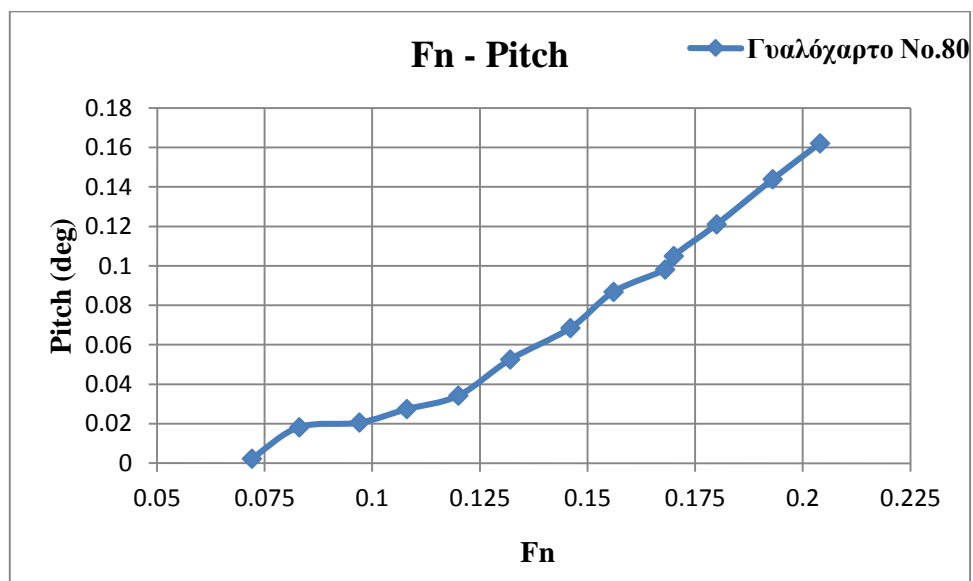
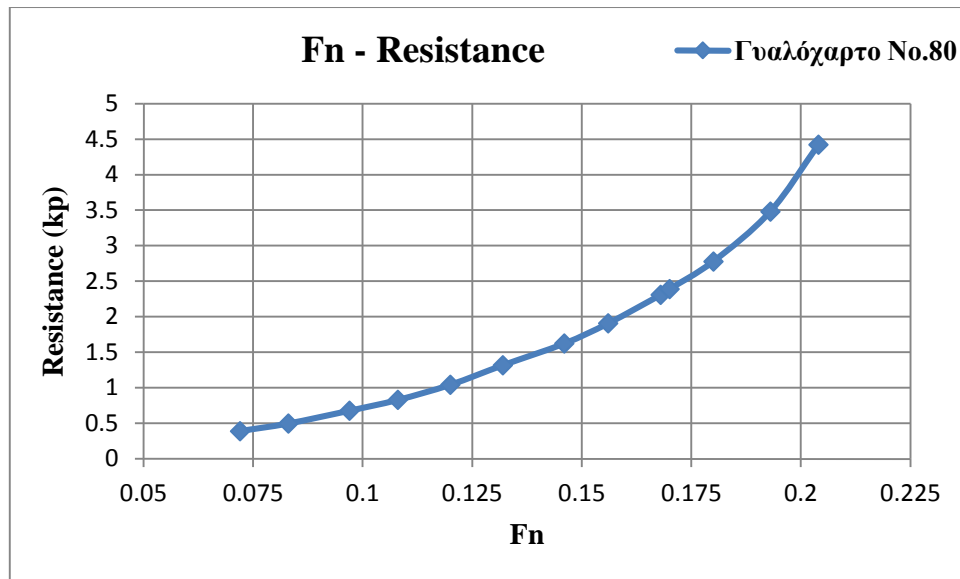
- Resistance : $y = 2,7012x - 0,0269$
- Pitch : $y = -2,2845x + 2,5264$
- Heave : $y = -4,5203 + 23,813$

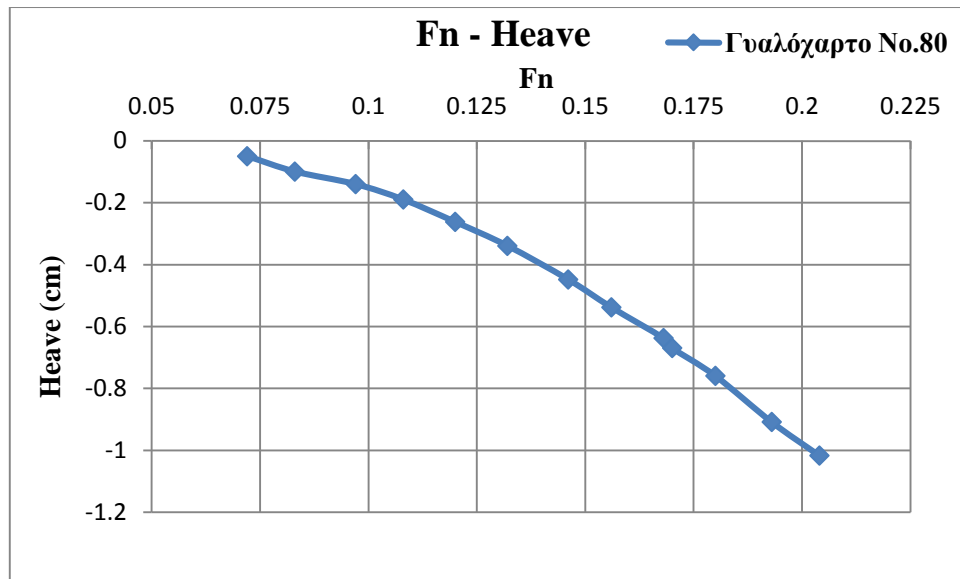
Υπολογίσαμε τις πραγματικές τιμές, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Speed (m/s)	Froude Number	Resistance (kp)	Pitch (deg)	Heave (cm)
0,517	0,072	0,3889728	0,0022845	-0,0497233
0,598	0,083	0,4943196	0,018276	-0,0994466
0,696	0,097	0,6753	0,0205605	-0,1401293
0,772	0,108	0,8265672	0,027414	-0,1898526
0,857	0,12	1,039962	0,0342675	-0,2621774
0,945	0,132	1,3154844	0,0525435	-0,3390225
1,045	0,146	1,62072	0,068535	-0,4475097
1,118	0,156	1,904346	0,086811	-0,5379157
1,203	0,168	2,3068248	0,0982335	-0,6373623
1,218	0,17	2,3878608	0,105087	-0,6690044
1,289	0,18	2,7768336	0,1210785	-0,7594104
1,38	0,193	3,4791456	0,1439235	-0,9085803
1,465	0,204	4,4218644	0,1621995	-1,0170675

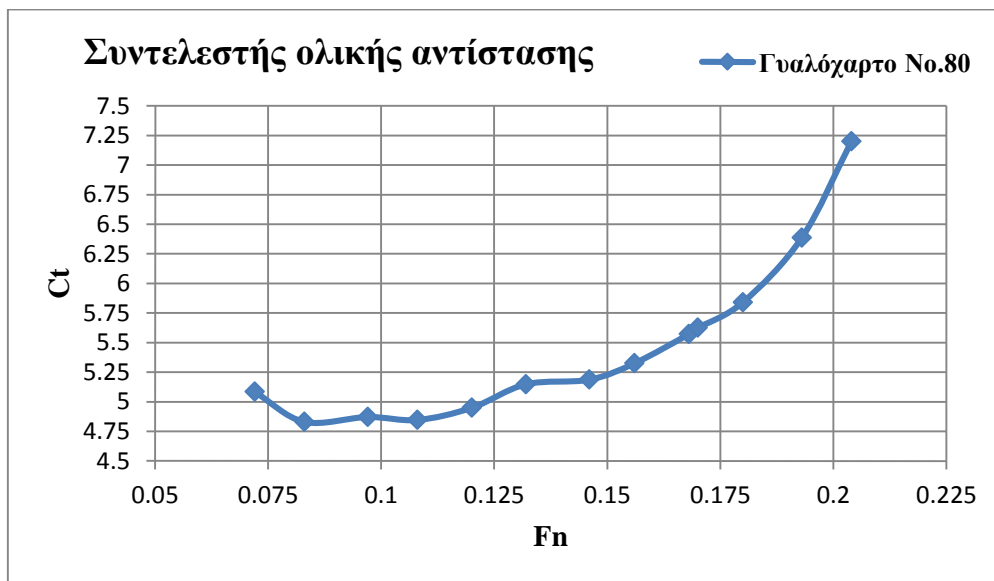
Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν 17,5° C.

Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

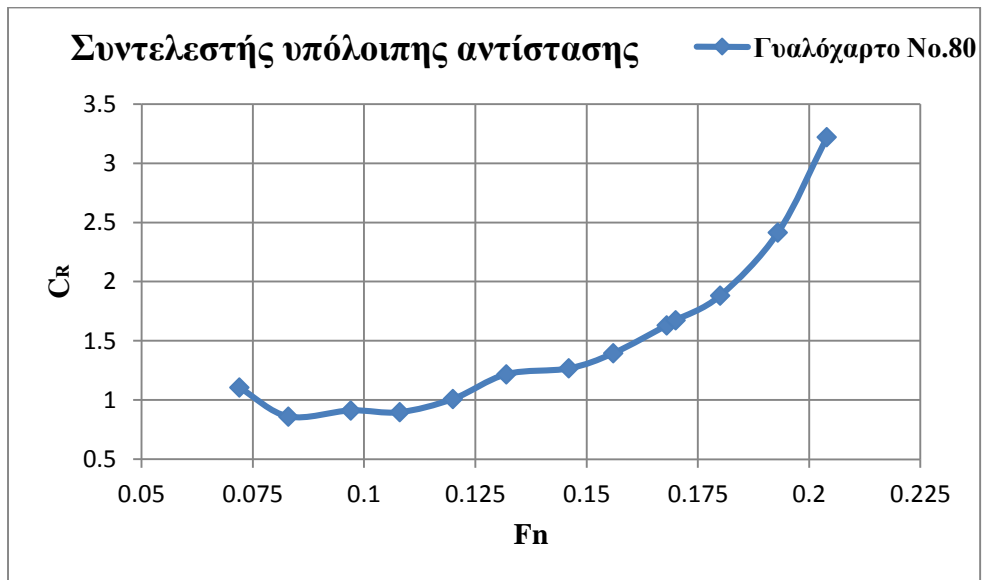
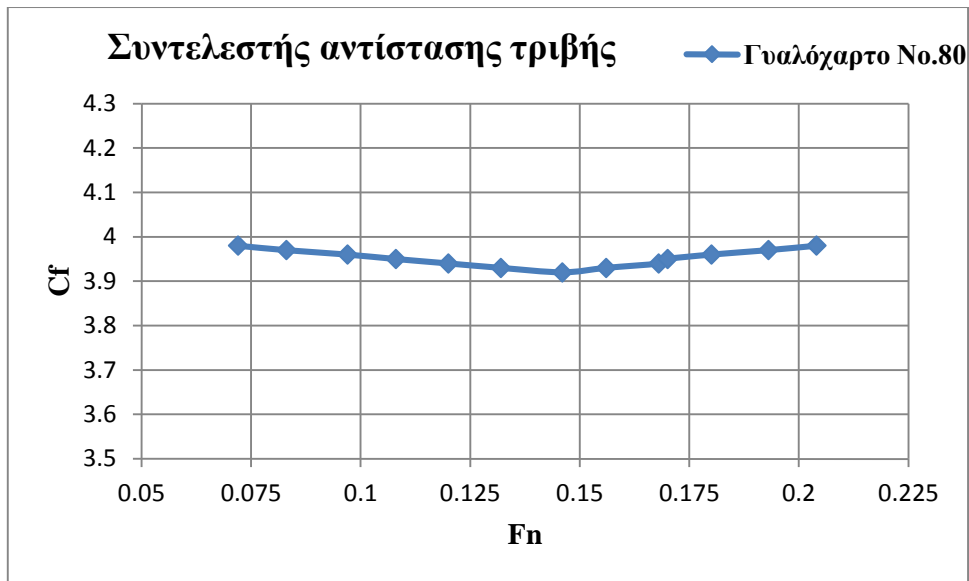




Με χρήση του προγράμματος Resout υπολογίσαμε τον συντελεστή ολικής αντίστασης C_T και στη συνέχεια δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα



Λόγω της ύπαρξης της τραχύτητας δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός των συντελεστών τριβής και υπόλοιπης αντίστασης. Γι'αυτό τον λόγο χρησιμοποιούμε και εδώ το διάγραμμα συντελεστή τριβής για τραχείες πλάκες σαν συνάρτηση του αριθμού Reynolds και του μεγέθους L/K_s , όπου L το μήκος του μοντέλου και K_s το μέγεθος του κόκκου του γυαλόχαρτου. Το παραπάνω διάγραμμα καθώς και τα μεγέθη των κόκκων επισυνάπτονται στο παράρτημα. Ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης προκύπτει ως η διαφορά του συντελεστή ολικής αντίστασης και του συντελεστή τριβής που προέκυψε από το διάγραμμα. Παρακάτω δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα.



Στη συνέχεια παρατίθενται φωτογραφίες από τα πειράματα:



Εικόνα : Ροή στην πρύμνη για $Fn=0,146$



Εικόνα : Ροή στην πρύμνη για $Fn=0,17$



Εικόνα : Ροή στην πλώρη για $F_n=0,17$



Εικόνα : Ροή στην πρύμνη για $F_n=0,193$

• **Γυαλόγαρτο Νο.80 με γυμνό Flat of Bottom (FOB)**

Η επιφάνεια του Flat of Bottom που έμεινε γυμνή είναι 2,215 m². Για την κατάσταση αυτή οι μετρήσεις είναι οι ακόλουθες:

Speed	Resistance		Pitch		Heave	
0	0,015		1,151		7,152	
0,517	0,16	0,145	1,148	-0,003	7,164	0,012
0	0,017		1,149		7,151	
0,598	0,197	0,18	1,142	-0,007	7,171	0,02
0	0,017		1,147		7,153	
0,697	0,259	0,242	1,139	-0,008	7,183	0,03
0	0,016		1,143		7,152	
0,773	0,319	0,303	1,132	-0,011	7,199	0,047
0	0,018		1,142		7,154	
0,857	0,392	0,374	1,126	-0,016	7,215	0,061
0	0,017		1,142		7,154	
0,945	0,481	0,464	1,12	-0,022	7,232	0,078
0	0,018		1,142		7,154	
1,045	0,608	0,59	1,113	-0,029	7,257	0,103
0	0,018		1,142		7,154	
1,118	0,696	0,678	1,107	-0,035	7,275	0,121
0	0,015		1,148		7,15	
1,204	0,833	0,818	1,105	-0,043	7,293	0,143
0	0,017		1,147		7,151	
1,222	0,868	0,851	1,101	-0,046	7,295	0,144
0	0,019		1,144		7,154	
1,291	1,004	0,985	1,092	-0,052	7,321	0,167
0	0,018		1,142		7,154	
1,381	1,241	1,223	1,083	-0,059	7,353	0,199
0	0,018		1,142		7,155	
1,461	1,57	1,552	1,074	-0,068	7,386	0,231

Με τη χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς οι οποίες στις συγκεκριμένες μετρήσεις ήταν:

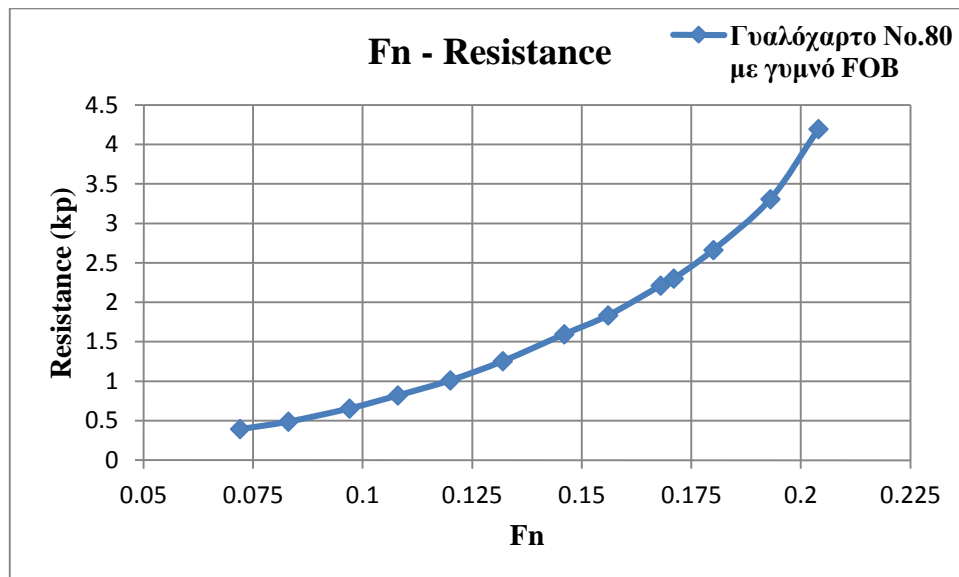
- Resistance : $y = 2,7041x - 0,0398$
- Pitch : $y = -2,2845x + 2,5264$
- Heave : $y = -4,5203 + 23,813$

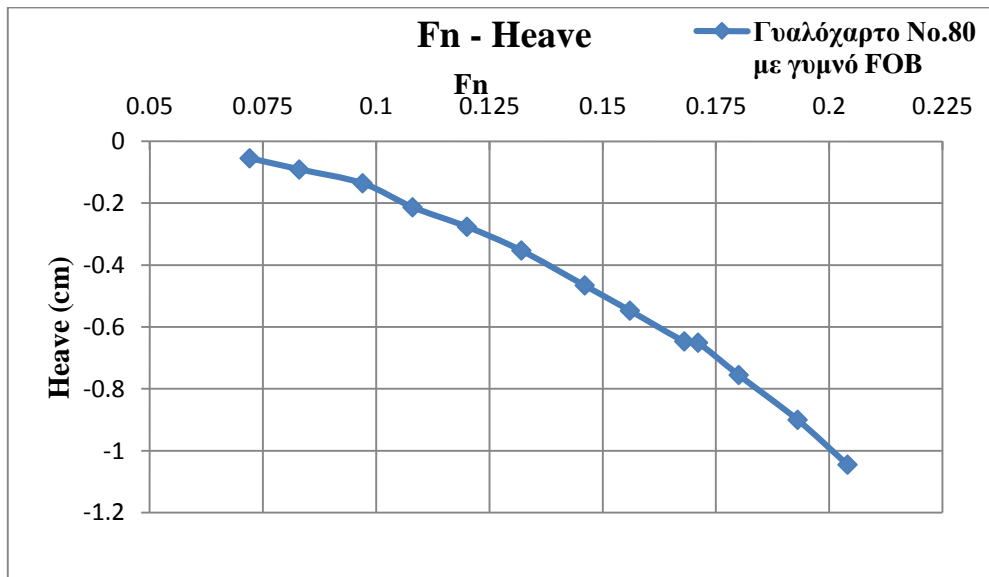
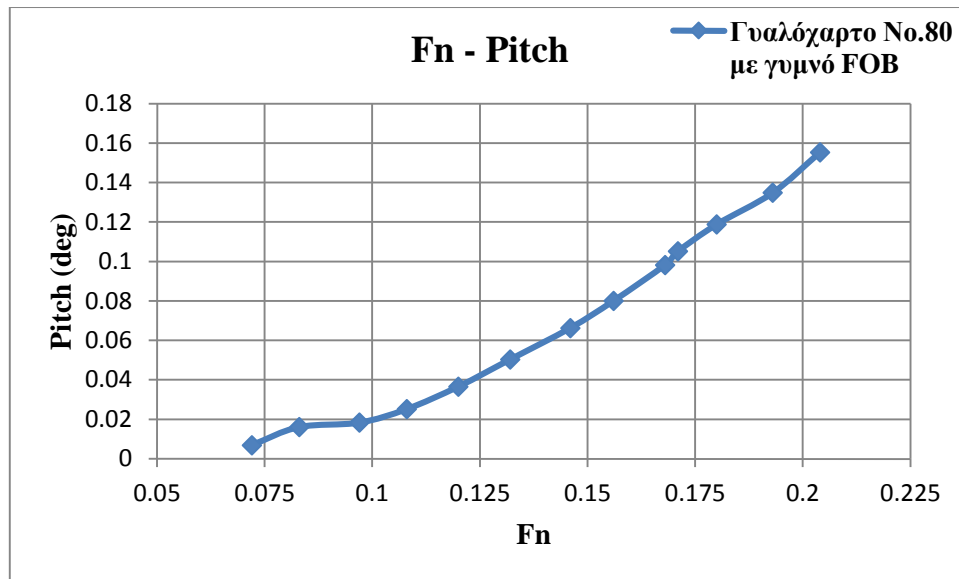
Υπολογίσαμε τις πραγματικές τιμές, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Speed (m/s)	Froude Number	Resistance (kp)	Pitch (deg)	Heave (cm)
0,517	0,072	0,3920945	0,0068535	-0,0542436
0,598	0,083	0,486738	0,0159915	-0,090406
0,697	0,097	0,6543922	0,018276	-0,135609
0,773	0,108	0,8193423	0,0251295	-0,2124541
0,857	0,12	1,0113334	0,036552	-0,2757383
0,945	0,132	1,2547024	0,050259	-0,3525834
1,045	0,146	1,595419	0,0662505	-0,4655909
1,118	0,156	1,8333798	0,0799575	-0,5469563
1,204	0,168	2,2119538	0,0982335	-0,6464029
1,222	0,171	2,3011891	0,105087	-0,6509232
1,291	0,18	2,6635385	0,118794	-0,7548901
1,381	0,193	3,3071143	0,1347855	-0,8995397
1,461	0,204	4,1967632	0,155346	-1,0441893

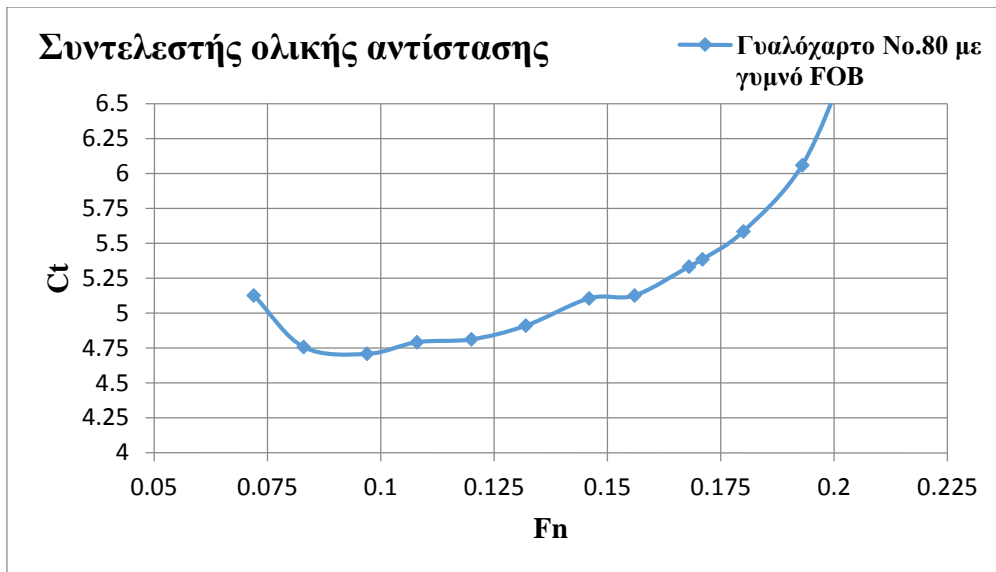
Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν 18,3° C.

Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.





Με χρήση του προγράμματος Resout υπολογίσαμε τον συντελεστή ολικής αντίστασης C_T και στη συνέχεια δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα:



Επειδή στα συγκεκριμένα πειράματα η τραχύτητα δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκταση του μοντέλου, δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός του συντελεστή αντίστασης τριβής C_f και του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης C_R .

