



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ»**



ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Γ.Ι.ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

-ΑΘΗΝΑ 2012-

Στη Χαρά, τον Παναγιώτη και τη Μελίτα

Με την παρούσα διπλωματική διατριβή ολοκληρώνεται η συμμετοχή μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Σ' αυτό το πλαίσιο, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες και το ερευνητικό προσωπικό της Σχολής για την απεριόριστη διάθεσή τους να προσφέρουν αφειδώς τη γνώση τους στα γνωστικά αντικείμενά τους. Ιδιαίτερα, επιθυμώ να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γρηγόρη Γρηγορόπουλο για την αμέριστη συμπαράσταση και εμπνευσμένη καθοδήγηση. Τον καθηγητή του University of Iowa κ. Frederick Stern και το συνεργάτη του κ. Seyed Hamid Sadat Hosseini για την πρόθυμη και ευγενική παροχή πληροφοριών σχετικά με τη γάστρα ONR 5613. Επίσης, να ευχαριστήσω τον Ναυπηγό Μηχανολόγο Μηχανικό κ. Δημοσθένη Τριπερίνα για τη βοήθειά του στη χρήση σχεδιαστικών και υδροστατικών προγραμμάτων. Επιπρόσθετα, τον Αρχηγό του Γ.Ε.Ν. Αντιναύαρχο Κ. Χρηστίδη Π.Ν. για το όραμα, τον Υποναύαρχο (Μ) Η. Δημόπουλο Π.Ν. και τον Αντιπλοίαρχο (Μ) Κ. Παζιώτη Π.Ν. του ΓΕΝ/ΔΕΞ για την πολύτιμη συνδρομή τους στην υλοποίηση της παρούσας διατριβής. Επίσης, τον Πλωτάρχη (Μ) Κ. Ψαλίδα Π.Ν., τους Υποπλοίαρχους (Μ) Μ.Ι. Φλώρο Π.Ν. και Γ. Γκουγκουλίδη Π.Ν. για τις εποικοδομητικές συζητήσεις και την προθυμία τους να συνδράμουν. Τους γονείς μου για την, πάντα δεδομένη, ηθική συμπαράσταση. Τη σύζυγό μου Χαρά, για την υπομονή της, τη στήριξη και την αγάπη της όλα αυτά τα χρόνια. Τον Παναγιώτη και τη Μελίτα που μέσα από τα μάτια τους βρήκα τη δύναμη και τη θέληση να ανταπεξέλθω στις απαιτήσεις των σπουδών.

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Π.ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012

«We must free ourselves of the hope that the sea will ever rest. We must learn to sail in high winds».

Aristotle Onassis

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ
2. ABSTRACT
3. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ (SEAKEEPING) ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑ (OPERABILITY).
4. ΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.
5. ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (WAVE ENERGY SPECTRUM).
6. ΤΟ ΔΙΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟ ΦΑΣΜΑ BRETSCHNEIDER (BRETSCHNEIDER SPECTRUM, ΙΤΤC SPECTRUM).
7. ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ.
8. ΑΤΛΑΝΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΩΝ (WIND AND WAVE ATLAS).
9. ΟΙ ΓΑΣΤΡΕΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.
10. ΟΙ ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ ΤΟΥ ΠΟΛΕΜΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.
11. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ.
12. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.
13. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ (OPERABILITY ASSESSMENT).
14. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ.
15. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.
16. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.
17. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.
18. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.

1.ΠΕΡΙΛΗΨΗ.

Στην παρούσα διατριβή εξετάζεται η λειτουργησιμότητα τριών εντελώς διαφορετικών, σχεδιαστικά, γαστρών πολεμικών πλοίων με χρήση της απόλυτης μεθόδου προσδιορισμού της δυναμικής συμπεριφοράς σε τέσσερις περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου και ιδιαίτερα στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου Πελάγους.

Αναλύονται οι αποκρίσεις σε δύο ταχύτητες και τρεις γωνίες συνάντησης. Χρησιμοποιείται ο κώδικας S.M.P. για τον υπολογισμό των κινήσεων και των τυχαίων συμβάντων σε οκτώ θέσεις ανά πλοίο. Τα κριτήρια με τα οποία ελέγχεται η λειτουργησιμότητα των πλοίων ορίζονται και καθορίζονται στην έκδοση NATO STANAG 4154 edition3 και αφορούν τέσσερις κύριες αποστολές ενός πολεμικού πλοίου: TAP “TRANSIT AND PATROL” (περιπολία), ASW “ANTI-SUBMARINE WARFARE” (ανθυποβρυχιακές), AAW “ANTI-AIR WARFARE” (αντιαεροπορικές) και NAO “NAVAL AIR OPERATIONS” (αεροπορικές- ελικοπτέρου).

Χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία που περιλαμβάνει ο άτλαντας έκδοσης 2004 που δημιουργήθηκε από τον οργανισμό Western European Armaments Organisation Research Cell, στον οποίο συμμετείχε και το Ε.Μ.Π. Σ’ αυτόν παρέχονται στατιστικά στοιχεία για ανέμους και κυματισμούς της θαλάσσιας λεκάνης της Μεσογείου συγκεντρωμένα επί μια δεκαετία. Τέλος, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε καρτεσιανές συντεταγμένες και όχι σε πολικά διαγράμματα.

2.ABSTRACT.

This thesis examines the operability of three completely different, in terms of design, naval vessels with the use of absolute method of seakeeping performance assessment. The sea environment considered is that of four areas of the Eastern Mediterranean Sea, belonging to the Aegean Sea.

The ships' responses are measured for two speeds and three angles of encounter. The S.M.P. Code is used in order to calculate the motions and derived criteria at eight points onboard each ship. Criteria sets, concerning four essential operations (TAP "TRANSIT AND PATROL", ASW "ANTI-SUBMARINE WARFARE", AAW "ANTI-AIR WARFARE" and NAO "NAVAL AIR OPERATIONS") and found in NATO STANAG 4154 edition 3 are used to assess the overall mission performance of each ship.

Environmental data were taken from the wind and wave atlas which was created by the Western European Armaments Organisation Research Cell, released in 2004 with the participation of the NTUA. This atlas provides statistical data accumulated over a ten year period. Finally, the results are presented by means of Cartesian coordinates although a common practice is to use polar diagrams.

3.ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ (SEAKEEPING) ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑ (OPERABILITY).

Η δυναμική συμπεριφορά ενός πλοίου (seakeeping) είναι μια καθοριστική παράμετρος για την συνολική επιχειρησιακή απόδοσή του. Η δυναμική συμπεριφορά γενικά θεωρείται ως η μελέτη των κινήσεων ενός πλοίου σε θαλάσσιους κυματισμούς. Επομένως, πλοία με καλό seakeeping είναι ικανά να πλέουν εκτελώντας επιτυχημένα την αποστολή τους, παρά τις αντίξοες καιρικές συνθήκες [1]. Αν τώρα, θεωρηθεί ότι το ενδιαφέρον περιστρέφεται γύρω από τα πολεμικά πλοία, τα οποία μεταφέρουν μεγάλο αριθμό προσωπικού, πολύπλοκα και ακριβά συστήματα και οπτικά φορτία και που μπορεί να κληθούν να εκτελέσουν την αποστολή τους ανεξάρτητα των συνθηκών, γίνεται αντιληπτό ότι οι απαιτήσεις ως προς τη δυναμική συμπεριφορά είναι πιο πολύπλοκες από ό,τι σε ένα συμβατικό εμπορικό πλοίο.

Οι απαιτήσεις ως προς τη δυναμική συμπεριφορά εκφράζονται αναλόγως της αποστολής του πλοίου και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Ειδικά οι περιβαλλοντικές συνθήκες καθορίζονται από την γεωγραφική περιοχή. Η επιτυχημένη εκπλήρωση της αποστολής ενός πλοίου εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας των συστημάτων του, οι οποίες σε μεγάλο βαθμό επηρεάζονται από το περιβάλλον των επιχειρήσεων. Με αυτή την παραδοχή, οι συνθήκες λειτουργίας μπορούν να χωρισθούν σε τρεις κατηγορίες:

α. Συνθήκες φυσιολογικής (αναμενόμενης) λειτουργίας. Σ' αυτήν, όλα τα συστήματα και υποσυστήματα του πλοίου που απαιτούνται για την εκπλήρωση της αποστολής λειτουργούν και αποδίδουν.

β. Συνθήκες απομειωμένης λειτουργίας. Σ' αυτήν, όλα τα απαραίτητα συστήματα και υποσυστήματα του πλοίου πρέπει να προστατευθούν από βλάβες. Οι αποστολές μπορούν να εκτελεσθούν με περιορισμούς. Η δυναμική ευστάθεια του άθικτου πλοίου πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη.

γ. Συνθήκες επιβίωσης. Σ' αυτήν πρέπει να εξασφαλισθεί η επιβιωσιμότητα του σκάφους, ενώ όσο το δυνατόν περισσότερα υποσυστήματα πρέπει να προστατευθούν από σοβαρές βλάβες. Η δυναμική ευστάθεια του βεβλαμμένου πλοίου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Η περίπτωση αυτή καλύπτεται από κανονισμούς και δεν εξετάζεται σε αυτή τη διατριβή [1].

Η βρετανική θεώρηση του κύκλου μάχης ενός πολεμικού πλοίου, όπως περιγράφεται στην έκδοση BR 2170, ενοποιεί τις δύο πρώτες συνθήκες κάτω από τον όρο «fight» (που σημαίνει ότι το πλοίο μπορεί να εκπληρώσει την αποστολή του, έστω μερικώς και με κάποιες δυσλειτουργίες στα συστήματά του) ενώ για την τρίτη χρησιμοποιεί τον όρο «survive» (που σημαίνει ότι αμφισβητείται, και ως εκ τούτου πρέπει πρώτιστα να εξασφαλισθεί, η επιβιωσιμότητα του σκάφους).

Οι οικονομικοί περιορισμοί σε συνδυασμό με την επιθυμία για μεγιστοποίηση της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας (operability), δημιουργούν την απαίτηση ώστε τα πολεμικά πλοία με τα πολύπλοκα συστήματα να σχεδιάζονται με γνωστή εκ των προτέρων δυναμική συμπεριφορά, προκειμένου να αξιολογούνται οι δυνατότητες εκτέλεσης των αποστολών τους σε συγκεκριμένα θαλάσσια περιβάλλοντα. Η τάση σήμερα είναι η δημιουργία μικρών, ευέλικτων και υπερσύγχρονα εξοπλισμένων μάχιμων ναυτικών μονάδων, οι οποίες :

α. δεν βασίζονται στην επιβιωσιμότητά τους σε ένα τεράστιο οπλοστάσιο αναχαίτησης των επερχόμενων απειλών ή στην ύπαρξη βαριών θωρακίσεων, αλλά στην έγκαιρη προειδοποίηση και στην παραπλάνηση της επερχόμενης απειλής μέσω κατάλληλων συσκευών (from armour to sensor concept).

β. μπορούν να αλλάζουν την κύρια αποστολή τους, με κατάλληλη προσθαφαίρεση συστημάτων, ενώ η πλατφόρμα παραμένει η ίδια (modular concept).

Επιπρόσθετα, σήμερα δίνεται έμφαση αντί για τις παραδοσιακές αποστολές ανοικτής θάλασσας (blue water) στις παράκτιες επιχειρήσεις με δυνατότητα προσβολής χερσαίων στόχων [2]. Άρα, η σύγχρονη τάση, η οποία στρέφεται στην κατασκευή μικρών (σε σχέση με το παρελθόν) πλοίων, επιτείνει την έμφαση στην μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς και στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα (ή αλλιώς λειτουργησιμότητα, operability), δεδομένου ότι η γενική αρχή είναι πως το μεγάλο μέγεθος ευνοεί το καλό seakeeping [3].

Με τον όρο επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα ή λειτουργησιμότητα (operability) ορίζεται το ποσοστό του χρόνου, κατά το οποίο ένα πλοίο μπορεί να επιχειρεί, εκτελώντας την αποστολή του σε ένα δεδομένο συνδυασμό περιβαλλοντικών συνθηκών. Αποτελεί δηλαδή ένα μέτρο της ικανότητας του πλοίου να ταξιδεύει και ταυτόχρονα να εκτελεί την αποστολή του. Με τον τρόπο αυτό είναι εφικτή και η σύγκριση διαφορετικών σχεδιάσεων.

Τα βασικά βήματα για την πρόβλεψη της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας είναι:

α.Καθορισμός της αποστολής.

β.Περιγραφή των ανεμολογικών και θαλασσιών συνθηκών, στις οποίες θα λειτουργήσει το πλοίο.

γ.Υπολογισμός των κινήσεων του πλοίου και των συναφών φαινομένων στο συγκεκριμένο θαλάσσιο περιβάλλον.

δ.Εφαρμογή κριτηρίων απόδοσης των συστημάτων του πλοίου, με σκοπό την σύνδεση των κινήσεων του πλοίου με την εκτέλεση της αποστολής του.

ε.Συγκέντρωση κι επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για την λειτουργησιμότητα του πλοίου (operability).

Υπάρχουν δύο γενικές μέθοδοι προσδιορισμού της δυναμικής συμπεριφοράς ενός πλοίου. Και οι δύο παρέχουν στον σχεδιαστή πληροφορίες για την επίδραση των κινήσεων του πλοίου στην απόδοση των συστημάτων του, συνεπώς στην λειτουργησιμότητά του.

Η πρώτη μέθοδος είναι συγκριτική. Η συμπεριφορά του πλοίου μελετάται και συγκρίνεται με την αντίστοιχη ενός άλλου πλοίου με γνωστή (καλή) δυναμική συμπεριφορά. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια .

Η άλλη μέθοδος είναι απόλυτη. Σ'αυτήν ορίζονται αποδεκτά όρια στις κινήσεις του πλοίου με βάση την μείωση της απόδοσης του προσωπικού και του υλικού. Το πλοίο εξετάζεται και αξιολογείται με βάση αυτά τα όρια. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τα όρια αυτά ως κριτήρια που στηρίζονται μόνο σε ποσοτικές μετρήσεις.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιείται η απόλυτη μέθοδος. Γίνεται έλεγχος ικανοποίησης διαφόρων κριτηρίων που καθορίζονται από την έκδοση NATO STANAG 4154 και υπολογίζονται οι δείκτες λειτουργησιμότητας σε τέσσερις θαλάσσιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, υπό δύο διαφορετικές ταχύτητες και τρεις κατευθύνσεις του πλοίου ως προς τον κυματισμό. Οι θέσεις (AREAS) στις οποίες μελετήθηκαν τα πλοία είναι οι παρακάτω:

α.AREA 1: 35 N, 22 E.(Δυτικά Κρήτης)

β.AREA 2: 36 N, 21 E. (Νοτιοδυτικά Πελοποννήσου)

γ.AREA 3: 36 N, 27 E. (Βόρεια νήσου Καρπάθου)

δ.AREA 4: 38N, 25.5 E. (Κεντρικό Αιγαίο)

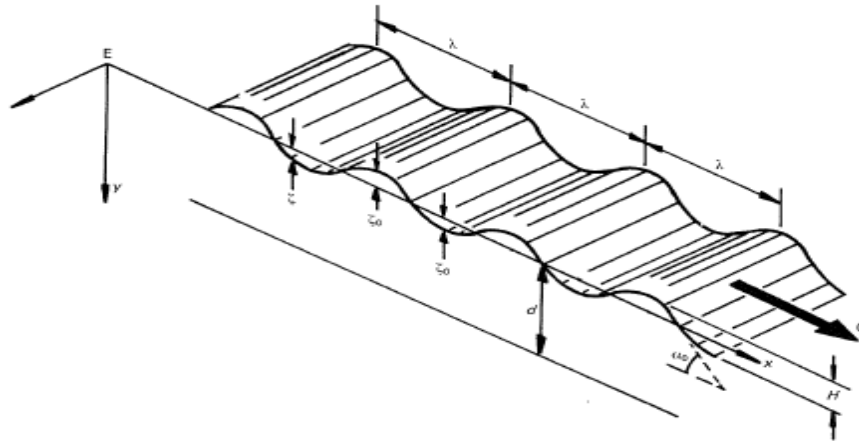
4.ΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

Η θάλασσα παρουσιάζει μια διαρκώς μεταβαλλόμενη όψη. Σε μακροχρόνιο ορίζοντα η επιφάνειά της μπορεί να διαφοροποιείται από ήρεμη (flat calm) μέχρι εξαιρετικά παραγμένη (extreme roughness). Σε βραχυχρόνιο ορίζοντα, μπορεί να εμφανίζει μια σχετικά σταθερή διαταραχή, όμως η επιφάνειά της είναι διαρκώς μεταβαλλόμενη. Ο ακριβής μηχανισμός με τον οποίο γίνεται η μεταφορά ενέργειας από τον άνεμο προς το νερό, με αποτέλεσμα αρχικά τον ρυτιδισμό (ripples) και στην συνέχεια τον κυματισμό (waves), δεν είναι ακριβώς γνωστός [4]. Ούτε η ελάχιστη ταχύτητα ανέμου που προκαλεί σχηματισμό κυμάτων είναι επακριβώς γνωστή, αν και έχουν προταθεί τιμές μεταξύ 0.6 και 6 m/sec [5].

Η διαταραχή της θαλάσσιας επιφάνειας εκτός από την ταχύτητα του ανέμου, εξαρτάται κι από την διάρκεια που αυτός πνέει στην περιοχή, καθώς επίσης και από την έκταση της θαλάσσιας επιφάνειας πάνω από την οποία πνέει. Αυτά τα τρία ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι γνωστά ως ένταση (strength), διάρκεια (duration) και έκταση (fetch). Η διαταραχή εξαρτάται επίσης και από κάποια θαλάσσια χαρακτηριστικά, όπως την ύπαρξη παλλίροιας, το βάθος του νερού και την τοπική ακτογραμμή. Πρακτικά, όταν η θαλάσσια περιοχή υπερβαίνει το μήκος των 500 Km, ο σχηματισμός κυμάτων είναι ανεξάρτητος από το fetch.

Αφού σχηματισθεί το κύμα, αρχίζει να κινείται, απομακρυνόμενο από το σημείο που δημιουργήθηκε, κινούμενο μέχρι να χαθεί όλη η ενέργεια που μεταφέρει, είτε λόγω θραύσης των κυμάτων είτε λόγω φαινομένων συνεκτικότητας [5].

Οι κυματισμοί μπορούν να διαχωρισθούν σε δύο κατηγορίες: Τους αρμονικούς (regular) και τους τυχαίους (irregular). Οι αρμονικοί κυματισμοί είναι ημιτονοειδείς κυματισμοί, οι οποίοι πρακτικά δεν εμφανίζονται στην φύση.



Ημιτονοειδής κυματισμός (regular wave) [4].

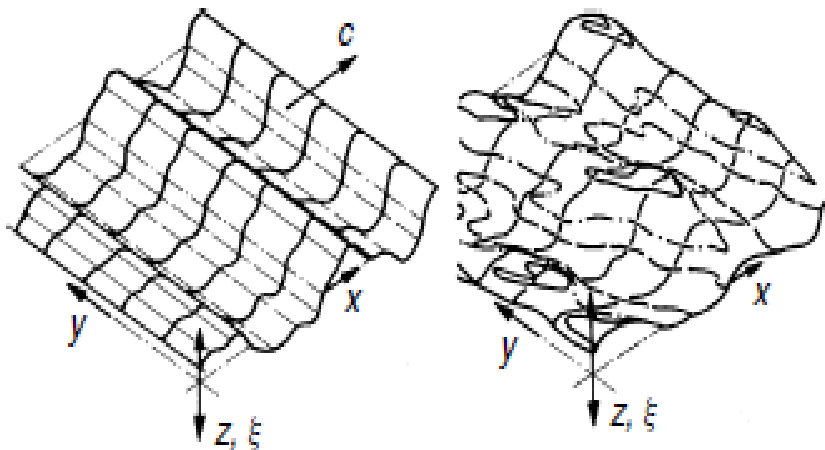
Οι τυχαίοι κυματισμοί είναι αυτοί που απαντώνται στο θαλάσσιο περιβάλλον και διαχωρίζονται περαιτέρω σε δύο κατηγορίες: η πρώτη αφορά καθαρά ανεμογενείς κυματισμούς (sea waves). Αυτοί είναι πολυκατευθυντικοί (Shortcrested), δηλαδή προκύπτουν από την συμβολή κυματισμών διαφόρων κατευθύνσεων. Πρακτικά, όλες οι ανεμογενείς καταστάσεις θαλάσσης είναι shortcrested. Το μήκος της κορυφής του κύματος είναι λίγες μόνο φορές (2 έως 3) μεγαλύτερο από το φαινόμενο μήκος κύματος λ . Ξεχωριστές κορυφές κυμάτων αναπτύσσονται σε διάφορες κατευθύνσεις, οι οποίες απέχουν πολύ από την κύρια κατεύθυνση διάδοσης. Η φαινόμενη περίοδος \tilde{T} διαρκώς μεταβάλλεται, όπως και το φαινόμενο μήκος κύματος $\tilde{\lambda}$. Οι κυματισμοί αυτοί μελετώνται, θεωρώντας τους ως υπέρθεση απλών ημιτονοειδών κυματισμών διαφόρων κατευθύνσεων και περιόδων (γραμμική θεωρία κυμάτων).

Η άλλη κατηγορία τυχαίων κυματισμών ονομάζεται αποθαλασσία (swell). Πρόκειται για κυματισμούς, οι οποίοι προέρχονται από μια μακρινή ως προς τον παρατηρητή περιοχή, χωρίς να συνεισφέρουν οι κυματισμοί από τοπικούς ανέμους. Είναι μονοκατευθυντικοί (Longcrested), δηλαδή όλοι έχουν την ίδια κατεύθυνση διάδοσης. Οι κυματισμοί αυτοί έχουν μήκος κορυφής 6-7 φορές μεγαλύτερο από το φαινόμενο μήκος κύματος, ενώ και η φαινόμενη περίοδος είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή των ανεμογενών κυματισμών. Σαν γενικός κανόνας μπορεί να λεχθεί ότι η περίοδος της τάξης των 10 sec διαχωρίζει τα sea waves από το swell (το swell εμφανίζει περιόδους συνήθως άνω των 10 sec), χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχει και επικάλυψη στις περιόδους [6]. Σύμφωνα με τον Torsethaugen (1993,1996), η σχέση που χαρακτηρίζει ένα τυχαίο κυματισμό σαν sea ή σαν swell είναι η ακόλουθη:

$$T_p \leq 6.6 H_{1/3}^{1/3} \text{ wind sea}$$

$$T_p > 6.6 H_{1/3}^{1/3} \text{ swell,}$$

όπου T_p η περίοδος κορυφής του κύματος και $H_{1/3}$ το σημαντικό ύψος κύματος.



Τυχαίοι κυματισμοί (irregular waves): swell (αριστερά), sea (δεξιά) [7].

Επομένως, η χρονική ιστορία ενός τυχαίου ανεμογενούς κυματισμού, μπορεί να παρασταθεί από μια σειρά Fourier, ως υπέρθεση απλών ημιτονοειδών κυματισμών, στο πλαίσιο της γραμμικής θεωρίας:

$$\zeta(t) = \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t) \quad [\text{meters}] \text{ όπου:}$$

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{T_H} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad [\text{rad/sec}]$$

T_H : Η διάρκεια της χρονικής ιστορίας [sec]

$$A_n = \frac{2}{T_H} \int_0^{T_H} \zeta(t) \cos(\omega_n t) dt \quad [\text{m}]$$

$$B_n = \frac{2}{T_H} \int_0^{T_H} \zeta(t) \sin(\omega_n t) dt \quad [\text{m}]$$

$\bar{\zeta}$: Η μέση τιμή της ανύψωσης της θαλάσσιας επιφάνειας [m]

$\zeta(t)$: Η στιγμιαία τιμή της ανύψωσης της θαλάσσιας επιφάνειας [m].

Άρα, μπορεί να γραφτεί ότι:

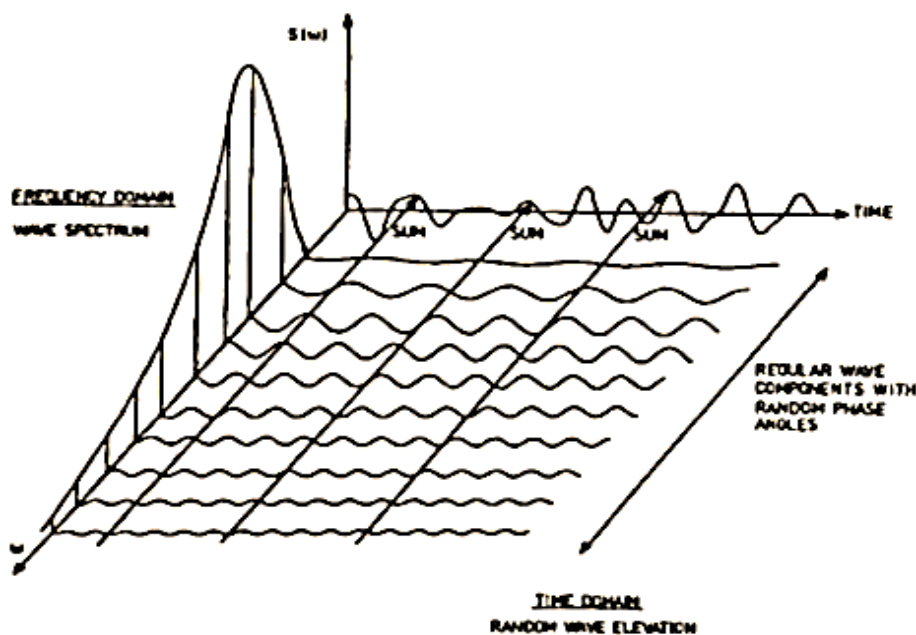
$$\zeta(t) = \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} \zeta_{n0} \cos(\omega_n t + \varepsilon_n) \quad [\text{m}] \text{ όπου:}$$

$$\zeta_{n0} = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \quad [\text{m}]$$

και $\tan \varepsilon_n = -\frac{B_n}{A_n}$, ε_n η φάση .

Η τελευταία έκφραση της στιγμιαίας ανύψωσης της θάλασσας $\zeta(t)$ εκφράζει το γεγονός ότι ένας τυχαίος κυματισμός μπορεί να παρασταθεί από ένα άθροισμα θεωρητικά άπειρου, πρακτικά πεπερασμένου, αριθμού ημιτονικών κυματισμών με πλάτος ζ_{n0} και συχνότητα ω_n . Το μεσοδιάστημα συχνοτήτων $\delta\omega$ μεταξύ των κυματισμών είναι: $\delta\omega = \frac{2\pi}{T_H} = \omega_1$ [rad/sec]. Αν το $\delta\omega$ γίνει πολύ μικρό, τότε το T_H γίνεται πολύ μεγάλο.

Το αποτέλεσμα της υπέρθεσης των ημιτονικών κυμάτων απεικονίζει με ακρίβεια την χρονική ιστορία του προκύπτοντος τυχαίου κυματισμού που καταγράφηκε στο χρονικό διάστημα T_H . Όμως, δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι «έξω» από αυτό το χρονικό διάστημα, το αποτέλεσμα της σύνθεσης των ημιτονικών κυματισμών θα απεικονίζε ικανοποιητικά τον τυχαίο κυματισμό. Μάλιστα, αυτό θα αποτελούσε και παράδοξο. Άρα συμπεραίνεται ότι, αν και ο τυχαίος κυματισμός που προέκυψε από την χρήση των σειρών Fourier επαναλαμβάνεται με περίοδο T_H , στην πραγματικότητα η χρονική ιστορία του κυματισμού δεν επαναλαμβάνεται ποτέ [4].



Υπέρθεση ημιτονικών κυματισμών (Faltinsen, 1990) .

Επειδή λοιπόν οι κυματισμοί που συναντώνται είναι ακανόνιστες κυματομορφές, και μάλιστα ακόμα κι αν εξετάζεται η ίδια περιοχή, στις ίδιες συνθήκες έντασης και διάρκειας πνοής ανέμου οι χρονικές ιστορίες των κυματισμών που θα καταγραφούν δεν θα είναι οι ίδιες, συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για στοχαστικές διαδικασίες, οι οποίες περιγράφονται με χρήση των τυχαιών μεταβλητών.

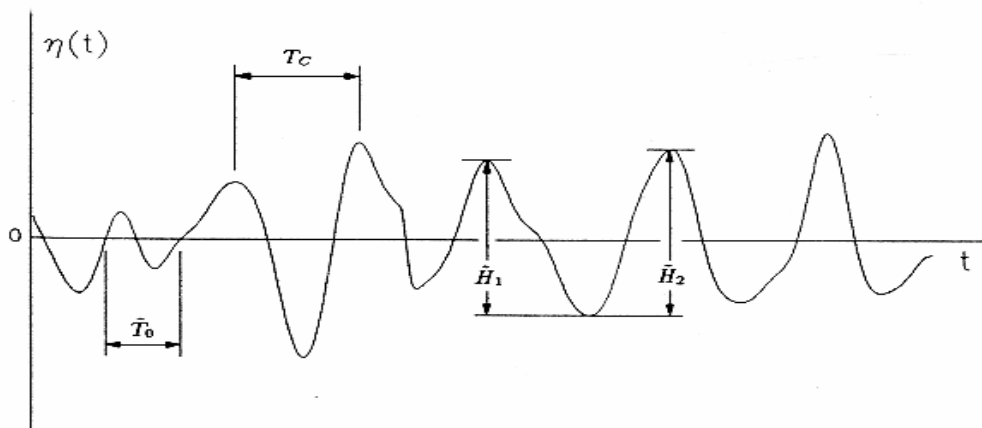
Φαινόμενα και στατιστικά μεγέθη στοχαστικών διαδικασιών.

Με τον όρο «φαινόμενα μεγέθη» ορίζονται εκείνα (τα μεγέθη), που μπορούν να μετρηθούν απ'ευθείας, χωρίς να απαιτείται κάποια επεξεργασία ή διαδικασία. Στην περίπτωση, κατά την οποία καταγράφεται η ανύψωση της θαλάσσιας επιφάνειας, τα φαινόμενα μεγέθη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: σ'εκείνα του χρόνου και σ'εκείνα του χώρου. Κι αυτό γιατί η ανύψωση της θαλάσσιας επιφάνειας είναι συνάρτηση τόσο του χρόνου t , όσο και της οριζόντιας θέσης \vec{x} του σημείου μέτρησης. Αν λοιπόν θεωρηθεί ότι $n(\vec{x}, t)$ είναι η συνάρτηση ανύψωσης της θαλάσσιας επιφάνειας και τεθεί $\vec{x} = \text{σταθερό}$, τότε ορίζονται τα φαινόμενα μεγέθη χρόνου:

\bar{H} : φαινόμενο ύψος κύματος. (Η απόλυτη κατακόρυφη απόσταση μεταξύ κορυφής και της επόμενης κοιλάδας ή αντίστροφα, της συνάρτησης $n(t)$).

\bar{T}_0 : φαινόμενη περίοδος μηδενικής υπέρβασης. (Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών υπερβάσεων του επιπέδου ηρεμίας από την συνάρτηση $n(t)$).

\bar{T}_c : φαινόμενη περίοδος κορυφών. (Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών της συνάρτησης $n(t)$).



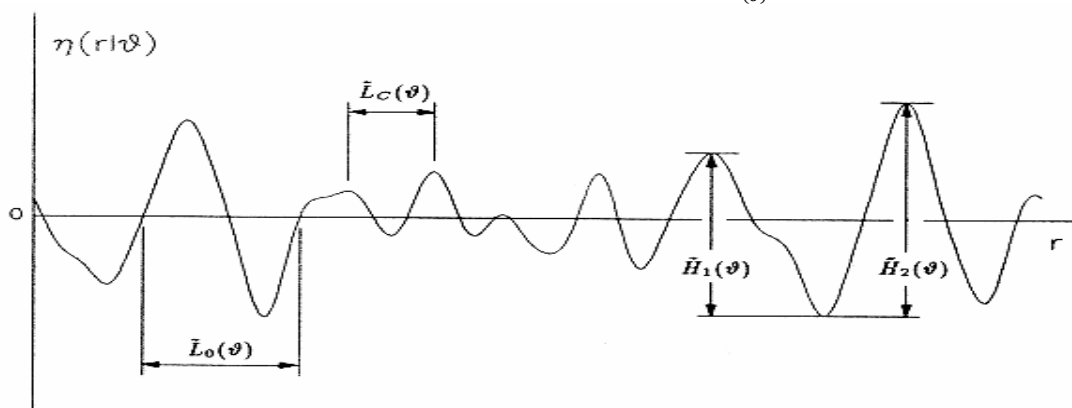
Φαινόμενα κυματικά μεγέθη χρόνου.

Αντίστοιχα, ορίζονται τα φαινόμενα μεγέθη χώρου, χρησιμοποιώντας σύστημα πολικών συντεταγμένων (r, θ) επί του πεδίου ηρεμίας της θαλάσσιας επιφάνειας, θέτοντας $\theta = \text{σταθερό}$:

$\bar{H}(\theta)$: φαινόμενο ύψος κύματος κατά τη διεύθυνση θ .

$\bar{L}(\theta)$: φαινόμενο μήκος κύματος κατά τη διεύθυνση θ .

$\bar{\beta}(\theta)$: φαινόμενη κλίση κύματος κατά τη διεύθυνση θ ($\bar{\beta}(\theta) = \frac{\bar{H}(\theta)}{\bar{L}(\theta)}$).



Φαινόμενα κυματικά μεγέθη χώρου.

Οι τιμές των φαινόμενων μεγεθών μεταβάλλονται κατά την καταγραφή. Έτσι, θεωρούνται ως τυχαιές μεταβλητές και περιγράφονται στατιστικά με την βοήθεια συναρτήσεων κατανομής πυκνότητας πιθανότητας. Με τον τρόπο αυτό ορίζονται τα «στατιστικά μεγέθη», τα οποία είναι

στατιστικές συναρτήσεις των αντίστοιχων φαινόμενων μεγεθών και οι οποίες διαχωρίζονται κι αυτά σε στατιστικά μεγέθη χώρου και χρόνου:

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \widetilde{H}_j: \text{ μέσο ύψος κύματος.}$$

$$H_{RMS} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \widetilde{H}_j^2: \text{ τυπική απόκλιση.}$$

$$H_{1/3} = \frac{1}{(N/3)} \sum_{j=1}^{N/3} \widetilde{H}_j: \text{ σημαντικό ύψος κύματος (η μέση τιμή του 1/3 των υψηλότερων τιμών του φαινομένου ύψους κατά την διάρκεια μιας καταγραφής).}$$

$$\bar{T}_0, \bar{T}_c: \text{ μέση περίοδος κύματος μηδενικής υπέρβασης και κορυφών αντίστοιχα.}$$

$$\bar{L}_0(\theta), \bar{L}_c(\theta): \text{ μέσο μήκος κύματος.}$$

Αν οι παραπάνω τιμές υψών κύματος ληφθούν ως μέσες τιμές χώρου, δηλαδή κατά μήκος μιας τομής $n(r|\theta)$, τότε τα στατιστικά μεγέθη που προκύπτουν εξαρτώνται και από την θεωρούμενη κατεύθυνση θ , δηλαδή $\bar{H} = \bar{H}(\theta)$, $H_{RMS} = H_{RMS}(\theta)$, $H_{1/3} = H_{1/3}(\theta)$. Αν η συνάρτηση $H_{1/3}(\theta)$ παρουσιάζει έντονο ολικό μέγιστο για μια γωνία έστω $\theta = \theta_0$, τότε η κατεύθυνση θ_0 ονομάζεται κύρια κατεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Η στοχαστική διαδικασία της ανύψωσης της θαλάσσιας επιφάνειας n ως συνάρτηση του χρόνου t , $n(t)$, ακολουθεί μια στάσιμη και κανονική κατανομή (Gaussian) με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.)

$$p_n(x) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_f^2}}$$

όπου σ_f : τυπική απόκλιση [8]

Η επιβεβαίωση του γεγονότος ότι η ανύψωση της θάλασσας ακολουθεί στάσιμη και κανονική κατανομή έχει ελεγχθεί διεξοδικά. Από τον έλεγχο συμπεραίνεται ότι για κύματα με $H_s < 8m$ η θεώρηση ισχύει, αν και για $4m < H_s < 8m$ υπάρχουν αποκλίσεις από την κανονική κατανομή που αυξάνουν ελαφρά με την αύξηση της κατάστασης θαλάσσης. Παρόλ'αυτά, στην περίπτωση όπου η θαλάσσια περιοχή έχει μεγάλο βάθος («βαθύ νερό»), μπορεί να θεωρηθεί ως στάσιμη και κανονική κατανομή, ανεξάρτητα με την επικρατούσα κατάσταση θαλάσσης [9].

Οι αντίστοιχες διαδικασίες που αφορούν τα πλάτη και τα ύψη των κυματισμών, $A(t)$ και $H(t)$, ακολουθούν την κατανομή Rayleigh με σ.π.π.

$$p_h(x) = \frac{x}{a} e^{\left(\frac{-x^2}{2a}\right)}$$

όπου $2a$ η μέση τιμή του x^2 [5].

Με την παραπάνω στοχαστική μοντελοποίηση είναι εφικτή η περιγραφή της πιθανοθεωρητικής (probabilistic) δομής του κυματικού πεδίου, με τη χρήση του κατευθυντικού φάσματος $S(\omega, \theta)$ όπου:

ω η κυκλική συχνότητα του κύματος και
 θ η κατεύθυνση του κύματος.

Τα στοχαστικά μεγέθη, που ονομάζονται φασματικά, εκφράζονται με τη βοήθεια του κατευθυντικού φάσματος $S(\omega, \theta)$. Τα φασματικά μεγέθη που αντιστοιχούν στα παραπάνω στατιστικά μεγέθη χρόνου, εκφράζονται με τη βοήθεια του σημειακού φάσματος συχνότητας $S(\omega)$, όπου $S(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \theta) d\theta$, με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\text{Μέσο ύψος κύματος: } E[H] = 2.5\sqrt{m_0} \cong \bar{H}.$$

$$\text{Σημαντικό ύψος κύματος: } H_s = 4\sqrt{m_0} \cong H_{1/3}.$$

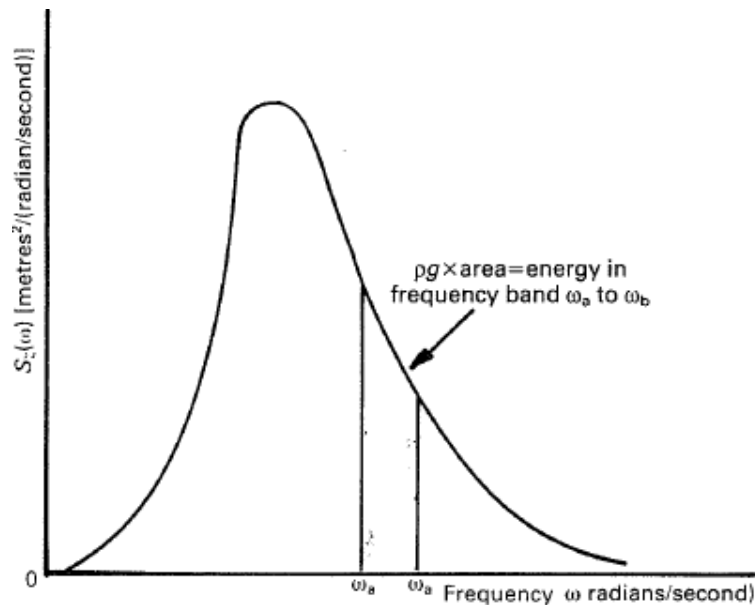
$$\text{Μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης: } E[T_0] = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} = T_{0.2}.$$

$$\text{Μέση περίοδος κορυφών: } E [T_c] = 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{m_4}} = T_{24}.$$

όπου $E[\]$ ο τελεστής μέσης ολότητας και m_0, m_2 οι φασματικές ροπές, οι οποίες στη γενική τους έκφραση ορίζονται ως εξής:

$$m_n = \int_0^\infty \omega^n S(\omega) d\omega.$$

Από αυτή τη σχέση συμπεραίνεται ότι για $n=0$ η φασματική ροπή γίνεται: $m_0 = \int_0^\infty S(\omega) d\omega$ και αντιστοιχεί στο εμβαδόν που περικλείεται κάτω από την καμπύλη $S(\omega)$. Η σχέση του σημειακού φάσματος συχνότητας $S(\omega)$ εκφράζει το πώς κατανέμεται η κυματική ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο στις διάφορες κυκλικές συχνότητες ω του κυματισμού.



Σημιακό φάσμα $S(\omega)$

Παρόμοιες σχέσεις ισχύουν και για τα στοχαστικά μεγέθη χώρου: $S(\theta) = \int_0^\infty S(\omega, \theta) d\omega$. Η σχέση αυτή εκφράζει την κατανομή της κυματικής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο στις διάφορες κατευθύνσεις θ . Αν η συνάρτηση $S(\theta)$ εμφανίζει έντονο ολικό μέγιστο για $\theta = \theta_0$, τότε η κατεύθυνση θ_0 ονομάζεται κύρια κατεύθυνση διάδοσης των κυματισμών. Αν υπάρχουν περισσότερα τοπικά μέγιστα, τότε θα έχουμε τόσες κύριες κατευθύνσεις, όσα και τα μέγιστα [8].

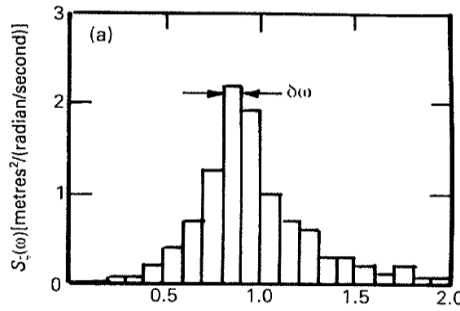
5.ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (WAVE ENERGY SPECTRUM).

Η σημασία της κάθε ημιτονοειδούς συνιστώσας του κύματος εκφράζεται με το φάσμα της κυματικής ενέργειας (wave energy spectrum). Η ενέργεια του n -οστού ημιτονικού κύματος-συνιστώσας, ανά m^2 θαλάσσιας επιφάνειας ισούται με $\frac{1}{2} \rho g \zeta^2_{n0}$. Το φάσμα της κυματικής ενέργειας ορίζεται κατά τρόπο ώστε η περιοχή που περικλείεται από ένα εύρος συχνότητων, έστω ω_α έως ω_β , να είναι ανάλογη της ολικής ενέργειας (ανά m^2 θαλάσσιας επιφάνειας) των κυμάτων-συνιστωσών που έχουν συχνότητες μεταξύ $[\omega_\alpha, \omega_\beta]$. Άρα, όπως προειπώθηκε, η περιοχή που περικλείεται κάτω από την καμπύλη του φάσματος είναι ανάλογη της ολικής ενέργειας (ανά m^2 θαλάσσιας επιφάνειας) όλου του συστήματος του τυχαίου κυματισμού. Αν υποθεθεί ότι $\omega_\alpha = \omega_n - \frac{\delta\omega}{2}$ και $\omega_\beta = \omega_n + \frac{\delta\omega}{2}$ τότε στην περιοχή συχνότητων $[\omega_\alpha, \omega_\beta]$ θα υπάρχει μόνο ένας ημιτονικός κυματισμός, σύμφωνα με την ανάλυση κατά Fourier του τυχαίου κυματισμού. Σ'αυτή την περίπτωση, η τεταγμένη που θα αντιστοιχεί στην συχνότητα ω_n , δίδεται από την σχέση:

$$\rho g S_z(\omega) \delta\omega = \frac{1}{2} \rho g \zeta^2_{n0} \Rightarrow S_z(\omega) = \frac{\zeta^2_{n0}}{2\delta\omega} \text{ [m}^2/\text{rad/sec]}.$$

Η γραφική παράσταση αυτού του φάσματος εμφανίζει ασυνέχεια και απαρτίζεται από ορθογώνια βάση $\delta\omega$.

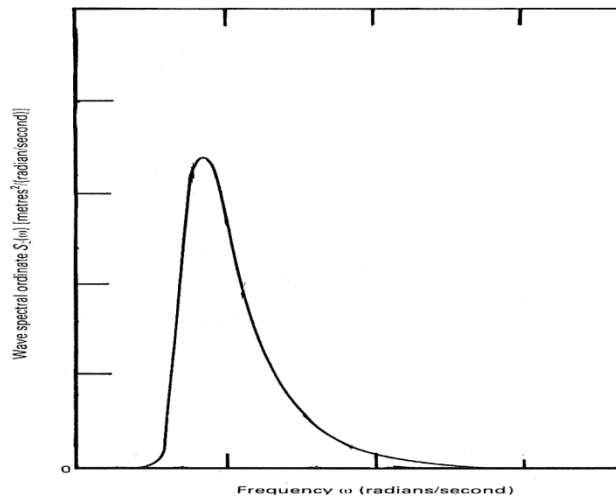
Spectral moments



Τυπικό φάσμα που προκύπτει από την ανάλυση Fourier ενός τυχαίου κυματισμού.

Όταν όμως $\delta\omega \rightarrow 0$, τότε η $S_z(\omega)$ γίνεται μια συνεχής καμπύλη, οπότε η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$S_z(\omega)d\omega = \frac{1}{2} \zeta^2_{n0} \Rightarrow \zeta^2_{n0} = \int_0^\infty S_z(\omega) d\omega. \quad [4]$$



6.ΤΟ ΔΙΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟ ΦΑΣΜΑ BRETSCHNEIDER (BRETSCHNEIDER SPECTRUM, ITTC SPECTRUM).

Το φάσμα Bretschneider (1959), μοντελοποιεί θαλάσσιους κυματισμούς στην ανοικτή

θάλασσα και δίδεται από τη σχέση: $S_z(\omega) = \frac{5}{16} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-5} \frac{(H_{1/3})^2}{\omega_p} \exp\left\{-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right\}$ όπου:

$H_{1/3}$ το σημαντικό ύψος κύματος

ω_p η κυκλική συχνότητα κορυφής ($\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$)

Οι δύο παράμετροι του φάσματος είναι το σημαντικό ύψος κύματος και η κυκλική συχνότητα κορυφής. Ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$m_0 = 0.0625 H_{1/3}^2 \Rightarrow H_{1/3} = 4\sqrt{m_0} = 4RMS \quad [m]$$

$$m_{02} = 2.916 \frac{H_{1/3}^4}{T^2} \quad [m^2/sec^4] \quad \mu\epsilon \quad \bar{T} = \frac{2\pi m_0}{m_1}$$

$$T_{02} = 2\pi \sqrt{\left(\frac{m_0}{m_2}\right)} = 0.92\bar{T} \text{ [sec]} \text{ (μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης)}$$

$$T_{24} = 0 \text{ (μέση περίοδος κορυφής)}$$

$$T_p = \frac{2\pi}{\omega_p} = 1.296\bar{T} = 1.41T_{02} \text{ [sec]} \text{ (περίοδος κορυφής φάσματος, modal period)}$$

Η μέγιστη τιμή φάσματος είναι: $S_z(\omega)_p = 0.01846H_{1/3}^2 \bar{T} = 0.01425H_{1/3}^2 T_p \text{ [m}^2/\text{rad/sec]}$

Με το διπαραμετρικό φάσμα Bretschneider, περιγράφονται θαλάσσιες περιοχές με αναπτυσσόμενους ή αποσβενύμενους κυματισμούς (developing seas, decaying seas). Αυτό σημαίνει ότι ο ρυθμός με τον οποίο προσδίδεται ενέργεια στο νερό από ένα πνέοντα (με θεωρητικά σταθερή ταχύτητα) άνεμο είναι διαφορετικός από το ρυθμό με τον οποίο η ενέργεια αυτή υποβιβάζεται, λόγω συνεκτικότητας του νερού και λόγω θραύσης των κυμάτων. Στην περίπτωση που οι ρυθμοί εξισωθούν, τότε μιλάμε για πλήρως ανεπτυγμένη θάλασσα (fully developed sea) και μελετάται με χρήση άλλου φάσματος [4].

7.ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ.

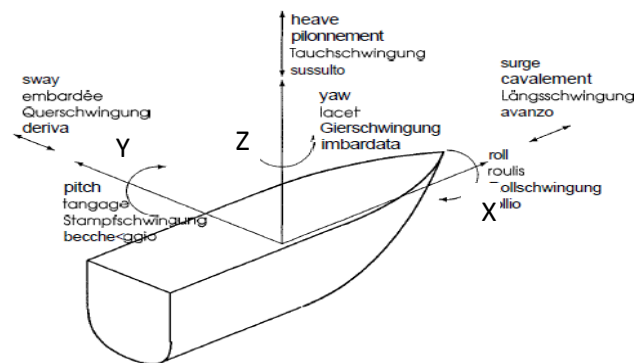
Το πλοίο κινούμενο στο νερό ως ελεύθερο σώμα, παρουσιάζει έξι βαθμούς ελευθερίας, δηλαδή έξι κινήσεις. Αν θεωρηθεί ένα τρισσορθογώνιο σύστημα αξόνων με αρχή το κέντρο βάρους του πλοίου, τότε οι κινήσεις αυτές χωρίζονται σε τρεις μεταφορικές και 3 περιστροφικές περί το κέντρο βάρους. Οι μεταφορικές κινήσεις είναι οι εξής:

surge (ξ1)
sway (ξ2)
heave (ξ3)

ενώ οι περιστροφικές είναι:

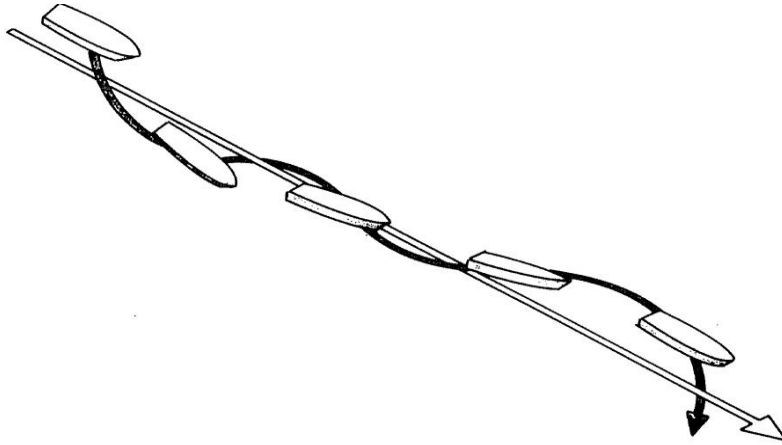
roll (ξ4)
pitch (ξ5)
yaw (ξ6)

Επιπρόσθετα, οι παραπάνω κινήσεις διακρίνονται σε κατακόρυφες και σε οριζόντιες. Κατακόρυφες (longitudinal ή vertical plane) είναι οι κινήσεις surge, heave και pitch ενώ οριζόντιες (lateral) νοούνται οι κινήσεις sway, roll, yaw.



Κινήσεις του πλοίου [10].

Η σύνθεση αυτών των έξι κινήσεων δίνει τελικά την συνισταμένη κίνηση του πλοίου μέσα στο νερό.



Κίνηση του πλοίου στο νερό [4].

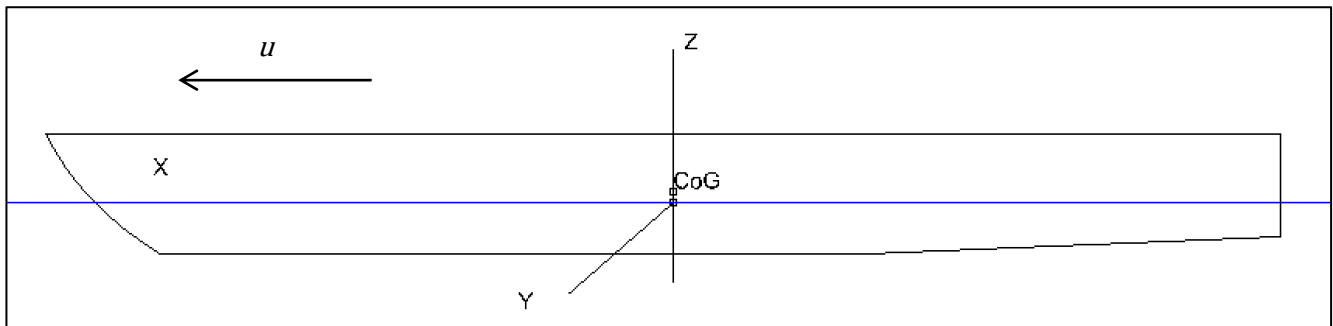
Το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιείται για των υπολογισμό των κινήσεων είναι αυτό της θεωρίας λωρίδων των Salvesen, Tuck και Faltinsen [11].

