



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

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**«ΜΙΑ ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ**  
**ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΠΛΟΙΩΝ»**

**ΜΑΝΙΚΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

nm13904

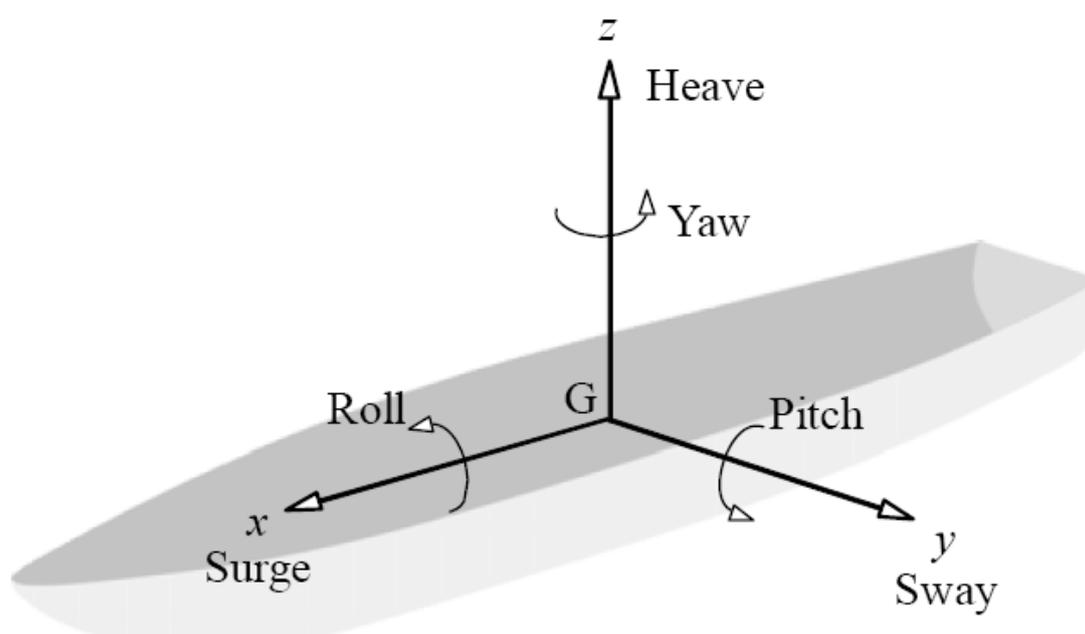
**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Γ.Ι, ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**

## Περιεχόμενα

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑ.....	2
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ .....	4
ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΝ.....	8
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ.....	8
ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ.....	9
ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	10
Φαινόμενα και στατιστικά μεγέθη ανεμογενών κυματισμών .....	13
ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (WAVE ENERGY SPECTRUM) .....	17
ΤΟ ΔΙΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟ ΦΑΣΜΑ BRETSCHNEIDER .....	18
ΑΤΑΛΑΝΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΩΝ (WIND AND WAVE ATLAS).....	19
ΠΗΓΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	20
ΓΑΣΤΡΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΩΝ.....	22
ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ ΠΟΛΕΜΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ .....	28
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΘΑΛΑΣΣΑΣ .....	34
ΣΗΜΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ .....	41
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ.....	42
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ .....	43
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ .....	49
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	58
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΕ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ $H_S - T_P$ , ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ, ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΥΠΟΨΗ Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....	59

## ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑ

Η δυναμική συμπεριφορά του πλοίου είναι η μελέτη των κινήσεων του πλοίου, όταν αυτό υποβάλλεται σε κυματισμούς, και τις επιπτώσεις που έχει στους ανθρώπους, τα συστήματα και τις αποστολές του. Το πλοίο μπορεί να θεωρηθεί ως συμπαγές σώμα, το οποίο έχει έξι βαθμούς ελευθερίας. Οι πρώτοι τρεις βαθμοί ελευθερίας αφορούν τις γραμμικές κινήσεις του πλοίου, και οι υπόλοιποι τρεις βαθμοί αφορούν τις περιστροφικές κινήσεις του πλοίου. Οι τρεις γραμμικές κινήσεις του πλοίου είναι οι εξής: i) Surge, ii) Sway και iii) Heave. Οι τρεις περιστροφικές κινήσεις του πλοίου αντίστοιχα είναι: i) Roll, ii) Pitch και iii) Yaw. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι κινήσεις πάνω στο πλοίο.