- **Γυαλόχαρτο No.40 σε όλο το μοντέλο**

Για την κατάσταση με το γυαλόχαρτο No.40 οι μετρήσεις είναι οι ακόλουθες:

Speed	Resistance		Pitch		Heave	
0	-0,009		1,046		7,379	
0,517	0,16	0,169	1,048	0,002	7,391	0,012
0	-0,007		1,041		7,383	
0,598	0,215	0,222	1,041	0	7,398	0,015
0	-0,007		1,041		7,381	
0,697	0,315	0,322	1,037	-0,004	7,412	0,031
0	-0,006		1,041		7,381	
0,773	0,392	0,398	1,033	-0,008	7,425	0,044
0	-0,005		1,04		7,381	
0,858	0,489	0,494	1,025	-0,015	7,437	0,056
0	-0,006		1,046		7,383	
0,945	0,613	0,619	1,024	-0,022	7,459	0,076
0	-0,005		1,046		7,38	
1,046	0,775	0,78	1,022	-0,024	7,482	0,102
0	-0,005		1,046		7,381	
1,117	0,89	0,895	1,009	-0,037	7,497	0,116
0	-0,009		1,043		7,382	
1,202	1,026	1,035	1,004	-0,039	7,515	0,133
0	-0,007		1,041		7,38	
1,216	1,066	1,073	1,001	-0,04	7,52	0,14
0	-0,007		1,043		7,38	
1,289	1,26	1,267	0,994	-0,049	7,545	0,165
0	-0,006		1,041		7,381	

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

1,38	1,547	1,553	0,983	-0,058	7,576	0,195
0	-0,005		1,04		7,384	
1,46	1,905	1,91	0,975	-0,065	7,605	0,221
Επαναληπτικές μετρήσεις						
0	-0,002		1,038		7,383	
1,044	0,763	0,765	1,009	-0,029	7,48	0,097
0	0		1,04		7,385	
1,117	0,884	0,884	1,006	-0,034	7,5	0,115

Με τη χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς οι οποίες στις συγκεκριμένες μετρήσεις ήταν:

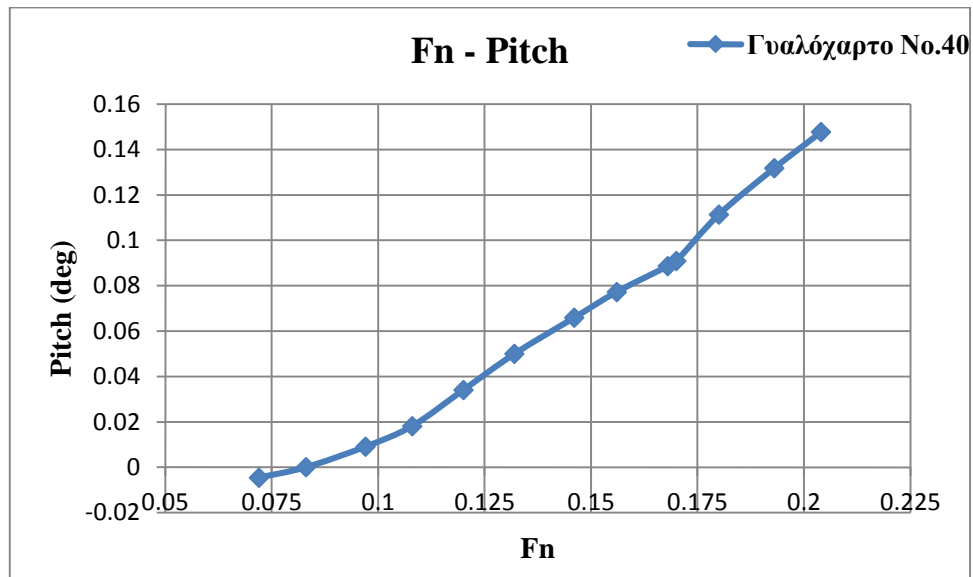
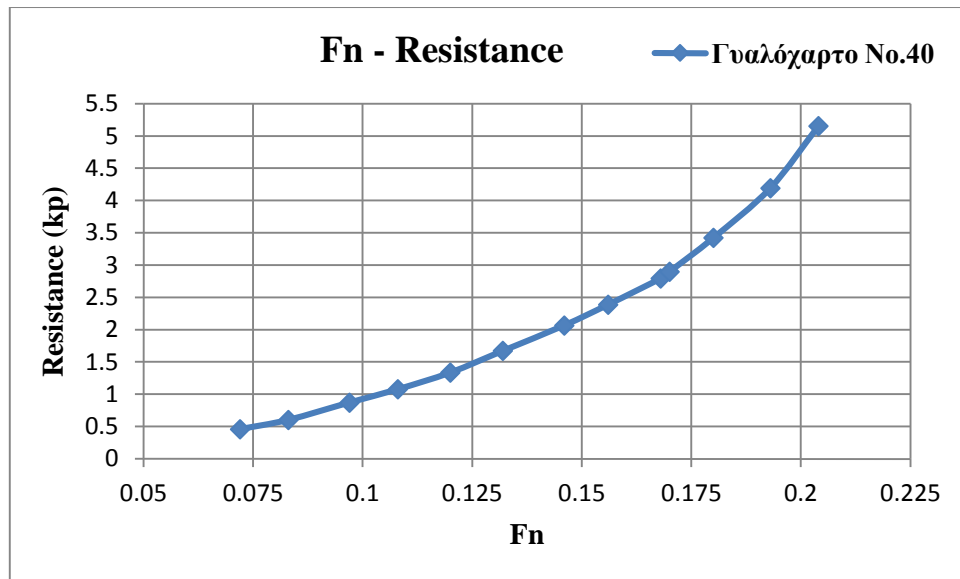
- Resistance : $y = 2,698x - 0,0084$
- Pitch : $y = -2,2715x + 2,3222$
- Heave : $y = -4,5292 + 24,901$

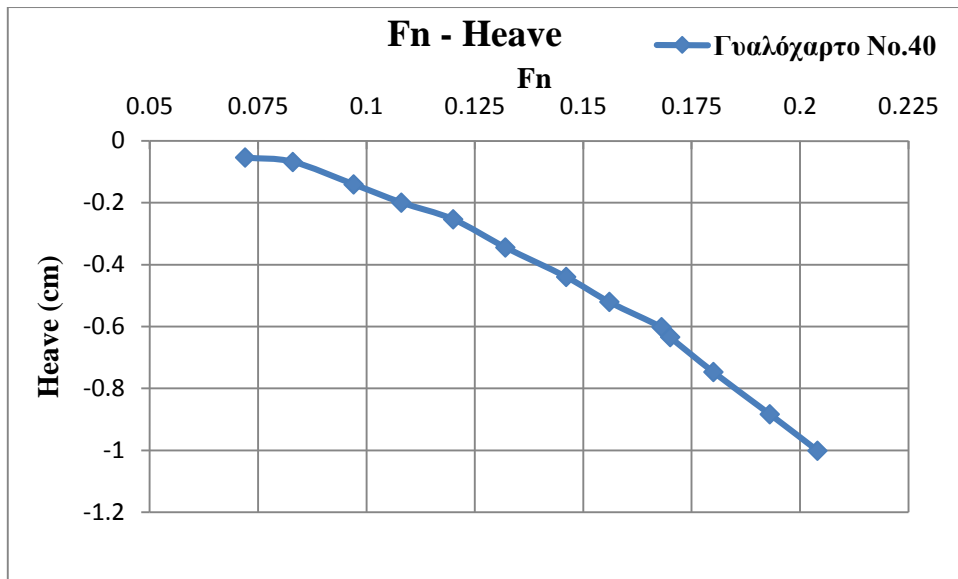
Υπολογίσαμε τις πραγματικές τιμές, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Speed (m/s)	Froude Number	Resistance (kp)	Pitch (deg)	Heave (cm)
0,517	0,072	0,455962	-0,004543	-0,0543504
0,598	0,083	0,598956	0	-0,067938
0,697	0,097	0,868756	0,009086	-0,1404052
0,773	0,108	1,073804	0,018172	-0,1992848
0,858	0,12	1,332812	0,0340725	-0,2536352
0,945	0,132	1,670062	0,049973	-0,3442192
1,044	0,146	2,06397	0,0658735	-0,4393324
1,117	0,156	2,385032	0,077231	-0,520858
1,202	0,168	2,79243	0,0885885	-0,6023836
1,216	0,17	2,894954	0,09086	-0,634088
1,289	0,18	3,418366	0,1113035	-0,747318
1,38	0,193	4,189994	0,131747	-0,883194
1,46	0,204	5,15318	0,1476475	-1,0009532

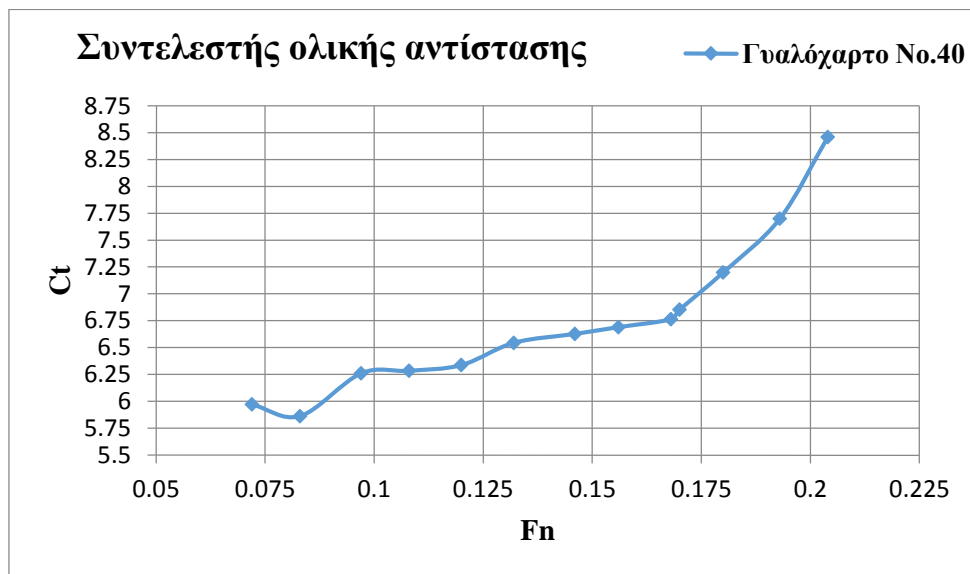
Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν 23,3° C.

Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

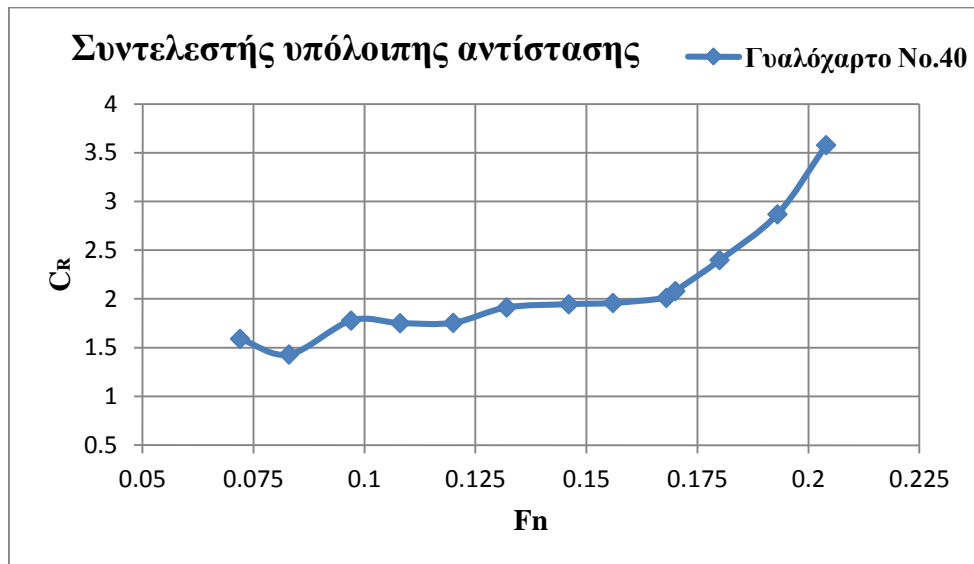
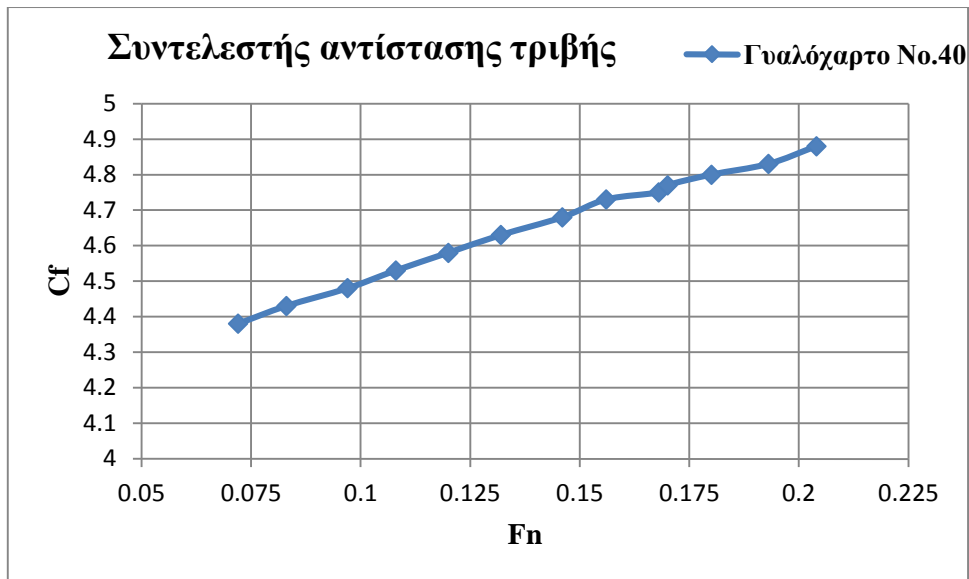




Με χρήση του προγράμματος Resout υπολογίσαμε τον συντελεστή ολικής αντίστασης C_T και στη συνέχεια δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα:



Λόγω της ύπαρξης της τραχύτητας δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός των συντελεστών τριβής και υπόλοιπης αντίστασης. Γι'αυτό τον λόγο χρησιμοποιούμε και εδώ το διάγραμμα συντελεστή τριβής για τραχείες πλάκες σαν συνάρτηση του αριθμού Reynolds και του μεγέθους L/K_s , όπου L το μήκος του μοντέλου και K_s το μέγεθος του κόκκου του γυαλόχαρτου. Το παραπάνω διάγραμμα καθώς και τα μεγέθη των κόκκων επισυνάπτονται στο παράρτημα. Ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης προκύπτει ως η διαφορά του συντελεστή ολικής αντίστασης και του συντελεστή τριβής που προέκυψε από το διάγραμμα. Παρακάτω δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα.



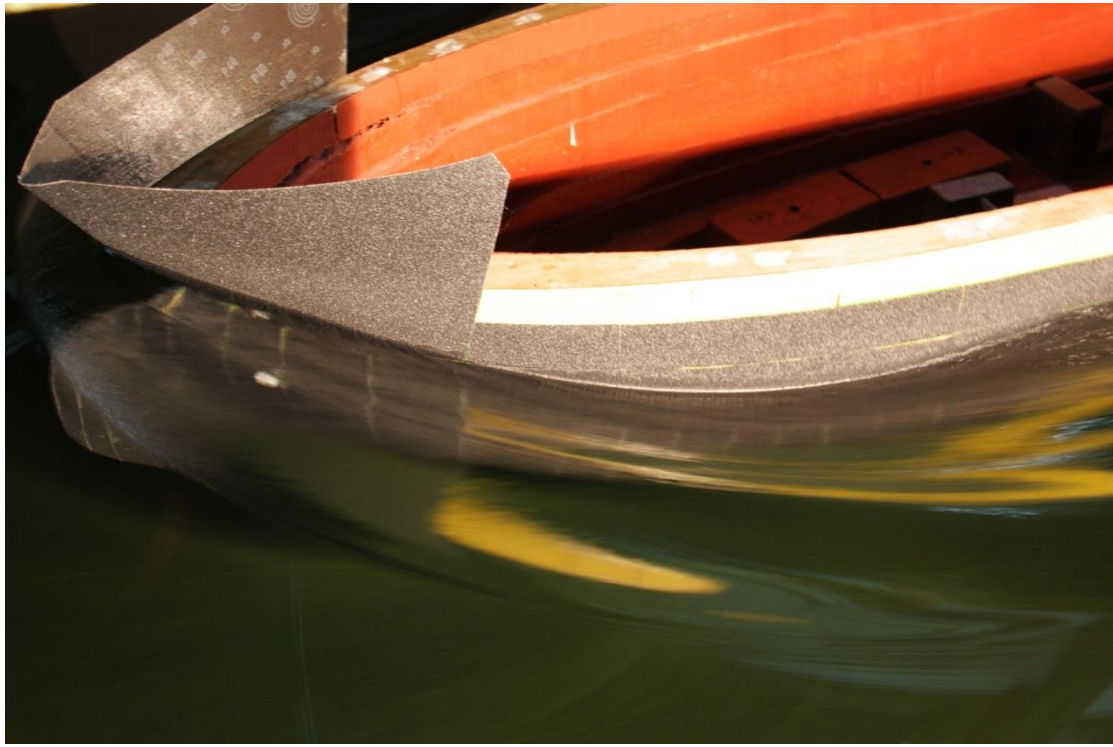
Στη συνέχεια παρατίθενται φωτογραφίες από τα πειράματα:



Εικόνα : Ροή στην πρόμνη για $F_n=0,146$



Εικόνα : Ροή στην πρόμνη για $F_n=0,17$



Εικόνα : Ροή στην πλώρη για $F_n=0,17$



Εικόνα : Ροή στην πρύμνη για $F_n=0,193$

• **Γυαλόχαρτο No.40 στο Flat of Bottom**

Η επιφάνεια του Flat of Bottom που καλύφθηκε με γυαλόχαρτο No.40 είναι 2,215 m².
Για την κατάσταση αυτή οι μετρήσεις είναι οι ακόλουθες:

Speed	Resistance		Pitch		Heave	
0	0,011		1,152		7,238	
0,517	0,155	0,144	1,157	0,005	7,252	0,014
0	0,015		1,152		7,245	
0,598	0,202	0,187	1,152	0	7,263	0,018
0	0,016		1,152		7,244	
0,697	0,275	0,259	1,147	-0,005	7,276	0,032
0	0,016		1,151		7,245	
0,774	0,331	0,315	1,141	-0,01	7,289	0,044
0	0,017		1,151		7,245	
0,857	0,402	0,385	1,136	-0,015	7,304	0,059
0	0,019		1,149		7,246	
0,944	0,491	0,472	1,128	-0,021	7,321	0,075
0	0,016		1,15		7,247	
1,043	0,595	0,579	1,123	-0,027	7,345	0,098
0	0,013		1,154		7,242	
1,118	0,691	0,678	1,12	-0,034	7,357	0,115
0	0,015		1,153		7,244	
1,203	0,83	0,815	1,112	-0,041	7,387	0,143
0	0,015		1,152		7,244	
1,218	0,849	0,834	1,11	-0,042	7,39	0,146
0	0,016		1,15		7,246	
1,291	0,989	0,973	1,101	-0,049	7,411	0,165
0	0,016		1,15		7,245	
1,381	1,203	1,187	1,09	-0,06	7,442	0,197
0	0,017		1,15		7,247	
1,461	1,487	1,47	1,083	-0,067	7,475	0,228

Με τη χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς οι οποίες στις συγκεκριμένες μετρήσεις ήταν:

- Resistance : $y = 2,7008x - 0,0265$
- Pitch : $y = -2,28x + 2,4186$
- Heave : $y = -4,5581 + 24,694$

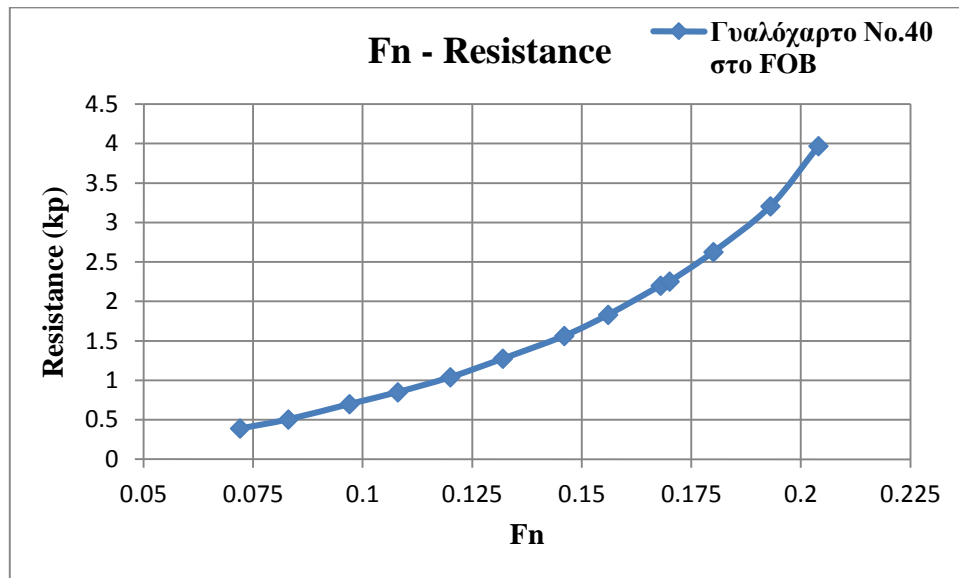
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

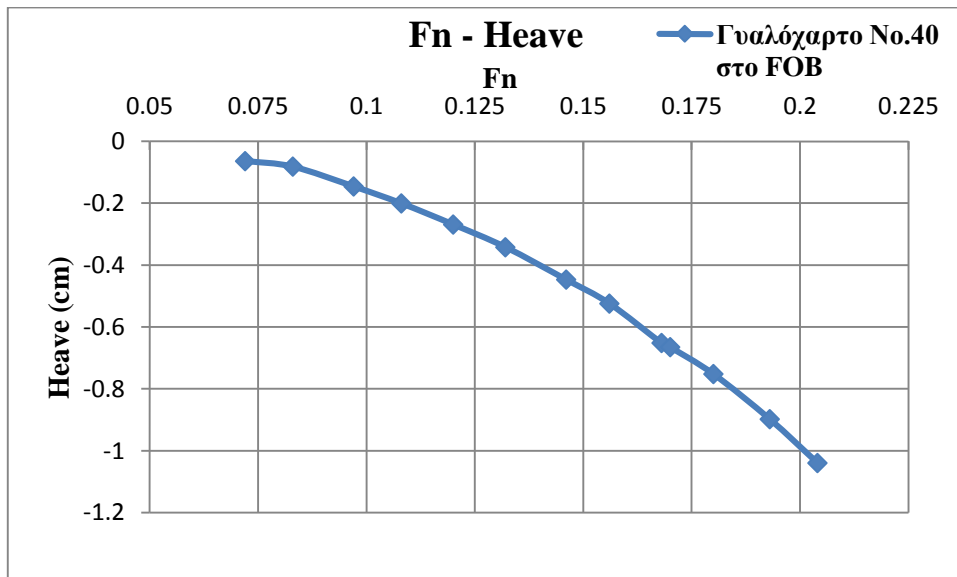
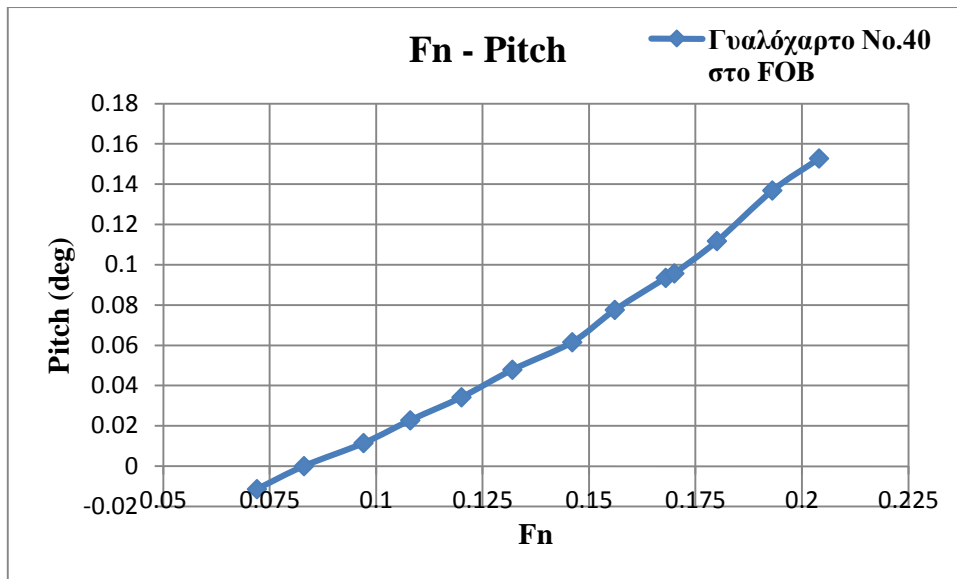
Υπολογίσαμε τις πραγματικές τιμές, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Speed (m/s)	Froude Number	Resistance (kp)	Pitch (deg)	Heave (cm)
0,517	0,072	0,3889152	-0,0114	-0,0638134
0,598	0,083	0,5050496	0	-0,0820458
0,697	0,097	0,6995072	0,0114	-0,1458592
0,774	0,108	0,850752	0,0228	-0,2005564
0,857	0,12	1,039808	0,0342	-0,2689279
0,944	0,132	1,2747776	0,04788	-0,3418575
1,043	0,146	1,5637632	0,06156	-0,4466938
1,118	0,156	1,8311424	0,07752	-0,5241815
1,203	0,168	2,201152	0,09348	-0,6518083
1,218	0,17	2,2524672	0,09576	-0,6654826
1,291	0,18	2,6278784	0,11172	-0,7520865
1,381	0,193	3,2058496	0,1368	-0,8979457
1,461	0,204	3,970176	0,15276	-1,0392468

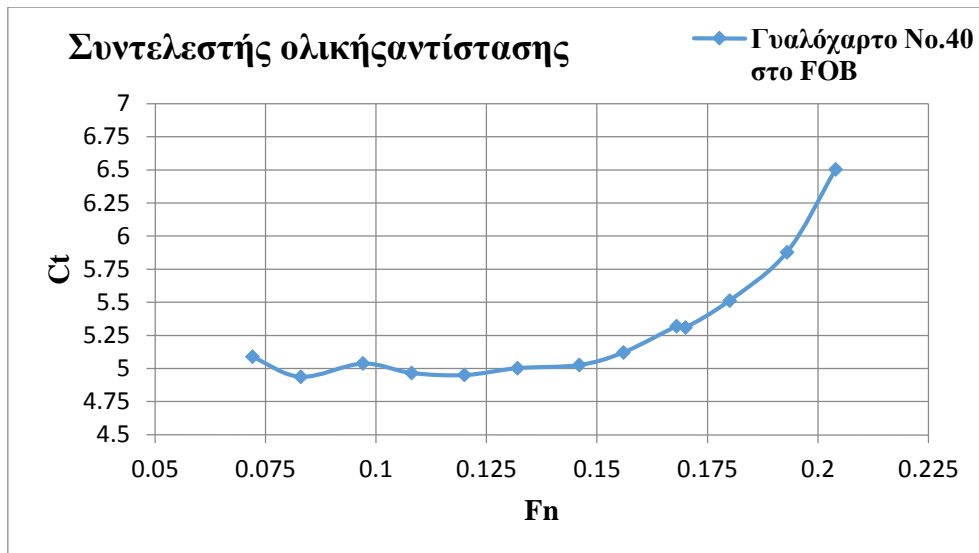
Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν 20,2° C.

Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.





Με χρήση του προγράμματος Resout υπολογίσαμε τον συντελεστή ολικής αντίστασης C_T και στη συνέχεια δίνονται γραφικά τα αποτελέσματα:



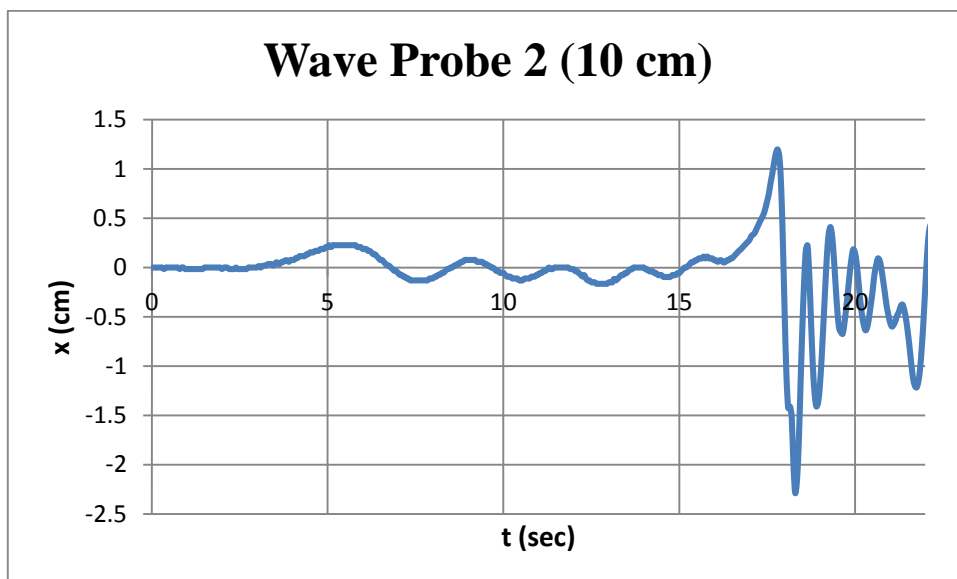
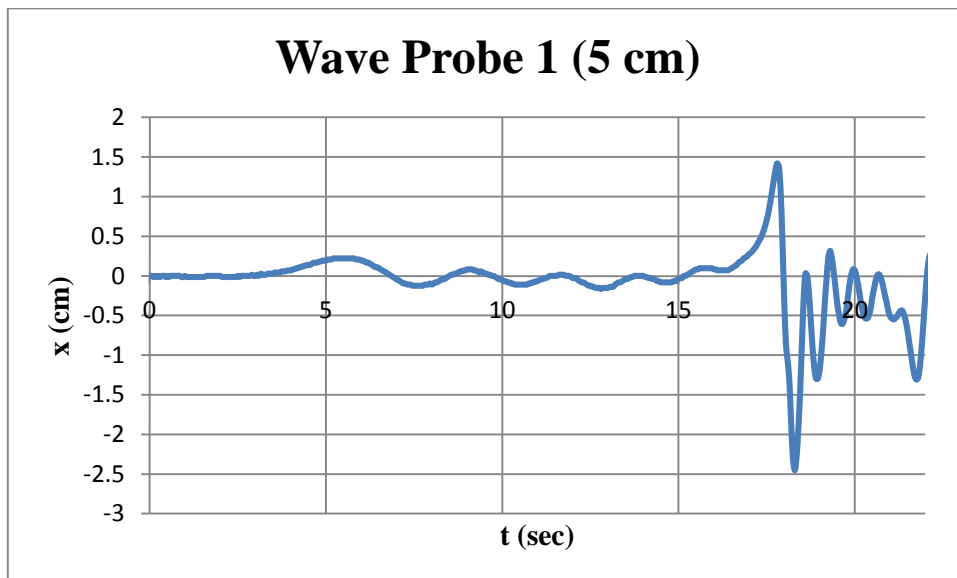
Επειδή στα συγκεκριμένα πειράματα η τραχύτητα δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκταση του μοντέλου, δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός του συντελεστή αντίστασης τριβής C_f και του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης C_R .

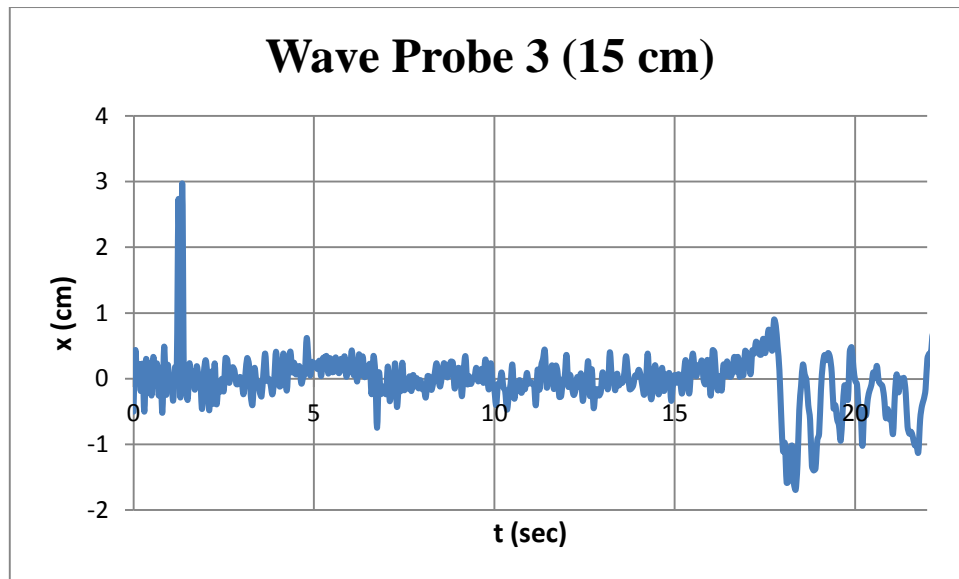
5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ WAVE CUTS

Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά, οι κυματομορφές που λήφθηκαν στις ταχύτητες $V = 1.075 \text{ m/s}, 1.117 \text{ m/s}, 1.218 \text{ m/s}$ και $1,433 \text{ m/s}$ για κάθενα από τα 3 wave probes τόσο για τα πειράματα γυμνής γάστρας όσο και για τα πειράματα όπου ντύσαμε το μοντέλο με τα γυαλόχαρτα No.80 και No.40 στην κατάσταση Full Load.

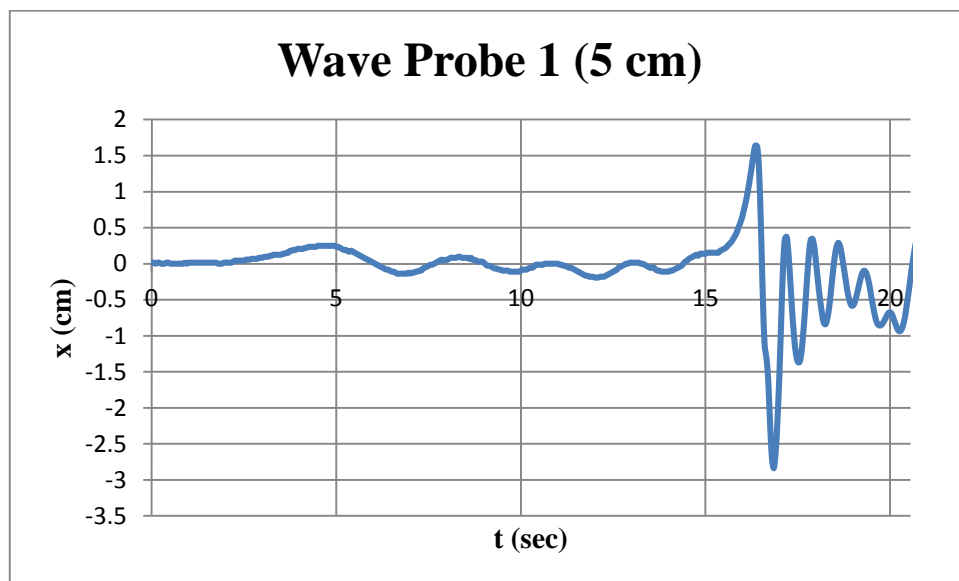
- **Γυμνή γάστρα**

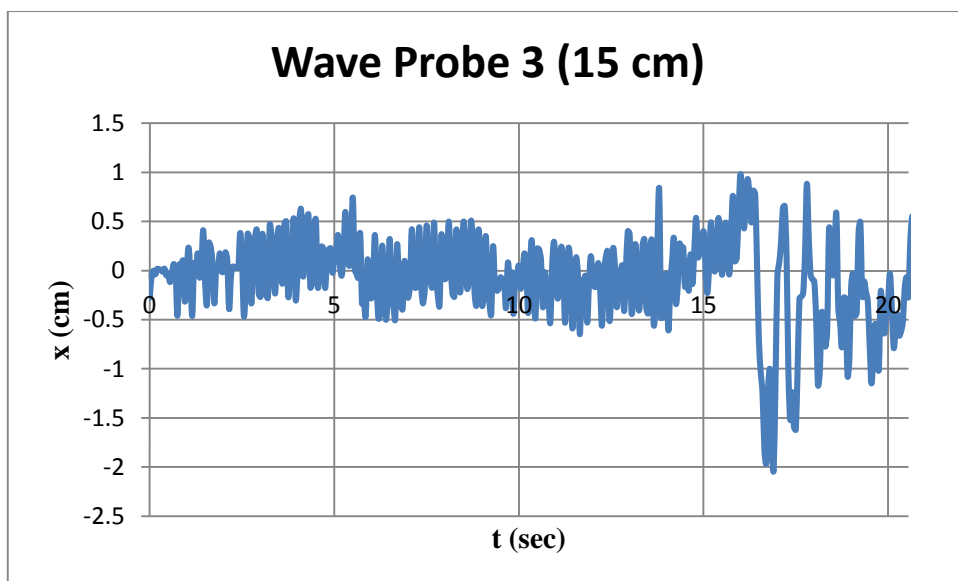
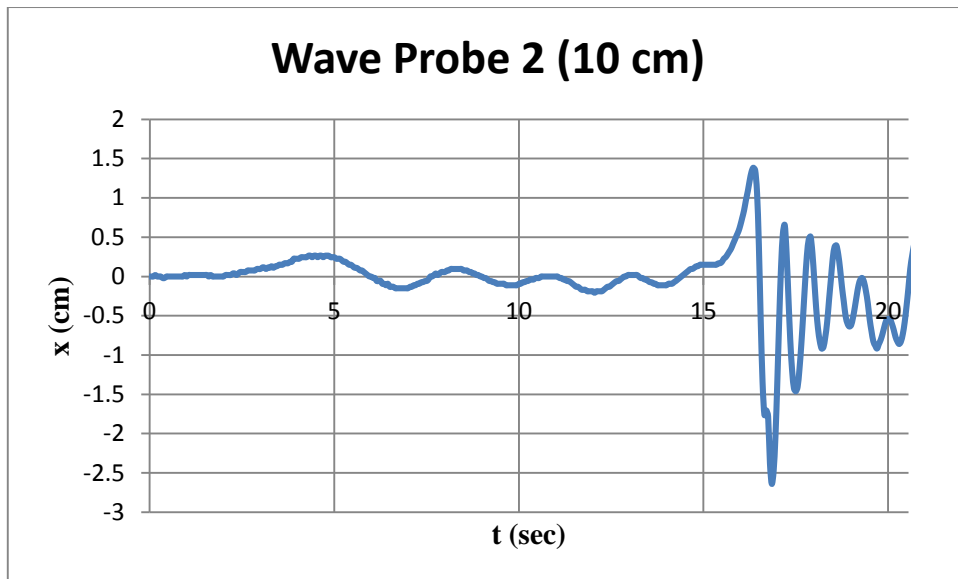
- Για ταχύτητα $V=1,075 \text{ m/s}$



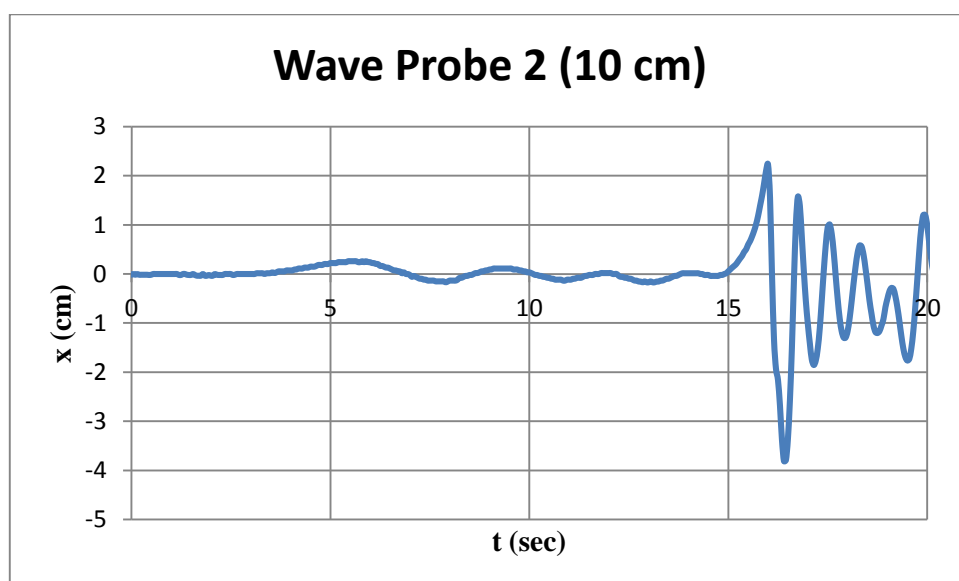
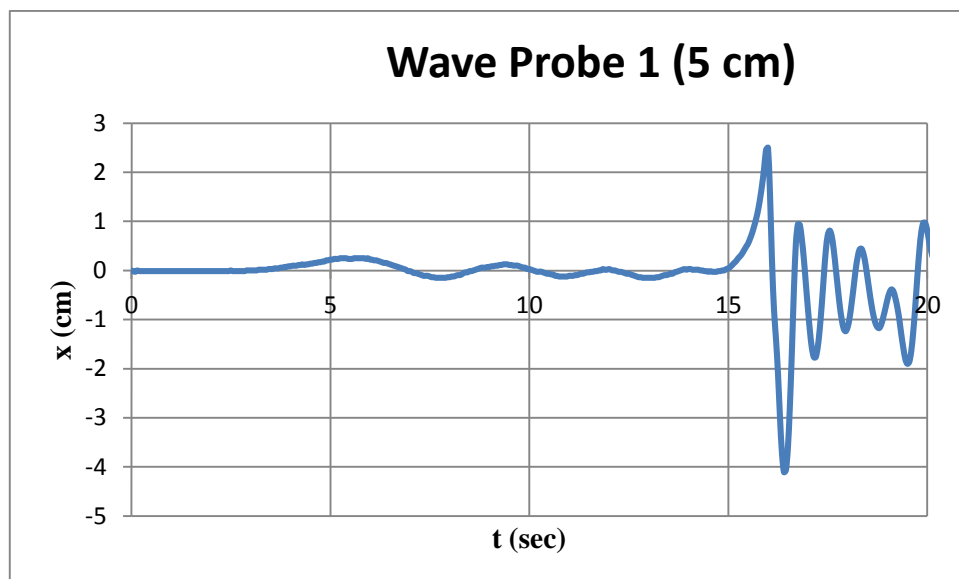


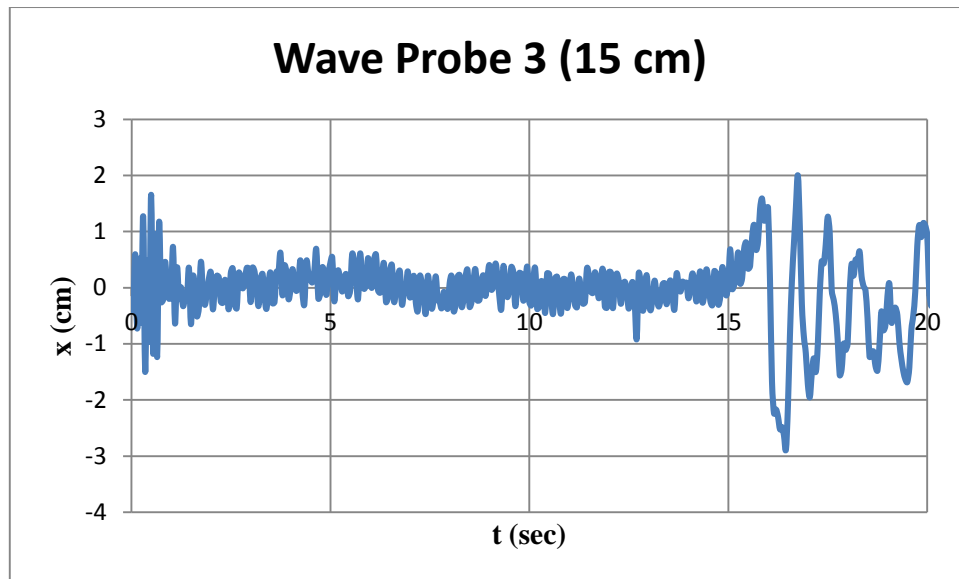
- Για ταχύτητα $V=1,117$ m/s



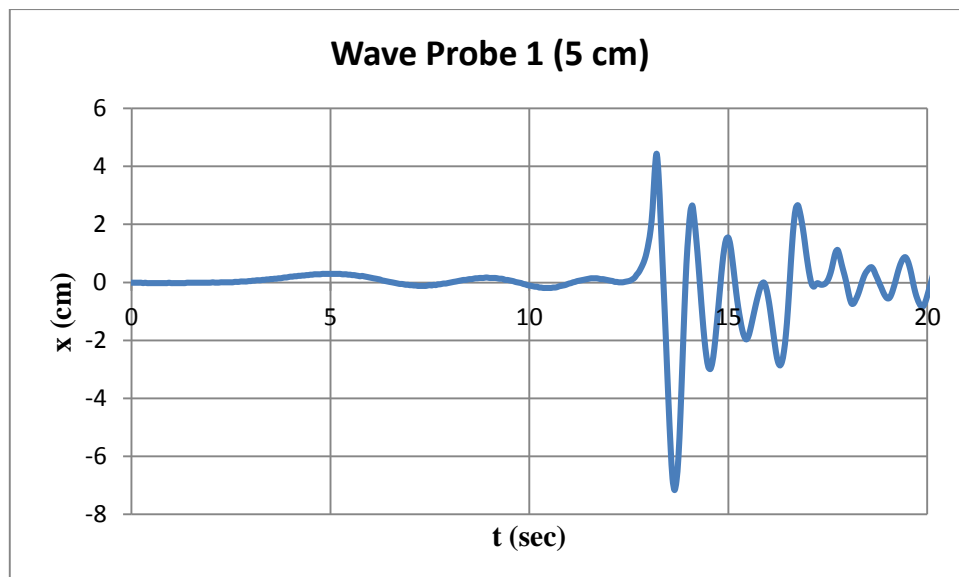


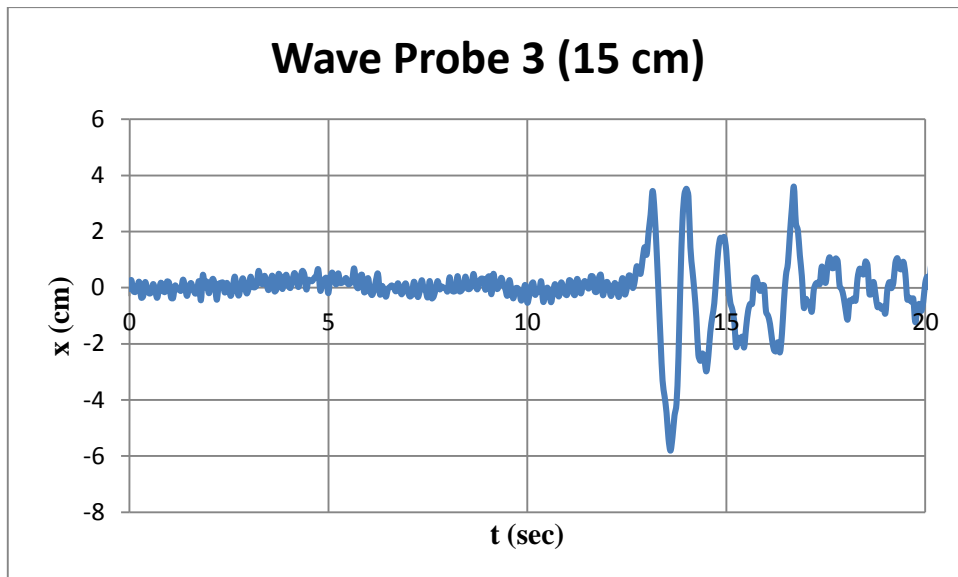
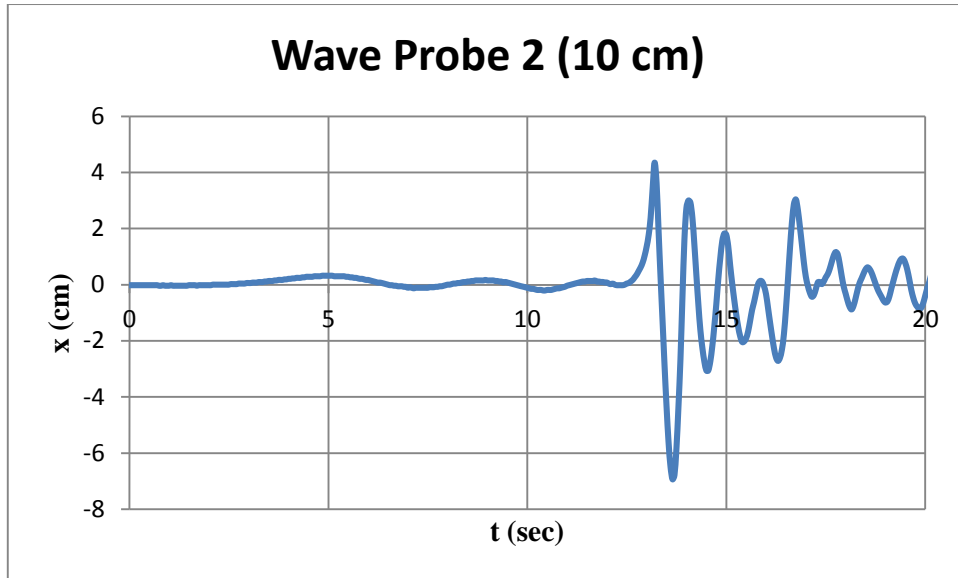
- Για ταχύτητα $V=1,218$ m/s





