

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΘΟΔΩΝ LASER ΚΑΙ CFD ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΙΣΤΙΟΠΛΟΪΚΩΝ ΣΚΑΦΩΝ

ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ Γ. ΠΕΡΙΣΣΑΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΡΗΓΟΡΗΣ Γ. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ

Τριμελής Επιτροπή:

Γ. Γρηγορόπουλος, Καθηγητής, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Θ. Λουκάκης, Καθηγητής, Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Γ. Τζαμπίρας, Καθηγητής, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Επταμελής Επιτροπή:

Γ. Τζαμπίρας, Καθηγητής, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Γ. Τριανταφύλλου, Καθηγητής, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠΕ.

Λιαροκάκης, Καθηγητής, Σχολή ΕΜΦΕ ΕΜΠ

Σ. Τσαγγάρης, Καθηγητής, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Γ. Γρηγορόπουλος, Αν. Καθ. Σχολής Ναυπηγών Μηχ. Μηχ. ΕΜΠ

Γ. Πολίτης, Αν. Καθηγητής, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Λ. Καϊκτοής, Επικ. Καθηγητής, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματεύεται την πειραματική και αριθμητική πρόβλεψη της ελεύθερης επιφάνειας που δημιουργούν τα πλοία κατά την κίνησή τους. Καθώς η δημιουργία κυματισμού σχετίζεται άμεσα με την αντίσταση και ευθύνεται και για ένα σημαντικό κομμάτι της, η ακριβής πρόβλεψη της μορφής της αποτελεί κρίσιμη πληροφορία στη σχεδίαση. Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα ερευνητική εργασία κινείται θεματικά σε δύο κύριους άξονες.

Ο ένας άξονας αφορά στον σχεδιασμό μιας πρωτότυπης πειραματικής διαδικασίας για τη μέτρηση της ελεύθερης επιφάνειας προτύπων κινούμενων στην πειραματική δεξαμενή.

Ο δεύτερος άξονας αφορά στη χρήση και αξιολόγηση των διαθέσιμων υπολογιστικών (εν προκειμένω αριθμητικών) εργαλείων για την πρόβλεψη της ελεύθερης επιφάνειας ενός πλοίου.

Η εφαρμογή αυτού του ερευνητικού έργου περιελάμβανε διάφορους τύπους σκαφών μεταξύ των οποίων και ιστιοπλοϊκά σκάφη, οι ιδιαιτερότητες των οποίων τα διαφοροποιούν έντονα και επιβάλλουν πρόσθετους και απαιτητικούς περιορισμούς στην ερευνητική προσέγγισή τους. Αναλυτικότερα, δοκιμάστηκαν τα αντιπροσωπευτικά σκάφη:

Πρότυπο Σειράς 60: Το πρότυπο αυτό αντιστοιχεί στη σειρά 60 με $CB=0.6$ και $L/B=7.5$, που αναπτύχθηκε στο David Taylor Model Basin [14],[13]. Το σκάφος αυτό έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον στη βιβλιογραφία και προτείνεται ως παράδειγμα ελέγχου σε πολλές από τις διαδικασίες της ITTC.

Επίσης, το συγκεκριμένο πρότυπο του εργαστηρίου, χρησιμοποιήθηκε εκτενώς σε ερευνητικές εργασίες και δημοσιεύσεις και έτσι ήταν ιδανική περίπτωση για να αποτελέσει το βασικό πρότυπο ανάπτυξης και επιβεβαίωσης τόσο των πειραματικών, όσο και των αριθμητικών αποτελεσμάτων.

« NAVIGATOR XXI »: Το πρότυπο αυτό αφορά στο σκάφος ' NAVIGATOR XXI ' , τύπου ' 177-S ' , το οποίο σχεδιάστηκε να εξυπηρετήσει εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Το σκάφος κατασκευάστηκε από τα ναυπηγεία Remontowa για τη ναυτική ακαδημία του Szczecin της Πολωνίας.

Η σχεδίασή του, του επιτρέπει να κινείται σε προασπισμένες περιοχές στη Βαλτική και στη Βόρεια θάλασσα εντός 200 ναυτικών μιλίων από την ακτή. Με ολικό μήκος 60 μέτρα και πλάτος 10.5, το σκάφος φιλοξενεί 49 άτομα συνολικά συμπεριλαμβανομένου του πληρώματος και μπορεί να ταξιδεύει με 13 κόμβους.

Η μορφή του σκάφους αυτού έχει κάποιες ενδιαφέρουσες ιδιαιτερότητες, όπως η πρύμνη καθρέπτη και ο βολβός και κρίθηκε κατάλληλο για να αποτελέσει ένα από τα σκάφη αναφοράς, καθώς για το σκάφος αυτό υπήρχαν διαθέσιμα πειραματικά και αριθμητικά

δεδομένα για σύγκριση, τόσο σε κλίμακα προτύπου όσο και σε πλήρη κλίμακα.

Ιστιοπλοϊκό Σκάφος: Το πρότυπο « BOC 50 » αντιστοιχεί σε μια σχεδίαση του 1994, του γαλλικού οίκου σχεδίασης ιστιοπλοϊκών σκαφών "Mortain & Mavrikos Yacht Design" και αφορά σε ένα αγωνιστικό ιστιοπλοϊκό σκάφος 50 ποδών για συμμετοχή στους αγώνες "BOC Challenge".

Οι αγώνες αυτοί θεσπίστηκαν το 1982 και είναι οι πρώτοι ιστιοπλοϊκοί αγώνας με ένα άτομο πλήρωμα για τον γύρο του κόσμου με ενδιάμεσες στάσεις.

Η σχεδίαση του συγκεκριμένου σκάφους αφορά σε ένα μοντέρνο λεπτόγραμμο μονό-γαστρο συμμετρικό ιστιοπλοϊκό σκάφος υψηλών επιδόσεων. Πρόκειται για ένα σκάφος εκτοπίσματος, σχεδιασμένο με δύο πηδάλια, μακριά καρίνα με βολβό και δύο κατάρτια. Το πρότυπο που κατασκευάστηκε για το σκάφος αυτό είναι αρκετά μεγάλο (4 μέτρα περίπου) σε κλίμακα 1:4.

Όλα τα πρότυπα ήταν ξύλινα και κατασκευάστηκαν από το εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής. Τα πειράματα έγιναν στις εγκαταστάσεις της πειραματικής δεξαμενής που διαθέτει το ίδιο το εργαστήριο. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση έχει μήκος περίπου 100 μέτρα, πλάτος 4,56 μέτρα και με τη βοήθεια του ειδικού εξοπλισμού της δύναται να πραγματοποιήσει πλήθος πειραμάτων σε ήρεμο και κυματισμένο νερό.

Πειραματικές Δοκιμές Ιστιοπλοϊκών Προτύπων

Η μελέτη της πλεύσης των ιστιοπλοϊκών σκαφών προσεγγίζεται αρκετά διαφορετικά από αυτή των συμβατικών σκαφών. Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής, μελετήθηκε η σχεδίαση των ιστιοπλοϊκών σκαφών, η μοντελοποίηση των αεροδυναμικών και υδροδυναμικών δυνάμεων και διερευνήθηκαν οι απαιτούμενες διαδικασίες για την πειραματική διερεύνησή τους, με τη χρήση του δυναμομέτρου 6 συνιστωσών του εργαστηρίου. Στις σχετικές εικόνες φαίνονται μερικά από αυτά τα διαγράμματα, καθώς και η ακρίβεια και επαναληψιμότητα των μετρήσεων. Επιβεβαιώθηκε στα πειράματα αυτά ότι η επιλογή του διεγέρτη τύρβης πρέπει να είναι σχολαστική, όπως και η λειότητα στην επιφάνεια του προτύπου, καθώς η αντίσταση είναι ευαίσθητη σε μικρές διαφοροποιήσεις αυτών των παραγόντων.

Συμπληρωματικά Πειράματα

Για την υποστήριξη της ανάπτυξης της πειραματικής μεθόδου για τη μέτρηση της ελεύθερης επιφάνειας χρειάστηκαν να διενεργηθούν μια σειρά από συμπληρωματικά πειράματα σε όλα τα πρότυπα. Τα πειράματα αυτά συμπεριλαμβάνουν πειράματα αντίστασης, μέτρησης διαμήκων τομών ελεύθερης επιφάνειας (wave cuts), τοπικές μετρήσεις ελεύθερης επιφάνειας με τη βοήθεια ακίδων (needles), φωτογράφιση της ελεύθερης επιφάνειας επάνω στη γάστρα των προτύπων και πειράματα πίεσης σε ενδεικτικά σημεία επάνω στη γάστρα και ιδιαίτερα στην περιοχή της πρύμνης. Για όλα αυτά τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε ο απαιτούμενος εξοπλισμός και αναπτύχθηκαν διαδικασίες. Παράλληλα, μετρήθηκε και η ακρίβεια της ταχύτητας του φορείου, η οποία, αν δεν είναι αρκετά σταθερή, επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων ελεύθερης επιφάνειας.

Πειράματα Μέτρησης Ελεύθερης Επιφάνειας - Μέθοδος Free Surface Scanning (FSS)

Η μέθοδος που αναπτύχθηκε, καταγράφει την τρισδιάστατη επιφάνεια των κυματισμών που δημιουργεί ένα πρότυπο, όταν κινείται στη δεξαμενή με σταθερή ταχύτητα σε ήρεμο νερό. Σε σχέση με άλλες μεθόδους είναι μια μη παρεμβατική, σχετικά γρήγορη και ακριβής μέθοδος με περιθώρια περαιτέρω μελλοντικής ανάπτυξης και εφαρμογής. Η συγκεκριμένη μέθοδος μέτρησης της ελεύθερης επιφάνειας βασίζεται σε ψηφιακή οπτική καταγραφή του φαινομένου και σε ψηφιακές τεχνικές επεξεργασίας εικόνας. Με αυτόν τον τρόπο η μέθοδος διαθέτει εγγενώς το πλεονέκτημα της μη παρέμβασής της στο μετρούμενο φαινόμενο και της αυτόματης και γρήγορης επεξεργασίας των αποτελεσμάτων από ένα υπολογιστικό σύστημα. Επίσης, η ταχύτητα και η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται σε ένα μεγάλο μέρος, από ευρέως διαδεδομένο ηλεκτρονικό εξοπλισμό, όπως οι ψηφιακές κάμερες και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, γεγονός που εξασφαλίζει σε επόμενες υλοποιήσεις της μεθόδου χαμηλότερο κόστος και αύξηση της ακρίβειας.