Εικόνα 1: Βαθμοί ελευθερίας πλοίου

Επομένως η ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς του πλοίου, μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις βασικούς παράγοντες:

- i. Κυματισμός, ο οποίος αποτελεί τα εισαγόμενα δεδομένα για τους υπολογισμούς
- ii. Χαρακτηριστικά του πλοίου, τα οποία αποτελούν το σύστημα προς επίλυση
- iii. Κινήσεις πλοίου, οι οποίες είναι τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς που προηγήθηκαν

Ο γενικός όρος λειτουργησιμότητα περιέχει όλες τις σχεδιαστικές πτυχές ενός πλοίου, οι οποίες επηρεάζουν την ικανότητα του να πλέει στην θάλασσα σε όλες τις συνθήκες και να φέρνει εις πέρας τα καθήκοντά του. Επομένως, πλοία με καλό seakeeping είναι ικανά να πλέουν εκτελώντας επιτυχημένα την αποστολή τους, παρά τις αντίξοες καιρικές συνθήκες. Εστιάζοντας συγκεκριμένα στα πολεμικά πλοία, τα οποία μεταφέρουν μεγάλο αριθμό προσωπικού, πολύπλοκα και ακριβά συστήματα και οπλικά φορτία και που μπορεί να κληθούν να εκτελέσουν την αποστολή τους

ανεξάρτητα των καιρικών συνθηκών, γίνεται αντιληπτό ότι οι απαιτήσεις ως προς την δυναμική συμπεριφορά είναι πιο πολύπλοκες από ότι σε ένα συμβατικό εμπορικό πλοίο. Οι συνθήκες λειτουργίας των συστημάτων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον της επιχείρησης, επομένως μπορούμε να διακρίνουμε τρεις κατηγορίες συνθηκών λειτουργίας:

- a. Συνθήκες φυσιολογικής (αναμενόμενης) λειτουργίας. Όλα τα συστήματα και υποσυστήματα του πλοίου είναι πλήρως λειτουργικά για τις απαιτήσεις εκπλήρωσης της αποστολής
- b. Συνθήκες μειωμένης λειτουργίας. Όλα τα απαραίτητα συστήματα και υποσυστήματα του πλοίου πρέπει να προστατευθούν από βλάβες. Οι αποστολές μπορούν να εκτελεστούν με περιορισμούς και η δυναμική ευστάθεια του άθικτου πλοίου πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν.
- c. Συνθήκες επιβίωσης. Πρέπει να εξασφαλιστεί η επιβιωσιμότητα του σκάφους, ενώ όσο το δυνατόν περισσότερα υποσυστήματα πρέπει να προστατευθούν από σοβαρές βλάβες. Η δυναμική ευστάθεια του βεβαρυσμένου πλοίου πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν, όμως η περίπτωση αυτή καλύπτεται από κανονισμούς και δεν θα εξεταστεί σε αυτήν σε αυτήν την διατριβή

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» (ο οποίος σημαίνει ότι το πλοίο δύναται να εκπληρώσει την αποστολή του, έστω μερικώς και χωρίς όλα τα συστήματα του), ενώ για την τρίτη χρησιμοποιεί τον όρο «survive» (ο οποίος σημαίνει ότι πρέπει πρωτίστως να εξασφαλιστεί η επιβιωσιμότητα του σκάφους).

Η γνώση εκ των προτέρων του θαλάσσιου περιβάλλοντος που θα εκτελούν τις αποστολές τα πολεμικά πλοία, βελτιστοποιεί την σχεδίαση τους, την δυναμική συμπεριφορά και την μεγιστοποίηση της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητάς τους (operability) και συνεπώς ελαχιστοποιείται το κόστος κατασκευής. Η σύγχρονη τάση είναι η δημιουργία μικρών, ευέλικτων και υπερσύγχρονα εξοπλισμένων μάχιμων ναυτικών μονάδων, οι οποίες:

- i. Δεν βασίζονται στην επιβιωσιμότητά τους σε ένα τεράστιο οπλοστάσιο αναχαίτησης των επερχόμενων απειλών ή στην ύπαρξη βαριών θωρακίσεων, αλλά στην έγκαιρη και έγκυρη προειδοποίηση και στην παραπλάνηση της επερχόμενης απειλής μέσω κατάλληλων συστημάτων (from armor to sensor concept).
- ii. Μπορούν να αλλάζουν την κύρια αποστολή τους, με κατάλληλη προσθαφαίρεση συστημάτων, ενώ η πλατφόρμα παραμένει η ίδια (modular concept)

Επιπλέον, σήμερα δίνεται έμφαση, αντί για τις παραδοσιακές αποστολές ανοικτής θαλάσσης (blue water), στις παράκτιες επιχειρήσεις με δυνατότητα προσβολής χερσαίων στόχων. Συμπερασματικά, η σύγχρονη τάση, η οποία στρέφεται στην κατασκευή μικρών πλοίων, επιτείνει την έμφαση στην μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς και στην αποτίμηση της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας (operability), δεδομένου ότι η γενική αρχή είναι πως το μεγάλο μέγεθος πλοίου ευνοεί το καλό seakeeping.

