

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΝΕΡΩΝ ΤΑΧΥΠΛΩΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΣΤΙΣ ΑΚΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥΣ

ΓΡΗΓΟΡΗΣ ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ*

Καθηγητής ΕΜΠ

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΧΑΛΚΙΑΣ

Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός, Υπ. Δρ ΕΜΠ

Η παρούσα εργασία αποτελεί προσαρμογή του ομότιτλου άρθρου που παρουσιάστηκε στο Συνέδριο του προγράμματος για την επιστημονική έρευνα στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ», που έγινε στο Πλωμάρι της Λέσβου στις 5-8 Ιουλίου 2007. Το αντικείμενο έχει ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας, δεδομένων των πυκνών δρομολογίων που συνδέουν την ηπειρωτική με τη νησιωτική χώρα και του μήκους της ακτογραμμής της.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα κύματα που δημιουργούνται από ταχύπλοα μονόγαστρα και δίγαστρα Ε/Γ-Ο/Γ διερευνώνται αριθμητικά, με τη βοήθεια κωδίκων δυναμικής ροής και πειραματικά με δοκιμές μεγάλων, επανδρωμένων προτύπων στη θάλασσα και την καταγραφή των κυμάτων στα απόνερα διερχόμενων Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων. Η αξιοπιστία των δοκιμών μεγάλων προτύπων στη θάλασσα είναι μεγάλη λόγω της έκτασης του πεδίου (απουσία των τοιχωμάτων των πειραματικών δεξαμενών) και των μειωμένων επιδράσεων κλίμακας. Τρία σύγχρονα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία επιλέχθηκαν για τη διερεύνηση, ένα ταχύπλοο σκάφος ημι-εκτοπίσματος, ένα ταχύ πλοίο εκτοπίσματος και ένα ταχύπλοο δίγαστρο, αντιπροσωπευτικά αυτών που

* Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής ΕΜΠ, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15773 Ζωγράφου
e_mail: gregory@central.ntua.gr

εξυπηρετούν την Ελληνική ακτοπλοΐα μικρών αποστάσεων. Τα πρώτα δύο από αυτά δοκιμάστηκαν με τη βοήθεια μεγάλων προτύπων σε προστατευμένο περιβάλλον, ενώ τα απόνερα του τρίτου καταγράφηκαν ενώ εκτελούσε δρομολόγιο. Διαθέσιμοι σύγχρονοι κώδικες δυναμικής ροής γραμμικοί (SWAN) και μη-γραμμικοί (SHIPFLOW) χρησιμοποιήθηκαν για την αριθμητική διερεύνηση του κυματικού πεδίου των απόνερων αυτών των Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων. Τα αριθμητικά αποτελέσματα συγκρίνονται με τα πειραματικά και η συμφωνία τους συζητείται. Προτείνονται κατευθύνσεις για τη συνέχιση του έργου.

ABSTRACT

The waves generated by high-speed monohull and catamaran ferries are investigated numerically using potential flow codes and experimentally by testing large, manned models at sea and by conducting full scale measurements of the wave wake of passing by ferries. The reliability of the latter tests is high due to the absence of tank wall effects and the reduced scale effects. Three modern ferries have been selected for the investigation, a high-speed, semi-displacement, a fast displacement and a high-speed catamaran, typical of those serving Hellenic short-sea shipping. The first two were tested using large models at sheltered environment, while the wash waves of the third one were measured while it was sailing on route. Available commercial, contemporary, potential flow codes, linear (SWAN) and non-linear (SHIPFLOW) were used for the numerical investigation of the wash wave field of these ferries. Their results are compared with the experimental ones and their agreement is discussed. Directions of future work on the subject are proposed.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή περιγράφει συνοπτικά το επιτελεσθέν έργο στο πλαίσιο του προγράμματος «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ» από την ερευνητική ομάδα «Ακτοφιλία» που

ανέλαβε την εκτέλεσή του. Επίσης, παρουσιάζει τα κυριότερα αποτελέσματα του έργου και τα συμπεράσματα που προέκυψαν, δίνοντας τις κατευθύνσεις για τη συνέχιση και ολοκλήρωση του έργου.

Το πρόβλημα των απόνερων πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές του προηγούμενου αιώνα, όταν η απώλεια της ζωής ενός παιδιού από τα απόνερα του ρωσικού Α/Τ NOVIK, που έπλεε με ταχύτητα 37 κόμβων, οδήγησε τον πρωτοπόρο ερευνητή Krylon στη διερεύνηση του προβλήματος [1]. Το πρόβλημα αμελήθηκε μέχρι τις αρχές του 1990, οπότε σύγχρονα ταχύπλοα σκάφη αντικατέστησαν πολλά συμβατικά πλοία που εξυπηρετούσαν τις Ευρωπαϊκές θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων. Η εξέλιξη αυτή είχε ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας, όπου η ακτοπλοΐα με τα 200 περίπου πλοία μεσαίου και μεγάλου μεγέθους καλείται να εξυπηρετήσει περί τα 100 νησιά από το σύμπλεγμα των 3000 του Ελληνικού Αρχιπελάγους.

Η δρομολόγηση των ταχυπλόων πλοίων συνδέθηκε, όμως, και με την εμφάνιση καινοφανών προβλημάτων, το σημαντικότερο από τα οποία είναι τα υψηλά κύματα των απόνερων αυτών των πλοίων τα οποία επιδρούν στις ακτές, όταν την παραπλέουν σε κοντινή απόσταση, επιταχύνοντας τη διάβρωσή τους, και θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των κολυμβητών και των επιβατών μικρών σκαφών αναψυχής, με την αιφνίδια εμφάνισή τους.

Οι λιμενικές αρχές προσπαθούν να μειώσουν τα απόνερα επιβάλλοντας σημαντικούς περιορισμούς στην ταχύτητα των ταχυπλόων σκαφών όταν παραπλέουν λιμάνια ή την ακτογραμμή. Στο πλαίσιο του προγράμματος το ύψος και το μήκος των κυμάτων στα απόνερα διερευνήθηκε αριθμητικά, πειραματικά και με μετρήσεις των απόνερων δρομολογημένων πλοίων. Με βάση τα αποτελέσματα, εξετάστηκε η ορθότητα των περιορισμών, εντοπίστηκαν οι τύποι των πλοίων που δημιουργούν επικίνδυνα απόνερα και προτείνονται τρόποι περιορισμού τους.

II. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εκτέλεση πειραμάτων στην Πειραματική Δεξαμενή παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς. Για το λόγο αυτό κατασκευάζονται μεγάλα πρότυπα και δοκιμάζονται σε προστα-

τευμένες περιοχές στη θάλασσα [2]. Η δοκιμή μεγάλων προτύπων στη θάλασσα δεν είναι καινούργια διαδικασία στην περιοχή της πειραματικής ναυτικής υδροδυναμικής. Παρότι υπήρξε πολύ διαδεδομένη παλαιότερα, και ενίοτε χρησιμοποιούνταν συμπληρωματικά στα πειράματα στη δεξαμενή [3], μόλις προσφάτως έχει αναβιώσει. Όλων των ειδών τα συνήθη υδροδυναμικά πειράματα μπορούν να πραγματοποιηθούν χρησιμοποιώντας αυτά τα πρότυπα, όπως πείραμα αντίστασης, πρόωσης, δυναμικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς και πηδαλιουχίας. Για την πορεία του προτύπου αναλαμβάνει ένα σύστημα αυτόματου πιλότου που υποστηρίζεται από GPS.