Η μέθοδος προτείνεται να εφαρμόζεται σε πακτωμένα πρότυπα γιατί η επιλογή αυτή αυξάνει σημαντικά την ακρίβεια, με την οποία ορίζονται οι καταστάσεις των προτύπων. Αυτό συνεπάγεται πολύ μεγαλύτερη αξιοπιστία στις μετρήσεις και στις συγκρίσεις αυτών

με αριθμητικούς υπολογισμούς, αλλά όμως απαιτεί τον σχεδιασμό συστήματος στήριξης του προτύπου, ο οποίος στην περίπτωση των προτύπων ιστιοπλοϊκών είναι αρκετά πολύπλοκος.

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου είναι η εξής:

Όταν ένα πρότυπο κινείται με σταθερή ταχύτητα σε ήρεμο νερό, δημιουργεί ένα σύστημα κυματισμών κινούμενο με την ίδια ταχύτητα. Δηλαδή, η ελεύθερη επιφάνεια του νερού είναι σταθερή και ακίνητη σε σχέση με το πρότυπο. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν να απεικονιστεί αυτή η επιφάνεια ή μέρος αυτής, από ικανό αριθμό διαδοχικών σημειακών μετρήσεων της στάθμης του νερού, αρκεί αυτές να είναι συσχετισμένες με τη θέση του προτύπου.

Το σκεπτικό της λειτουργίας της μεθόδου στηρίζεται αρχικά σε αυτό το γεγονός. Συγκεκριμένα, ένα σταθερό σύστημα καταγραφής λαμβάνει διαδοχικές μετρήσεις της ελεύθερης επιφάνειας σε μια συγκεκριμένη τομή της πειραματικής δεξαμενής. Αυτό σημαίνει ότι καθώς το πρότυπο μαζί με το σύστημα κυματισμών που το ακολουθεί διέρχεται από αυτή την τομή, καταγράφονται διαδοχικές τομές της ελεύθερης επιφάνειας. Συγχρόνως, σε κάθε μέτρηση, καταγράφεται ή υπολογίζεται η ακριβής σχετική θέση του κινούμενου προτύπου ως προς τη σταθερή θέση καταγραφής.

Με τα στοιχεία αυτά, και αν οι διαδοχικές μετρημένες τομές της ελεύθερης επιφάνειας είναι αρκετά πυκνές, μπορεί να αναπαραχθεί με μεγάλη ακρίβεια η συνολική ελεύθερη επιφάνεια.

Η καρδιά της μεθόδου βρίσκεται στον τρόπο καταγραφής μιας συγκεκριμένης τομής της ελεύθερης επιφάνειας. Αρχικά, δημιουργείται μέσα στο νερό της πειραματικής δεξαμενής, με τη βοήθεια μιας ακτίνας LASER, ένα κατακόρυφο σταθερό φωτεινό επίπεδο, εγκάρσιο στην κίνηση του φορείου.

Η τομή του φωτεινού επιπέδου με την ελεύθερη επιφάνεια είναι η ζητούμενη προς καταγραφή τομή. Κρίσιμη λεπτομέρεια στο σημείο αυτό είναι ότι το φως του LASER πρακτικά δεν σκεδάζεται κατά τη διέλευσή του μέσα από τον αέρα, αλλά μόνο μέσα από το νερό, λόγω της σκόνης και των διαλυμένων σωματιδίων.

Η μέθοδος εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι η κύρια κατεύθυνση του φωτός που προέρχεται από το φαινόμενο της σκέδασης απομακρύνεται από το φωτεινό επίπεδο, αφού οι δευτερεύουσες σκεδάσεις με πιθανή αντίθετη διεύθυνση έχουν αμελητέα ενέργεια, και με αυτή την κατεύθυνση φτάνει στην ελεύθερη επιφάνεια για να διαθλαστεί. Σύμφωνα με το φαινόμενο της διάθλασης, το φως διαθλάται, και η γωνία με την οποία απομακρύνεται από το φωτεινό επίπεδο μεγαλώνει ακόμα περισσότερο. Το αποτέλεσμα είναι ότι όταν παρατηρούμε την περιοχή που το φωτεινό επίπεδο τέμνει την ελεύθερη επιφάνεια, το νερό χωρίζεται σε δύο μέρη με όριο το φωτεινό επίπεδο. Το μέρος του νερού που βρίσκεται προς τη μεριά της παρατήρησης είναι φωτεινό, ενώ το υπόλοιπο νερό δεν εκπέμπει φως προς το μέρος της παρατήρησης και είναι σκοτεινό.

Έτσι, σε μια φωτογραφία του φαινομένου, θα υπάρχει μία φωτεινή περιοχή και μία σκοτεινή, το όριο των οποίων θα είναι ακριβώς η προβολή της τομής του φωτεινού επιπέδου με την ελεύθερη επιφάνεια, δηλαδή η προβολή της καμπύλης που πρέπει να καταγραφεί και να μετρηθεί.

Έτσι, αφού η τελευταία καμπύλη βρίσκεται πάνω σε ένα γνωστό επίπεδο, το φωτεινό επίπεδο, και το επίπεδο της φωτογραφίας είναι επίσης γνωστό, οι δύο καμπύλες μπορούν να συσχετιστούν σημείο προς σημείο. Από μαθηματικής άποψης, το πρόβλημα είναι καλά ορισμένο.

Στην πράξη, με την κατάλληλη βαθμονόμηση, μπορούμε να ορίσουμε έναν κατάλληλο μετασχηματισμό και αφού απομονώσουμε την καμπύλη στη φωτογραφία, να μετασχηματίσουμε τις τοπικές συντεταγμένες όλων των σημείων της στις συντεταγμένες της ζητούμενης τομής της ελεύθερης επιφάνειας.

Πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι ειδικά κατά τη μετάβαση του φωτός του φωτεινού επιπέδου από το νερό στον αέρα, η σκέδαση είναι εντονότερη, γεγονός που οδηγεί, υπό ορισμένες συνθήκες, σε αύξηση της φωτεινότητας της φωτογραφίας, ακριβώς στο όριο της σκοτεινής και φωτεινής περιοχής.

Επίσης, το φως του φωτεινού επιπέδου δεν διαθλάται κατά τη μετάβασή του από το νερό στον αέρα, αφού συναντάει την ελεύθερη επιφάνεια ακριβώς κάθετα. Οι αποκλίσεις από την τελευταία παρατήρηση, όταν η ελεύθερη επιφάνεια έχει κύματα, είναι αμελητέες

και σε καμία περίπτωση δεν είναι αρκετά έντονες, ώστε να καταγραφούν στη φωτογραφία, αφού η παρατήρηση του φαινομένου γίνεται υπό γωνία της τάξεως των 30 μοιρών.

Η επιτυχία της εφαρμογής της συγκεκριμένης αρχής λειτουργίας στηρίζεται έντονα και στη διαδικασία βαθμονόμησης. Αποδείχτηκε ότι ο τρόπος βαθμονόμησης, καθώς και η ακρίβεια αυτής επηρεάζει σημαντικά την υλοποίηση της μεθόδου. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκε ειδικός εξοπλισμός για τη βαθμονόμηση και οργανώθηκαν κατάλληλες διαδικασίες.

Ο τελικός εξοπλισμός που σχεδιάστηκε για τη μέθοδο FSS είναι ο εξής:

1. Μια πηγή Laser καθώς και ο συνοδευτικός ηλεκτρικός και ψυκτικός εξοπλισμός, όπως και εξοπλισμός ασφαλείας.
2. Σύστημα δημιουργίας ενός κατακόρυφου φωτεινού επιπέδου (Laser Sheet) από τη δέσμη του Laser. Το επίπεδο αυτό δημιουργήθηκε με την οδήγηση της δέσμης εντός του νερού και την εκτροπή της από έναν ταχέως παλλόμενο καθρέπτη. Ο μηχανισμός αυτός πρέπει να είναι υψηλής ακριβείας τόσο για τον ορθό προσανατολισμό του φωτεινού επιπέδου, όσο και για τον έλεγχο του πάχους του, το οποίο επηρεάζει αισθητά την ακρίβεια των μετρήσεων.
3. 4 ψηφιακές ασπρόμαυρες κάμερες υψηλής ταχύτητας για την καταγραφή των μετρήσεων. Ο αριθμός και η ανάλυση των καμερών μπορεί να τροποποιείται εύκολα σε μελλοντικές υλοποιήσεις της μεθόδου. Η ταχύτητα λήψης, όμως, πρέπει να είναι μεγάλη και οριοθετεί τη μέγιστη ταχύτητα του προτύπου για δεδομένες απαιτήσεις δειγματοληψίας.
4. Υπολογιστικό σύστημα υποστήριξης των ψηφιακών καμερών και της καταγραφής και ανάλυσης των μετρήσεων, συμπεριλαμβανομένου και του λογισμικού.
5. Σύστημα στήριξης των καμερών. Η σχεδίαση του συστήματος αυτού είναι πολύπλοκη, γιατί πρέπει να χωράει κάτω από το χώρο κίνησης του φορείου, να στηρίζει τις κάμερες σε ικανή απόσταση από το στόχο τους και να εξασφαλίζει τις απαιτούμενες ρυθμίσεις στη θέση τους, για την προσαρμογή της μεθόδου στο μέγεθος των προτύπων. Το σύστημα στήριξης των καμερών θα πρέπει κατά κανόνα να σχεδιάζεται αποκλειστικά για τη δεξαμενή που θα φιλοξενήσει τα πειράματα.
6. Μηχανισμός στήριξης προτύπου. Ο μηχανισμός αυτός θα πρέπει να πακτώνει το πρό-

τυπο στο φορείο. Στην περίπτωση συμβατικών σκαφών είναι μια απλή κατασκευή. Αν, όμως, θα πρέπει να προβλεφτεί και η χρήση προτύπων ιστιοπλοϊκών, η σχεδίαση γίνεται περισσότερο πολύπλοκη. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να προβλεφθούν οι ειδικές κεκλιμένες θέσεις που πρέπει να πάρει το ιστιοπλοϊκό, καθώς και η έκκεντρη καταπόνηση του προτύπου από την πλάγια υδροδυναμική δύναμη της καρίνας.