Με τον όρο επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα ή λειτουργησιμότητα (operability) ορίζεται το ποσοστό του χρόνου, κατά την διάρκεια του οποίου το πλοίο

δύναται να πλέει και να εκτελεί την αποστολή του σε ένα δεδομένο συνδυασμό περιβαλλοντικών συνθηκών. Εκφράζει, δηλαδή, την ικανότητα ενός πλοίου να πλέει και να εκτελεί την αποστολή του, και επομένως μπορεί να αποτελέσει ένα μέτρο σύγκρισης διαφορετικών σχεδιάσεων πλοίου και γαστρών.

Τα βασικά στάδια για την πρόβλεψη της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας είναι:

- i. Καθορισμός της αποστολής
- ii. Περιγραφή των ανεμολογικών και θαλάσσιων συνθηκών, στις οποίες θα λειτουργήσει το πλοίο.
- iii. Υπολογισμός των κινήσεων του πλοίου και των συναφών φαινομένων στο συγκεκριμένο θαλάσσιο περιβάλλον
- iv. Εφαρμογή κριτηρίων απόδοσης των συστημάτων του πλοίου, με σκοπό την σύνδεση των κινήσεων του πλοίου με την εκτέλεση της αποστολής του
- v. Συγκέντρωση και επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για την λειτουργησιμότητα του πλοίου (operability)

Γενικά, υπάρχουν δύο τρόποι προσδιορισμού της δυναμικής συμπεριφοράς ενός πλοίου. Και οι δύο παρέχουν στον σχεδιαστή πληροφορίες για την επίδραση των κινήσεων του πλοίου και στην απόδοση των συστημάτων του, επομένως και στην λειτουργησιμότητά του.

Η μια μέθοδος είναι συγκριτική. Η συμπεριφορά του πλοίου μελετάται και συγκρίνεται με την αντίστοιχη συμπεριφορά ενός άλλου πλοίου με γνωστή καλή δυναμική συμπεριφορά. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια.

Η άλλη μέθοδος είναι απόλυτη. 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 σε ποσοτικές μετρήσεις.

Στην παρούσα διατριβή – μελέτη χρησιμοποιείται η απόλυτη μέθοδος. Γίνεται έλεγχος ικανοποίησης κριτηρίων που καθορίζονται από την έκδοση NATO STANAG 4154 (v1) και υπολογίζονται οι δείκτες λειτουργησιμότητας σε τέσσερις θαλάσσιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, υπό δύο διαφορετικές ταχύτητες και πέντε κατευθύνσεις του πλοίου ως προς του κυματισμούς. Οι θέσεις που μελετήθηκαν τα πλοία είναι:

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

## **ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ**

Η σωστή αξιολόγηση της λειτουργησιμότητας μια σχεδίασης είναι απαραίτητη να γίνεται εντός ενός ικανοποιητικά μεγάλου χρονικού διαστήματος και λαμβάνοντας υπόψιν την πορεία του πλοίου. Επομένως πρέπει να προσδιοριστεί το ετήσιο μέσο ποσοστό % του χρόνου για το οποίο το πλοίο μπορεί να εκτελεί τις εκάστοτε αποστολές του σε συγκεκριμένες θαλάσσιες αποστολές επιχειρήσεων.

Οι πληροφορίες, οι οποίες χρειάζονται για τον προσδιορισμό του ποσοστού, αφορούν τις ανεμολογικές και κυματικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή, καθώς επίσης και οι συνδυασμοί ταχύτητας και πορείας του πλοίου, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν κατά την διάρκεια του ταξιδιού. Έχοντας γνωστά τα όρια των αποκρίσεων που προκαλούνται στο πλοίο από την επίδραση του θαλάσσιου περιβάλλοντος για μια αποστολή, τότε μπορεί να προσδιοριστεί αν η αποστολή αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί στον συγκεκριμένο συνδυασμό συνθηκών. Επεκτείνοντας τους υπολογισμούς για να συμπεριληφθούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί θαλάσσιων περιοχών, εποχών, διευθύνσεων κύματος, σημαντικών υψών κύματος, περιόδων κορυφής, ταχυτήτων πλοίου και πορειών, δύναται η δυνατότητα για τον υπολογισμό του ποσοστού του χρόνου κατά την διάρκεια του οποίου η αποστολή μπορεί να εκτελεσθεί επιτυχώς. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να σημειωθεί, ότι υπάρχει ένας σχεδιαστικός συμβιβασμός μεταξύ του δείκτη λειτουργησιμότητας και του κόστους κατασκευής, διότι στο στάδιο της σχεδίασης γίνεται αποδεκτό ότι σε μερικά σπάνια εμφανιζόμενα φαινόμενα στην περιοχή δράσης του πλοίου δεν θα είναι εφικτό να εκπληρώσει την αποστολή του.

