

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

**ΦΟΡΕΑΣ : Εργαστήριο Ναυτικής & Θαλάσσιας Υδροδυναμικής
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΕΜΠ
Θ.ΛΟΥΚΑΚΗΣ, Γ. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. ΚΑΤΣΑΟΥΝΗΣ, Δ. ΔΑΜΑΛΑ
Δ. ΧΑΛΚΙΑΣ, Δ. ΤΡΙΠΕΡΙΝΑΣ, Δ. ΣΥΝΕΤΟΣ, Ι. ΤΡΑΧΑΝΑΣ**

Στα πλαίσια πολλών ερευνητικών και αναπτυξιακών έργων κατά την τελευταία εικοσαετία έχουν αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Ναυτικής & Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (ΕΝΘΥ) του Ε.Μ.Π. πρωτοποριακές μέθοδοι μετρήσεων επί πλοίων και προτύπων στη θάλασσα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έχουν άμεσες εφαρμογές στη σχεδίαση και λειτουργία των πλοίων, στην επιλογή της πορείας τους σε θαλασσοταραχή, στην άνεση των επιβατών και στον προσδιορισμό του μεγέθους των κυματισμών που δημιουργούν. Στα πλαίσια της προσπάθειας σχεδιάστηκαν και πρωτότυπα όργανα μετρήσεων

Γιατί πειράματα στη θάλασσα;

- Όταν οι μετρήσεις αφορούν σε πλοία, μόνο στη θάλασσα μπορεί προφανώς να γίνουν.*
- Οι μετρήσεις στη θάλασσα επί (μεγάλων / 10 ÷ 20 μ. μήκος) προτύπων πλοίων συμπληρώνουν ή υποκαθιστούν αντίστοιχες μετρήσεις σε Πειραματικές Δεξαμενές.*

- ***Δύο είναι οι λόγοι που καθιστούν τα πειράματα στη θάλασσα επί προτύπων πλοίων υπέρτερα των πειραμάτων στο εργαστήριο: η δυνατότητα χρήσης μεγάλων προτύπων, που μειώνει τα προβλήματα ομοιότητας και η αδυναμία προσομοίωσης στο εργαστήριο με πιστότητα του κυματικού ανεμογενούς περιβάλλοντος, που υπάρχει στη θάλασσα.***
- ***Επί πλέον, για την Ελλάδα, η ανυπαρξία εγκαταστάσεων που μπορεί να δεχτούν μεγάλα πρότυπα (με ιδιαίτερα υψηλό κόστος χρήσης) καθιστά αναγκαστικά τα πειράματα στη θάλασσα, όταν τα πειράματα με μικρά πρότυπα (3-6μ. μήκος) δεν αναμένεται να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα.***
- ***Τα πειράματα επί προτύπων πλοίων στη θάλασσα απαιτούν τη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού, μέρος του οποίου αναπτύχθηκε στο ΕΝΘΥ. Απαιτούν επίσης την ύπαρξη ειδικού σκάφους συνοδείας/ασφαλείας, το οποίο είναι κατάλληλα εξοπλισμένο για τη μέτρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος.***
- ***Το σύνολο σχεδόν του εξοπλισμού, περιλαμβανομένου του σκάφους ασφαλείας -συνοδείας, αλλά και του οικισμού φύλαξης του στο Τεχνολογικό Πάρκο Λαυρίου, αναπτύχθηκαν μέσω επιχορηγούμενων ερευνητικών και αναπτυξιακών έργων. Το σχετικό κόστος ανέρχεται σε περίπου 500.000€, από τα οποία μόνο τα 100.000€ προήλθαν από τα διαθέσιμα του Ιδρύματος.***

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΙ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Τα πειράματα δυναμικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς και τα πειράματα πηδαλιουχίας -κύκλων στροφής γίνονται περί το αγκυροβολημένο σκάφος συνοδείας/ασφαλείας. Κοντά δε στο σκάφος βρίσκονται επίσης αγκυρωμένα τα όργανα μέτρησης κυματισμών (κατευθυντικός κυματογράφος WaveSentry Buoy και απλοί κυματογράφοι Wavedel). Επί του συνοδού σκάφους βρίσκονται όργανα μέτρησης της ταχύτητας και της διεύθυνσεως του ανέμου. Το σκάφος φέρει όλα τα ηλεκτρονικά για την καταγραφή των περιβαλλοντικών μετρήσεων. Κατάλληλος ρευματογράφος συμπληρώνει την αποτύπωση των περιβαλλοντικών συνθηκών κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, τα οποία είναι συνήθως πολύωρα.