Η ακριβής γνώση της κινηματικής και της θέσης του προτύπου καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων είναι απαραίτητη για όλων των ειδών τις δοκιμές. Η τροχιά και η ταχύτητα του προτύπου καταγράφεται με τη χρήση ενός συστήματος κινηματικής πραγματικού χρόνου RTK (Real Time Kinematics) πάνω στο σκάφος με υποστήριξη από σταθερό σταθμό στη στεριά. Η ακρίβεια ενός τυπικού συστήματος RTK είναι 0.5-2 cm στο οριζόντιο επίπεδο, η οποία μας ενδιαφέρει για τις δοκιμές προτύπων, και 1-5 cm στο κατακόρυφο.

Τα κύματα που δημιουργούν τα πρότυπα μπορούν να μετρηθούν εύκολα στη θάλασσα, ενώ είναι σχεδόν αδύνατο να μετρηθούν στην Πειραματική Δεξαμενή μακριά από το μοντέλο. Τα συνήθη μετρητικά ύψους κύματος που χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο και λειτουργούν με τη μέτρηση της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θαλασσινό νερό. Χρησιμοποιήθηκαν μετρητικά που λειτουργούν με τη μέτρηση της μεταβολής της ηλεκτρικής χωρητικότητας σε ένα σύρμα αντί για μικρού μεγέθους πλωτήρες.

Το μετρητικό σύστημα είναι κατασκευασμένο από την εταιρεία RBR και είναι τύπου WG-50. Η απαραίτητη ακρίβεια επιτυγχάνεται με συνεχή επιθεώρηση και λίπανση του σύρματος που βρισκόταν μέσα στο νερό.

Για την καταγραφή της πορείας του προτύπου χρησιμοποιήθηκε μια ψηφιακή γυροπυξίδα της εταιρείας KVH. Το όργανο αυτό εμπεριέχει και δύο κλινόμετρα τα οποία μετρούν την εγκάρσια και τη διαμήκη κλίση. Σε συνδυασμό με ένα μετρητικό ύψους κύματος στην πλώρη μακριά από το κυματικό πεδίο που παράγει το πλοίο, είναι δυνατός ο υπολογισμός

της δυναμικής διαγωγής και της δυναμικής ανύψωσης του κέντρου βάρους.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στη μαρίνα του Ολυμπιακού Κέντρου Ιστιοπλοΐας Αγίου Κοσμά (ΟΚΙΑΚ) κοντά στην Αθήνα (Σχήμα 1). Το βάθος στην περιοχή των πειραμάτων ήταν σταθερό 5.5 μέτρα. Ο χώρος της μαρίνας είναι εντελώς προστατευμένος από τον καιρό και οι καιρικές συνθήκες την ώρα των μετρήσεων ήταν ήρεμες.

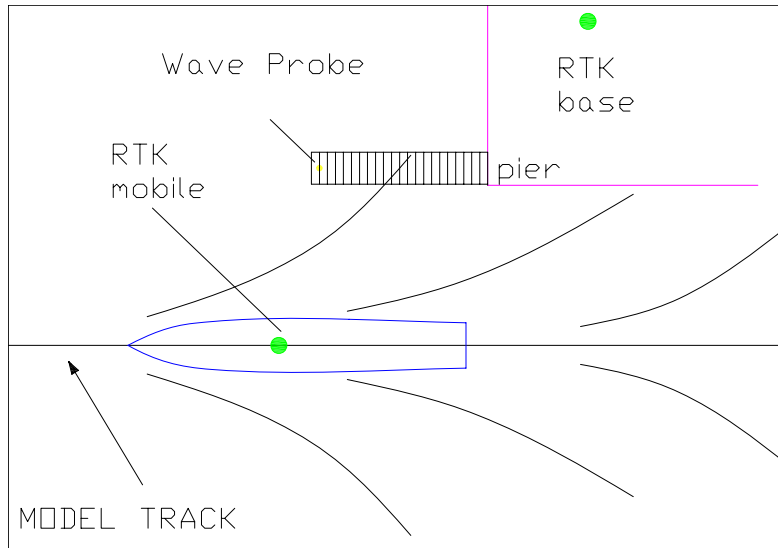


Σχήμα 1 – Ολυμπιακό Κέντρο Ιστιοπλοΐας Αγίου Κοσμά (ΟΚΙΑΚ)

Στο Σχήμα 2 αποτυπώνεται το σχέδιο της μετρητικής διάταξης. Το μετρητικό ύψους κύματος έχει τοποθετηθεί αριστερά και μακριά από την αποβάθρα, με τη χρήση προβόλου, για να αποφευχθούν τυχόν ανακλάσεις των κυμάτων.

Η διαδικασία που ακολουθείται κατά την εκτέλεση μετρήσεων σε φυσική κλίμακα δεν διαφέρει πολύ από τις αντίστοιχες διαδικασίες με πρότυπα. Τα στοιχεία του πλοίου που πρέπει να γνωρίζουμε είναι η θέση του, η ταχύτητά του, η κατάσταση φόρτωσης και το βάθος στο οποίο ταξιδεύει.

Επίσης, πρέπει να γνωρίζουμε τη θέση στην οποία τοποθετείται ο πλωτήρας που καταγράφει το κύμα, το βάθος του νερού σε αυτό το σημείο, η κατάσταση της θάλασσας και η ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου. Καλό είναι οι μετρήσεις να πραγματοποιούνται σε ήρεμες καιρικές συνθήκες.



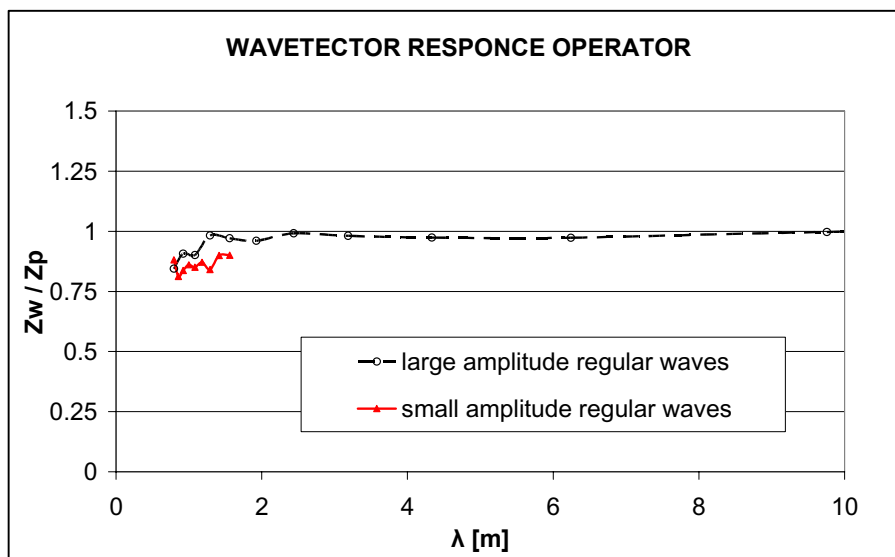
Σχήμα 2 – Σχέδιο της μετρητικής διάταξης

Όταν δεν εξασφαλίζεται η συνεργασία της εταιρείας και του καπετάνιου του πλοίου, η παρακολούθηση του επιτυγχάνεται με ένα σύστημα το οποίο ονομάζεται AIS (Automatic Identification System) και είναι ένα σύγχρονο εργαλείο που αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο παρακολουθούμε τα πλοία.