- Για ταχύτητα $V=1,433$ m/s

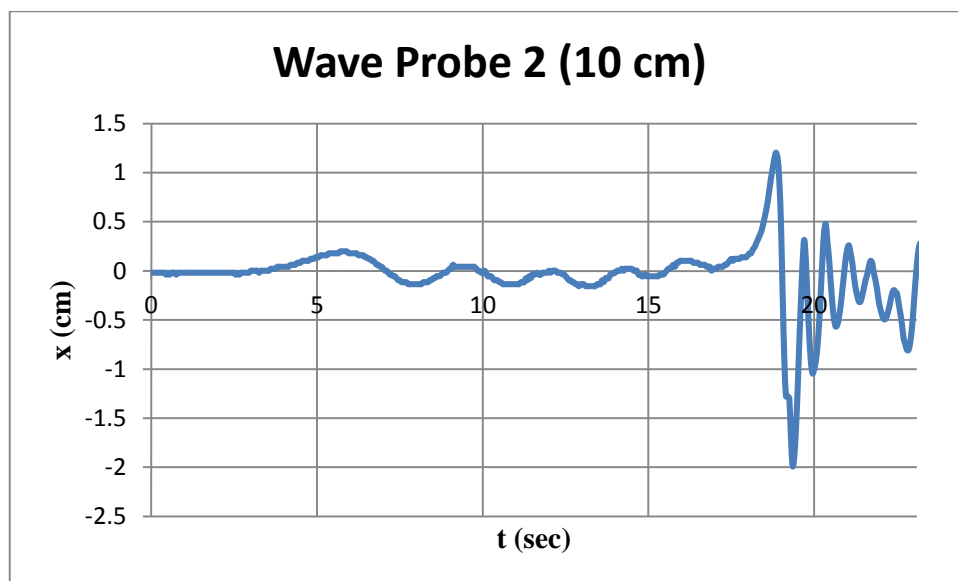
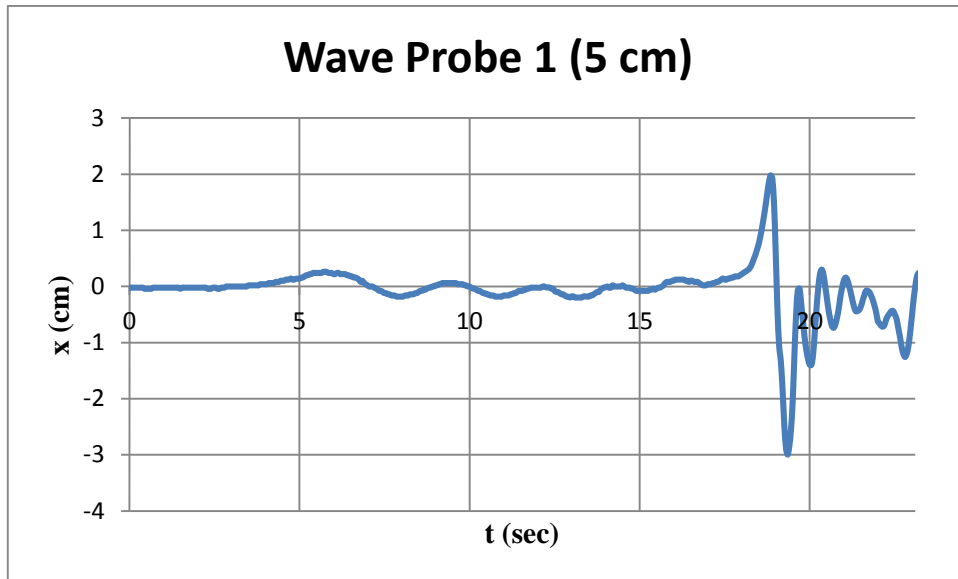


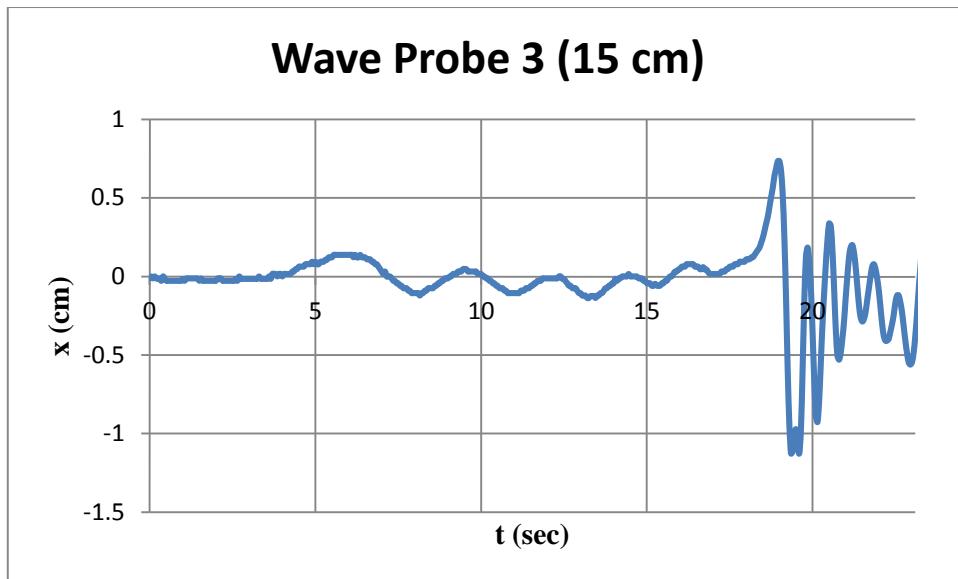


Να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι στα πειράματα στην παραπάνω κατάσταση δεν χρησιμοποιήθηκε φίλτρο στο wave probe 3 και γι' αυτό παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις.

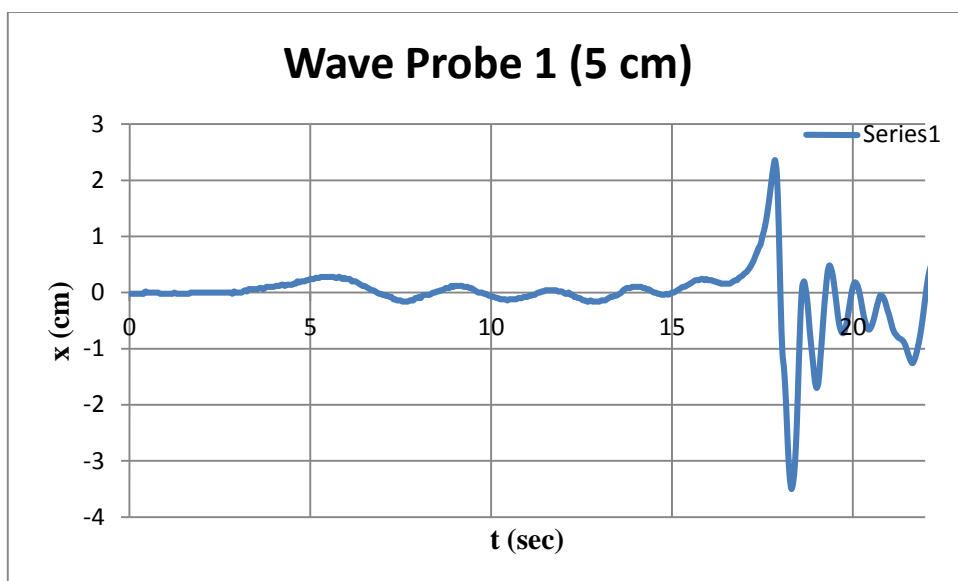
- **Γυαλόχαρτο Νο.80 σε όλο το μοντέλο**

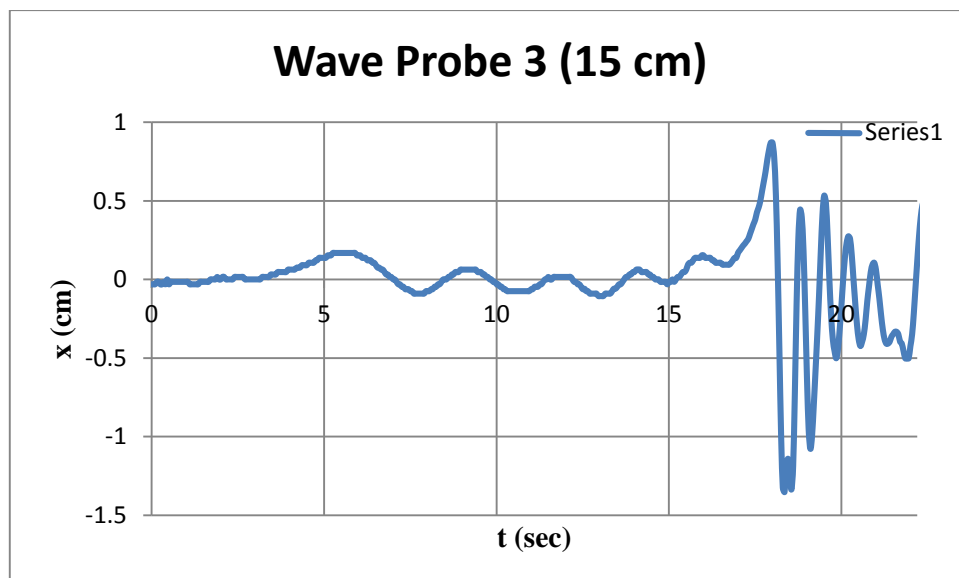
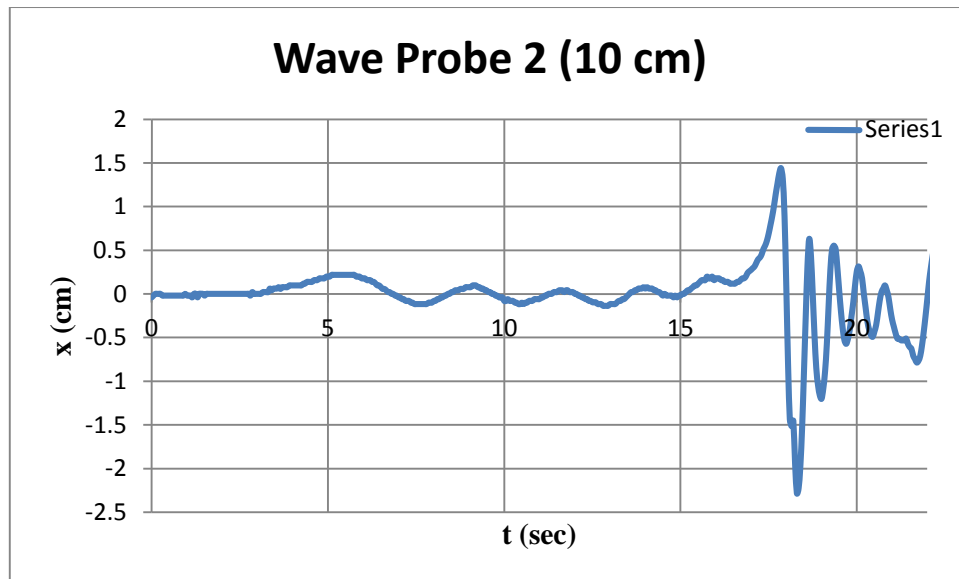
- Για ταχύτητα $V=1,075$ m/s



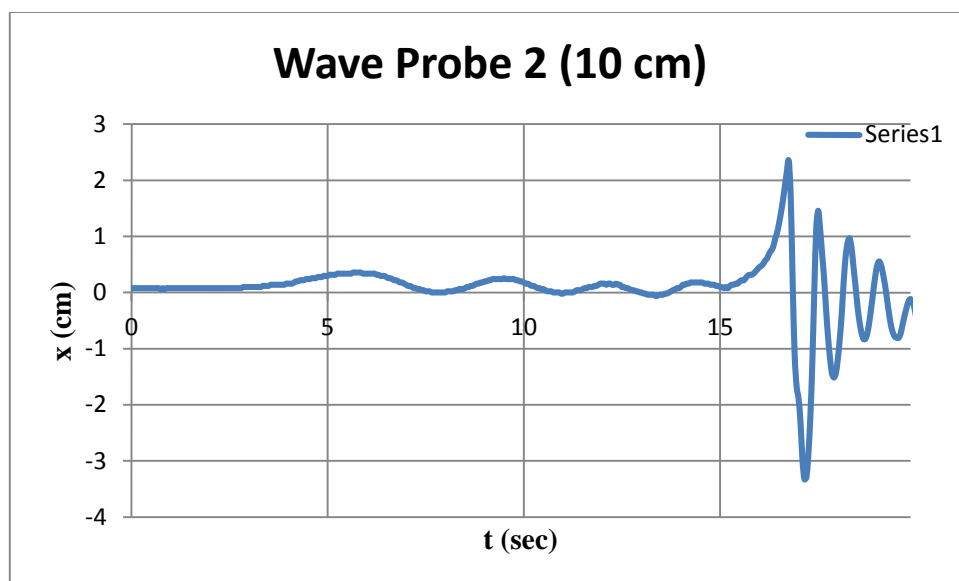
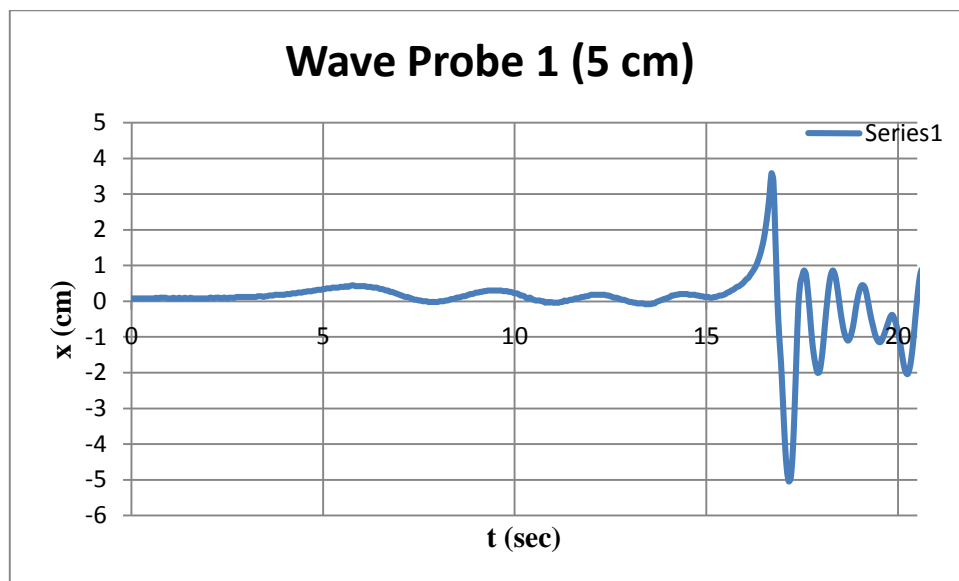


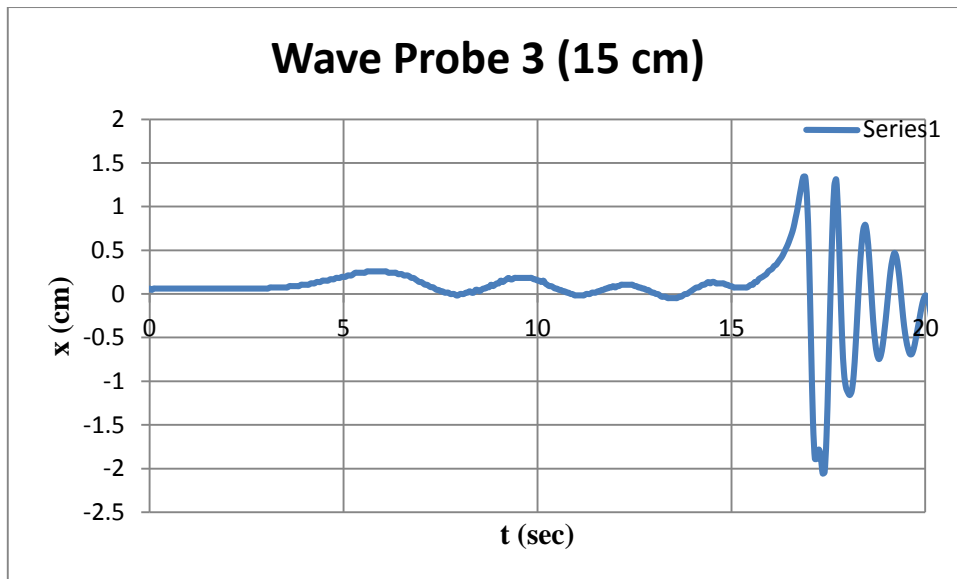
- Για ταχύτητα $V=1,117$ m/s



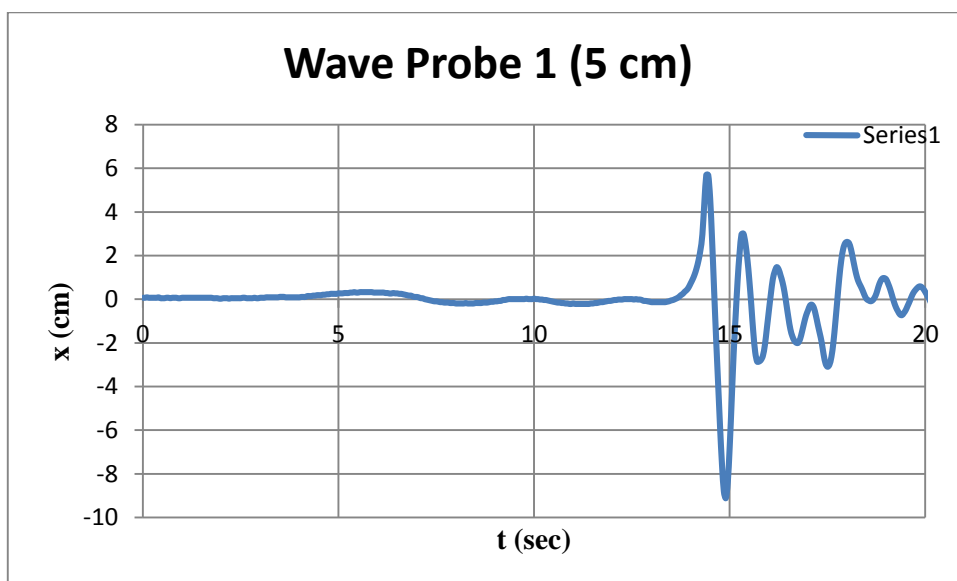


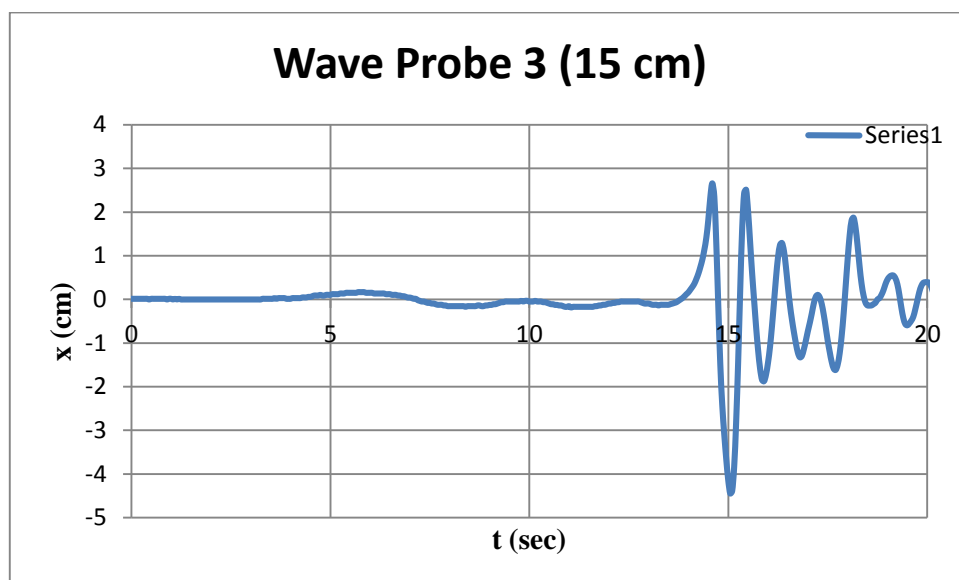
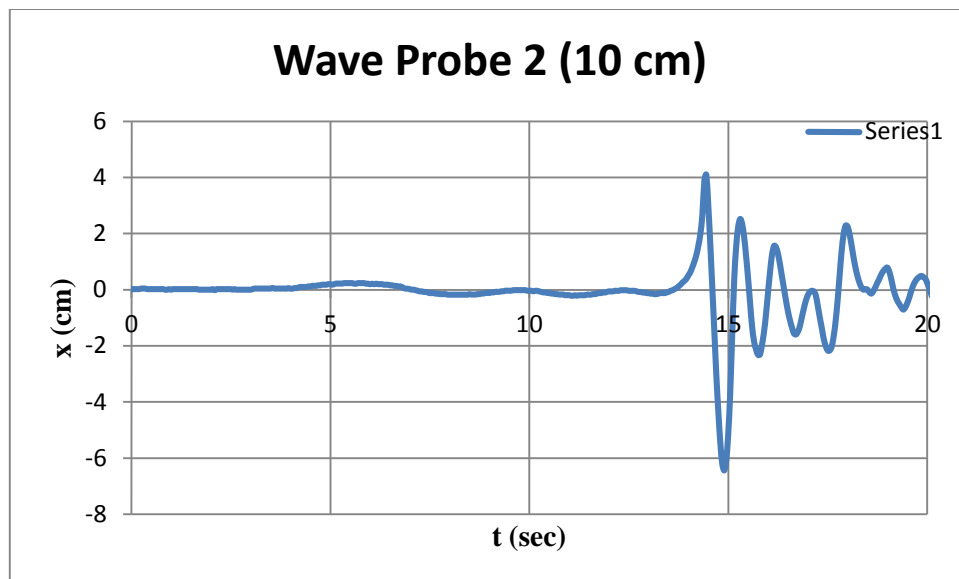
- Για ταχύτητα $V=1,218$ m/s