7. Σύστημα εναύσματος μετρήσεων. Το σύστημα αυτό προτείνεται να είναι αυτόματο για βελτίωση της ακρίβειας.
8. Σύστημα καθορισμού σχετικής θέσης και ταχύτητας του προτύπου. Ο προσδιορισμός της ακριβούς σχετικής θέσης της μετρημένης ελεύθερης επιφάνειας ως προς το πρότυπο δεν είναι αυτονόητος, γιατί η μετρητική διάταξη της μεθόδου, βρίσκεται εκτός του φορείου και είναι τελείως ανεξάρτητη από αυτό. Για να μπορούν οι μετρήσεις να συσχετίζονται άμεσα με τη θέση του προτύπου θα πρέπει να σχεδιαστεί ένας επιπλέον μετρητικός μηχανισμός.

Στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν ασθενείς πηγές φωτός (leds) τα οποία τοποθετήθηκαν σε συγκεκριμένες θέσεις στο πρότυπο μέσα στην περιοχή καταγραφής των καμερών. Με τον τρόπο αυτό ενσωματώθηκαν οι μετρήσεις θέσης και ταχύτητας μέσα στις μετρήσεις ελεύθερης επιφάνειας με πάρα πολλά πλεονεκτήματα, όσο αφορά στην ακρίβεια και στην αξιοπιστία.

9. Λογισμικό για την ανάλυση των μετρήσεων.

Κατά τη σχεδίαση του συστήματος δημιουργήθηκαν εντονότατα προβλήματα στην ποιότητα των μετρήσεων που προερχόταν από την ποιότητα του νερού της δεξαμενής. Τα διαλυμένα σωματίδια δημιουργούσαν φουσκάλες και πολύ έντονες μεταβολές στα χαρακτηριστικά φωτεινότητας και αντίθεσης της φωτογραφίας. Τα προβλήματα αυτά στις φωτογραφίες των μετρήσεων ήταν αδύνατο να αντιμετωπιστούν με απλές μεθόδους και σε πάρα πολλές περιπτώσεις ακύρωναν τελείως τις μετρήσεις. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων κρίθηκε αναγκαίος ο καθαρισμός του νερού από τα επιπλέοντα ή εν δυνάμει επιπλέοντα μικροσωματίδια.

Ο καθαρισμός αυτός είναι απαραίτητος, αλλά δεν αρκεί για τη λύση των προβλημάτων. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκε ειδικό λογισμικό σε περιβάλλον Matlab, το οποίο,

με ημιαυτόματο τρόπο, αναγνωρίζει τις φουσκάλες και τα προβλήματα στα χαρακτηριστικά φωτεινότητας και αντίθεσης και βελτιώνει τις φωτογραφίες. Στη συνέχεια, βρίσκει την τομή της ελεύθερης επιφάνειας με τον αέρα, εφαρμόζει τους κανόνες βαθμονόμησης και μεταφράζει τελικά τη φωτογραφία σε τρισδιάστατα σημεία στον χώρο.

Σε όλα τα στάδια σχεδιασμού των πειραμάτων έγιναν οι κατάλληλες ενέργειες, ώστε οι διαδικασίες να μπορούν να στηρίζονται κατά το δυνατόν λιγότερο στον ανθρώπινο παράγοντα και να είναι αυτοματοποιημένες.

Το σκεπτικό αυτό είναι απαραίτητο για την εφαρμογή ενός συστήματος ποιότητας και τη διερεύνηση της ακρίβειας της μεθόδου.

Τα αποτελέσματα από τα πειράματα που έγιναν δείχνουν μια καλή συμφωνία της μεθόδου με τις υπάρχουσες, ενώ φαίνονται και τα μεγάλα πλεονεκτήματα, όσο αφορά στην ακρίβεια και την επαναληψιμότητα. Υπάρχουν σημεία που επιδέχονται βελτίωση για την αύξηση της ακρίβειας και της ταχύτητας λήψης αποτελεσμάτων, αλλά ήδη η συγκεκριμένη υλοποίηση είναι επιτυχής.

Επιλεκτικά πειραματικά αποτελέσματα φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν.

Αριθμητικές Δοκιμές – CFX

Ο δεύτερος θεματικός άξονας της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η χρήση των αριθμητικών εργαλείων για την πρόβλεψη της ελεύθερης επιφάνειας. Γενικά, η υπολογιστική ρευστοδυναμική έχει εξελιχθεί σε ένα πολύ σημαντικό εργαλείο σχεδίασης. Επικουρούμενη από τη συνεχή εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, έχει καταφέρει να προσομοιάζει πολύπλοκα φαινόμενα και να αντιμετωπίζει πραγματικά προβλήματα με εξαιρετική επιτυχία.

Η ενσωμάτωσή τους, όμως, στη διαδικασία της σχεδίασης και βελτιστοποίησης αποδεικνύεται ότι δεν είναι ούτε απλή ούτε αυτόματη. Η δυσκολία αυτή αναμένεται στο μέλλον να ελαχιστοποιηθεί, καθώς αυξάνεται σταθερά η ταχύτητα των υπολογιστών, αλλά και η φιλικότητα του λογισμικού.

Για να διερευνηθεί η παρούσα κατάσταση επιλέχτηκε το εμπορικό πρόγραμμα γενικής

χρήσης CFX και δοκιμάστηκαν οι αντίστοιχες καταστάσεις των πειραμάτων. Τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν ότι για τη λήψη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων χρειάζονται ακριβή συστήματα υπολογιστών και αρκετός χρόνος.

Μεγάλη εξάρτηση στην ποιότητα των αποτελεσμάτων προκύπτει από το μέγεθος και την ποιότητα του πλέγματος, το οποίο είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που οδηγεί στην ανάγκη μεγάλης ποσότητας μνήμης.

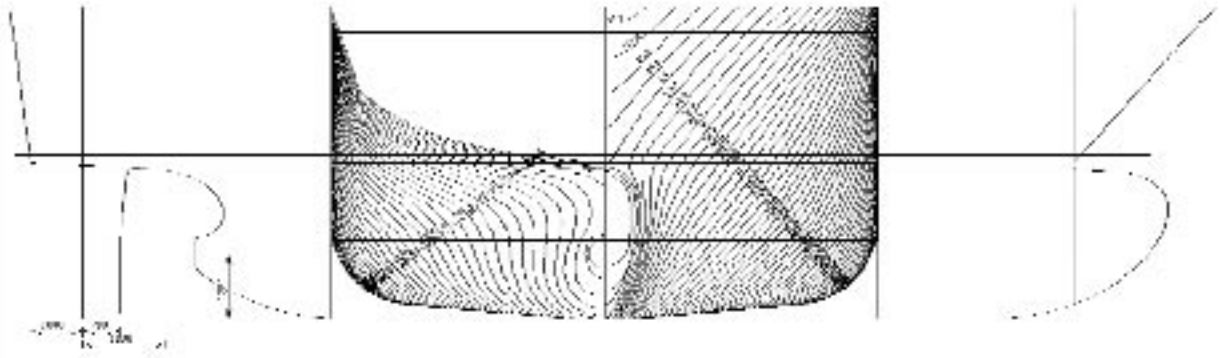
Για την αξιοποίηση, ωστόσο, των αριθμητικών μεθόδων με περισσότερο προσιτό υπολογιστικό εξοπλισμό, επιλέχτηκε μια διαφορετική προσέγγιση στο πρόβλημα εύρεσης της αντίστασης, η οποία να μπορεί να συνδυάσει την ευελιξία των αριθμητικών μεθόδων και την ακρίβεια των πειραματικών. Η προσέγγιση αυτή προϋποθέτει τη χρήση των πειραμάτων στην πρόβλεψη της μορφής της ελεύθερης επιφάνειας, η οποία είναι και το δυσκολότερο αριθμητικό πρόβλημα. Η πειραματική ελεύθερη επιφάνεια εισάγεται ως οριακή συνθήκη και στη συνέχεια οι αριθμητικές μέθοδοι επιλύουν το πρόβλημα της αντίστασης με αυτό το δεδομένο.

Οι αριθμητικές δοκιμές, με αυτή τη μέθοδο στο CFX, έδωσαν αρκετά ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Ακόμα και με περιορισμένη υπολογιστική ισχύ, η ακρίβεια στην εύρεση της αντίστασης είναι ικανοποιητική, τουλάχιστον σε συμβατικούς τύπους γάστρας.