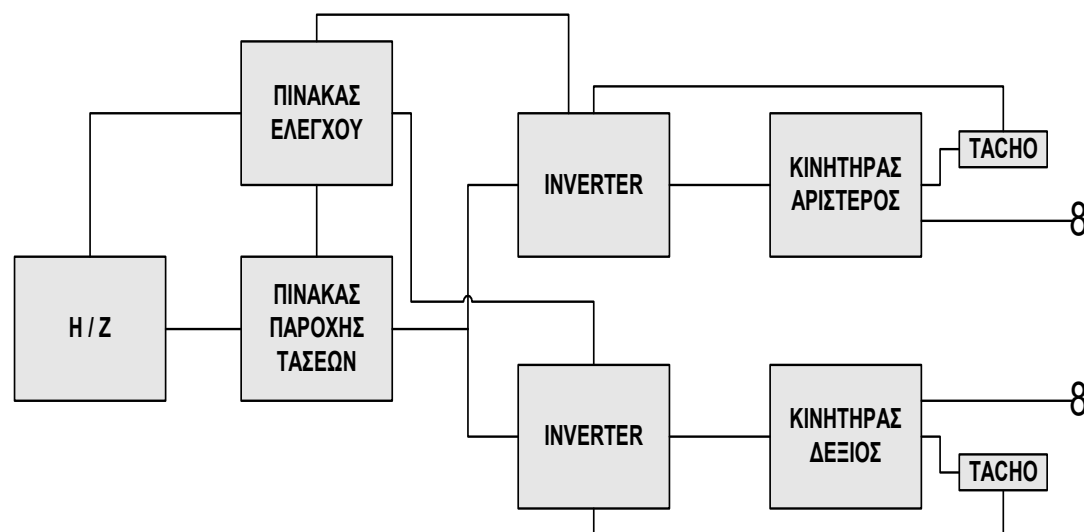
Το σκάφος ασφάλειας - συνοδείας



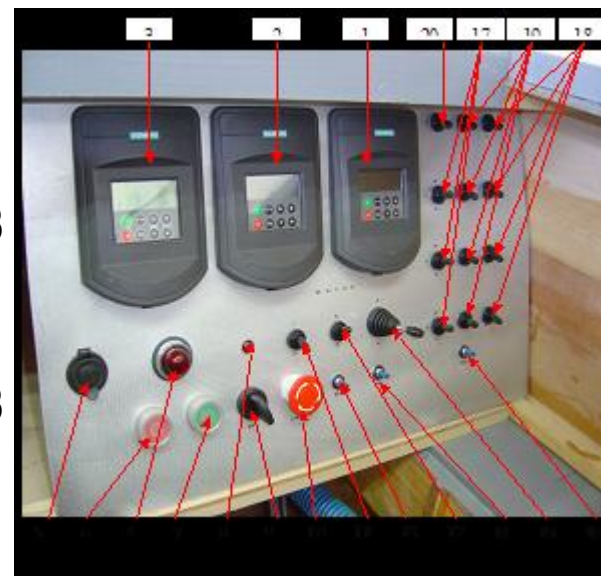
*Απλός και κατευθυντικός
κυματογράφος*

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΠΡΩΣΗΣ Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

Το πρότυπο πρέπει να εξοπλιστεί πλήρως έτσι ώστε να είναι αυτόνομο, αξιόπλοο και ασφαλές για τον χειριστή του. Συνήθως η κίνηση γίνεται με ηλεκτρικούς κινητήρες, που τροφοδοτούνται από ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος μέσω μετατροπέων (inverters). Όλα όμως τα όργανα μετρήσεων και ναυσιπλοΐας του πλοίου τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από συστοιχία συσσωρευτών. Η κίνηση των πηδαλίων είναι ηλεκτρική με βηματικό κινητήρα, που μπορεί να συνεργάζεται και με σύστημα αυτόματου πιλότου. Η κίνηση του πλοίου γίνεται με έλικες ή με waterjet ή με συνδυασμό των δύο.



Ηλεκτρικό διάγραμμα των μονάδων του πλοίου



Πίνακας ελέγχου ηλεκτρικών συστημάτων



***Το υπό δοκιμή μοντέλο με στοιχεία του εξοπλισμού :
(Ηλεκτροκινητήρες, αξονικά συστήματα, ροπόμετρα, συστήματα ελέγχου, έλικες, πηδάλια)***

Διακρίνονται οι αλλαγές στη πρύμνη για την υποδοχή του waterjet

Οι απαιτούμενες μετρήσεις κατά τη διάρκεια των πειραμάτων αυτοπρόωσης αφορούν στη μέτρηση της ροπής και της ώσης που μεταφέρουν οι άξονες, καθώς και στις στροφές των ελίκων. Φυσικά, η επιφάνεια του νερού πρέπει να είναι ήρεμη και η περιοχή των πειραμάτων εκτενής. Αυτό επιτυγχάνεται με πειράματα νωρίς το πρωί μέσα στις εγκαταστάσεις της ΟΛΥΜΠΙΚ ΜΑΡΙΝ στο Λαύριο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα από τις δοκιμές του προτύπου κορβέτας του Π.Ν., το οποίο είχε μήκος 9μ.