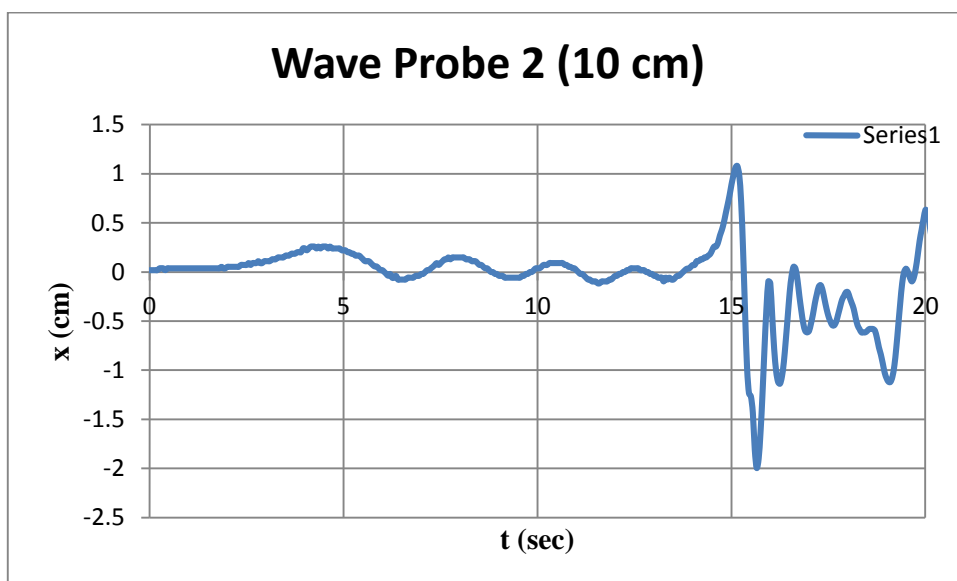
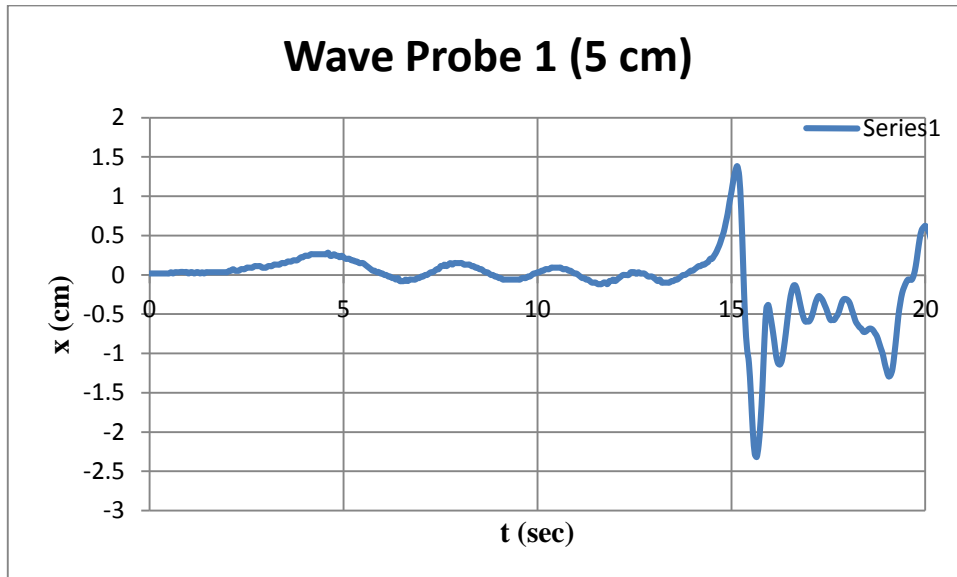
- Για ταχύτητα $V=1,433$ m/s

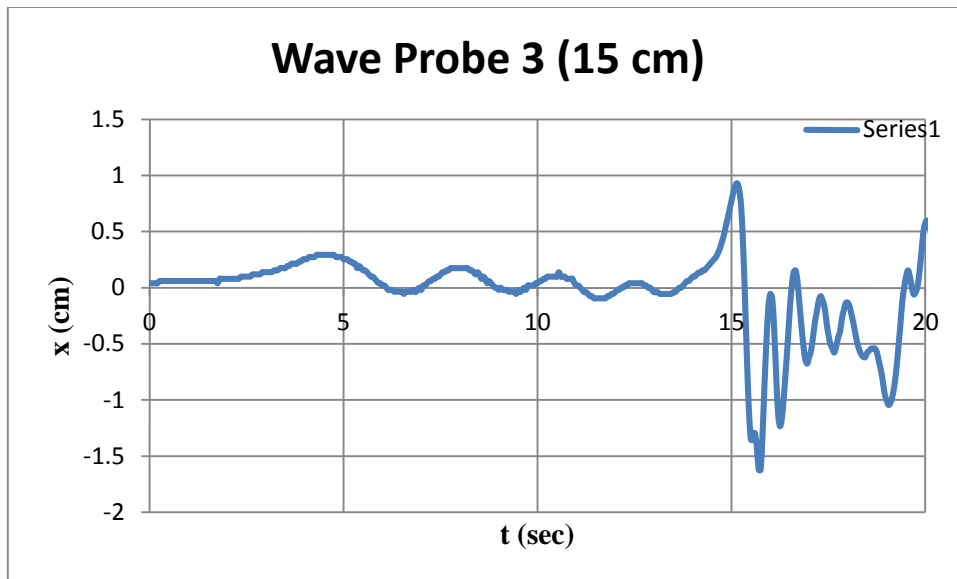




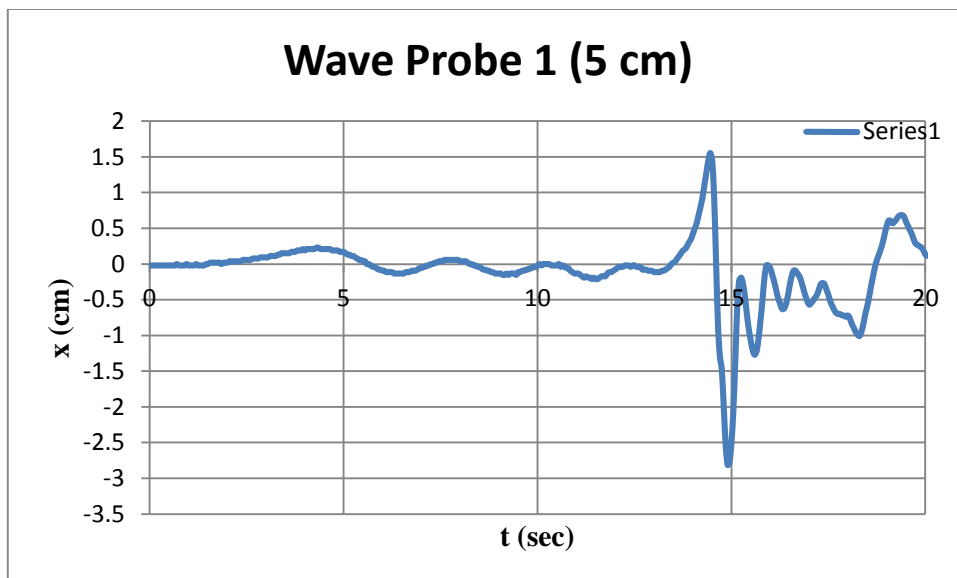
- Γυαλόχαρτο Νο.40 σε όλο το μοντέλο

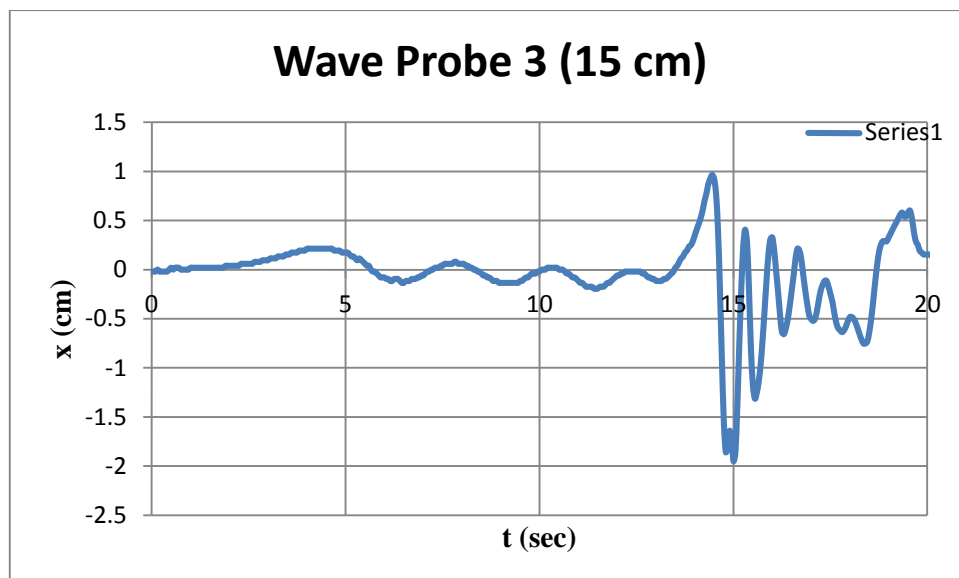
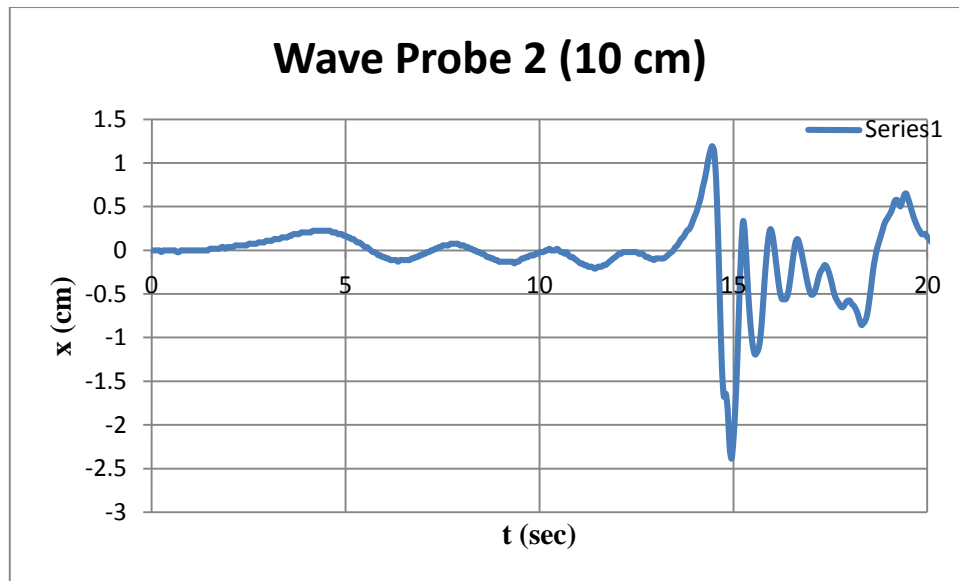
- Για ταχύτητα $V=1,075$ m/s



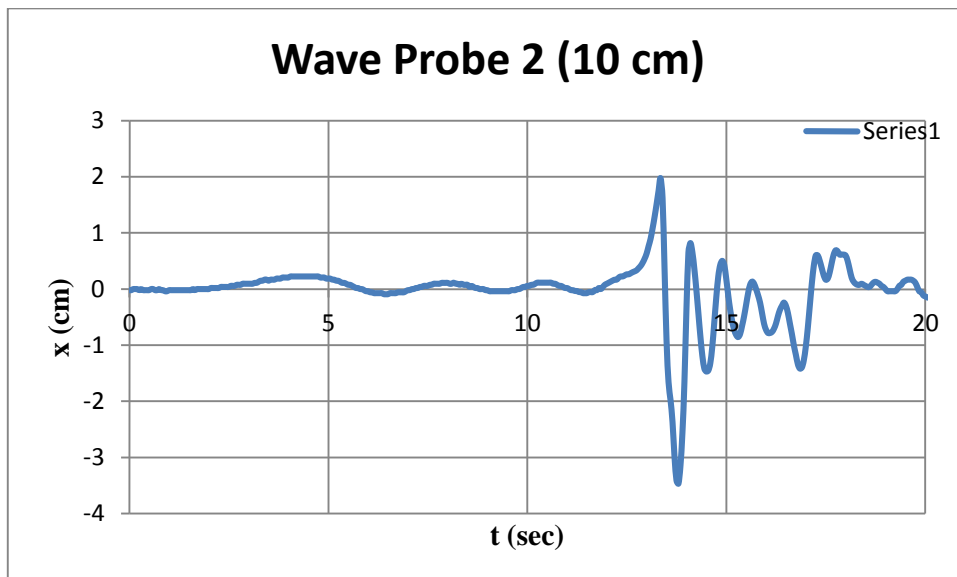
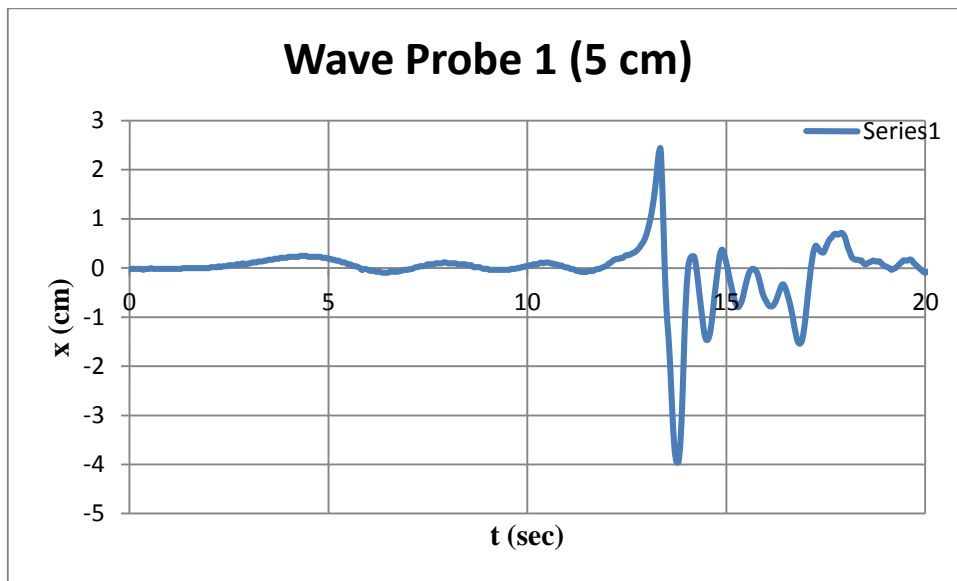


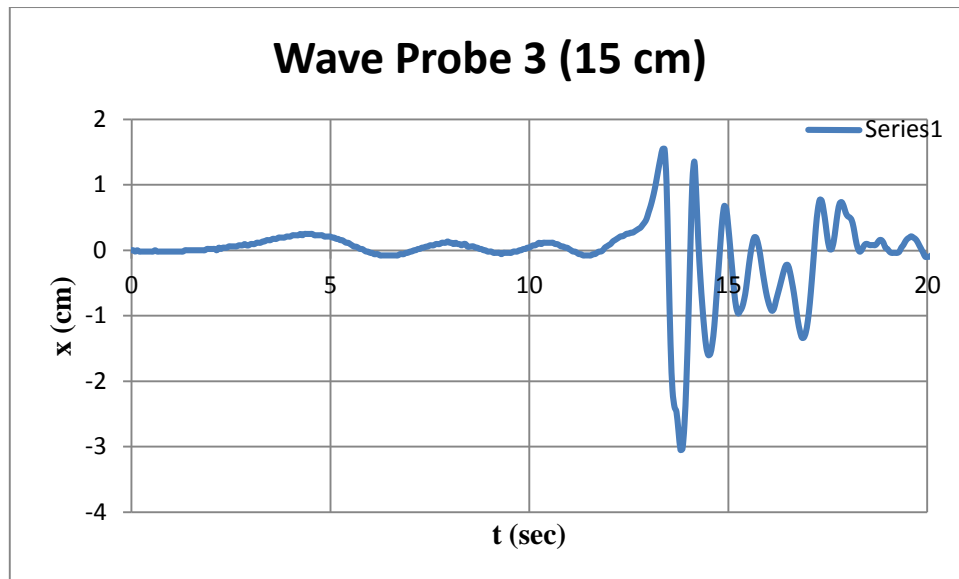
- Για ταχύτητα $V=1,117$ m/s



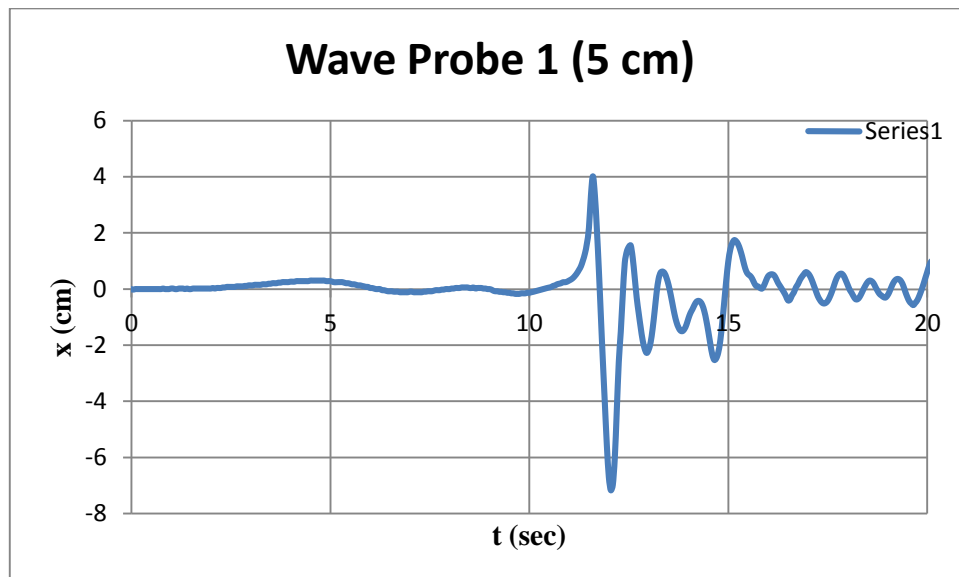


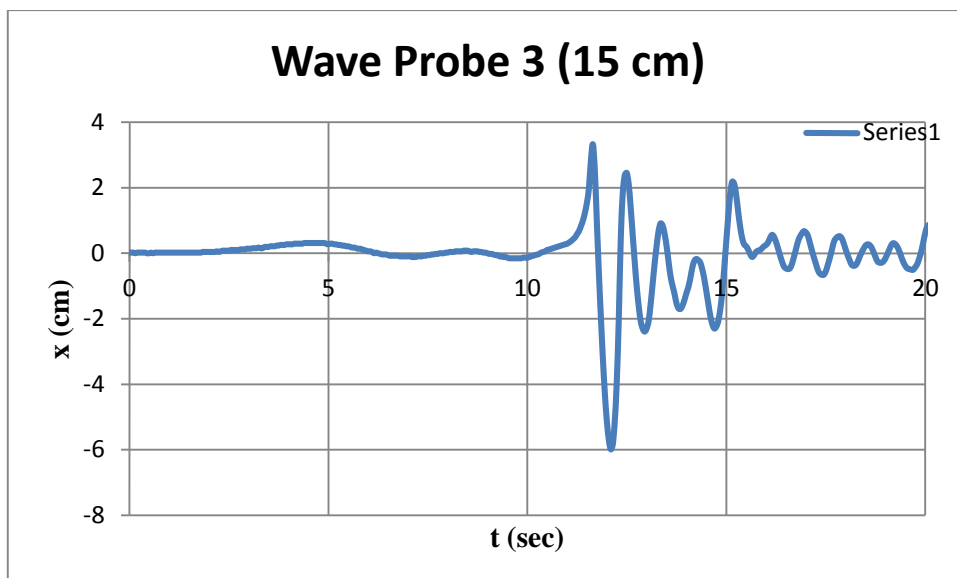
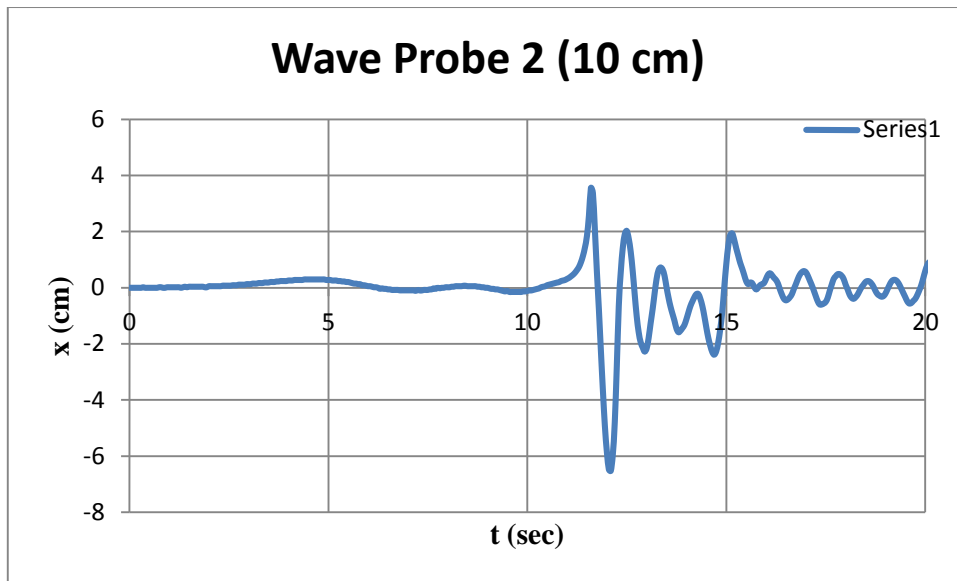
- Για ταχύτητα $V=1,217$ m/s





- Για ταχύτητα $V=1,433$ m/s



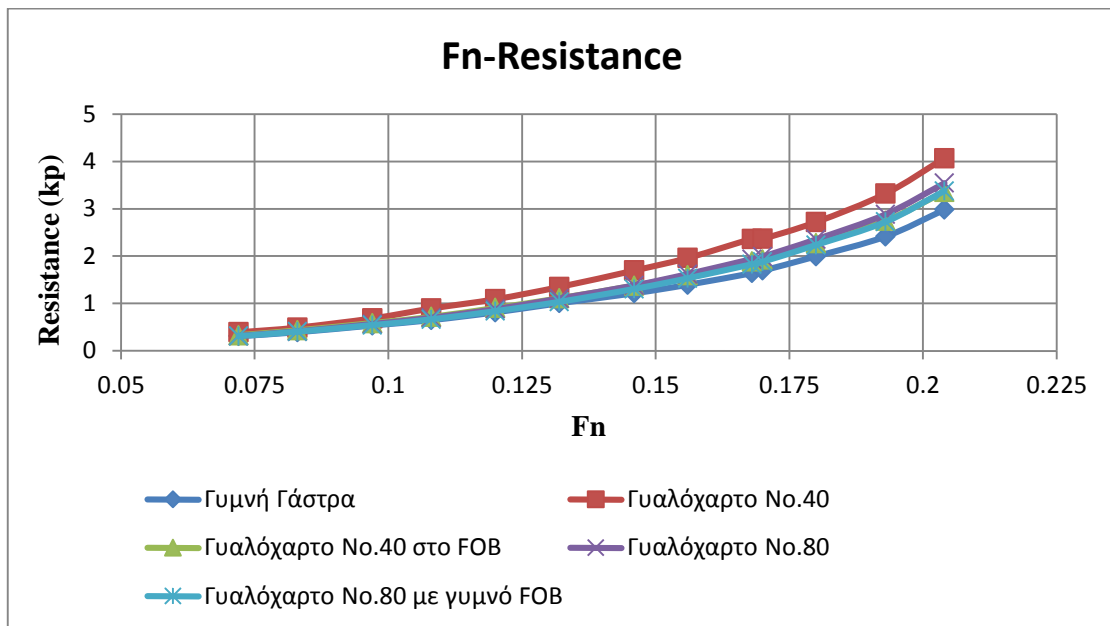


6. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

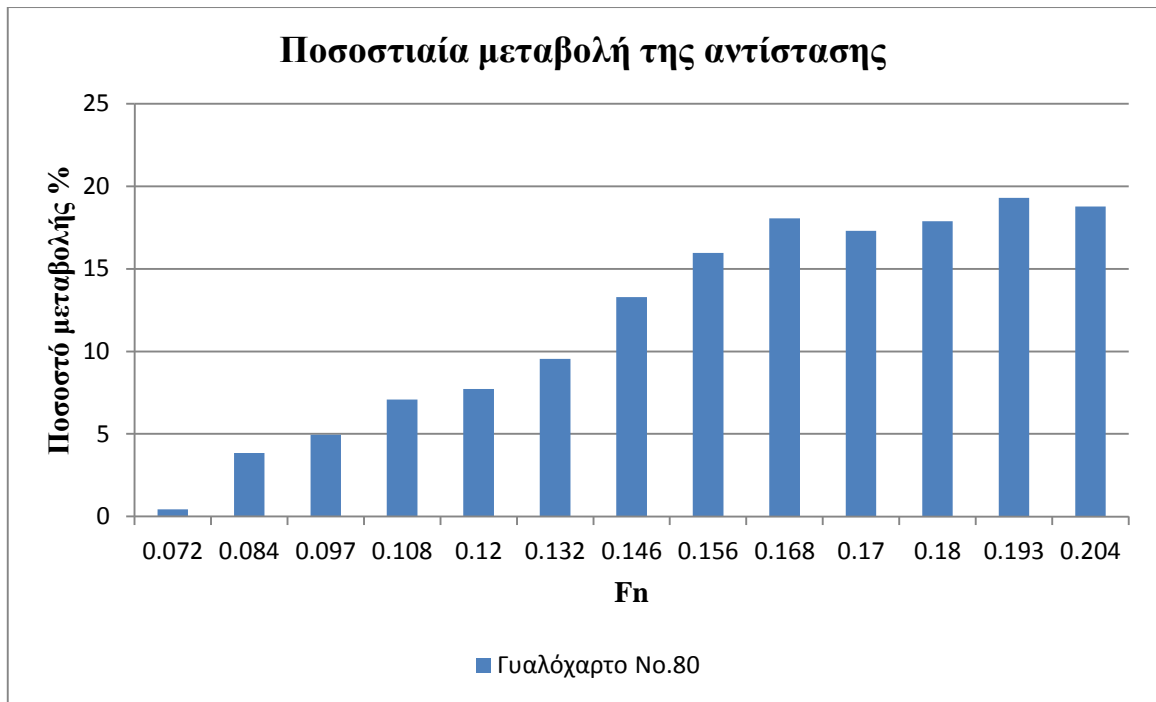
Στα επόμενα διαγράμματα φαίνονται συνοπτικά οι καμπύλες αντίστασης και των συντελεστών ολικής αντίστασης, αντίστασης τριβής και υπόλοιπης αντίστασης για όλα τα πειράματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω στις καταστάσεις Heavy Ballast και Full Load καθώς επίσης και οι ποσοστιαίες μεταβολές.