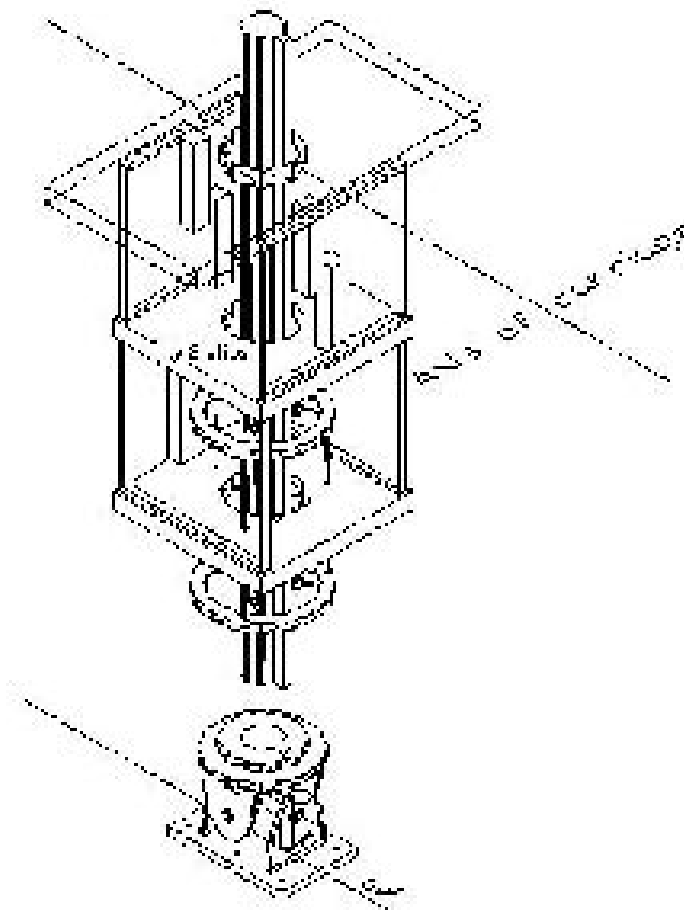
Επίλογος

Εν κατακλείδι, στην παρούσα διδακτορική διατριβή αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε ένας ενδιαφέρων και αξιόπιστος πειραματικός τρόπος μέτρησης της ελεύθερης επιφάνειας, που μπορεί να εφαρμοστεί σε σχεδόν κάθε τύπο πλοίου. Επίσης, διερευνήθηκε η δυνατότητα αξιοποίησης των υπαρχόντων αριθμητικών εργαλείων σε περιορισμένη υπολογιστική ισχύ.

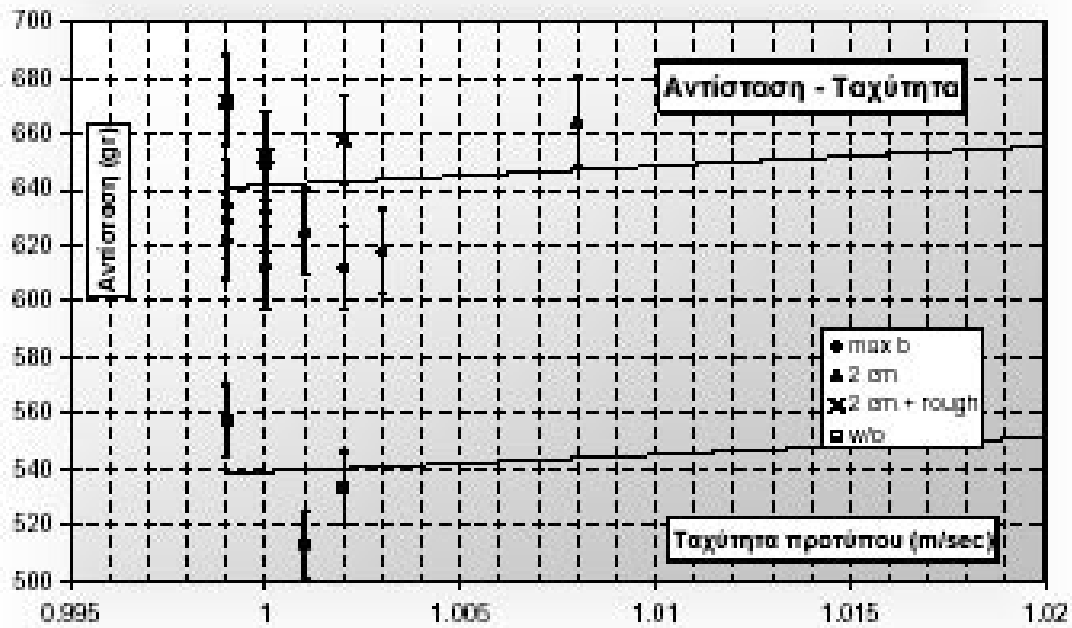
Η διερεύνηση αυτή έδειξε ότι η επίλυση της ελεύθερης επιφάνειας είναι ακόμα ένα δύσκολο πρόβλημα και απαιτεί σημαντικούς πόρους. Ωστόσο, προέκυψε μια ενδιαφέρουσα μέθοδος συνδυασμού αριθμητικών και πειραματικών μεθόδων για την εύρεση της αντίστασης.



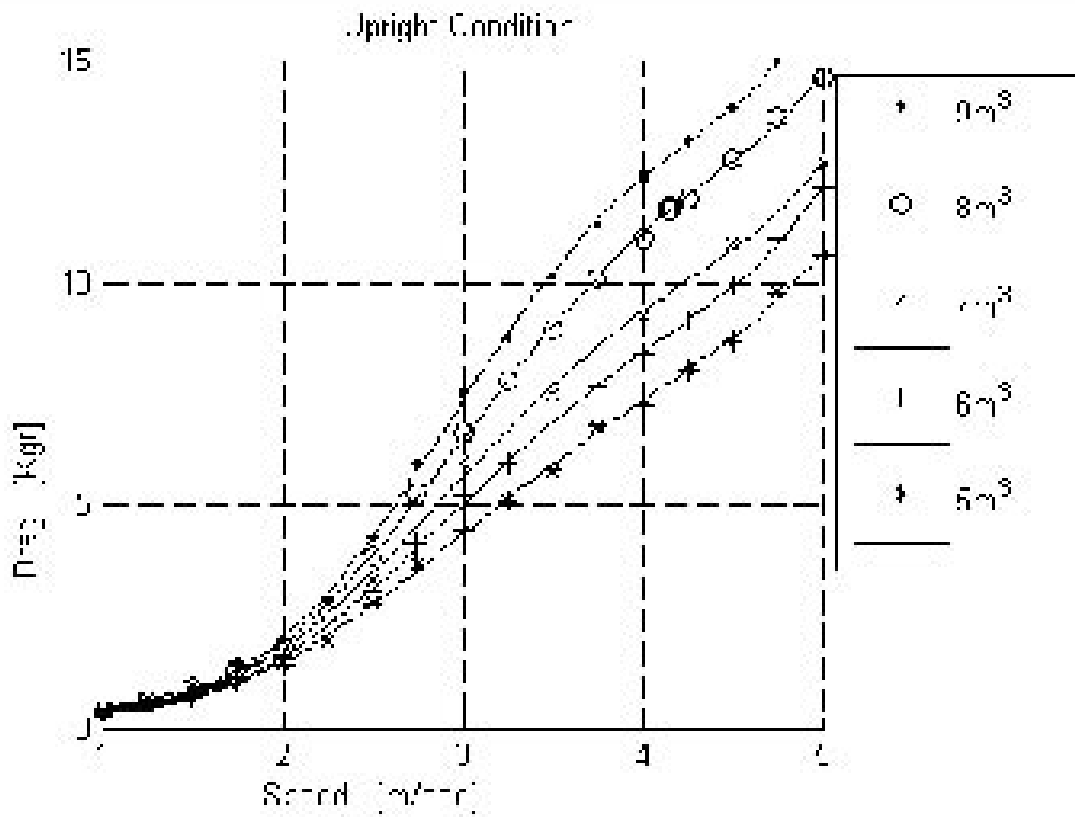
Εικόνα 1: Τα σχέδια του σκάφους NAVIGATOR XXI



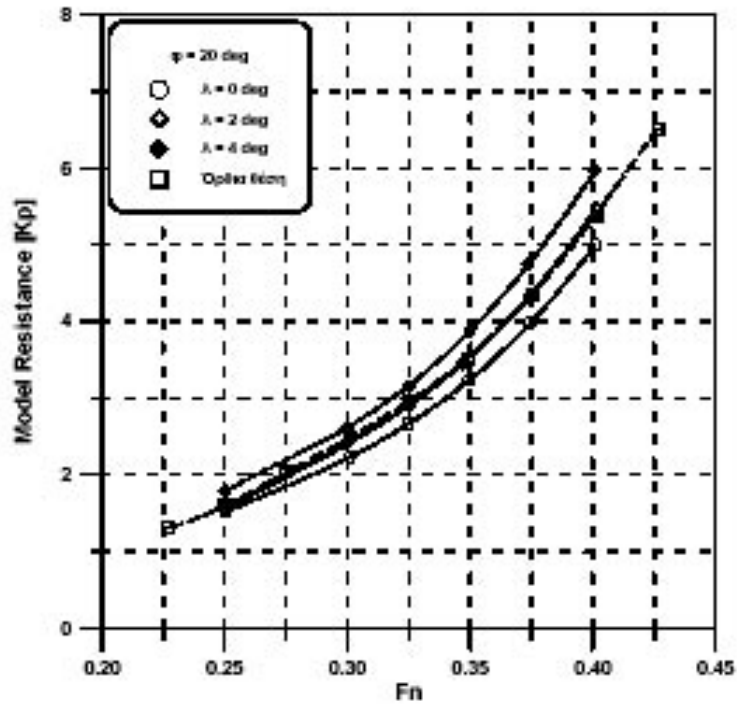
Εικόνα 2: Σκαρίφημα του δυναμομέτρου ιστιοπλοϊκών του ENOY



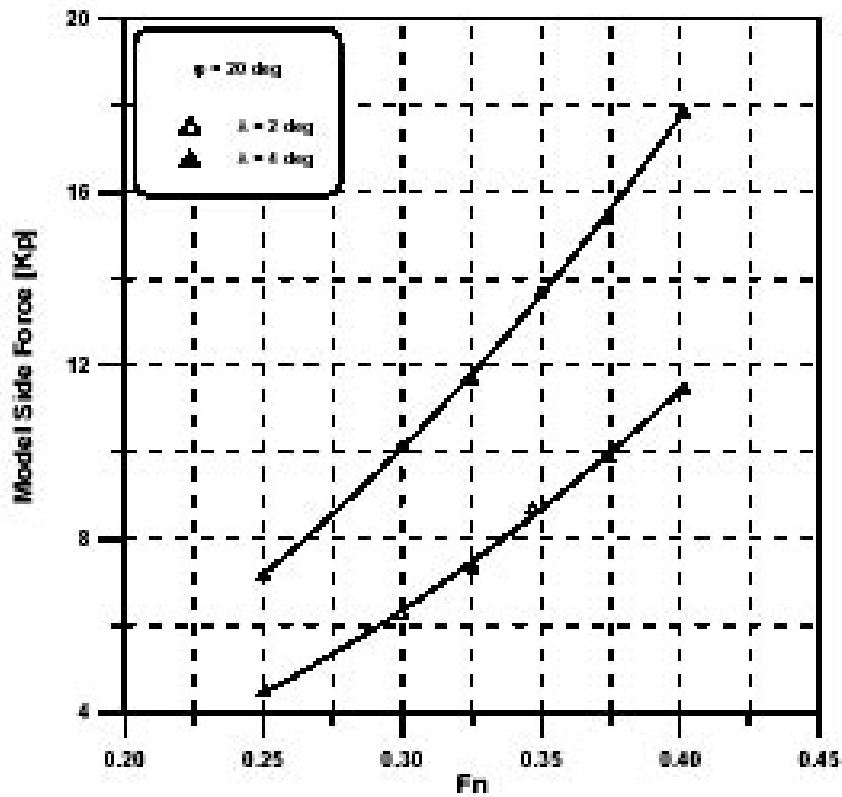
Εικόνα 3: Διερεύνηση της επίδρασης του διεγέρτη τύρβης