Η θεωρία λωρίδων αναπαριστά την τρισδιάστατη βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας ως σειρά διδιάστατων εγκαρσίων τομών ή λωρίδων μικρού μήκους δx_{Bi} . Τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά της γάστρας υπολογίζονται με υπέρθεση των αντίστοιχων διδιάστατων χαρακτηριστικών της κάθε λωρίδας. Έτσι αμελούνται φαινόμενα τρισδιάστατης αλληλεπίδρασης των λωρίδων, ροή κυκλοφορίας στην πλώρα και την πρύμνη του πλοίου και επιδράσεις μεταβολής της μορφής της λωρίδας κατά το μήκος της δx_{Bi} . Η θεωρία λωρίδων βασίζεται στις παρακάτω προϋποθέσεις :

1. Το σκάφος είναι λεπτόγραμμο (slender) με μεγάλη ακαμψία (rigid body)
2. Η ταχύτητα είναι σχετικά μικρή και δεν υπάρχει σημαντική άνωση ολίσθησης
3. Οι κινήσεις του πλοίου είναι μικρές
4. Οι τομές του πλοίου καταλήγουν σε κατακόρυφες πλευρές
5. Οι κυματισμοί θεωρούνται ότι διαδίδονται σε βαθύ νερό
6. Η παρουσία της γάστρας δεν επηρεάζει τους κυματισμούς (υπόθεση Froude-Krylof) [8].

Για ένα τυχαία κινούμενο στο νερό πλοίο, προκύπτει ένα σύστημα 6 μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων με 6 αγνώστους. Όμως για ένα λεπτόγραμμο σκάφος είναι δυνατή η θεώρηση ότι οι κινήσεις είναι μικρές και άρα οι εξισώσεις κίνησης είναι γραμμικές. Επιπρόσθετα, η συμμετρία (port-starboard symmetry) που εμφανίζουν τα πλοία επιτρέπει την δημιουργία δύο ομάδων γραμμικών διαφορικών εξισώσεων κίνησης, οι οποίες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό είναι εφικτή η αποσύζευξη των κατακόρυφων από τις οριζόντιες κινήσεις του πλοίου και η ξεχωριστή ανάλυσή τους [12.]

Η υπόθεση που γίνεται είναι ότι το πλοίο κινείται με μια σταθερή ταχύτητα και μια τυχαία διεύθυνση σε ημιτονικούς κυματισμούς. Ορίζοντας ένα σωματοπαγές τρισσορθογώνιο σύστημα αξόνων με την αρχή του να κείται στην αδιατάρακτη επιφάνεια του νερού (άξονας x θετικός προς τη διεύθυνση της κίνησης, άξονας y θετικός προς τα αριστερά, άξονας z θετικός προς τα πάνω διερχόμενος από το κέντρο βάρους G)



και θεωρώντας τις αποκρίσεις γραμμικές κι αρμονικές, οι κινήσεις του πλοίου θα δίδονται από την γενική εξίσωση:

$$\xi_j = a_j \cos(\omega_E t + \varepsilon_j), \quad j=1, \dots, 6 \quad \text{όπου:}$$

a_j το πλάτος της κίνησης κατά τον j -βαθμό ελευθερίας

ω_E η κυκλική συχνότητα συνάντησης (encounter circular frequency, $\omega_E = \omega - \frac{\omega^2}{g} u \cos \theta$)

ε_j η φασική γωνία.

Με βάση την υπόθεση της γραμμικότητας των αποκρίσεων, οι διαφορικές εξισώσεις κίνησης στην γενική μορφή γράφονται:

$$\sum_{k=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\xi}_k + B_{jk}\dot{\xi}_k + C_{jk}\xi_k] = F_j e^{i\omega_E t}$$

$j=1, \dots, 6$ όπου:

M_{jk} το μητρώο μαζών του πλοίου

A_{jk} το μητρώο των συντελεστών πρόσθετης μάζας

B_{jk} το μητρώο των συντελεστών απόσβεσης

C_{jk} το μητρώο των υδροστατικών δυνάμεων επαναφοράς

F_j οι διεγέρσεις (δυνάμεις και ροπές) που προκαλούν τις αντίστοιχες j κινήσεις ή στροφές

$\ddot{\xi}_k$ οι επιταχύνσεις

$\dot{\xi}_k$ οι ταχύτητες

ξ_k οι κινήσεις ή στροφές [11].

Οι εξισώσεις κίνησης στην γενική μορφή τους μοιάζουν με τις εξισώσεις κίνησης του συστήματος μάζα-ελατήριο-αποσβεστήρας (spring-mass-damper system). Οι όροι $M_{jk} + A_{jk}$ αντιστοιχούν στην μάζα, οι όροι B_{jk} αντιστοιχούν στον αποσβεστήρα κι η σταθερά του ελατηρίου είναι το μητρώο των όρων C_{jk} . Οι όροι που συνδέουν την μια κίνηση με την άλλη, δηλαδή οι όροι σύζευξης των κινήσεων, είναι αυτοί για τους οποίους $j \neq k$.

Παραδείγματος χάρι, ο όρος B_{23} είναι ο συντελεστής απόσβεσης στην κίνηση ξ_2 (sway) λόγω της κίνησης ξ_3 (heave). Οι όροι σύζευξης μπορούν να έχουν μικρή ή μεγάλη τιμή, ανάλογα με τους βαθμούς ελευθερίας που συνδέουν και την γεωμετρία του πλοίου.

Χάρι στην εγκάρσια (lateral) συμμετρία και με την υπόθεση ότι το κέντρο βάρους βρίσκεται στην θέση $(0,0,\overline{ZG})$, το μητρώο μαζών γίνεται:

$$M_{jk} = \begin{pmatrix} M & 0 & 0 & 0 & M\overline{ZG} & 0 \\ 0 & M & 0 & -M\overline{ZG} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -M\overline{ZG} & 0 & I_4 & 0 & -I_{46} \\ M\overline{ZG} & 0 & 0 & 0 & I_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -I_{46} & 0 & I_6 \end{pmatrix}$$

όπου

M η μάζα του πλοίου

\overline{ZG} η θέση του κέντρου βάρους ως προς το επίπεδο ισάλου

I_j η ροπή αδράνειας (οι συντελεστές 4, 5, 6 σημαίνουν ροπή αδράνειας ως προς x , y , z άξονες αντίστοιχα)

I_{jk} το γινόμενο αδράνειας

I_{46} το γινόμενο αδράνειας roll-yaw, το οποίο είναι 0 αν το πλοίο έχει συμμετρία κατά το διάμηκες (fore-aft symmetry) και πολύ μικρό σε κάθε άλλη περίπτωση.

Επιπλέον, λόγω εγκάρσιας συμμετρίας το μητρώο των συντελεστών πρόσθετης μάζας και κατ'αντιστοιχία το μητρώο των συντελεστών απόσβεσης γίνεται:

$$A_{jk} (\text{ή } B_{jk}) = \begin{pmatrix} A_{11} & 0 & A_{13} & 0 & A_{15} & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 & A_{24} & 0 & A_{26} \\ A_{31} & 0 & A_{33} & 0 & A_{35} & 0 \\ 0 & A_{42} & 0 & A_{44} & 0 & A_{46} \\ A_{51} & 0 & A_{53} & 0 & A_{55} & 0 \\ 0 & A_{62} & 0 & A_{64} & 0 & A_{66} \end{pmatrix}$$

Επίσης, για ένα πλοίο στην επιφάνεια οι μόνοι μη μηδενικοί όροι στο μητρώο των υδροστατικών δυνάμεων επαναφοράς είναι οι ακόλουθοι:

C_{33} , C_{44} , C_{55} και επιπλέον $C_{35}=C_{53}$.

Αν αντικατασταθούν τα μητρώα στην γενική μορφή της εξίσωσης, τότε οι έξι συζευγμένες κινήσεις αποσυνδέονται και μετατρέπονται σε δύο ομάδες εξισώσεων. Η πρώτη ομάδα αφορά τις κατακόρυφες κινήσεις (surge ξ_1 , heave ξ_3 , pitch ξ_5):

$$\begin{aligned} & (A_{11} + M)\ddot{\xi}_1 + B_{11}\dot{\xi}_1 + A_{13}\ddot{\xi}_3 + B_{13}\dot{\xi}_3 \\ & \quad + (A_{15} + \overline{MZG})\ddot{\xi}_5 + B_{15}\dot{\xi}_5 = F_1 e^{i\omega_E t} \\ \\ & A_{31}\ddot{\xi}_1 + B_{31}\dot{\xi}_1 + (A_{33} + M)\ddot{\xi}_3 + B_{33}\dot{\xi}_3 \\ & \quad + C_{33}\xi_3 + A_{35}\ddot{\xi}_5 + B_{35}\dot{\xi}_5 + C_{35}\xi_5 = F_3 e^{i\omega_E t} \\ \\ & (A_{51} + \overline{MZG})\ddot{\xi}_1 + B_{51}\dot{\xi}_1 + A_{53}\ddot{\xi}_3 + B_{53}\dot{\xi}_3 + C_{53}\xi_3 \\ & \quad + (A_{55} + I_5)\ddot{\xi}_5 + B_{55}\dot{\xi}_5 + C_{55}\xi_5 = F_5 e^{i\omega_E t} \end{aligned}$$

Η άλλη ομάδα εξισώσεων αφορά τις οριζόντιες κινήσεις (sway ξ_2 , roll ξ_4 , yaw ξ_6):

$$\begin{aligned} & (A_{22} + M)\ddot{\xi}_2 + B_{22}\dot{\xi}_2 + (A_{24} - \overline{MZG})\ddot{\xi}_4 \\ & \quad + B_{24}\dot{\xi}_4 + A_{26}\ddot{\xi}_6 + B_{26}\dot{\xi}_6 = F_2 e^{i\omega_E t} \\ \\ & (A_{42} - \overline{MZG})\ddot{\xi}_2 + B_{42}\dot{\xi}_2 + (A_{44} + I_4)\ddot{\xi}_4 + B_{44}\dot{\xi}_4 \\ & \quad + C_{44}\xi_4 + (A_{46} - I_{46})\ddot{\xi}_6 + B_{46}\dot{\xi}_6 = F_4 e^{i\omega_E t} \\ \\ & A_{62}\ddot{\xi}_2 + B_{62}\dot{\xi}_2 + (A_{64} - I_{46})\ddot{\xi}_4 + B_{64}\dot{\xi}_4 \\ & \quad + (A_{66} + I_6)\ddot{\xi}_6 + B_{66}\dot{\xi}_6 = F_6 e^{i\omega_E t} \end{aligned}$$

Επομένως, για πλοίο με εγκάρσια συμμετρία οι κινήσεις surge, heave και pitch, δεν συζεύγνυνται με τις κινήσεις sway, roll και yaw. Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή (Standard Ship Motion Programme, S.M.P.) θεωρεί τους συντελεστές A_{13} , B_{13} , A_{15} , B_{15} , A_{31} , B_{31} , A_{51} και B_{51} ως μηδενικούς. Άρα η μοναδική σύζευξη μεταξύ του surge και του pitch είναι ο όρος \overline{MZG} . Επιπλέον, δεν υπάρχει επίδραση του surge στις εξισώσεις του heave [11].

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς των Baitis et al (1981) με χρήση του παραπάνω κώδικα διαπιστώθηκε ικανοποιητική συμφωνία με πειραματικά δεδομένα, τα οποία κατέδειξαν ότι η απόκριση του surge είναι, γενικά, μικρή εκτός κι αν πρόκειται για ακολουθούντες κυματισμούς. Επιπλέον, οι Salvesen et al (1970) συμπεριέλαβαν το surge στην ανάλυσή τους, με τις υδροδυναμικές δυνάμεις που σχετίζονται με το surge να είναι πρώτου βαθμού (όχι ανώτερης τάξης). Επιπρόσθετα, λόγω των πειραματικών δεδομένων που δεικνύουν ασθενή σύζευξη του surge με τις υπόλοιπες κινήσεις, υπάρχει η τάση να αμελείται και να μην υπολογίζεται. Βέβαια, αυτό δεν ισχύει σε περιπτώσεις, στις οποίες εμφανίζονται έντονες μη γραμμικές συμπεριφορές, όπως λ.χ. στο φαινόμενο broaching [12].

8.ΑΤΛΑΝΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΩΝ (WIND AND WAVE ATLAS).

Οι άτλαντες προσφέρουν αξιόπιστα στατιστικά στοιχεία ανεμολογικών και κυματικών συνθηκών, τα οποία συγκεντρώθηκαν κατά την διάρκεια ικανού χρονικού διαστήματος. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία που περιλαμβάνει ο άτλαντας έκδοσης 2004 που δημιουργήθηκε από τον οργανισμό Western European Armaments Organisation Research Cell ,στον

οποίο συμμετείχε και το Ε.Μ.Π. Σ'αυτόν παρέχονται στατιστικά στοιχεία για ανέμους και κυματισμούς της θαλάσσιας λεκάνης της Μεσογείου συγκεντρωμένα επί μια δεκαετία [13].

Τα παρεχόμενα στοιχεία χρησιμεύουν:

α. Στην επιχειρησιακή σχεδίαση και βελτιστοποίηση των υπαρχόντων πλοίων ή στόλων. Καθορίζοντας όρια αποδεκτών περιβαλλοντικών συνθηκών για τα υφιστάμενα πλοία ή στόλους και εκτιμώντας την πιθανότητα ή μη υπέρβασής τους, είναι εφικτός ο υπολογισμός των δεικτών λειτουργησιμότητας (operability indices), η βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης των πλοίων και η αναθεώρηση της γεωγραφικής κατανομής ενός στόλου.

β. Στην σύγκριση διαφορετικών σχεδιάσεων πλοίων με χρήση των δεικτών λειτουργησιμότητας.

γ. Στην επιχειρησιακή σχεδίαση της ναυτικής δραστηριότητας. Είναι δυνατός ο προσδιορισμός του καταλληλότερου διαστήματος (seasonal window) για την εκτέλεση ναυτικών ασκήσεων ή θαλάσσιων/ υποθαλάσσιων εργασιών και ερευνών.

δ. Στην εκτίμηση του ενεργειακού περιεχομένου μιας θαλάσσιας περιοχής.

Πηγές πληροφοριών (Data sources).

Οι πληροφορίες που παρέχονται από τους άτλαντες προέρχονται , γενικά από τέσσερις πηγές:

α.Από οπτικές παρατηρήσεις του προσωπικού των διερχομένων πλοίων.

β.Από πλωτήρες και πλατφόρμες.

γ.Από όργανα εγκατεστημένα σε δορυφόρους.

δ.Από μετεωρολογικά και κυματικά μοντέλα που αξιοποιούνται σε μετεωρολογικούς και ωκεανογραφικούς σταθμούς και κέντρα.

Οι πληροφορίες που παρέχει η κάθε πηγή δεν είναι της ίδιας ακρίβειας, ποιότητας, γεωγραφικής κατανομής και πλήθους.

Ο άτλαντας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή δεν περιλαμβάνει οπτικές παρατηρήσεις, καθόσον οι υπόλοιπες πηγές παρείχαν μεγάλο πλήθος δεδομένων, το οποίο κάλυπτε πλήρως και με ικανοποιητική ακρίβεια τον χώρο της Μεσογείου για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Πλωτήρες (Buoy data).

Παλιότερα παρείχαν στοιχεία μόνο για την κατακόρυφη κίνηση της θαλάσσιας επιφάνειας (Waverider, Netherlands). Εν συνεχεία, αναπτύχθηκαν πλωτήρες που παρέχουν πληροφορίες για την κατευθυντική κατανομή της ενέργειας και την κύρια διεύθυνση του κύματος (Waves).

Όργανα εγκατεστημένα σε δορυφόρους (Satellite data).

Παρέχουν στοιχεία για το σημαντικό ύψος κύματος (satellite radar altimeters), την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 m από την επιφάνεια της θάλασσας (scatterometers).

Μετεωρολογικά και κυματικά μοντέλα.

Διάφορα κέντρα χρησιμοποιούν ένα πλήθος μοντέλων για πρόβλεψη και ανάλυση των θαλασσίων συνθηκών. Γενικά όμως, τα μοντέλα αυτά, και κυρίως τα κυματικά, δεν έχουν υψηλή ακρίβεια σε κλειστές θαλάσσιες περιοχές, όπως η Μεσόγειος θάλασσα. Γι'αυτό, όσα ιδρύματα ενδιαφέρονται για τέτοιου είδους περιοχές, χρησιμοποιούν ιδιαίτερες εκδόσεις των μοντέλων, προσαρμοσμένες στις περιοχές αυτές. Ο άτλαντας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή χρησιμοποίησε στοιχεία από το μοντέλο του European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF, Reading U.K.). Το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιεί δύο εκδόσεις, η μία εκ των οποίων αφορά την Μεσόγειο. Η ανάλυση προέρχεται από 4000 σημεία, 25 συχνότητες ($N_f=25$) με χαμηλότερη συχνότητα $n_f=0.04$ Hz και βήμα $f(n+1)=1.1f_n$.

Γενικές παρατηρήσεις για τις πηγές.

Τα στοιχεία των πλωτήρων, αν και πολύ ακριβή, δεν καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές.

Τα στοιχεία των δορυφόρων, είναι καλής ποιότητας με εξαίρεση τις πολύ υψηλές και τις πολύ χαμηλές τιμές των μετρούμενων μεγεθών, καθώς επίσης και τις περιοχές κοντά στις ακτές, ειδικά αν ο δορυφόρος κινείται προς τη θάλασσα.

Τα στοιχεία των μοντέλων έχουν χρονική και χωρική συνέχεια, εμφανίζουν όμως την τάση να υποεκτιμούν τις μετρούμενες τιμές σε σχέση με τις αληθείς. Επιπρόσθετα, υφίσταται αναξιοπιστία στις ακραίες τιμές, καθώς και κοντά στις ακτές σε απόσταση μέχρι 50-100 Km.

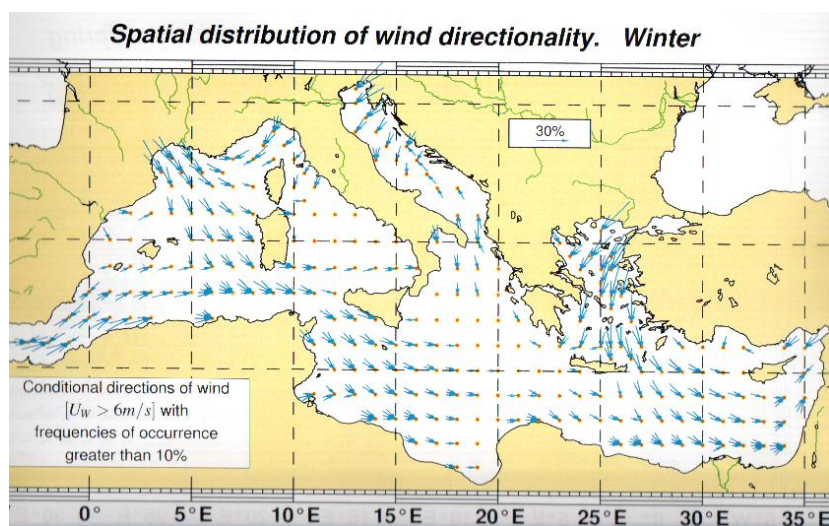
Επομένως, καμμία πηγή πληροφοριών δεν είναι από μόνη της ικανή να προσφέρει κατάλληλες πληροφορίες για τον άτλαντα. Γι'αυτό χρησιμοποιείται κατάλληλος συνδυασμός πληροφοριών από όλες τις πηγές. Οι πλωτήρες χρησιμοποιούνται για επιβεβαίωση των στοιχείων από τους δορυφόρους. Αυτά με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται για διόρθωση των αποτελεσμάτων

των μοντέλων. Τέλος, τα διορθωμένα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των στατιστικών στοιχείων σε όλα τα σημεία.

Στοιχεία του άτλαντα.

Ο άτλας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή παρέχει τις παρακάτω πληροφορίες:

- α. Κατανομή μέσης ταχύτητας ανέμου ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- β. Κατανομή διεύθυνσης ανέμου ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- γ. Κατανομή μέσης τιμής σημαντικού ύψους κύματος ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- δ. Κατανομή μέσης τιμής περιόδου κορυφής κύματος ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- ε. Κατανομή μέσης τιμής κλίσης κύματος ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- στ. Κατανομή διεύθυνσης κύματος ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- ζ. Κατανομή πιθανότητας ταχύτητας ανέμου $U_w < 4$ m/sec ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- η. Κατανομή πιθανότητας ταχύτητας ανέμου $U_w < 6$ m/sec ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- θ. Κατανομή πιθανότητας ταχύτητας ανέμου $U_w > 8$ m/sec ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- ι. Κατανομή πιθανότητας ταχύτητας ανέμου $U_w > 11$ m/sec ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- ια. Κατανομή πιθανότητας σημαντικού ύψους κύματος $H_s < 0.5$ m ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- ιβ. Κατανομή πιθανότητας σημαντικού ύψους κύματος $H_s < 1.25$ m ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- ιγ. Κατανομή πιθανότητας σημαντικού ύψους κύματος $H_s > 2.5$ m ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- ιδ. Κατανομή πιθανότητας σημαντικού ύψους κύματος $H_s > 4$ m ανά εποχή και κατ' έτος (διάγραμμα).
- ιε. Ιστόγραμμα ταχύτητας-διεύθυνσης ανέμου ανά εποχή και κατ' έτος.
- ιστ. Ιστόγραμμα σημαντικού ύψους κύματος-περιόδου κορυφής ανά εποχή και κατ' έτος.
- ιζ. Ιστόγραμμα σημαντικού ύψους κύματος-διεύθυνσης κύματος ανά εποχή και κατ' έτος.
- ιη. Ιστόγραμμα σημαντικού ύψους κύματος-ταχύτητας ανέμου ανά εποχή και κατ' έτος.



Κατανομή διεύθυνσης ανέμου κατά την διάρκεια του χειμώνα.

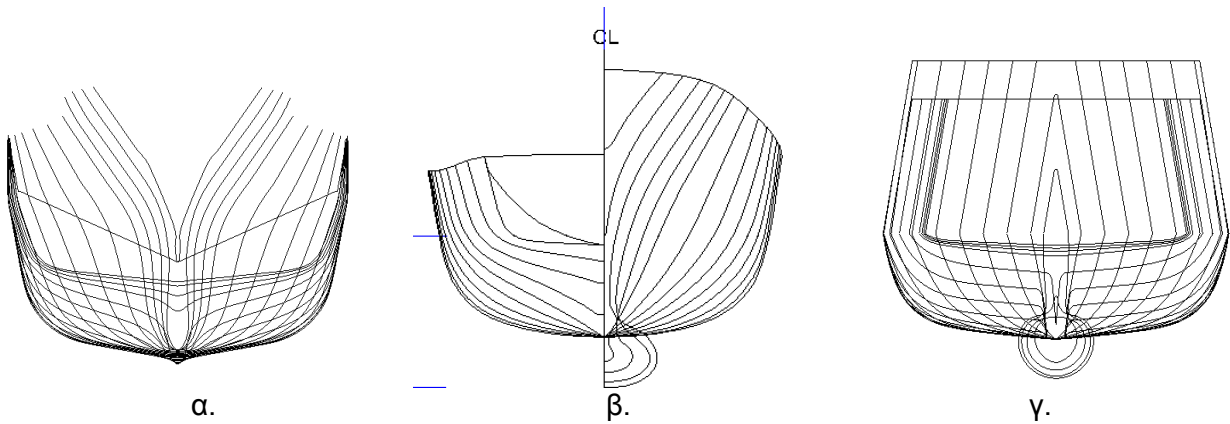
Οι πληροφορίες αφορούν την θαλάσσια περιοχή της Μεσογείου. Η απόσταση μεταξύ των σημείων που εκτελούνται μετρήσεις είναι περίπου 50 Km.

Οι θέσεις (AREAS) για τις οποίες αντλήθηκαν στοιχεία από τον άτλαντα και στις οποίες μελετήθηκαν τα πλοία και είναι οι παρακάτω:

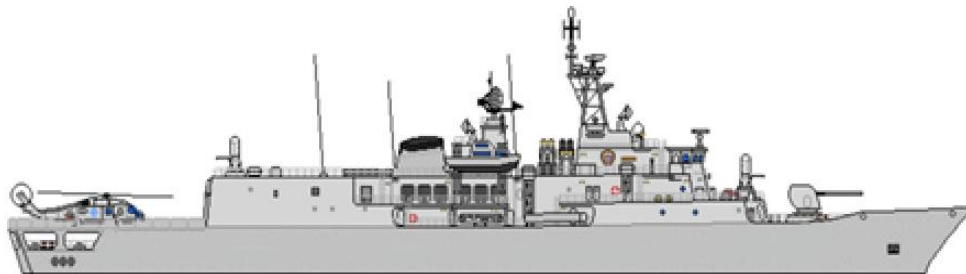
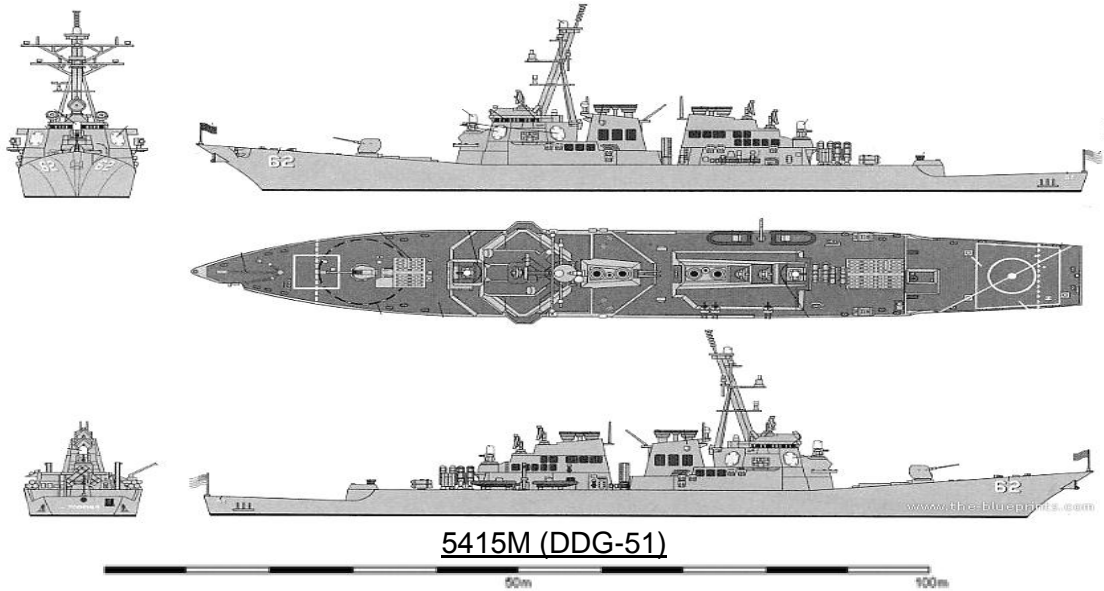
- α. AREA 1: 35 N, 22 E. (Δυτικά Κρήτης)
- β. AREA 2: 36 N, 21 E. (Νοτιοδυτικά Πελοποννήσου)
- γ. AREA 3: 36 N, 27 E. (Βόρεια νήσου Καρπάθου)
- δ. AREA 4: 38N, 25.5 E. (Κεντρικό Αιγαίο)

9.ΟΙ ΓΑΣΤΡΕΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.

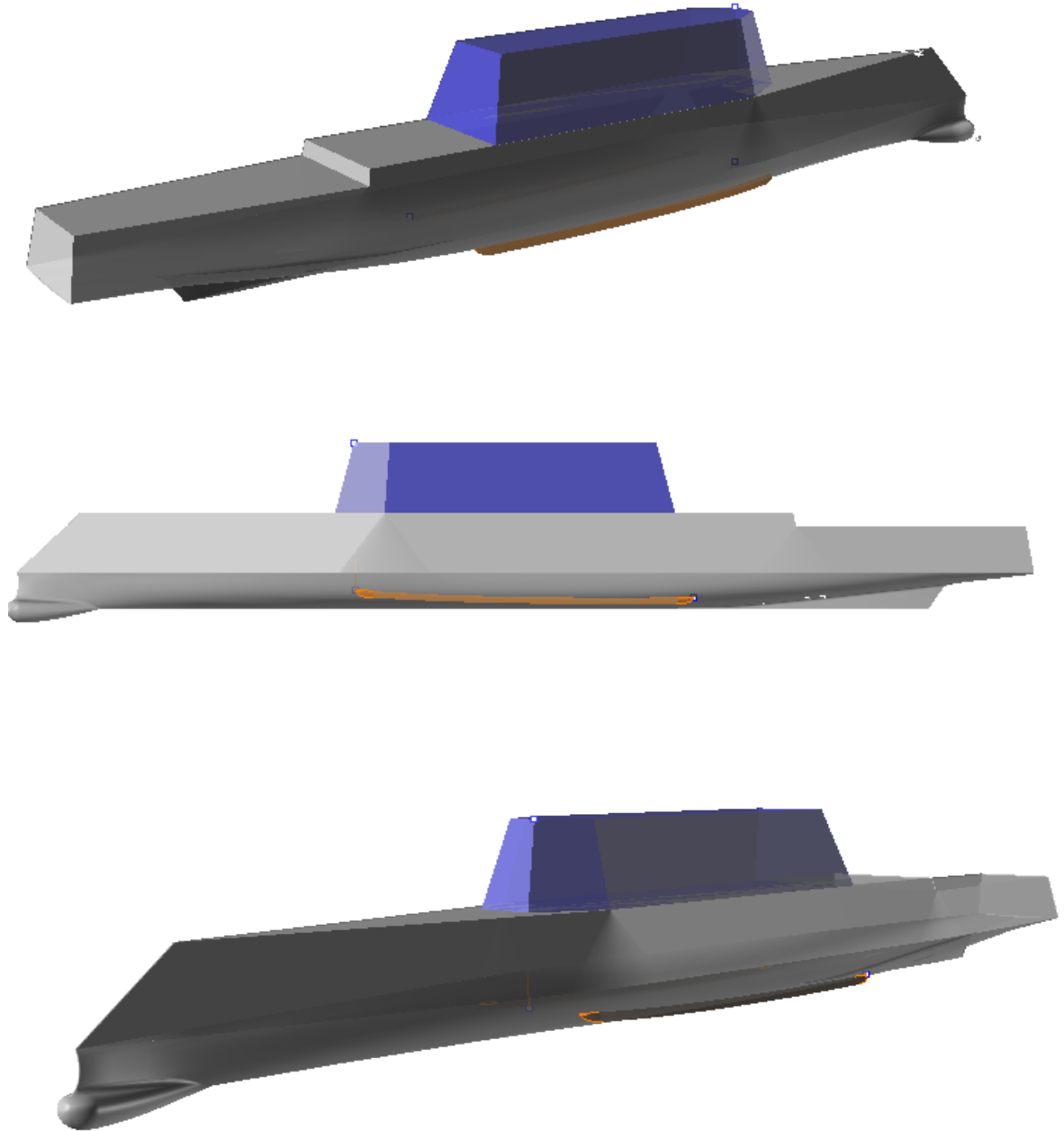
Τα πλοία που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή είναι η γάστρα γερμανικής φρεγάτας ΜΕΚΟ στο φυσικό της μέγεθος, η γάστρα 5415Μ (DDG-51) και η γάστρα ONR5613 TUMBLEHOME (ΤΗ), τροποποιημένες ώστε να αντιστοιχούν στο μέγεθος της ΜΕΚΟ, προκειμένου να μελετηθούν και συγκριθούν τα πλοία σε παρόμοιες διαστάσεις.



Σχέδια εγκάρσιων τομών: α. ΜΕΚΟ, β. DDG-51, γ. ΤΗ.



ΜΕΚΟ



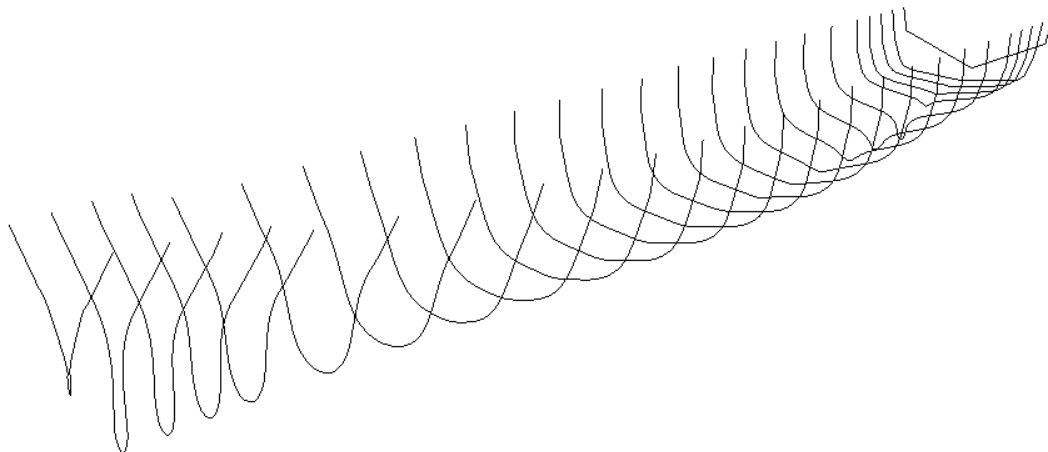
ONR 5613 (TH).

Οι διαστάσεις του πρώτου σκάφους (ΜΕΚΟ) χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορά για την επιλογή των διαστάσεων των έτερων δύο γαστρών. Ως βασική προϋπόθεση θεωρήθηκε η διάσταση του μήκους των τριών πλοίων να'ναι ίδια και ως μήκος αναφοράς επιλέχθηκαν τα 109 m, δηλαδή το μήκος μεταξύ καθέτων της ΜΕΚΟ. Έτσι, για το δεύτερο σκάφος (5415M, DDG-51) επιλέχθηκε γάστρα όμοια με την πατρική (geosim) και λόγο ομοιότητας $\lambda=0,767$ (scale down). Όσον αφορά το τρίτο σκάφος (ONR5613, TH), έγινε κατάλληλη αναγωγή των διαστάσεων του αρχικού σχεδίου προκειμένου να επιτευχθεί μήκος 109 m και ακολούθως υπολογίσθηκαν τα υδροστατικά του στοιχεία με χρήση του προγράμματος RHINO-MARINE (λόγω έλλειψης περαιτέρω στοιχείων), τα οποία επιβεβαιώθηκαν με χρήση κώδικα υδροστατικών υπολογισμών του Ε.Μ.Π. Τα πλοία μελετήθηκαν με τα παρελκόμενά τους (hull appendages), προκειμένου να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς κυρίως του διατοιχισμού (roll). Για την εκτέλεση των υπολογισμών, έγιναν τα ακόλουθα:

α. ΜΕΚΟ: Δημιουργήθηκε σχέδιο 25 εγκαρσίων τομών (σταθμοί, stations) προκειμένου να εισαχθούν στον υπολογιστικό κώδικα S.M.P. οι συντεταγμένες των σημείων των σταθμών (offsets), οι οποίες αποτελούν δεδομένο στο αρχείο εισόδου. Η αρίθμηση των σταθμών (ST) και η διαμήκης θέση τους σε m (x) από την πρωραία κάθετο (F.P.) δίδονται στον παρακάτω πίνακα.

ST 0	x=0
ST 0.5	x=2.725
ST 1	x=5.45
ST 1.5	x=8.175
ST 2	x=10.9
ST 3	x=16.35
ST 4	x=21.8
ST 5	x=27.25
ST 6	x=32.7
ST 7	x=38.15
ST 8	x=43.6
ST 9	x=49.05
ST 10	x=54.5
ST 11	x=59.95
ST 12	x=65.4
ST 13	x=70.85
ST 14	x=76.3
ST 15	x=81.75
ST 16	x=87.2
ST 17	x=92.65
ST 18	x=98.1
ST 18.5	x=100.825
ST 19	x=103.55
ST 19.5	x=106.275
ST 20	x=109

Στο αρχείο εισόδου εισήχθησαν και τα παρελκόμενα της γάστρας, που στην προκειμένη περίπτωση ήταν ένα ζεύγος παρατροπιδίων (bilge keels), ένα ζεύγος αντιδιατοιχιστικών πτερυγίων (roll stabilizing fins) και ένα πτερύγιο πηδαλίου (rudder fin). Η κατάσταση στην οποία μελετήθηκε το πλοίο είναι η κατάσταση πλήρους φόρτου (FULL LOAD DISPLACEMENT).



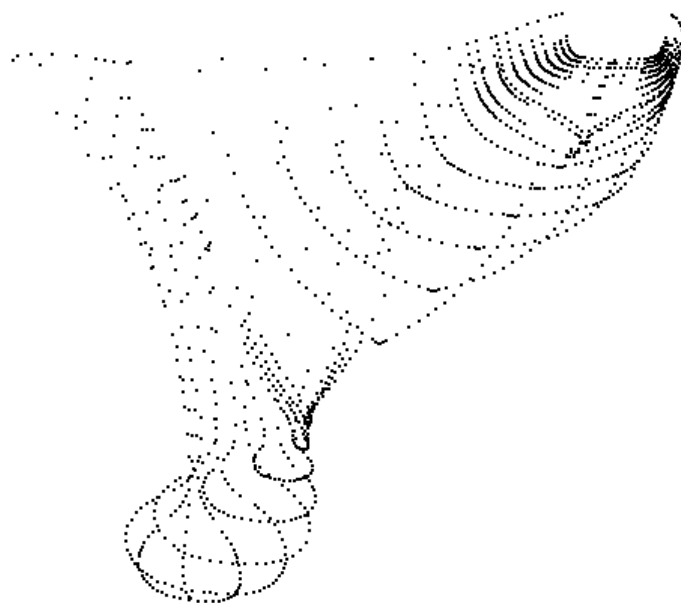
Σχέδιο σταθμών ΜΕΚΟ.

β. 5415M (DDG-51): Δημιουργήθηκε σχέδιο 23 εγκαρσίων τομών (σταθμοί, stations) προκειμένου να εισαχθούν στον υπολογιστικό κώδικα S.M.P. οι συντεταγμένες των σημείων των σταθμών (offsets), οι οποίες αποτελούν δεδομένο στο αρχείο εισόδου. Το σχέδιο βασίστηκε στο αντίστοιχο που υφίσταται στην αναφορά της MARIN με αριθμό 23848-1-SMB (που αφορά σε Seakeeping tests για την γάστρα 5415M) [14] και χρησιμοποιήθηκε υπό κλίμακα, ώστε να επιτευχθεί

το μήκος των 109 m. Η αρίθμηση των σταθμών (ST) και η διαμήκης θέση τους σε m (x) από την πρωραία κάθετο (F.P.) δίδονται στον παρακάτω πίνακα.

ST 0	x=0
ST 0.5	x=2.725
ST 1	x=5.45
ST 1.5	x=8.175
ST 2	x=10.9
ST 3	x=16.35
ST 4	x=21.8
ST 5	x=27.25
ST 6	x=32.7
ST 7	x=38.15
ST 8	x=43.6
ST 9	x=49.05
ST 10	x=54.5
ST 11	x=59.95
ST 12	x=65.4
ST 13	x=70.85
ST 14	x=76.3
ST 15	x=81.75
ST 16	x=87.2
ST 17	x=92.65
ST 18	x=98.1
ST 19	x=103.55
ST 20	x=109

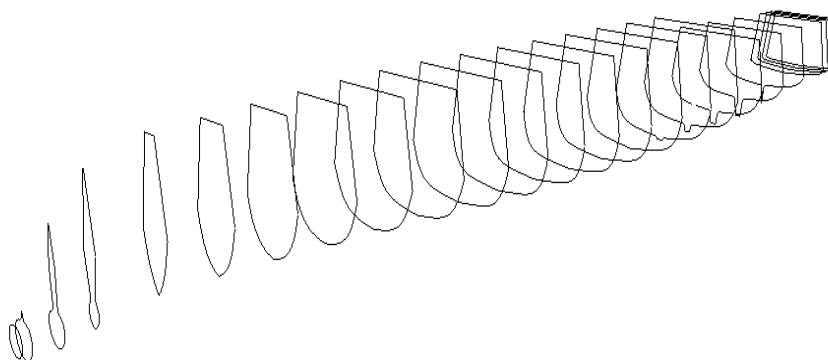
Στο αρχείο εισόδου εισήχθησαν και τα παρελκόμενα της γάστρας, που στην προκειμένη περίπτωση ήταν δύο ζεύγη παρατροπιδίων (bilge keels), ένα ζεύγος αντιδιατοιχιστικών πτερυγίων (roll stabilizing fins), δύο πτερύγια πηδαλίου (rudder fin) και ένα skeg.



Σχέδιο σταθμών DDG-51 (5415M).

γ.ΤΗ: Δημιουργήθηκε σχέδιο 25 εγκαρσίων τομών (σταθμοί, stations) προκειμένου να εισαχθούν στον υπολογιστικό κώδικα S.M.P. οι συντεταγμένες των σημείων των σταθμών (offsets), οι οποίες αποτελούν δεδομένο στο αρχείο εισόδου. Το σχέδιο βασίστηκε στο σχέδιο ONR 5613 υπό κλίμακα, ώστε να επιτευχθεί το μήκος των 109 m. Η αρίθμηση των σταθμών (ST) και η διαμήκης θέση τους σε m (x) από την πρωραία κάθετο (F.P.) δίδονται στον παρακάτω πίνακα.

ST-0.1101	X=-0.6
ST 0	X=0
ST 0.4588	X=2.5
ST1	X=5.449
ST2	X=10.898
ST3	X=16.347
ST4	X=21.796
ST5	X=27.245
ST6	X=32.694
ST7	X=38.143
ST8	X=43.592
ST9	X=49.041
ST10	X=54.49
ST11	X=59.939
ST12	X=65.388
ST13	X=70.837
ST14	X=76.286
ST15	X=81.735
ST16	X=87.184
ST17	X=92.633
ST18	X=98.082
ST19	X=103.531
ST19.2696	X=105
ST19.4531	X=106
ST19.6366	X=107



Σχέδιο σταθμών βασισμένο στο ONR 5613 (ΤΗ).

Στο αρχείο εισόδου εισήχθησαν και τα παρελκόμενα της γάστρας, που στην προκειμένη περίπτωση ήταν ένα ζεύγος παρατροπιδίων (bilge keels), δύο πτερύγια πηδαλίου (rudder fin) και ένα skeg.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των πλοίων, όπως χρησιμοποιήθηκαν από τον υπολογιστικό κώδικα S.M.P. στην παρούσα διατριβή δίδονται παρακάτω:

	TH	5415M	MEKO
SHIP LENGTH (LPP) [METERS]	108.98	109	109
BEAM AT MIDSHIPS (B) [METERS]	13.29	14.62	13.96
DRAFT AT MIDSHIPS (T) [METERS]	3.89	4.72	4.32
DISPLACEMENT (S.W.) (Δ) [M. TONS]	3087.6	3898.4	3441.1
DESIGN SHIP SPEED (V) [KNOTS]	30	30	30
LENGTH/BEAM (L/B)	8.199	7.456	7.806
BEAM/DRAFT (B/T)	3.418	3.099	3.233
DRAFT/BEAM (T/B)	0.293	0.323	0.309
VOLUME/(.1LPP)**3	2.325	2.934	2.59
FROUDE NUMBER (F_n)	0.472	0.472	0.472
C. OF GRAVITY (VCG)* [METERS]	1.55	1.04	1.67
C. OF GRAVITY (KG)** [METERS]	5.44	5.76	5.99
METACENTRIC HT. (GM) [METERS]	1.41	1.46	1.41
METACENTER (KM)** [METERS]	6.85	7.22	7.4
C. OF BUOYANCY (KB)** [METERS]	2.3	2.8	2.63
VCG/BEAM	0.117	0.071	0.12
KG/BEAM	0.409	0.394	0.429
GM/BEAM	0.106	0.1	0.101
KM/BEAM	0.515	0.494	0.53
KB/BEAM	0.173	0.191	0.188
C. OF GRAVITY (LCG) [METERS]	56.1	55.14	57.77
C. OF BUOYANCY (LCB) [METERS]	56.1	55.14	57.77
C. OF FLOTATION (LCF) [METERS]	61.28	59.54	63.21
LCG/LENGTH	0.515	0.506	0.53
LCB/LENGTH	0.515	0.506	0.53
LCF/LENGTH	0.562	0.546	0.58
ROLL GYRADIUS [METERS]	5.05	5.69	4.89
PITCH GYRADIUS [METERS]	27.25	27.47	27.25
YAW GYRADIUS [METERS]	27.25	27.36	27.25
ESTIMATED ROLL PERIOD [(METERS)]	9.54	10.56	9.23
RG/BEAM	0.38	0.389	0.35
PG/LPP	0.25	0.252	0.25
YG/LPP	0.25	0.251	0.25
ROLL FREQ (RADIANS)	0.659	0.595	0.681
WATERPLANE [SQ.M]	1123.2	1222.3	1184
WETTED SURFACE,HULL	1590.2	1737.4	1619
BLOCK (CB)	0.534	0.506	0.51
SECTION (CX)	0.837	0.818	0.816
PRISMATIC (CP)	0.638	0.618	0.625
AWP/(LPP*BEAM)	0.775	0.767	0.778
WS/(2LD+2BD+LB)	0.663	0.63	0.626

* WATERLINE REFERENCE

** KEEL REFERENCE

***F.P. REFERENCE

Οι ακτίνες αδρανείας (GYRADIUS) για το DDG-51 παραλήφθηκαν από την έκδοση “WEIGHT ESTIMATING AND MARGIN MANUAL FOR MARINE VEHICLES” SOCIETY OF ALLIED WEIGHT ENGINEERS (SAWE)- SNAME [15]. Οι ακτίνες αδρανείας (GYRADIUS) για την MEKO είναι οι τυπικές τιμές για πλοίο μεγέθους φρεγάτας [11], [16], ενώ τα αντίστοιχα στοιχεία για το TH παραλήφθηκαν από σχετική εργασία των H.Sadat-Hosseini, F. Stern et al (2010) [17].

10.ΟΙ ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ ΤΟΥ ΠΟΛΕΜΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.

Οι αποστολές ενός πολεμικού πλοίου είναι ποικίλες. Η ποικιλομορφία τους φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα, ο οποίος είναι απλά ενδεικτικός:

Type	Name	Description
Naval Mission	TAP	Transit and Patrol
	ASW	Anti-Submarine Warfare
	AAW	Anti-Air Warfare
	SUW	Surface Warfare
	MCM	Mine Countermeasures
Support Activities	NAO	Naval Air Operations
	RAS	Replenishment at Sea
	WRL	Weapon Systems Reload
	MAR	Maintenance and Repair

Επιχειρησιακές αποστολές πολεμικού πλοίου (ενδεικτικά).

Με τον όρο TAP εννοούνται οι αποστολές “TRANSIT AND PATROL” (περιπολία), ASW οι αποστολές “ANTI-SUBMARINE WARFARE” (ανθυποβρυχιακές), AAW οι αποστολές “ANTI-AIR WARFARE” (αντιαεροπορικές), ενώ NAO είναι οι αποστολές “NAVAL AIR OPERATIONS” (αεροπορικές-ελικοπτέρου). Ενδεικτικά παρατίθενται μερικά γενικά κριτήρια για κάποιες από τις παραπάνω αποστολές:

ΑΠΟΣΤΟΛΗ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΟΡΙΟ (ΚΡΙΤΗΡΙΟ)	ΘΕΣΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
TAP	SLAMMING INDEX	20 OCCURANCES /HOUR	ΤΡΟΠΙΔΑ (ΚΟΝΤΑ ΣΤΗΝ ΠΛΩΡΗ)	ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΑΣΤΡΑ
	ROLL	4 ⁰		ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ
	PITCH	1.5 ⁰		
	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ	0.2g	ΓΕΦΥΡΑ	
ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ	0.1g			
AAW	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ	0.5 m/sec	ΚΑΝΝΗ ΠΥΡΟΒΟΛΟΥ 5"/54 Ή 76/62	ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΓΙΑ ΕΥΣΤΟΧΗ ΒΟΛΗ
ASW	ΑΝΑΔΥΣΗ ΘΟΛΟΥ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ Α/Υ (ACTIVE SONAR DOME)	24 OCCURENCES /HOUR	ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΟΨΗ ΘΟΛΟΥ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Ενδεικτικά κριτήρια αποστολών ενός πολεμικού πλοίου.

Αυτονόητο δε είναι ότι τα κριτήρια δεν μπορεί να είναι τα ίδια για κάθε τύπο αποστολής, ακόμα κι αν αναφέρονται στην ίδια απόκριση ή τυχαίο φαινόμενο. Παραδείγματος χάρη, για μια φρεγάτα η οποία εκτελεί TAP mission, το όριο του διατοιχισμού είναι 4⁰. Όταν όμως πρόκειται να βάλει το

πυροβόλο 5" στα πλαίσια AAW mission, το όριο υποβιβάζεται στις 3.8⁰. Εάν δε εκτελούνται προσαπονηώσεις του οργανικού ελικόπτερου, το όριο του διατοιχισμού μικραίνει κι άλλο (3⁰).

Κάποια ζωτικά για την εκτέλεση των αποστολών υποσυστήματα, όπως τα radar ερεύνης/επιφανείας έχουν κι αυτά κριτήρια, αλλά οι τιμές τους είναι τόσο μεγάλες που πρακτικά δεν ευθύνονται για τυχόν μείωση της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας. Παραδείγματος χάρη, στα προαναφερθέντα radars, το κριτήριο είναι 25⁰ γωνία διατοιχισμού για 100% λειτουργικό σύστημα και 30⁰ για 0% λειτουργικότητα. Συνεπώς, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι για την επιτυχία της αποστολής επιδρούν πολύ περισσότερο κάποια άλλα υποσυστήματα, όπως π.χ. το ελικόπτερο (για την απονήωση του οποίου, το roll έχει πολύ μικρότερη τιμή ως κριτήριο). Χαρακτηριστικό παράδειγμα στα πλαίσια της παρούσας διατριβής ήταν το κριτήριο για τις RMS τιμές της πλευρικής επιτάχυνσης στον κατακόρυφο εκτοξευτήρα πυραύλων (GMVLS LATERAL ACCELERATION) που σε κάθε περίπτωση βρέθηκε εντός ορίων (<0.35 g) για τις θαλάσσιες περιοχές που επιλέχθηκαν κι επομένως δεν χρειάστηκε περαιτέρω μελέτη.

Τα πολεμικά πλοία πρέπει να είναι σε θέση να εκτελούν μια ποικιλία αποστολών, δηλαδή δεν κατασκευάζονται για να αξιοποιούνται σε ένα μόνο είδος αποστολής. Φυσικά, μπορεί μια αποστολή να είναι κυρίαρχη έναντι κάποιων άλλων. Συνεπώς, είναι χρήσιμο να δημιουργηθούν ομάδες κριτηρίων (mission criteria sets) [18], οι οποίες να χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της λειτουργησιμότητας ενός πλοίου σε ένα εύρος αποστολών.

Έτσι, κατά την σχεδίαση ενός πλοίου ο σχεδιαστής μπορεί να καθορίσει εάν το πλοίο, το σύστημα ή οι λειτουργικές διαδικασίες πρέπει να τροποποιηθούν, προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο (τα κριτήρια) και να υπολογίσει εάν είναι ρεαλιστική η ικανοποίηση του κριτηρίου (των κριτηρίων) στα πλαίσια των απαιτήσεων και των περιορισμών της διαδικασίας σχεδίασης.