6.1 Κατάσταση Heavy Ballast

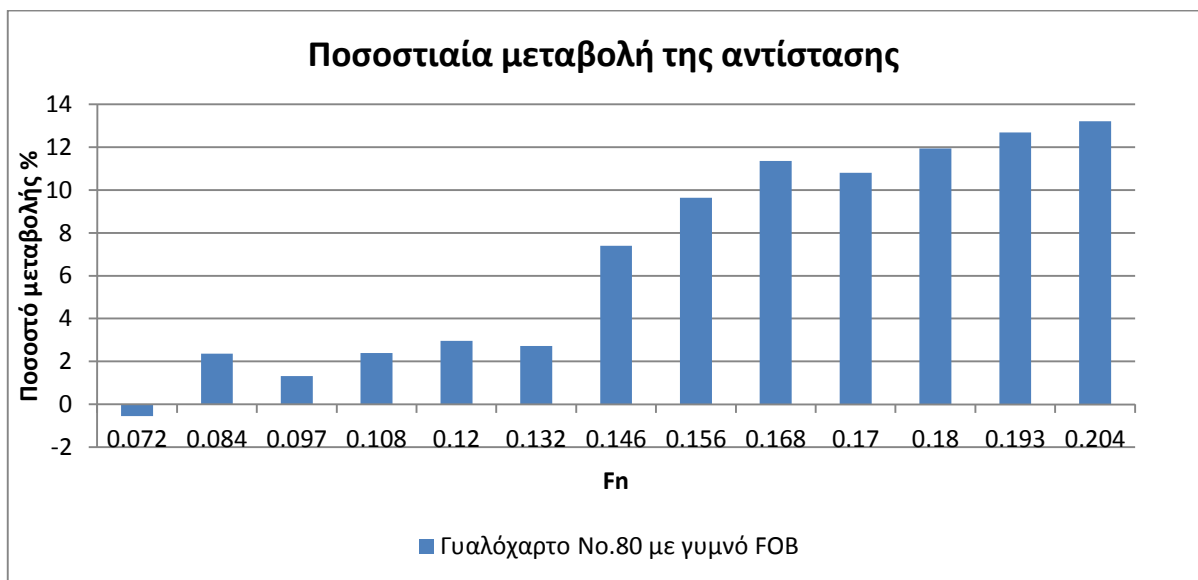
➤ Καμπύλες αντίστασης



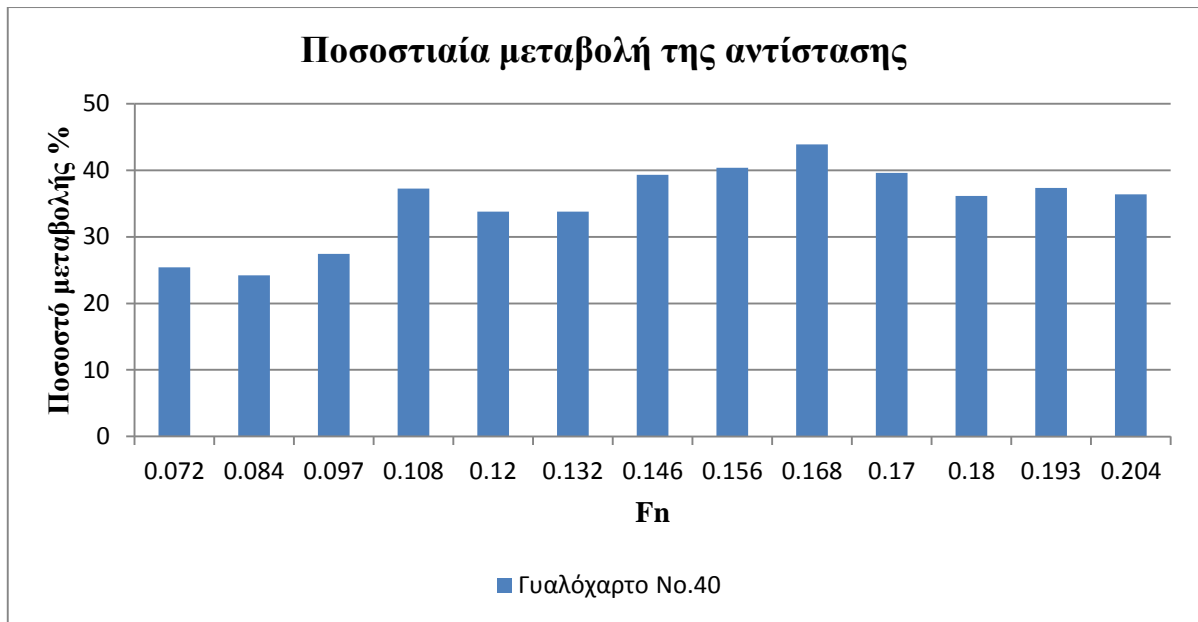
Επειδή στο παραπάνω διάγραμμα δεν είναι εύκολα διακριτές οι καμπύλες, στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα με την ποσοστιαία μεταβολή της αντίστασης κατά την χρήση των γυαλόχαρτων ως προς την γυμνή γάστρα.



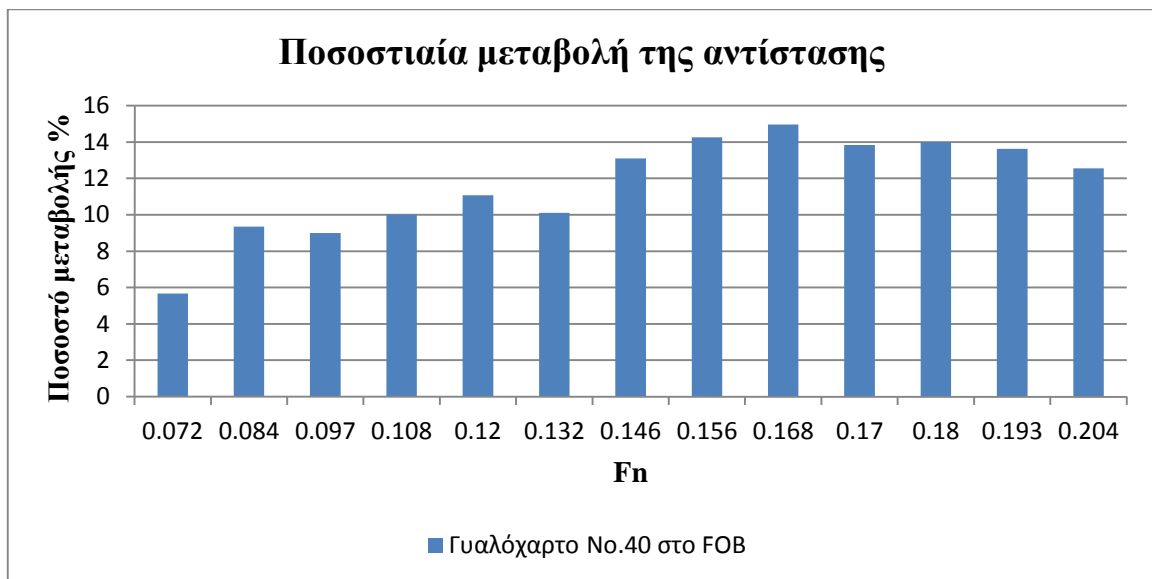
Η μεταβολή της αντίστασης για χαμηλές ταχύτητες έως 0,13 F_n φτάνει μέχρι το 10%, ενώ για υψηλότερες ταχύτητες η μεταβολή κυμαίνεται απο 13% ως 19%.



Στην περίπτωση που το Flat of Bottom έμεινε γυμνό, παρατηρούμε ότι η μεταβολή είναι μικρότερη και αγγίζει το 3% για ταχύτητες από $0,07 < F_n < 0,13$. Για ταχύτητες $0,14 < F_n < 0,2$ η μεταβολή ξεκινά από 7% και φτάνει μέχρι 13%.

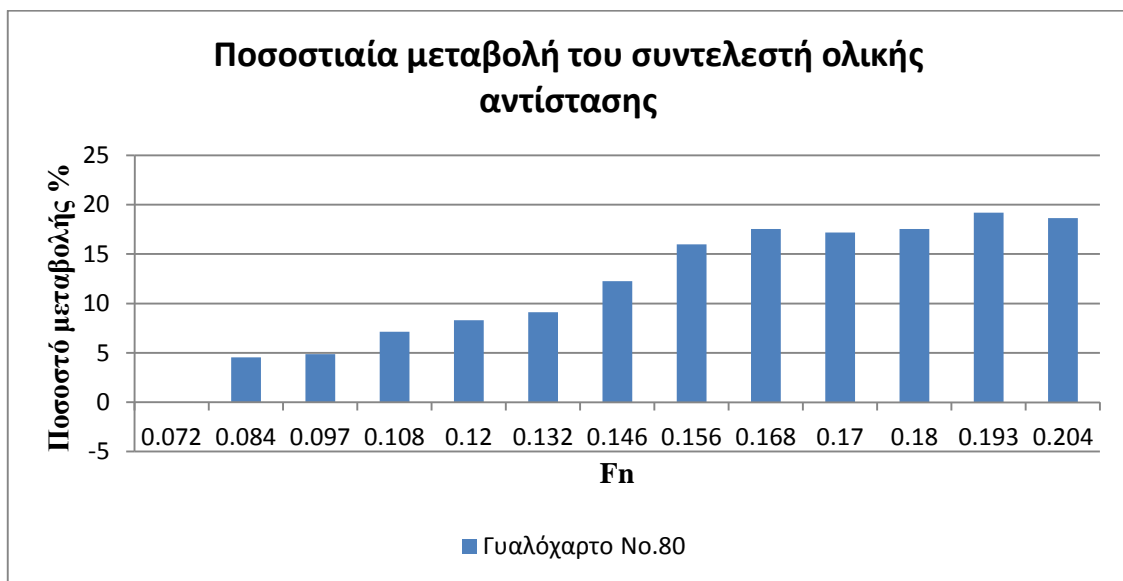
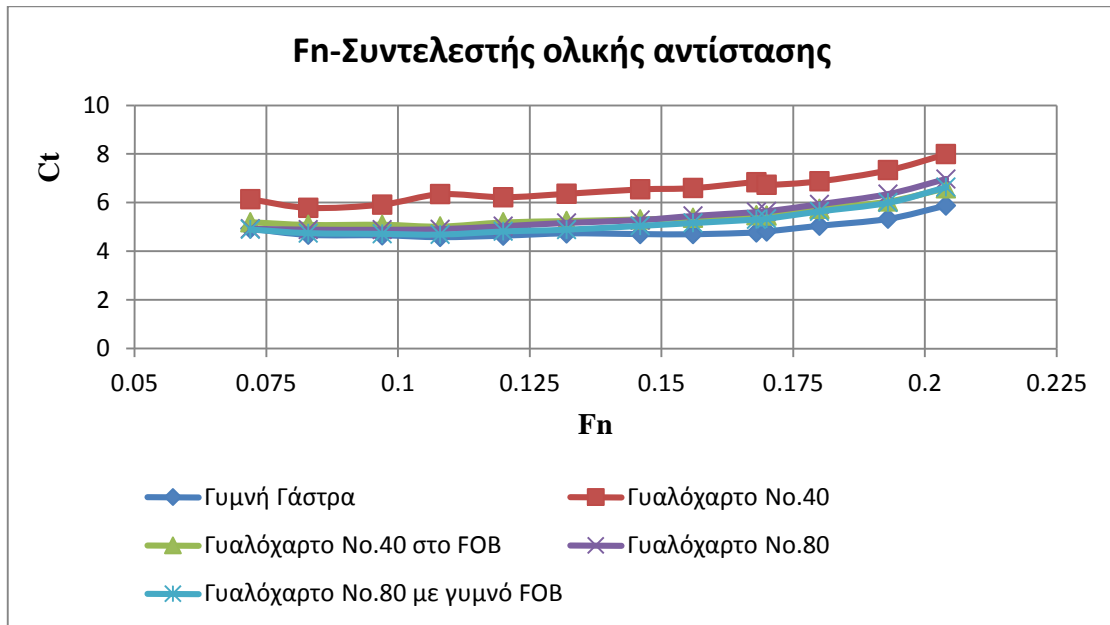


Με την χρήση του χοντρόκοκκου γυαλόχαρτου No.40, η μεταβολή της αντίστασης είναι όπως αναμενόταν σημαντικά μεγαλύτερη. Παρατηρούμε ότι ακόμα και για χαμηλές ταχύτητες η μεταβολή είναι της τάξης του 25% και φτάνει μέχρι το 44%.

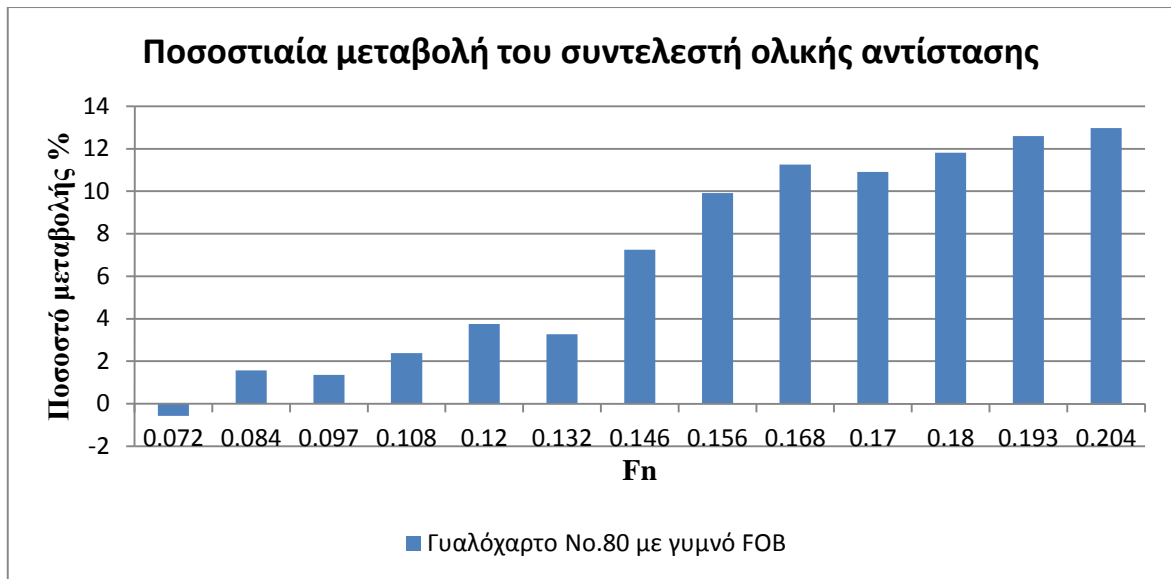


Στα πειράματα όπου καλύφθηκε μόνο το Flat of Bottom με το γυαλόχαρτο No.40 η μεταβολή κυμαίνεται από 5%-10% για $0,07 < F_n < 0,13$. Για ταχύτητες από $0,14 F_n$ ως $0,2 F_n$ η μεταβολή ξεκινά από 13% και αγγίζει το 15%.

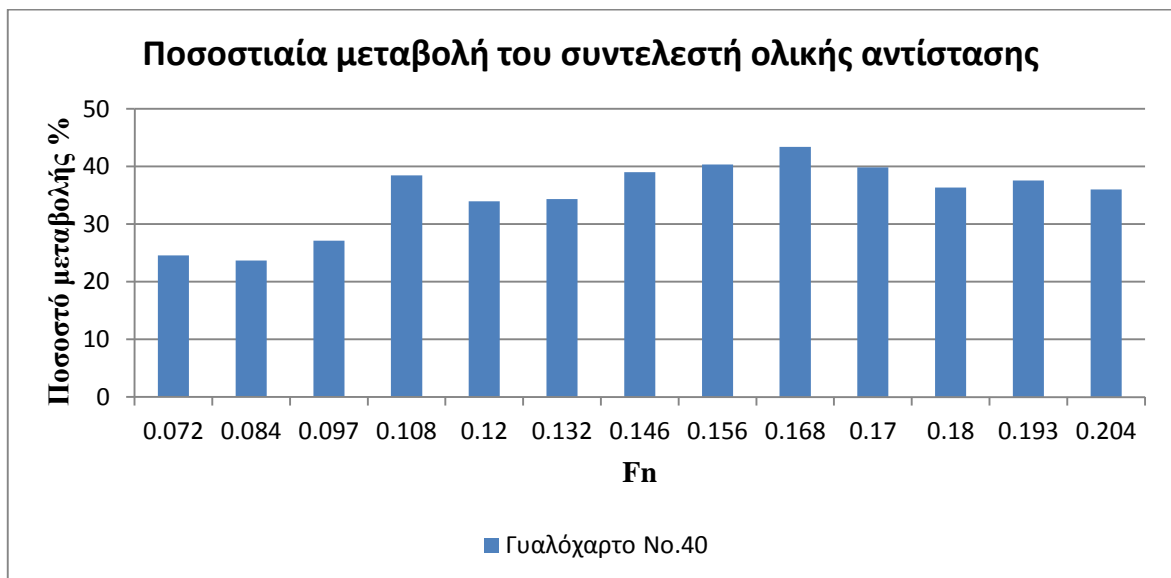
➤ Συντελεστές ολικής αντίστασης



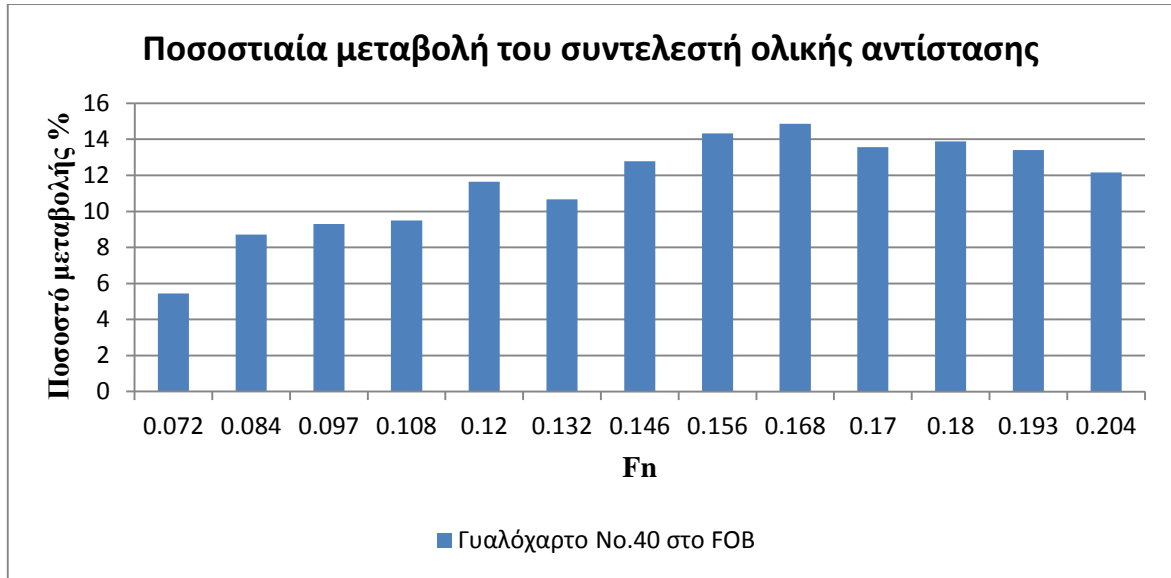
Η μεταβολή της αντίστασης για χαμηλές ταχύτητες έως 0,13 Fn οριακά αγγίζει το 10%, ενώ για υψηλότερες ταχύτητες η μεταβολή κυμαίνεται απο 12% ως 19%.



Στην περίπτωση που το Flat of Bottom έμεινε γυμνό, παρατηρούμε ότι η μεταβολή είναι μικρή και εκτείνεται από 1,3 έως 3,7% για ταχύτητες από $0,07 < F_n < 0,13$. Για ταχύτητες $0,14 < F_n < 0,2$ η μεταβολή ξεκινά από 7% και φτάνει μέχρι 13%.

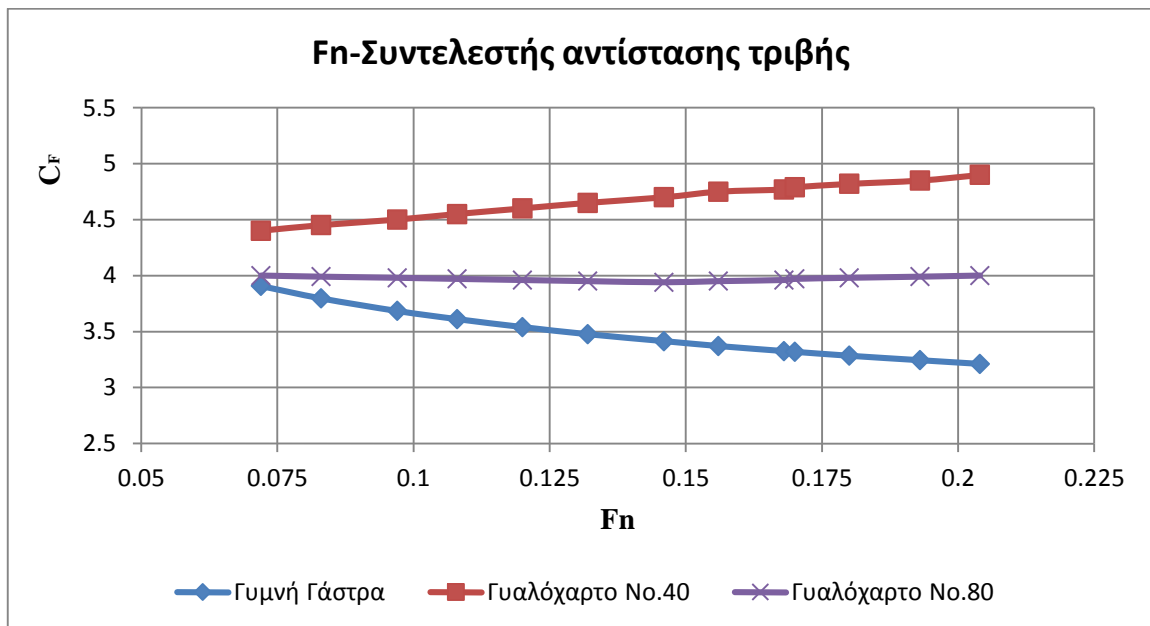


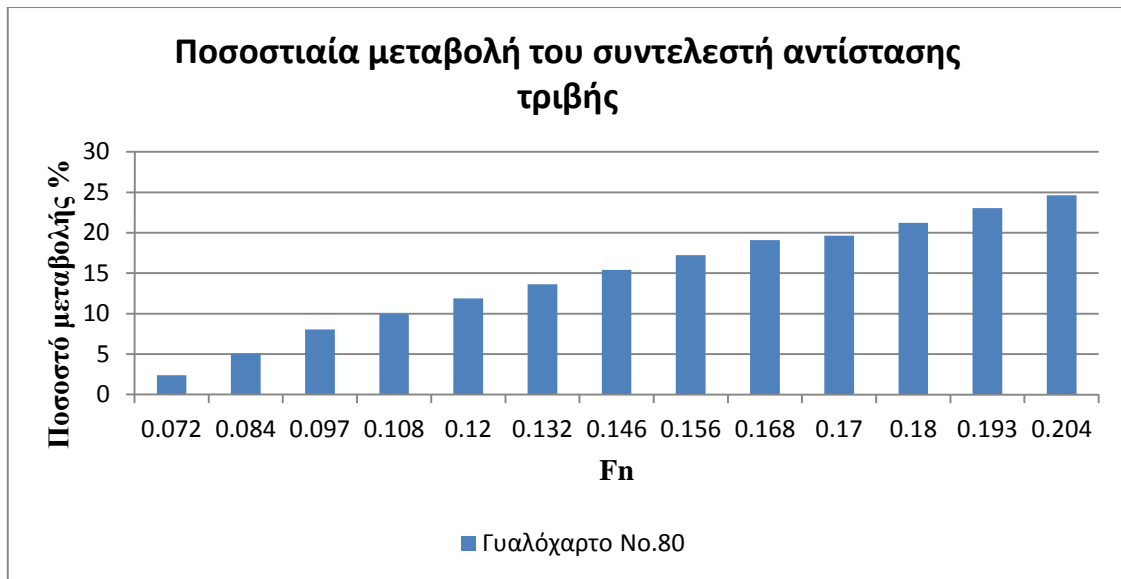
Με την χρήση του χοντρόκοκκου γυαλόχαρτου No.40, η μεταβολή της αντίστασης είναι όπως αναμενόταν σημαντικά μεγαλύτερη. Παρατηρούμε ότι ακόμα και για χαμηλές ταχύτητες η μεταβολή είναι της τάξης του 25% και φτάνει μέχρι το 44%.