Πίνακας 1 – Κύρια χαρακτηριστικά των πλοίων

Hull form	AEOLOS KENTERIS Type	SUPER-FAST type	HIGH-SPEED 4
Type	Semi-displ. Monohull	Displacement mono-hull	Semi-displ. Catamaran
Overall length, L_{OA} [m]	131.8	191.3	92.6
Length bt. Perp, L_{PP} [m]	126.0	172.0	80.2
Length at WL L_{WL} [m]	126.0	179.0	80.2
Breadth at WL B_{WL} [m]	18.44	25.0	23.4
Design draft T_D [m]	3.6	6.3	3.8
Static trim [deg]	0	0	0
Service speed V_S [kn]	40	30	40
Froude number F_n	0.585	0.368	0.734
Displacement Δ [t]	3301	16134	1602
Dynamic trim [deg]	1.2	-	-
Dynamic C.G. rise [m]	0.0176	-	-

Η καταγραφή της ελεύθερης επιφάνειας γίνεται σε ένα σημείο με τη μορφή χρονικής ιστορίας της ανύψωσης της θάλασσας. Το σύστημα που χρησιμοποιείται είναι κατασκευασμένο από την εταιρεία BMT και ονομάζεται WAVETECTOR. Ο πλωτήρας είναι κατάλληλος για χρήση τόσο στη θάλασσα όσο και στο εργαστήριο, όπου το ύψος κύματος είναι μικρότερο από 0.10 μ.



Σχήμα 3 – Η καμπύλη RAO του πλωτήρα WAVETECTOR όπως μετρήθηκε στην Πειραματική Δεξαμενή του ΕΝΘΥ/ΕΜΠ

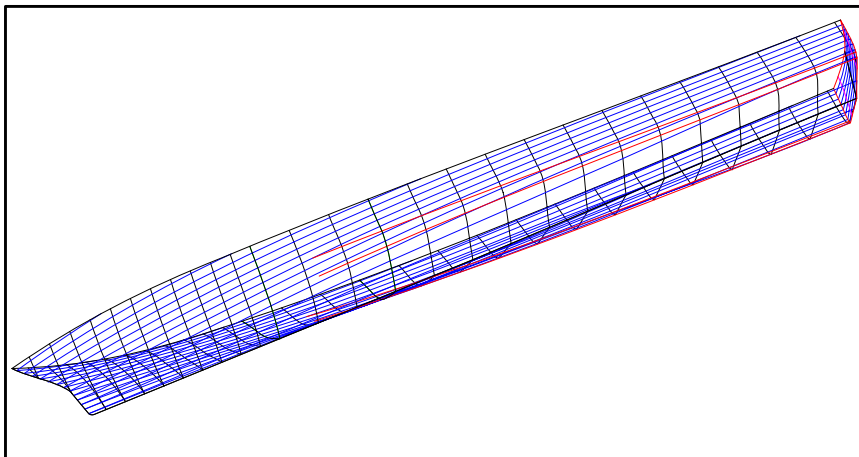
Πριν τη διεξαγωγή των μετρήσεων, ο πλωτήρας δοκιμάστηκε σε αρμονικούς κυματισμούς στην Πειραματική Δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (ΕΝΘΥ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) με σκοπό να υπολογιστεί ο αδιάστατος συντελεστής απόκρισης, R.A.O. (Response Amplitude Operators). Για τη βαθμονόμηση χρησιμοποιήθηκαν τα συνήθη μετρητικά κύματος του εργαστηρίου. Η καμπύλη του συντελεστή απόκρισης απεικονίζεται στο Σχήμα 3 για μεγάλου (5-8 cm) και μικρού (2-3 cm) πλάτους κύματα. Μικρό πλάτος χρησιμοποιήθηκε στα κύματα μικρού μήκους (<2 m). Η απόκριση του πλωτήρα είναι επίπεδη για μήκη κύματος μεγαλύτερα από 2 μέτρα.

Η καταγραφή των κυματικών πεδίων των πλοίων απαιτεί την τοποθέτηση του πλωτήρα σε συγκεκριμένες θέσεις στη θάλασσα. Για την ακρίβεια, οι μετρήσεις έγιναν ως επί το πλείστον στη θαλάσσια περιοχή ανοιχτά του Λαυρίου κοντά στο δίαυλο θαλάσσιας κυκλοφορίας για την είσοδο στο λιμάνι του Πειραιά. Η μεταφορά των μελών της ερευνητικής ομάδας σε αυτές τις θέσεις έγινε με τη χρήση της πιλοτίνας του ΕΝΘΥ.

III. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Τα κύρια χαρακτηριστικά των πλοίων που δοκιμάστηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

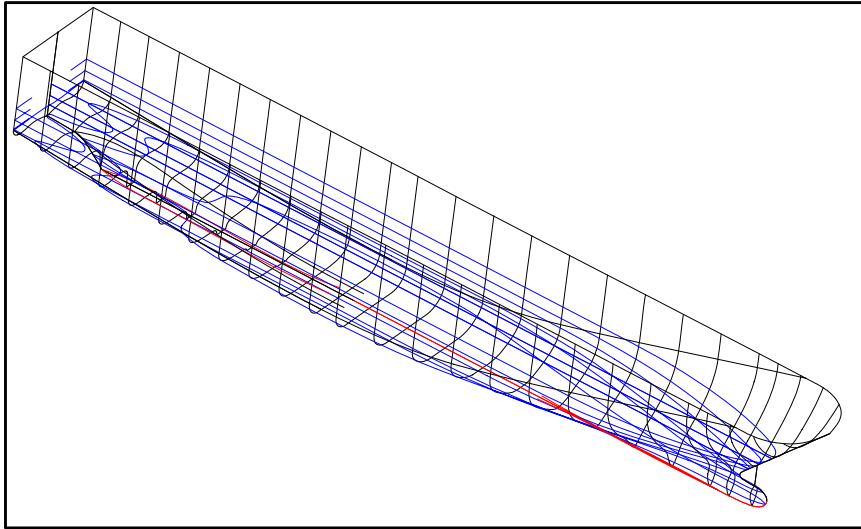
Το πρώτο πλοίο (Σχήμα 4) είναι ένα ταχύπλοο μονόγαστρο ημι-εκτοπίσματος με διπλή ακμή, ολικού μήκους 132 μέτρων που ταξιδεύει με 40 κόμβους. Η μορφή της γάστρας που χρησιμοποιήθηκε στους αναλυτικούς υπολογισμούς και στα πειράματα με πρότυπα, βασίζεται στη Συστηματική Σειρά Ταχύπλοων του ΕΜΠ [4] με μικρή τροποποίηση στην πλώρη για να ταιριάζει με την πραγματική γάστρα του πλοίου «ΑΙΟΛΟΣ ΚΕΝΤΕΡΗΣ». Καθώς το μέγεθος των πλοίων ημι-εκτοπίσματος επηρεάζει σημαντικά το μέγεθος των παραγομένων κυμάτων [5], το μεγαλύτερο πλοίο της κατηγορίας που λειτουργούσε στις Ελληνικές θάλασσες επιλέχτηκε για τη μελέτη.