Σε άλλες περιπτώσεις, όταν δεν είναι γνωστό το σύστημα πρόωσης που πρόκειται να εγκατασταθεί στο πλοίο τελικά, απαιτείται η μέτρηση της ώσης που απαιτείται για να οδηγηθεί το πλοίο σε δεδομένη ταχύτητα. Αυτό γίνεται με χρήση εξωλέμβιας μηχανής, που συνδέεται με το πλοίο μέσω ειδικού οργάνου μέτρησης της ώσης, αλλά και όλων των άλλων συνιστωσών της δύναμης, που ασκεί η μηχανή επί του σκάφους. Στην παρακάτω εικόνα δείχνεται πρότυπο Ε/Γ – Ο/Γ πλοίου 12μ μήκους, που δοκιμάστηκε στο Douarnenez-Treboul της Βρετάνης, Γαλλία



Τέλος, για ειδικά πλοία, όπως ένα πρότυπο αερόστρωμνου Catamaran με μήκος 9μ., μπορεί να γίνουν και πρόσθετες μετρήσεις σε ήρεμο νερό που στην περίπτωση αυτή ήταν: η ροπή στους άξονες των συμπιεστών, η πίεση κατά μήκος της κοιλότητας υπερπίεσης καθώς και η βιντεοσκόπηση της επιφάνειας του νερού μέσα σ' αυτή. Στην παρακάτω εικόνα δείχνονται οι σχετικές δοκιμές στην περιοχή του Λαυρίου.



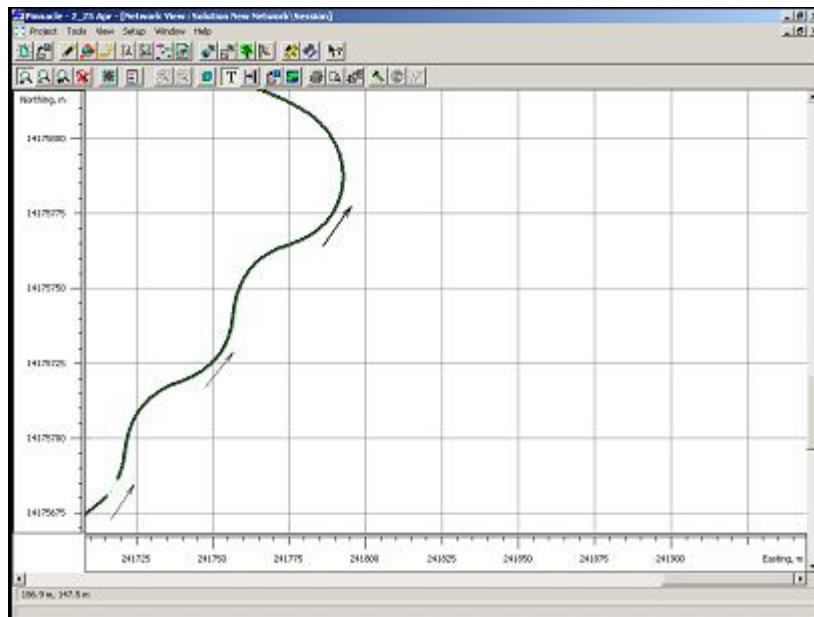
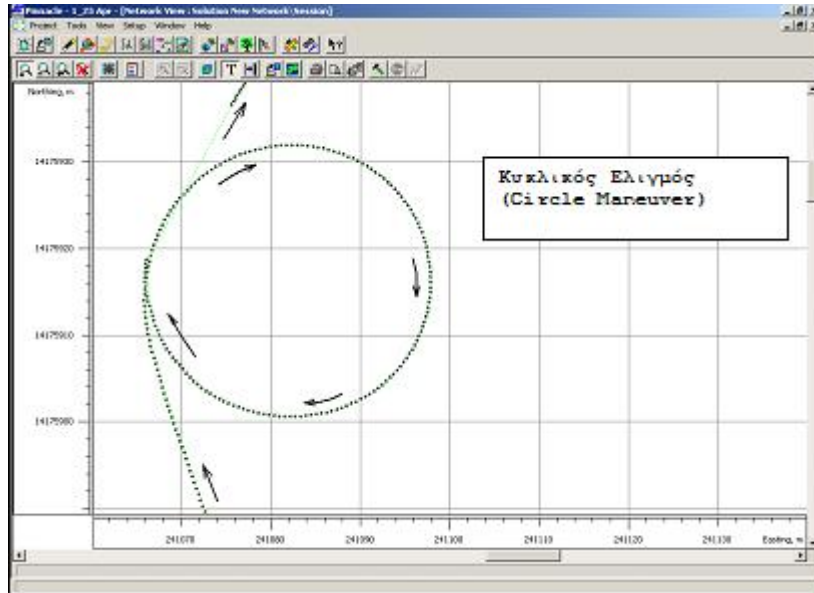
ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΙΚΤΙΚΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΩΝ & ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑΣ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

Για τις πλήρεις δοκιμές ελικτικών ικανοτήτων και πηδαλιουχίας, οι οποίες για μεγάλα πρότυπα μπορεί να γίνουν μόνο στη θάλασσα απαιτείται:

α) Μέτρηση της μετακίνησης του παρελκόμενου που προκαλεί τον ελιγμό (συνήθως το πηδάλιο) καθώς και της ροπής / δύναμης που αυτό εξασκεί επί του προτύπου.