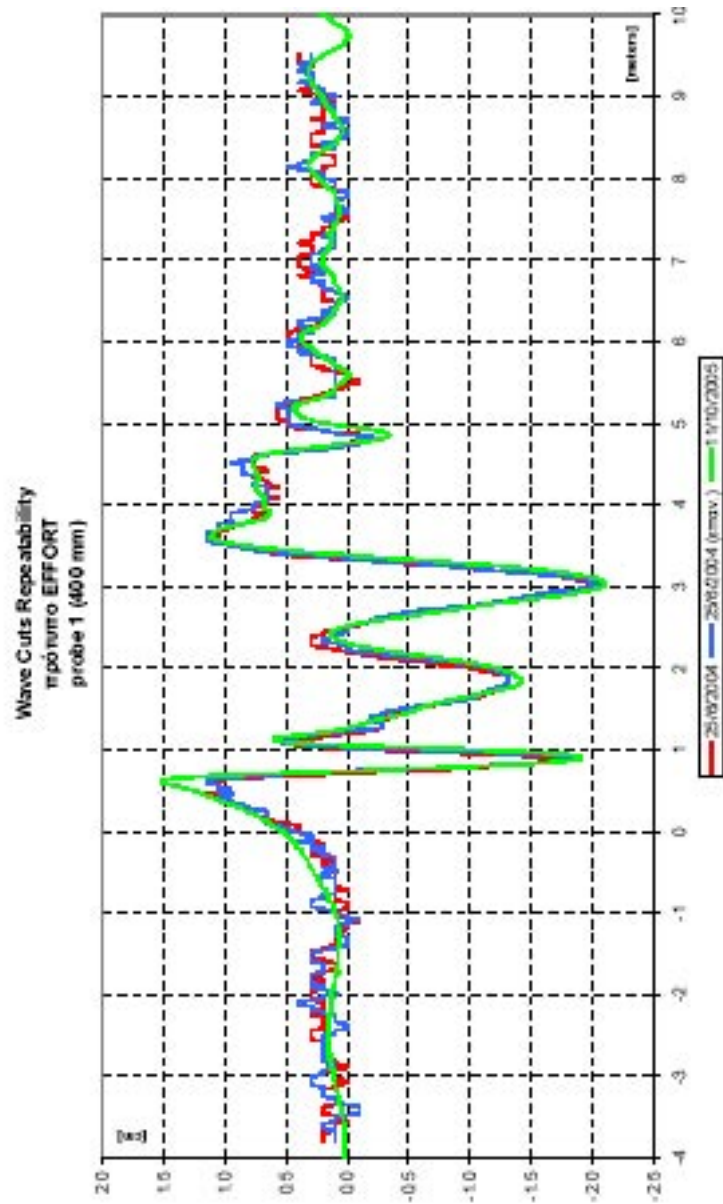
Εικόνα 4: Αντίσταση προτύπου « BOC 50 » χωρίς παρελκόμενα σε διάφορα εκποσίματα.



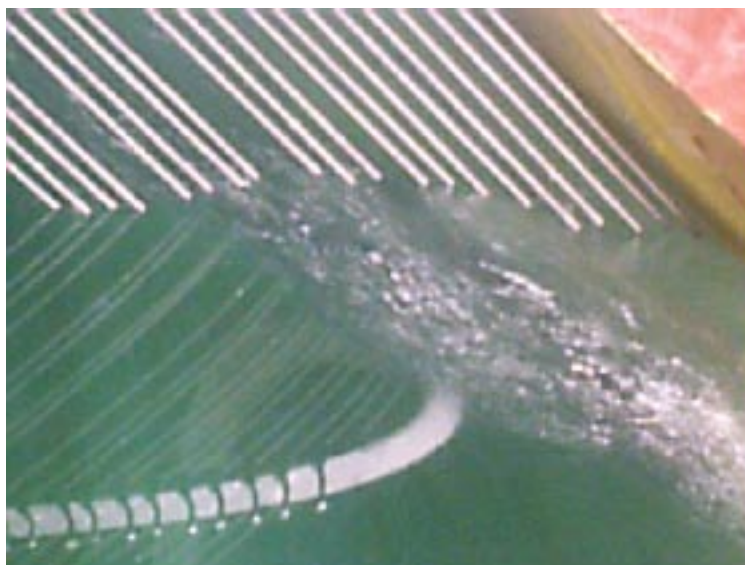
Εικόνα 5: Αντίσταση προτύπου « BOC 50 » με παρελκόμενα σε γωνία εγκάρσιας κλίσης 20 μοιρών και σε διάφορες γωνίες απόκλισης



Εικόνα 6: Πλάγια δύναμη προτύπου « BOC 50 » με παρελκόμενα σε γωνία εγκάρσιας κλίσης 20 μοιρών και σε διάφορες γωνίες απόκλισης



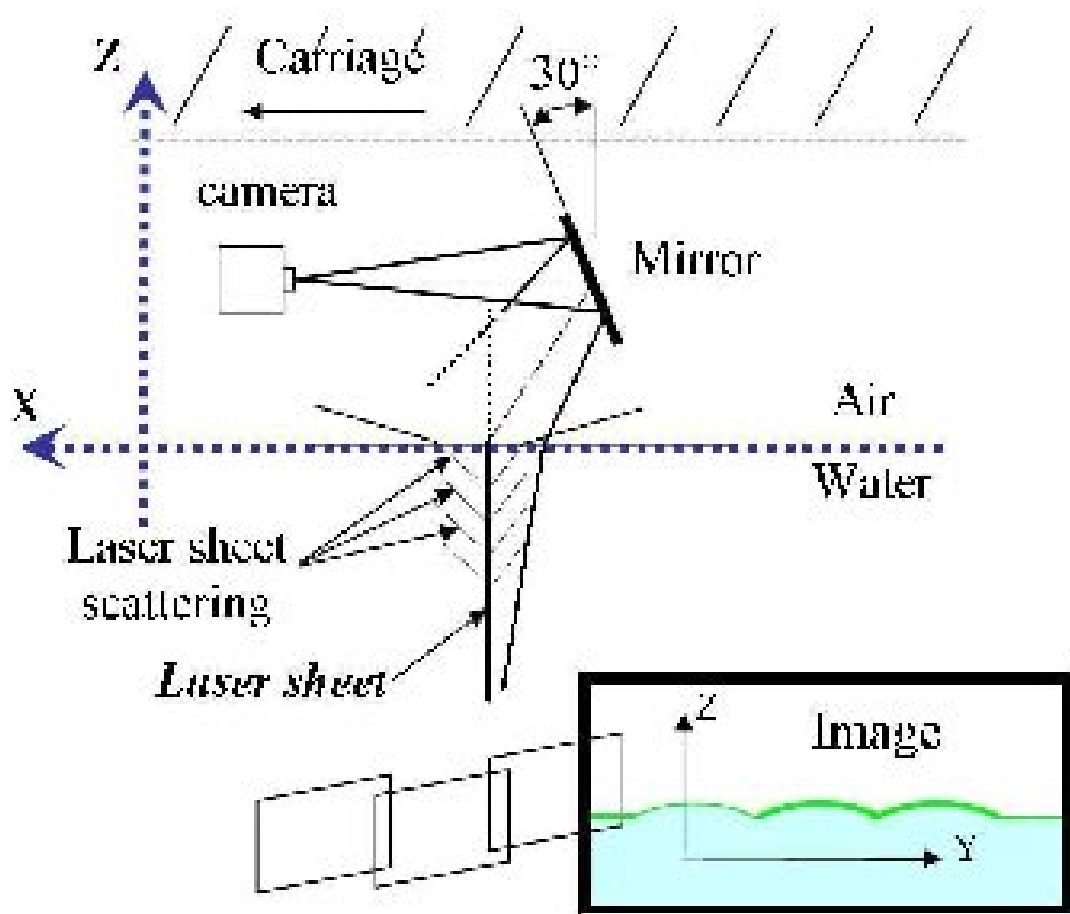
Εικόνα 7: Επαναληψιμότητα των πειραμάτων στη θέση του πρώτου wave probe