Σχήμα 4 – Ταχύπλοο μονόγαστρο ημι-εκτοπίσματος τύπου «ΑΙΟΛΟΣ ΚΕΝΤΕΡΗΣ»

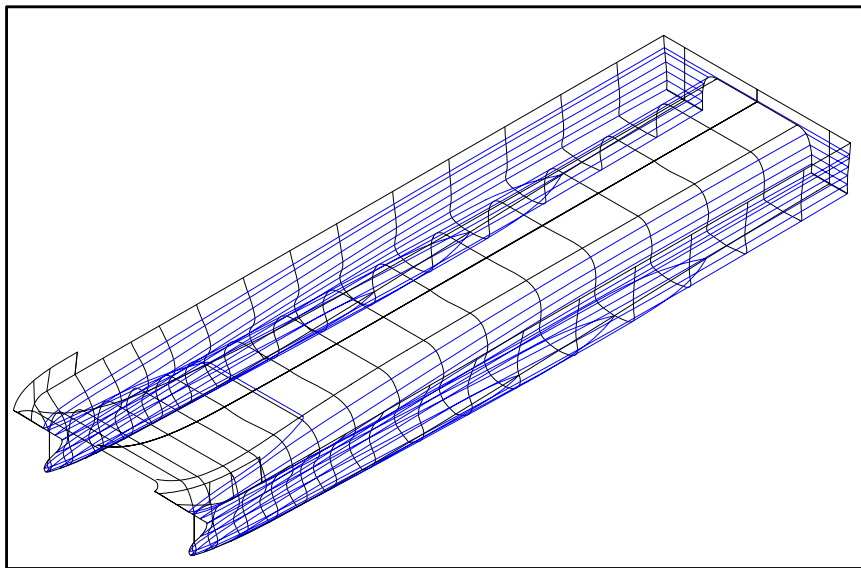
Το δεύτερο πλοίο είναι ένα ταχύπλοο εκτοπίσματος με πλατύ καθρέπτη και βολβοειδή πλώρη (Σχήμα 5). Μπορεί να μεταφέρει περίπου 1000 ΙΧΕ και 1500 επιβάτες σε ταχύτητα υπηρεσίας 30 κόμβων. Η μορφή της γάστρας που επιλέχτηκε βασίζεται σε μεγάλης κατηγορίας σύγχρονο πλοίο τύπου ROPAX,. Περισσότερα από 20 τέτοια πλοία λειτουργούν στις Ελληνικές θάλασσες. Μια σειρά παρόμοιων πλοίων, με μικρές διαφορές, λειτουργεί η εταιρεία SUPERFAST Ferries. Πολλά περισσότερα τέτοια πλοία εξυπηρετούν την Ευρωπαϊκή Ακτοπλοΐα.

Το τελευταίο πλοίο είναι ένα δίγαστρο ταχύπλοο ημι-εκτοπίσματος (Σχήμα 6), ικανό να μεταφέρει περίπου 1010 επιβάτες και 188 ΙΧΕ με ταχύτητα 40 κόμβων.



Σχήμα 5 – Ταχύπλοο εκτοπίσματος τύπου «SUPERFAST»

Τα δύο πρώτα πλοία δοκιμάστηκαν στη θάλασσα με τη βοήθεια μεγάλων προτύπων υπό κλίμακα. Το τρίτο πλοίο μετρήθηκε σε πλήρη κλίμακα. Η κλίμακα του προτύπου τύπου «ΑΙΟΛΟΣ ΚΕΝΤΕΡΗΣ» είναι 15.75, ενώ αυτή του προτύπου τύπου «SUPERFAST» είναι 25. Στα δύο πρότυπα προσαρτηθήκαν υπερκατασκευές. Τα πρότυπα αυτά, πάντως, δεν αποτελούν ακριβή αναπαράσταση δρομολογημένων πλοίων, αλλά προσέγγιση των κυρίων χαρακτηριστικών τους. Προοπτικά σχέδια και των τριών πλοίων φαίνονται στα Σχήματα 4, 5 και 6.



Σχήμα 6 – Δίγαστρο ταχύπλοο «HIGHSPEED 4»

IV. ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Οι πειραματικές μετρήσεις συγκρίθηκαν με αναλυτικούς υπολογισμούς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιηθήκαν διαθέσιμοι, σύγχρονοι, γραμμικοί (SWAN-2) και μη-γραμμικοί (SHIPFLOW) κώδικες δυναμικής ροής. Πιο συγκεκριμένα, κάθε χρονική ιστορία της ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας που μετρήθηκε στη θάλασσα, μεταφέρθηκε στο σύστημα συντεταγμένων του πλοίου με βάση τη σταθερή ταχύτητα του πλοίου. Έτσι, μπορούν να συγκριθούν οι διαμήκεις τομές που υπολογίζονται από τους κώδικες με τις πειραματικές χρονικές ιστορίες.

Για τους υπολογισμούς, διακριτοποιείται τμήμα ελεύθερης επιφάνειας γύρω από το πλοίο που εκτείνεται ένα μήκος πλοίου πλώραθεν και μισό μήκος πλοίου εγκάρσια. Η πρυμναία έκταση του πεδίου υπολογισμών δίνεται στον πίνακα 2, με αναφορά την πρύμνη.

Πίνακας 2 – Πρυμναία έκταση του Υπολογιστικού Πεδίου

CODE	AEOLOS KENTERIS	SUPERFAST
SWAN-2	6	2
SHIPFLOW	3	1.5

V. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται οι διαμήκεις τομές του κυματικού πεδίου του προτύπου τύπου «ΑΙΟΛΟΣ ΚΕΝΤΕΡΗΣ». Τα αναλυτικά αποτελέσματα που παράχθηκαν με τη χρήση των κωδίκων SWAN-2 και SHIPFLOW, υπερτίθενται των πειραματικών σε τρία διαγράμματα που αντιστοιχούν σε τρεις διαφορετικές εγκάρσιες αποστάσεις. Το πιο κοντινό διάγραμμα αντιστοιχεί σε εγκάρσια απόσταση περίπου μισού μήκους πλοίου από το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, ενώ το πιο απομακρυσμένο είναι περίπου στο 80% του μήκους πλοίου. Σε αυτές τα σχήματα, $x=0$ αναφέρεται στο μέσο του πλοίου. Επί πλέον παρατίθενται οι διαμήκεις τομές που καταγράφηκαν σε εγκάρσιες αποστάσεις τεσσάρων και εννέα μηκών πλοίου. Εν τούτοις, στις τελευταίες περιπτώσεις, δεν υπάρχουν διαθέσιμα αναλυτικά αποτελέσματα για σύγκριση και το διάμηκες σημείο αναφοράς δεν μπορεί να καθοριστεί.