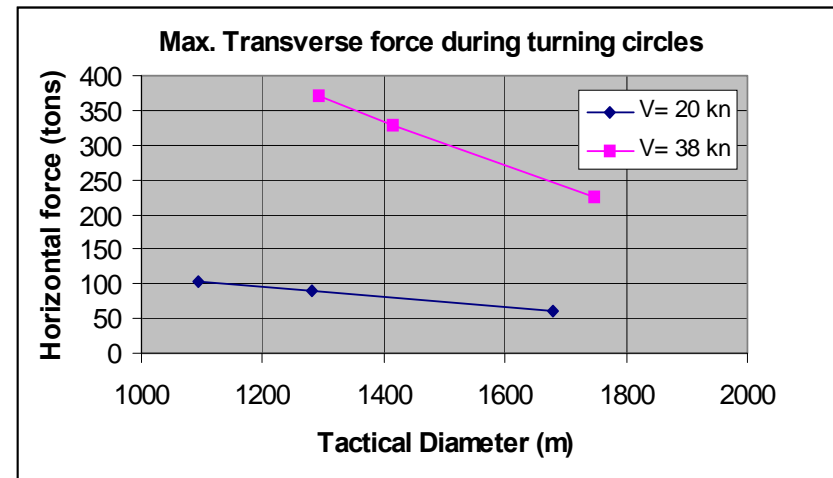
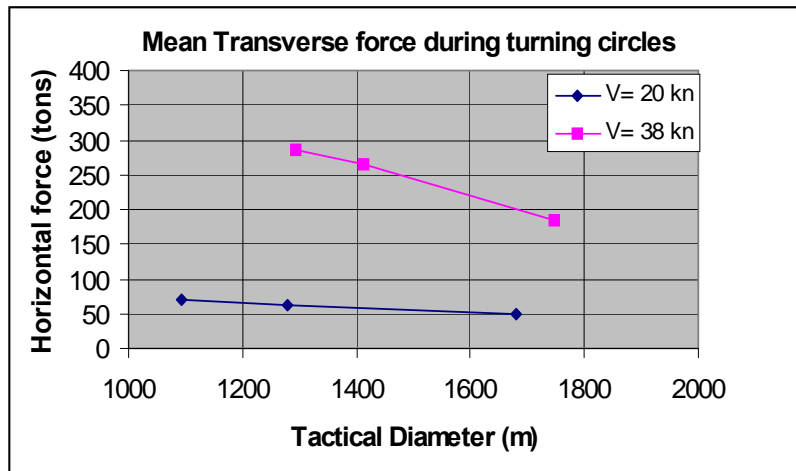
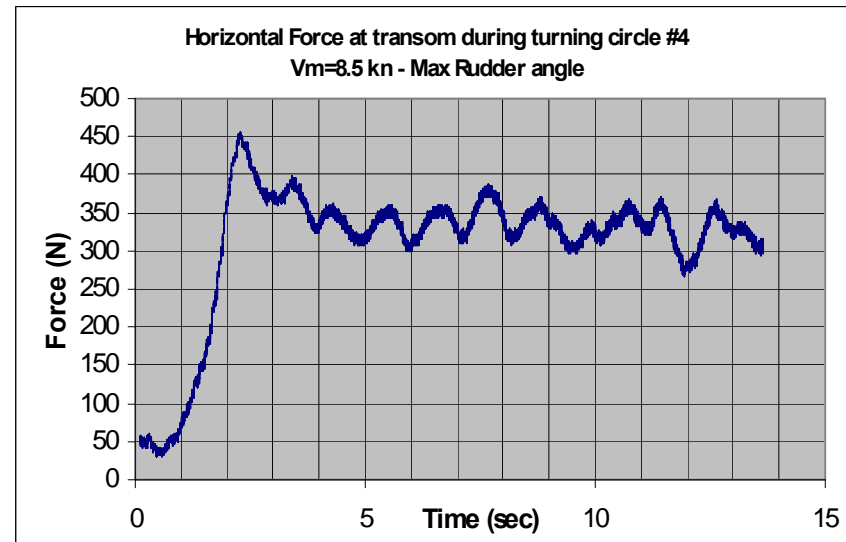
β) Λεπτομερής αποτύπωση της τροχιάς του προτύπου κατά τη διάρκεια των ελιγμών, που προδιαγράφονται από σχετικούς κανονισμούς, προκειμένου να διαπιστωθεί η επάρκεια του πλοίου.