Το πρώτο στάδιο υπολογισμού της επιχειρησιακής αποτελεσματικής είναι ο προσδιορισμός του θαλάσσιου περιβάλλοντος λειτουργίας του πλοίου. Ένα τυπικό παράδειγμα παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα, όπου εκεί παρίσταται ένα τυχαίο παράδειγμα της κατανομής της συχνότητας να λειτουργεί ένα πολεμικό πλοίο σε μια θαλάσσια περιοχή και εποχή. Στον πίνακα παρουσιάζεται ένα πολεμικό πλοίο που λειτουργεί στον Βόρειο Ατλαντικό. Να σημειωθεί ότι αν προστεθούν τα  $f_{\text{season}}$ , τότε προκύπτει η ετήσια κατανομή συχνότητας, όπου σε αυτήν επικεντρώνεται η παρούσα εργασία.

	ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ															$f_{\text{season}}$
	1	2	3	4	8	9	10	11	15	16	17	23	24	25		
<b>ΑΝΟΙΞΗ</b>	0	0	0	0	0	0	0.11	0	0.25	0.44	0	0.07	0.13	0	0.25	
<b>ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ</b>	0	0	0	0	0	0	0.11	0	0.25	0.44	0	0.07	0.13	0	0.25	
<b>ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ</b>	0	0	0	0	0	0	0.11	0	0.25	0.25	0	0.07	0.13	0	0.25	
<b>ΧΕΙΜΩΝΑΣ</b>	0	0	0	0	0	0	0.11	0	0.25	0.25	0	0.07	0.13	0	0.25	

Πίνακας 1: Τυπική υπό συνθήκη κατανομή συχνότητας της θαλάσσιας περιοχής για δεδομένες εποχές στον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό

Το δεύτερο στάδιο είναι εκείνο του προσδιορισμού της διαδρομής που θα επιλεγεί για να πλεύσει το πλοίο από το λιμάνι απόπλου, στο λιμάνι προορισμού (optimal routing problem). Η επιλογή της διαδρομής είναι ένα σύνθετο πρόβλημα. Εξαρτάται τόσο από την γεωγραφική θέση των λιμανιών όσο και από διάφορους οικονομοτεχνικούς παράγοντες. Αυτοί οι παράγοντες συνοψίζονται κυρίως στην αξιοπλοΐα και την ασφάλεια του πλοίου, του πληρώματος και του φορτίου. Επομένως, η πορεία του πλοίου εξαρτάται σημαντικά και από τις καιρικές συνθήκες και την κατάσταση της θάλασσας στην εκάστοτε περιοχή.

Κατά κανόνα, η επιλογή της συντομότερης διαδρομής είναι προτιμότερη, όμως αν ληφθούν υπόψιν οι παραπάνω παράγοντες, πολλές φορές είναι προτιμότερο να επιλεγεί μια μεγαλύτερη απόσταση ώστε να αποφευχθούν ακραία καιρικά και θαλάσσια φαινόμενα, στα οποία είτε μπορεί να κινδυνεύσει το πλοίο, το πλήρωμα και το φορτίο είτε να αναγκαστεί να πλεύσει με μικρότερη ταχύτητα, έχοντας σαν

αποτέλεσμα να κάνει μεγαλύτερο χρόνο να φτάσει στον προορισμό. Ένα παράδειγμα μιας απαιτούμενης κατανομής συχνότητας της ταχύτητας και της πορείας παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Η κατανομή, που παρουσιάζεται στον πίνακα, αναφέρεται σε ένα πολεμικό πλοίο. Στην γενική θεώρηση, όλες οι πορείες είναι ισοδύναμα πιθανές και απαιτείται ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων το οποίο σχετίζεται άμεσα με την αποστολή που θα εκτελέσει το πλοίο.

	ΠΟΡΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ							
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
25	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
20	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
15	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
$f_{course}$	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125

Πίνακας 2: Τυπική υπό συνθήκη κατανομή συχνότητας για δεδομένες πορείες πολεμικού πλοίου