Τα κριτήρια για κάθε αποστολή, όπως ορίζονται στην έκδοση του NATO STANAG 4154, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

		Location-Dependent Criteria						
		Roll (deg)	Pitch (deg)	No.	MII / min	Vacc (g)	L.acc (g)	Vvel (m/s)
TAP	deck wetness / hr			30				
	slamming / hr			20				
	personnel, bridge	4.0	1.5		1.0	0.2	0.1	
	MSI, bridge (percent)			20				
	MII helm				1.0			
	MII hangar				1.0			
	MII flight deck				1.0			
	propeller emergence / hr			90				
ASW	TAP criteria , plus...							
	sonar emergence / hr			24				
	active sonar	7.5	2.5					
	towed array launch				0.5			
	torpedo launch	3.8	3.8					
AAW	TAP criteria , plus...							
	foredeck gun fire	3.8	3.8					0.5
	VLS launch	8.8	1.5			0.30	0.35	
	CIWS fire	3.8	3.8					0.5
NAO	TAP criteria , plus...							
	helicopter landing	3.0	1.0					3.7 ¹
	helicopter traverse	5.0	1.0					

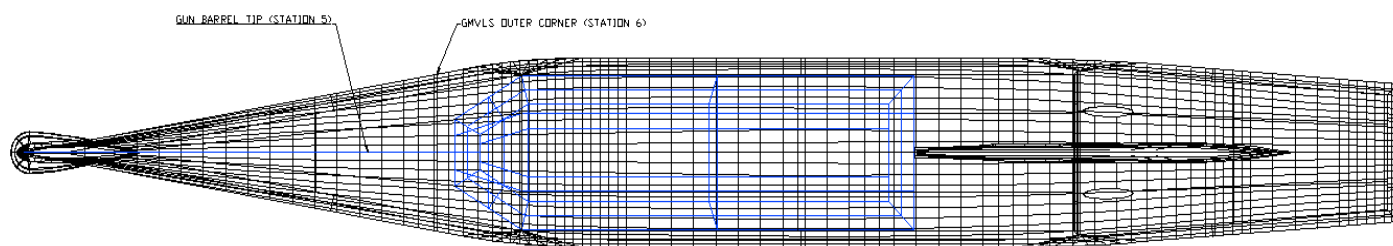
Κριτήρια αποστολής κατά STANAG 4154.

Στην παρούσα διατριβή εξετάζεται μια τροποποιημένη ομάδα κριτηρίων που αφορούν αποστολές TAP, AAW, ASW και NAO. Η τροποποίηση αφορά τα παρακάτω:

α. Δεν εξετάστηκαν τα κριτήρια του MII, καθώς η παρούσα διατριβή επικεντρώνεται, κυρίως, στους περιορισμούς των πλατφορμών και όχι του επιβαίνοντος προσωπικού.

β. Οι θέσεις των κατακόρυφων εκτοξευτήρων (VLS) και των πυροβόλων του πλοίου TH δεν ήταν επακριβώς γνωστές. Έτσι υποτέθηκε ότι το πλοίο έχει 4 εκτοξευτήρες πλευρικά τοποθετημένους, στα πρότυπα του υπό κατασκευή αμερικανικού αντιτορπιλικού κατευθυνόμενων βλημάτων DDG-1000

(ZUMWALT CLASS GUIDED MISSILE DESTROYER) και μελετήθηκαν τα σχετικά κριτήρια στις θέσεις που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Θέσεις πυροβόλου και κατακόρυφου εκτοξευτήρα για την γάστρα TH.

γ. Δεν ελήφθη υπόψη η σχετική ταχύτητα του ανέμου.

δ. Εξετάστηκαν τα κριτήρια μόνο για τον πρωραίο κατακόρυφο εκτοξευτήρα (VLS) του πλοίου DDG-51.

ε. Για τις αεροπορικές επιχειρήσεις (NAO), επιλέχθηκαν τα κριτήρια διατοχισμού και κατακόρυφης ταχύτητας που αναφέρονται ως generic criteria στην STANAG 4154. Επιπλέον, εξετάστηκε μόνο η περίπτωση προσαπονήωσης του ελικοπτέρου.

Με βάση τα παραπάνω, ο πίνακας των κριτηρίων που εξετάστηκαν στην παρούσα διατριβή διαμορφώνεται ως ακολούθως:

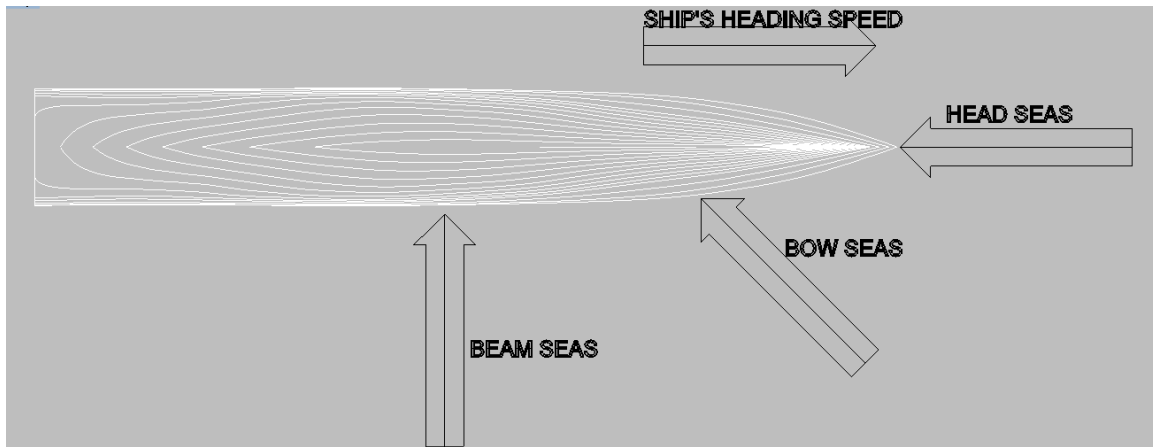
		Roll [deg]	Pitch [deg]	Yaw [deg]	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΣΗ			
					No.	Vacc [g]	Lacc [g]	Vvel [m/sec]
TAP	DECK WETNESS				30			
	SLAMMING				20			
	ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ, ΓΕΦΥΡΑ PROPELLER EMERGENCE	4	1.5			0.2	0.1	
ASW	Κριτήρια TAP και...				90			
	SONAR EMERGENCE				24			
	ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΟ SONAR	7.5	2.5					
AAW	Κριτήρια TAP και...							
	ΒΟΛΗ ΠΡΩΡΑΙΟΥ ΠΥΡΟΒΟΛΟΥ	3.8	3.8					0.5
	ΒΟΛΗ ΠΥΡΑΥΛΟΥ ΑΠΟ VLS	8.8	1.5	0.8		0,3	0.35	
NAO	Κριτήρια TAP και...							
	ΠΡΟΣΑΠΟΝΗΩΣΗ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ	2.5*	1					1**

*: Generic criteria.

** : Προσνήωση.

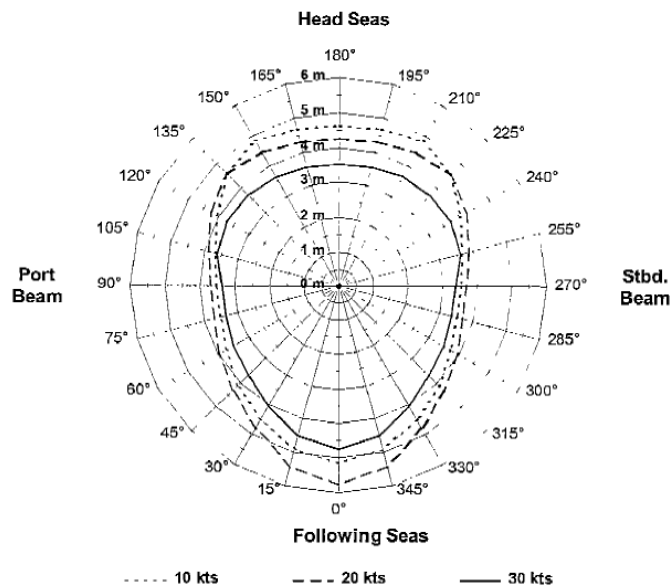
Οι ταχύτητες πλοίου που επιλέχθηκαν είναι 15 και 25 Kts. Και αυτό γιατί η πρώτη αντιπροσωπεύει μια προσεγγιστική οικονομική ταχύτητα με χρήση μηχανών DIESEL, ενώ η δεύτερη μια ταχύτητα στην οποία θεωρήθηκε δυνατή η χρήση αεριοστροβίλου σε έναν μόνο άξονα (trailing shaft).

Επιπλέον, επιλέχθηκαν τρεις κατευθύνσεις συνάντησης κυματισμών: 0⁰ μετωπικοί κυματισμοί (head seas), 45⁰ πρωραίοι κυματισμοί (bow seas) και 90⁰ πλευρικοί κυματισμοί (beam seas).



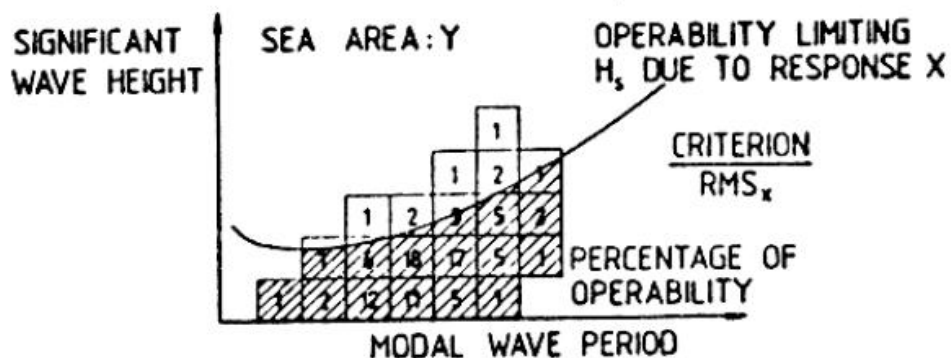
Επιλεχθείσες κατευθύνσεις συνάντησης κυματισμών.

Η μεθοδολογία απεικόνισης των αποτελεσμάτων (δείκτες λειτουργησιμότητας, operability indices) δεν έγινε με την παραδοσιακή μέθοδο, χρησιμοποιώντας δηλαδή πολικά διαγράμματα, όπου απεικονίζονται οι τομείς που το πλοίο τίθεται εκτός λειτουργίας για διάφορες ταχύτητες και πορείες για κάθε κατάσταση θαλάσσης (sea state).



Απεικόνιση δεικτών λειτουργησιμότητας πλοίου σε πολικό διάγραμμα για τρεις (3) ταχύτητες.

Χρησιμοποιήθηκαν καρτεσιανές συντεταγμένες περιόδου κορυφής και σημαντικού ύψους κύματος για κάθε θαλάσσια περιοχή, ταχύτητα και διεύθυνση και καθορίσθηκε η περιοχή για την οποία δεν ξεπερνώνται τα κριτήρια.



Απεικόνιση δεικτών λειτουργησιμότητας πλοίου σε καρτεσιανές συντεταγμένες (concept).

Το θαλάσσιο περιβάλλον στο οποίο γίνεται η μελέτη είναι αυτό της ευρύτερης περιοχής της Ανατολικής Μεσογείου με έμφαση στις ελληνικές θάλασσες. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν παραλήφθηκαν από τον άτλαντα έκδοσης 2004 που δημιουργήθηκε από τον οργανισμό Western European Armaments Organisation Research Cell , στον οποίο συμμετείχε και το Ε.Μ.Π. Αφορούν το σημαντικό ύψος κύματος Hs σε συνάρτηση με την περίοδο κορυφής Tp σε ετήσια βάση και εμφανίζονται παρακάτω με την μορφή πινάκων (πίνακες Tp-Hs):

Tp [sec]	Hs [m]																TOTAL	
	0 0.25	0.25 0.5	0.5 0.75	0.75 1	1 1.25	1.25 1.5	1.5 1.75	1.75 2	2 2.5	2.5 3	3 3.5	3.5 4	4 5	5 6	6 7.5	7.5 9		> 9
0-1.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.9-2.6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2.6-3.1	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
3.1-3.8	3	14	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	
3.8-4.6	3	41	57	38	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	
4.6-5	0	14	31	28	17	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	
5-5.5	1	16	26	30	26	17	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	124	
5.5-6.1	0	9	20	25	22	18	11	7	3	0	0	0	0	0	0	0	115	
6.1-6.7	0	4	19	21	21	21	14	11	8	1	0	0	0	0	0	0	120	
6.7-7.4	0	1	7	21	21	18	14	12	15	6	1	0	0	0	0	0	116	
7.4-8.1	0	1	3	9	14	15	13	11	17	9	4	1	0	0	0	0	97	
8.1-8.9	0	1	1	3	6	8	8	7	12	10	7	3	1	0	0	0	67	
8.9-9.8	0	0	0	1	1	2	3	4	8	7	6	4	3	1	0	0	40	
9.8-10.8	0	0	0	0	0	0	1	1	3	5	4	3	3	1	0	0	21	
10.8-11.9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	0	0	7	
11.9-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
>17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	7	106	179	178	138	106	71	55	67	39	23	12	10	4	0	0	995	

AREA 1: 35 N, 22 E. (Δυτικά Κρήτης).

Tp [sec]	Hs [m]																TOTAL	
	0 0.25	0.25 0.5	0.5 0.75	0.75 1	1 1.25	1.25 1.5	1.5 1.75	1.75 2	2 2.5	2.5 3	3 3.5	3.5 4	4 5	5 6	6 7.5	7.5 9		> 9
0-1.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.9-2.6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.6-3.1	2	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1-3.8	7	23	19	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.8-4.6	8	62	62	35	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.6-5	1	25	31	24	15	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-5.5	1	19	33	24	18	11	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5-6.1	1	10	30	23	18	13	11	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.1-6.7	1	5	21	24	19	12	11	7	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6.7-7.4	1	2	8	18	20	18	12	10	13	5	1	0	0	0	0	0	0	0
7.4-8.1	0	1	3	7	13	14	12	10	14	8	4	2	0	0	0	0	0	0
8.1-8.9	0	1	1	3	4	6	7	8	12	8	6	3	2	0	0	0	0	0
8.9-9.8	0	0	1	1	2	1	3	2	6	7	6	3	3	1	0	0	0	0
9.8-10.8	0	0	0	0	1	1	0	1	2	3	3	2	2	1	0	0	0	0
10.8-11.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0
11.9-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	22	155	211	161	119	82	62	44	59	33	21	11	9	2	0	0	0	991

AREA 2: 36 N, 21 E. (Νοτιοδυτικά Πελοποννήσου).

Tp [sec]	Hs [m]																TOTAL	
	0 0.25	0.25 0.5	0.5 0.75	0.75 1	1 1.25	1.25 1.5	1.5 1.75	1.75 2	2 2.5	2.5 3	3 3.5	3.5 4	4 5	5 6	6 7.5	7.5 9		> 9
0-1.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.9-2.6	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.6-3.1	4	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1-3.8	8	24	21	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.8-4.6	8	38	62	45	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.6-5	4	13	23	36	27	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-5.5	4	14	16	29	33	26	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5-6.1	2	8	15	16	24	26	25	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.1-6.7	4	9	11	11	11	14	19	19	21	2	0	0	0	0	0	0	0	0
6.7-7.4	2	8	8	8	6	7	8	10	26	11	2	0	0	0	0	0	0	0
7.4-8.1	1	5	8	8	5	4	2	3	7	9	6	2	0	0	0	0	0	0
8.1-8.9	1	3	6	6	5	3	2	2	3	2	3	3	2	0	0	0	0	0
8.9-9.8	1	3	4	4	4	3	2	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
9.8-10.8	0	1	2	3	2	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10.8-11.9	0	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11.9-13	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	40	138	181	169	130	97	71	54	65	28	12	5	3	0	0	0	0	993

AREA 3: 36 N, 27 E. (Βόρεια νήσου Καρπάθου).

Tp [sec]	Hs [m]																	TOTAL
	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5	>	
	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5	9	9	
0-1.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.9-2.6	24	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
2.6-3.1	49	25	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81
3.1-3.8	50	50	37	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	142
3.8-4.6	25	51	59	52	22	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	211
4.6-5	3	13	19	30	32	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114
5-5.5	4	6	9	19	27	29	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113
5.5-6.1	3	3	6	7	15	21	24	19	8	0	0	0	0	0	0	0	0	106
6.1-6.7	2	2	2	4	4	8	14	18	27	4	0	0	0	0	0	0	0	85
6.7-7.4	2	1	1	3	2	3	5	6	21	14	3	0	0	0	0	0	0	61
7.4-8.1	1	0	0	1	1	1	1	1	5	9	8	3	0	0	0	0	0	31
8.1-8.9	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	4	3	2	0	0	0	0	14
8.9-9.8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	6
9.8-10.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
10.8-11.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.9-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	165	160	139	122	103	79	61	49	62	29	15	7	6	2	0	0	0	999

AREA 4: 38N, 25.5 E. (Κεντρικό Αιγαίο).

Λόγω του μεγάλου εύρους και της αναλυτικής υποδιαίρεσης τόσο των περιόδων κορυφής όσο και των σημαντικών υψών κύματος και προκειμένου η επεξεργασία των στοιχείων να γίνει με το βέλτιστο τρόπο, δημιουργήθηκαν νέοι πίνακες Tp-Hs, οι οποίοι περιλαμβάνουν τα ίδια ακριβώς στοιχεία, αλλά με διαφορετική υποδιαίρεση:

Tp [sec]	Hs [m]										
	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5	10
0-5	251	34	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6.1	127	83	26	3	0	0	0	0	0	0	0
6.1-7.4	73	81	51	23	7	1	0	0	0	0	0
7.4-8.1	13	29	24	17	9	4	1	0	0	0	0
8.1-8.9	5	14	15	12	10	7	3	1	0	0	0
8.9-9.8	1	3	7	8	7	6	4	3	1	0	0
9.8-10.8	0	0	2	3	5	4	3	3	1	0	0
10.8-11.9	0	0	0	1	1	1	1	2	1	0	0
11.9-13	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.4-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

AREA 1: 35 N, 22 E. (Δυτικά Κρήτης).

Tp	Hs [m]										
	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5
[sec]	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5	10
0-5	310	30	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6.1	141	60	22	3	0	0	0	0	0	0	0
6.1-7.4	80	69	40	22	6	1	0	0	0	0	0
7.4-8.1	11	27	22	14	8	4	2	0	0	0	0
8.1-8.9	5	10	15	12	8	6	3	2	0	0	0
8.9-9.8	2	3	5	6	7	6	3	3	1	0	0
9.8-10.8	0	2	1	2	3	3	2	2	1	0	0
10.8-11.9	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0
11.9-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.4-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

AREA 2: 36 N, 21 E. (Νοτιοδυτικά Πελοποννήσου).

Tp	Hs [m]										
	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5
[sec]	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5	10
0-5	303	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6.1	104	109	49	4	0	0	0	0	0	0	0
6.1-7.4	61	38	56	47	12	2	0	0	0	0	0
7.4-8.1	22	9	5	7	9	6	2	0	0	0	0
8.1-8.9	16	8	4	3	3	3	3	2	0	0	0
8.9-9.8	12	7	4	1	1	1	0	1	0	0	0
9.8-10.8	6	4	4	1	1	0	0	0	0	0	0
10.8-11.9	3	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0
11.9-13	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.4-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

AREA 3: 36 N, 27 E. (Βόρεια νήσου Καρπάθου).

Tp	Hs [m]										
	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5
[sec]	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5	10
0-5	508	71	2	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6.1	57	92	62	8	0	0	0	0	0	0	0
6.1-7.4	17	17	43	48	18	3	0	0	0	0	0
7.4-8.1	2	2	2	5	9	8	3	0	0	0	0
8.1-8.9	1	0	1	1	2	4	3	2	0	0	0
8.9-9.8	1	0	0	0	0	0	1	3	1	0	0
9.8-10.8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
10.8-11.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.9-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.4-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

AREA 4: 38N, 25.5 E. (Κεντρικό Αιγαίο).

Με βάση τους πίνακες αυτούς υπολογίσθηκε η πιθανότητα εμφάνισης κάθε κύματος (probability of occurrence) σε κάθε περιοχή και δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι πίνακες, όπως φαίνεται παρακάτω:

Tp [sec]	Hs [m]										
	0 1	1 1.5	1.5 2	2 2.5	2.5 3	3 3.5	3.5 4	4 5	5 6	6 7.5	7.5 10
0-5	0.252	0.034	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6.1	0.128	0.083	0.026	0.003	0	0	0	0	0	0	0
6.1-7.4	0.073	0.081	0.051	0.023	0.007	0.001	0	0	0	0	0
7.4-8.1	0.013	0.029	0.024	0.017	0.009	0.004	0.001	0	0	0	0
8.1-8.9	0.005	0.014	0.015	0.012	0.010	0.007	0.003	0.001	0	0	0
8.9-9.8	0.001	0.003	0.007	0.008	0.007	0.006	0.004	0.003	0.001	0	0
9.8-10.8	0	0	0.002	0.003	0.005	0.004	0.003	0.003	0.001	0	0
10.8-11.9	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0	0
11.9-13	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.4-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

AREA 1: 35 N, 22 E. (Δυτικά Κρήτης) probability of occurrence.

Tp [sec]	Hs [m]										
	0 1	1 1.5	1.5 2	2 2.5	2.5 3	3 3.5	3.5 4	4 5	5 6	6 7.5	7.5 10
0-5	0.313	0.030	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6.1	0.142	0.061	0.022	0.003	0	0	0	0	0	0	0
6.1-7.4	0.081	0.070	0.040	0.022	0.006	0.001	0	0	0	0	0
7.4-8.1	0.011	0.027	0.022	0.014	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0
8.1-8.9	0.005	0.010	0.015	0.012	0.008	0.006	0.003	0.002	0	0	0
8.9-9.8	0.002	0.003	0.005	0.006	0.007	0.006	0.003	0.003	0.001	0	0
9.8-10.8	0	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0	0
10.8-11.9	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.002	0	0	0
11.9-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.4-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

AREA 2: 36 N, 21 E. (Νοτιοδυτικά Πελοποννήσου) probability of occurrence.

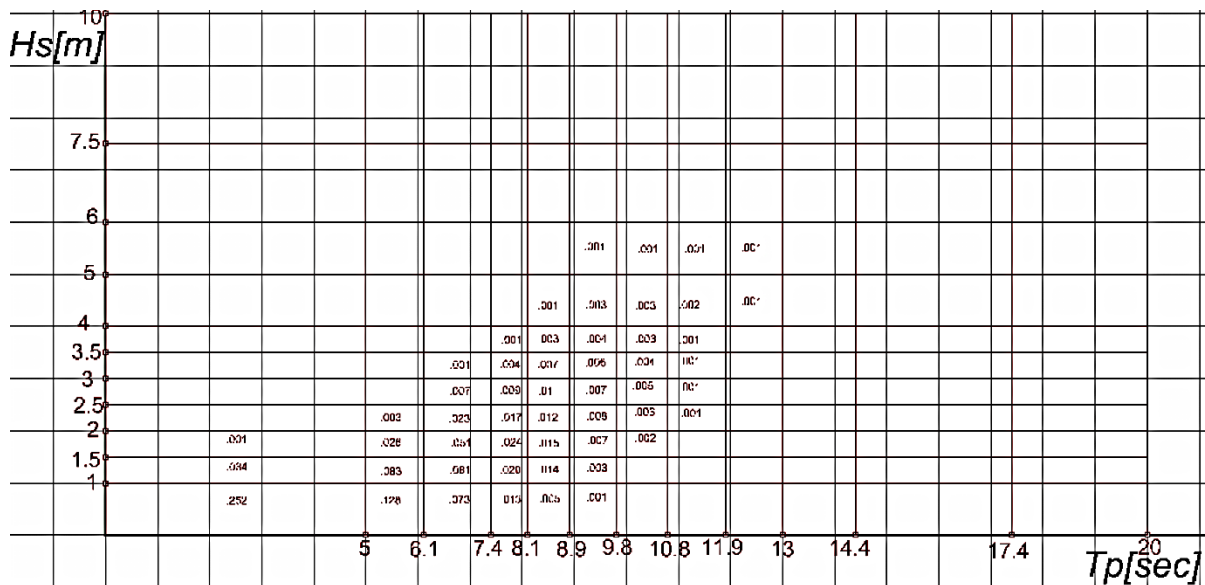
Tp [sec]	Hs [m]										
	0 1	1 1.5	1.5 2	2 2.5	2.5 3	3 3.5	3.5 4	4 5	5 6	6 7.5	7.5 10
0-5	0.305	0.050	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6.1	0.105	0.110	0.049	0.004	0	0	0	0	0	0	0
6.1-7.4	0.061	0.038	0.056	0.047	0.012	0.002	0	0	0	0	0
7.4-8.1	0.022	0.009	0.005	0.007	0.009	0.006	0.002	0	0	0	0
8.1-8.9	0.016	0.008	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0	0	0
8.9-9.8	0.012	0.007	0.004	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0
9.8-10.8	0.006	0.004	0.004	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0
10.8-11.9	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0
11.9-13	0.001	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.4-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

AREA 3: 36 N, 27 E. (Βόρεια νήσου Καρπάθου) probability of occurrence.

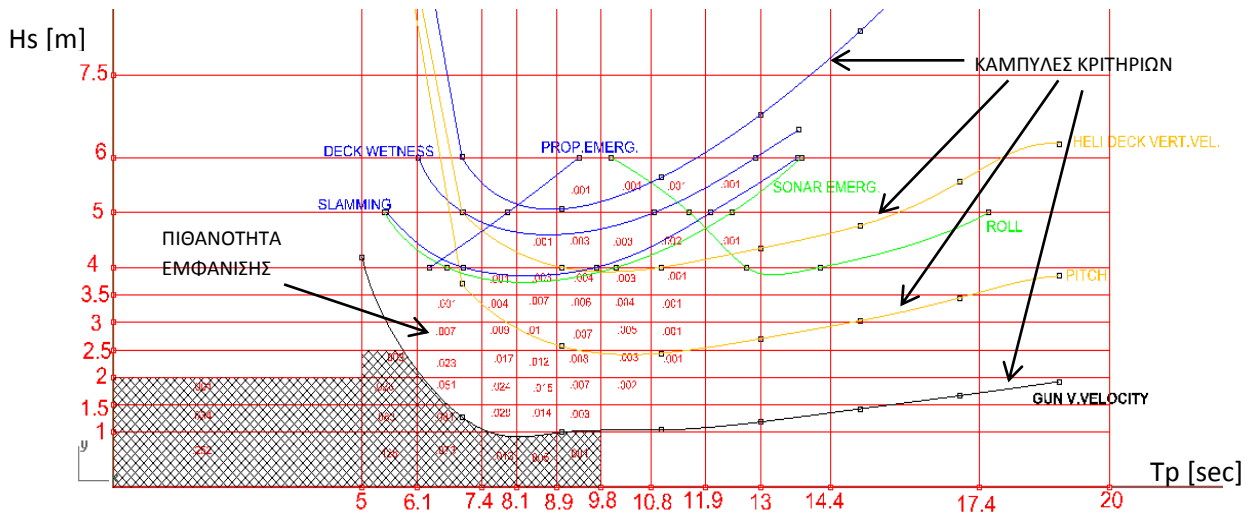
Tp [sec]	Hs [m]										
	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7.5	10
0-5	0.509	0.071	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6.1	0.057	0.092	0.062	0.008	0	0	0	0	0	0	0
6.1-7.4	0.017	0.017	0.043	0.048	0.018	0.003	0	0	0	0	0
7.4-8.1	0.002	0.002	0.002	0.005	0.009	0.008	0.003	0	0	0	0
8.1-8.9	0.001	0	0.001	0.001	0.002	0.004	0.003	0.002	0	0	0
8.9-9.8	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0.003	0.001	0	0
9.8-10.8	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0
10.8-11.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.9-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.4-17.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.4-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

AREA 4: 38N, 25.5 E. (Κεντρικό Αιγαίο) probability of occurrence.

Με κίτρινο χρώμα έχουν απεικονισθεί οι κυματισμοί για τους οποίους η πιθανότητα εμφάνιση (probability of occurrence) είναι διαφορετική από το μηδέν. Οι τελευταίοι πίνακες ήταν αυτοί που χρησιμοποιήθηκαν σαν κάναβος (grid) στο σχεδιαστικό πρόγραμμα RHINOCEROS 4.0, προκειμένου να απεικονισθούν γραφικά οι δείκτες λειτουργησιμότητας σε καρτεσιανές συντεταγμένες.



Κάναβος σχεδίασης (grid). Οι αριθμοί που αναγράφονται στα σχηματιζόμενα ορθογώνια αντιπροσωπεύουν probability of occurrence



Απεικόνιση δεικτών λειτουργησιμότητας πλοίου σε καρτεσιανές συντεταγμένες.

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι το αυστηρότερο κριτήριο, δηλαδή αυτό που περιορίζει περισσότερο την υπό την καμπύλη περιοχή, είναι αυτό που τελικά καθορίζει κάθε φορά τον δείκτη λειτουργησιμότητας. Τα υπό εξέταση σημεία στα οποία λήφθηκαν μετρήσεις και ελέγχθηκαν τα τροποποιημένα κριτήρια, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

NUMBER	NAME	STATION NR	Y [m]	Z [m]
MEKO				
1	Helicopter Deck	18.4954	0	10
2	BRIDGE (HELMSMAN)	5.5046	0	15.6
3	5/54 GUN BARREL TIP	1.3211	0	10.3
4	GMVLS OUTER CORNER	12.6606	2.2	15.8
5	SLAMMING 3/20 Lbp	3	0	0.6666
6	DECK WETNESS 1/10 Lbp	2	5.047	10.736
7	PROPELLER EMERGENCE	18.935	3.25	2.8
8	SONAR DOME EMERGENCE	3.5963	0	0.675
5415 M(DDG-51)				
1	Helicopter Deck	18.227	0	10.736
2	BRIDGE(HELMSMAN)	6.2	0	21.3014
3	5/54 GUN BARREL TIP	1.8822	0	14.9687
4	FWD GMVLS OUTER CORNER	5	5.682	12.0457
5	SLAMMING 3/20 Lbp	3	0	2.3186
6	DECK WETNESS 1/10 Lbp	2	5.7444	13.5076
7	PROPELLER EMERGENCE	19	3.5668	4
8	SONAR DOME EMERGENCE	0.5	0	3.7913
TH				
1	Helicopter Deck	17.4711	0	10.325
2	BRIDGE(HELMSMAN)	6.6249	0	19.18
3	FWD GMVLS	6	4.399	11.738
4	FWD GUN BARREL TIP	5	0	11.738
5	SLAMMING 3/20 Lbp	3	0	1.489
6	DECK WETNESS 1/10 Lbp	2	0.748	11.739
7	PROPELLER EMERGENCE	18.44	2.898	3.38
8	SONAR DOME EMERGENCE	-0.0149	0	2.9

11.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ.

Σφυρόκρουση (slamming).

Η σφυρόκρουση είναι το φαινόμενο, κατά το οποίο η τρόπιδα του πλοίου εξέρχεται από το νερό και ακολούθως βυθίζεται βίαια ξανά ως αποτέλεσμα της κίνησης του πλοίου σε θαλάσσιο περιβάλλον με κυματισμούς. Επειδή οι σχετικές κινήσεις του πλοίου είναι μεγαλύτερες στα άκρα του, το φαινόμενο της σφυρόκρουσης απαντάται στην περιοχή της πλώρης. Είναι δε τόσο πιο έντονο, όσο φαρδύτερος είναι ο πυθμένας του πλοίου, όσο υψηλότερη η ταχύτητα κίνησης και όσο πιο υψηλό μετωπικό κυματισμό συναντά το πλοίο. Το αποτέλεσμα της σφυρόκρουσης είναι η έντονη κρούση του πυθμένα στην επιφάνεια του νερού, η οποία μπορεί να προκαλέσει τοπική κατασκευαστική αστοχία στα ελάσματα της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου. Επιπλέον, προκαλείται ταλάντωση του πλοίου στην περιοχή της ιδιοσυχνότητάς του (whipping), η οποία μπορεί να διαρκέσει αρκετά δευτερόλεπτα και που οδηγεί σε έντονα κοπωτικά φαινόμενα των ελασμάτων, μειώνοντας την διάρκεια ζωής του πλοίου. Πιο ευπαθής θεωρείται η περιοχή της τρόπιδας σε απόσταση 10-25% Lbp από την πλώρα. Σύμφωνα με τις εμπειρικές θεωρήσεις των Ochi και Motter [1] υπάρχει ένα όριο κατακόρυφης ταχύτητας (vertical velocity threshold, V_{th}) πάνω απ'το οποίο εμφανίζεται το φαινόμενο. Το όριο αυτό

δίδεται από την σχέση $V_{th} = 3.66 \times \sqrt{\frac{Lbp}{158.5}} \left[\frac{m}{sec} \right]$. Κατά την μελέτη του φαινομένου στην παρούσα

διατριβή, λήφθηκαν αποτελέσματα στην θέση 3/20 Lbp. Η συγκεκριμένη θέση λαμβάνεται με το σκεπτικό ότι εκεί ο πυθμένας του πλοίου γίνεται φαρδύτερος και επομένως εμφανίζει μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης της σφυρόκρουσης. Στην παρούσα διατριβή εξετάζεται ως κριτήριο ο αριθμός των συμβάντων ανά ώρα.

Διαβροχή καταστρώματος (deck wetness).

Η διαβροχή καταστρώματος είναι το φαινόμενο, κατά το οποίο το θαλασσινό νερό «ανεβαίνει» στο κατάστρωμα, ως αποτέλεσμα της κίνησης του πλοίου σε κυματισμένη θάλασσα, όπου ο κυματισμός είναι μετωπικός ή από πρωραίες διευθύνσεις. Εξαρτάται από το ύψος και την διεύθυνση διάδοσης του κύματος, την ταχύτητα του πλοίου και το ύψος εξάλων (freeboard). Ουσιαστικά δηλαδή η εμφάνιση της διαβροχής εξαρτάται από την τοπική κίνηση υπέρβασης των εξάλων. Το αποτέλεσμα του φαινομένου είναι η μείωση της ορατότητας στην γέφυρα (καθόσον το νερό εκτοξεύεται με μορφή αφρού σε μεγάλο ύψος) και η αύξηση της πιθανότητας να προκληθεί ζημιά στο φορτίο ή/και στον εξοπλισμό καταστρώματος. Επιπλέον, η συσσώρευση νερού στο κατάστρωμα, μπορεί, σε εξαιρετικά ακραίες περιπτώσεις, να οδηγήσει ακόμα και σε ανατροπή [3]. Στην παρούσα διατριβή εξετάζεται ως κριτήριο ο αριθμός των συμβάντων ανά ώρα.

Ανάδυση θόλου ανθυποβρυχιακής συσκευής (sonar emergence).

Η ανάδυση του θόλου της ανθυποβρυχιακής συσκευής είναι το φαινόμενο, κατά το οποίο η πρωραία ακμή του θόλου στο σημείο επαφής με την γάστρα εξέρχεται από το νερό. Προκαλεί μείωση της απόδοσης της συσκευής κατά την διάρκεια των ανθυποβρυχιακών επιχειρήσεων, καθόσον η εκπομπή και λήψη του σήματος γίνεται με διαρκή μεταβολή της διόπτρευσης (bearing) λόγω του κυματισμού. Πλήρης απόδοση της συσκευής αναμένεται εντός των ορίων που θέτουν οι Smith και Thomas [1]. Χαρακτηριστικό δε είναι η διάκριση που γίνεται μεταξύ ενεργητικής (εκπομπή και λήψη) και παθητικής (μόνο λήψη) συσκευής. Επιπρόσθετα, στην παρούσα διατριβή εμφανίζονται και οι δύο σχεδιαστικές τάσεις για την τοποθέτηση του θόλου: από την μια υπάρχει η ΜΕΚΟ με την ανθυποβρυχιακή συσκευή τοποθετημένη στην τρόπιδα πρύμνηθεν της πλώρας (keel mounted) και από την άλλη τα 5415 και ONR 5613 με τον θόλο στα ύφαλα της πλώρας (hull mounted). Ως κριτήριο εξετάζεται ο αριθμός των συμβάντων ανά ώρα.

Ανάδυση έλικας (propeller emergence).

Η ανάδυση της έλικας είναι το φαινόμενο, κατά το οποίο τα πτερύγια της έλικας αναδύονται κατά το 1/4 έξω από το νερό. Αποτέλεσμα αυτής της κίνησης είναι η ξαφνική μείωση και ακολούθως η, επίσης ξαφνική, αύξηση της ροπής, καθώς η έλικα βυθίζεται πλήρως. Η απότομη αυξομείωση μπορεί να προκαλέσει ζημιά στην προωστήρια μηχανή, τον άξονα ή και τα πτερύγια, ενώ οδηγεί και σε ακούσια μείωση της ταχύτητας του πλοίου (involuntary speed loss). Τα λεπτόγραμμα πολεμικά πλοία με τα, συνήθως κεκλιμένα, αξονικά σπάνια συναντούν πρόβλημα ακούσιας μείωσης ταχύτητας λόγω ανάδυσης της έλικας, καθόσον οι παράγοντες που προκαλούν εκούσια μείωση της ταχύτητας (όπως π.χ. ο διατοιχισμός, η σφυρόκρουση και η διαβροχή καταστρώματος) εμφανίζονται

νωρίτερα [1]. Επιπρόσθετα, τα λεπτόγραμμα πολεμικά έχουν μικρότερη ακούσια μείωση ταχύτητας σε σχέση με τα «γεμάτα» πλοία. Επίσης, το πρόβλημα με το φαινόμενο της ανάδυσης της έλικας δεν έγκειται τόσο στην υπερφόρτωση της προωστήριας μηχανής, δεδομένου ότι σήμερα οι περισσότερες από αυτές έχουν μηχανισμούς ρύθμισης στροφών, καθώς και αυτοματισμούς προστασίας από υπερτάχυνση. Όμως, προβληματίζουν τα φαινόμενα σπηλαίωσης και του επαγόμενου αυτοθορύβου της έλικας. Αλλά, επί του παρόντος, δεν έχουν θεσπισθεί κριτήρια που να σχετίζονται με την εμφάνιση της σπηλαίωσης και του αυτοθορύβου, επομένως ως κριτήριο χρησιμοποιείται ο αριθμός συμβάντων του φαινομένου ανά ώρα [1].

12. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.

Οι υπολογισμοί στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής έγιναν με χρήση του υπολογιστικού κώδικα S.M.P. (Standard Ship Motion Program). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα παρέχει την δυνατότητα πρόβλεψης των αποκρίσεων (κινήσεις, στροφές, ταχύτητες κι επιταχύνσεις) ενός πλοίου, το οποίο κινείται με σταθερή ταχύτητα σε αυθαίρετη διεύθυνση σε τυχαίους (irregular) κυματισμούς, μονοκατευθυντικούς (long-crested seas) και πολυκατευθυντικούς (short-crested seas). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα θεωρεί τους μετωπικούς κυματισμούς με γωνία 0° . Οι κυματισμοί μοντελοποιούνται με χρήση του διπαραμετρικού φάσματος Bretschneider. Η ενέργεια του κυματικού φάσματος κατανέμεται 90° εκατέρωθεν της κύριας κατεύθυνσης. Τα αποτελέσματα λαμβάνονται ανά 15° . Στην παρούσα διατριβή εξετάζονται πολυκατευθυντικοί κυματισμοί (short-crested). Το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί 4 διαφορετικά εύρη συχνότητων κυματισμών, ανάλογα με την περίοδο διατοιχισμού τού υπό εξέταση πλοίου.

Range	Type of Ship/Boat	Roll Period Seconds	Wave Periods Seconds	Maximum Resolution Range Seconds
#1	Carriers/large ships	$T_\phi > 15$	3.14 – 31.4	12.56 – 22.43
#2	Frigates/Destroyers	$9 < T_\phi < 15$	2.62 – 31.4	10.47 – 15.70
#3	USCG/USN small ships	$5 < T_\phi < 9$	1.57 – 31.4	6.28 – 12.56
#4	USCG boats	$T_\phi < 5$	1.57 – 31.4	2.09 – 6.28

Επιπλέον, για την μη γραμμική πρόβλεψη του διατοιχισμού χρησιμοποιείται επαναληπτική διαδικασία. Υπολογίζεται ο μη γραμμικός όρος της απόσβεσης του roll (ο οποίος γίνεται σημαντικότερος όσο αυξάνει η ταχύτητα του πλοίου) ως συνάρτηση της μέσης τιμής της γωνίας του roll. Χρησιμοποιούνται οκτώ τιμές της μέσης τιμής από 0.5 έως 40° . Επομένως, παρέχονται οκτώ λύσεις για την εξίσωση της κίνησης σε κάθε ταχύτητα, διεύθυνση και συχνότητα κύματος που ορίζεται στον κώδικα. Οι συναρτήσεις μεταφοράς δημιουργούν μια βάση δεδομένων, η οποία χρησιμοποιείται στην επαναληπτική διαδικασία προκειμένου να εξαχθούν οι αποκρίσεις στους τυχαίους κυματισμούς [11].

Η σχέση υπολογισμού που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη των στατιστικών τιμών απόκρισης (Response Statistical Value, RSV) του διατοιχισμού σε πραγματικές θάλασσες, για δεδομένη ταχύτητα, γωνία συνάντησης και περίοδο κορυφής του φάσματος του τυχαίου κυματισμού δίνεται ως:

$$\Phi_{RSV}(\bar{\phi}) = \text{STATIS } H_{1/3} \sigma_\phi(\bar{\phi}) \quad (I)$$

όπου, STATIS είναι μια σταθερά Rayleigh, $H_{1/3}$ είναι το σημαντικό ύψος κύματος και σ_ϕ είναι η μέση τετραγωνική τιμή του διατοιχισμού σε θάλασσες με μία κατεύθυνση διάδοσης (long-crested seas) ή σε θάλασσες με πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις (short-crested seas). Η τιμή σ_ϕ υπολογίζεται για μια ομάδα σημαντικών υψών κύματος και αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων των μέσων τετραγωνικών τιμών, για μια σειρά από οκτώ μέσες τιμές γωνιών διατοιχισμού. Σε θάλασσες με πολλαπλές διευθύνσεις διάδοσης, η μέση τετραγωνική τιμή υπολογίζεται:

$$\sigma_{\phi SC}(\bar{\phi}) = \frac{2}{\pi} \int_{\mu-\pi/2}^{\mu+\pi/2} \cos^2(\nu - \mu) \sigma_{\phi LC}^2(\nu) d\nu$$

όπου:

μ είναι η επικρατούσα γωνία συνάντησης

$$\sigma_{\phi_{LC}}(\bar{\phi}) = \left(\int_0^{\omega^*} \xi_4^2 \left[B_{44}(\bar{\phi}) \right] S_{\zeta}(\omega) d\omega \right)^{1/2}$$

με $S_{\zeta}(\omega)$ το φάσμα του κύματος Bretschneider, υπολογιζόμενο για μοναδιαίο σημαντικό ύψος κύματος και ξ_4 η συνάρτηση μεταφοράς του διατοιχισμού που προκύπτει από τις παράλληλες εξισώσεις της κίνησης, χρησιμοποιώντας το συντελεστή απόσβεσης διατοιχισμού B_{44} . Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται ως συνάρτηση της μέσης γωνίας διατοιχισμού.

Η εξίσωση (I) πρέπει να λυθεί με επαναληπτική διαδικασία έτσι ώστε το στατιστικό πλάτος του διατοιχισμού ϕ_{RSV} να είναι ίσο με τη μέση γωνία διατοιχισμού $\bar{\phi}$.

Τα δεδομένα που παρέχει το πρόγραμμα είναι:

α. Κινήσεις. Υπολογίζονται οι αποκρίσεις του πλοίου και περιλαμβάνουν κινήσεις, στροφές, ταχύτητες κι επιταχύνσεις στους 6 βαθμούς ελευθερίας (surge, sway, heave, roll, pitch, yaw).

β. Κινήσεις σε σημείο. Υπολογίζονται οι διαμήκεις, εγκάρσιες και κατακόρυφες κινήσεις, ταχύτητες κι επιταχύνσεις σε μέχρι 10 αυθαίρετα σημεία.

γ. Σχετικές κινήσεις και ταχύτητες σε σημείο. Οι αποκρίσεις αυτές υπολογίζονται σε μέχρι 10 αυθαίρετα σημεία, τα οποία μπορεί να είναι διαφορετικά από αυτά της παραπάνω παραγράφου.

δ. Πιθανότητα και συχνότητα εμφάνισης σφυρόκρουσης, διαβροχής και ανάδυσης στα σημεία όπου υπολογίζονται οι σχετικές κινήσεις.

ε. Δομικά φορτία. Υπολογίζονται οι τάσεις και οι ροπές κάμψης σε μέχρι 10 σημεία της γάστρας.

Ο υπολογισμός των κατακορύφων αποκρίσεων στηρίχθηκε στην θεωρηθείσα γραμμικότητα τους, δηλαδή, αν είναι γνωστή η απόκριση για μοναδιαίο ύψος κύματος ($H_s=1m$), τότε αρκεί αυτή να πολλαπλασιασθεί με το ύψος κύματος που μελετάται για να βρεθεί η απόκριση σε αυτό. Έτσι, με βάση τη σχέση:

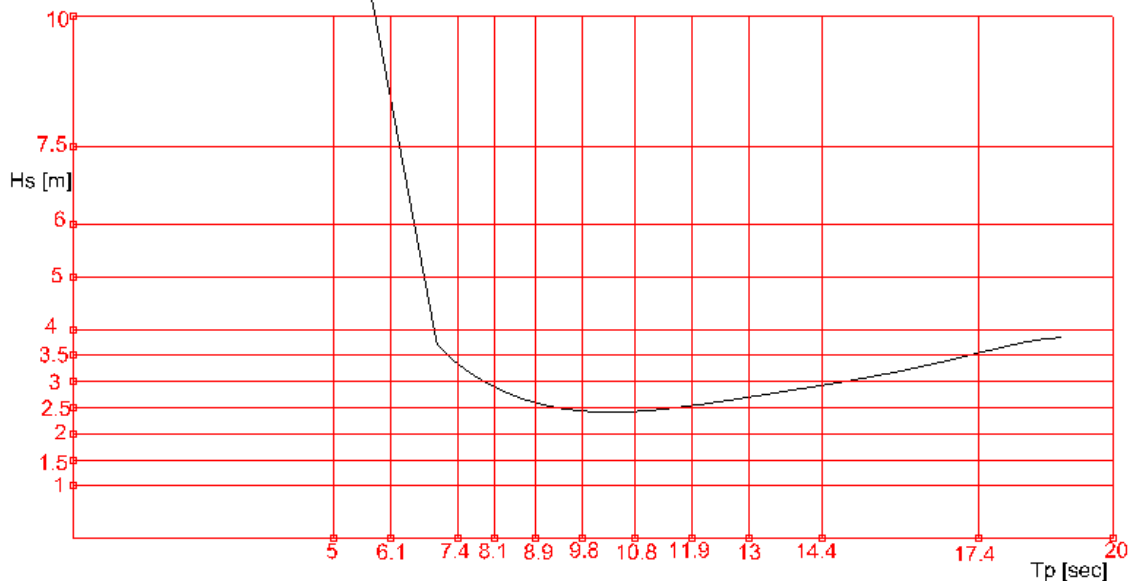
$$\text{ΟΡΙΑΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ} = \frac{\text{CRITERION}}{\text{RMS ΤΙΜΗ}}$$

μπορεί να βρεθεί το σημαντικό ύψος κύματος που αποτελεί το όριο, πάνω από το οποίο δεν ικανοποιείται το συγκεκριμένο κριτήριο. Αυτό το οριακό ύψος κύματος απεικονίσθηκε γραφικά σε συνάρτηση με την περίοδο κορυφής T_p . Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής οι αποκρίσεις που ανταποκρίνονται στην παραπάνω θεώρηση είναι:

α. Pitch (προνευστασμός).

β. Vertical Velocity (κατακόρυφη ταχύτητα).

γ. Vertical Acceleration (κατακόρυφη επιτάχυνση).

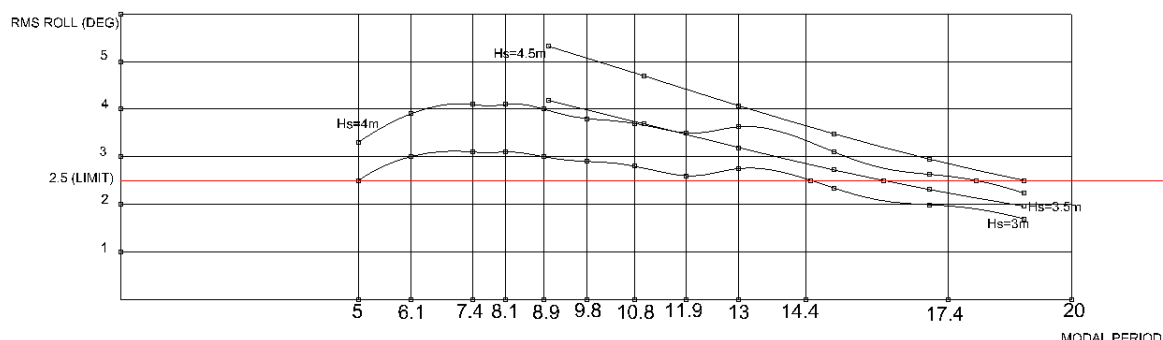


Διάγραμμα κριτηρίου PITCH στους 15 Kts για γωνία 0 deg.

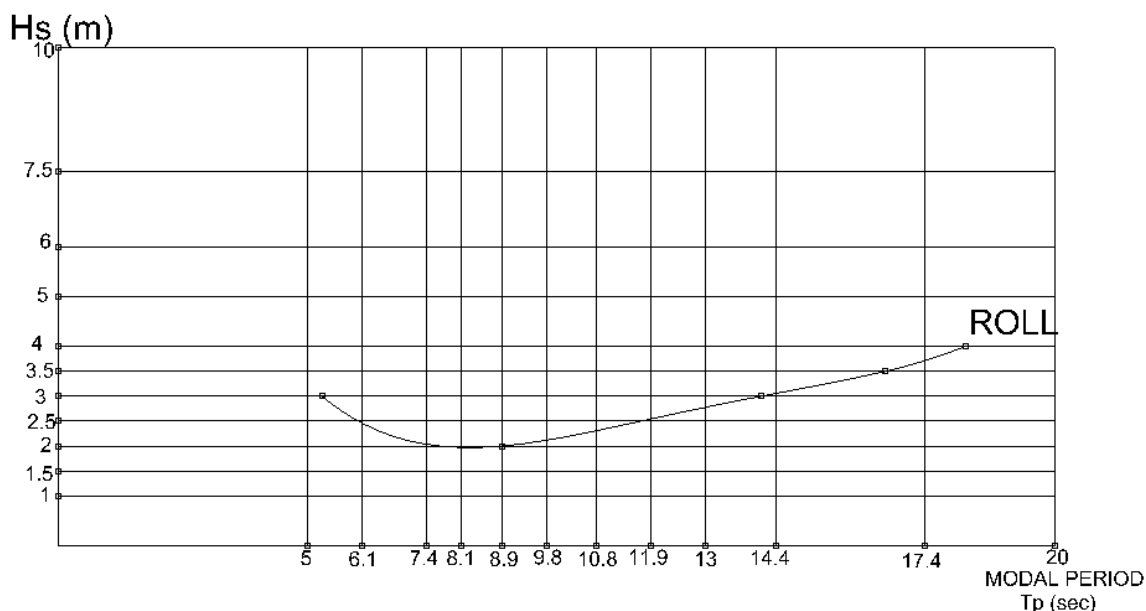
Για τις υπόλοιπες αποκρίσεις, έγινε υπολογισμός των RMS τιμών τους για το σύνολο των κυματισμών ενδιαφέροντος ($H_s=1$ έως 6 m) σε διάφορες περιόδους κορυφής T_p και ακολούθως

κατασκευάστηκαν οι καμπύλες διαγραμμάτων T_p -RMS value. Εν συνεχεία, υπολογίσθηκαν τα σημεία τομής των καμπυλών αυτών με την γραφική απεικόνιση της οριακής τιμής του κριτηρίου για κάθε απόκριση. Ακολουθώντας τα σημεία αυτά απεικονίσθηκαν σε καμπύλες διαγραμμάτων T_p - H_s , οι οποίες αποτελούν και τις καμπύλες των αντιστοίχων κριτηρίων.