Η αποτύπωση της τροχιάς επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός συστήματος συνεχούς καταγραφής της θέσης (Real Time Kinematic, RTK). Το σύστημα αποτελείται από δύο δέκτες που επικοινωνούν μεταξύ τους, έναν επί του προτύπου και τον άλλο στην ακτή για αναφορά. Το RTK είναι ένα διαφορικό σύστημα που χρησιμοποιεί τη φάση του φέροντος σήματος σε φυσικό χρόνο και αντιστοιχεί στην κλίμακα των [mm] στην καταγραφική ταινία. Η ακρίβεια του εξοπλισμού του συστήματος είναι της τάξης των 5 – 20 mm στο οριζόντιο επίπεδο και 10 – 50 mm κατά την κατακόρυφη διεύθυνση.



Στην ανωτέρω εικόνα δείχνεται το πρότυπο της κορβέτας του Π.Ν. ενώ εκτελεί οφιοειδή ελιγμό, ενώ στα σχήματα αριστερά δείχνονται οι καταγραφές της τροχιάς του πλοίου κατά τον κυκλικό ελιγμό και τον οφιοειδή ελιγμό στην περιοχή του Λαυρίου.

Τέλος, στο διπλανό σχήμα δείχνεται η καταγραφή της εγκάρσιας δύναμης πηδαλίου, όπως μετρήθηκε από το ειδικό όργανο του ΕΝΘΥ κατά τις δοκιμές του προτύπου Ε/Γ – Ο/Γ στο Douardenez-Treboul, Βρετάνη, Γαλλίας, ενώ στα επόμενα σχήματα φαίνονται οι τιμές ανηγμένες στη κλίμακα του πλοίου



ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟΝΕΡΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

Το πρόβλημα που δημιουργείται από τα ευμεγέθη κυματικά απόνερα σύγχρονων μεγάλων και ταχύπλων πλοίων είναι σ' όλους γνωστό. Το ύψος όμως των σχετικών ενοχλητικών κυματισμών εξαρτάται τόσο από την ταχύτητα, όσο και από την εγκάρσια απόσταση από την τροχιά του πλοίου. Οι σχετικές μετρήσεις σε πλοία και πρότυπα έχουν σκοπό τόσο τον καθορισμό των σχετικών μεγεθών, όσο και την επαλήθευση των σχετικών κωδίκων πρόβλεψης.



ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

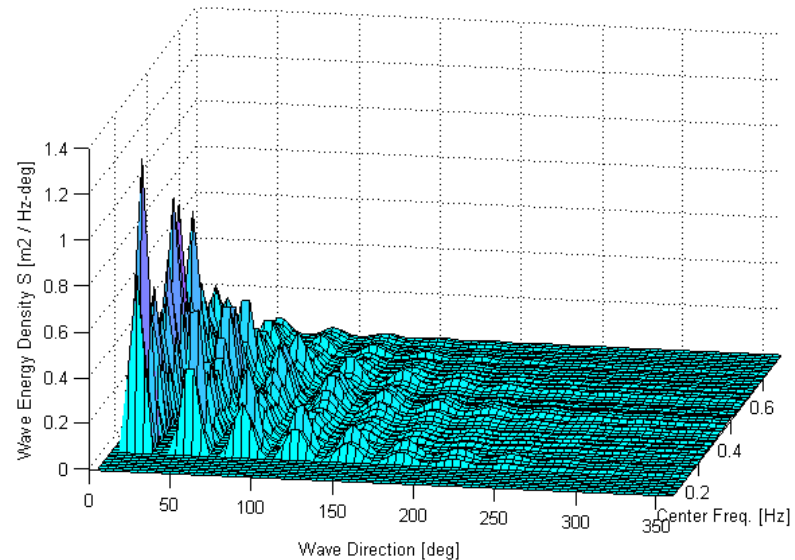
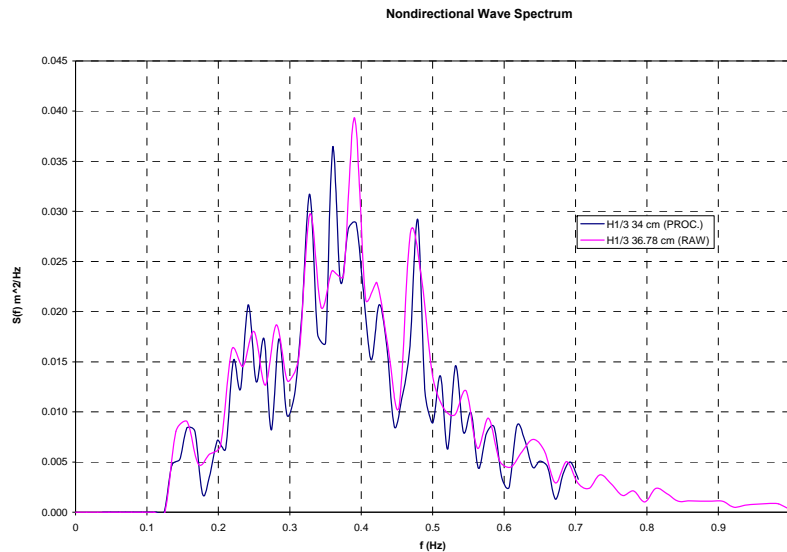
Στις πειραματικές δεξαμενές δεν είναι δυνατό να παραχθούν πρότυπα των πολυκατευθυντικών ανεμογενών κυματισμών, που υπάρχουν στη θάλασσα. Έτσι, εάν θέλει κανείς να ελέγξει την (ακραία) συμπεριφορά του πλοίου στη θάλασσα, θα πρέπει να καταφύγει σε πειράματα επί μεγάλου προτύπου. Αυτό δε γιατί καταστάσεις θάλασσας που συνήθως συμβαίνουν (π.χ. Beaufort 5-6), μεταφράζονται σε ακραίες καταστάσεις θάλασσας σε κλίμακα προτύπου (Beaufort 10-11). Ενώ τις πραγματικές μεγάλες θάλασσες σε φυσική κλίμακα, πολύ δύσκολα συναντά κανείς και (φυσικά) είναι περίπου αδύνατο τότε κανείς να είναι έτοιμος για μετρήσεις.



ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

Ευτυχώς, οι ανεμογενεείς κυματισμοί έχουν την ιδιότητα να έχουν πρακτικά το ίδιο φάσμα ενέργειας σε αδιάστατη μορφή και έτσι η διέγερση του συστήματος (πλοίο), του οποίου επιθυμούμε να μετρήσουμε την απόκριση είναι απόλυτα σωστή, υπό τη δεδομένη κλίμακα.

Στα παρακάτω σχήματα δείχνονται σημειακό φάσμα ενέργειας και κατευθυντικό φάσμα ενέργειας, όπως μετρήθηκαν από τους αντίστοιχους κυματογράφους.



Η εμπλοκή του ΕΝΘΥ σε μετρήσεις επί πλοίων αρχίζει το 1989, όταν εγκαταστάθηκε το σύστημα μετρήσεως επιταχύνσεων πάνω σε πλοίο που έκανε πλόες στον Ατλαντικό Ωκεανό, O.B.O. στα πλαίσια το ερευνητικού έργου ESPRIT / KBSSHIP P-2263. Ένα κατά πολύ εκτενέστερο μετρητικό σύστημα, το οποίο εκτός από τις μετρήσεις επιταχύνσεων, περιλάμβανε και μετρήσεις ταλαντώσεων και θορύβων. Το σύστημα εγκαταστάθηκε επί του πλοίου SEACAT, που έκανε πλόες μεταξύ των λιμανιών Liverpool και Dublin, στα πλαίσια του ερευνητικού έργου "Safety at Speed". Τέλος, στα πλαίσια του ερευνητικού έργου COMAPROP, το ΕΝΘΥ με τη βοήθεια του Εργαστηρίου Μικροϋπολογιστών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, ανέπτυξε το λογισμικό και κατασκεύασε το σύστημα ελέγχου και καταγραφής τάσεων από αισθητήρες που είχαν εγκατασταθεί επί πτερυγίου έλικας μεταβαλλόμενου βήματος, για πειράματα στη Γένοβα, Ιταλίας.



Πρόσφατα, στα πλαίσια των ερευνητικών προγραμμάτων COMPASS και ΕΣΠΕΝ, το ΕΝΘΥ πραγματοποίησε μια σειρά μετρήσεων επί δύο επιβατηγών πλοίων, με στόχο την καταγραφή των αποκρίσεων του πλοίου σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες και τον συσχετισμό αυτών με την άνεση των επιβατών κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού. Το πρόγραμμα των μετρήσεων περιλάμβανε:

- Καταγραφή των αποκρίσεων / επιταχύνσεων του πλοίου, με τη χρήση επιταχυνσιομέτρων.**
- Καταγραφή του κυματικού περιβάλλοντος με την τοποθέτηση ενός Microwave Radar στην πλώρη των εν λόγω πλοίων.**
- Καταγραφή της απόκρισης των επιβατών με χρήση κατάλληλα διατυπωμένου ερωτηματολογίου.**
- Καταγραφή της γωνίας πλεύσης (heading), του προνευτασμού (pitch) και του διατοιχισμού (roll) με χρήση γυροπυξίδας.**

Δίγαστρο πλοίο Loa=42 m, Vs=35Kn Αριθμός επβατών 386	Μονόγαστρο πλοίο Loa=124.2 m, Vs=25Kn Αριθμός επβατών 1450
Σύνολο 13 ταξιδίων, Αριθμός συλλεχθέντων ερωτηματολογίων 1180	Σύνολο 7 ταξιδίων, Αριθμός συλλεχθέντων ερωτηματολογίων 2114
Καταστάσεις θάλασσας 4-7 Bf	Καταστάσεις θάλασσας 6-8 Bf

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

Η σχεδίαση και κατασκευή τόσο των μετρητικών διατάξεων, όσο και του λοιπού απαιτούμενου εξοπλισμού για τα πειράματα σε πρότυπα και μετρήσεις σε πλοία γίνεται από το προσωπικό του ΕΝΘΥ. Αυτό π.χ. αναφέρεται στον πλήρη εξοπλισμό πρόωσης, ναυσιπλοΐας και μετρήσεων του προτύπου της κορβέτας.