Σε αυτήν την διπλωματική εργασία, για τον υπολογισμό της λειτουργικής αποτελεσματικότητας χρησιμοποιήθηκε μια απλοποιημένη έκδοση της μεθόδου που είχε προταθεί από τους Andrew, Loader and Penn (1984). Σε αυτήν, το περιβάλλον λειτουργίας προσδιορίζεται υπό την μορφή διαγραμμάτων των εποχών και των θαλάσσιων περιοχών. Για κάθε δυνατόν συνδυασμό εποχών και θαλάσσιων περιοχών λαμβάνεται η συχνότητα κατανομής των υπό συνθήκη διευθύνσεων κύματος  $f_x$  από κατάλληλο άτλαντα κυμάτων και ανέμων. Από την ίδια πηγή (άτλαντα), λαμβάνεται επίσης για κάθε διεύθυνση κυματισμού η από κοινού συχνότητα κατανομής των περιόδων μηδενικής υπέρβασης και σημαντικού ύψος κύματος  $f_{TH}$ . Εν συνεχεία, για κάθε κατάσταση κύματος υπολογίζονται όλες οι κινήσεις του πλοίου για κάθε συνδυασμό πορειών και ταχυτήτων αυτού, δίνοντας περισσότερη έμφαση στις κινήσεις που σχετίζονται με την εκάστοτε αποστολή που εξετάζεται (κριτήρια αποστολής). Οι γωνίες συνάντησης κυματισμών που χρειάζονται για τους παραπάνω υπολογισμούς, προκύπτουν από την σχέση μεταξύ της πορείας του πλοίου και της επικρατούσας διεύθυνσης κυματισμού στην περιοχή σε σχέση με τον Βορρά.

Ενδέχεται, κάποιες από τις παραπάνω αποκρίσεις (κριτήρια αποστολών) να ξεπερνούν τα όρια που έχουν θεσπιστεί για μια αποστολή. Είναι κατανοητό, ότι όταν αυτό συμβεί τότε η λειτουργία του πλοίου κρίνεται ακατάλληλη για τον συγκεκριμένο συνδυασμό καιρικών φαινομένων και αποστολής, και επακολούθως δεν μπορεί να φέρει εις πέρας την αποστολή του.

Το ζητούμενο ποσοστό του χρόνου που πλέει ένα πλοίο σε μια εποχή του έτους, θαλάσσια περιοχή, διεύθυνση κυματισμού, περίοδο μηδενικής υπέρβασης και σημαντικού ύψους κύματος, με δεδομένη ταχύτητα και πορεία υπολογίζεται από την σχέση:

$$P = f_{season} \cdot f_{area} \cdot f_x \cdot f_{TH} \cdot f_{course} \cdot f_u$$

Όπου:

- $f_{\text{season}}$ : συχνότητα κατανομής εποχής
- $f_{\text{area}}$ : υπό συνθήκη κατανομή συχνότητας των θαλάσσιων περιοχών λειτουργίας του πλοίου για δεδομένη εποχή
- $f_x$ : υπό συνθήκη κατανομή συχνότητας κυρίαρχων διευθύνσεων κυματισμού ως προς τον Βορρά για δεδομένη εποχή και θαλάσσια περιοχή
- $f_{TH}$ : από κοινού συχνότητα κατανομής της περιόδου μηδενικής υπέρβασης και των σημαντικών υψών κύματος για μια δεδομένη εποχή, θαλάσσια περιοχή και διεύθυνση κυματισμού
- $f_{\text{course}}$ : συχνότητα κατανομής των πορειών του πλοίου για μια δεδομένη πορεία
- $f_u$ : υπό συνθήκη κατανομή συχνότητας των ταχυτήτων του πλοίου για μια δεδομένη πορεία

Όσο όλες οι εξεταζόμενες αποκρίσεις είναι μικρότερες από τα όρια των κριτηρίων για την εκάστοτε αποστολή, τότε το πλοίο μπορεί να φέρει εις πέρας την αποστολή του. Το ποσοστό του χρόνου για το οποίο συμβαίνει αυτό, υπολογίζεται από το βαρυτικό άθροισμα όλων των πιθανών τιμών P.

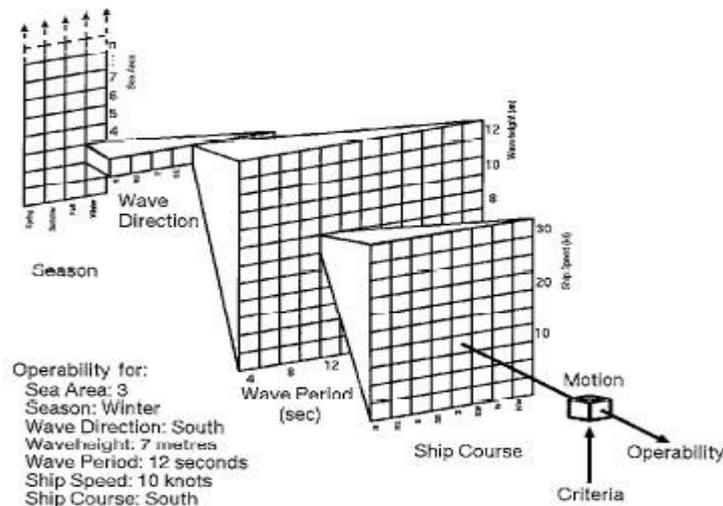
$$E = \Sigma_{\text{season}} \cdot \Sigma_{\text{area}} \cdot \Sigma_x \cdot \Sigma_{TH} \cdot \Sigma_{\text{course}} \cdot \Sigma_u (P\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3\dots\Gamma_N)$$