Και στις δύο περιπτώσεις, η περιοχή κάτω από την καμπύλη κριτηρίου εκφράζει την λειτουργησιμότητα του πλοίου για το συγκεκριμένο κριτήριο, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η πορεία του πλοίου.

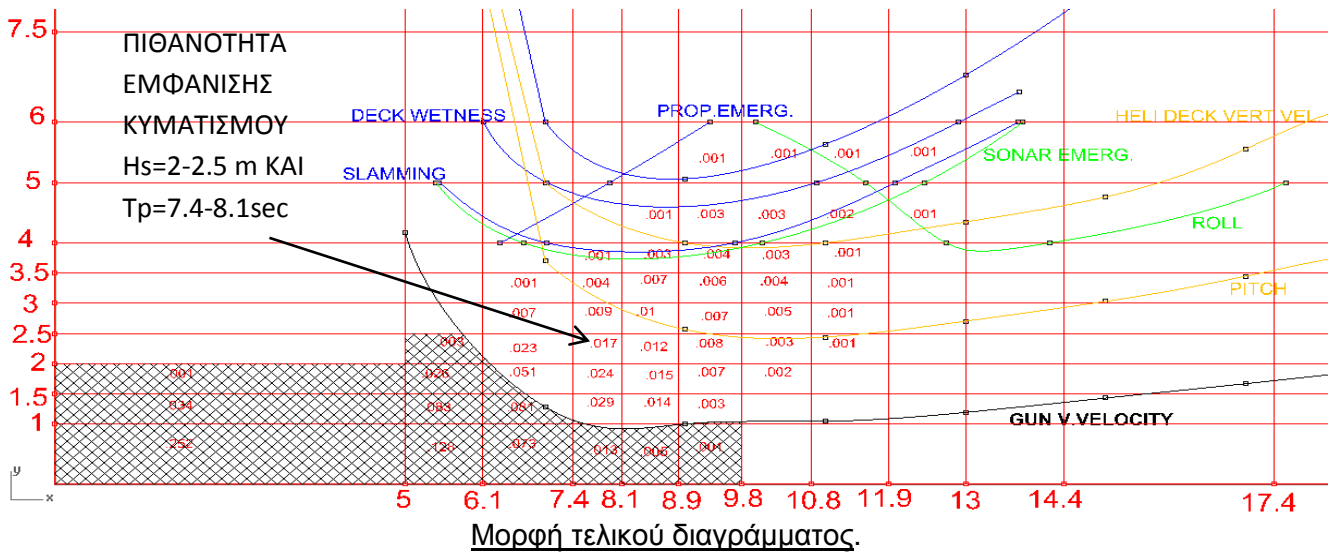


Διάγραμμα T_p -RMS roll value για διάφορα ύψη κύματος, στους 15 Kts για γωνία 90 deg. Η κόκκινη ευθεία αφορά το όριο (LIMIT) για το roll, 2.5° . Ενδιαφέρουν τα σημεία τομής των διαγραμμάτων με το όριο.



Διάγραμμα κριτηρίου ROLL στους 15 Kts για γωνία 90 deg. Τα σημεία τομής του ανωτέρω διαγράμματος T_p -RMS roll value με την ευθεία του ορίου κατασκευάζουν την καμπύλη του κριτηρίου που φαίνεται στο σχήμα.

Τα τελικά διαγράμματα εξάχθηκαν για κάθε πλοίο σε κάθε ταχύτητα και σε κάθε πορεία, τοποθετώντας τις γραφικές απεικονίσεις των κριτηρίων σε ένα κοινό διάγραμμα T_p - H_s για κάθε περιοχή και για κάθε κατεύθυνση διάδοσης κυματισμού. Να σημειωθεί ότι οι αριθμοί που εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα μέσα στα ορθογώνια του κάρναβου κάθε περιοχής, αποτελούν την πιθανότητα εμφάνισης του κύματος με H_s να ορίζεται από την άνω και κάτω τεταγμένη και περίοδο κορυφής T_p που ορίζεται από την μικρότερη και την μεγαλύτερη τετμημένη. Δηλαδή, στο σχήμα που ακολουθεί, η πιθανότητα εμφάνισης ενός κύματος με H_s από 2 έως 2.5 m και περίοδο κορυφής T_p από 7.4 έως 8.1 sec στην περιοχή 1 είναι 0.017 (1.7%).



Η διαγραμμισμένη περιοχή είναι ο δείκτης λειτουργησιμότητας (operability index) του πλοίου για συγκεκριμένη ταχύτητα, γωνία συνάντησης και θαλάσσια περιοχή (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η πορεία του πλοίου). Δηλαδή, είναι το ποσοστό του χρόνου για το οποίο το εν λόγω πλοίο μπορεί να εκτελέσει το συνδυασμό των αποστολών που προαναφέρθηκαν χωρίς περιορισμό και χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η πορεία του πλοίου.

Επιπλέον, το διάγραμμα δίνει πληροφορίες και για τις συνθήκες εκείνες που καθιστούν απαγορευτική την εκτέλεση ενός ή περισσότερων αποστολών. Οι καμπύλες των κριτηρίων έχουν κωδικοποιηθεί χρωματικά, ανάλογα με το είδος της αποστολής στην οποία περιλαμβάνονται. Έτσι, οι καμπύλες των κριτηρίων για αποστολές TAP απεικονίζονται με μπλε χρώμα, για αποστολές ASW με πράσινο, για αποστολές NAO με κίτρινο και για αποστολές AAW με μαύρο.

Όσον αφορά τις ορθογώνιες περιοχές του καννάβου, οι οποίες περιλαμβάνονται μερικώς κάτω από την χαμηλότερη καμπύλη των κριτηρίων, η συμμετοχή τους στον δείκτη λειτουργησιμότητας βρέθηκε με υπολογισμό κάθε φορά (στο σχεδιαστικό πρόγραμμα RHINOCEROS 4.0) του λόγου των εμβαδών τής, υπό την καμπύλη, περιοχής προς το εμβαδόν της ορθογώνιας περιοχής. Ακολούθως, ο λόγος αυτός πολλαπλασιάστηκε με την πιθανότητα εμφάνισης κυματισμού με χαρακτηριστικά H_s-T_p που ορίζονται από την ορθογώνια περιοχή.

ΔΕΙΚΤΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ (ΔΕΝ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ)

AREA 1 35 N, 22 E									
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ	0			45			90		
SPEED	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	0.6954	0.73578	0.78723	0.67353	0.72056	0.77663	0.70816	0.76873	0.82167
25	0.7018	0.76593	0.7869	0.6673	0.71754	0.75452	0.72147	0.77417	0.7975

AREA 2 36 N, 21 E									
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ	0			45			90		
SPEED	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	0.73607	0.77116	0.81606	0.71852	0.75949	0.80701	0.74894	0.80076	0.84513
25	0.74092	0.79688	0.81529	0.71248	0.75589	0.78775	0.76088	0.8051	0.82434

AREA 3 36 N, 27 E									
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ	0			45			90		
SPEED	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	0.78949	0.82464	0.86865	0.76247	0.7935	0.84617	0.78416	0.83103	0.87242
25	0.79321	0.85614	0.8697	0.75689	0.79675	0.82786	0.79461	0.84223	0.86467

AREA 4 38 N, 25.5 E									
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ	0			45			90		
SPEED	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	0.84676	0.868	0.89	0.81355	0.83112	0.86467	0.80971	0.84372	0.87326
25	0.85711	0.90133	0.90311	0.81846	0.84411	0.8619	0.82647	0.85991	0.87551

Δείκτες λειτουργησιμότητας (operability indices) για συγκεκριμένη ταχύτητα, γωνία συνάντησης και θαλάσσια περιοχή (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η πορεία πλοίου).

13.ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ (OPERABILITY ASSESSMENT).

Το ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι : «Ποιό το ετήσιο μέσο ποσοστό % του χρόνου για το οποίο το πλοίο μπορεί να εκτελεί την αποστολή (ή τις αποστολές) του σε μια συγκεκριμένη (ή συγκεκριμένες) περιοχές επιχειρήσεων;» [1].

Εδώ χρησιμοποιούνται πληροφορίες που αφορούν τις ανεμολογικές και κυματικές συνθήκες μιας περιοχής που μπορεί να συναντήσει το πλοίο, καθώς και συνδυασμοί ταχύτητας και πορείας. Αν είναι γνωστά τα όρια των αποκρίσεων που προκαλούνται στο πλοίο από το θαλάσσιο περιβάλλον για μια συγκεκριμένη αποστολή, τότε μπορούμε να προσδιορίσουμε εάν η αποστολή αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε αυτόν τον ιδιαίτερο συνδυασμό συνθηκών. Γενικεύοντας τους υπολογισμούς για να συμπεριλάβουμε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς θαλάσσιων περιοχών, εποχών, διευθύνσεων κύματος, σημαντικών υψών κύματος, περιόδων κορυφής, ταχυτήτων πλοίου και πορειών, μας επιτρέπεται ο υπολογισμός του ποσοστού του χρόνου κατά το οποίο η αποστολή μπορεί να εκτελεσθεί [3]. Να σημειωθεί ότι συνήθως υπάρχει ένας συμβιβασμός μεταξύ δείκτη λειτουργησιμότητας και κόστους του πλοίου, καθώς στο στάδιο της σχεδίασης μπορεί να γίνει αποδεκτό να μην μπορεί το πλοίο να εκπληρώσει την αποστολή του σε κάποιες σπάνια εμφανιζόμενες περιπτώσεις (scenarios), που θεωρούνται και ήσσονος σημασίας [1].

Το πρώτο ουσιαστικό στοιχείο σε οποιοδήποτε υπολογισμό της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας είναι ο προσδιορισμός του θαλάσσιου περιβάλλοντος, στο οποίο το πλοίο θα λειτουργεί. Αυτό παρουσιάζεται στο διάγραμμα διασποράς που ακολουθεί. Εκεί παριστάνονται δύο παραδείγματα από τις κατανομές της συχνότητας να ταξιδέψει το πλοίο σε μια θαλάσσια περιοχή και εποχή: ένα φορτηγό πλοίο με πορεία τον διάπλου του Ατλαντικού και ένα πολεμικό πλοίο που λειτουργεί στον Βόρειο Ατλαντικό.

Sea area	Transatlantic cargo ship				Warship				
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	
1	0	0	0	0	.10	.10	.10	.05	
2	0	0	0	0	.03	.03	.03	0	
3	0	0	0	0	.20	.20	.20	.10	
4	0	0	0	0	.20	.20	.20	.10	
8	0	0	0	0	.04	.04	.04	.07	
9	0	0	0	0	.04	.04	.04	.07	
10	.11	.11	.11	.11	.07	.07	.07	.10	
11	.0	0	0	0	.07	.07	.07	.10	
15	.25	.25	.25	.25	.04	.04	.04	.07	
16	.44	.44	.25	.25	.04	.04	.04	.07	
17	0	0	0	0	.07	.07	.07	.10	
23	.07	.07	.07	.07	.04	.04	.04	.07	
24	.13	.13	.13	.13	.03	.03	.03	.05	
25	.0	0	0	0	.03	.03	.03	.05	
	.25	.25	.25	.25	f_{season}	.25	.25	.25	f_{season}

Τυπική υπό συνθήκη κατανομή συχνότητας της θαλάσσιας περιοχής για δεδομένες εποχές στο Β. Ατλαντικό.

Άλλο πρόβλημα είναι αυτό της διαδρομής που επιλέγει ο κυβερνήτης για να κινηθεί το πλοίο του, από το λιμάνι απόπλου στο λιμάνι προορισμού (optimal routing problem). Η επιλογή της πορείας του πλοίου εξαρτάται τόσο από τη γεωγραφική θέση των λιμανιών, όσο και από διάφορους οικονομοτεχνικούς παράγοντες. Δεδομένου όμως, ότι η αξιοπλοΐα και η ασφάλεια του σκάφους, του πληρώματος και του φορτίου αποτελούν ουσιαστικές παραμέτρους ευθύνης και ενδιαφέροντος του κυβερνήτη, η τελική επιλογή της πορείας επηρεάζεται και από τις καιρικές συνθήκες και τις καταστάσεις θάλασσας που θα συναντήσει το σκάφος στην πορεία του.

Πολλές φορές, είναι προτιμότερο το σκάφος να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση για να αποφύγει μία πολύ δυσμενή κατάσταση θάλασσας, όπου θα κινδυνεύσει ή θα αναγκαστεί να κινηθεί με μικρή ταχύτητα για να αποφύγει υπερβολικές αποκρίσεις. Η απαιτούμενη κατανομή συχνότητας της ταχύτητας και της πορείας, δίνεται στη μορφή του ακόλουθου σχήματος. Για ένα φορτηγό πλοίο που διασχίζει τον Ατλαντικό, η απαιτούμενη πορεία είναι προς τα δυτικά ή ανατολικά, εξαρτώμενη από την κατεύθυνση του ταξιδιού. Η ταχύτητα απαιτείται να είναι η μέγιστη οικονομική ταχύτητα υπηρεσίας.

Ship speed (knots)	Ship course							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
30	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	1.0	0	0	0	1.0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0

f_{course}

(a) Transatlantic cargo ship

Τυπική υπό συνθήκη κατανομή συχνότητας της ταχύτητας για δεδομένες πορείες πλοίου (φορτηγό πλοίο).

Τα παραπάνω διαφοροποιούνται πολύ στην περίπτωση που εξετάζεται ένα πολεμικό πλοίο. Στη γενική θεώρηση, όλες οι πορείες είναι ισοδύναμα πιθανές και απαιτείται ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων, το οποίο όμως σχετίζεται άμεσα και με την αποστολή που θα εκτελέσει το πλοίο (π.χ. δεν έχει νόημα να εξετάζεται η μέγιστη ταχύτητα του πλοίου στην περίπτωση που εκτελεί ανθυποβρυχιακή αποστολή εκπέμποντας με το sonar, γιατί κάτι τέτοιο είναι απίθανο να συμβεί).

		Ship course							
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Ship speed (knots)	30	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01
	25	.10	.10	.10	.10	.10	.10	.10	.10
	20	.50	.50	.50	.50	.50	.50	.50	.50
	15	.30	.30	.30	.30	.30	.30	.30	.30
	10	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07
	5	.02	.02	.02	.02	.02	.02	.02	.02
	0	.125	.125	.125	.125	.125	.125	.125	.125
			f_{course}						

(b) Warship

Τυπική υπό συνθήκη κατανομή συχνότητας της ταχύτητας για δεδομένες πορείες πλοίου (πολεμικό πλοίο).

Η μέθοδος υπολογισμού της λειτουργικής αποτελεσματικότητας που περιγράφεται εδώ, είναι μια απλοποιημένη έκδοση αυτής που προτάθηκε από τους Andrew, Loader και Penn (1984). Σ'αυτήν, το περιβάλλον λειτουργίας προσδιορίζεται υπό μορφή διαγράμματος των εποχών και των θαλασσιών περιοχών όπως έχουν ήδη παρουσιαστεί σε παραπάνω σχήμα. Για κάθε συνδυασμό θαλάσσιας περιοχής και εποχής λαμβάνεται η συχνότητα κατανομής των υπό συνθήκη διευθύνσεων κύματος f_x , από έναν κατάλληλο άτλαντα κυμάτων. Για κάθε διεύθυνση κυματισμού, η ίδια πηγή δίνει την από κοινού συχνότητα κατανομής των περιόδων μηδενικής υπέρβασης και σημαντικών υψών κύματος, f_{TH} . Στη συνέχεια, για κάθε κατάσταση κύματος μπορούν να υπολογισθούν όλες οι κινήσεις του πλοίου για κάθε δυνατό συνδυασμό πορειών πλοίου και ταχυτήτων. Στην πράξη, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κινήσεις εκείνες που είναι σχετικές με την ιδιαίτερη αποστολή που εξετάζεται (κριτήρια αποστολής). Οι απαιτούμενες γωνίες συνάντησης των κυματισμών σε αυτούς τους υπολογισμούς, προκύπτουν από τη σχέση μεταξύ της πορείας του πλοίου και τις επικρατούσας διεύθυνσης κυματισμού (με αναφορά το Βορρά).

Κάποιες από αυτές τις αποκρίσεις (κριτήρια αποστολής) ίσως να ξεπερνούν τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές (όριο κριτηρίου). Εάν αυτό συμβαίνει, τότε η λειτουργία του πλοίου κρίνεται αδύνατη και το πλοίο δεν μπορεί να επιτελέσει την αποστολή του.

Το ποσοστό του χρόνου που δαπανά ένα πλοίο σε μια εποχή του έτους, θαλάσσια περιοχή, διεύθυνση κυματισμού, περίοδο μηδενικής υπέρβασης και σημαντικού ύψους, ταξιδεύοντας με δεδομένη ταχύτητα και πορεία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$P = f_{season} f_{area} f_x f_{TH} f_{course} f_U \quad \text{όπου,}$$

f_{season} η συχνότητα κατανομής της εποχής

f_{area} η υπό συνθήκη κατανομή συχνότητας των θαλασσιών περιοχών λειτουργίας του πλοίου για δεδομένη εποχή

f_x η υπό συνθήκη κατανομή συχνότητας των κυρίαρχων διευθύνσεων κυματισμού ως προς το Βορρά για δεδομένη εποχή και θαλάσσια περιοχή

f_{TH} η από κοινού συχνότητα κατανομής της περιόδου μηδενικής υπέρβασης και των σημαντικών υψών κύματος για μια δεδομένη εποχή, θαλάσσια περιοχή και διεύθυνση κυματισμού

f_{course} η συχνότητα κατανομής των πορειών του πλοίου με αναφορά τον Βορρά

f_U η υπό συνθήκη κατανομή συχνότητας των ταχυτήτων του πλοίου για μια δεδομένη πορεία

Το πλοίο μπορεί να εκτελέσει επιτυχώς την αποστολή του, εάν όλες οι αποκρίσεις είναι μικρότερες από τα κρίσιμα επίπεδα για την εξεταζόμενη αποστολή. Το ποσοστό του χρόνου κατά το

οποίο συμβαίνει αυτό, λαμβάνεται από το βαρυτικό αθροισμα όλων των πιθανών τιμών της P και μπορεί να γραφτεί ως εξής:

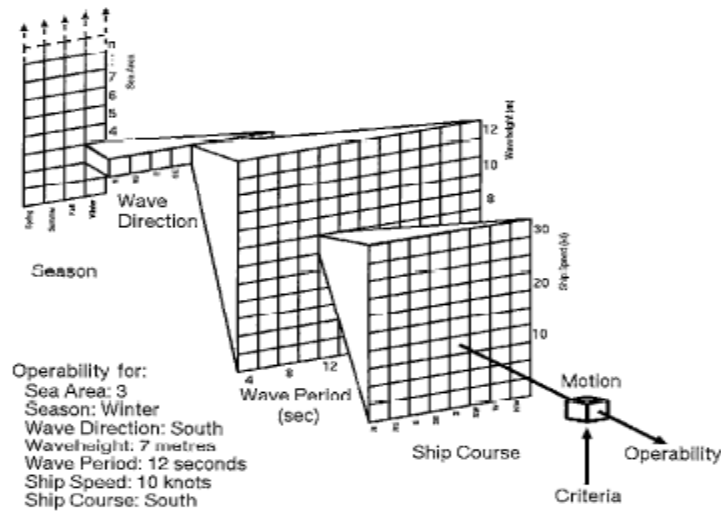
$$E = \sum_{\text{season}} \sum_{\text{area}} \sum_x \sum_{\text{TH}} \sum_{\text{course}} \sum_U (P \Gamma_1 \Gamma_2 \Gamma_3 \dots \Gamma_N)$$

όπου, \sum_{season} , \sum_{area} , \sum_x , \sum_{TH} , \sum_{course} και \sum_U υποδηλώνουν άθροιση σε όλες τις εποχές, περιοχές, διευθύνσεις κυματισμού, περιόδων μηδενικής υπέρβασης και σημαντικών υψών κύματος, πορειών πλοίου και ταχυτήτων αντίστοιχα. Γ_N είναι μια αθροιστική συνάρτηση που προσδιορίζεται :

$$\Gamma_N = 1 \text{ για } r_n < r_{\text{ncrit}}$$

$$\Gamma_N = 0 \text{ για } r_n > r_{\text{ncrit}}$$

όπου, r_n είναι η ν-οστή σημαντική απόκριση και r_{ncrit} η κρίσιμη τιμή αυτής. [3]



Υπολογισμός της λειτουργησιμότητας [4].

14.ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιείται μια τροποποιημένη διαδικασία υπολογισμού. Από τα διαγράμματα που δίνουν την πιθανότητα εμφάνισης των κυματισμών συναρτήσε του σημαντικού ύψους κύματος H_s και της περιόδου κορυφής T_p , μπορούμε να υπολογίσουμε σε κάθε περιοχή σε κάθε ταχύτητα και σε κάθε πορεία πλοίου το ποσοστό του χρόνου που το πλοίο είναι λειτουργικό, για κάθε συνδυασμό κυμάτων και περιόδων. Αν τώρα, θεωρηθεί ότι το ενδιαφέρον εστιάζεται στην λειτουργησιμότητα κατά την διάρκεια ενός έτους, δηλαδή σε ετήσια βάση, τότε η συχνότητα κατανομής της εποχής f_{season} ισούται με την μονάδα. Επιπλέον, αν θεωρηθεί ότι η κατεύθυνση συνάντησης των κυματισμών είναι 0° , 45° και 90° και δεδομένου ότι μελετώνται τυχαίοι πολυκατευθυντικοί κυματισμοί, πρέπει να βρεθεί η πιθανότητα εμφάνισης κυματισμών τέτοιων, που να ανταποκρίνονται σε αυτές τις κατευθύνσεις σε σχέση με την πορεία του πλοίου. Πρέπει λοιπόν να ορισθούν πρώτα οι πορείες του πλοίου σε κάθε περιοχή (AREA). Υποτέθηκαν οι ακόλουθες πορείες πλοίου ως προς τον Βορρά:

AREA	ΠΟΡΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ ($^\circ$)
1 (35N,22E)	45
2 (36N,21E)	90
3 (36N,27E)	135
4 (38N,25.5E)	0

Με βάση αυτές τις πορείες θα βρεθούν οι πιθανότητες εμφάνισης (probability of occurrence) των κυματισμών στις τρεις υπό εξέταση κατευθύνσεις συνάντησης (0° , 45° , 90°).

Η κατεύθυνση διάδοσης κυματισμών ελήφθη με γνώμονα ποιές κατευθύνσεις έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης συνολικά. Παραδείγματος χάρη, για πορεία πλοίου 45° στην AREA 1 (και αντίστοιχα και για τις υπόλοιπες περιοχές) υπάρχουν 2 περιπτώσεις:

1). Να θεωρηθούν ως κατευθύνσεις διάδοσης κυματισμών αυτές που αντιστοιχούν σε γωνίες 45°, 90° και 135° (που αντιστοιχούν σε κατεύθυνση συνάντησης των κυματισμών 0°, 45° και 90° αντίστοιχα).

2). Να θεωρηθούν ως κατευθύνσεις διάδοσης κυματισμών αυτές που αντιστοιχούν σε γωνίες 45°, 0° και 315° (που αντιστοιχεί σε κατεύθυνση συνάντησης των κυματισμών 0°, 45° και 90° αντίστοιχα).

Όπως μπορεί να υπολογισθεί από τα ιστογράμματα «σημαντικού ύψους κύματος-διεύθυνσης κύματος κατ' έτος» του άτλαντα, οι κατευθύνσεις διάδοσης κυματισμών της δεύτερης περίπτωσης έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης. Άρα αυτές θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης κυματισμών (probability of occurrence) γίνεται, θεωρώντας κατεύθυνση διάδοσης 15° εκατέρωθεν της θεωρούμενης ως κύριας κατεύθυνσης.

Δηλαδή, για τον υπολογισμό π.χ. της πιθανότητας εμφάνισης κυματισμών με κατεύθυνση διάδοσης 0° υπολογίστηκε από τους άτλαντες η πιθανότητα εμφάνισης κυματισμών με κατεύθυνση από 345° έως και 15°. Αυτή η μέθοδος ακολουθήθηκε δεδομένου ότι ο άτλας που χρησιμοποιήθηκε παρείχε στοιχεία ανά 15°.

AREA	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ (PROBABILITY OF OCCURRENCE)/ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ (°)		
		0	45	90
1	45	0.1519/30°÷60°	0.0835/345°÷15°	0.3854/300°÷330°
2	90	0.1013/75°÷105°	0.0355/30°÷60°	0.0578/345°÷15°
3	135	0.0284/120°÷150°	0.0396/165°÷195°	0.0588/210°÷240°
4	0	0.541/345°÷15°	0.1074/300°÷330°	0.0294/255°÷285°

Ακολούθως η κάθε πιθανότητα εμφάνισης κυματισμών θα πολλαπλασιασθεί με ένα συντελεστή, με τέτοιο τρόπο, ώστε σε κάθε περιοχή το άθροισμα των αριθμών που θα προκύψουν να δίνει μονάδα. Οι αριθμοί αυτοί αποτελούν τους συντελεστές βαρύτητας (weighting factors, wf).

Έτσι οι συντελεστές βαρύτητας wf παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα:

AREA	LOCATION	ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ (wf) ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ			ΑΘΡΟΙΣΜΑ
		0°	45°	90°	
1	35 N, 22 E	0.24468	0.13451	0.62081	1
2	36 N, 21 E	0.52055	0.18243	0.29702	1
3	36 N, 27 E	0.22397	0.31231	0.46372	1
4	38 N, 25.5 E	0.79817	0.15845	0.04338	1

Συντελεστές βαρύτητας wf για κατευθύνσεις συνάντησης κυματισμού $i = 0°, 45°, 90°$.

Ο δείκτης λειτουργησιμότητας σε κάθε ταχύτητα και περιοχή βρίσκεται, αν πολλαπλασιασθεί η συχνότητα κατανομής της εποχής f_{season} επί το άθροισμα των γινομένων των συντελεστών βαρύτητας (wf) με το αντίστοιχο εμβαδόν (area) για κάθε πορεία πλοίου, δηλαδή:

$$OPERABILITY INDEX = f_{season} \times \sum (wf)_i \times (area)_i$$

και επειδή $f_{season}=1$, γιατί εξετάζεται η ετήσια λειτουργησιμότητα, τελικά:

$$\boxed{OPERABILITY INDEX = \sum (wf)_i \times (area)_i}$$

όπου ο δείκτης i αναφέρεται στις 0°, 45° και 90°.

Οι τελικοί δείκτες λειτουργησιμότητας, λαμβάνοντας υπόψη την πορεία του πλοίου και την κατεύθυνση διάδοσης του κυματισμού, παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα:

ΤΕΛΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ				
AREA 1 35 N, 22 E (Δυτικά νήσου Κρήτης)				
SPEED	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	45	70.04%	75.42%	80.72%
25	45	70.94%	76.45%	78.91%
AREA 2 36 N, 21 E (Νοτιοδυτικά Πελοποννήσου)				
SPEED	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	90	73.67%	77.78%	82.30%
25	90	74.17%	79.18%	81.30%
AREA 3 36 N, 27 E (Βόρεια νήσου Καρπάθου)				
SPEED	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	135	77.86%	81.79%	86.34%
25	135	78.25%	83.11%	85.43%
AREA 4 38 N, 25.5 E (Κεντρικό Αιγαίο)				
SPEED	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	0	83.99%	86.11%	88.53%
25	0	84.97%	89.05%	89.54%

Τελικοί δείκτες λειτουργησιμότητας (operability indices).

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνονται άμεσα τα παρακάτω:

α. Η δυσμενέστερη περιοχή σε όρους λειτουργησιμότητας για τα τρία υπό εξέταση πλοία είναι η AREA 1 35 N, 22 E (Δυτικά νήσου Κρήτης).

β. Την καλύτερη συμπεριφορά σε όρους λειτουργησιμότητας σ'όλες τις ταχύτητες και σ'όλες τις περιοχές την έχει ξεκάθαρα η γάστρα ΤΗ. Οι δείκτες λειτουργησιμότητας της εν λόγω γάστρας κυμαίνονται, για ταχύτητα 15 Kts από 80.72% έως 88.53%, ενώ για ταχύτητα 25 Kts από 78.91% έως 89.54%.

15.ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.

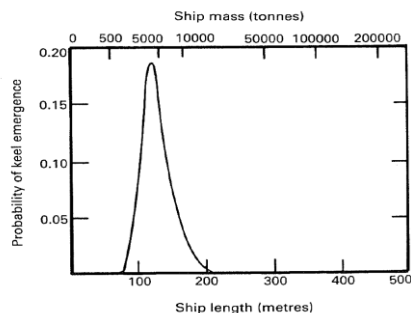
Παρά το γεγονός της αξιολόγησης των τριών γαστρών με καθαρά απόλυτη μέθοδο, η φυσιολογική τάση είναι να τίθενται ερωτήματα σχετικά με το πιο είναι το καλύτερο σκάφος. Υπό αυτό το πρίσμα παρουσιάζονται μερικές γενικές θεωρήσεις, οι οποίες βοηθούν στην συγκριτική αξιολόγηση των γαστρών και στη εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη δυναμική συμπεριφορά τους. Οι θεωρήσεις διαχωρίζονται με βάση τις αποκρίσεις, κατακόρυφες και οριζόντιες.

Κατακόρυφες κινήσεις:

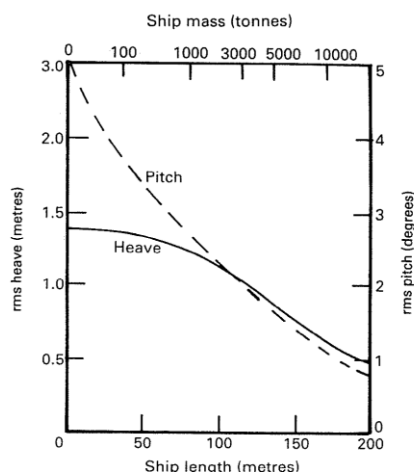
α.Μέγεθος της γάστρας (hull size).Καθορίζεται από το εκτόπισμα Δ και το μήκος L του πλοίου. Γενική αρχή είναι ότι όσο πιο μεγάλο είναι ένα πλοίο σε όρους Δ και L, τόσο πιο καλή δυναμική συμπεριφορά αναμένεται να έχει. Απ' την άλλη όμως, η αύξηση μόνο του εκτοπίσματος, διατηρώντας το μήκος σταθερό δεν έχει σημαντική επίδραση. Κι αυτό γιατί τόσο η αδράνεια όσο και οι δυνάμεις διέγερσης αναμένεται να αυξηθούν κατά το ίδιο ποσοστό, οπότε οι αποκρίσεις δεν θα αλλάξουν δραματικά.

Όσον αφορά το μήκος L, αυτό θα πρέπει να εξετάζεται σε σχέση με τα μήκη κυμάτων λ που το πλοίο θα συναντήσει. Για μικρά κύματα, $\lambda/L < 3/4$, οι αποκρίσεις είναι αμελητέες. Σε κυματισμούς μεγάλου μήκους, $\lambda/L > 2$, τότε οι αποκρίσεις του heave και του pitch γίνονται μεγάλες, καθόσον το πλοίο κινείται «μαζί» με τα κύματα.

Με άλλα λόγια τα πλοία έχουν την τάση να ακολουθούν τα πολύ μακριά, αλλά δεν αποκρίνονται στα πολύ κοντά κύματα.



Επίδραση του μεγέθους στην πιθανότητα ανάδυσης της πλώρης για μετωπικούς κυματισμούς με $H_s=5.5$ m, $T_p=12.4$ sec στους 20 Kts.



Επίδραση του μεγέθους στις RMS τιμές του HEAVE και του PITCH για μετωπικούς κυματισμούς με $H_s=5.5$ m, $T_p=12.4$ sec στους 20 Kts.

β. Συντελεστής λυγηρότητας $\frac{L}{\nabla}^{1/3}$: Μια μεγάλη τιμή είναι ευνοϊκή για τα ταχέως κινούμενα σκάφη.

Από πλευράς seakeeping, θεωρείται ότι, γενικά, ευνοεί την μείωση συνολικά των κατακόρυφων αποκρίσεων.

γ. L/T (Length to Draft ratio): Αύξηση του λόγου μειώνει την ιδιοσυχνότητα του heave αλλά και του pitch και ευνοεί την αποφυγή συντονισμού.

δ. $C_{vp} = C_B / C_{WP}$ (κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής): Αύξησή του προκαλεί αντίθετο αποτέλεσμα από το (γ).

ε. L/B (Length to Beam ratio): Η αύξηση του λόγου, όταν οφείλεται σε αύξηση του μήκους είναι γενικά ευεργετική για το seakeeping. Αν όμως το μήκος διατηρηθεί σταθερό, τότε η αύξηση του λόγου που προέρχεται από την μείωση του πλάτους, προκαλεί ενίσχυση του pitch. Κι αυτό γιατί η αύξηση του B συναπάγεται αύξηση της απόσβεσης. Τιμές του λόγου μεταξύ 10 και 20 έχουν αυξημένη πιθανότητα ανάδυσης της πλώρης (bow emergence).

στ. B/T (Beam to Draft ratio): Μεγάλος λόγος (που συνήθως υπονοεί πρωραίους νομείς μορφής V) ευνοεί την μεγαλύτερη απόσβεση αλλά ευνοεί και την υψηλότερη προκαλούμενη διέγερση από τους κυματισμούς (λόγω της αυξημένου βυθισμένου όγκου στην περιοχή της ισάλου). Αν δε το βύθισμα είναι μικρό, τότε ευνοείται η βύθιση του καταστρώματος και η σφυρόκρουση (slamming).

ζ. Διαμήκης θέση κέντρου βάρους (LCG): Δεν επιδρά σημαντικά στην δυναμική συμπεριφορά. Μια πρωραία μετάθεσή του μπορεί να βελτιώνει το pitch, όχι όμως και το heave.

Οριζόντιες κινήσεις:

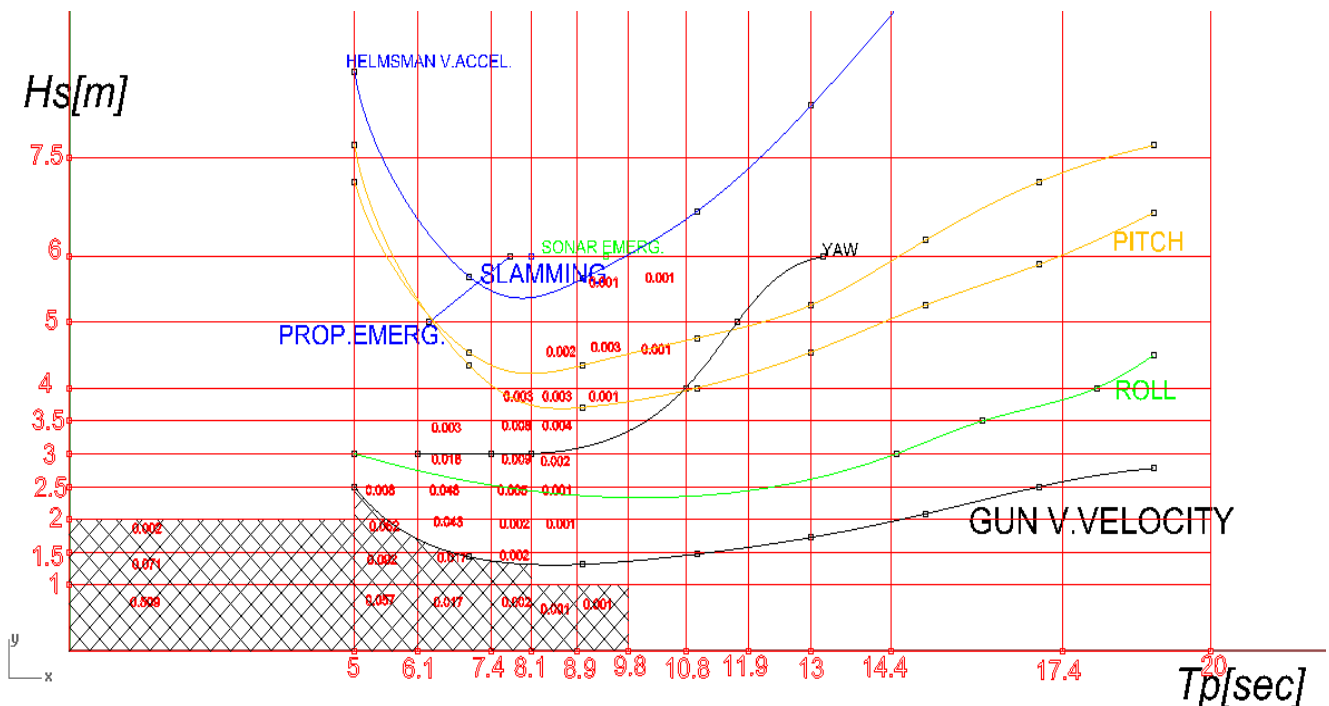
- α. B/T: Μείωση του λόγου, προκαλεί αύξηση της ιδιοπεριόδου του roll, επομένως μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης συντονισμού.
- β. $C_{vp}=C_B/C_{WP}$ (κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής): Αύξησή του, προκαλεί συμπεριφορά αντίστοιχη με την προηγούμενη περίπτωση.
- γ. C_B : Αύξησή του, βελτιώνει την απόσβεση του roll.
- δ. Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους (KG): Αύξησή του επιδρά ευνοικά στον συντονισμό, όχι όμως και στην ευστάθεια.

16.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

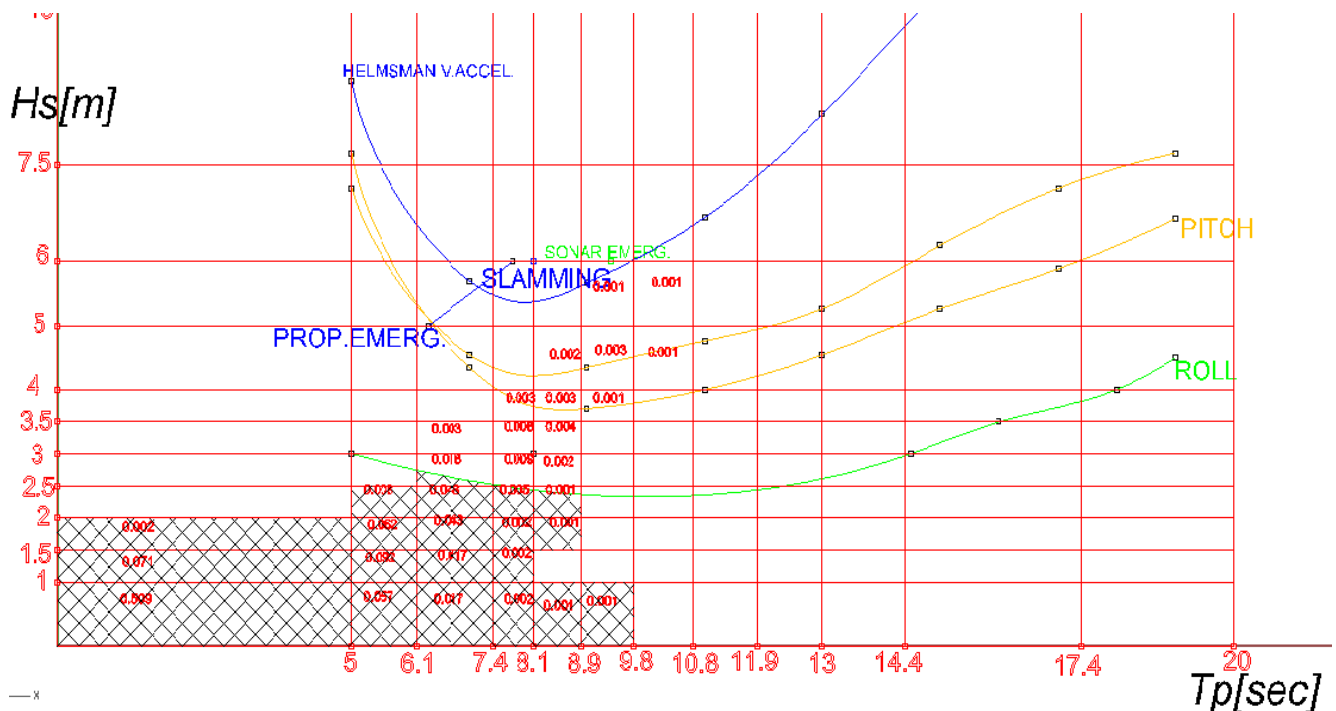
Στην παρούσα διατριβή εξετάστηκε η λειτουργησιμότητα τριών γαστρών πολεμικών πλοίων με χρήση της απόλυτης μεθόδου σε τέσσερις περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου και ιδιαίτερα στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου Πελάγους. Αναλύθηκαν οι αποκρίσεις σε δύο ταχύτητες και τρεις κατευθύνσεις συνάντησης. Χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας S.M.P. για των υπολογισμό των κινήσεων και των τυχαίων συμβάντων σε οκτώ θέσεις ανά πλοίο. Τα κριτήρια με τα οποία ελέγχθηκε η λειτουργησιμότητα των πλοίων βασίστηκαν στα αντίστοιχα ενός συνδυασμού αποστολών, όπως αυτά ορίζονται και καθορίζονται στην έκδοση NATO STANAG 4154. Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε καρτεσιανές συντεταγμένες και όχι σε πολικά διαγράμματα. Τα πλεονεκτήματα αυτής της απεικόνισης είναι:

α. Σε κάθε διάγραμμα απεικονίζονται όλες οι καταστάσεις θαλάσσης που επικρατούν σε μια περιοχή και όχι μόνο μία.

β. Μπορούν εύκολα να εξαχθούν συμπεράσματα για την λειτουργησιμότητα του κάθε πλοίου ανάλογα με την αποστολή ή το συνδυασμό αποστολών που πρόκειται να εκτελεσθεί. Παραδείγματος χάρη, αν αμεληθούν τα κριτήρια για αποστολές AAW (αν δηλαδή θεωρήσουμε ότι το πλοίο δεν θα εκτελέσει επιχειρήσεις AAW) τότε για την περιοχή 1, με ταχύτητα πλοίου 25 Kts και πορεία συνάντησης κυματισμών 90^0 (BEAM SEAS) η λειτουργησιμότητα της MEKO τροποποιείται με τρόπο που απεικονίζεται στα ακόλουθα διαγράμματα:



Απεικόνιση δεικτών λειτουργησιμότητας πλοίου σε καρτεσιανές συντεταγμένες (συμπεριλαμβάνονται αποστολές AAW). Η κατακόρυφη ταχύτητα στην κάννη του πυροβόλου (GUN V. VELOCITY) είναι το κριτήριο που καθορίζει το operability index.



Απεικόνιση δεικτών λειτουργησιμότητας πλοίου σε καρτεσιανές συντεταγμένες (δεν συμπεριλαμβάνονται αποστολές AAW). Ο διατοιχισμός (ROLL) είναι το κριτήριο που καθορίζει το operability index.

Με τον τρόπο αυτό είναι πολύ εύκολο να υπάρχει μια γρήγορη και εποπτική εικόνα για το πώς επηρεάζει η κάθε αποστολή την λειτουργησιμότητα του πλοίου καθώς και για το ποιό πλοίο θα επιχειρεί, σε ποιά περιοχή και σε τί ρόλο σε ετήσιο χρονικό ορίζοντα (βέλτιστη κατανομή στόλου σε περιοχές, σχεδίαση ασκήσεων).

Όσον αφορά την λειτουργησιμότητα των τριών πλοίων τα συμπεράσματα συνοψίζονται όπως παρακάτω:

α. Η περιοχή AREA 1 35 N, 22 E (Δυτικά νήσου Κρήτης) είναι η δυσμενέστερη και για τα τρία πλοία, για την επιλεχθείσα πορεία (45°).

β. Σε όλες τις περιοχές, σε όλες τις πορείες και σε όλες τις ταχύτητες το κατά κόρον δυσμενέστερο κριτήριο που έθετε τα πλοία εκτός λειτουργίας και συνεπώς καθόριζε την λειτουργησιμότητά τους ήταν η κατακόρυφη ταχύτητα στην κάννη του πυροβόλου της πλώρης (GUN VERTICAL VELOCITY). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι κινήσεις είναι πιο έντονες στα άκρα του πλοίου και ειδικά στην πλώρη. Άρα, η θέση του πυροβόλου και ειδικά η άκρη της κάννης (GUN BARREL TIP) όπου μετράται η κατακόρυφη ταχύτητα, είναι μια πολύ δυσμενής θέση.

γ. Γενικά οι αποστολές TAP (Transit And Patrol) εμφανίζουν τον μεγαλύτερο δείκτη λειτουργησιμότητας και για τα τρία πλοία σε όλες τις περιοχές, ταχύτητες και πορείες. Ο μικρότερος δείκτης αφορά τις αποστολές AAW, όπου η κατακόρυφη ταχύτητα στην κάννη του πυροβόλου είναι το σημαντικότερο περιοριστικό κριτήριο, με εξαίρεση τις περιπτώσεις της ακόλουθης παραγράφου δ, όπου εκεί το περιοριστικό κριτήριο είναι η ανάδυση του θόλου (SONAR EMERGENCE).

δ. Τα πλοία τα οποία έχουν τον θόλο της ανθυποβρυχιακής συσκευής τοποθετημένο στα ύφαλα της πλώρας (hull mounted), δηλαδή το DDG-51 και το TH, εμφανίζουν ανάδυση του θόλου (SONAR EMERGENCE) σε σημείο που να υπερβαίνει το αντίστοιχο κριτήριο. Η εκτός ορίων ανάδυση του θόλου συμβαίνει στις ακόλουθες περιπτώσεις:

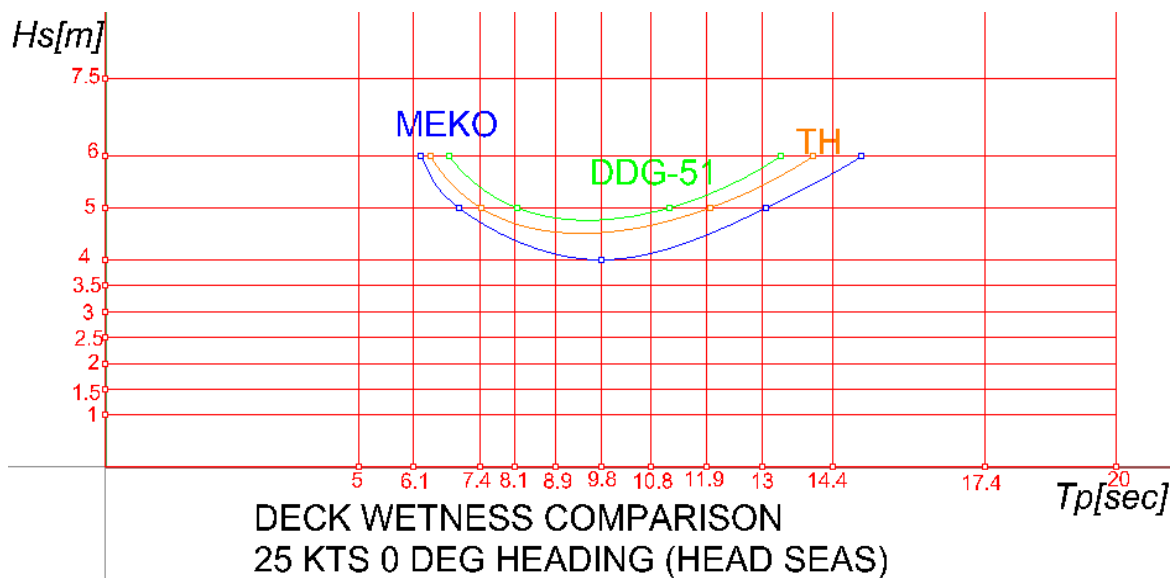
1). για το DDG-51 σε ταχύτητα 25 Kts, σε μετωπικούς κυματισμούς (0°), για Tp μεταξύ 6 και 6.3 sec και Hs μεταξύ 3.6 και 4 m σε όλες τις περιοχές.

2). για το TH σε ταχύτητες 15 και 25 Kts σε μετωπικούς κυματισμούς (0°), για Tp μεταξύ 5.5 και 6.6 sec και Hs μεταξύ 2.1 και 3 m σε όλες τις περιοχές. Επιπλέον, το ίδιο παρατηρείται και σε ταχύτητα 25 Kts, σε πρωραίους κυματισμούς (45°) για Tp μεταξύ 5.1 και 5.5 sec και Hs μεταξύ 2.8 και 3 m σε όλες τις περιοχές.

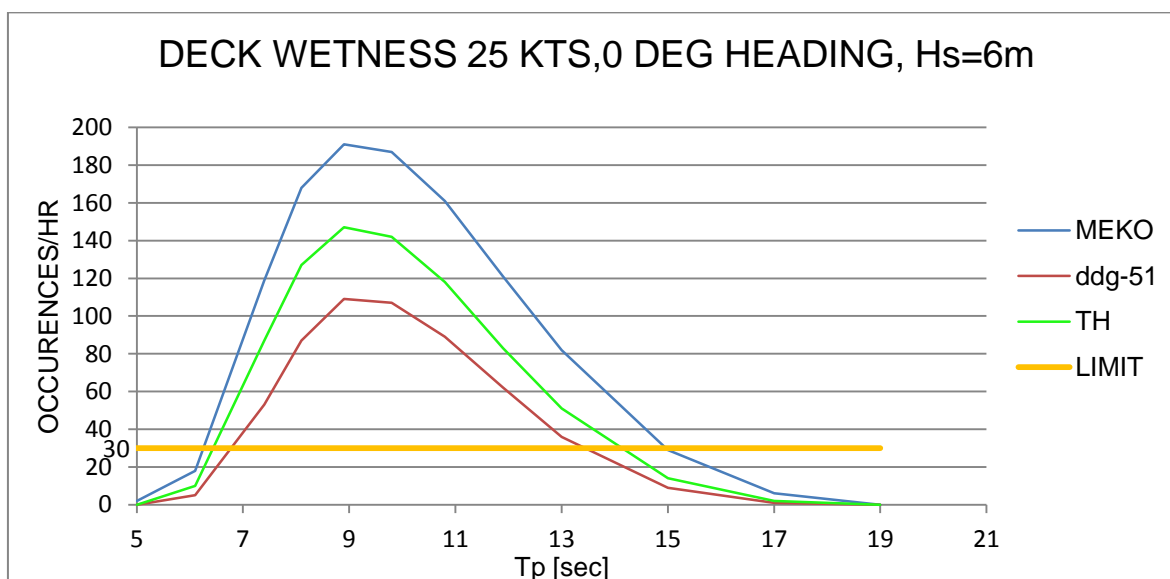
Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η θέση του θόλου ως hull mounted συνηθίζεται στα μεγάλα πλοία, επομένως η σχεδίαση της MEKO με τα 109 m μήκος και το θόλο τοποθετημένο στην τρόπιδα (keel mounted), υπερτερεί.

ε. Η συμπεριφορά της γάστρας TH, που στηρίχθηκε στην γάστρα ONR 5613 αποδείχθηκε σε όλες τις περιπτώσεις ανώτερη από τις υπόλοιπες, σε όρους λειτουργησιμότητας. Αυτό μπορεί να οφείλεται και στην υπόθεση που έγινε για την θέση του πυροβόλου, μιας και το κριτήριο που σχετίζεται με αυτό αποδείχθηκε ότι ήταν το σημαντικότερο. Η ακριβής γνώση της θέσης πιθανόν να ανέτρεπε τα αποτελέσματα.

στ. Η γάστρα TH δεν εμφάνισε φαινόμενα διαβροχής καταστρώματος (DECK WETNESS, GREEN WATER ON DECK), σε σημείο που να θεωρείται υποδεέστερη των δύο άλλων γαστρών. Αυτό οφείλεται στην πλήρη τύπου wave piercing, καθώς και στο αυξημένο ύψος εξάλων (freeboard).