Η σχετική διαδικασία περιλαμβάνει την αγορά των κατάλληλων αισθητήρων και των κατάλληλων ενισχυτών, διαμορφωτών σήματος και βιομηχανικών μικροϋπολογιστών (συνήθως από διάφορους προμηθευτές) και στη συνέχεια σχεδιάζει και υλοποιεί εξεζητημένα ερευνητικά όργανα, που δε διατίθενται στο εμπόριο.

Τρία τέτοια πρωτότυπα όργανα δείχνονται στη συνέχεια.

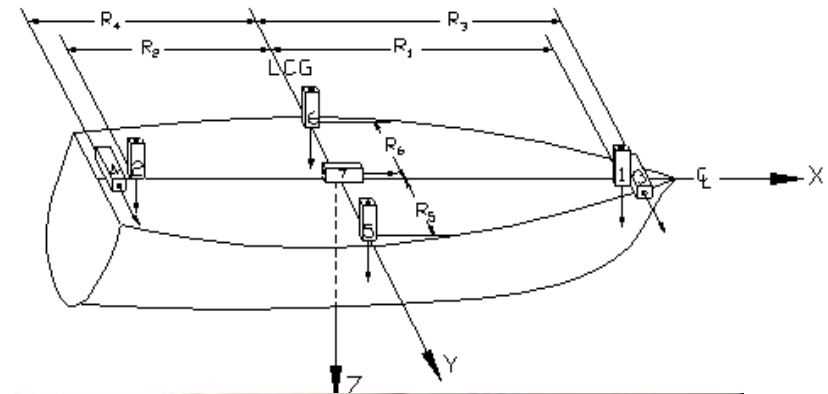
ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΠΛΟΙΟΥ

Η μέτρηση των έξι βαθμών ελευθερίας ενός επιπλέοντος σώματος που κινείται με κάποια ταχύτητα σε κυματισμούς, πραγματοποιείται με την χρήση συστήματος επτά μονοαξονικών επιταχυνσιομέτρων.

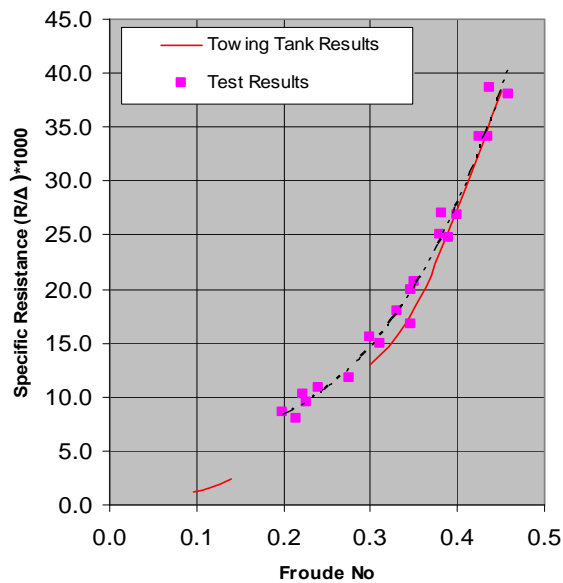
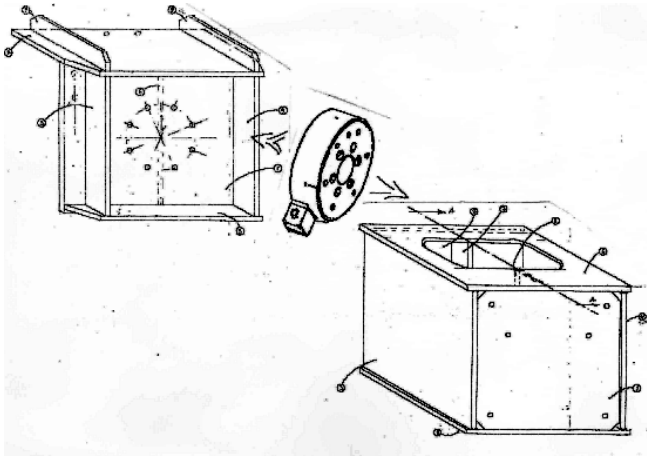
Η διάταξη καθώς και η μεθοδολογία της απόκτησης των ταχυτήτων και κινήσεων του πλοίου από τις επιταχύνσεις έχουν αναπτυχθεί στο ΕΝΘΥ από το 1995.