Όπου οι όροι  $\Sigma_{\text{season}}$ ,  $\Sigma_{\text{area}}$ ,  $\Sigma_x$ ,  $\Sigma_{TH}$ ,  $\Sigma_{\text{course}}$  και  $\Sigma_u$  υποδηλώνουν άθροιση στις εποχές, θαλάσσιες περιοχές, διευθύνσεις κυματισμού, περιόδων μηδενικής υπέρβασης, σημαντικών υψών κύματος, πορειών πλοίου και ταχύτητας αντίστοιχα. Ο όρος  $\Gamma_N$  είναι μια αθροιστική συνάρτηση που προσδιορίζεται ως:

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

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

Όπου  $r_n$  είναι η ν-οστή σημαντική απόκριση και  $r_{\text{crit}}$  η κρίσιμη τιμή αυτής.



Εικόνα 2: Υπολογισμός λειτουργησιμότητας

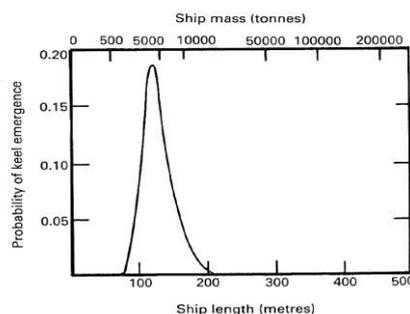
## ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΝ

Η σύγκριση των τριών γαστρών που θα πραγματοποιηθεί στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα γίνει με καθαρά απόλυτη μέθοδο. Συνήθως, αυτή η μέθοδος αρκεί για να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την συμπεριφορά των πλοίων. Για πιο ασφαλή και χρήσιμα συμπεράσματα, η σύγκριση των τριών γαστρών θα πρέπει να περιλαμβάνει την ποιοτική μέθοδο, η οποία χρησιμοποιεί μερικές γενικές θεωρήσεις, οι οποίες βοηθούν στην συγκριτική αξιολόγηση των γαστρών και στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με την δυναμική τους συμπεριφορά. Οι θεωρήσεις αυτές χωρίζονται κυρίως με βάση τις αποκρίσεις σε δύο κατηγορίες, τις κατακόρυφες και τις οριζόντιες αποκρίσεις.

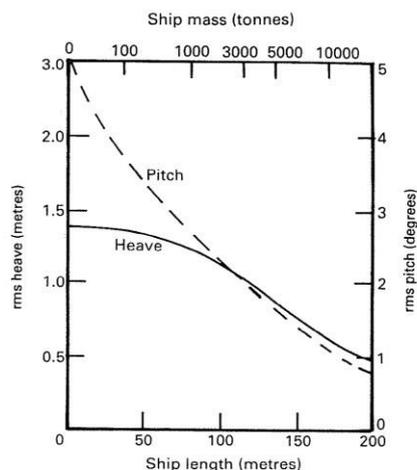
## ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ

Οι κατακόρυφες κινήσεις ενός πλοίου επηρεάζονται από διάφορα χαρακτηριστικά που φέρει μια σχεδίαση. Τα χαρακτηριστικά αυτά διακρίνονται σε επτά διαφορετικούς τομείς, οι οποίοι είναι:

- i. Μέγεθος της γάστρας (hull size). Καθορίζεται από το εκτόπισμα  $\Delta$  και το μήκος  $L$  του πλοίου. Γενικά ισχύει ότι όσο πιο μεγάλο είναι το πλοίο (μεγάλο  $\Delta$  και  $L$ ), τόσο καλύτερη δυναμική συμπεριφορά αναμένεται να έχει. Όσον αφορά την αύξηση του εκτοπίσματος μόνο (διατηρώντας το μήκος σταθερό), δεν αναμένεται να έχει σημαντική επίδραση, διότι τόσο η αδράνεια όσο και οι δυνάμεις διέγερσης αυξάνονται περίπου κατά το ίδιο ποσοστό, άρα οι αποκρίσεις δεν αναμένεται να αλλάξουν κατά πολύ. Όσον αφορά το μήκος του πλοίου  $L$ , πρέπει να εξεταστεί σε σχέση με τα μήκη κύματος  $\lambda$  που θα συναντάει το πλοίο. Για μικρά μήκη κύματος, δηλαδή  $(\lambda/L) < (3/4)$ , οι αποκρίσεις είναι αμελητέες. Αντιθέτως, σε μεγάλα μήκη κύματος, δηλαδή  $(\lambda/L) > 2$ , οι αποκρίσεις pitch (προνευτασμός) και heave (κατακόρυφη ταλάντωση) παίρνουν μεγάλες τιμές, όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα.