Σύγκριση των πλοίων στη διαβροχή καταστρώματος (απόλυτη μέθοδος-χρήση κριτηρίου).



Σύγκριση των πλοίων στη διαβροχή καταστρώματος (συγκριτική μέθοδος).

ζ. Η απόλυτη μέθοδος σύγκρισης που χρησιμοποιήθηκε δίνει τα παρακάτω συγκεντρωτικά αποτελέσματα, όσον αφορά την λειτουργησιμότητα των τριών γαστρών:

ΤΕΛΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

AREA 1 35 N, 22 E (Δυτικά νήσου Κρήτης)

SPEED	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	45	70.04%	75.42%	80.72%
25	45	70.94%	76.45%	78.91%

AREA 2 36 N, 21 E (Νοτιοδυτικά Πελοποννήσου)

SPEED	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	90	73,67%	77.78%	82.30%
25	90	74.17%	79.18%	81.30%

AREA 3 36 N, 27 E (Βόρεια νήσου Καρπάθου)

SPEED	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	135	77.86%	81.79%	86.34%
25	135	78.25%	83.11%	85.43%

AREA 4 38 N, 25.5 E (Κεντρικό Αιγαίο)

SPEED	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΜΕΚΟ	DDG-51	ΤΗ
15	0	83.99%	86.11%	88.53%
25	0	84.97%	89.05%	89.54%

17.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

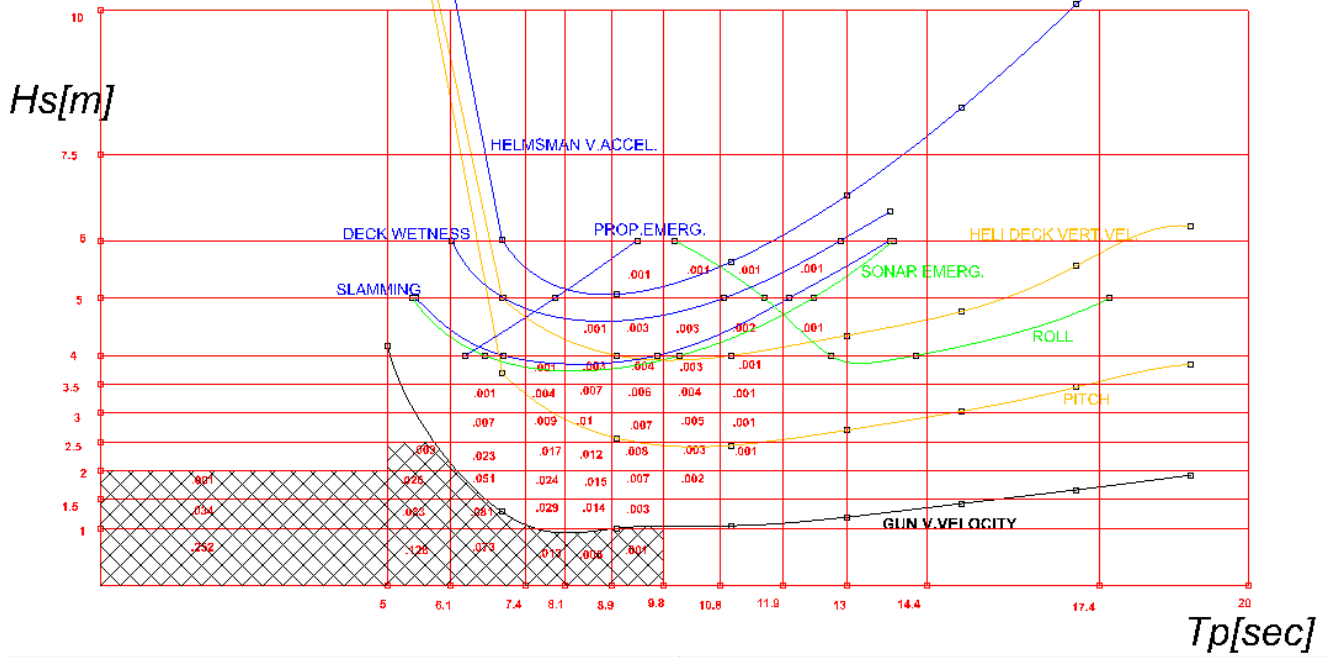
1. NATO «**STANAG 4154 EDITION 3**», 2000.
2. Α.ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Ε.ΜΠΟΥΛΟΥΓΟΥΡΗΣ «**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΕΙΔΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ**», ΕΜΠ, 2008.
3. Γ.Ι. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ «**ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ, ΜΕΡΟΣ Β: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ**», ΕΜΠ, 2004.
4. A.R.J.M.LLOYD «**SEAKEEPING:SHIP BEHAVIOUR IN ROUGH WEATHER**», ELLIS HORWOOD LTD,1989.
5. K.J.RAWSON,E.C.TUPPER «**BASIC SHIP THEORY 5TH EDITION**», BUTTERWORTH-HEINEMANN, 2001]
6. J.M.J. JOURNEE, JAKOB PINKSTER «**INTRODUCTION TO HYDROMECHANICS**», LECTURE NOTES, DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2002.
7. VOLKER BERTRAM «**PRACTICAL SHIP HYDRODYNAMICS**», BUTTERWORTH-HEINEMANN, 2000
8. Γ.Ι. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ «**ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΜΕΡΟΣ Α: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**», ΕΜΠ, 1998.
9. TRISTAN PEREZ «**SHIP MOTION CONTROL COURSE KEEPING AND ROLL STABILISATION USING RUDDER AND FINS**».
10. A.B.BIRAN «**SHIP'S HYDROSTATICS AND STABILITY**», BUTTERWORTH-HEINEMANN 2003.
11. T.C. SMITH, W.G. MEYERS «**SMP93 USER MANUAL**», CARDEROCK DIVISION, NAVAL SURFACE WARFARE CENTER, 1994.
12. SNAME, «**PRINCIPLES OF NAVAL ARCHITECTURE 2ND REVISION VOL 3, MOTIONS IN WAVES AND CONTROLLABILITY**», 1989.
13. WESTERN EUROPEAN ARMAMENTS ORGANISATION RESEARCH CELL «**WIND AND WAVE ATLAS OF THE MEDITERRANEAN SEA**», 2004, ISBN 2-11-095674-7.
14. MARIN, «**REPORT No. 23848-1-SMB SEAKEEPING TESTS FOR 5415M DESTROYER**», 2009.
15. SAWE- SNAME «**WEIGHT ESTIMATING AND MARGIN MANUAL FOR MARINE VEHICLES**», 2001.
16. T.A. LOUKAKIS, G.A. ATHANASSOULIS, G.J. GRIGOROPOULOS «**COMPARATIVE SEAKEEPING PERFORMANCE FOR 2 EXISTING NAVAL SHIPS IN THE AEGEAN SEA ENVIRONMENT**», NTUA, 1983.
17. H.SADAT-HOSSEINI, F. STERN, A. OLIVIERI, E.F.CAMPANA, H. HASHIMOTO, N. UMEDA, G. BULIAN, A. FRANCESCUTTO «**HEAD-WAVE PARAMETRIC ROLLING OF A SURFACE COMBATANT**», OCEAN ENGINEERING 37, ELSEVIER, 2010.
18. T.C SMITH, W.L THOMAS «**A SURVEY AND COMPARISON OF CRITERIA FOR NAVAL MISSIONS**», DTRC/SHD - 1312-01, 1989.

18.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:

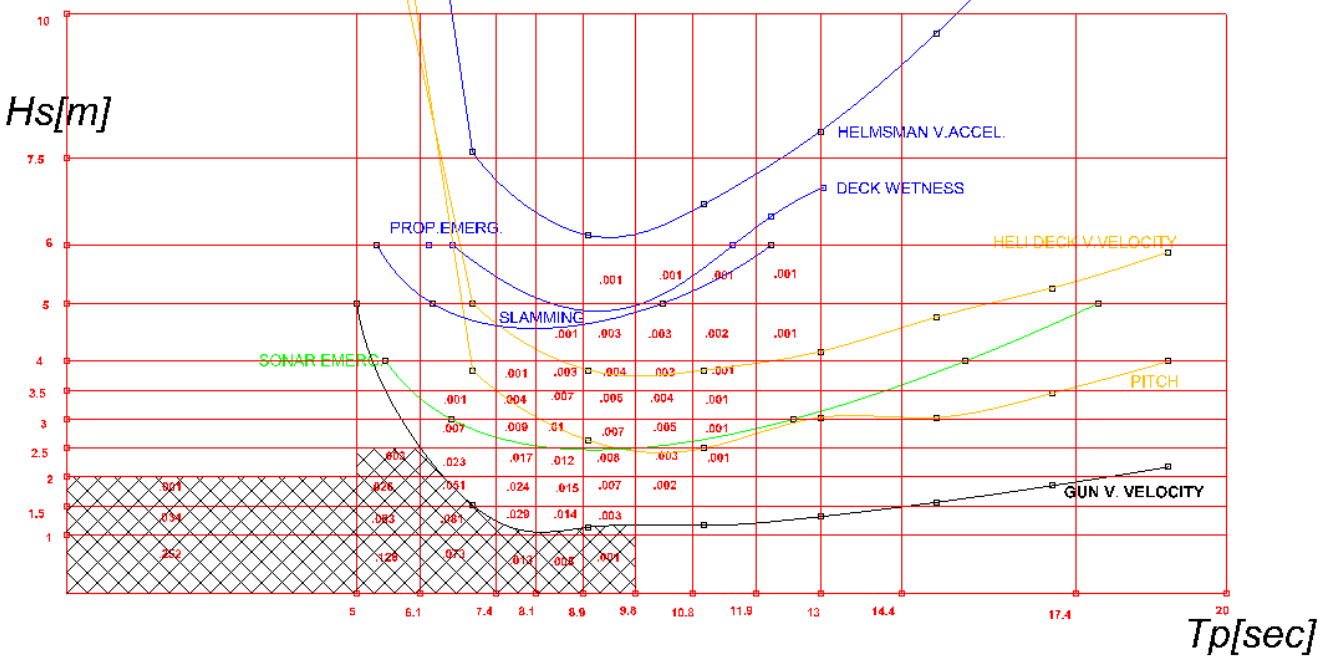
**ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ (OPERABILITY INDICES) ΓΙΑ
ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ, ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ
(ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΥΠΟΨΗ Η ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ).**

SPEED: 15 KTS.
ANGLE OF ENCOUNTER: 0°.
AREA: 1.

MEKO

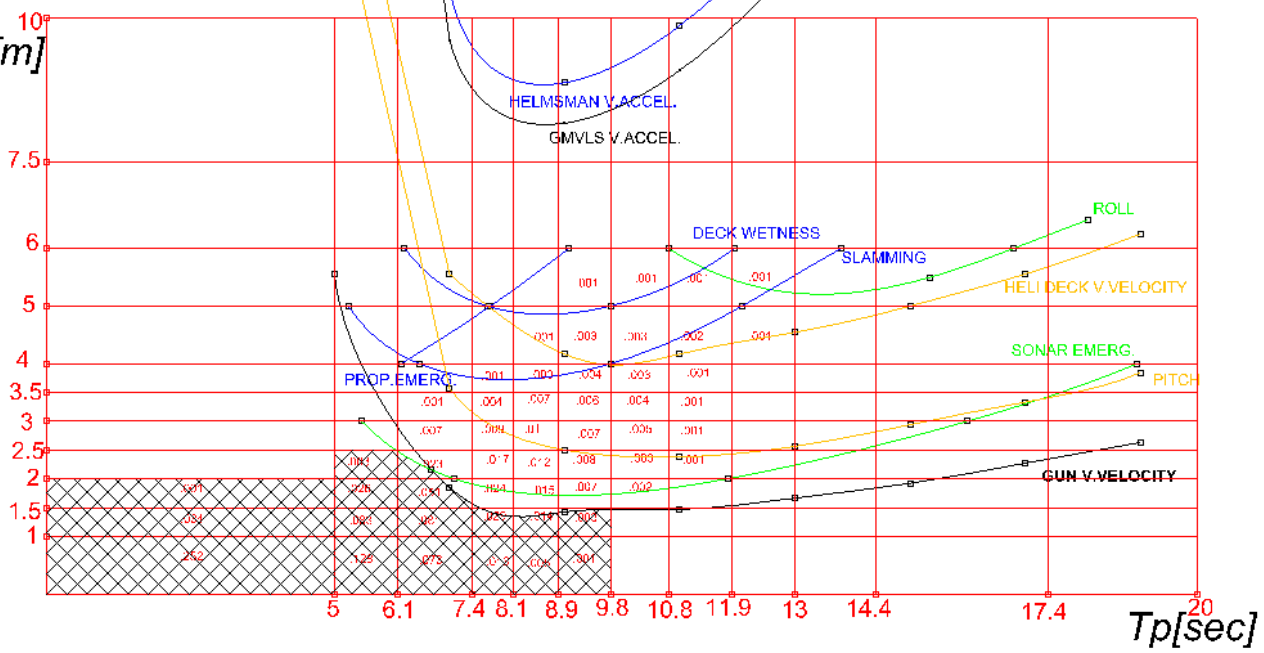


5415M (DDG-51)



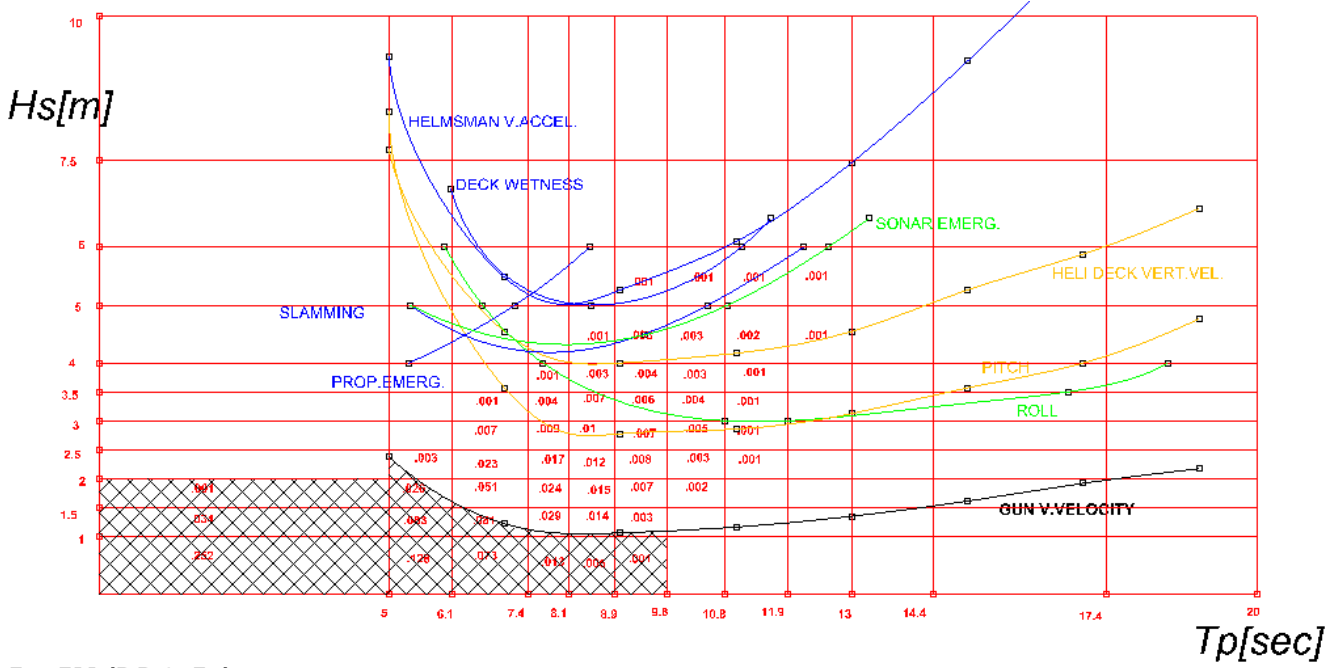
TH

Hs[m]

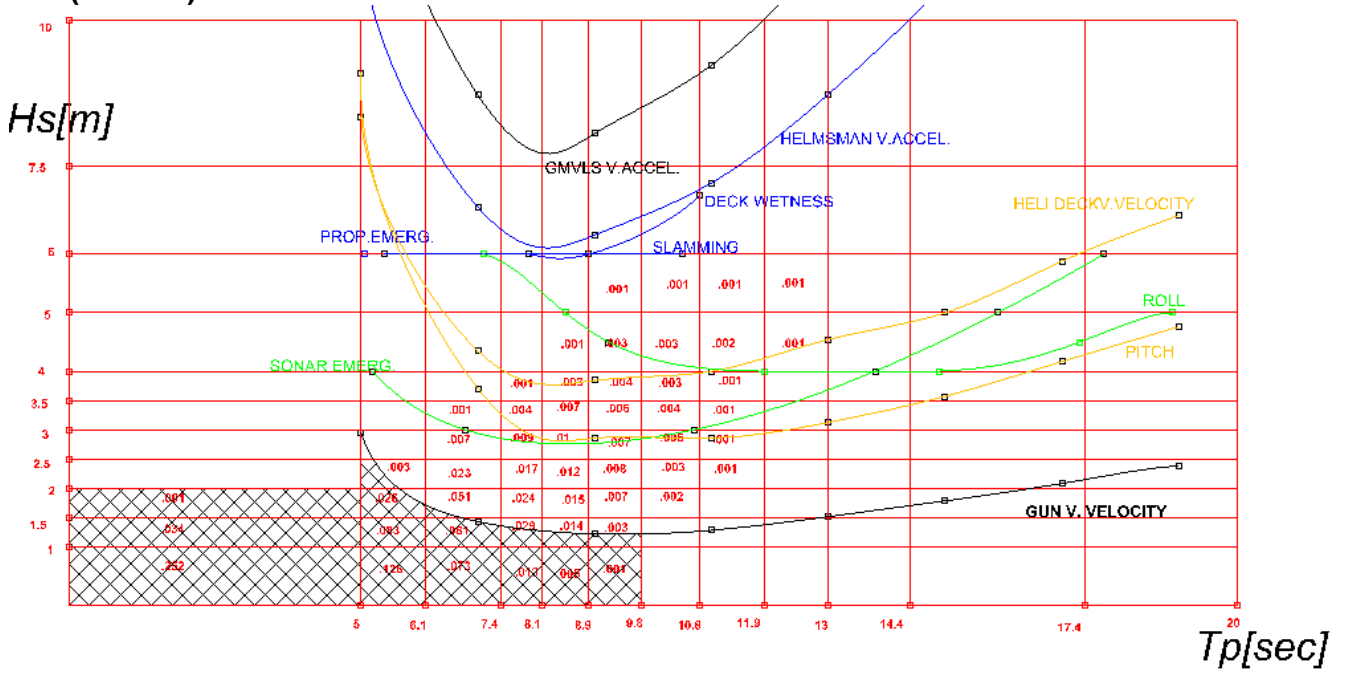


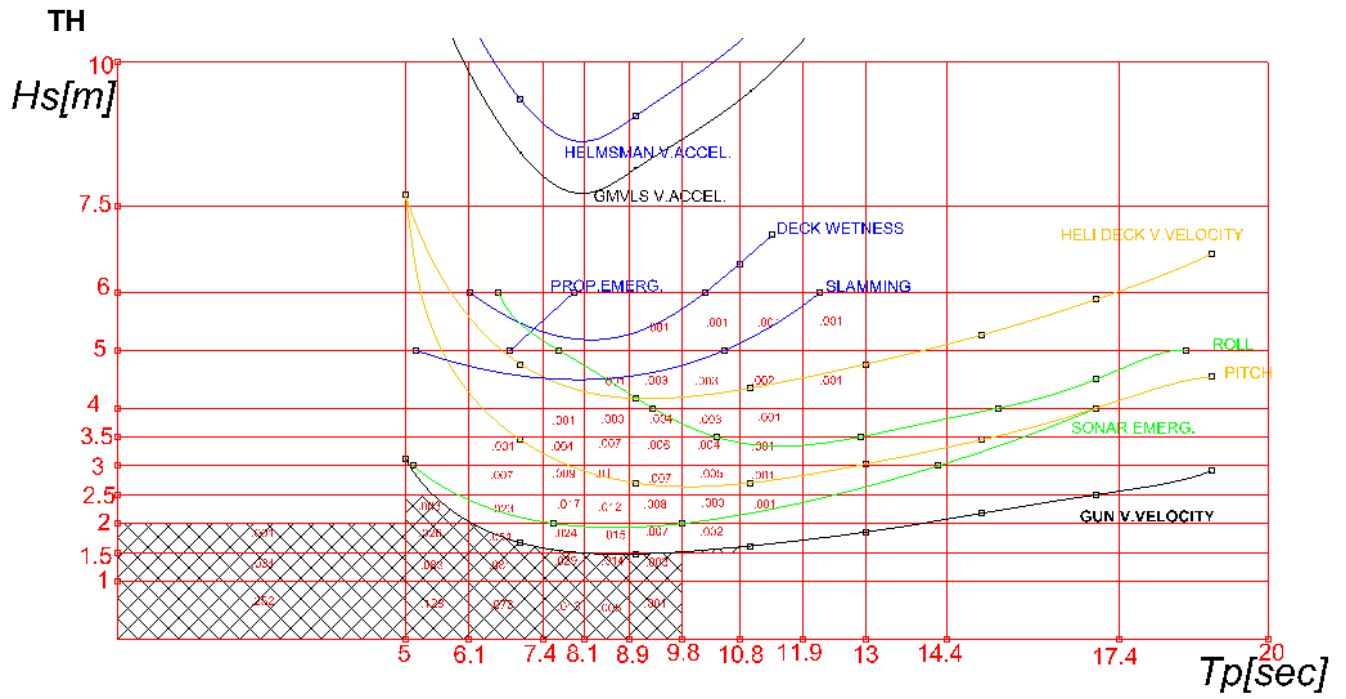
SPEED: 15 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 45°
 AREA: 1.

MEKO



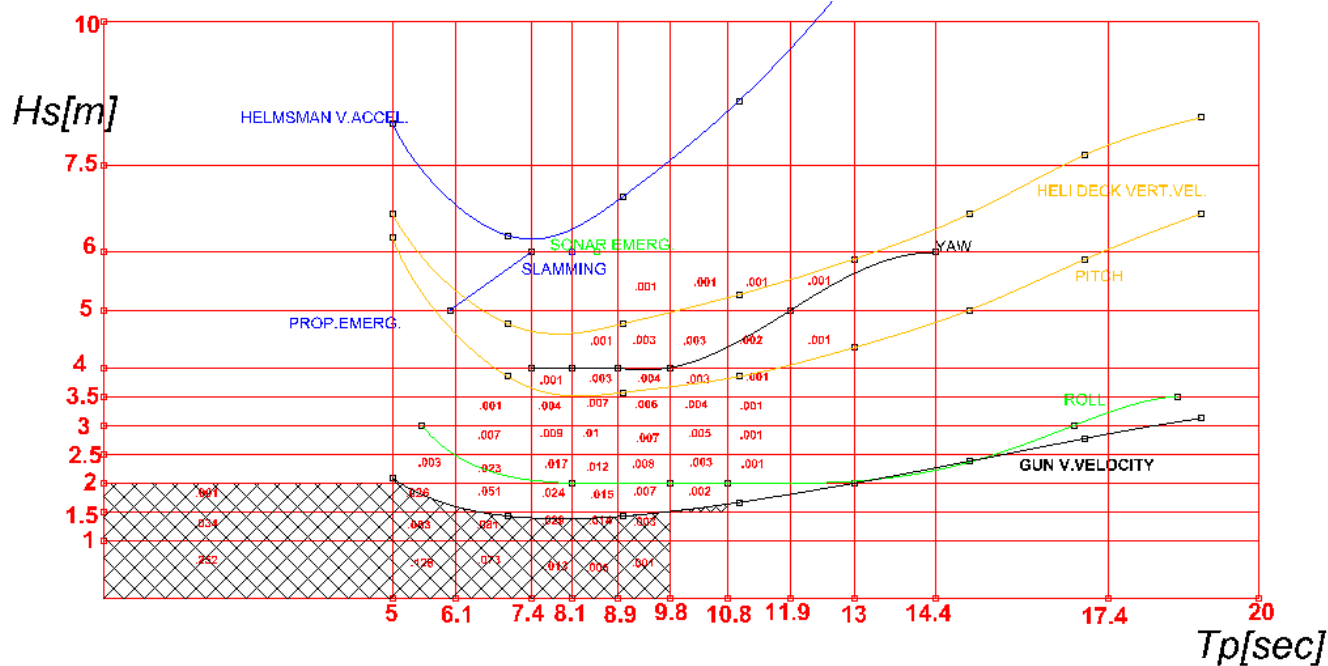
5415M (DDG-51)



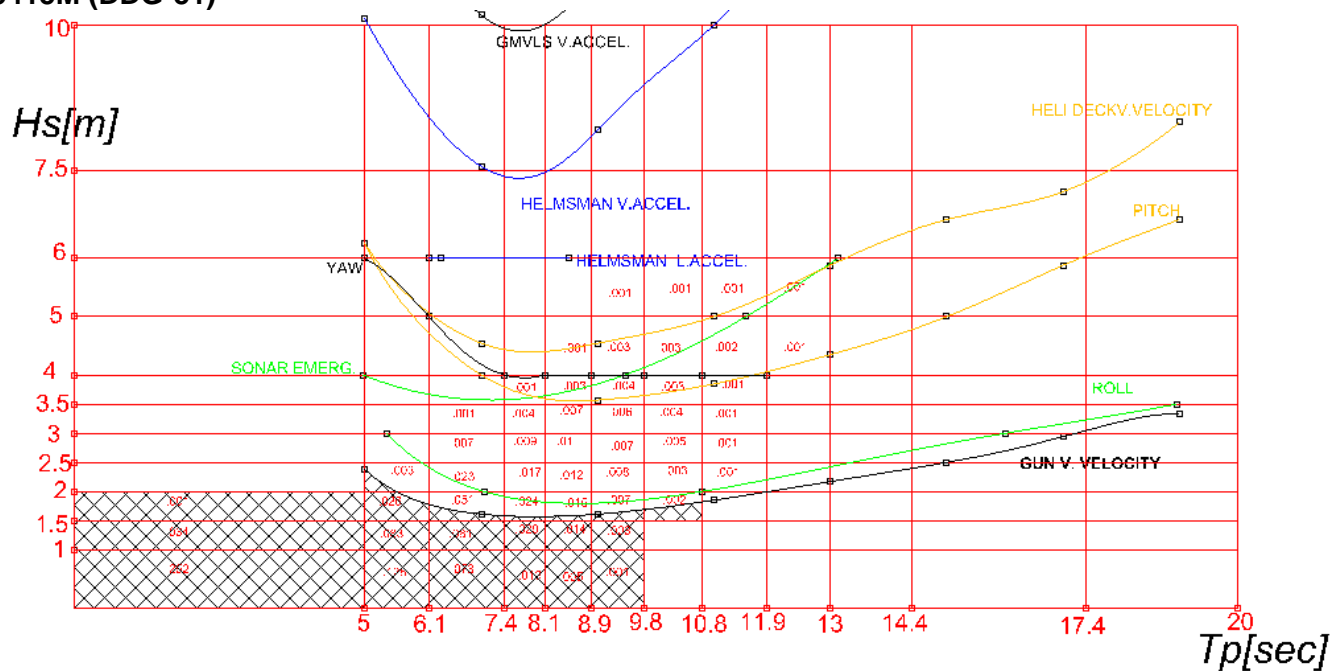


SPEED: 15 KTS.
ANGLE OF ENCOUNTER: 90°
AREA: 1.

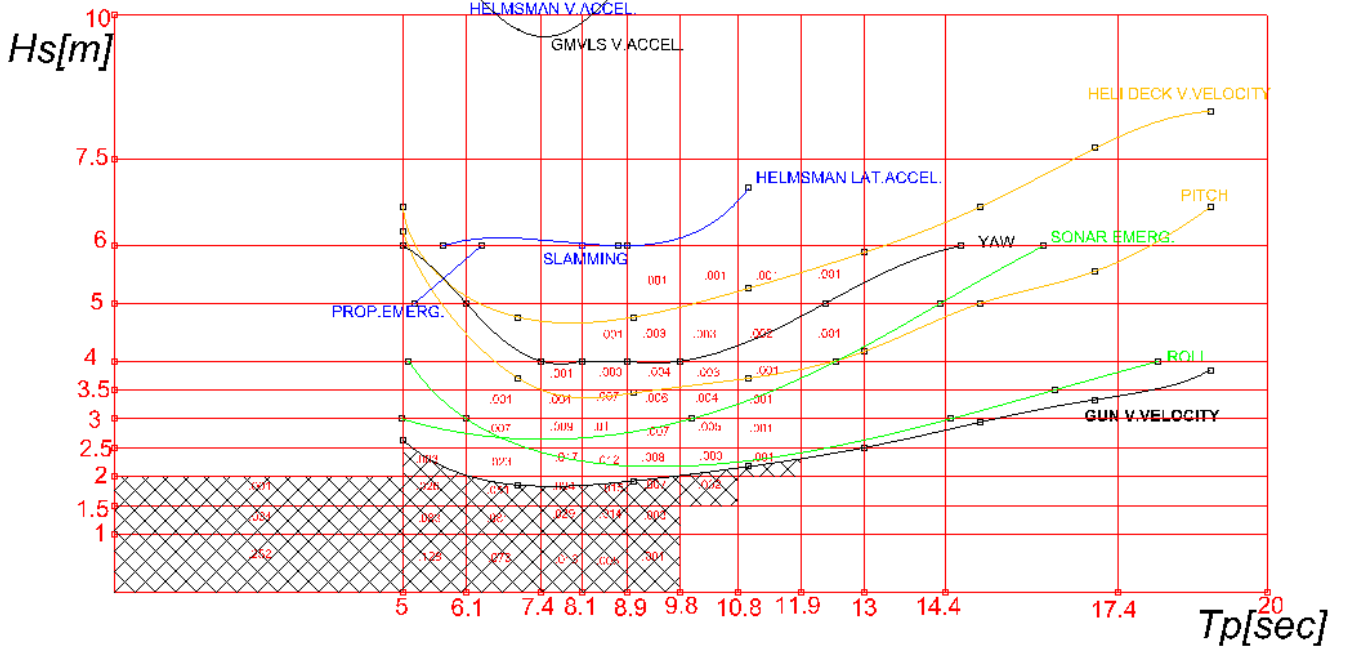
MEKO



5415M (DDG-51)

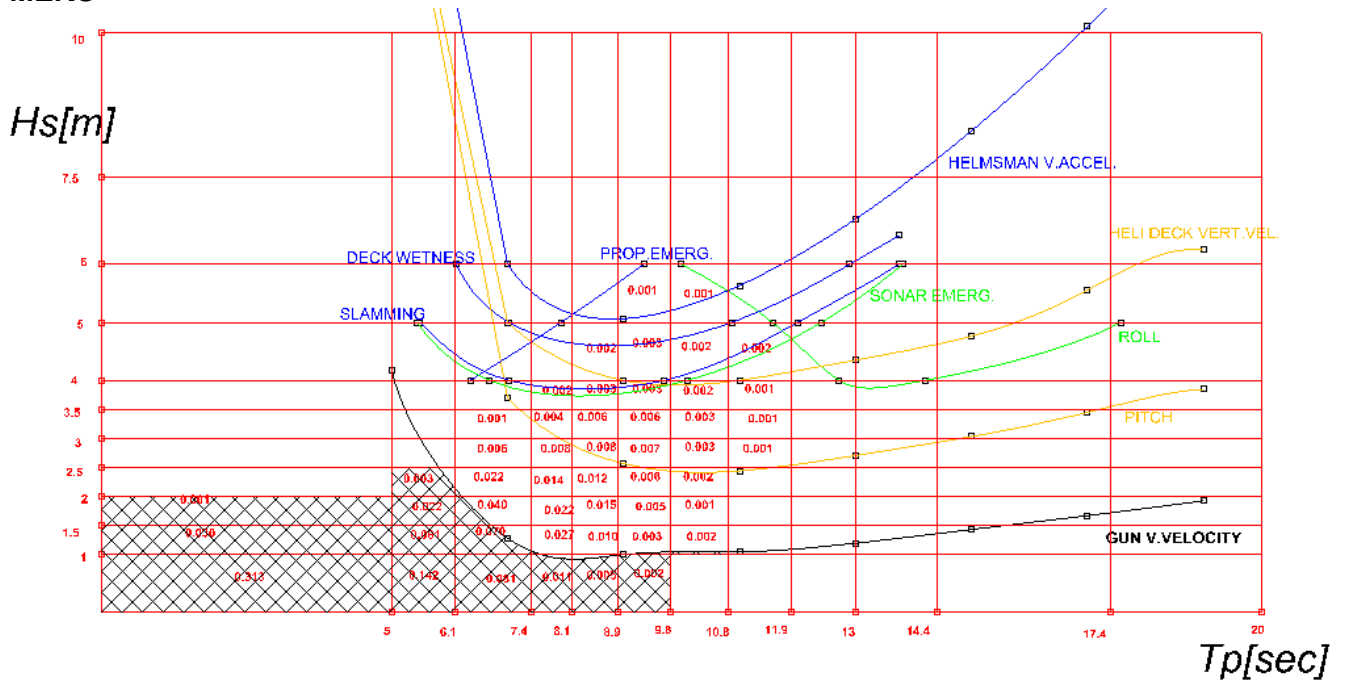


TH

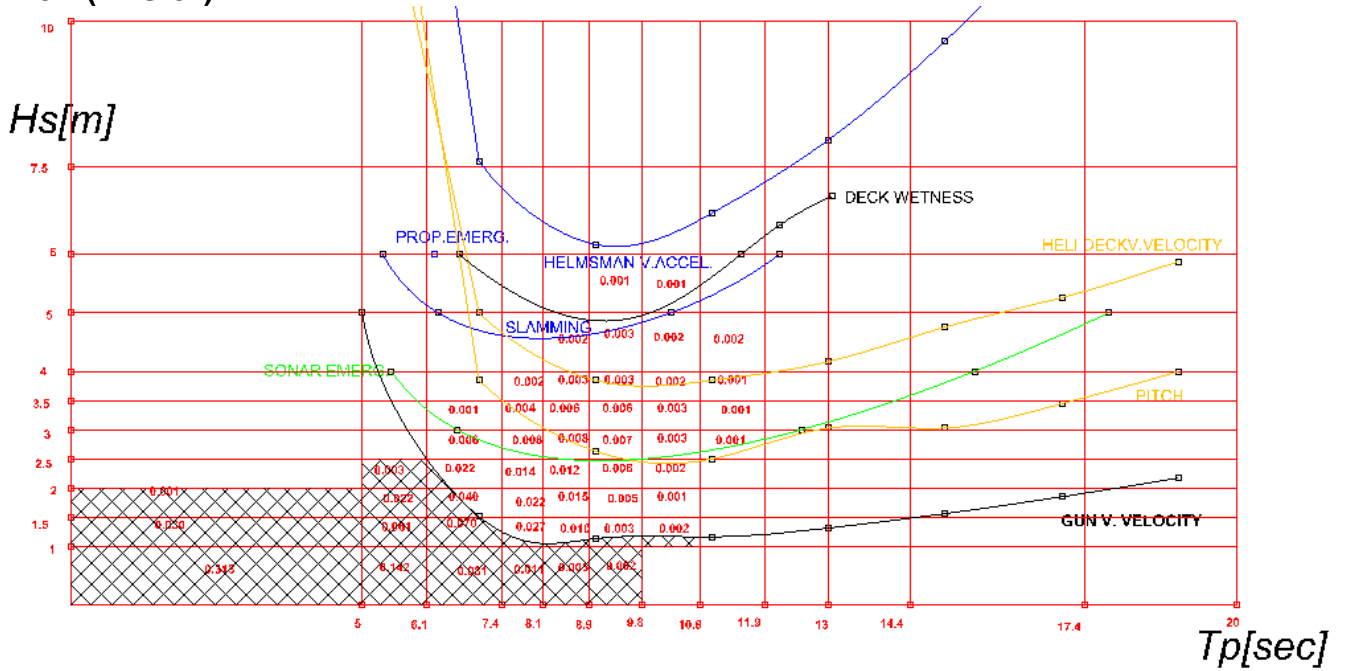


SPEED: 15 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 0°.
 AREA: 2.

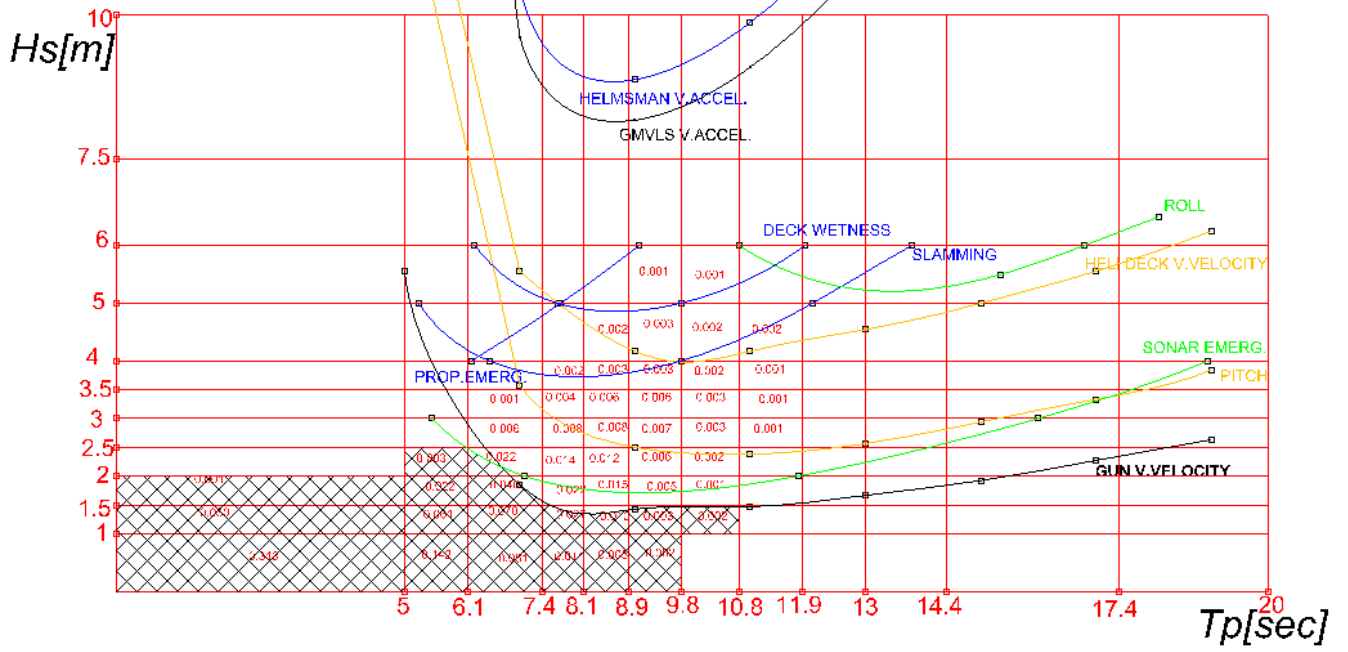
MEKO



5415M (DDG-51)

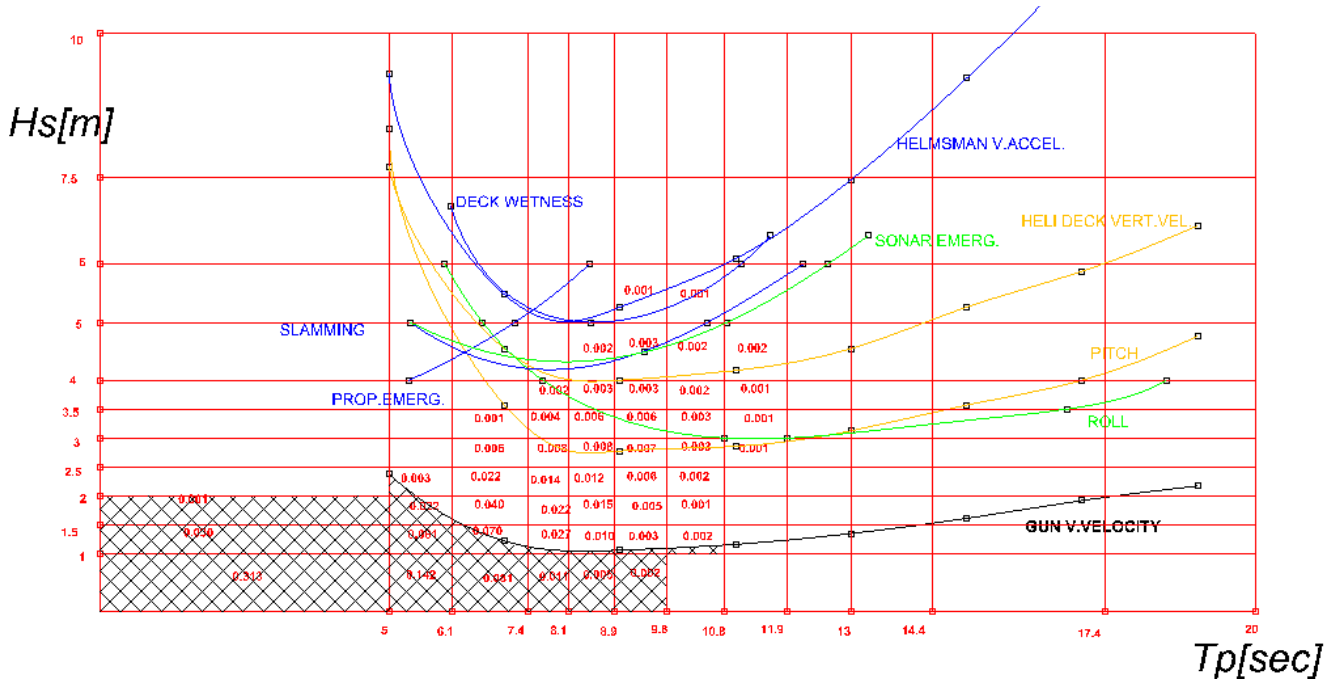


TH

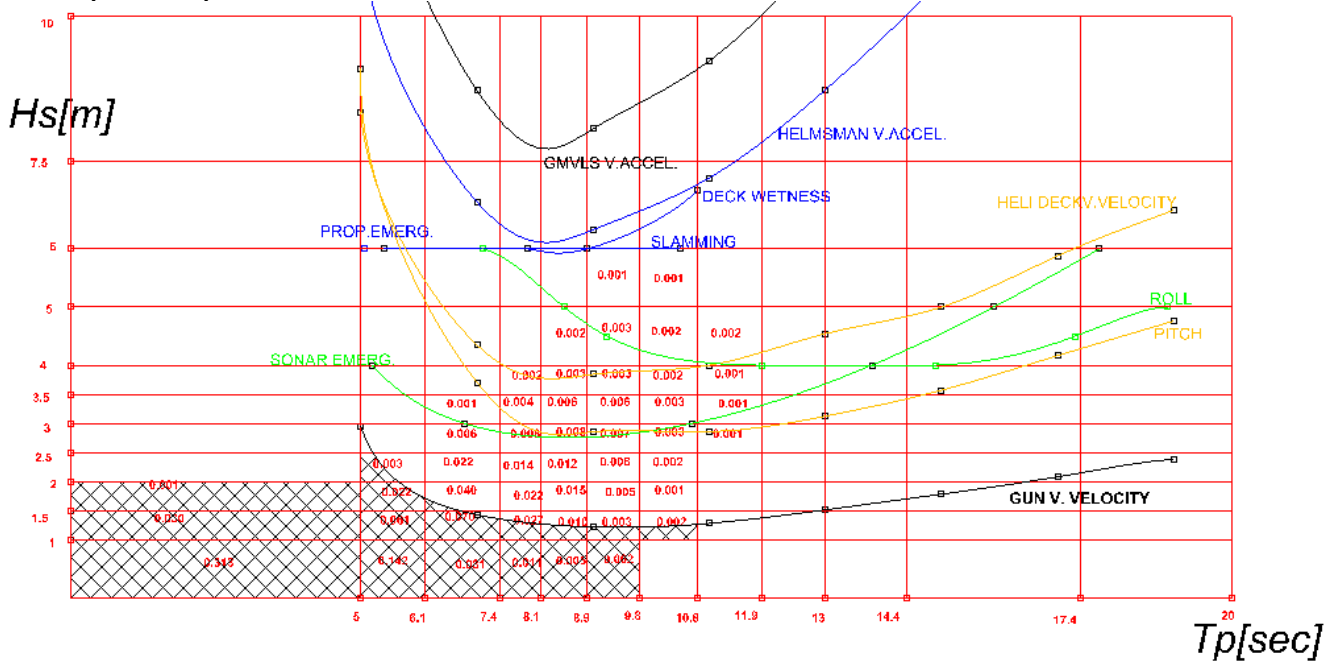


SPEED: 15 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 45°.
 AREA: 2.

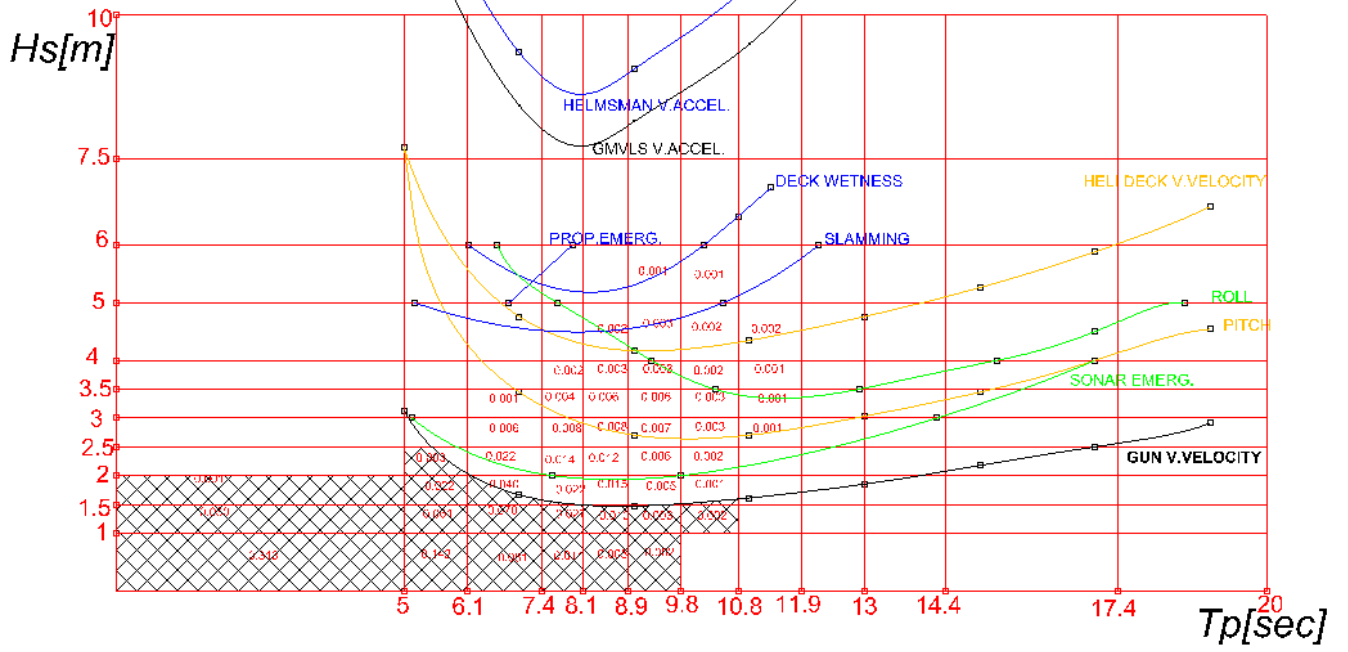
MEKO



5415M (DDG-51)

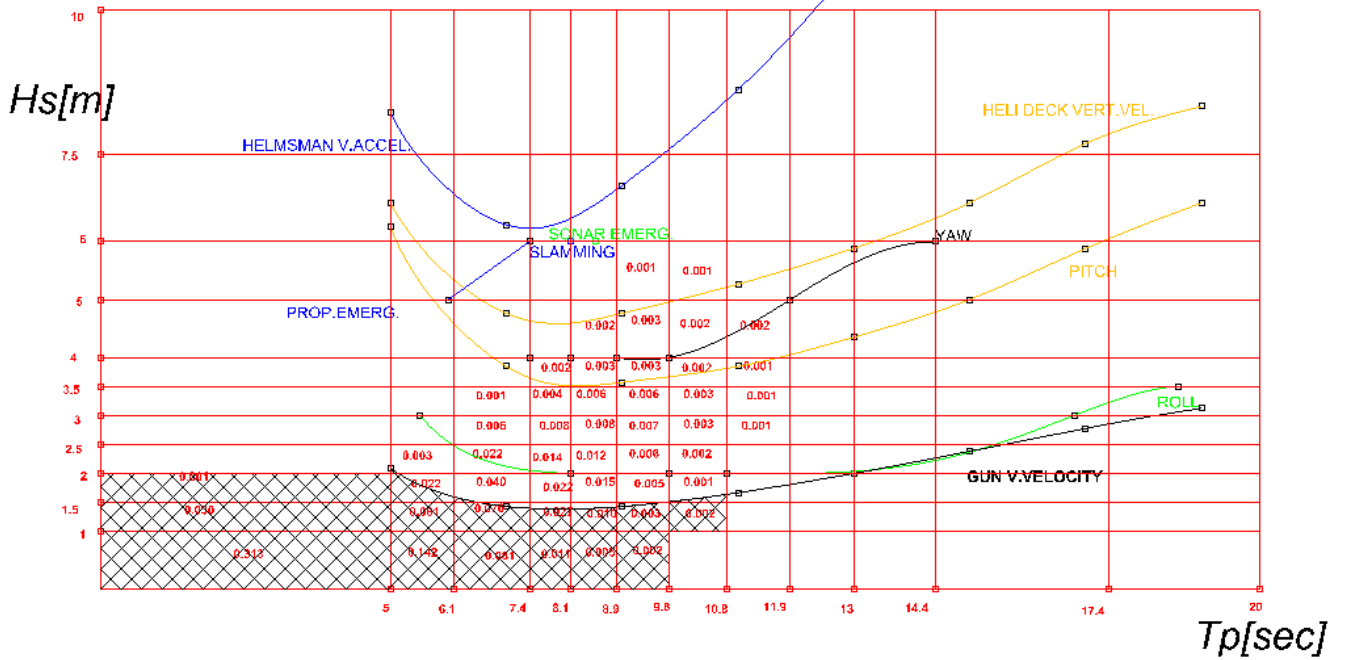


TH

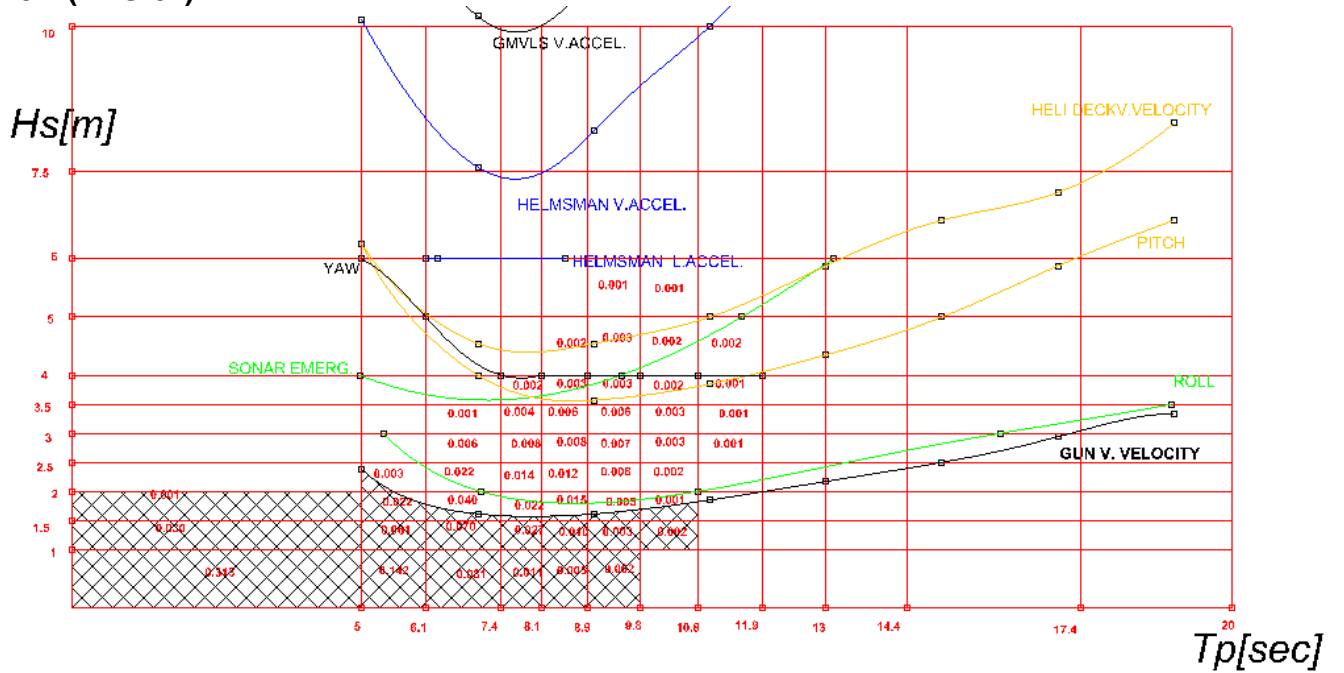


SPEED: 15 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 90⁰.
 AREA: 2.