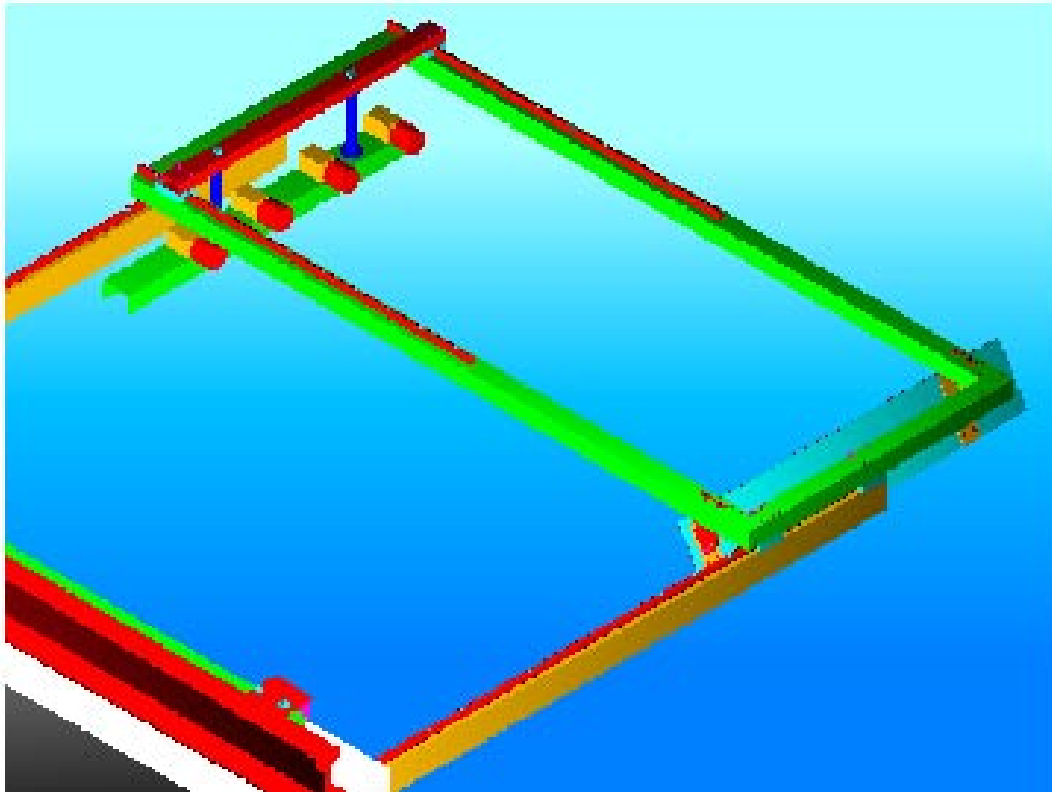
Εικόνα 8: Στιγμιότυπο από τη μέτρηση με ακίδες.



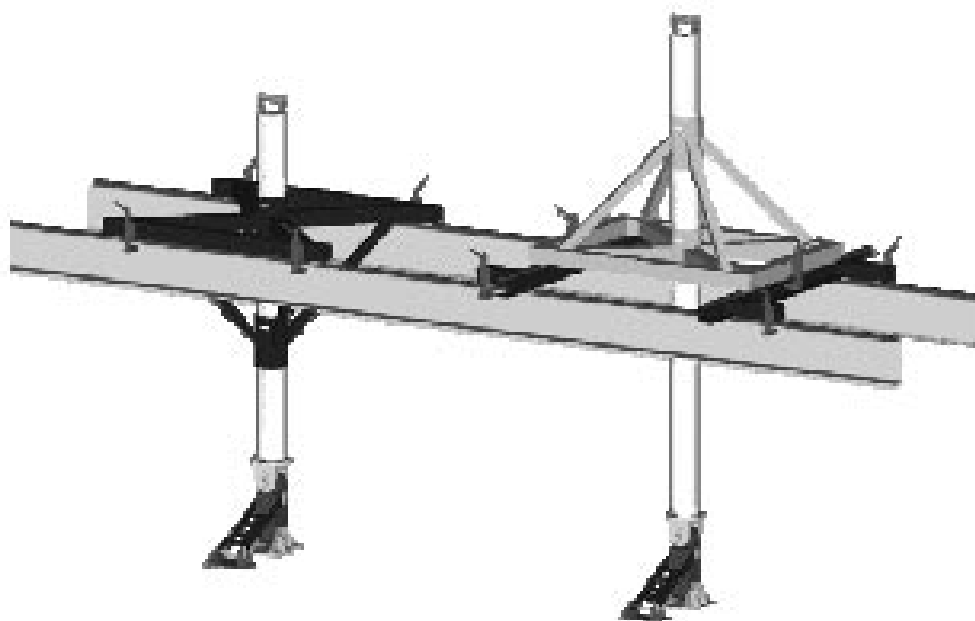
Εικόνα 9: Στιγμιότυπο από τη φωτογράφιση του κύματος επάνω στη γάστρα.



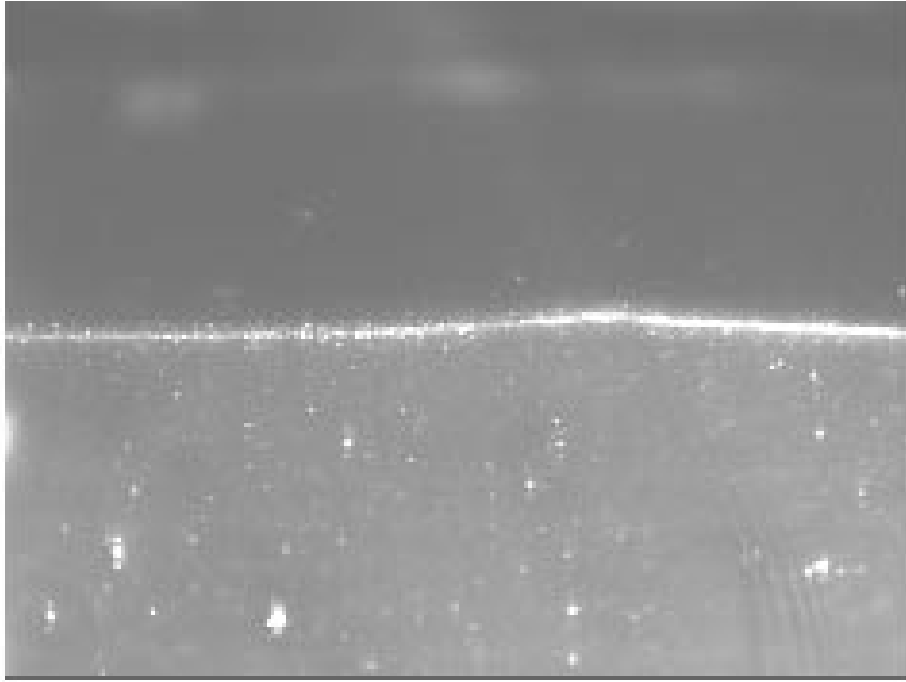
Εικόνα 10: Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου FSS



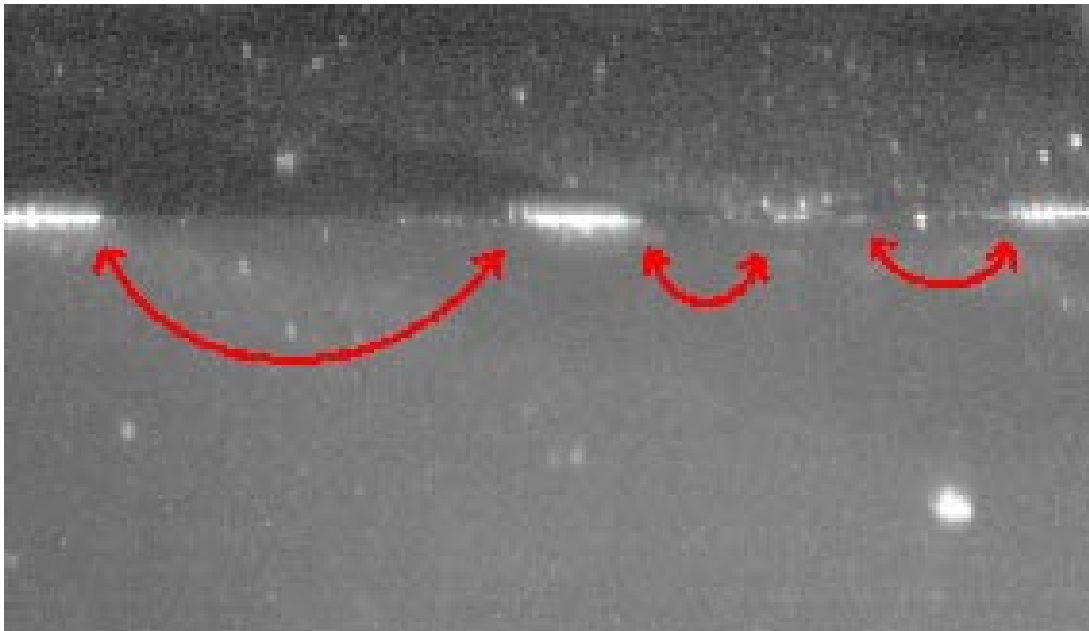
Εικόνα 11: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του μηχανισμού ανάρτησης των καμερών



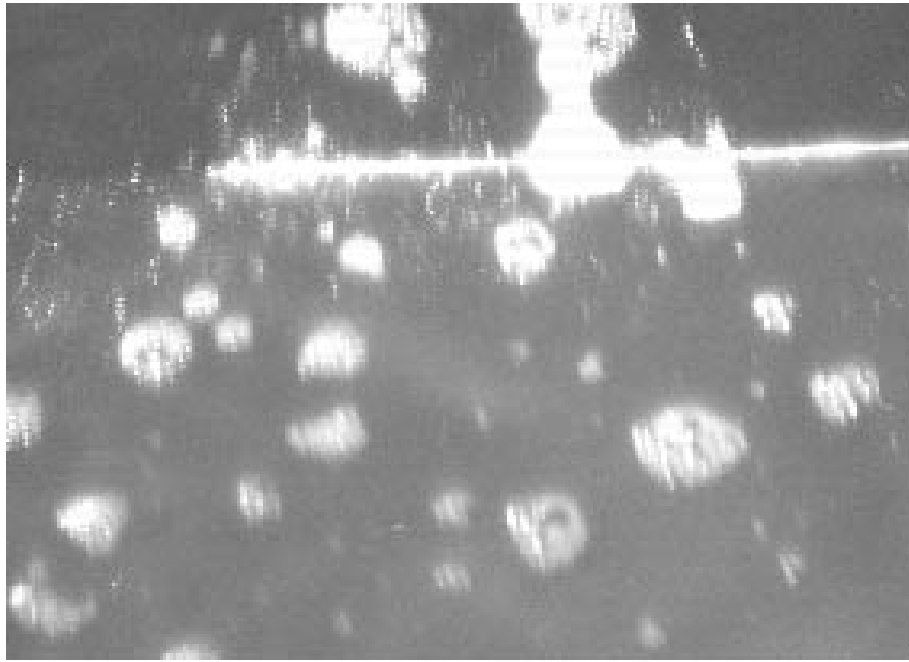
Εικόνα 12: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του μηχανισμού στήριξης των προτύπων