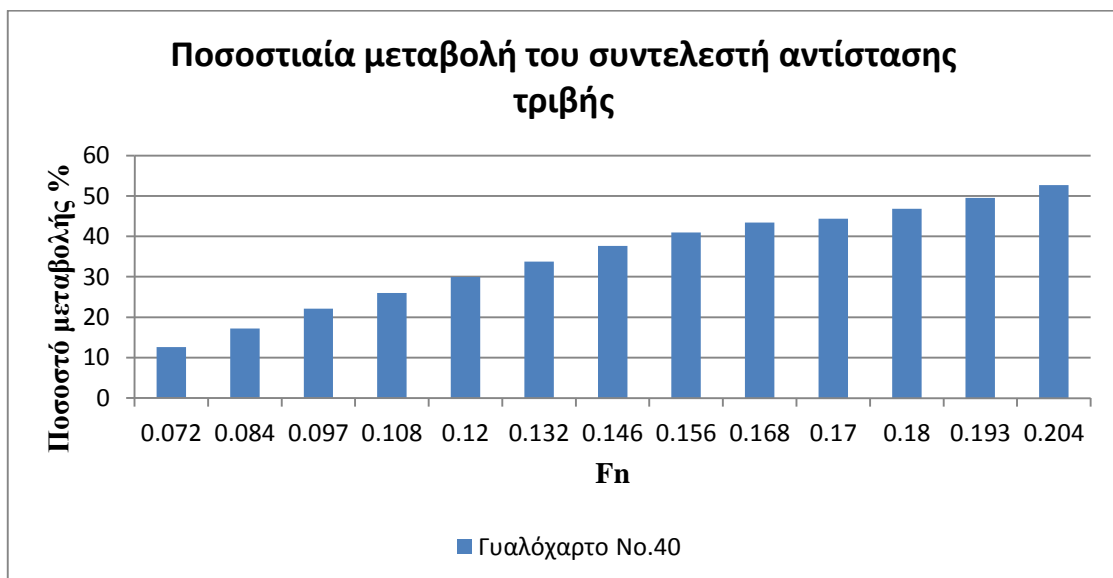
Στα πειράματα όπου καλύφθηκε μόνο το Flat of Bottom με το γυαλόχαρτο No.40 η μεταβολή κυμαίνεται από 5%-11,5% για $0,07 < F_n < 0,13$. Για ταχύτητες από 0,14 F_n ως 0,2 F_n η μεταβολή ξεκινά από 12% και αγγίζει το 15%.

➤ **Συντελεστές αντίστασης τριβής**



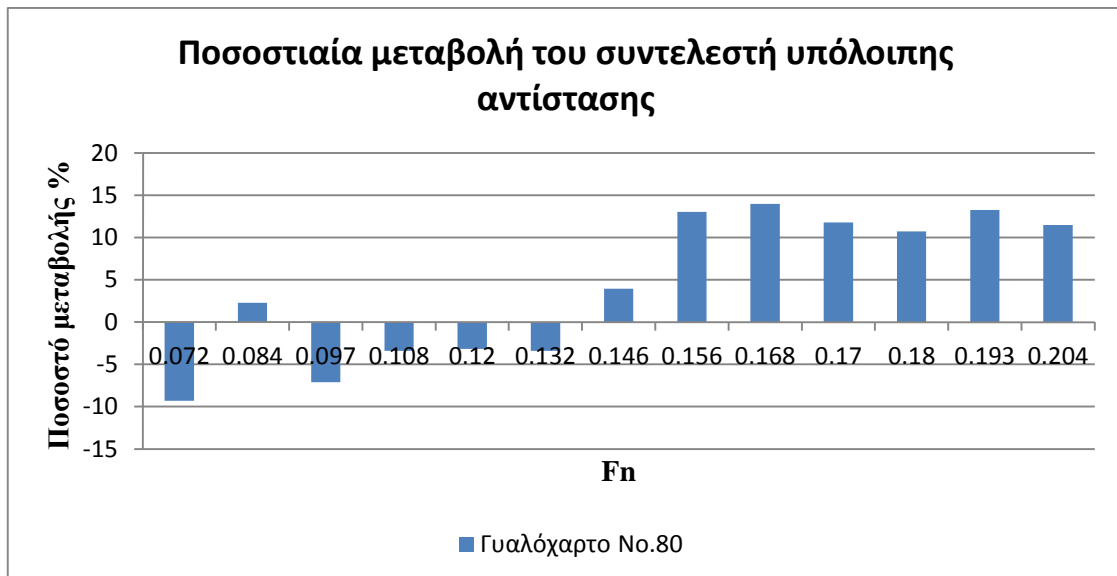
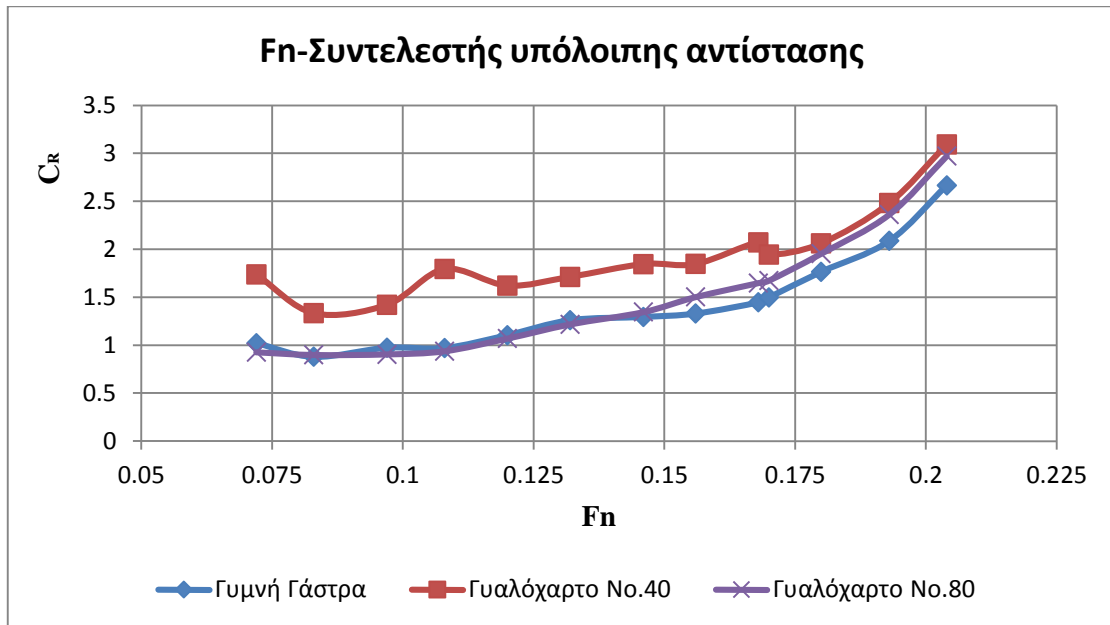


Βλέπουμε ότι αυξανόμενης της ταχύτητας αυξάνεται ο συντελεστής αντίστασης τριβής από 2%-25%.

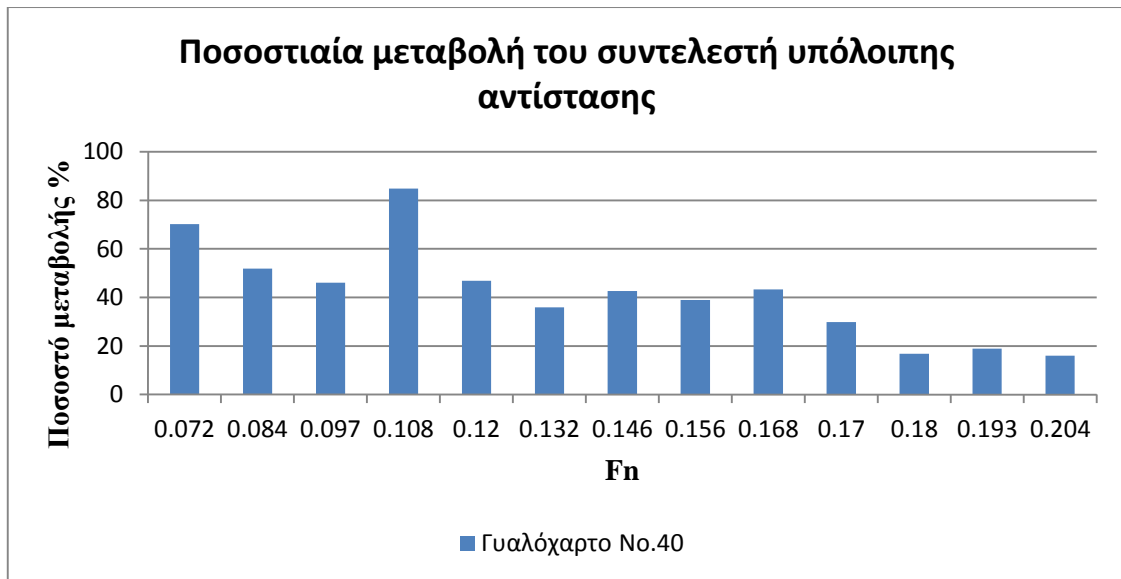


Για το πιο χοντρόκοκκο γυαλόχαρτο η μεταβολή ξεκινά από 12% και φτάνει το 52% όσο μεγαλώνει η ταχύτητα.

➤ Συντελεστές υπόλοιπης αντίστασης



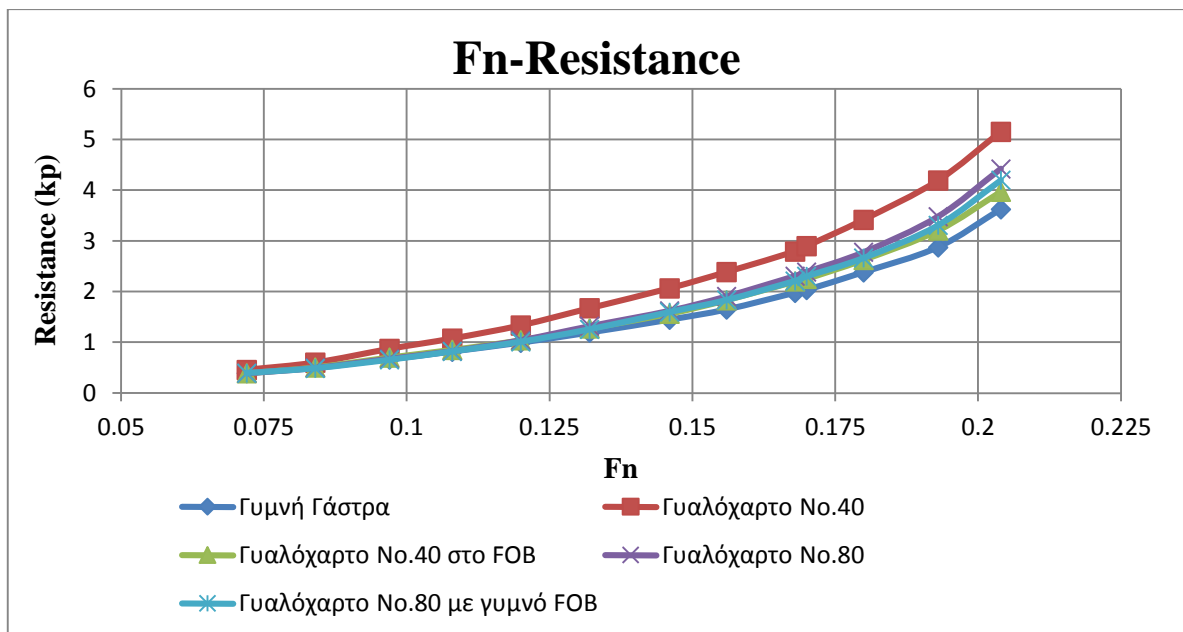
Παρατηρούμε ότι για χαμηλές ταχύτητες η μεταβολή του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης παρουσιάζει αυξομειώσεις, πράγμα που πιθανόν οφείλεται αφενός στην μη χρήση διεγέρτη τύρβης και αφετέρου στον προσεγγιστικό υπολογισμό του συντελεστή αντίστασης τριβής. Για μεγαλύτερες ταχύτητες το ποσοστό μεταβολής κυμαίνεται από 4% ως 14%.



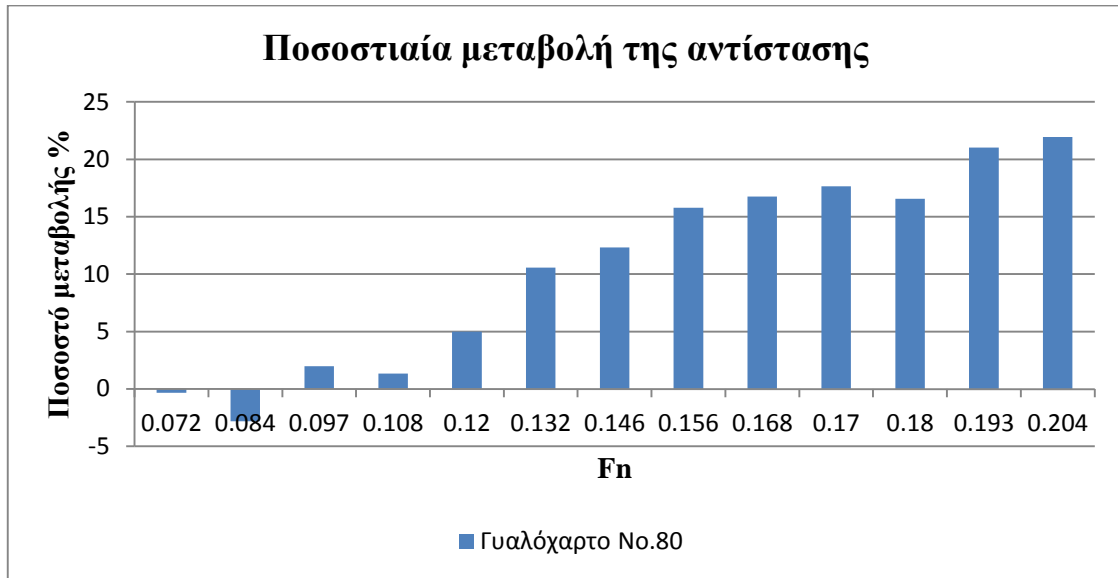
Για μεγαλύτερη τραχύτητα, η μεταβολή είναι σημαντικά μεγαλύτερη. Σε χαμηλές ταχύτητες μεταβάλλεται από 46%-85% ενώ για μεγαλύτερες από 16%-42%

6.2 Κατάσταση Full Load

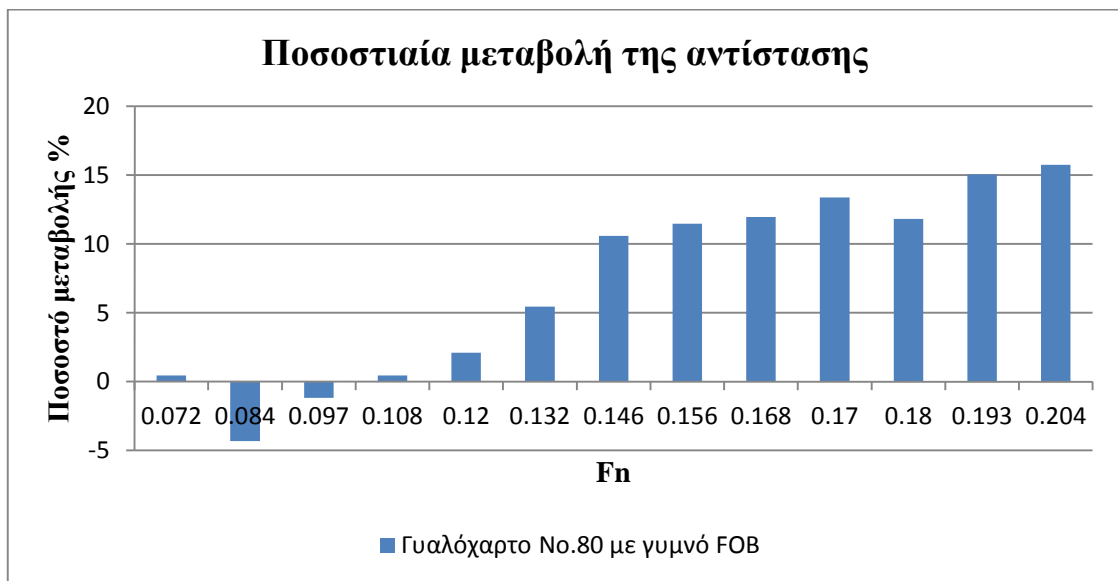
➤ Καμπύλες αντίστασης



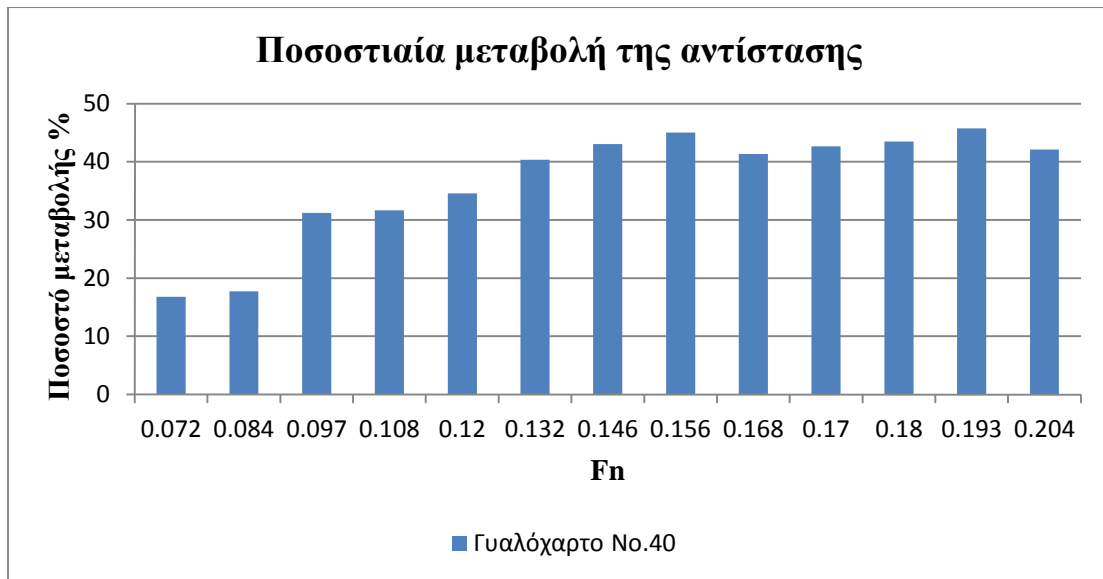
Ακολουθούν τα διαγράμματα με την ποσοστιαία μεταβολή της αντίστασης κατά την χρήση των γυαλόχαρτων ως προς την γυμνή γάστρα.



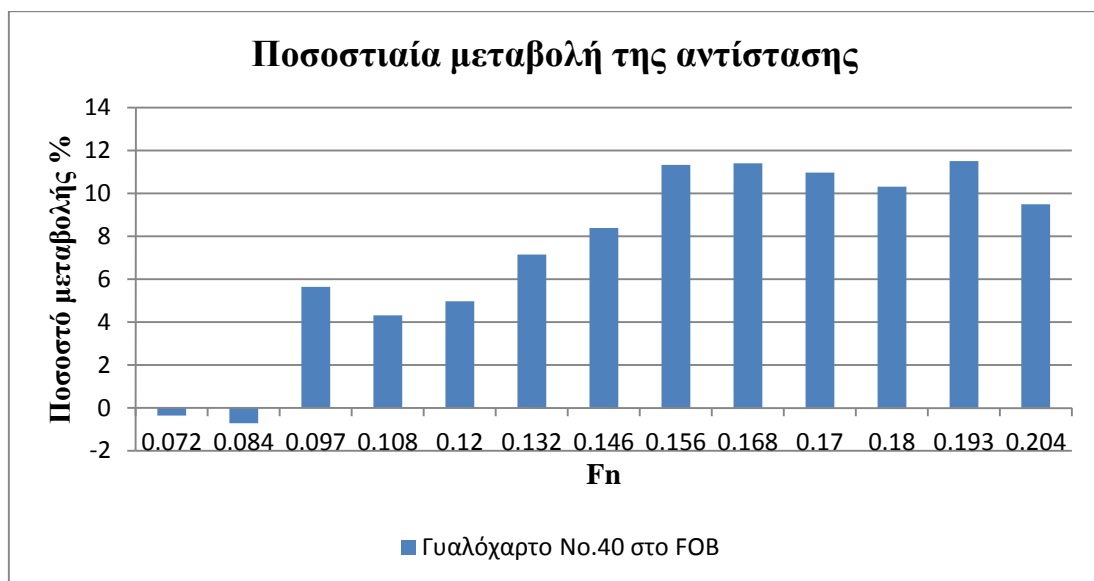
Βλέπουμε ότι για χαμηλές ταχύτητες η μεταβολή είναι πολύ μικρή, ενώ για $F_n > 0,13$ η μεταβολή παίρνει τιμές μεταξύ 10% και 22%.



Στην περίπτωση που το Flat of Bottom έμεινε γυμνό, παρατηρούμε ότι η μεταβολή είναι μικρή για ταχύτητες από $0,07 < F_n < 0,12$. Για ταχύτητες $0,13 < F_n < 0,2$ η μεταβολή ξεκινά από 5% και φτάνει μέχρι 16%.