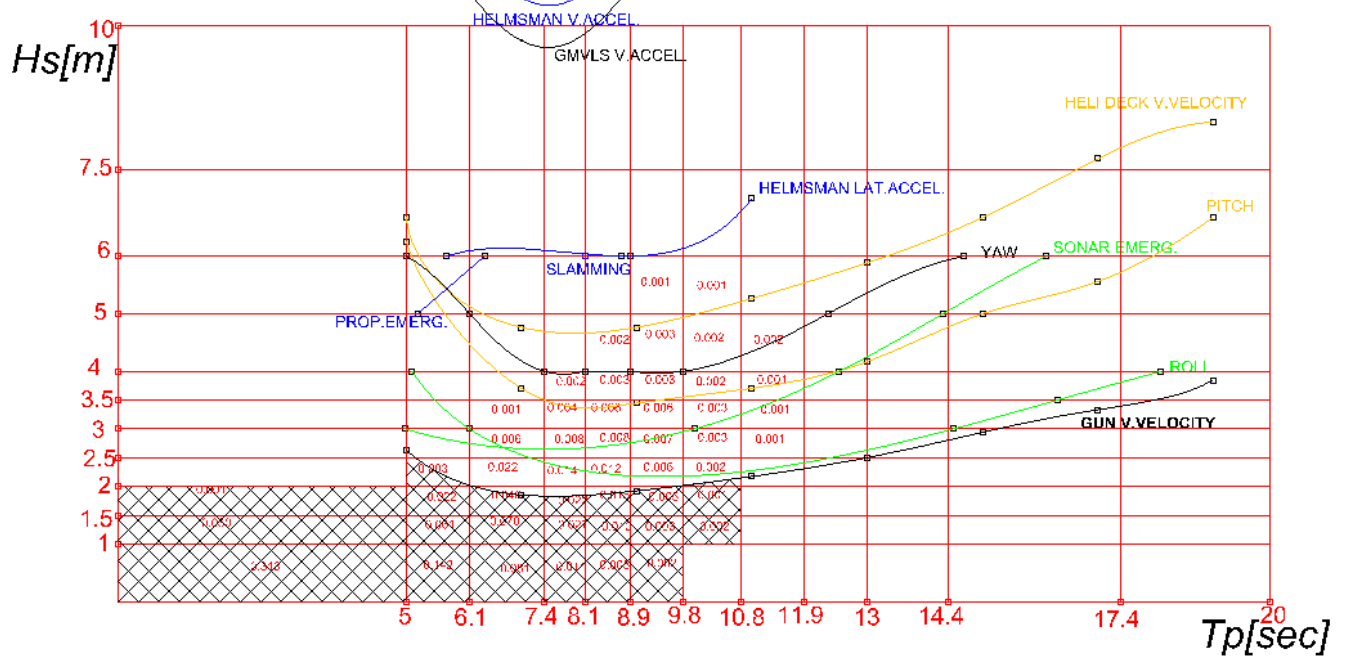
MEKO



5415M (DDG-51)

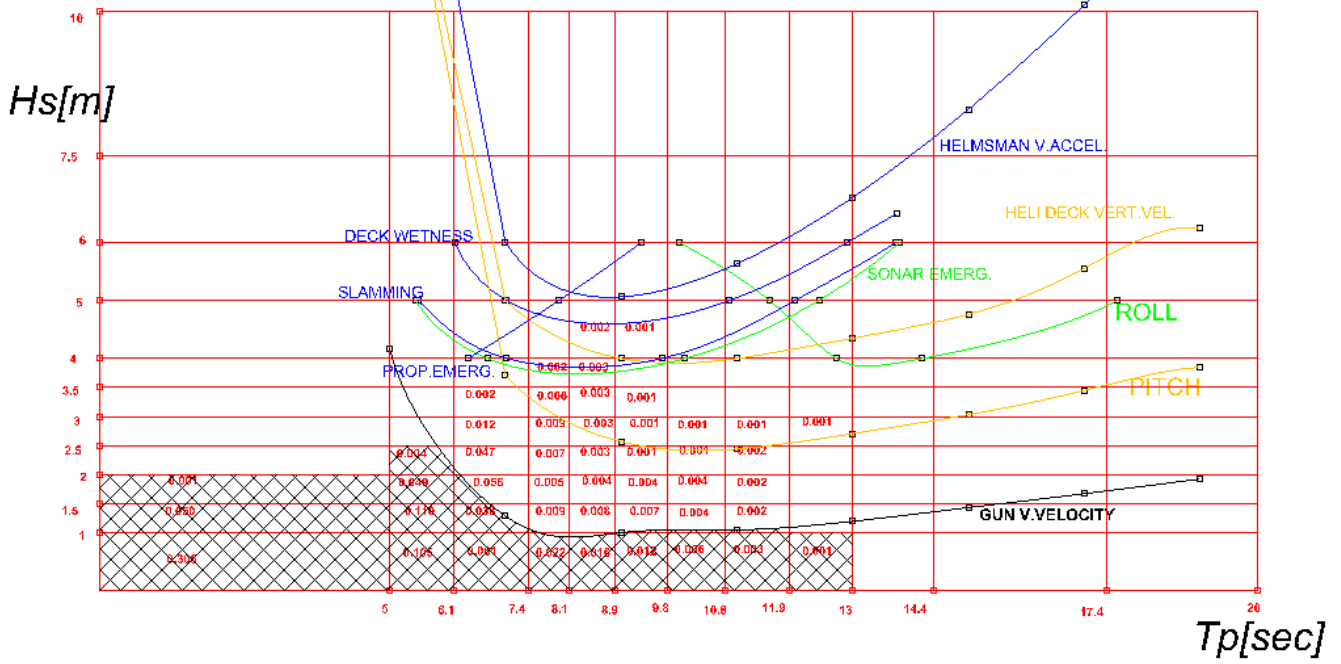


TH

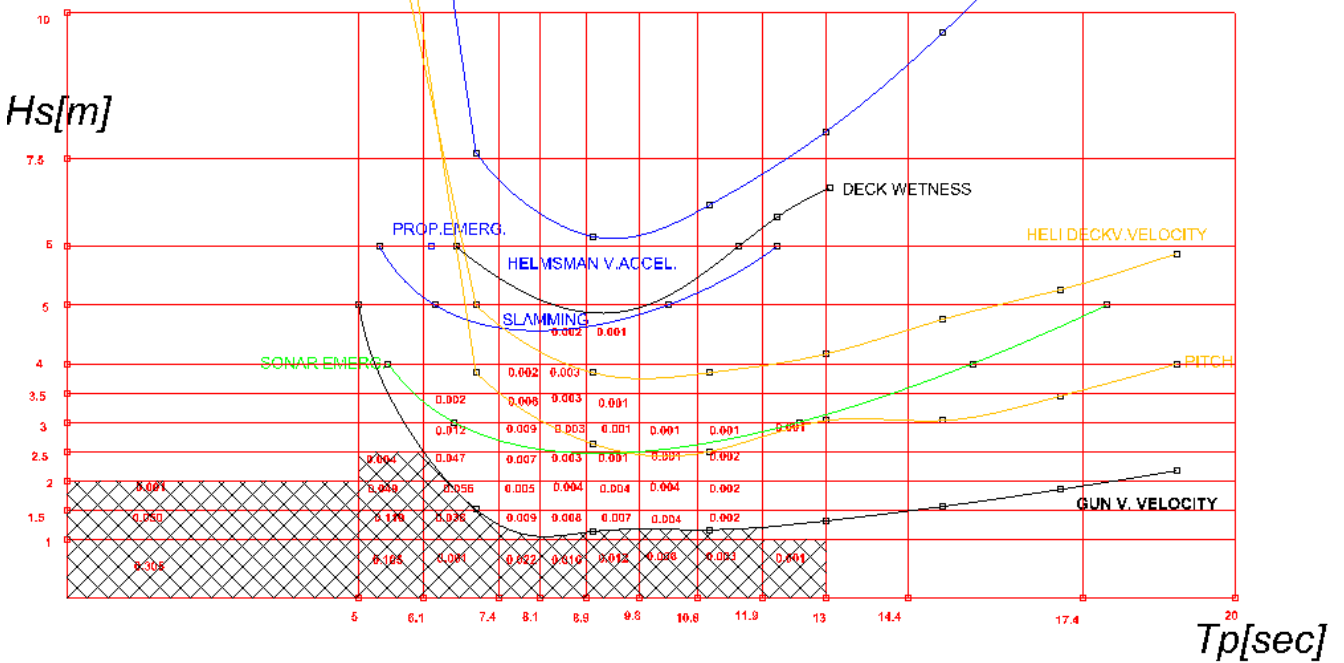


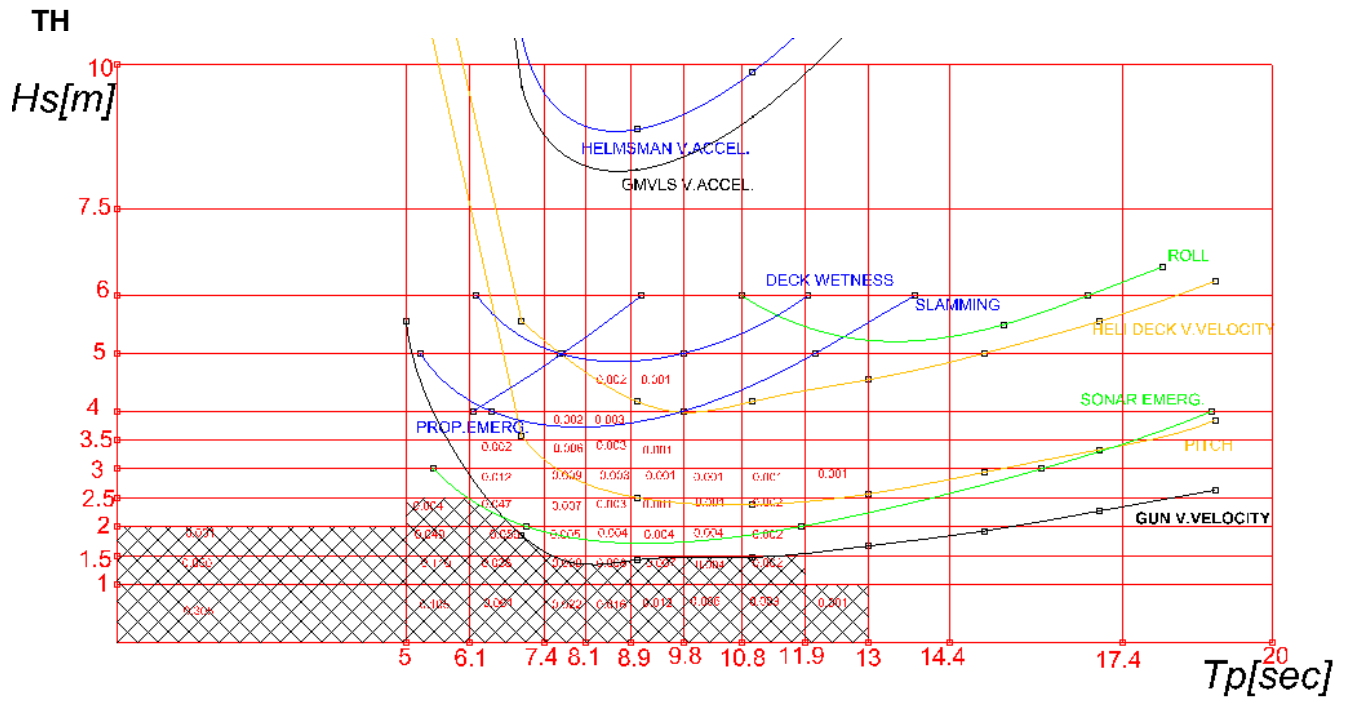
SPEED: 15 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 0°.
 AREA: 3.

MEKO



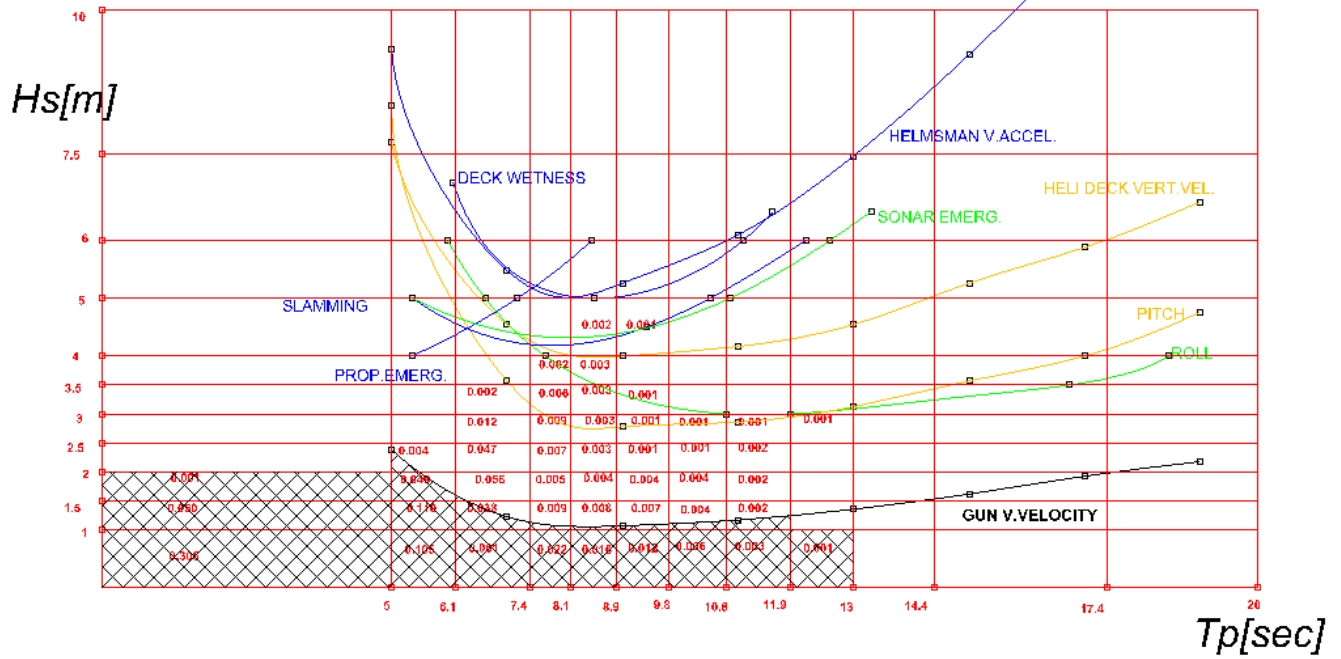
5415M (DDG-51)



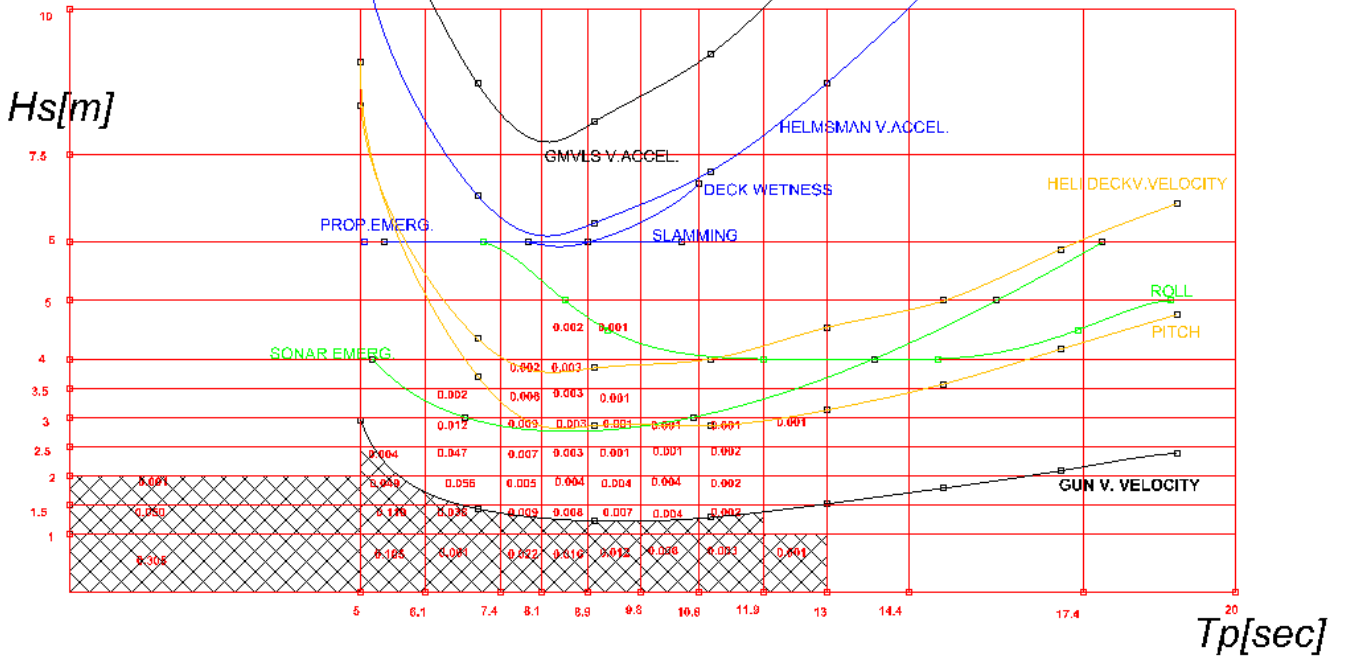


SPEED: 15 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 45°.
 AREA: 3.

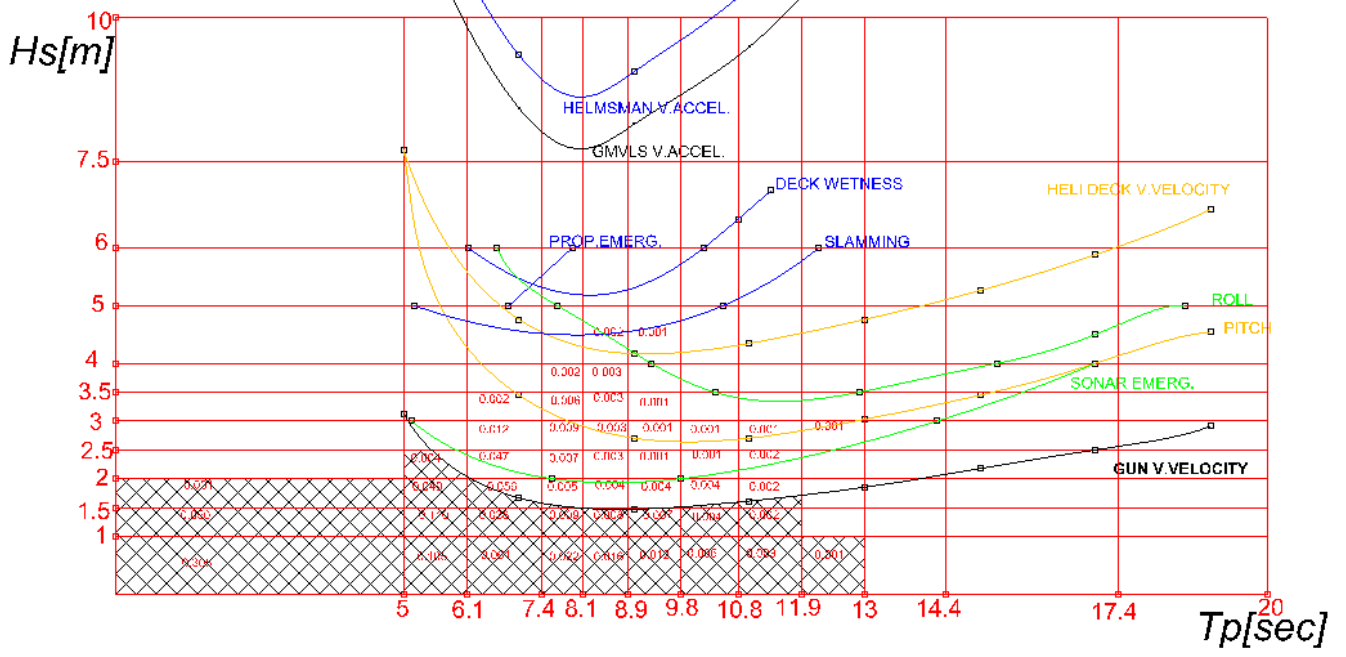
MEKO



5415M (DDG-51)

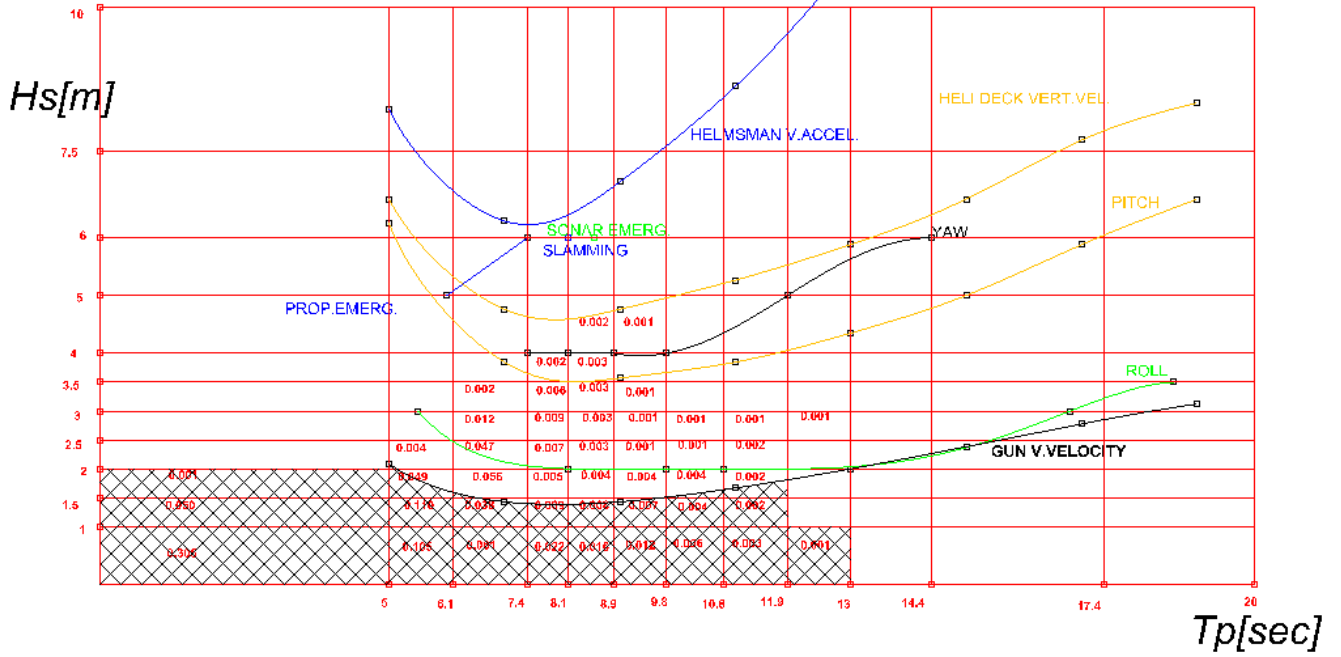


TH

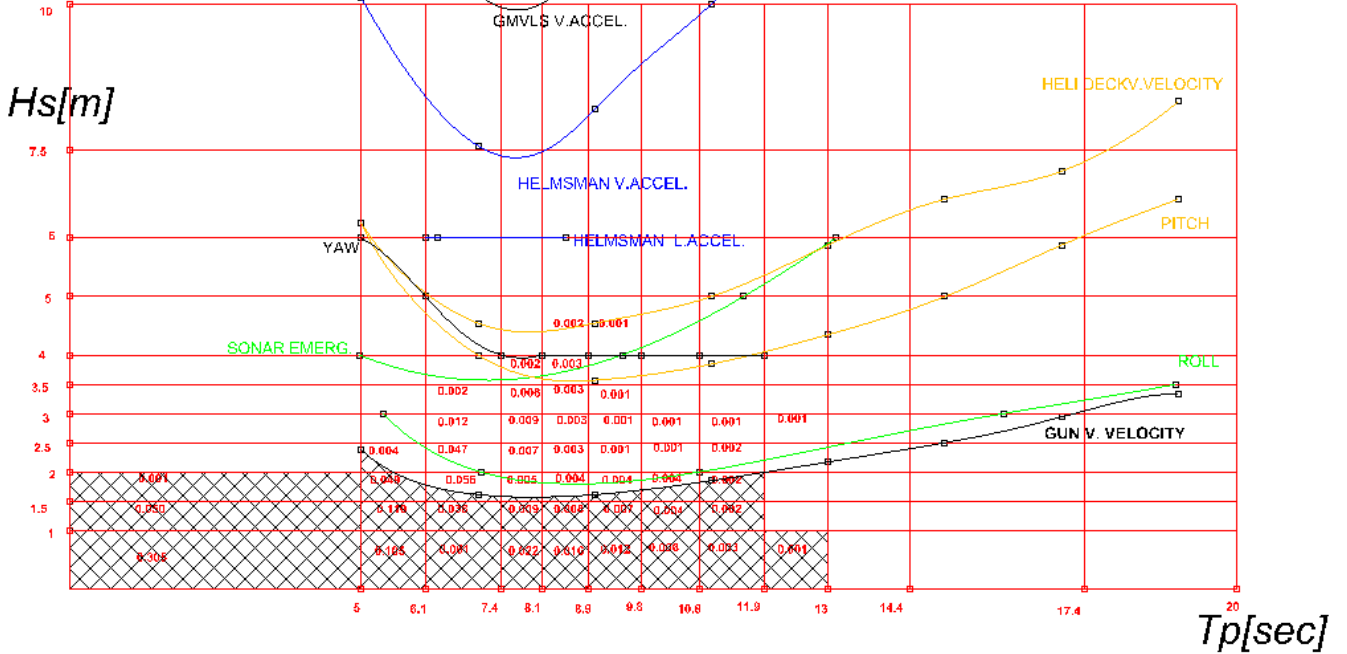


SPEED: 15 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 90°.
 AREA: 3.

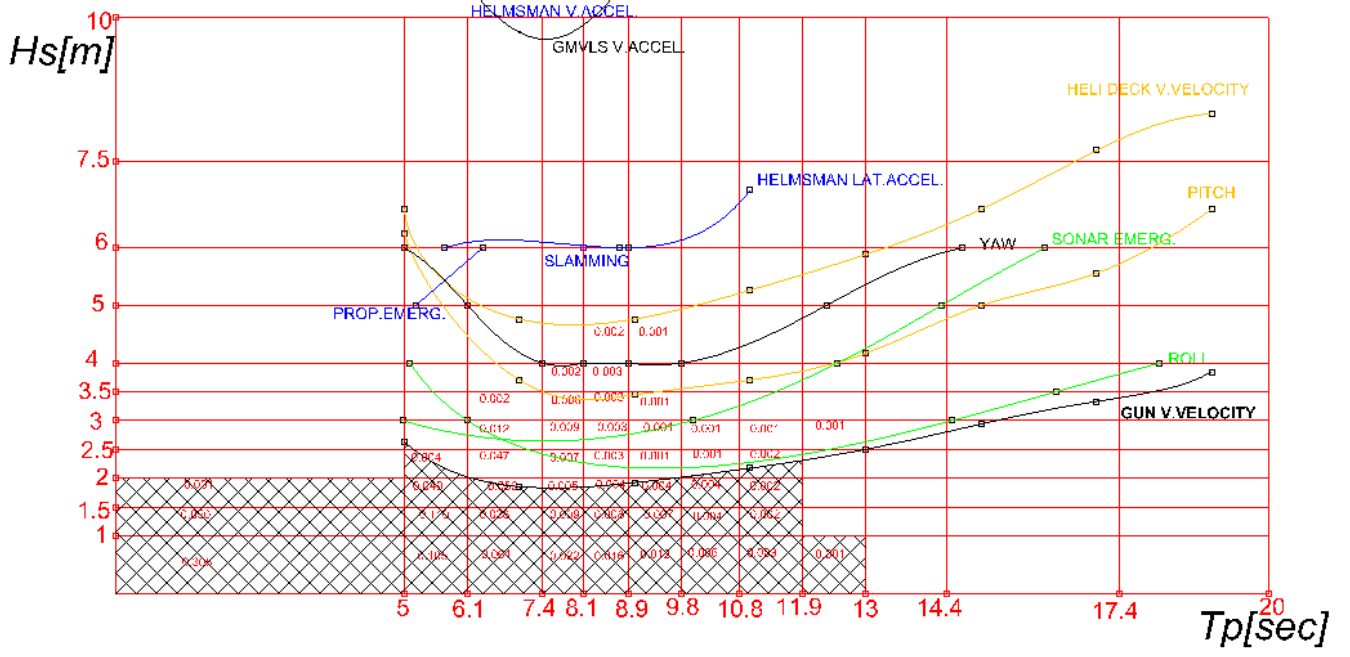
MEKO



5415M (DDG-51)

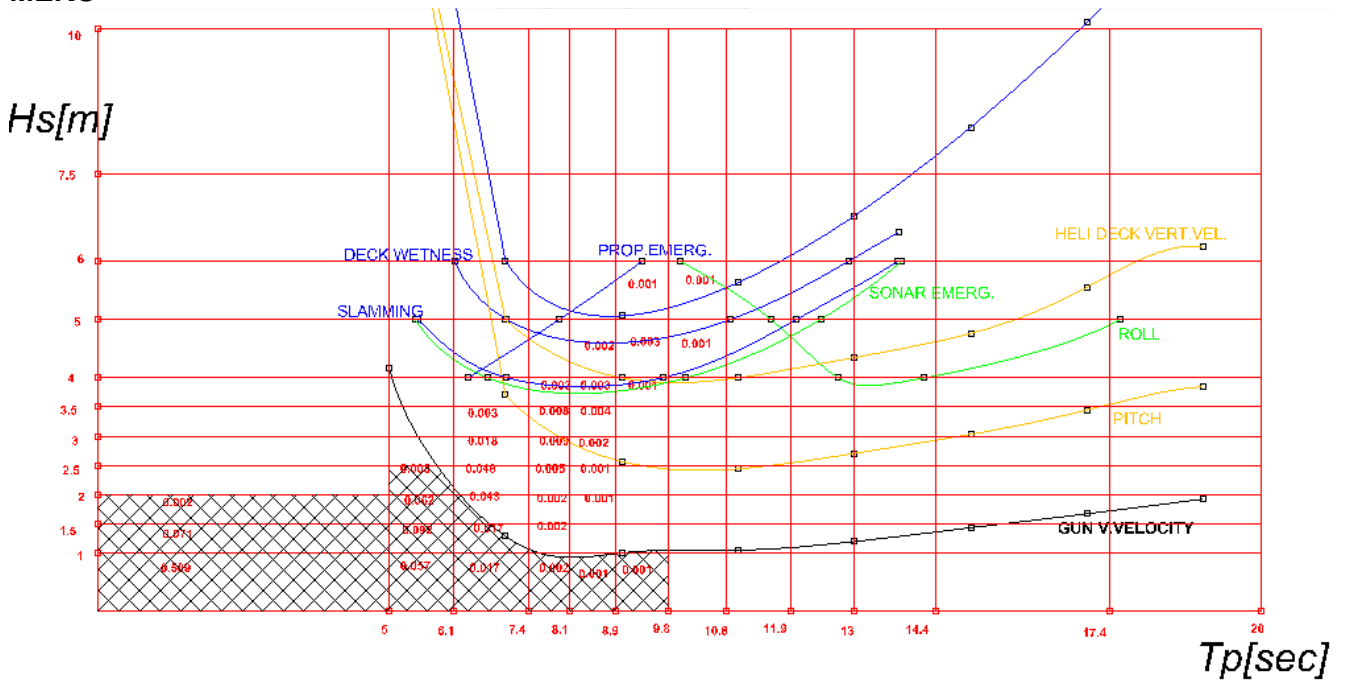


TH

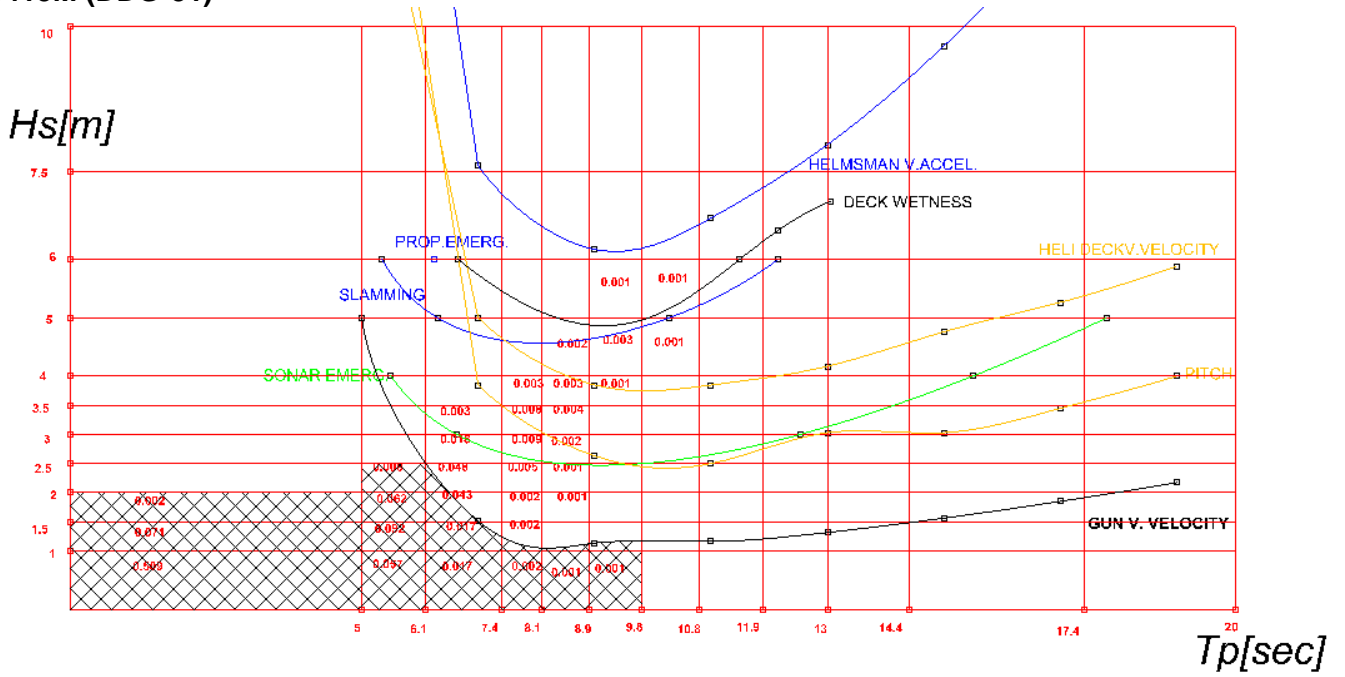


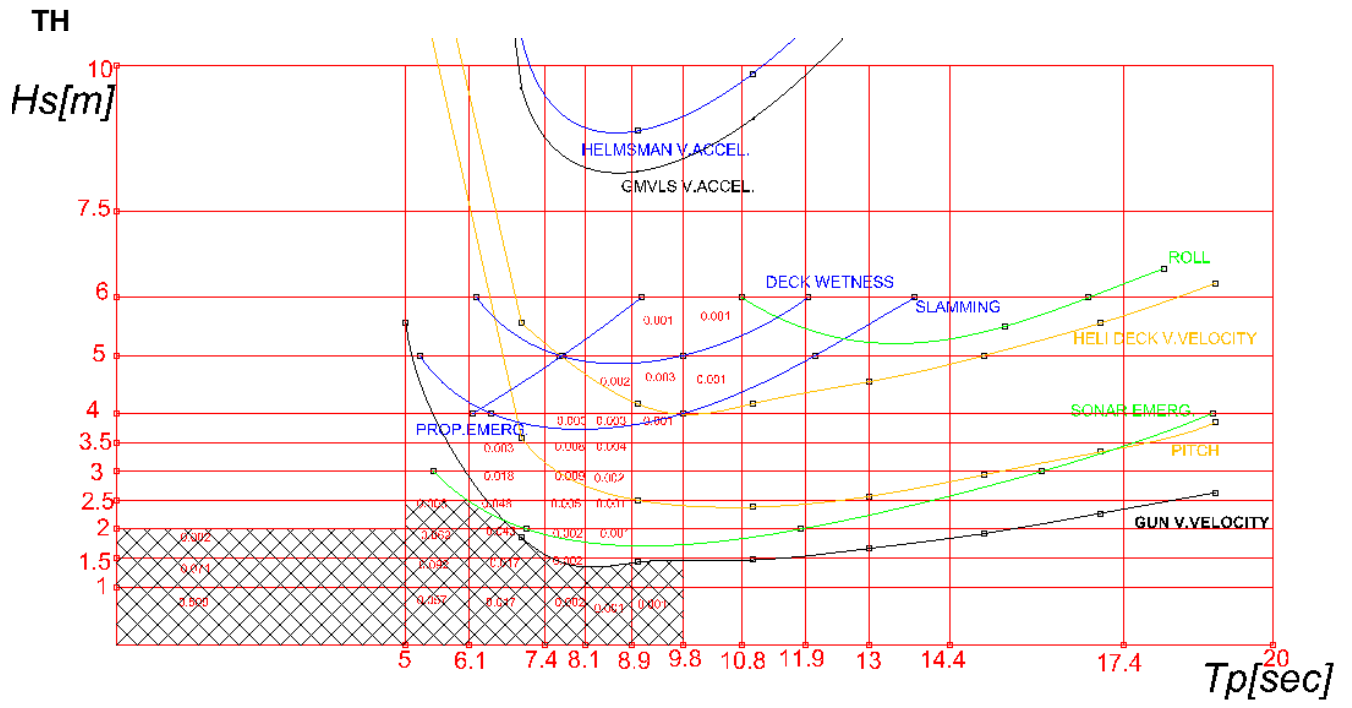
SPEED: 15 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 0°.
 AREA: 4.

MEKO



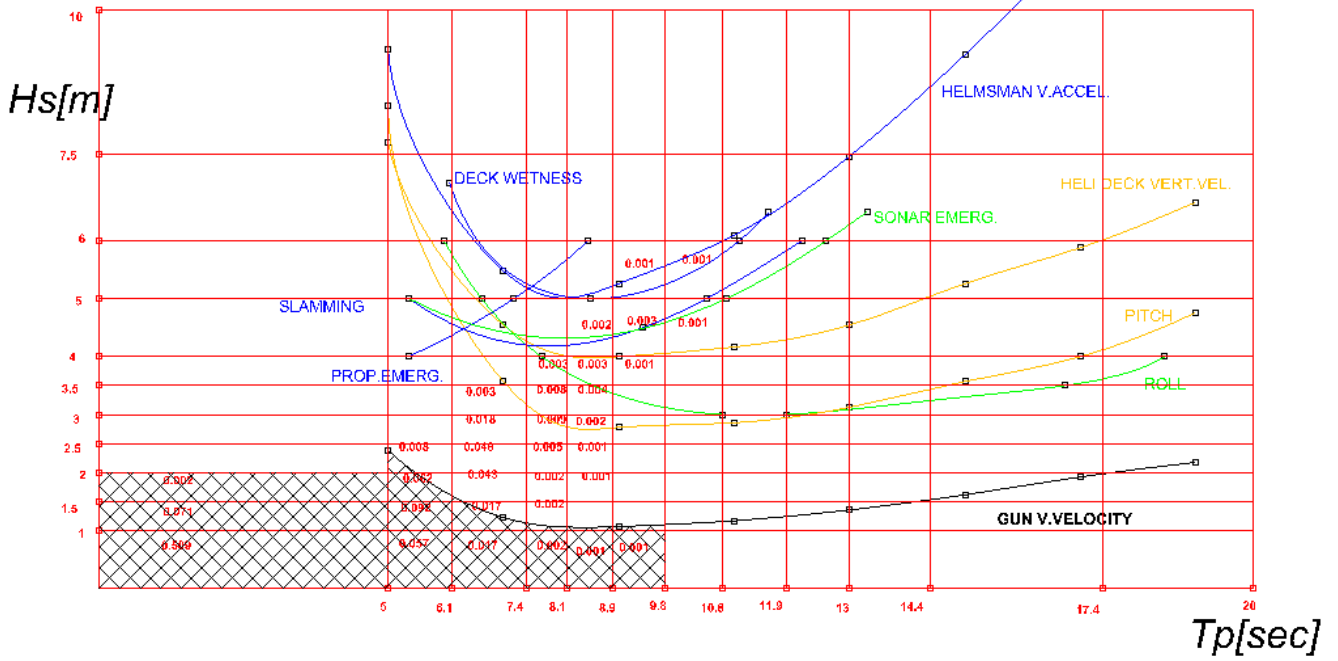
5415M (DDG-51)



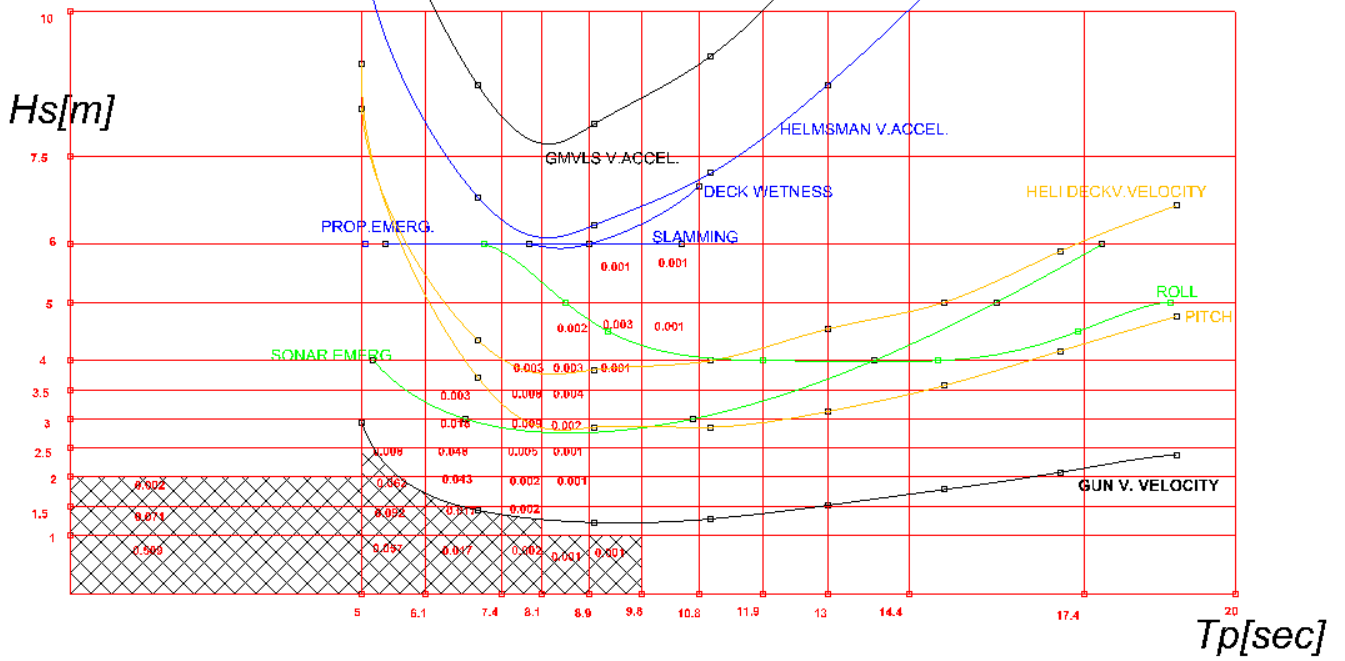


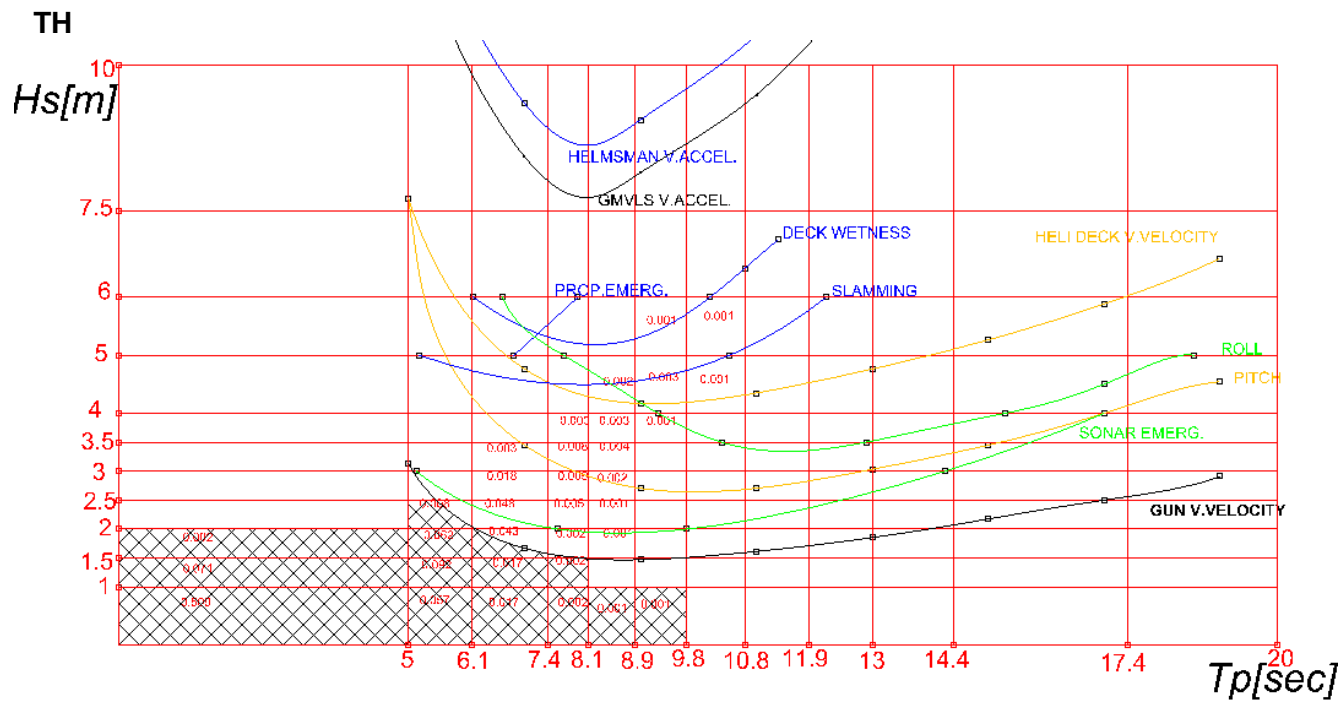
SPEED: 15 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 45°.
 AREA: 4.

MEKO



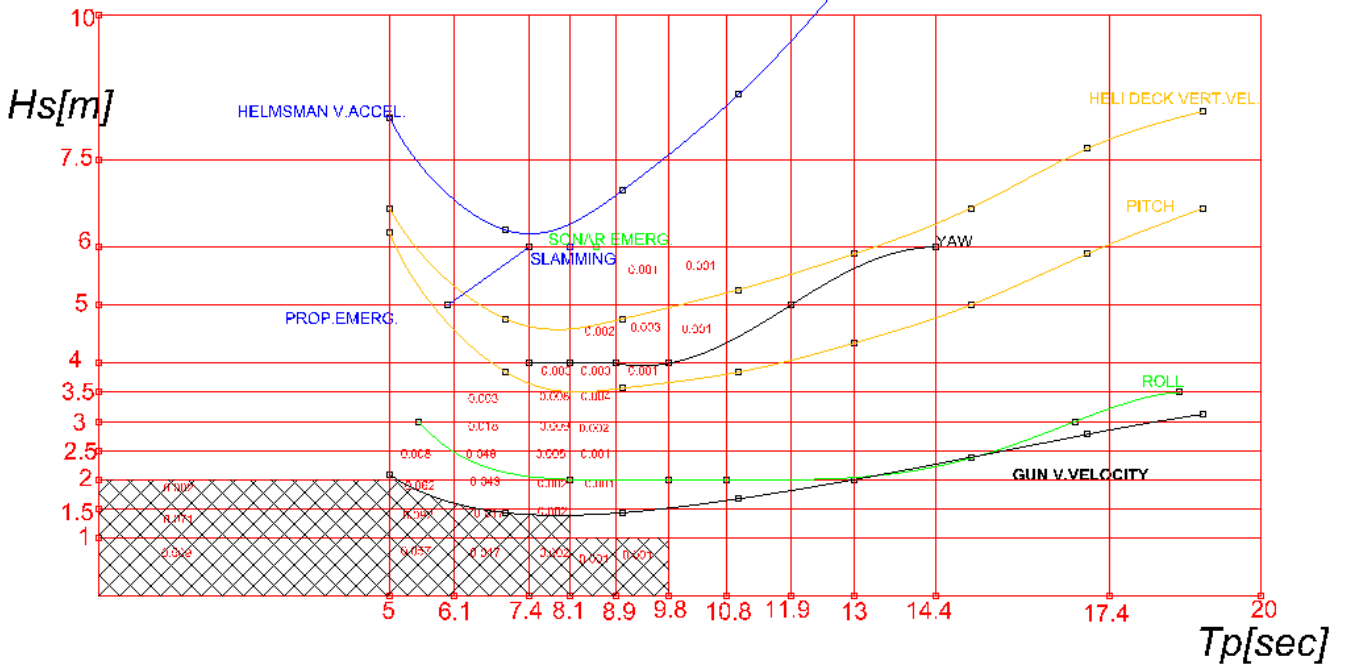
5415M (DDG-51)



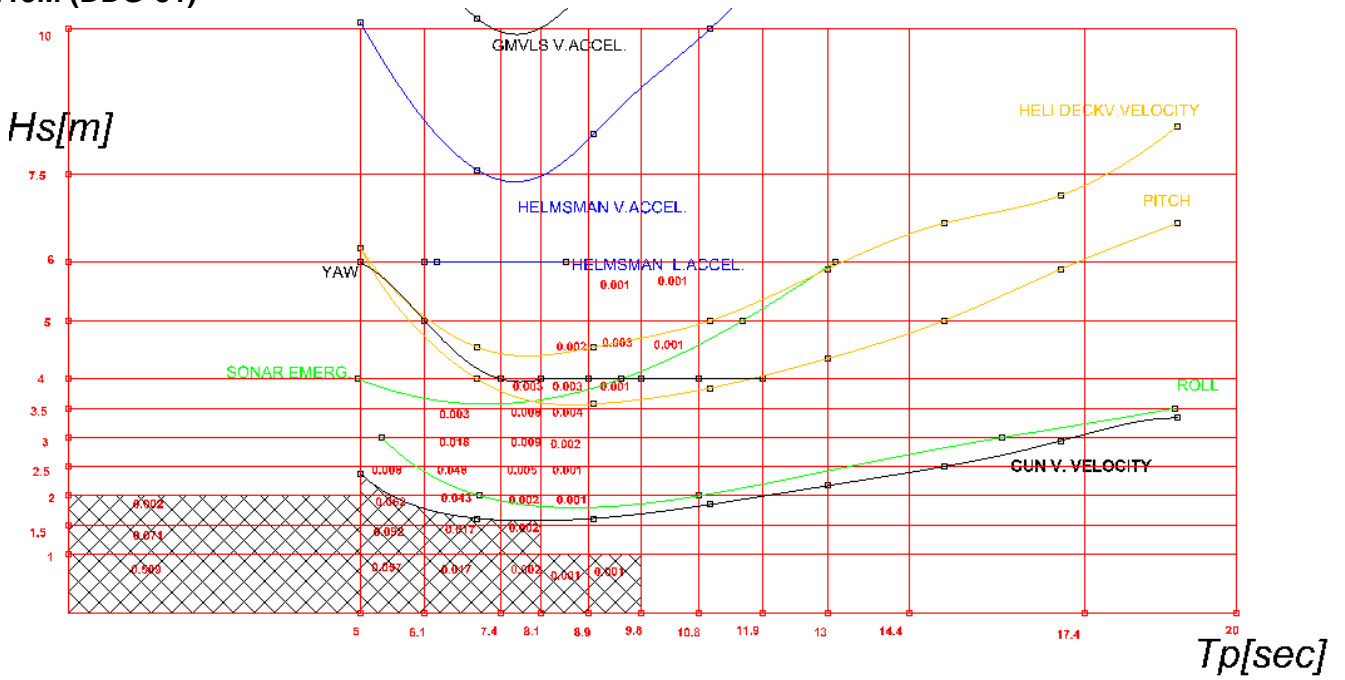


SPEED: 15 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 90°.
 AREA: 4.