Για τη χρήση του συστήματος τόσο σε φυσική κλίμακα όσο και σε πειράματα μεγάλων προτύπων στη θάλασσα, έγινε τοποθέτηση των επτά επιταχυνσιομέτρων σε δύο δοκούς αλουμινίου σε σχήμα σταυρού διατηρώντας την διάταξη και την κατεύθυνση των επιταχυνσιομέτρων του αρχικού συστήματος.

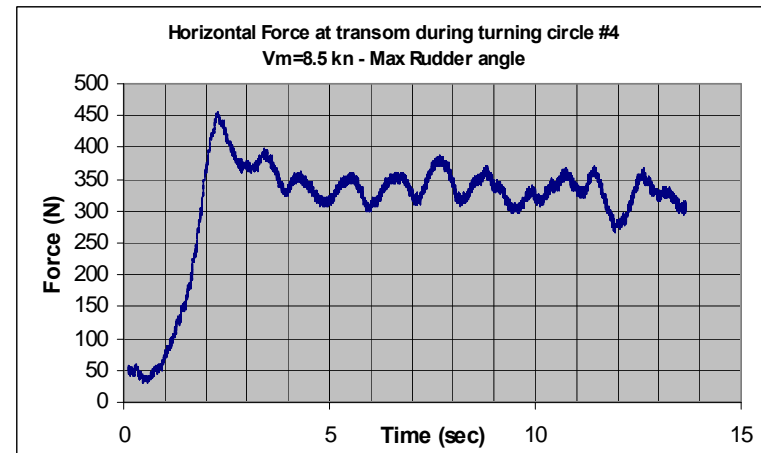
Cross Arrangement of the seven-accelerometer system



Ανάπτυξη ειδικού δυναμομέτρου για μέτρηση δυνάμεων-ροπών από εξωλέμβια μηχανή σε μεγάλα μοντέλα πλοίων (δυνάμεις μέχρι 7200N, ροπές μέχρι 1400 Nm)

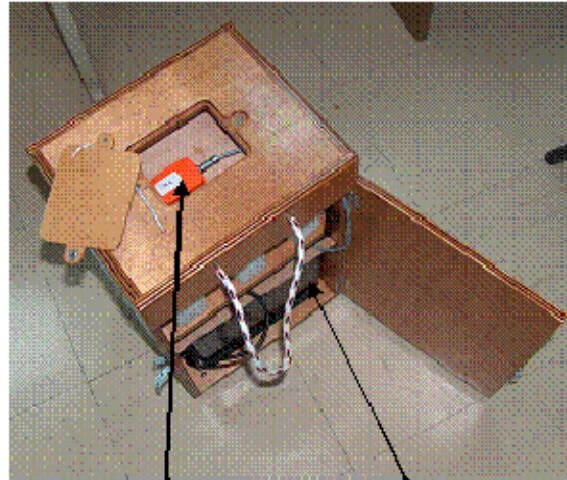


Μετρήσεις ώσης



Μετρήσεις εγκάρσιας δύναμης πηδαλίου

Αυτόνομη μονάδα μετρήσεων επιταχύνσεων και γωνιακών περιστροφών στερεού σώματος



Η μονάδα περιλαμβάνει τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο και όργανο μέτρησης των γωνιακών περιστροφών (επιταχύνσεις μέχρι 5g και γωνιακές ταχύτητες μέχρι 1500/sec). Επίσης, ελεγκτή που οδηγεί τη δειγματοληψία και αποθηκεύει τις μετρήσεις. Ο συσσωρευτής της διάταξης επιτρέπει την αυτόνομη λειτουργία της συσκευής για περίοδο δεκαώρου.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ

ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗΣ



ΕΛΕΓΚΤΗΣ

Οι μονάδες τοποθετούνται σε διάφορα σημεία του πλοίου, κυρίως σε χώρους συγκέντρωσης των επιβατών, ώστε να μετρώνται οι αντίστοιχες επιταχύνσεις ακριβώς στην περιοχή που ενδιαφέρει και να εξάγεται το επίπεδο άνεσης στο χώρο αυτό.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το σκάφος συνοδείας/ασφάλειας και όλος ο εξοπλισμός που αναφέρθηκε στα προηγούμενα, βρίσκονται σήμερα στη κυριότητα του ΕΝΘΥ, το οποίο διευθύνει ο καθ. Γεώργιος Τζαμπίρας.

Ο παραπάνω εξοπλισμός είναι στη διάθεση των ερευνητών του Ιδρύματος για σχετικές δραστηριότητες (μετρήσεις ή συμμετοχή σε ερευνητικά έργα)

Την ευθύνη της χρήσης του εξοπλισμού στη θάλασσα έχει ο καθ. Γρηγόριος Γρηγορόπουλος.

...ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗ!

Η υποστήριξη της διεξαγωγής πειραμάτων στη θάλασσα με χρήση πολυάριθμων και ογκωδών μετρητικών διατάξεων δεν αποτελεί απλή υπόθεση όπως δείχνεται στα παρακάτω στιγμιότυπα...