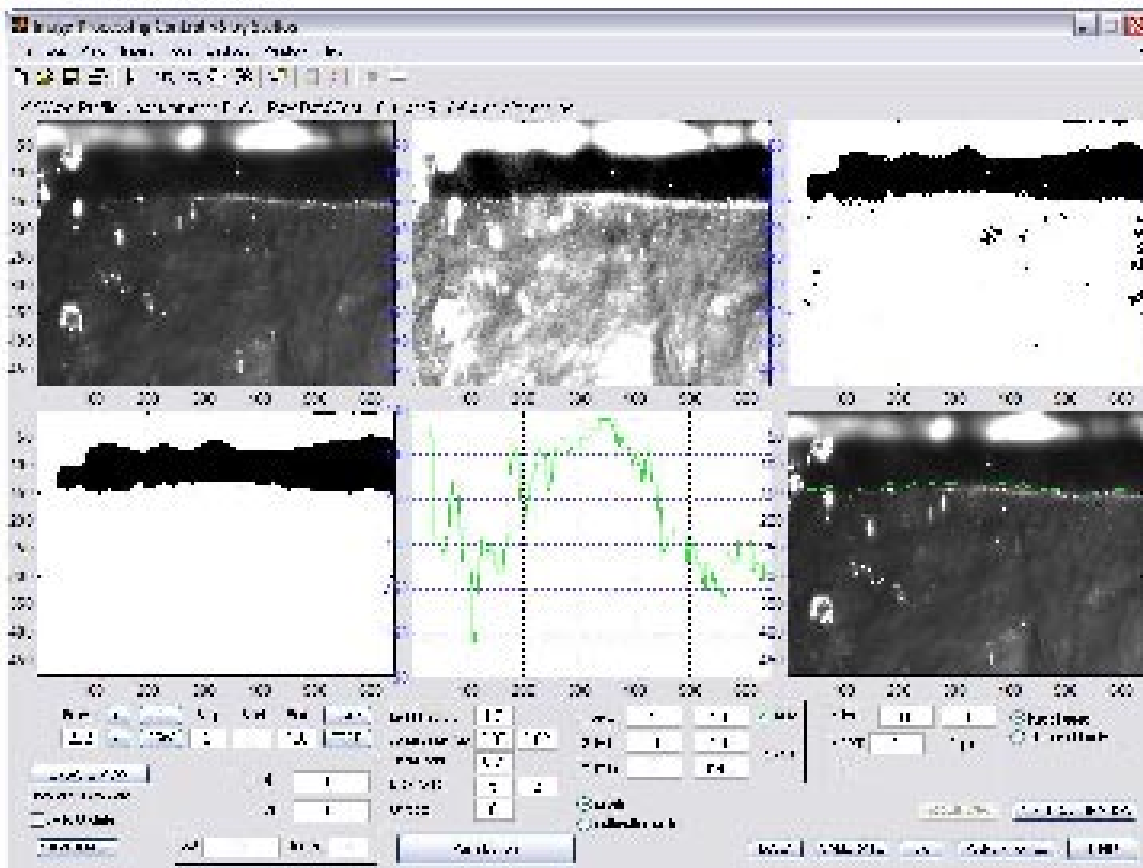
Εικόνα 13: Πρότυπη εικόνα από τις καταγραφές των καμερών



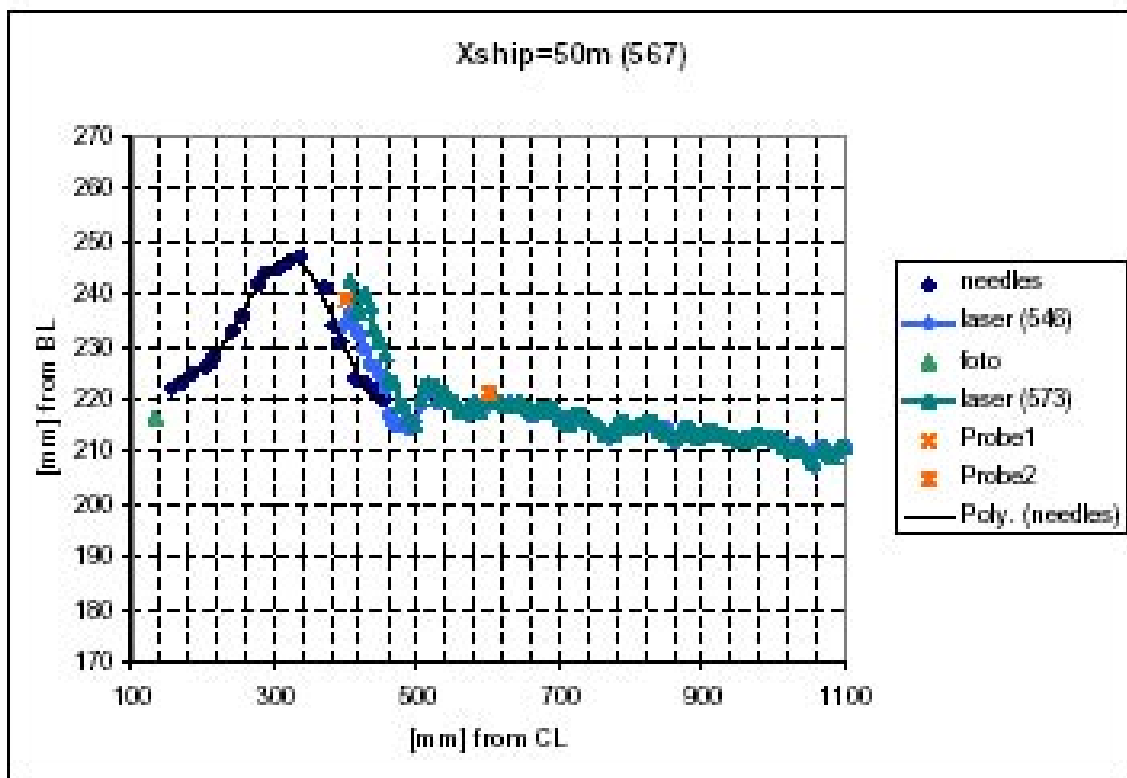
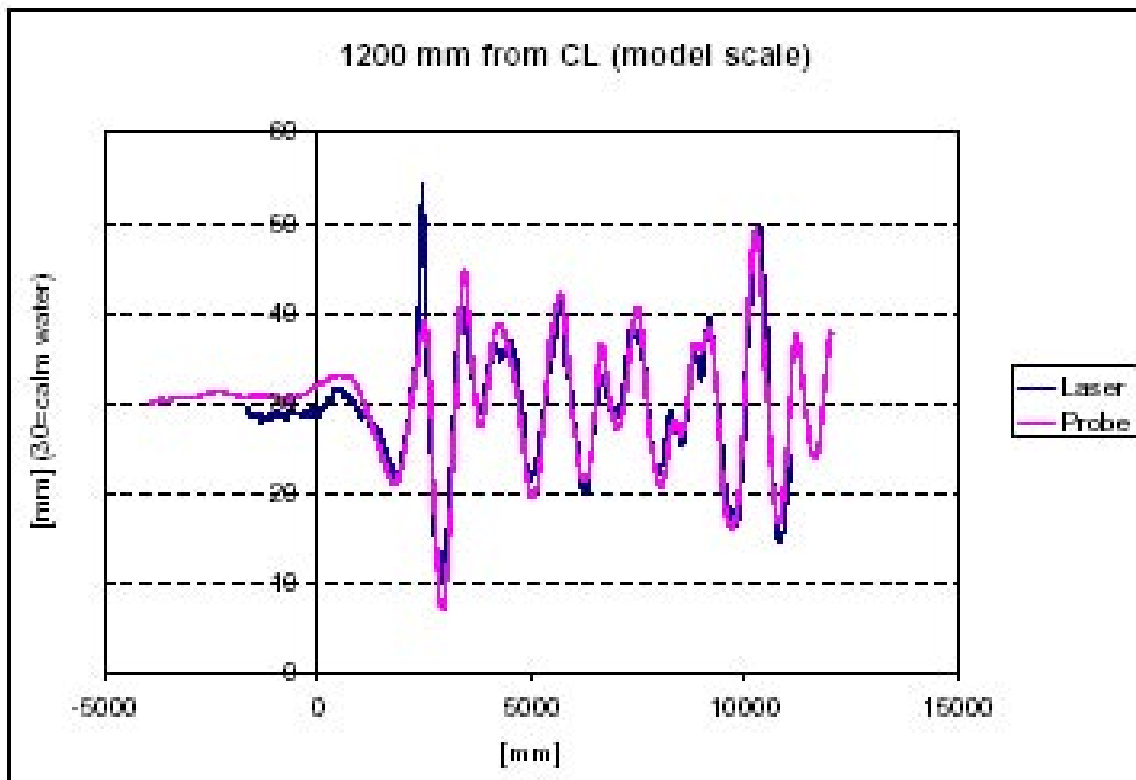
Εικόνα 14: Προβλήματα από τη συγκέντρωση επιφανειακής σκόνης