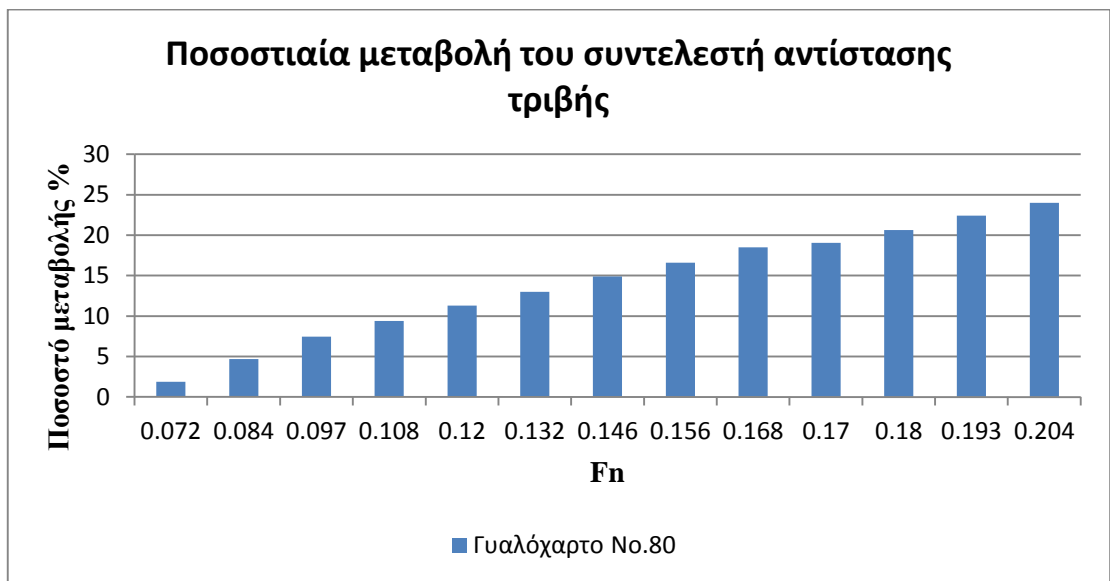
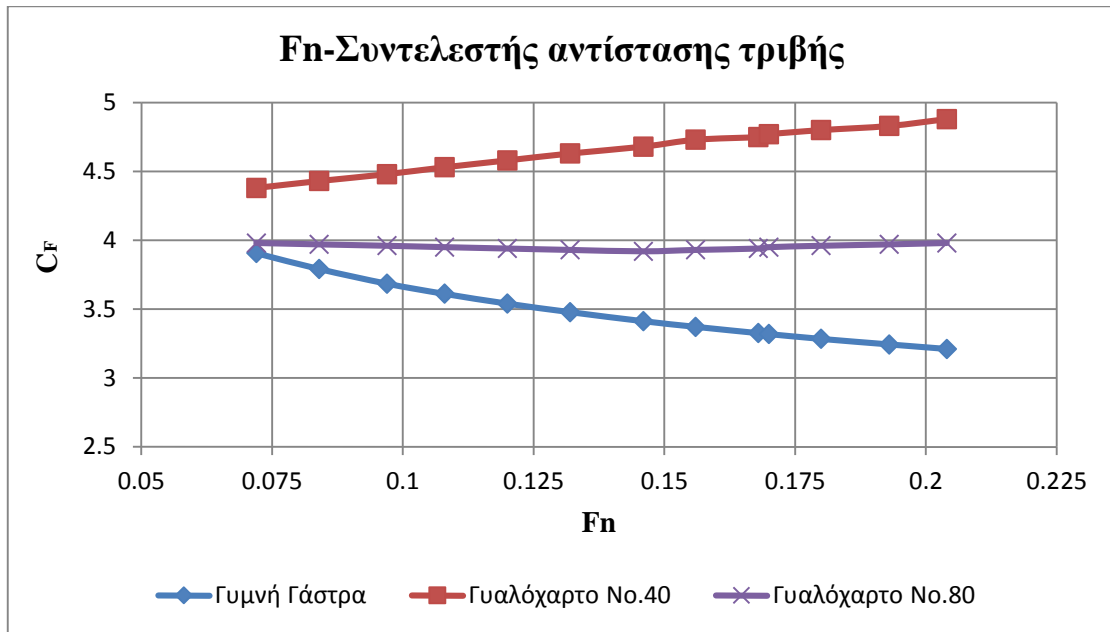


Και στην κατάσταση Full Load το γυαλόχαρτο No.40 προκαλεί μεγαλύτερη μεταβολή της αντίστασης. Παρατηρούμε ότι ακόμα και στις χαμηλές ταχύτητες η μεταβολή ξεκινά από το 17 % και φτάνει το 45% στις μεγαλύτερες ταχύτητες.

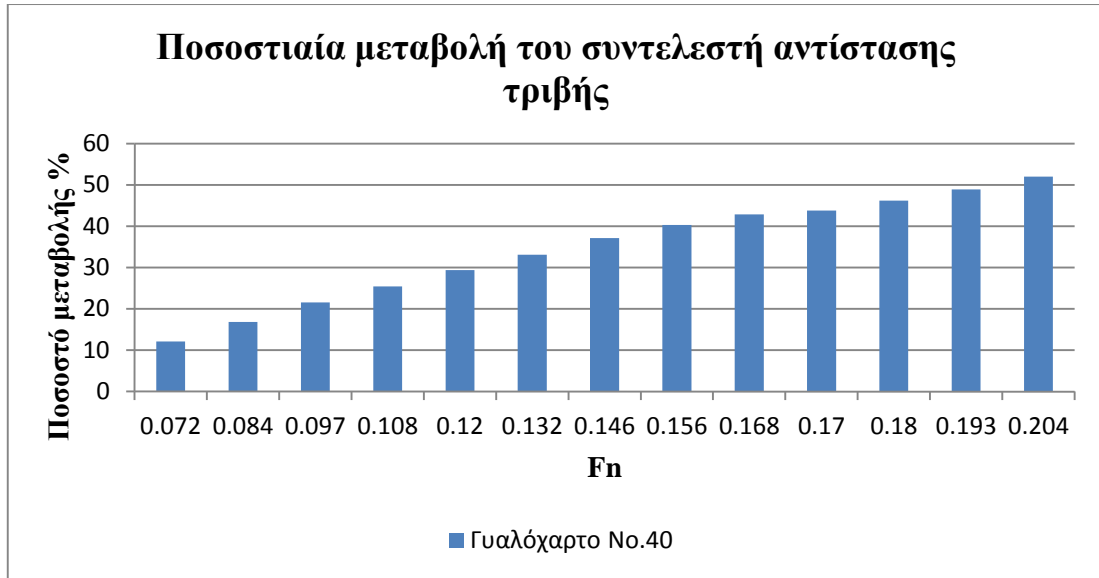


Τέλος, στα πειράματα όπου καλύφθηκε μόνο το Flat of Bottom με το γυαλόχαρτο No.40 η μεταβολή κυμαίνεται από 4%-7% για $0,97 < F_n < 0,13$. Για ταχύτητες από 0,14 F_n ως 0,2 F_n η μεταβολή ξεκινά από 9% και αγγίζει το 11,5%.

➤ Συντελεστές αντίστασης τριβής

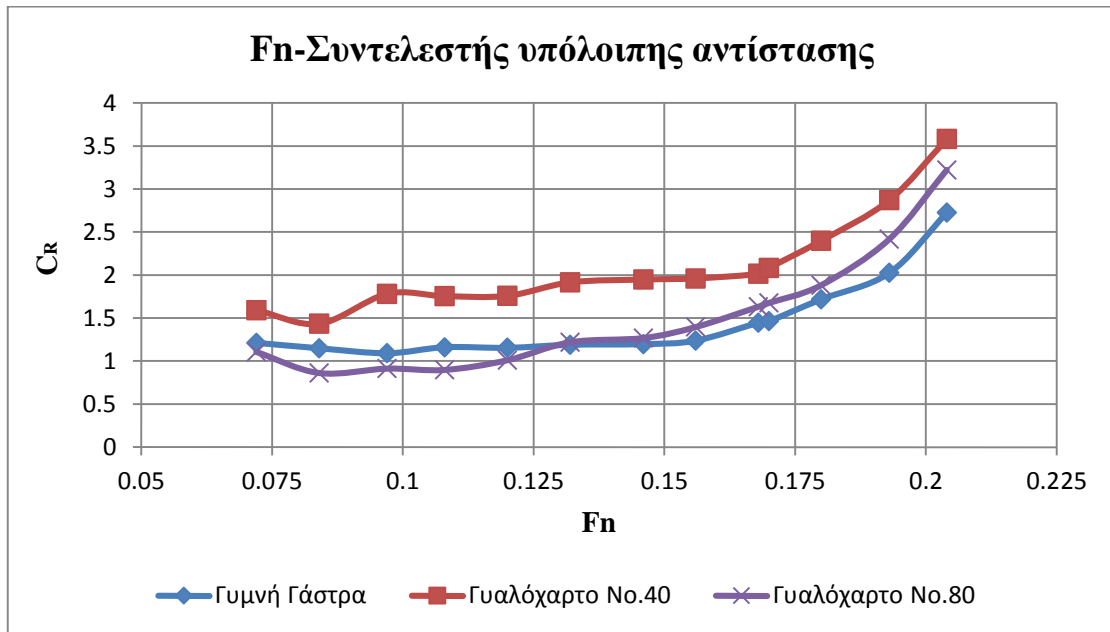


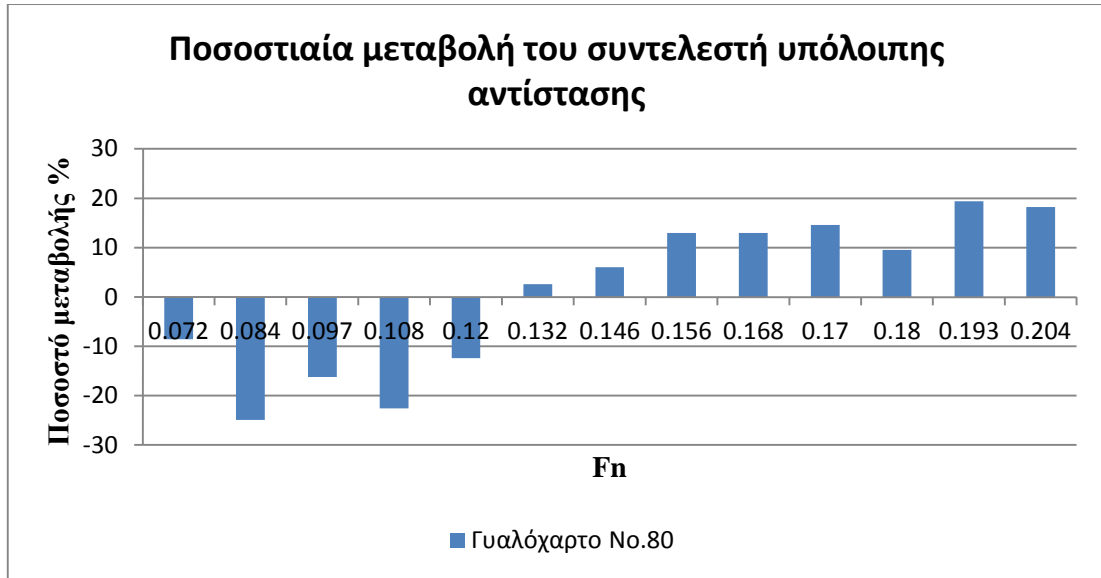
Και στην κατάσταση Full Load, ο συντελεστής τριβής αυξάνεται όσο αυξάνει η ταχύτητα και η μεταβολή παίρνει τιμές από 2%-24%.



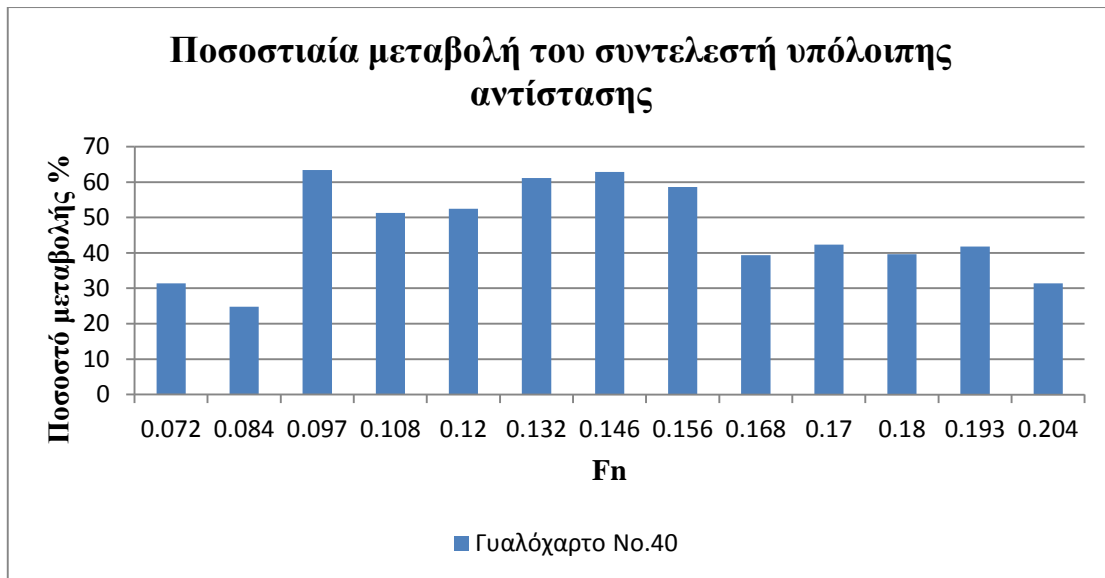
Με το γυαλόχαρτο No.40, η μεταβολή είναι μεγαλύτερη όπως αναμενόταν και ξεκινά από 12% για $F_n=0,072$ και φτάνει το 52% για $F_n=0,204$

➤ **Συντελεστές υπόλοιπης αντίστασης**





Πάλι βλέπουμε αρνητικές μεταβολές για χαμηλές ταχύτητες για τον ίδιο λόγο που εξηγήσαμε στην κατάσταση Heavy Ballast. Στις μεγαλύτερες ταχύτητες η μεταβολή είναι θετική και κυμαίνεται από 2%-18%,

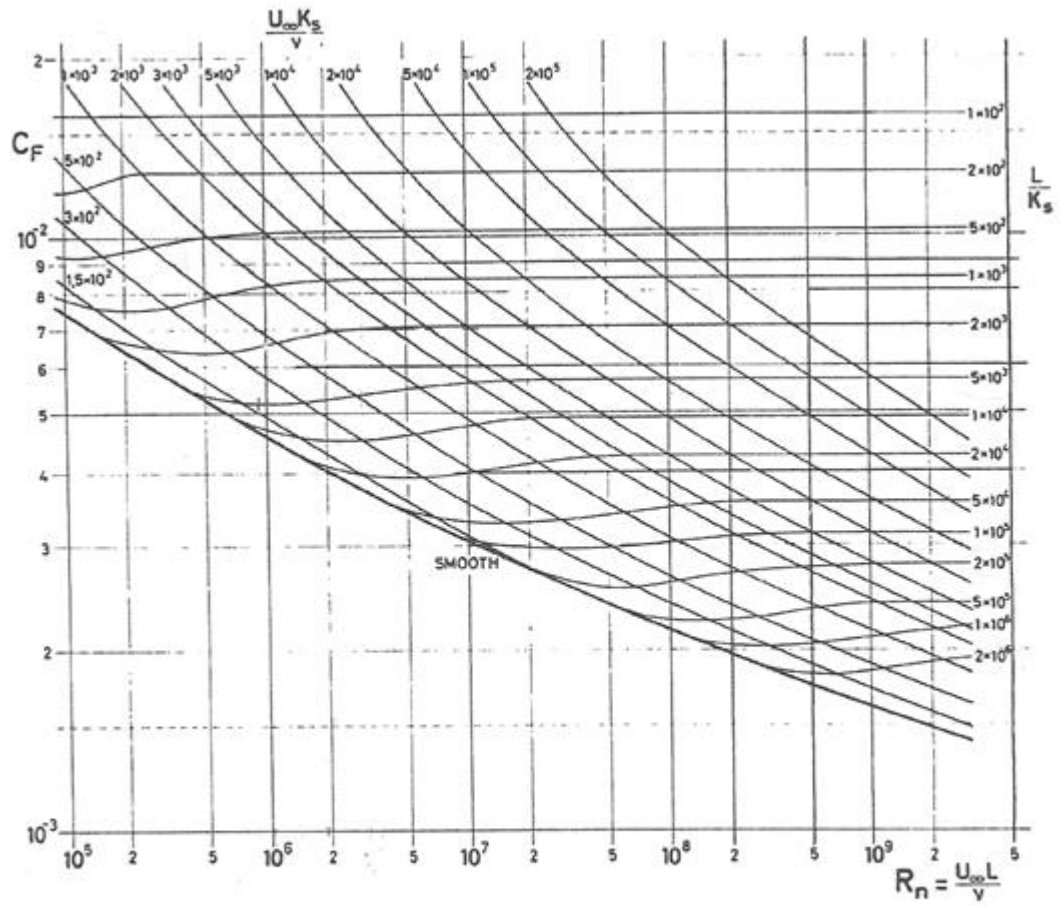


Τέλος, και εδώ βλέπουμε ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης επηρεάζεται από την τραχύτητα και παίρνει τιμές από 25%-63%.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Abrasive Grading Scales for Sandpaper

	CAMI (U.S. Std) (See Note 1)	FEPA (P-Scale) (See Note 2)	Finishing Scale	Average Grit Particle Size	
				Microns	Inches
F I N I S H I N G	1200				
	1000	P2000		9.6	0.00042
	800	P1500		12.3	0.00051
	600	P1200	A16	15.8	0.00060
				16.0	0.00062
	500	P1000		18.3	0.00071
	400			19.7	0.00077
		P800	A25	21.8	0.00085
	360			23.6	0.00092
		P600	A30	25.8	0.00100
	320			25.8	0.00100
		P500		28.8	0.00112
P400		A45	30.2	0.00018	
280			35.0	0.00137	
	P360		36.0	0.00140	
240			40.5	0.00158	
	P320	A60	44.0	0.00172	
	P280		46.2	0.00180	
			52.5	0.00204	
220			53.5	0.00209	
	P240	A65	58.6	0.00228	
	P220	A75	65.0	0.00254	
180			66.0	0.00257	
	P180	A110	78.0	0.00304	
	150			93.0	0.00363
		P150	A130	97.0	0.00378
	120			116.0	0.00452
P120		A160	127.0	0.00495	
100			141.0	0.00550	
	P100	A200	156.0	0.00608	
S M O O T H I N G	80			192.0	0.00749
	60	P80		197.0	0.00768
		P60		260.0	0.01014
	50			268.0	0.01045
		P50		326.0	0.01271
	40			351.0	0.01369
		P40		412.0	0.01601
	36			428.0	0.01669
		P36		524.0	0.02044
	30			535.0	0.02087
P30			622.0	0.02426	
24			638.0	0.02488	
	P24		715.0	0.02789	
			740.0	0.02886	



Σχήμα. 30. Συντελεστής τριβής C_F για τραχείες πλάκες σαν συνάρτηση του αριθμού Re και της τραχύτητας K_S

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] BMT (1986). Recommended Practice for the Protection and Painting of Ships, Wallsend Research Station.
- [2] Bohlander, G.S. (1991), Biofilm effects on drag: measurements on ships. Polymers in a Marine Environment. The Institute of Marine Engineers Third International Conference, Paper 16. London.
- [3] Callow, M.E., Pitchers, R.A. and Milne, A. (1986), The control of fouling by non-biocidal systems. In: Algal Biofouling, L. V. Evans and K. D. Hoagland (Ed.), Amsterdam, Elsevier, Chapter 10.
- [4] Candries, M. (1998). Recent developments in surface technology and the effect on roughness and drag, MSc Dissertation, Department of Marine Technology, University of Newcastle-upon-Tyne and University of Ghent (Erasmus/Socrates Programme), Ghent, Belgium.
- [5] Davis, A. and Williamson, P. (1995), Marine biofouling: a sticky problem. NERC News, April 1996, <http://www.biology.bham.ac.uk/biofoulnet>.
- [6] Edyvean, R.G.J. (1982). Fouling and Corrosion by Microalgae, PhD Thesis, University of Newcastle-upon-Tyne, Newcastle-upon-Tyne.
- [7] Egan, B. (1987), Marine microbial adhesion and its consequences. In: Microbes in the Sea, M. A. Sleight (Ed.), Ellis Horwood Ltd.
- [8] El-Labbad, A.F. (1987). Techno-economic Analysis of the Problems of the Bottom Maintenance of Ships, MPhil Thesis, Marine Technology, University of Newcastle-upon-Tyne, Newcastle-upon-Tyne.
- [9] **Fischer, E.C., Castelli, V.J., Rodgers, S.D. and Bleile, H.R. (1984)**, Technology for control of marine biofouling - a review. In: *Marine Biodeterioration: An Interdisciplinary Study*, J. D. Gostlow
- [10] Fletcher, R.L. and Chamberlain, A.H.L. (1975), Marine fouling algae. In: Microbial Aspects of the Deterioration of Materials, R. J. Gilbert and D. W. Lovelock (Ed.), pp. 59-81, London, Academic Press Inc.
- [11] HAROLD E. SAUNDERS, Hydrodynamics In Ship Design, Volume I & II., The society of Naval Architects and Marine Engineers, 1957

- [12] Kan, S., Shiba, H., Tsuchida, K. and Yokoo, K. (1958), Effect of fouling of a ship's hull and propeller upon propulsive performance. *International Shipbuilding Progress*, Vol. 5, pp. 15-34.
- [13] Lewthwaite, J.C., Molland, A.F. and Thomas, K.W. (1985), An investigation into the variation of ship skin frictional resistance with fouling. *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 127, pp. 269-284.
- [14] Loeb, G.I., Laster, D. and Gracik, T. (1984), The influence of microbial fouling films on hydrodynamic drag of rotating disks. In: *Marine Biodeterioration: An Interdisciplinary Study*, J. D. Gostlow and R. C. Tipper (Ed.), Maryland, USA, Naval Institute Press
- [15] McEntee, W. (1915), Variation of frictional resistance of ships with condition of wetted surface. *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*, Vol. 24, pp. 37-42.
- [16] Mosaad, M.A. (1986). *Marine Propeller Roughness Penalties*, PhD Thesis, Department of Marine Technology, University of Newcastle-upon-Tyne, Newcastle-upon-Tyne.
- [17] OECD. 2002. *OECD Environmental data compendium 2002*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- [18] Schultz MP. 2002. The relationship between frictional resistance and roughness for surfaces smoothed by sanding. *J Fluids Eng* 124:492–499.
- [19] Schultz MP. 2003. Turbulent boundary layers over surfaces smoothed by sanding. *J Fluids Eng* 125:863–870.
- [20] Schultz, M.P. and Swain, G.W. (1999), The effect of biofilms on turbulent boundary layers. *Journal of Fluids Engineering*, *Transactions of the ASME*, Vol. 121, pp. 44-51.
- [21] Schultz, M.P. and Swain, G.W. (2000), The influence of biofilms on skin friction drag. *Biofouling*, Vol. 15, pp. 129-139.
- [22] Schultz, M.P., Kavanagh, C.J. and Swain, G.W. (1999), Hydrodynamic forces on barnacles: implications on detachment from fouling-release surfaces. *Biofouling*, Vol. 13, pp. 323-335.

- [23] Seligman PF, Zirino A. 1998. Chemistry, toxicity and bioavailability of copper and its relationship to regulation in the marine environment. San Diego: Space Naval Warfare Systems Center. Report No. 3044. 51 p.
- [24] Stevens, S.A. (1937), The increase in frictional resistance due to the action of water on bottom paint. Journal of the American Society of Naval Engineers, Vol. 49, pp. 585-588.
- [25] SV. AA. HARVALD, Resistance and Propulsion of Ships, John Wiley & Sons
- [26] Todd JH. 1980. Resistance and propulsion. In: Comstock J, editor. Principles of naval architecture. New York: The Society of Naval Architects and Marine Engineers. pp 288–462.
- [27] Watanabe, S., Nagamatsu, N., Yokoo, K. and Kawakami, Y. (1969), The augmentation in frictional resistance due to slime (B.S.R.A. Translation No. 3454). Journal of the Kansai Society of Naval Architects, Vol. 131, pp. 45.
- [28] Weinell CE, Olsen KN, Christoffersen MW, Kiil S. 2003. Experimental study of drag resistance using a laboratory scale rotary set-up. Biofouling 19(Suppl.):45–51.
- [29] Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) (1952). Marine Fouling and its Prevention. Annapolis, Maryland, US Naval Institute.
- [30] ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Α.Δ. , Μελέτη Πλοίου - Μεθοδολογία Προμελέτης, Τόμος Α', Εκδόσεις Συμεών
- [31] ΠΟΛΙΤΗΣ Γ.Κ. , Πρόωση Πλοίου, 2^η Έκδοση
- [32] ΠΟΛΙΤΗΣ Γ.Κ. , ΣΚΑΜΝΕΛΗΣ Φ.Α., Σημειώσεις Αντίστασης Πλοίου, 2^η Έκδοση, 2007
- [33] Υδροδυναμική Πλοίου (Αντίσταση - Πρόωση) - Στοιχεία για Υπολογισμούς, ΑΘΗΝΑ, 1982