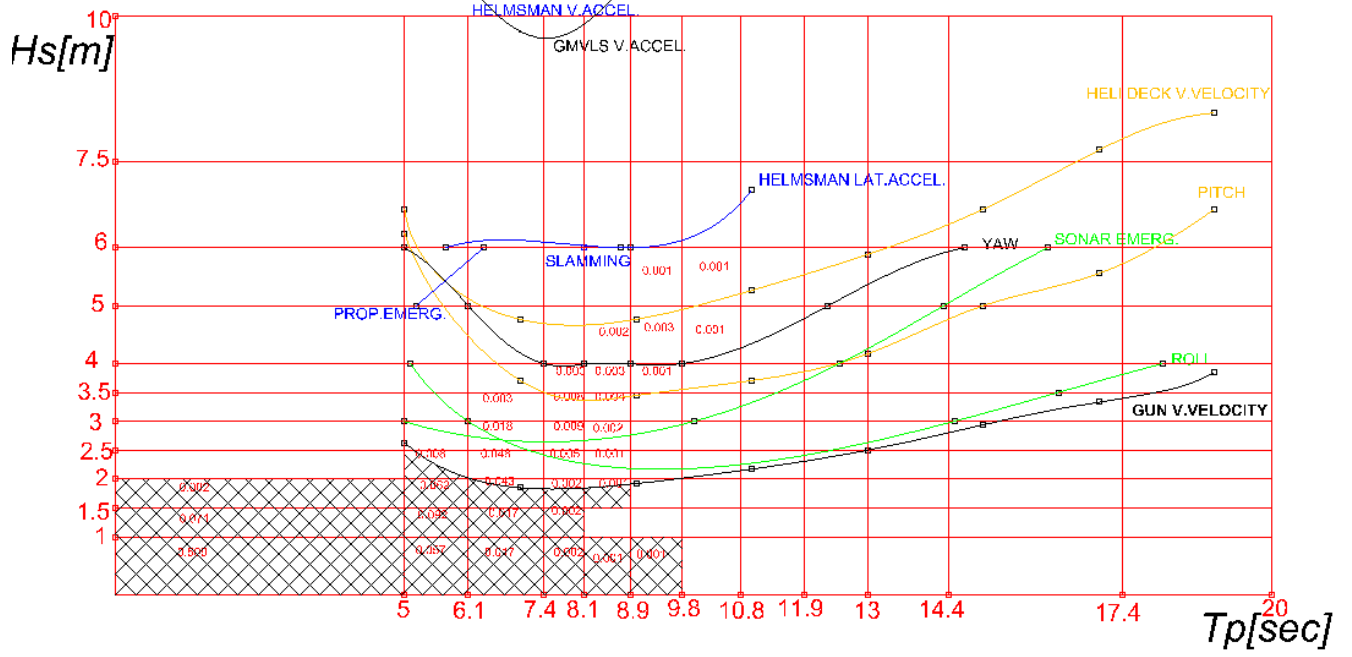
MEKO



5415M (DDG-51)

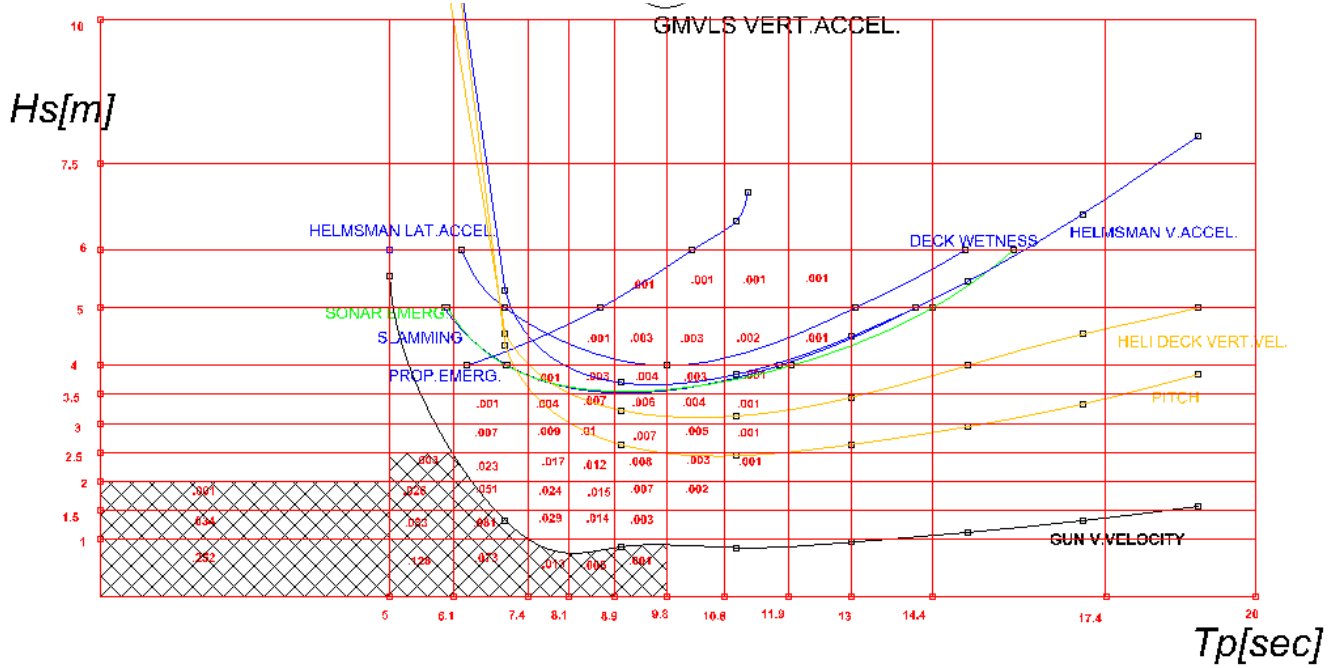


TH

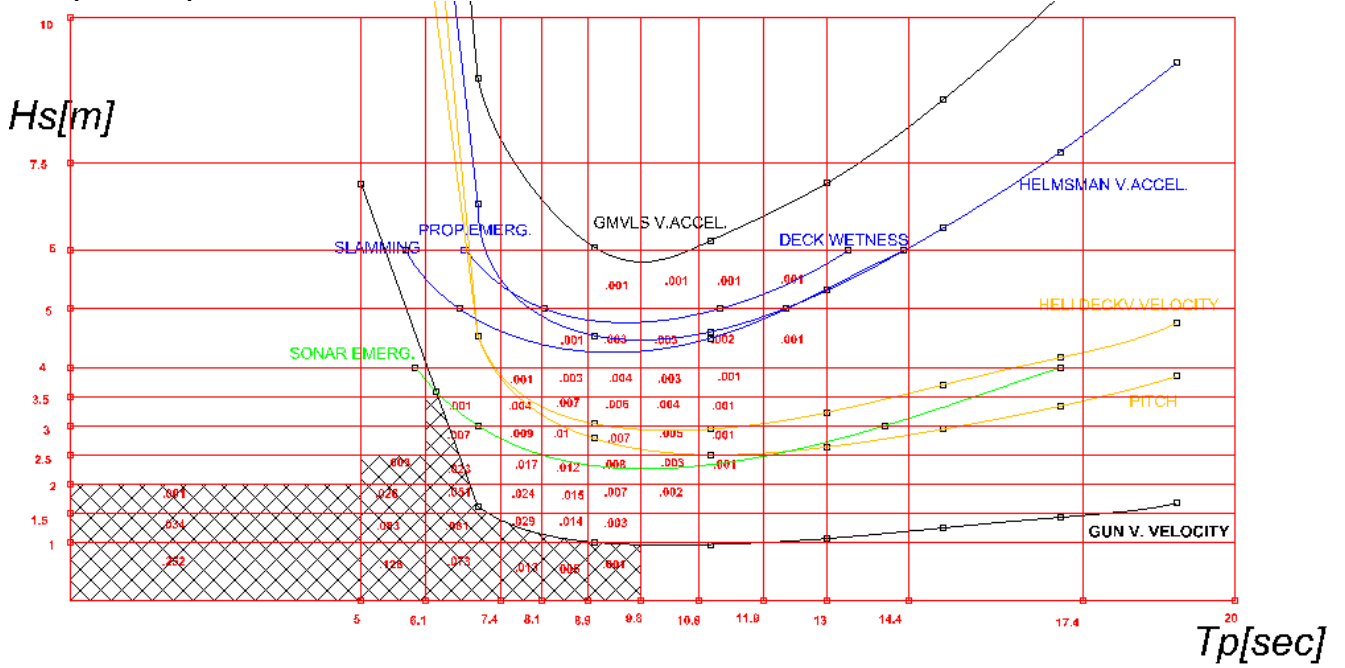


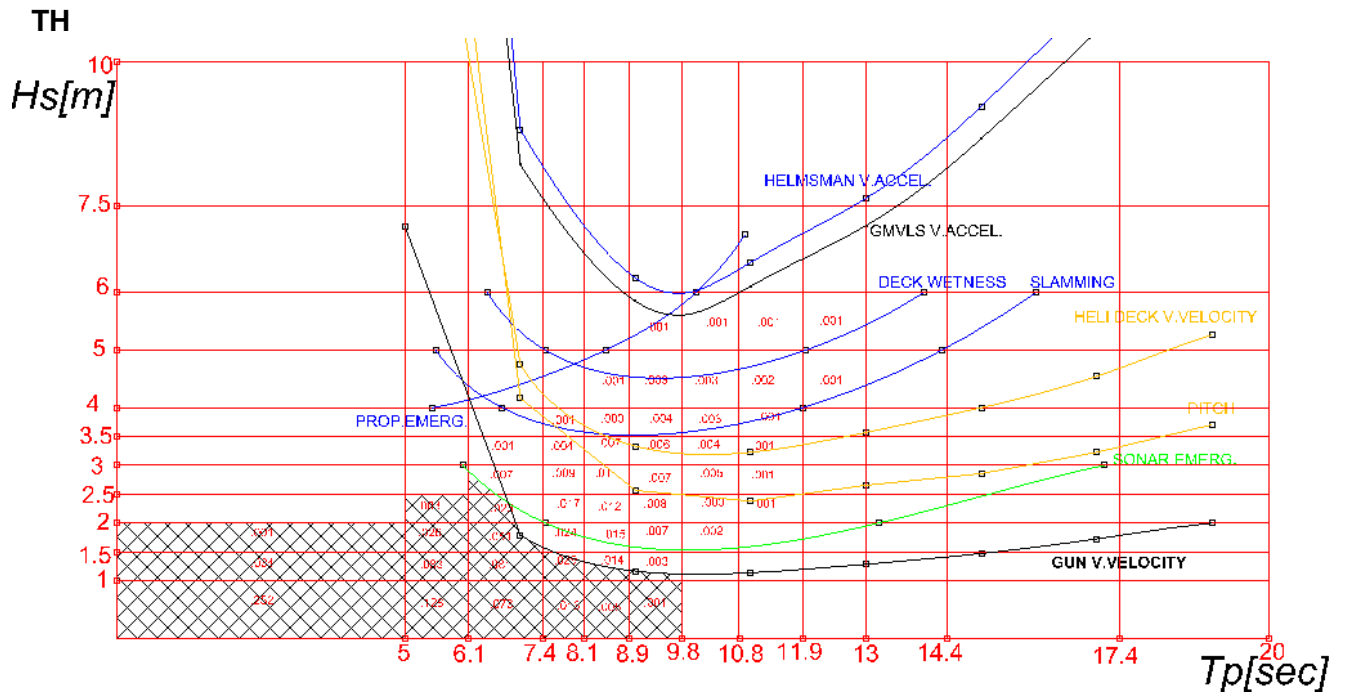
SPEED: 25 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 0°.
 AREA: 1.

MEKO



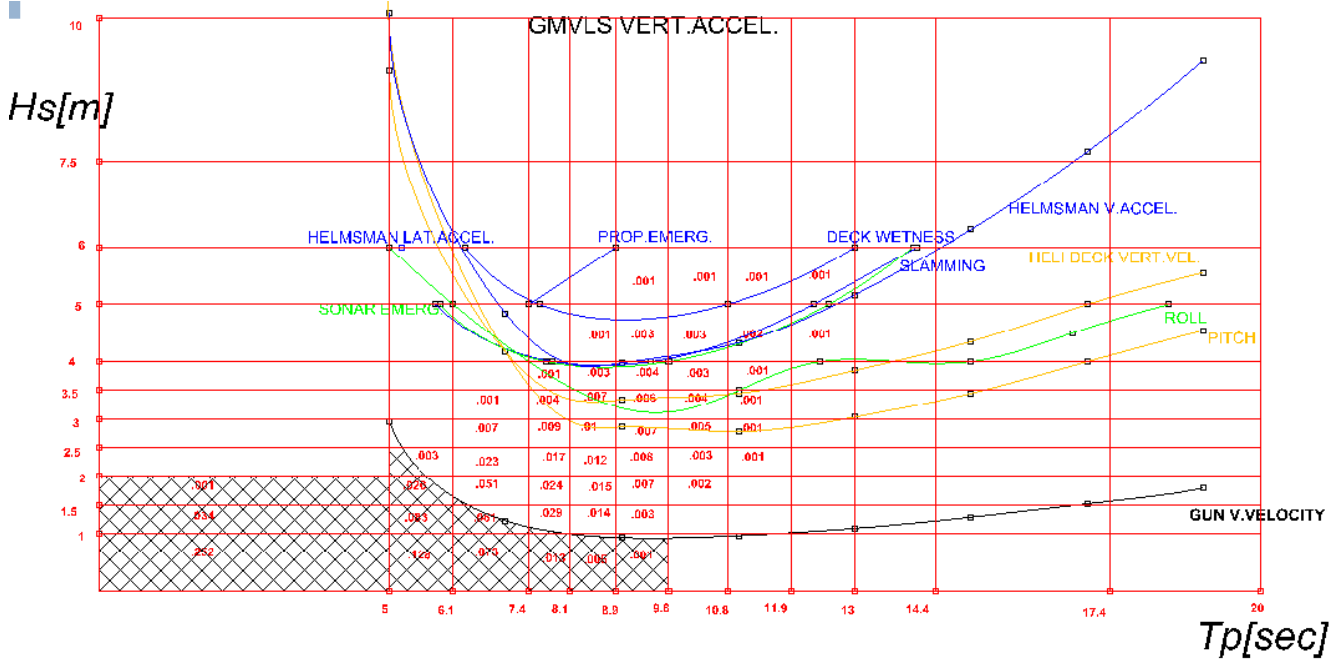
5415M (DDG-51)



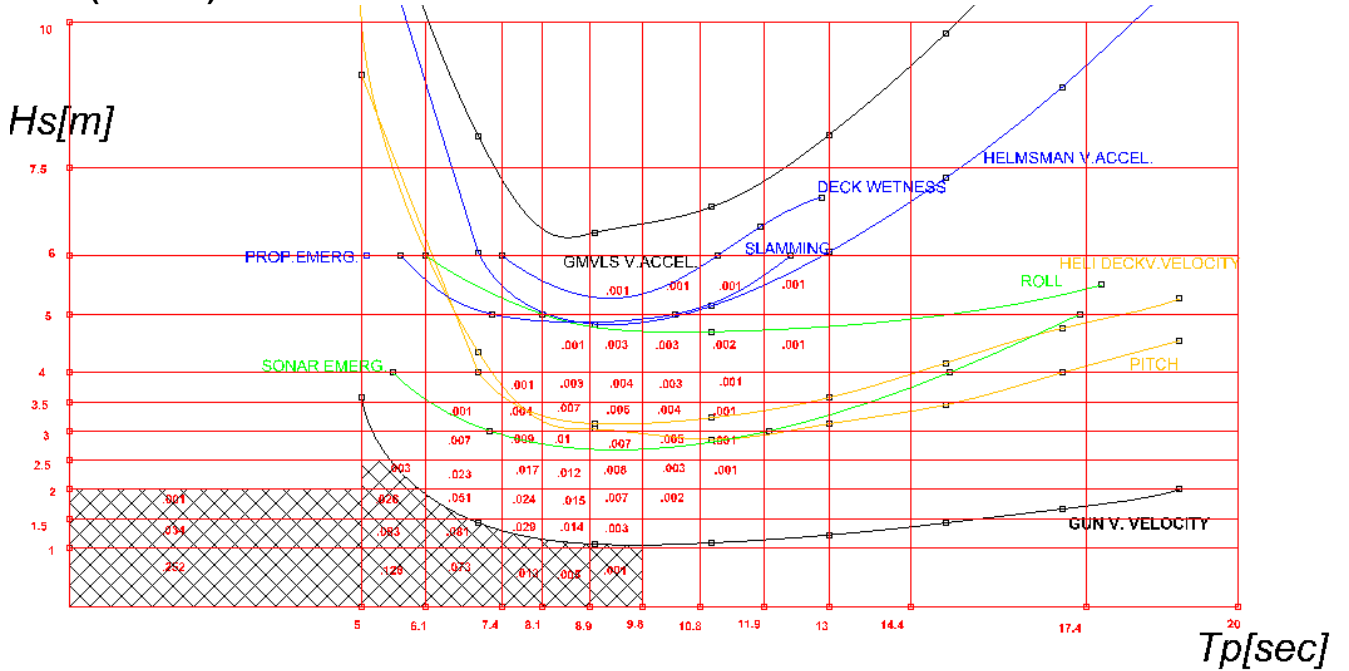


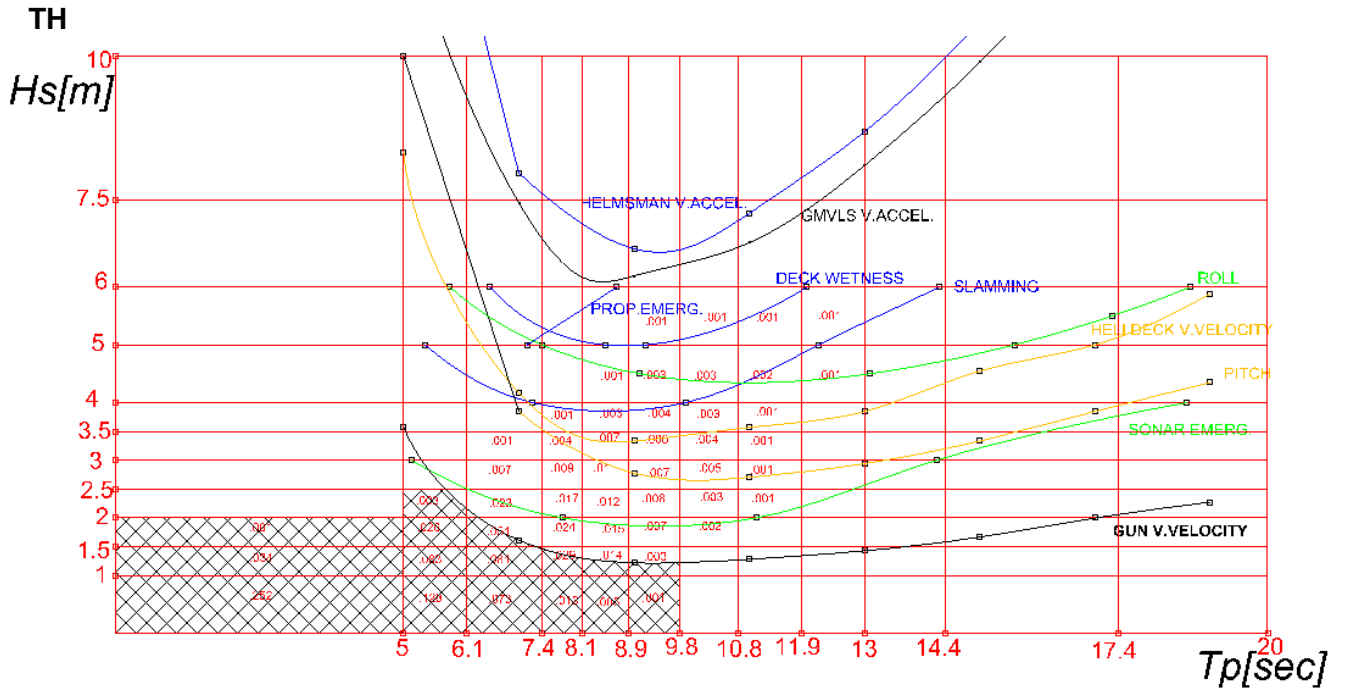
SPEED: 25 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 45°
 AREA: 1.

MEKO



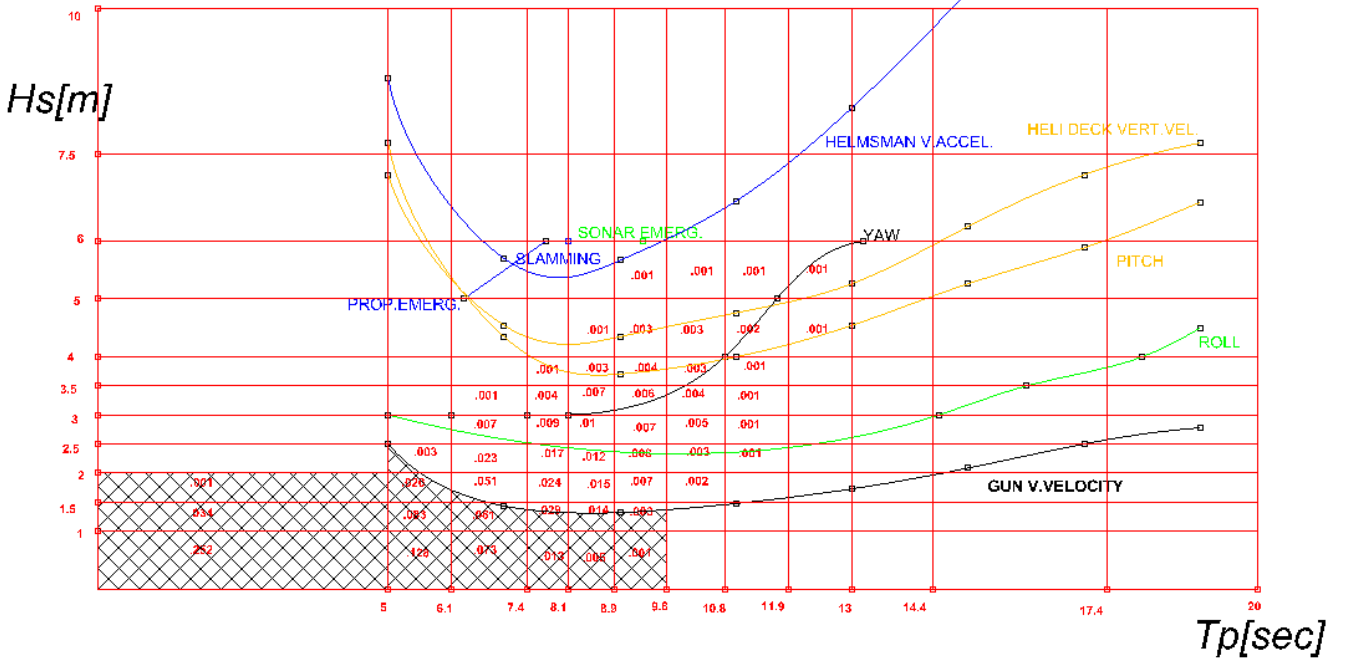
5415M (DDG-51)



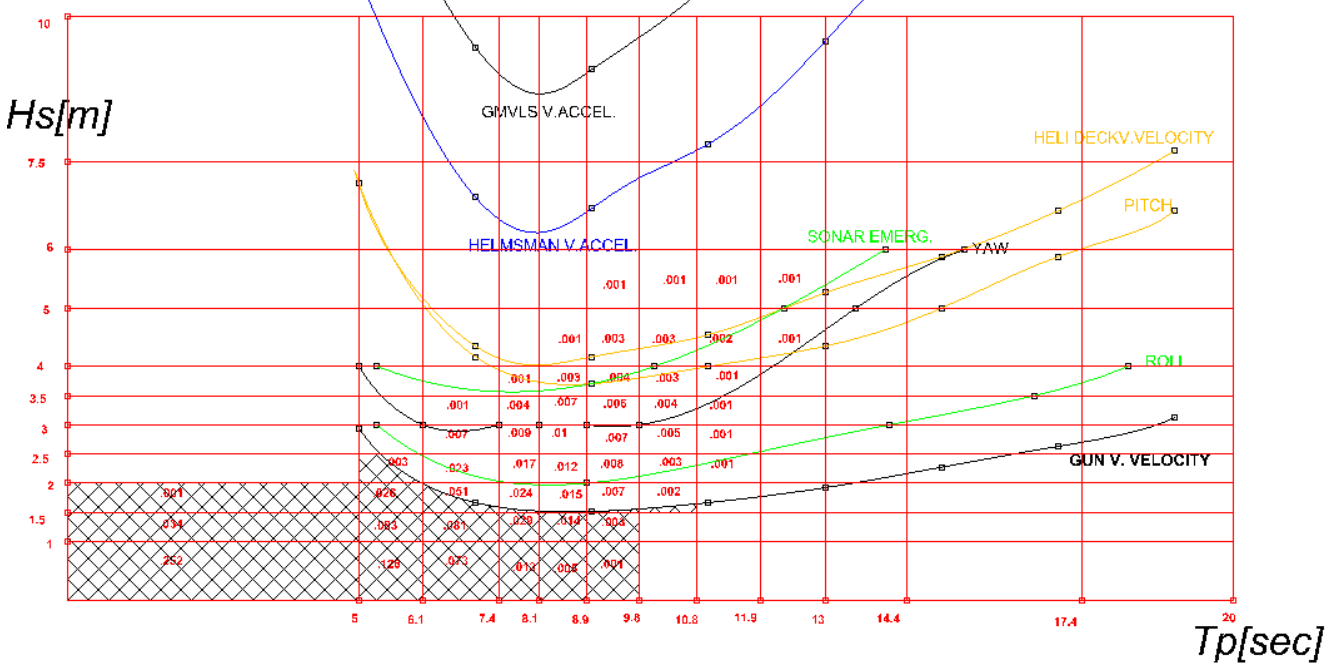


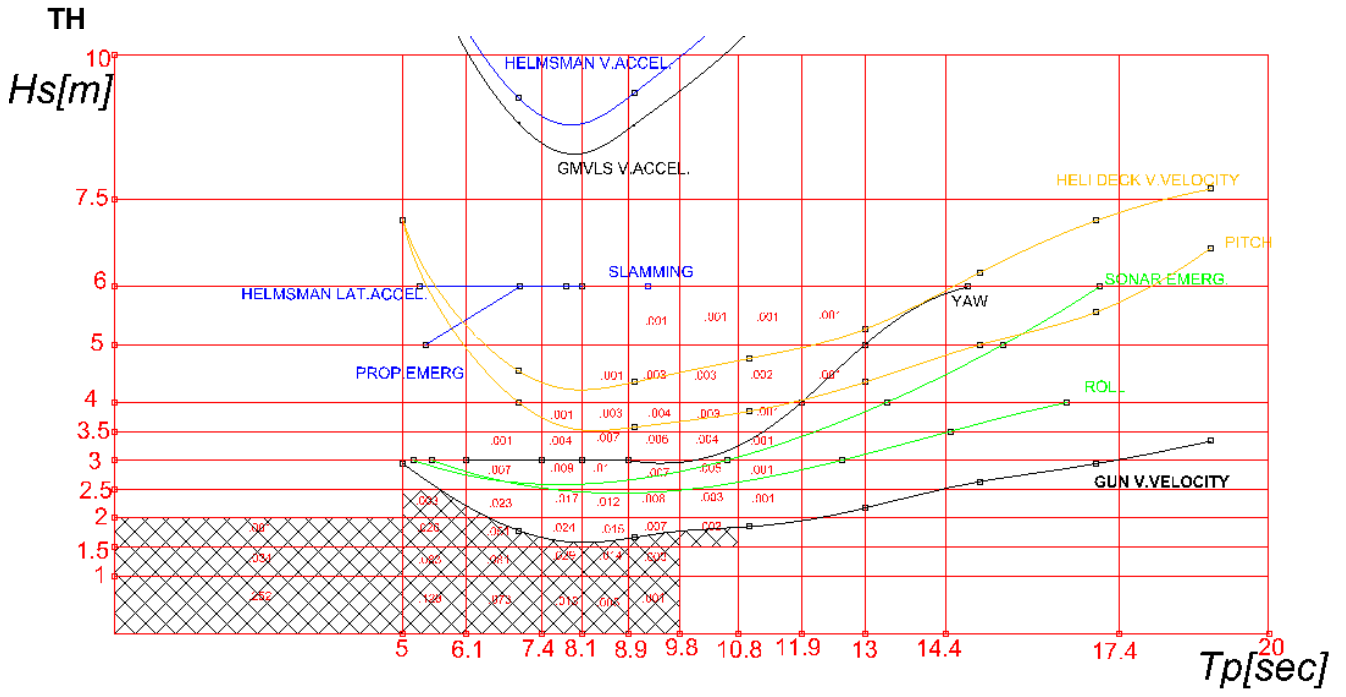
SPEED: 25 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 90°.
 AREA: 1.

MEKO



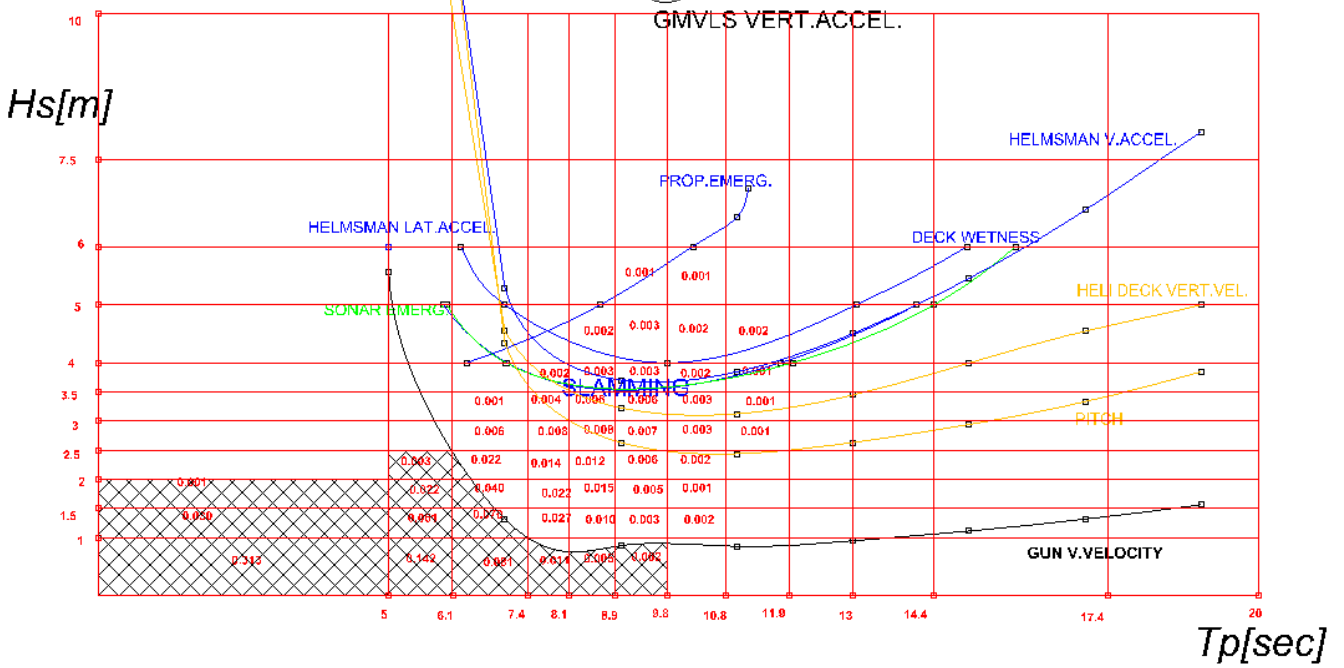
5415M (DDG-51)



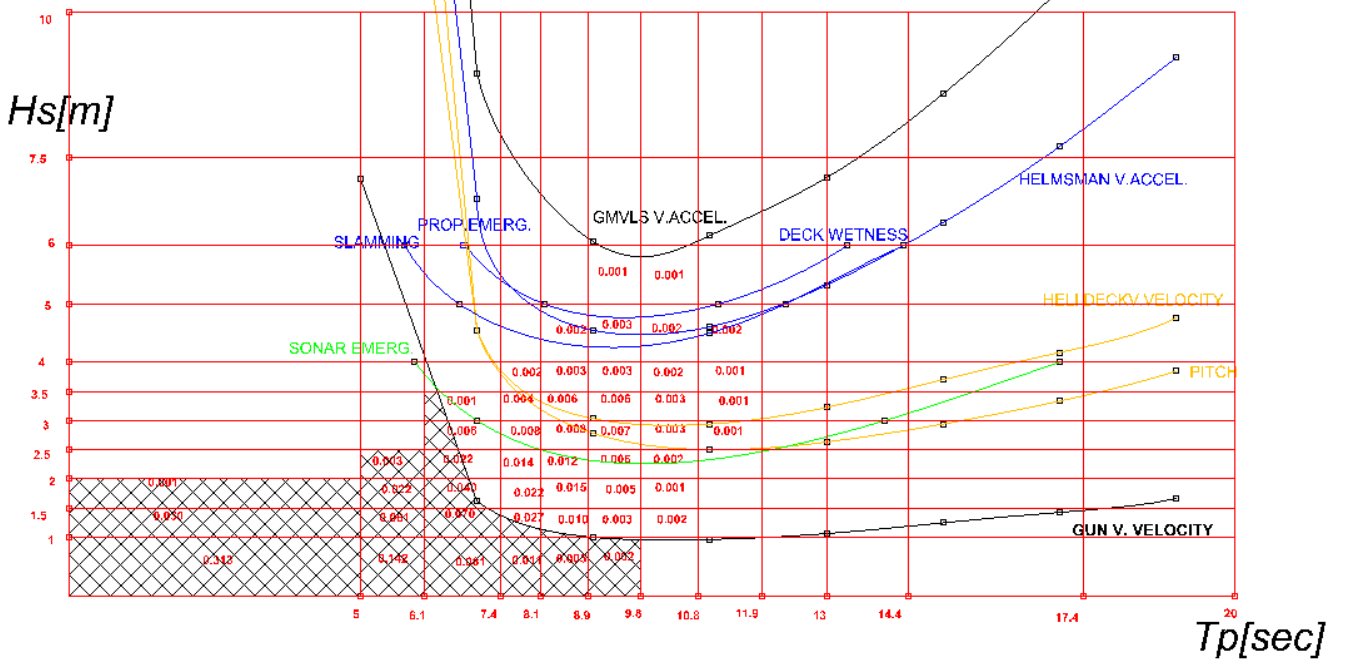


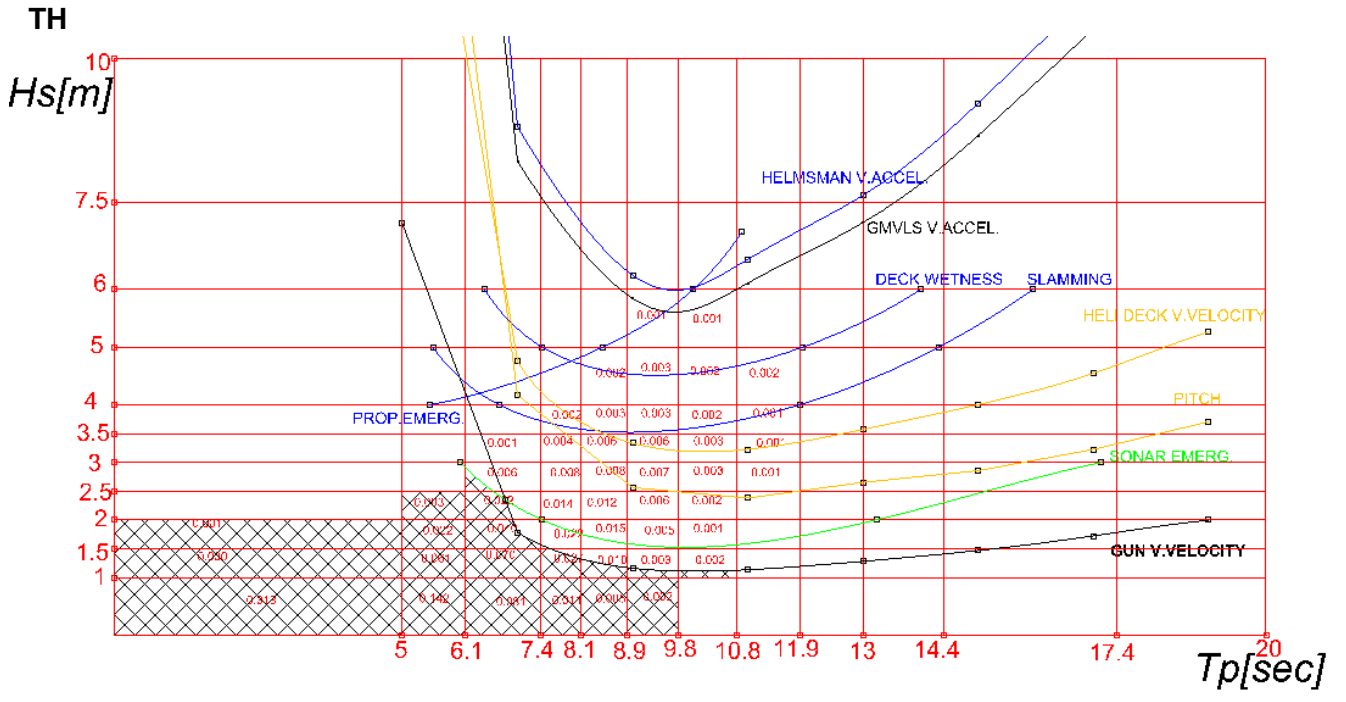
SPEED: 25 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 0°.
 AREA: 2.

MEKO



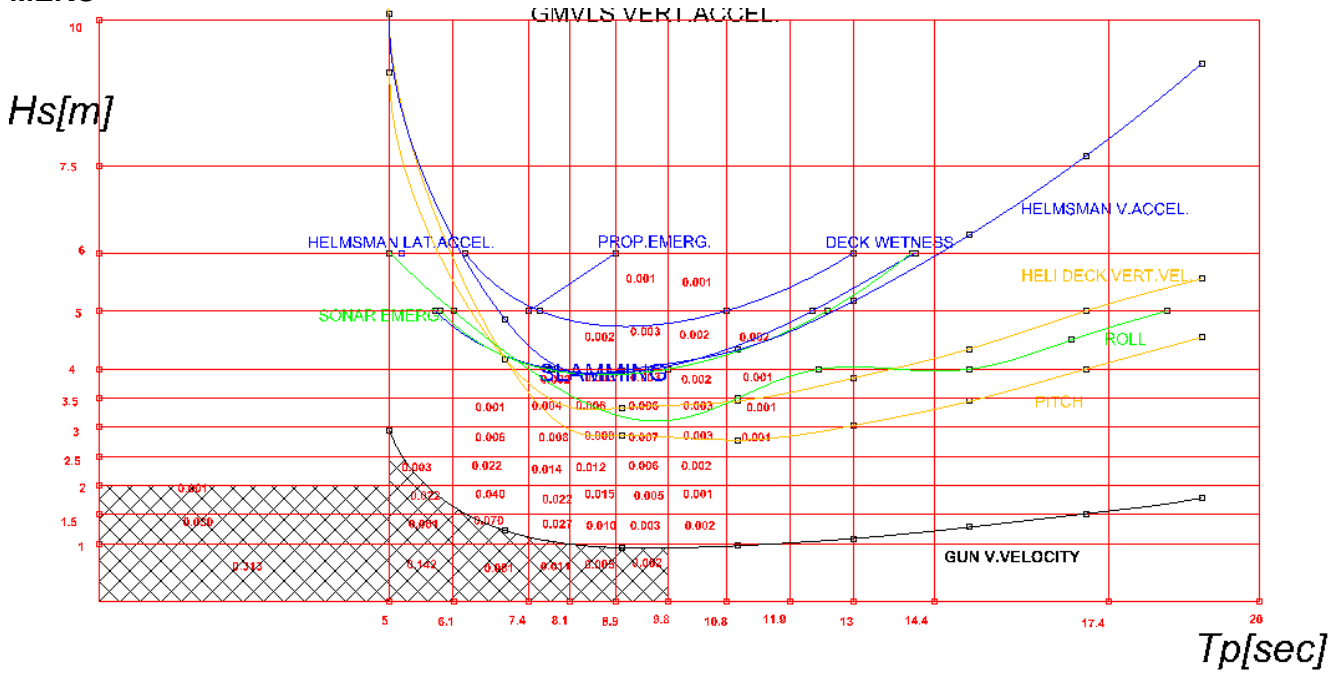
5415M (DDG-51)



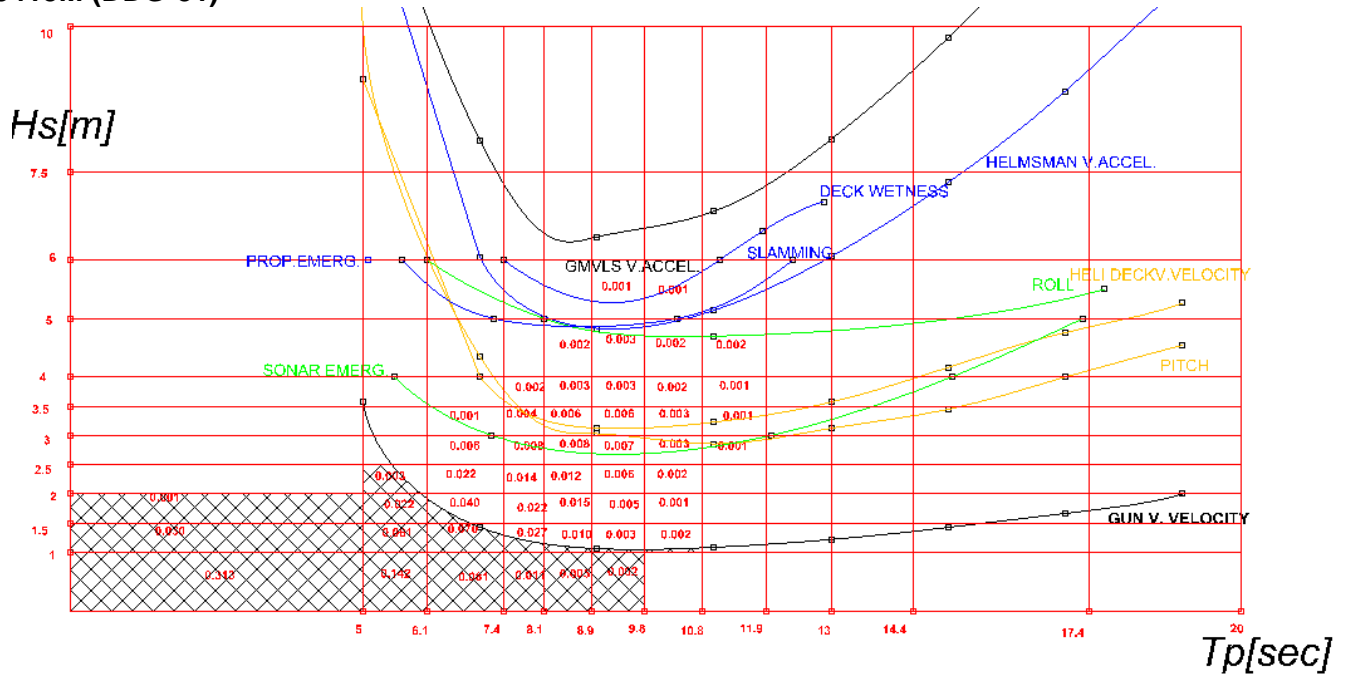


SPEED: 25 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 45°.
 AREA: 2.

MEKO

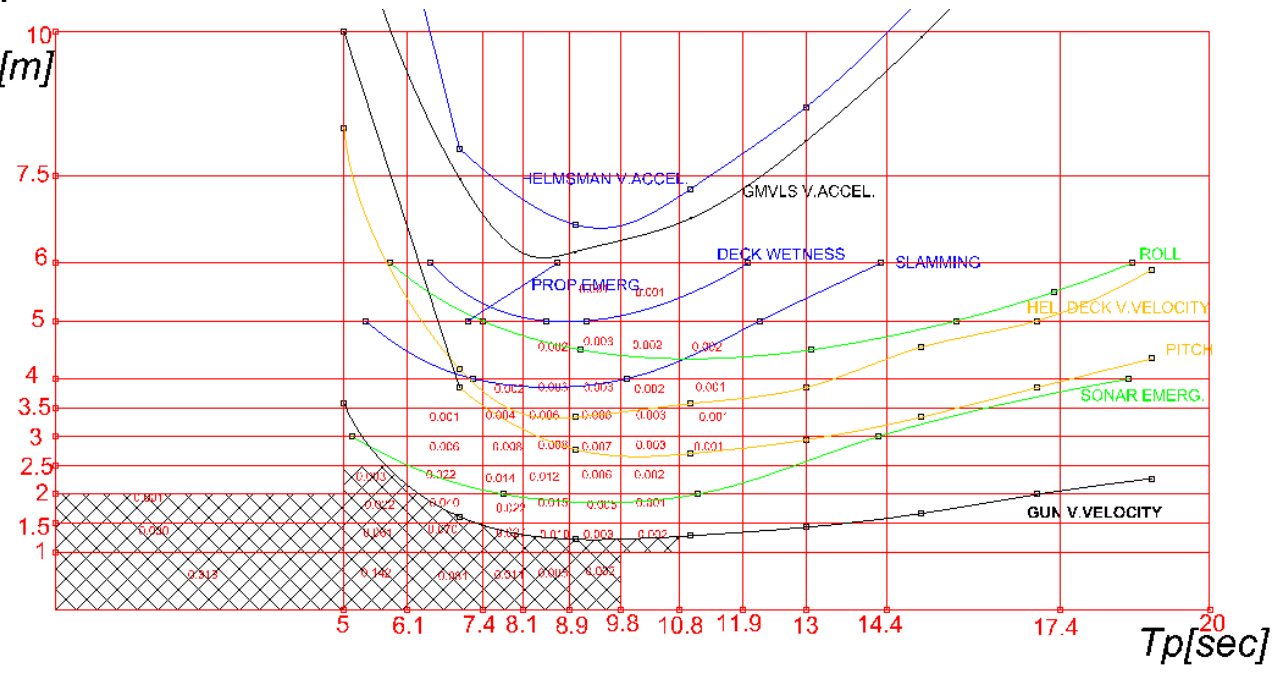


5415M (DDG-51)



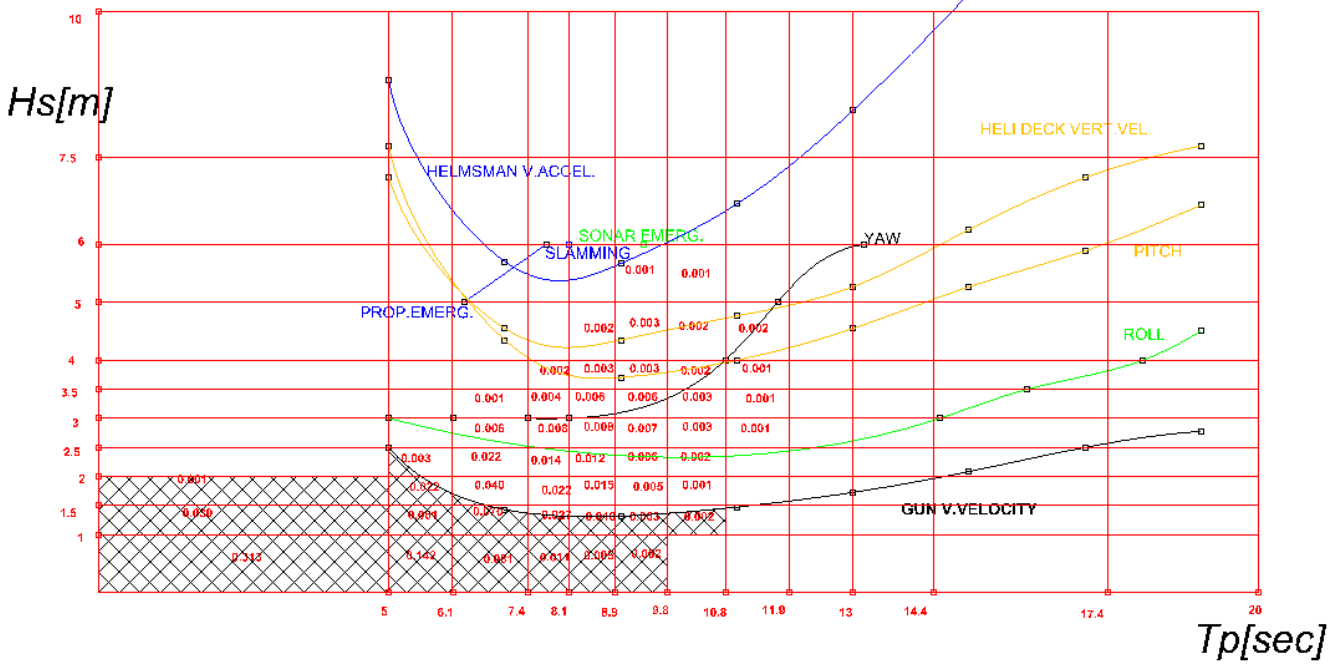
TH

Hs[m]

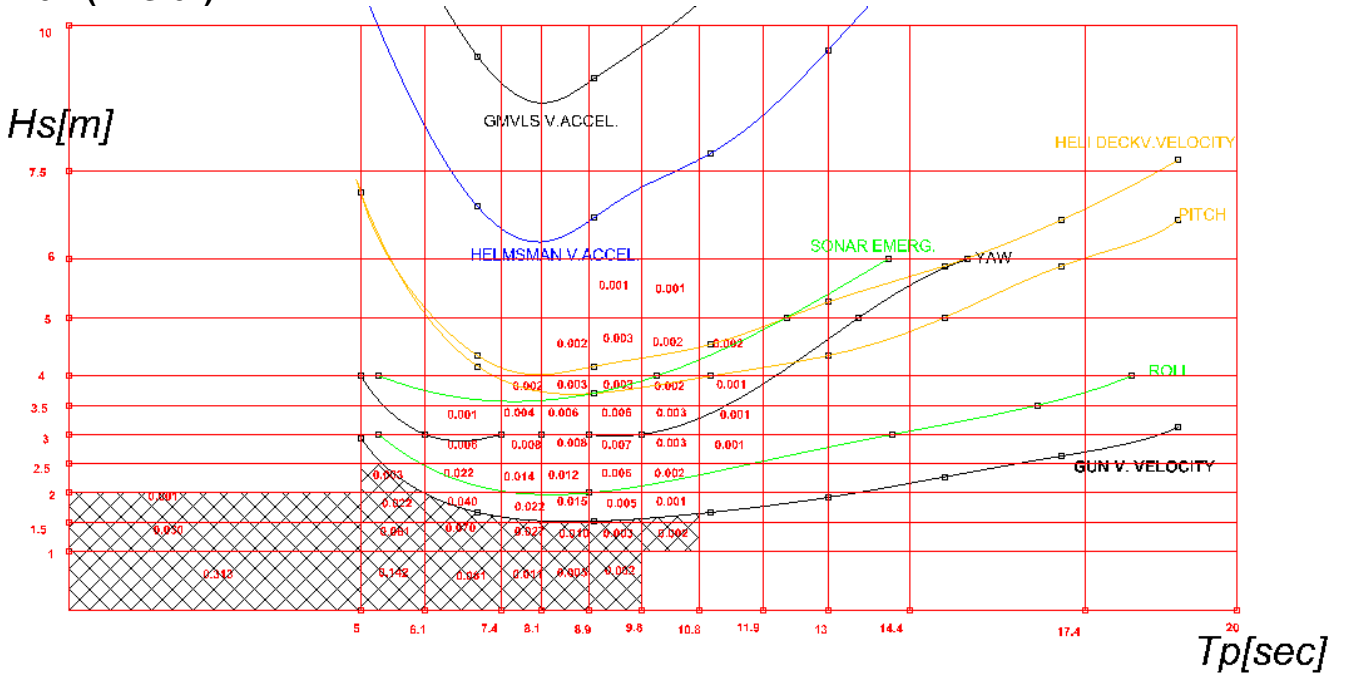


SPEED: 25 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 90°.
 AREA: 2.