Στο Σχήμα 8, παρουσιάζονται οι αντίστοιχες διαμήκεις τομές του κυματικού πεδίου του προτύπου τύπου «SUPERFAST». Δεδομένου ότι το συγκεκριμένο πλοίο δεν παράγει σημαντικά κύματα, η καταγραφή αυτών των κυμάτων μακριά από το πλοίο δεν ενδιαφέρει. Η μέγιστη εγκάρσια απόσταση κατά την πειραματική διερεύνηση ήταν ένα μήκος πλοίου. Αριθμητικά αποτελέσματα δεν υπάρχουν σε αυτήν την περίπτωση. Η πιο κοντινή απόσταση ήταν περίπου 30% του μήκους του πλοίου.

Κάθε ένα από τα διαγράμματα των Σχημάτων 6 και 7 έχει στην επικεφαλίδα τον αριθμό, την ημερομηνία και την ώρα της δοκιμής, την εγκάρσια απόσταση της διαμήκης τομής, την ταχύτητα του προτύπου, τη συχνότητα δειγματοληψίας και τον αριθμό Froude με αναφορά το βάθος του νερού F_{nh} . Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αναλυτικοί υπολογισμοί έγιναν για την ταχύτητα του προτύπου και τις εγκάρσιες αποστάσεις των δοκιμών.

Τα δύο πρότυπα δοκιμάστηκαν σε υπό-κρίσιμους αριθμούς F_{nh} (0.71 και 0.42 αντίστοιχα). Επί πλέον, καθώς και στις δυο περιπτώσεις ο λόγος του βάθους προς το μήκος του πλοίου h/L ήταν μεγαλύτερος από 0.65, η επίδραση του αριθμού F_{nh} ήταν ελάχιστη [6]. Οι συγγραφείς επιβεβαίωσαν αυτή την υπόθεση με επί πλέον αναλυτικούς υπολογισμούς. Συνεπώς, η υπόθεση για βαθύ νερό χρησιμοποιήθηκε στους αναλυτικούς υπολογισμούς.

Για την αφαίρεση κάποιων μικρών διαταραχών (ripples) που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών, χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο φίλτρο, ώστε να αποφευχθεί απώλεια χρήσιμης πληροφορίας από την καταγραφή.

Στα Σχήματα 7 και 8, παρατηρείται ικανοποιητική συμφωνία μεταξύ των αναλυτικών και των πειραματικών αποτελεσμάτων, ιδιαίτερα σε εγκάρσιες αποστάσεις μεγαλύτερες από μισό μήκος πλοίου. Οι δύο αριθμητικοί κώδικες δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα, με λίγο καλύτερη ταύτιση με τα πειραματικά από το SHIPFLOW. Στην πολύ κοντινή εγκάρσια απόσταση, οι ασυμφωνίες θα πρέπει να αποδοθούν στην πειραματική διάταξη, καθώς το μετρητικό σύστημα δεν μπορούσε να καταγράψει τα μικρά κύματα που ακολουθούσαν ένα σχετικά ψηλό κύμα. Καθώς απομακρυνόμαστε από το πλοίο, η έκταση της κυματικής ομάδας, καθώς και ο αριθμός των περιόδων που περιέχουν αυξάνεται σημαντικά.

Στην περίπτωση του πλοίου εκτοπίσματος (Σχήμα 8), το λογισμικό SHIPFLOW είναι καθαρά ανώτερο στους αριθμητικούς υπολογισμούς, καθώς παρουσιάζει καλύτερη

συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα από ότι ο γραμμικός κώδικας. Υπολογίζει με αξιοπιστία τις επικρατούσες κορυφές και κοιλάδες, ειδικά για την κοντινή απόσταση, παραλείποντας τις καταγεγραμμένες μικρές διαταραχές στο ενδιάμεσο.

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται η χρονική ιστορία της ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας σε απόσταση 350 m από τη διέλευση του πλοίου HIGHSPEED 4. Η μέτρηση έγινε παρά τη βραχονησίδα Πάτροκλος κοντά στο Σούνιο, ενώ το πλοίο έπλεε με ταχύτητα 36.6 κόμβων και συνδυάστηκε με αριθμητικούς υπολογισμούς.