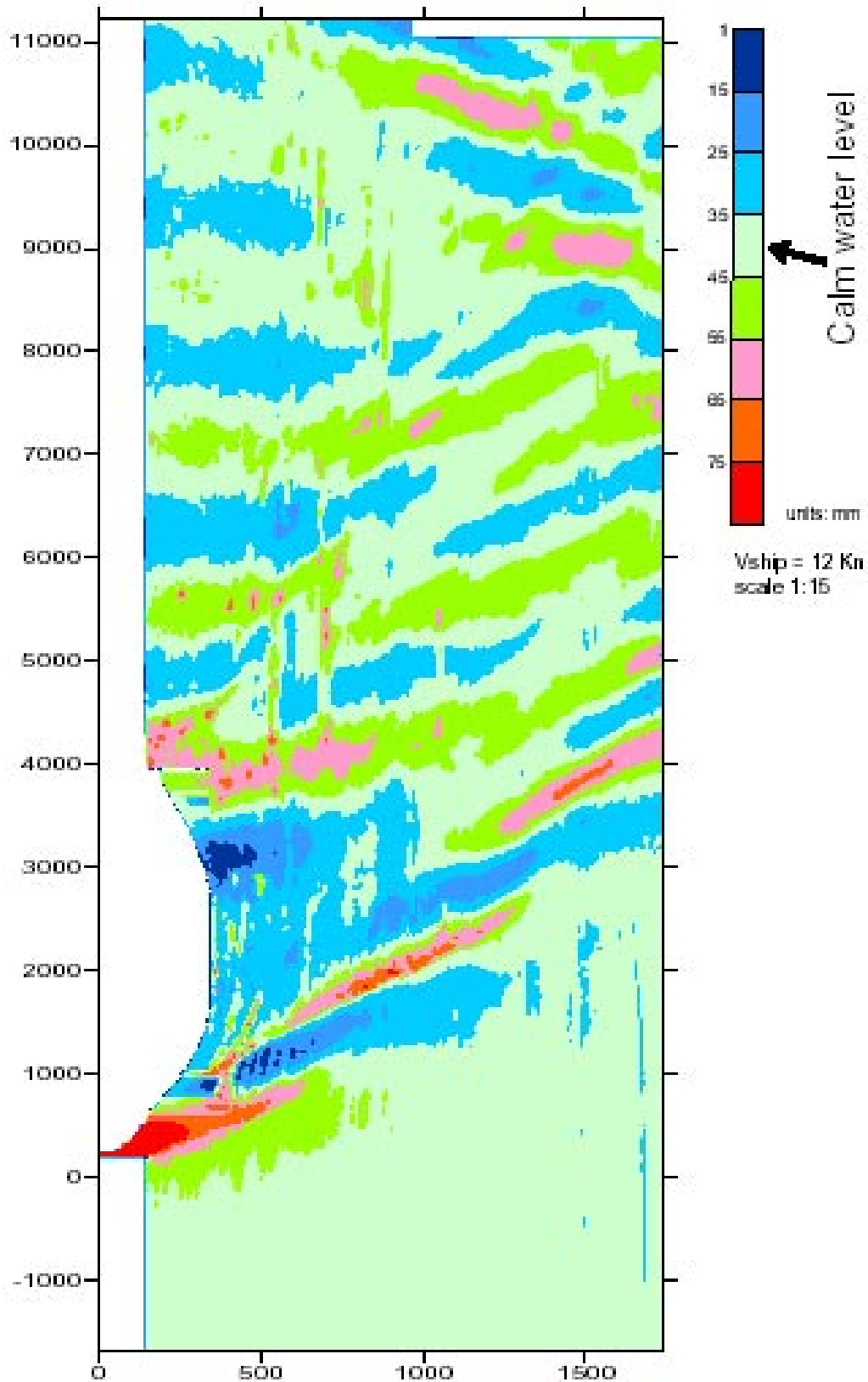
Εικόνα 15: Προβλήματα από τη δημιουργία επιφανειακών φυσαλίδων. Το λογισμικό που έχει αναπτυχθεί είναι αρκετά ευέλικτο, ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει τη συγκεκριμένη φωτογραφία, τοπικά στις περιοχές που δεν εμπλέκονται οι φυσαλίδες με το φωτεινό επίπεδο. Αν, όμως, οι φυσαλίδες παραμείνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα, η συνολική περιοχή μέτρησης της ελεύθερης επιφάνειας θα εμπεριέχει μεγάλες υποπεριοχές χωρίς αποτελέσματα μετρήσεων.



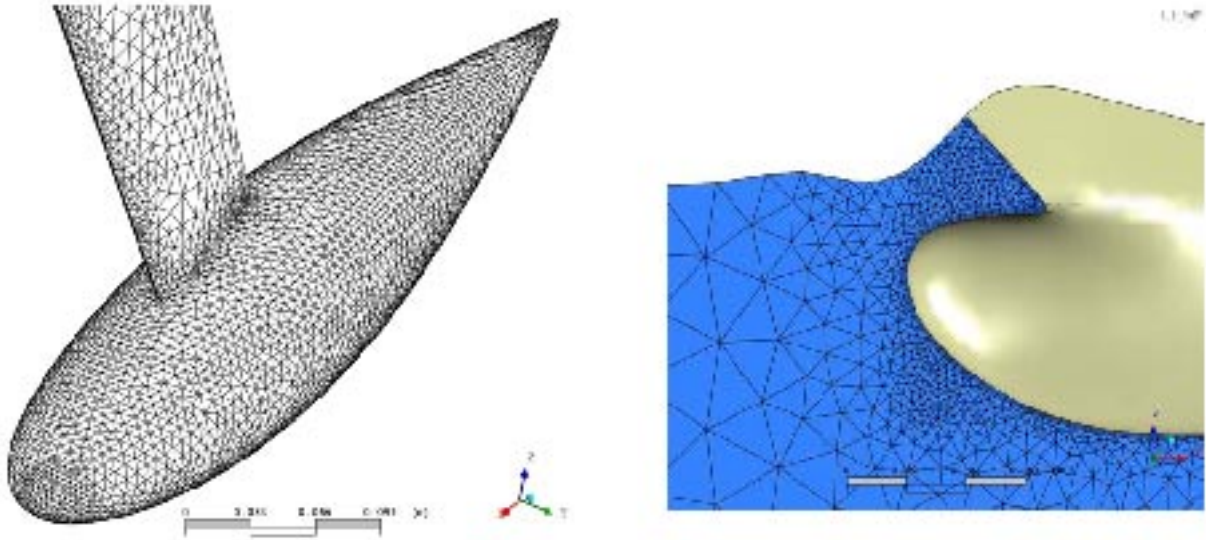
Εικόνα 16: Χαρακτηριστική εικόνα από το λογισμικό ανάλυσης που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον MATLAB



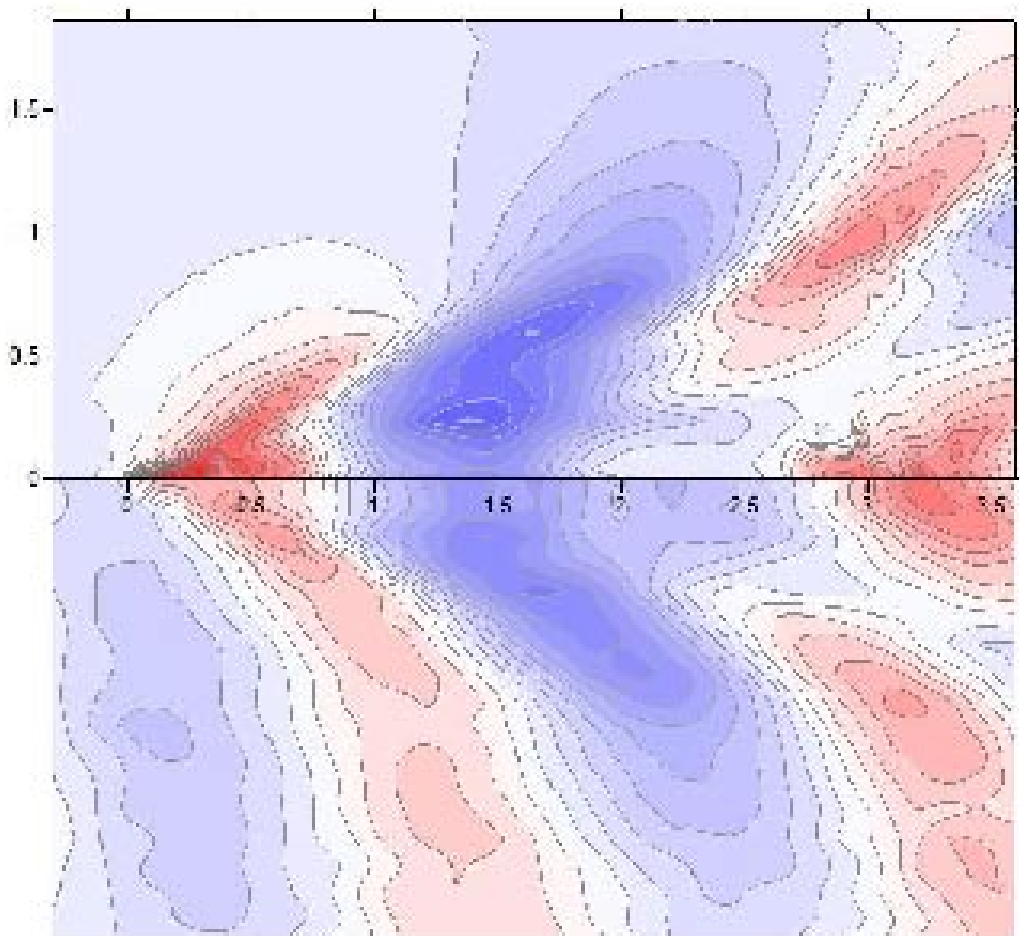
Εικόνα 17: Μετρήσεις με εναλλακτικές μεθόδους μέτρησης επιφάνειας σε σχέση με μετρήσεις με τη μέθοδο FSS



Εικόνα 18: Τελικά αποτελέσματα από την πειραματική μέθοδο FSS στο πρότυπο NAVIGATOR XXI



Εικόνα 19: Χαρακτηριστικά πλέγματα που χρησιμοποιήθηκαν στην αριθμητική επίλυση με το CFX, με την πειραματική ελεύθερη επιφάνεια ως οριακή συνθήκη.



Εικόνα 20: Σύγκριση της πειραματικής ελεύθερης επιφάνειας (πάνω) με την επιφάνεια που υπολόγισε το CFX (κάτω) σε κλίμακα προτύπου σε μια περιοχή κοντά στο πρότυπο. Τα αποτελέσματα βρίσκονται στον σωστό δρόμο, αλλά χρειάζονται πιο πυκνά πλέγματα για ικανοποιητική ακρίβεια.