MEKO

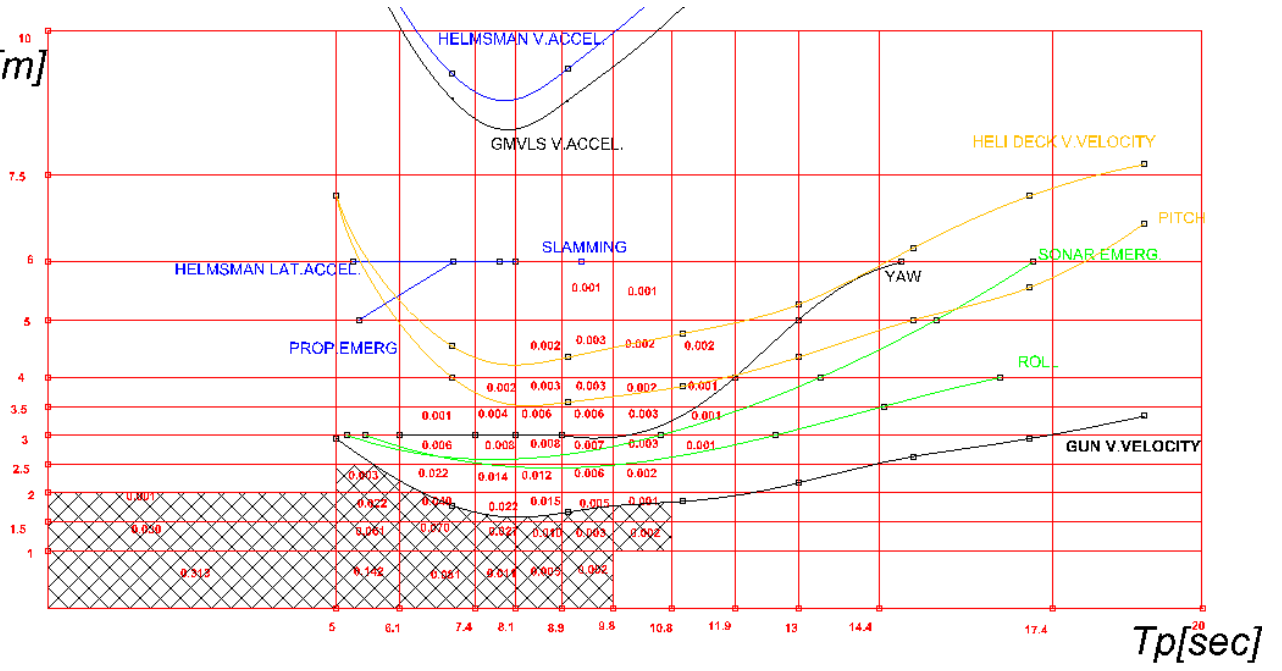


5415M (DDG-51)



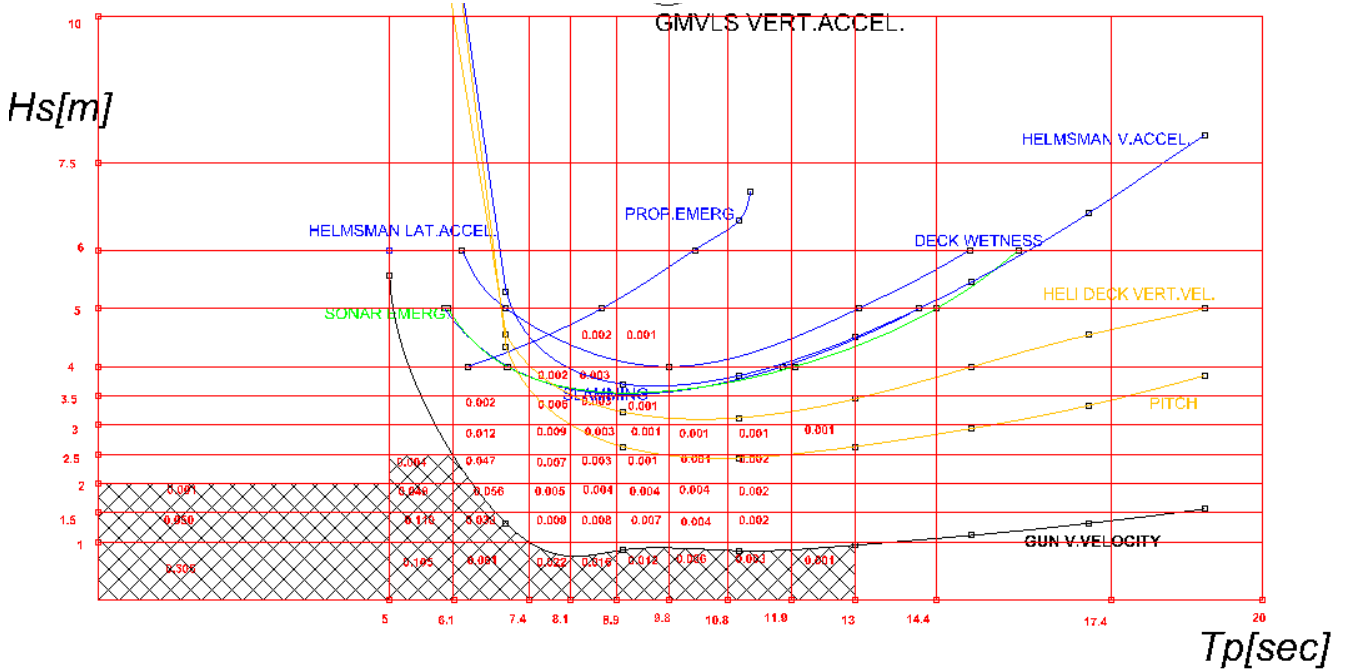
TH

Hs[m]

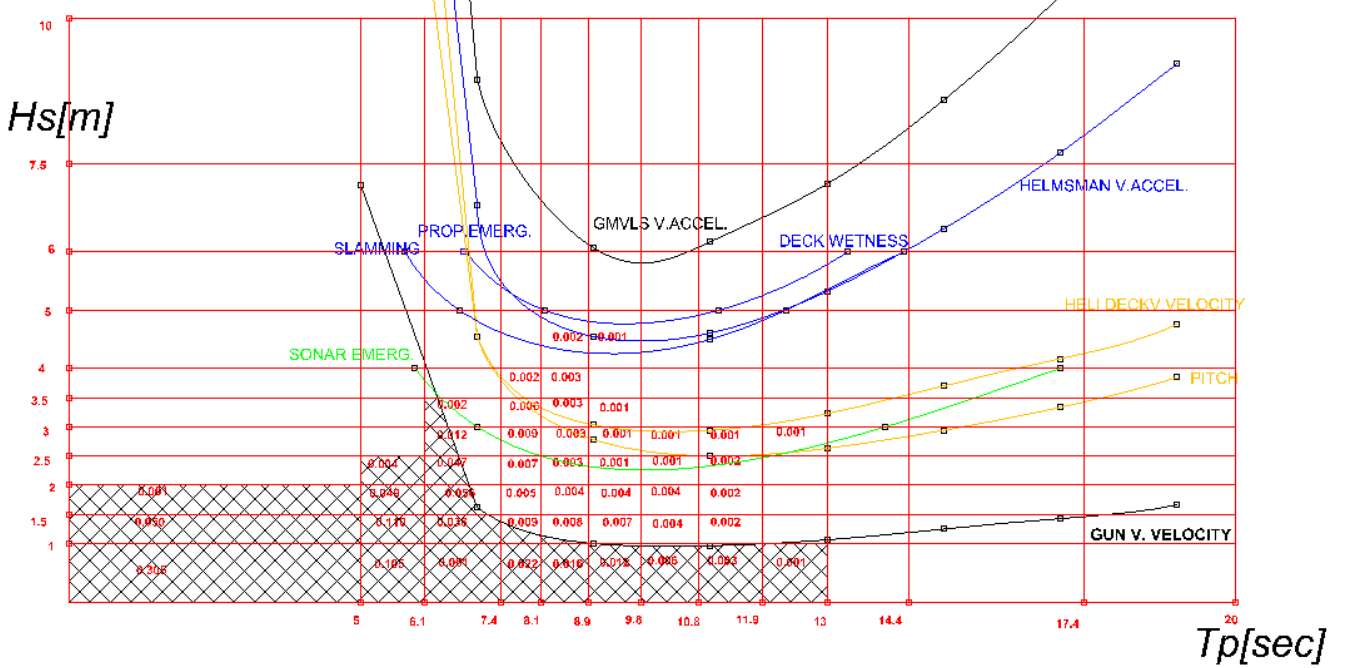


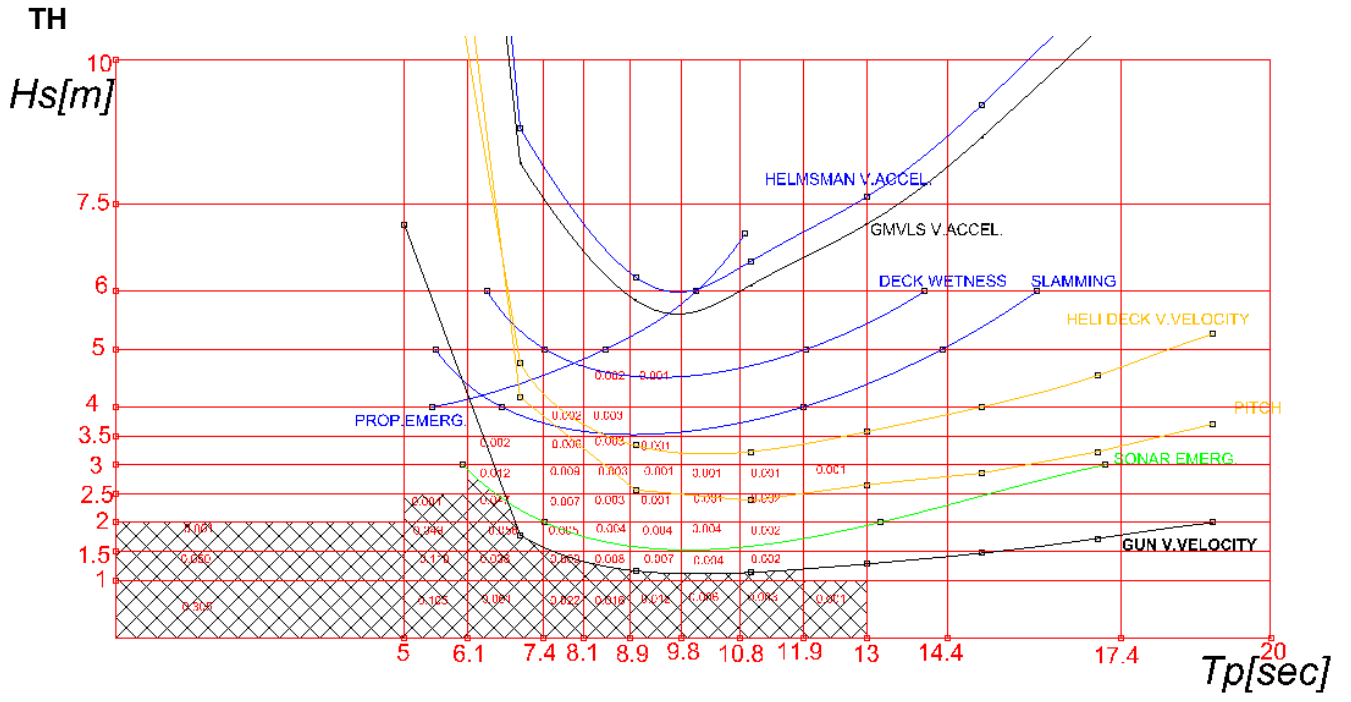
SPEED: 25 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 0°.
 AREA: 3.

MEKO



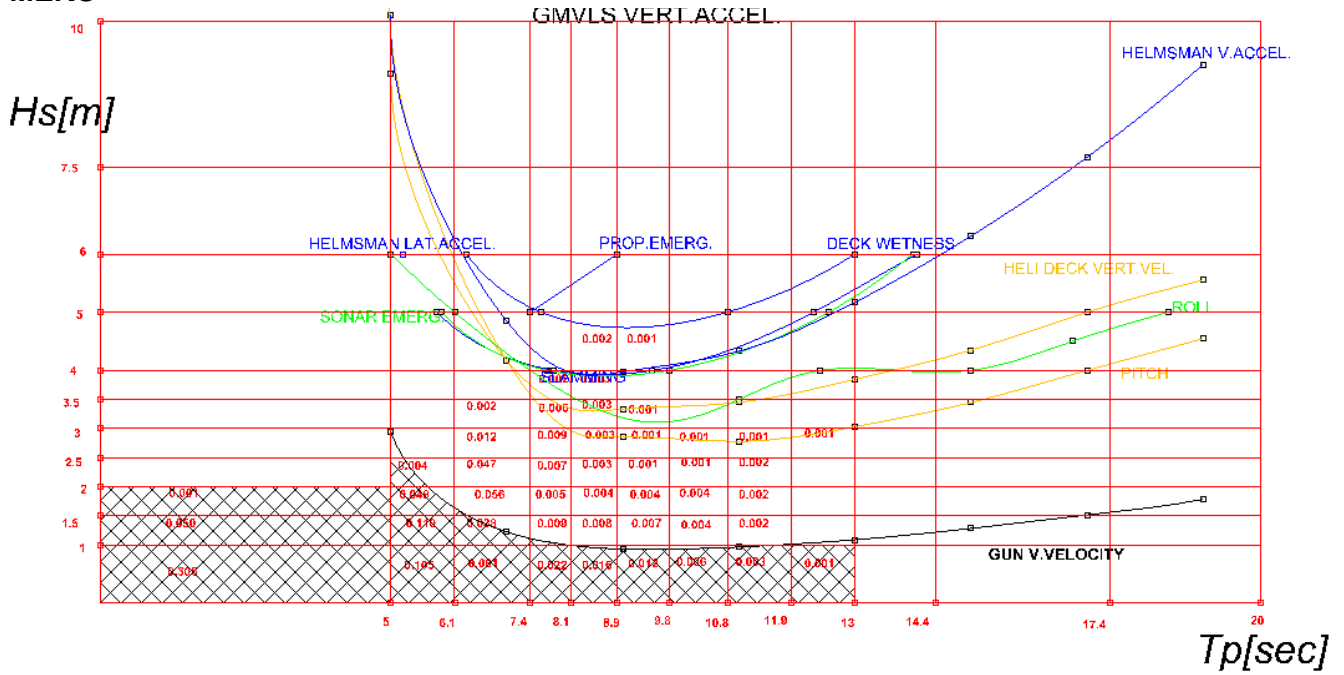
5415M (DDG-51)



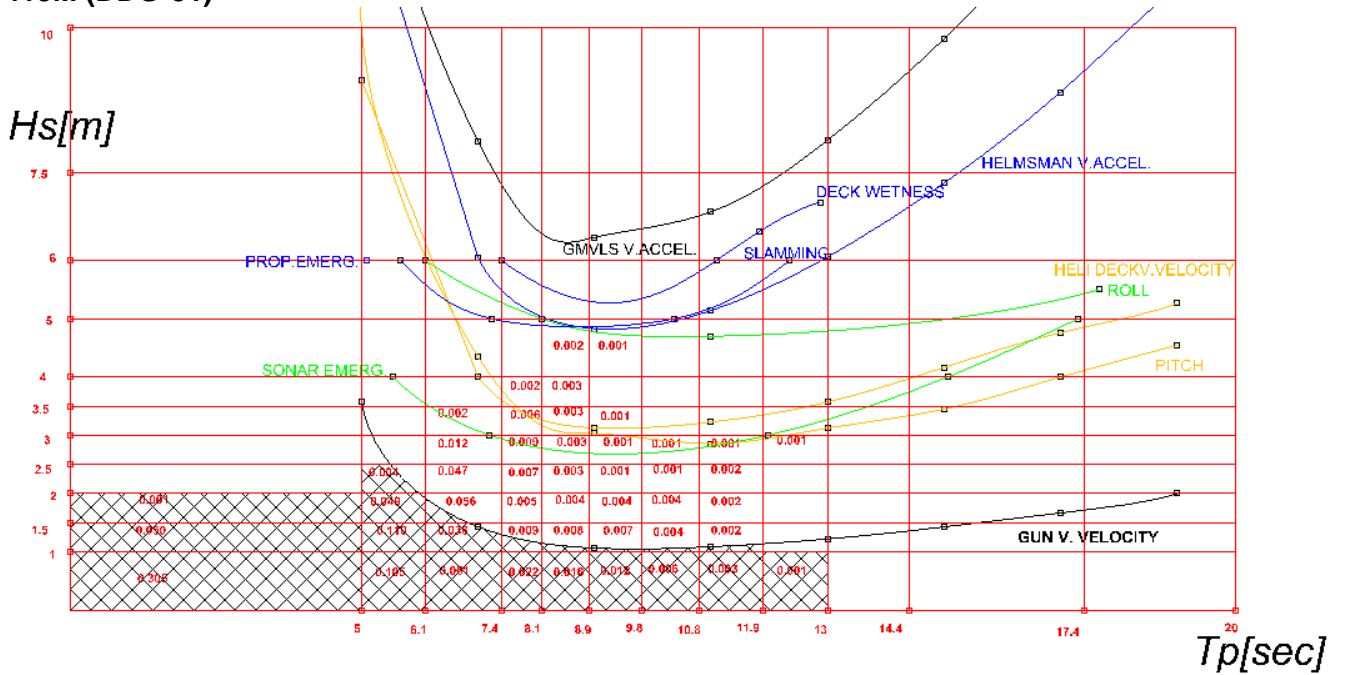


**SPEED: 25 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 45°
 AREA: 3.**

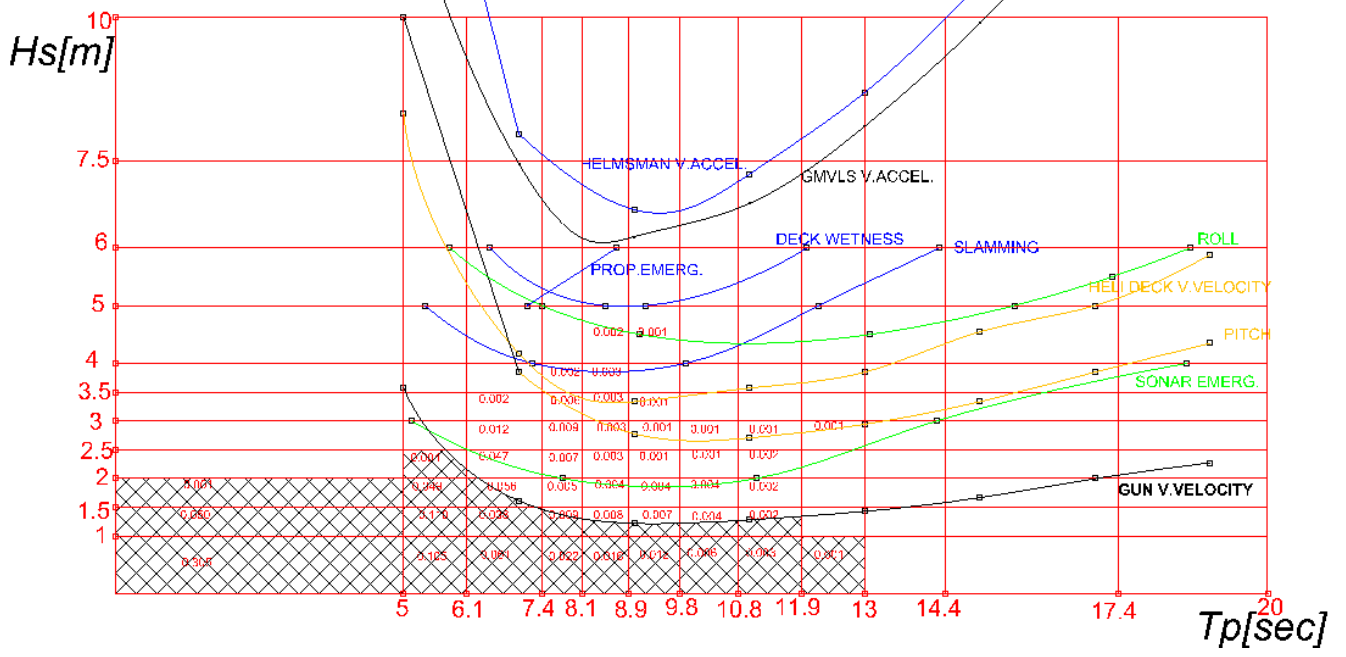
MEKO



5415M (DDG-51)

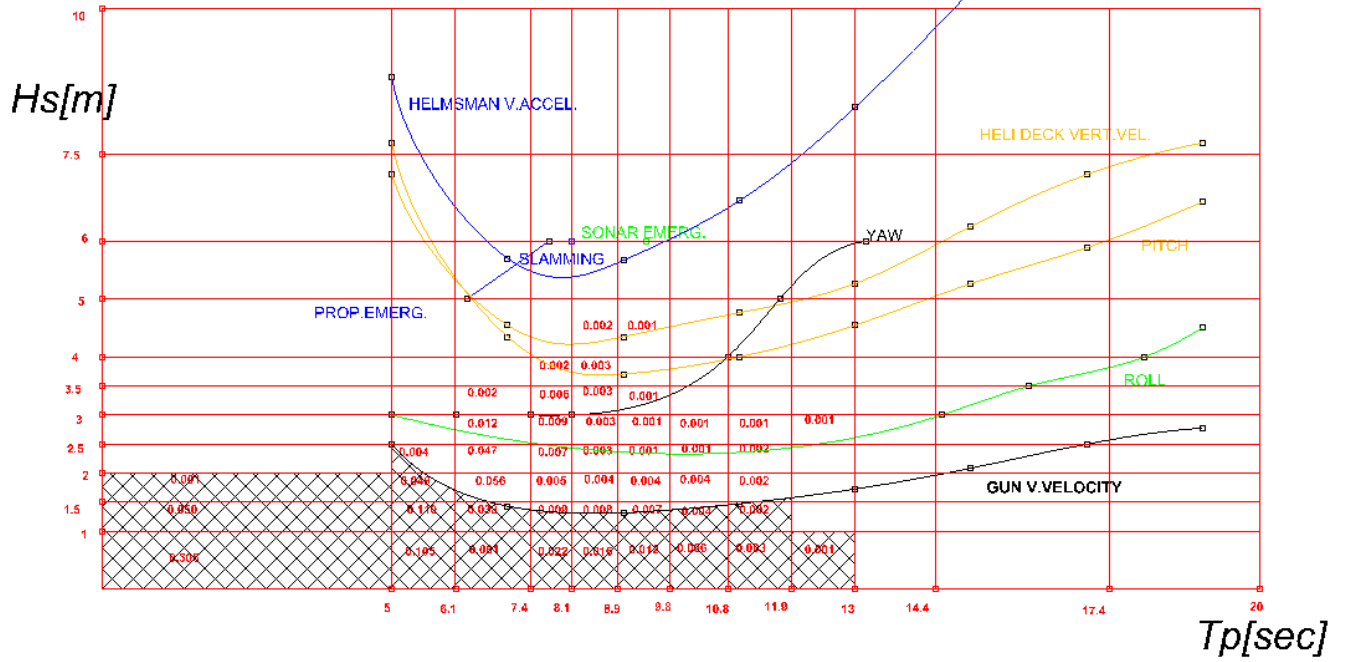


TH

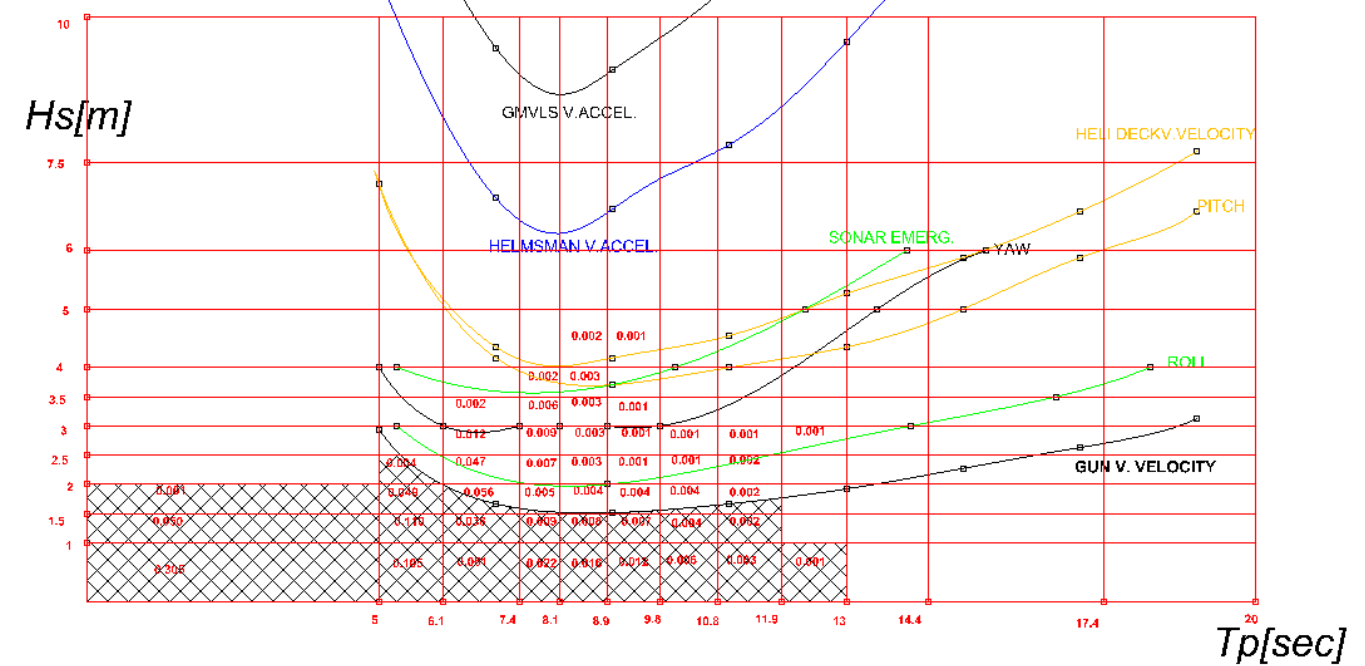


SPEED: 25 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 90°.
 AREA: 3.

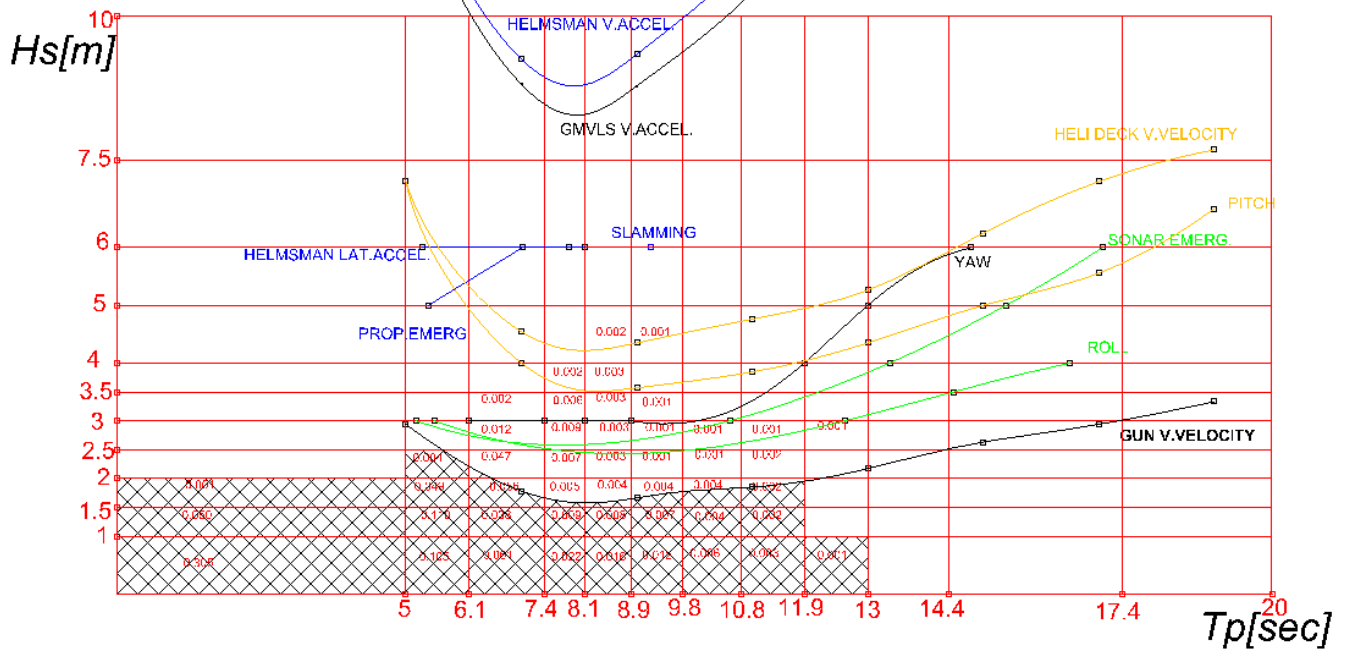
MEKO



5415M (DDG-51)

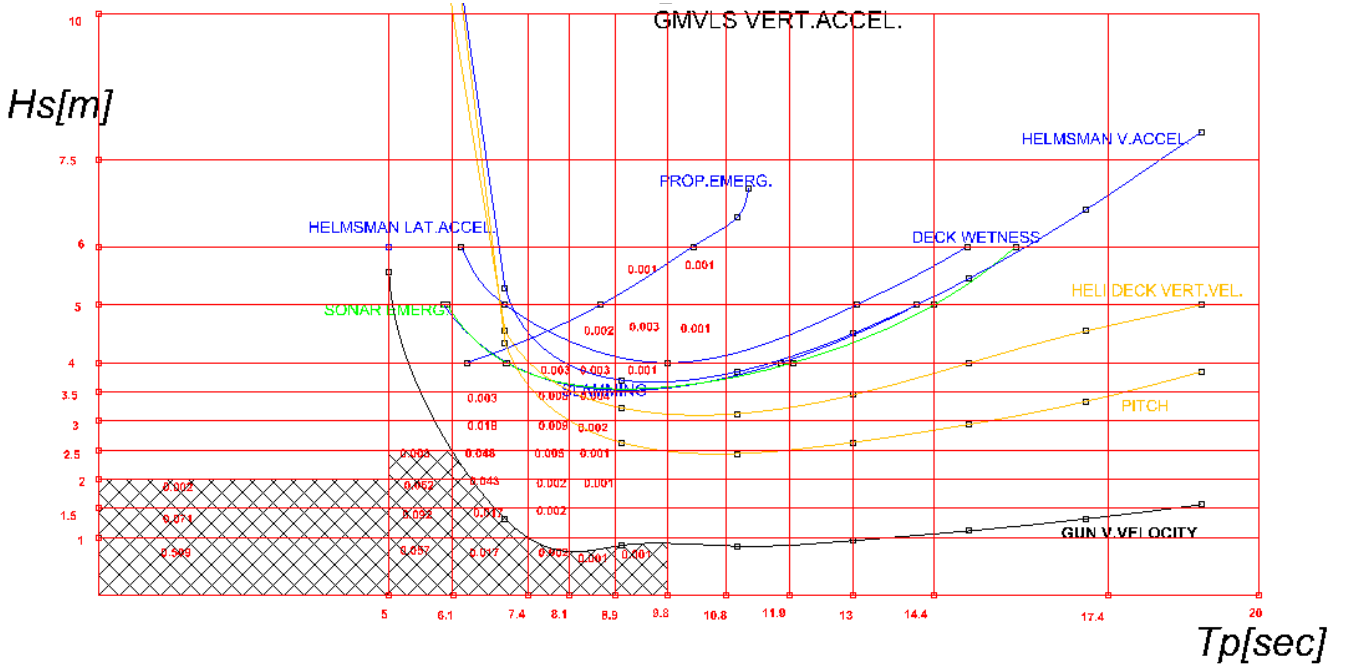


TH

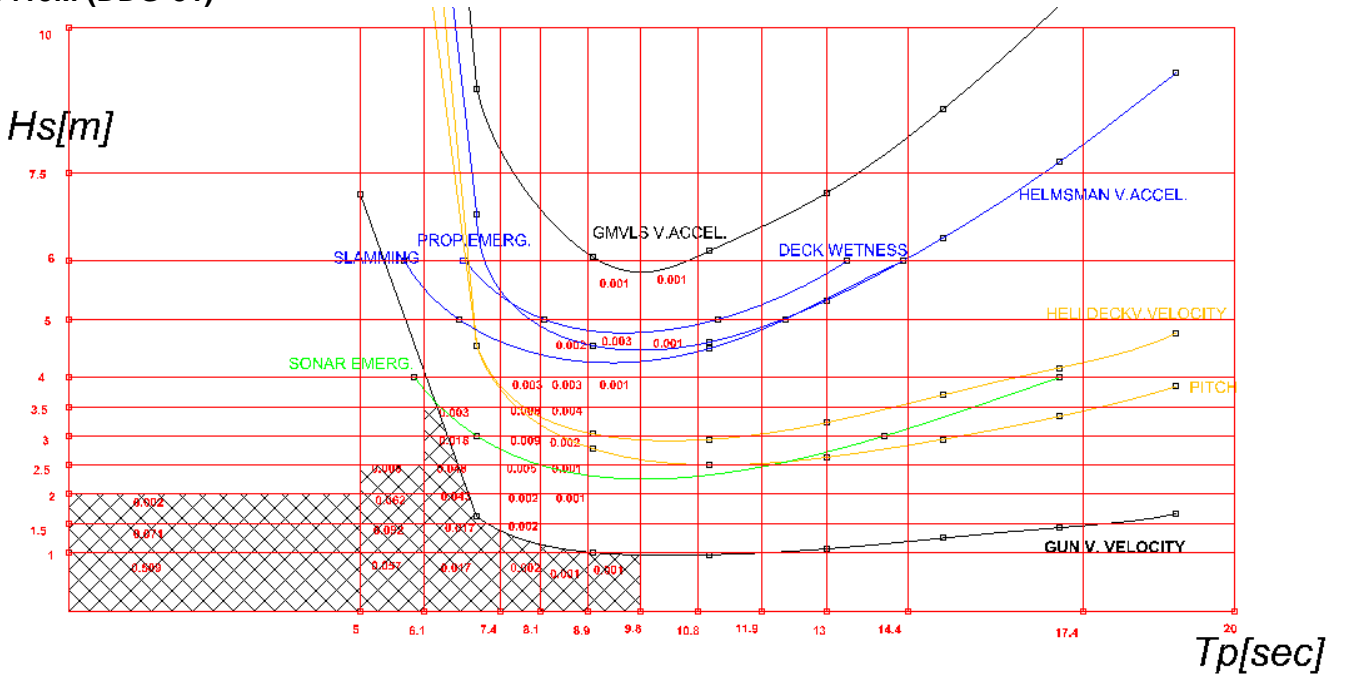


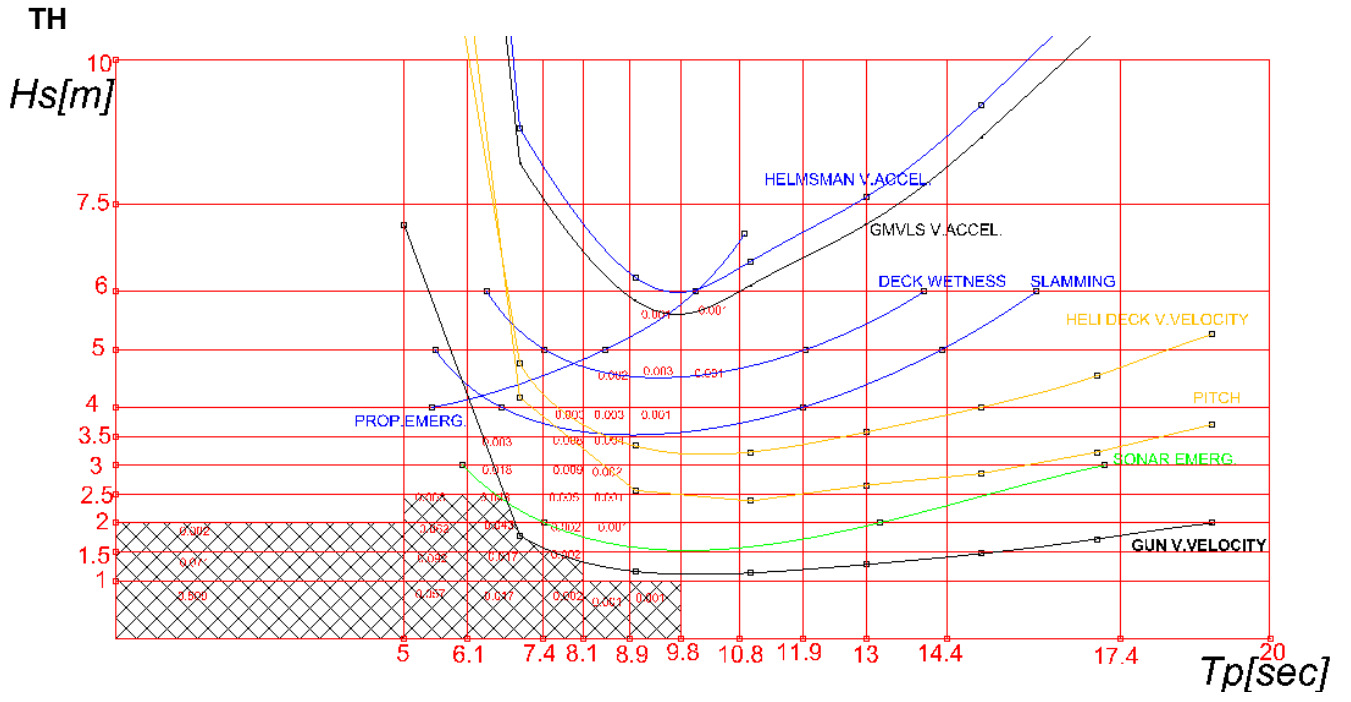
SPEED: 25 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 0°.
 AREA: 4.

MEKO



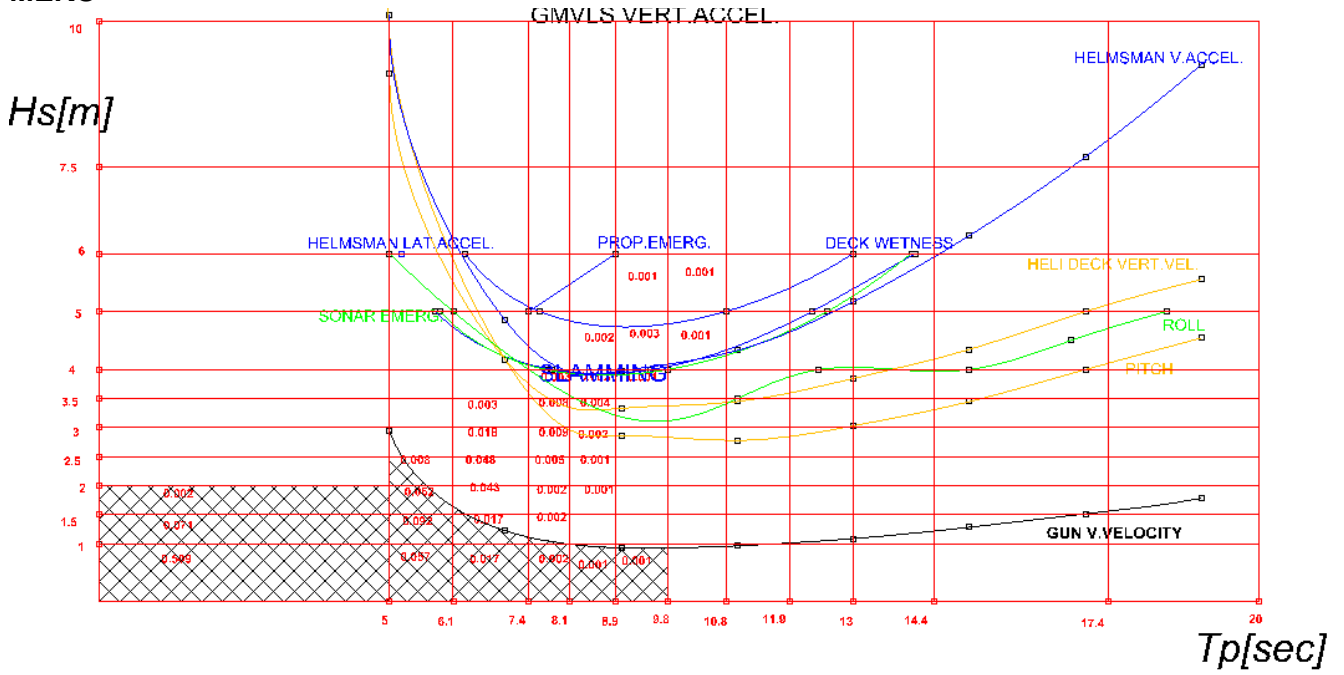
5415M (DDG-51)



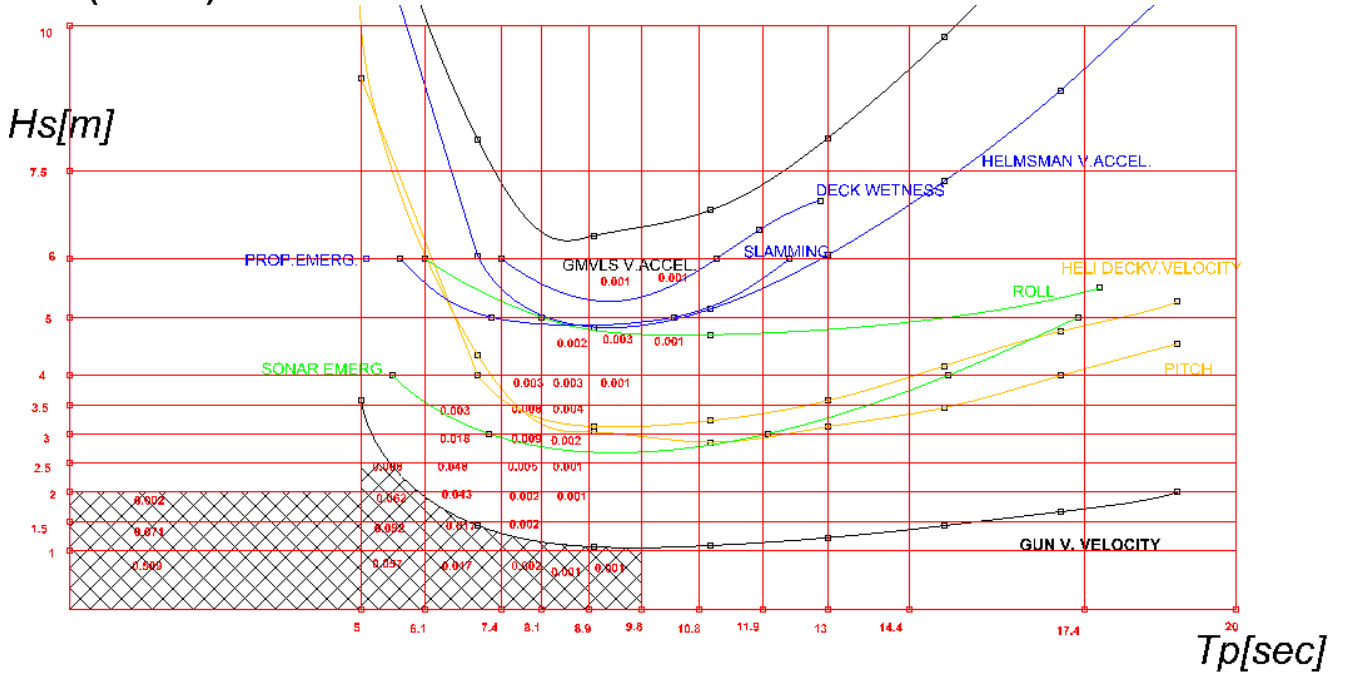


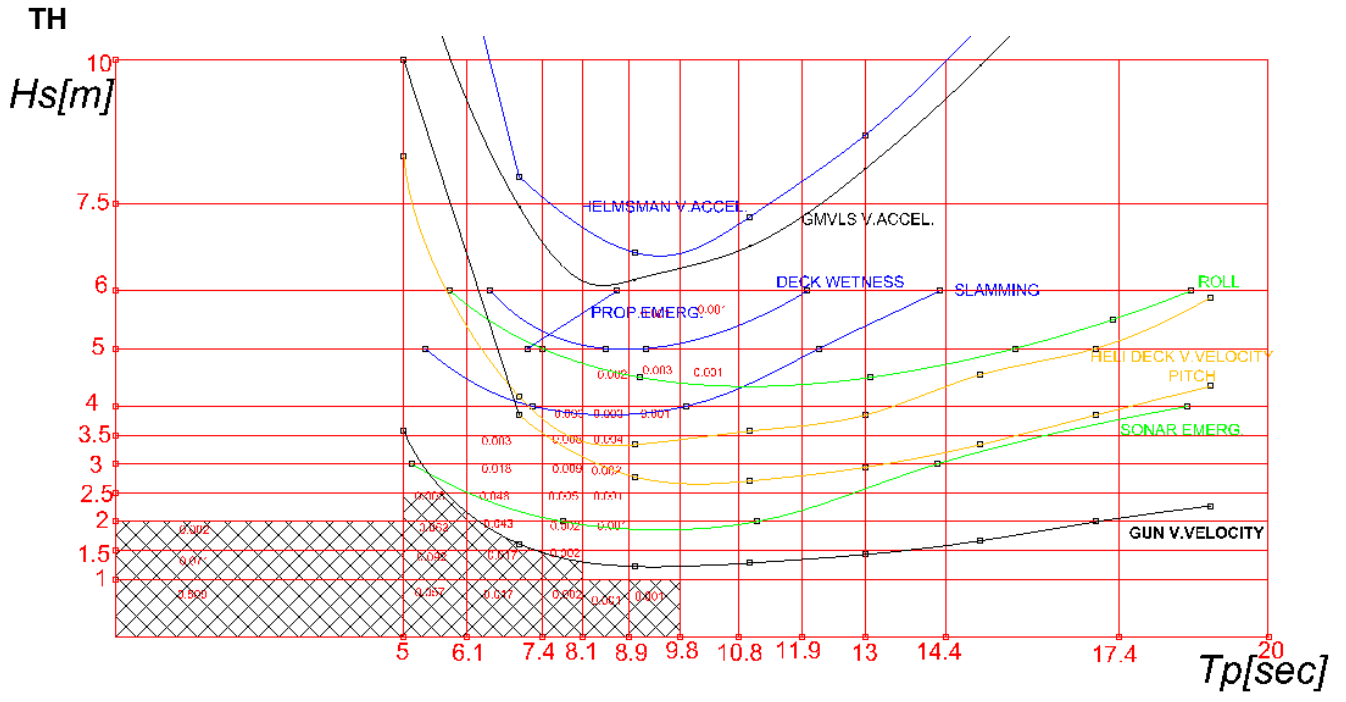
SPEED: 25 KTS.
 ANGLE OF ENCOUNTER: 45°.
 AREA: 4.

MEKO



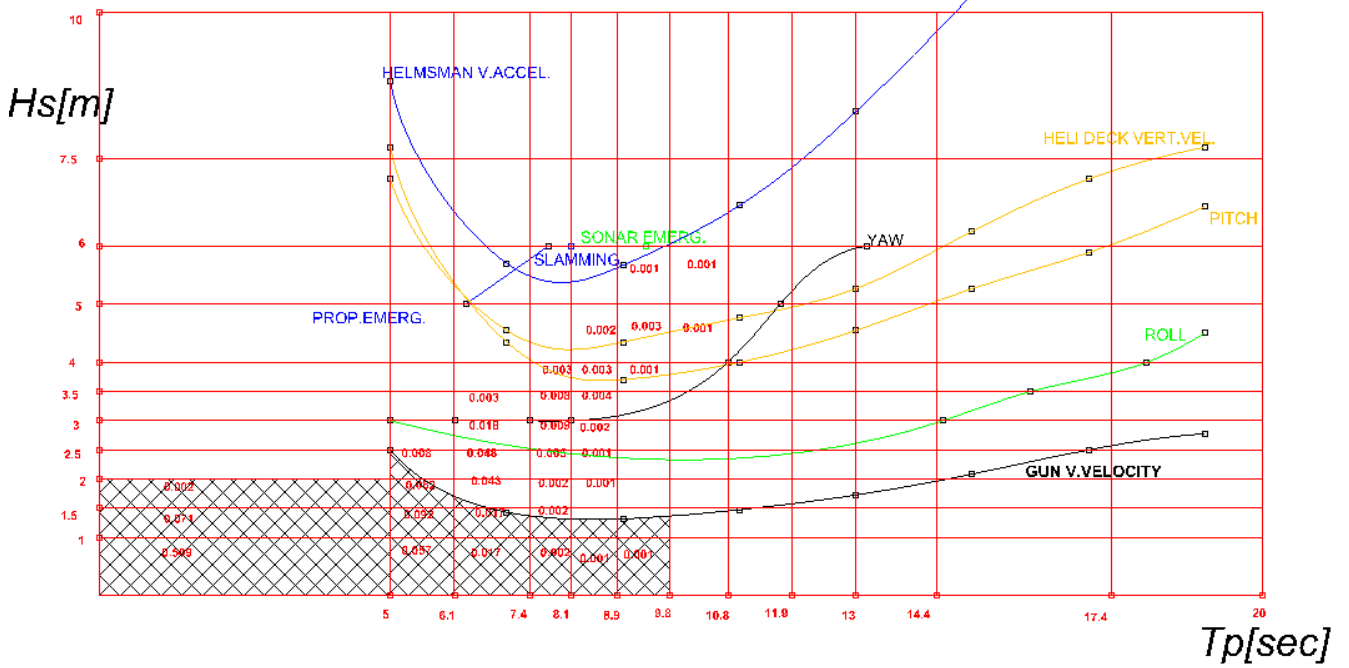
5415M (DDG-51)





SPEED: 25 KTS.
ANGLE OF ENCOUNTER: 90°.
AREA: 4.

MEKO



5415M (DDG-51)