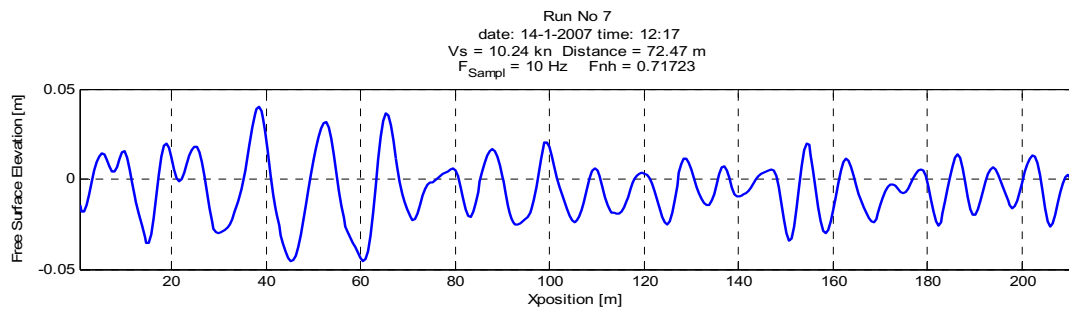
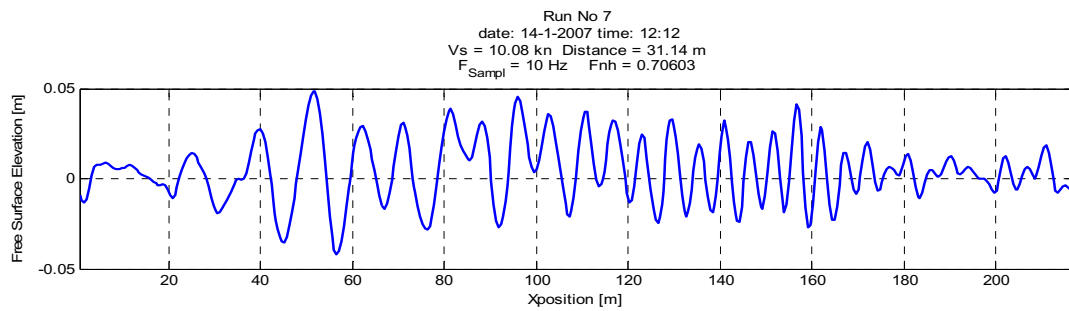
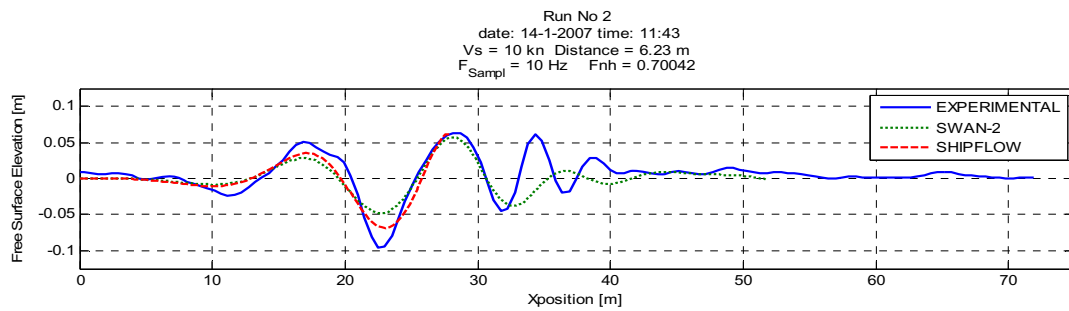
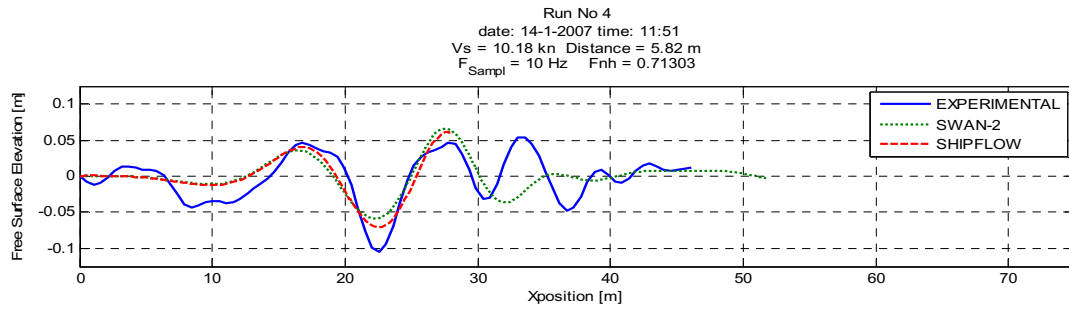
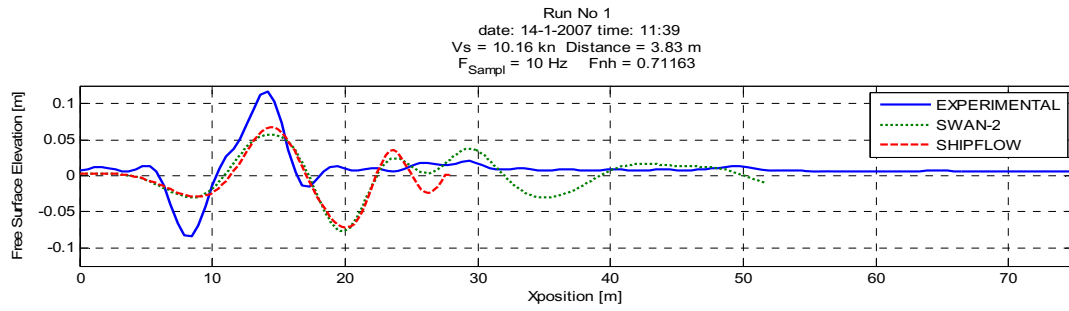
VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα διερευνάται ο νόμος διάδοσης των κυμάτων για τα δύο πρώτα πλοία στην ταχύτητα υπηρεσίας τους. Για κάθε διαμήκη τομή, υπολογίστηκε το μέγιστο ύψος κύματος H_{max} , που ορίζεται ως η μέγιστη κατακόρυφη απόσταση διαδοχικών κορυφής και κοιλάδας ή αντίστροφα. Οι Macfarlane και Renilson, [7] θεωρούν επίσης αυτό το μέγεθος ως πιο κατάλληλο για την περιγραφή των απόνερων. Επί πλέον, παρέχεται η περίοδος T_m , που ορίζεται ως η διπλάσια ημι-περίοδος στα σημεία ορισμού του H_{max} .

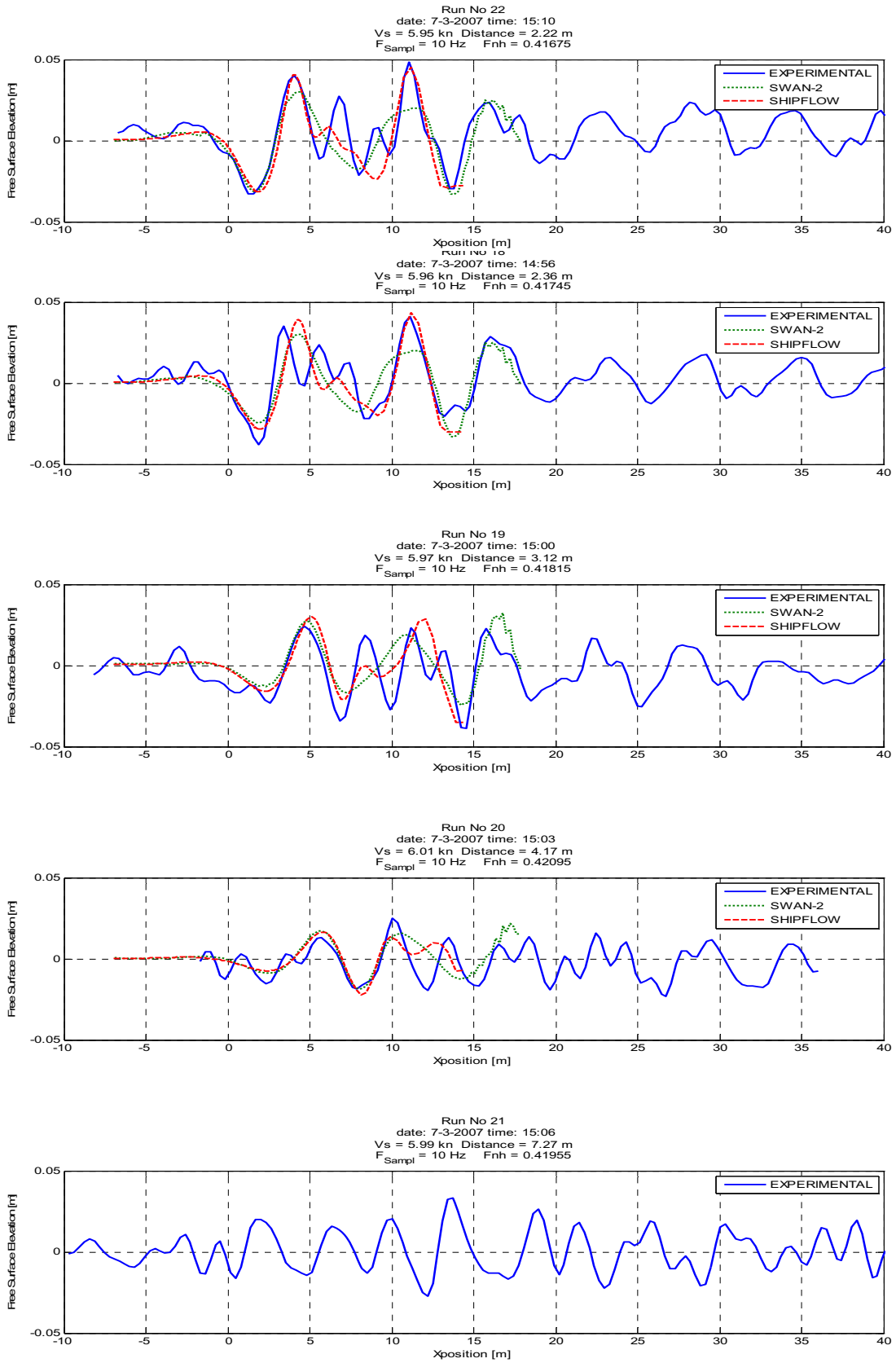
Στο Σχήμα 10 παρουσιάζονται το μέγιστο ύψος κύματος H_{max} και η αντίστοιχη περίοδος T_m συναρτήσει της εγκάρσιας απόστασης από το πλοίο, για την περίπτωση του ταχυπλόου ημι-εκτοπίσματος. Στο Σχήμα 11 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το ταχύπλοο εκτοπίσματος. Στα δύο Σχήματα οι συνεχείς γραμμές αναπαριστούν συναρτήσεις προσαρμογής. Οι Doctors και Day [8] διερευνούν το ρυθμό εξασθένησης των διαδιδόμενων κυμάτων με αριθμητικές μεθόδους που βασίζονται σε θεωρία τύπου Michell. Ισχυρίζονται ότι το μέγιστο κυματικό εύρος, δηλ. η διαφορά του μέγιστου και του ελάχιστου σημείου σε μια διαμήκη τομή, εξασθενεί σύμφωνα με μια συνάρτηση του τύπου:

$$\zeta = a \cdot \gamma^b \quad (1)$$

Άλλοι ερευνητές παρερμήνευσαν το έργο των Wehausen και Laitone [9], γενικεύοντας τη χρήση της αντίστροφης κυβικής ρίζας ($b = -1/3$) πέραν της ευθείας που ορίζεται από τη γωνία Kelvin. Η τιμή του εκθέτη κυμαίνεται από $-1/0.94$ έως $-1/5$ εξαρτώμενη εντόνως από την ταχύτητα του πλοίου.

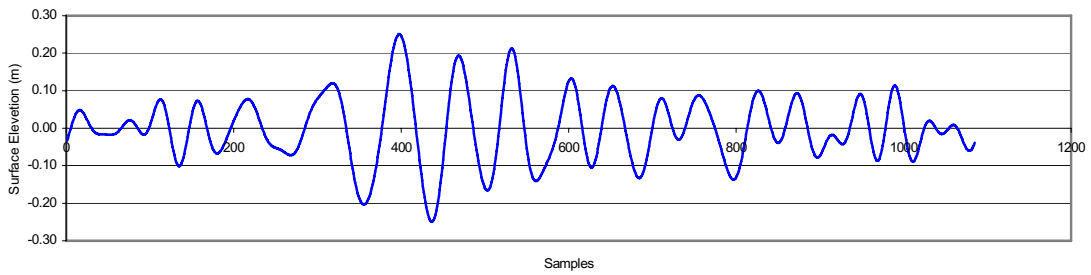


Σχήμα 7 – Διαμήκειες τομές του κυματικού πεδίου για το πρότυπο τύπου «ΑΙΟΛΟΣ ΚΕΝΤΡΗΣ»

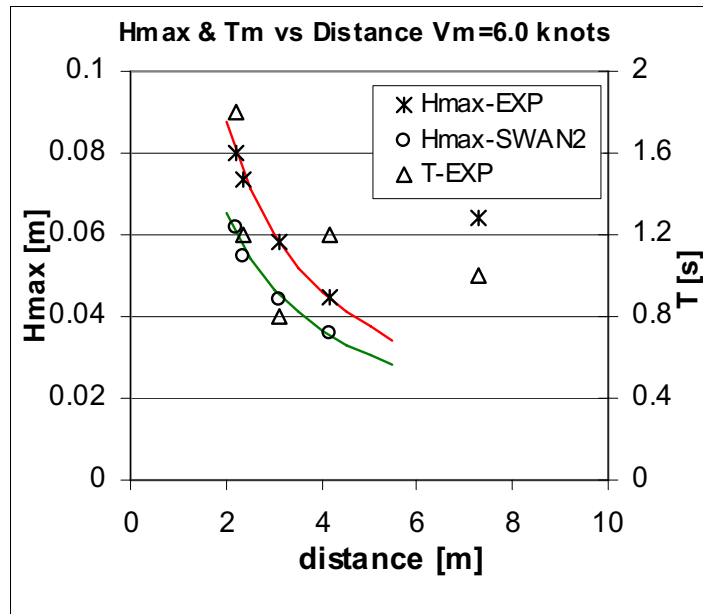


Σχήμα 8 – Διαμήκειες τομές του κυματικού πεδίου για το πρότυπο τύπου «SUPERFAST»

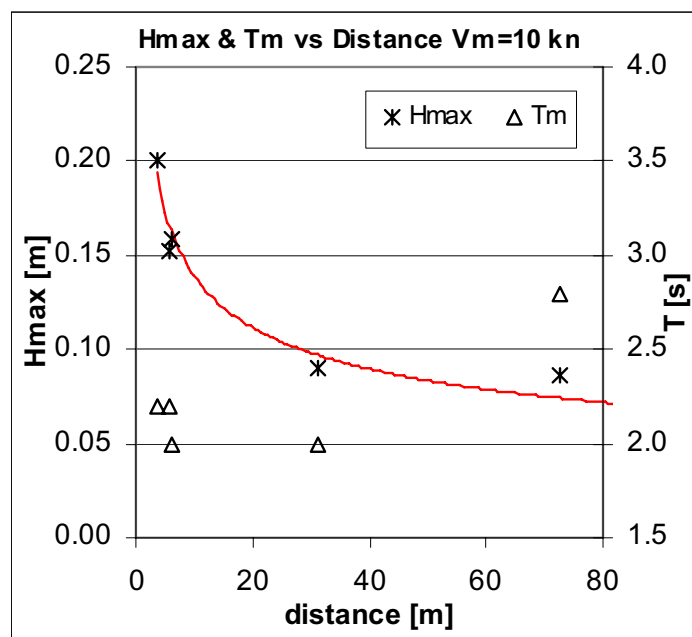
HIGHSPEED4 @ EAST PATROKLOS, FRIDAY 30/10/2006
 Distance = 350 m, Speed = 36.6 knots, Sampl. Freq = 10 Hz



Σχήμα 9 – Χρονική ιστορία της ανύψωσης της θάλασσας για το πλοίο HIGHSPEED 4



Σχήμα 10 – Μέγιστο ύψος κύματος H_{max} και περίοδος T_m προς εγκάρσια απόσταση για το πρότυπο ημι-εκτοπίσματος τύπου «ΑΙΟΛΟΣ ΚΕΝΤΕΡΗΣ». Πειραματικά αποτελέσματα - συνάρτηση προσαρμογής.



Σχήμα 11 – Μέγιστο ύψος H_{max} και περίοδος T_m κύματος συναρτήσει της απόστασης για το πρότυπο εκτοπίσματος τύπου «SUPERFAST». Πειράματα, αποτελέσματα SWAN-2 και συνάρτηση προσαρμογής.

Για το ταχύπλοο ημι-εκτοπίσματος (Σχήμα 10), ο νόμος αυτός αναπαριστά ικανοποιητικά το ρυθμό εξασθένησης του μέγιστου ύψους κύματος. Ο εκθέτης b πλησιάζει στη θεωρητική τιμή ($b=-1/3.16$), ενώ $a=0.288$. Η περίοδος του κύματος είναι σχεδόν σταθερή ($T_m \approx 2$ sec) για όλες τις μετρήσεις εκτός από την πιο μακρινή, όπου $T_m \approx 2.8$ sec. Τα διαθέσιμα στοιχεία δεν παρέχουν εξήγηση του φαινομένου. Στο μέλλον, οι συγγραφείς προγραμματίζουν τη μέτρηση της κυματομορφής σε ενδιάμεσες εγκάρσιες αποστάσεις, έτσι ώστε να μελετηθεί η εξέλιξη της κυματικής περιόδου κατά τη διεύθυνση της διάδοσης.

Σύμφωνα με το Σχήμα 11, το μέγιστο ύψος κύματος H_{max} των κυμάτων που παράγει το ταχύπλοο πλοίο εκτοπίσματος, μειώνεται δραστικά με την απόσταση για όλες εκτός από την πιο απομακρυσμένη μέτρηση που αντιστοιχεί σε ένα μήκος πλοίου περίπου (λόγω των μικρών παραγομένων κυμάτων). Το μέγιστο ύψος σε αυτό το σημείο είναι αρκετά υψηλό (0.064 m), ενώ παρόμοια συμπεριφορά διαπιστώθηκε και σε χαμηλότερες ταχύτητες δοκιμών. Αν παραλείψουμε αυτό το σημείο, τότε ο εκθέτης της συνάρτησης (1) είναι $b=1/1.08$, ενώ $a=0.166$. Παρόμοιες τιμές προκύπτουν όταν διερευνάται ο νόμος της διάδοσης με αριθμητικούς υπολογισμούς. Έτσι, το SWAN-2 δίνει τις εξής τιμές των παραμέτρων της συνάρτησης (1): $b=1/1.19$ και $a=0.11$ (Σχήμα 11). Η περίοδος κύματος T_m κυμαίνεται μεταξύ 1.80 και 0.80 sec, χωρίς να παρουσιάζει κάποια τάση.

Γενικά, δεν βρέθηκε κατάλληλη εκθετική συνάρτηση προσαρμογής στα δεδομένα του πλοίου τ. «ΑΙΟΛΟΣ ΚΕΝΤΕΡΗΣ». Όσον αφορά στο πλοίο τύπου SUPERFAST αν και τα δεδομένα κοντά στο πλοίο προσεγγίζονται με μία εκθετική συνάρτηση, το μικρό ύψος των κυμάτων δεν επιτρέπει απομακρυσμένες καταγραφές για τη διερεύνηση ισχύος της προσαρμογής μακράν του πλοίου.

Με βάση τα παραπάνω προτείνεται η επανεξέταση της πορείας των μονόγαστρων σκαφών ημι-εκτοπίσματος ώστε με μικρή απομάκρυνση από τις ακτές να διατηρούν την ταχύτητα υπηρεσίας τους με περιορισμένες επιδράσεις στις ακτές και τη χρήση τους κυρίως σε διαδρομές που δεν παραπλέουν ακτές σε κοντινή απόσταση.

Για τη συνέχιση του έργου προτείνονται αριθμητικοί υπολογισμοί με τους υπάρχοντες

κώδικες μακριά από το πλοίο, π.χ. δέκα μήκη πλοίου πρύμνηθεν και τρία μήκη εγκαρσίως. Επίσης, η αναλυτική προέκταση του κυματικού πεδίου πέραν της περιοχής αυτής με τη βοήθεια κατάλληλης κατανομής μονίμων πηγών Green στο σύνορο του πεδίου, που θα ικανοποιούν την κατανομή δυναμικού σε αυτό που δίνει το SWAN-2.

VII. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το έργο αυτό συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (75%) και από Εθνικούς πόρους (25%) – Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευσης και Αρχικής Επαγγελματικής Κατάρτισης (ΕΠΕΑΕΚ) και ειδικότερα από το πρόγραμμα ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ.

VIII. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Lyakhovitsky, A., Yun-bo, L., De-bo, H., "The Wash Waves generated by High-Speed Ships – Prediction and Directive Influence", Proc. of 7th Intl. Conf. on Fast Sea Transportation, FAST'2003, Ischia, Italy, October 2003
- [2] Grigoropoulos, G.J. and Katsaounis, G., "Measuring procedures for seakeeping tests of large-scaled ship models at sea", Proc. of the 13th Intl. Symposium on Measurements for Research and Industry Applications, Athens, Greece, 2003
- [3] Serter, E.H. (1993). Hydrodynamics and Naval Architecture of Deep-Vee Hull Forms. Research – Development – Designs, Hydro Research Systems S.A, March.
- [4] Grigoropoulos, G.J. and Loukakis, T.A. (2002), 'Resistance and seakeeping characteristics of a systematic series in the pre-planing condition (Part I)', Transactions SNAME, Vol. 110, September.
- [5] Chalkias, D.S. and Grigoropoulos G.J., "Wash effects of high-speed monohulls", Proc. of the 8th Intl. Conf. on Fast Sea Transportation, FAST 2005, , St Petersburg, Russia, June 2005
- [6] Yang, Q., Faltinsen, O.M. and Zhao, R., "Wash of ships in finite water depth", Proc. of

the 6th Intl. Conf. on Fast Sea Transportation, FAST 2001, Southampton, UK, 2001

[7] Macfarlane, G.J. and Renilson, M.R., "Wave wake – A rational method for assessment", Proc. of the Intl. Conf. on Coastal Ships and Inland Waterways, RINA, London, UK, 1999

[8] Doctors, L.J and Day, A.H., "The generation and decay of waves behind high-speed vehicles", Proc. of the 16th Intl. Workshop on Water Waves and Floating Bodies, IWWWFB, Hiroshima, Japan, April 2001

[9] Encyclopedia of Physics, Vol IX: Surface waves, Springer Verlag, Berlin, 1960 pp. 446-778.