Εικόνα 3: Επίδραση του μεγέθους στην πιθανότητα ανάδυσης της πλώρης για μετωπικούς κυματισμούς



Εικόνα 4: Επίδραση του μεγέθους στις RMS τιμές του HEAVE και του PITCH

- ii. Συντελεστής λυγηρότητας ( $L_{BP}/\nabla^{1/3}$ ). Η μεγάλη τιμή αυτού του συντελεστή είναι ευνοϊκή για τα ταχέως κινούμενα πλοία. Η μεγάλη τιμή του συντελεστή αυτού, γενικά ευνοεί την μείωση των κατακόρυφων αποκρίσεων.
- iii. Λόγος μήκους προς βύθισμα ( $L/T$ ). Η αύξηση το λόγου αυτού οδηγεί στην μείωση της ιδιοσυχνότητας του heave και του pitch και γενικά ευνοεί την αποφυγή του συντονισμού.
- iv. Κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής ( $c_{vp}=c_B/c_{wp}$ ). Αντιθέτως με τον λόγο  $L/T$ , η αύξηση αυτού του συντελεστή ευνοεί την ύπαρξη του συντονισμού, οπότε πρέπει να επιδιώκονται μικρές τιμές του συντελεστή αυτού.
- v. Λόγος μήκους προς πλάτος ( $L/B$ ). Όταν ο λόγος αυτός αυξάνεται, διατηρώντας σταθερό το πλάτος, επομένως αυξάνεται το μήκος του πλοίου, συνεπάγεται σε καλύτερη δυναμική ευστάθεια στο πλοίο. Αν όμως, αντιθέτως, ο λόγος αυξηθεί με μείωση του πλάτους, κρατώντας σταθερό το μήκος, τότε προκαλείτε αύξηση του pitch. Γενικά, όταν αυξάνεται το πλάτος ενός πλοίου τότε αυξάνεται και η απόσβεση των επιδράσεων που δέχεται. Όταν ο λόγος παίρνει τιμές μεταξύ 10 και 20, τότε συνήθως έχουμε ανάδυση της πλώρης.
- vi. Λόγος πλάτους προς βύθισμα ( $B/T$ ). Μεγάλες τιμές του λόγου αυτού, ευνοούν την μεγαλύτερη απόσβεση αλλά ταυτόχρονα ευνοούν την προκαλούμενη διέγερση από τους κυματισμούς. Μεγάλους λόγους παίρνει συνήθως τα πλοία που έχουν πρωραίους νομείς τύπου V. Αντιθέτως, όταν το βύθισμα είναι μικρό τότε υπάρχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να συμβεί βύθιση του καταστρώματος και η ύπαρξη σφυρόκρουσης.
- vii. Διαμήκης θέση κέντρου βάρους. Δεν έχει ιδιαίτερη επίδραση στην δυναμική συμπεριφορά του πλοίου. Όμως, μια πρωραία μεταβολή του, ενδέχεται να βελτιώσει το pitch, όχι όμως το heave.

## ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ

Ομοίως με τις κατακόρυφες κινήσεις, τα χαρακτηριστικά του πλοίου επιδρούν και στις οριζόντιες κινήσεις. Τα χαρακτηριστικά που επιδρούν στις οριζόντιες κινήσεις είναι τα εξής:

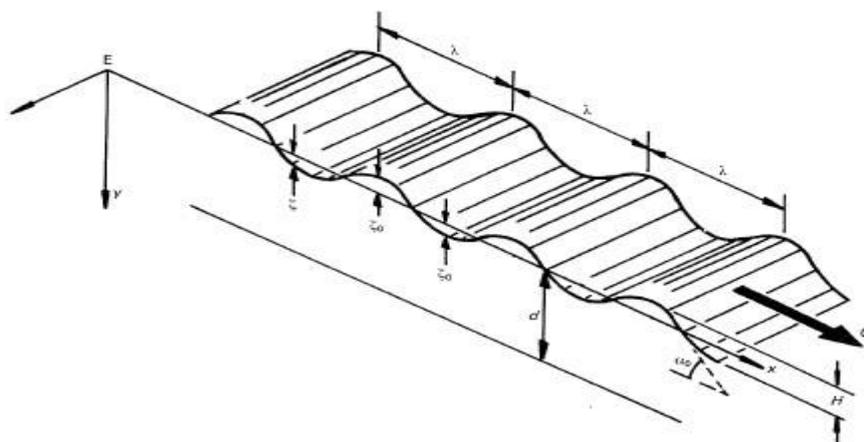
- i. Λόγος πλάτους προς βύθισμα ( $B/T$ ). Η μείωση του λόγου, επιφέρει αύξηση της ιδιοπεριόδου του roll, επομένως η πιθανότητα εμφάνισης συντονισμού μειώνεται.
- ii. Κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής ( $c_{vp}=c_B/c_{wp}$ ). Αύξηση του συντελεστή αυτού, προκαλεί αύξηση της ιδιοπεριόδου του roll, άρα η πιθανότητα εμφάνισης συντονισμού μειώνεται.
- iii. Συντελεστής γάστρας ( $C_B$ ). Όσο ο συντελεστής αυξάνεται, τόσο η απόσβεση του roll βελτιώνεται.
- iv. Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους ( $KG$ ). Η αύξηση του ενώ επιδρά ευνοϊκά στον συντονισμό, φέρνει τα αντίθετα αποτελέσματα στην ευστάθεια.

## ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η θάλασσα παρουσιάζει μια διαρκώς μεταβαλλόμενη όψη. Σε μακροχρόνιο ορίζοντα η επιφάνεια της μπορεί να διαφοροποιείται από ήρεμη μέχρι εξαιρετικά ταραγμένη. Σε βραχυχρόνιο ορίζοντα, μπορεί να εμφανίζει μια σχετικά σταθερή διαταραχή, όμως η επιφάνεια της είναι διαρκώς μεταβαλλόμενη. Ο ακριβής μηχανισμός με τον οποίο γίνεται η μεταφορά ενέργειας από τον άνεμο προς το νερό, με αποτέλεσμα τον αρχικά ρυτιδισμό και μετέπειτα τον κυματισμό, δεν είναι ακριβώς γνωστός. Η επιφάνεια της θάλασσας αποτελεί το κατώτερο σύνορο του κατώτερου οριακού στρώματος του ανέμου πάνω στην θάλασσα, δια του οποίου μεταφέρεται ορμή και ενέργεια στην θαλάσσια μάζα, και έτσι παράγονται οι ανεμογενείς κυματισμοί, τα ανεμογενή ρεύματα και άλλες κινήσεις της θαλάσσιας μάζας.

Η διαταραχή της θαλάσσιας επιφάνειας εκτός από την ταχύτητα του ανέμου, εξαρτάται και 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, διάρκεια και έκταση (strength, duration and fetch). Η διαταραχή εξαρτάται επίσης και από κάποια θαλάσσια χαρακτηριστικά, όπως την ύπαρξη παλίρροιας, το βάθος του νερού και την τοπική ακτογραμμή.

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



Εικόνα 5: Ημιτονοειδής κυματισμός (regural wave)

Οι τυχαίοι κυματισμοί είναι αυτοί που συναντώνται στο θαλάσσιο περιβάλλον και διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους καθαρά ανεμογενείς κυματισμούς (sea waves) και την αποθαλασσία (swell). Οι πρώτοι διεγείρονται απ' ευθείας από το υπερκείμενο τυρβώδες πεδίο ροής του τοπικού ανέμου (forced waves), ενώ οι δεύτεροι είναι το αποτέλεσμα της διάδοσης των πρώτων μακριά από την περιοχή δημιουργίας τους (free wave). Και στις δύο περιπτώσεις είναι δυνατόν να ορισθούν και να εκτιμηθούν τα βασικά κυματικά χαρακτηριστικά, τα οποία είναι το ύψος, το μήκος, η περίοδος και η κύρια κατεύθυνση (κύριες κατευθύνσεις) διαδόσεις των κυματισμών. Τα συγκεκριμένα μεγέθη, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στα απλά περιοδικά κύματα, δεν έχουν σταθερή τιμή, αλλά μεταβάλλονται στο χώρο και στο χρόνο. Οι κυματισμοί αυτοί μελετώνται, θεωρώντας τους ως υπέρθεση απλών ημιτονοειδών κυματισμών διαφόρων κατευθύνσεων και περιόδων (γραμμική θεωρία κυμάτων). Οι ανεμογενείς κυματισμοί είναι κυματισμοί έντονα «ανακατεμένοι» (confused), διαδίδονται προς διάφορες κατευθύνσεις (short-crested), ο λόγος ύψους προς μήκος κύματος είναι σχετικά μεγάλος, και συνήθως συμβαίνει θραύση κυμάτων (wave breaking) και εμφάνιση αφρού (whitcaps and spray). Επιπρόσθετα, η ροή στο νερό, κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια, είναι στρόβιλη, λόγω της επίδρασης των διατμητικών τάσεων του τυρβώδους πεδίου του υπερκείμενου ανέμου.

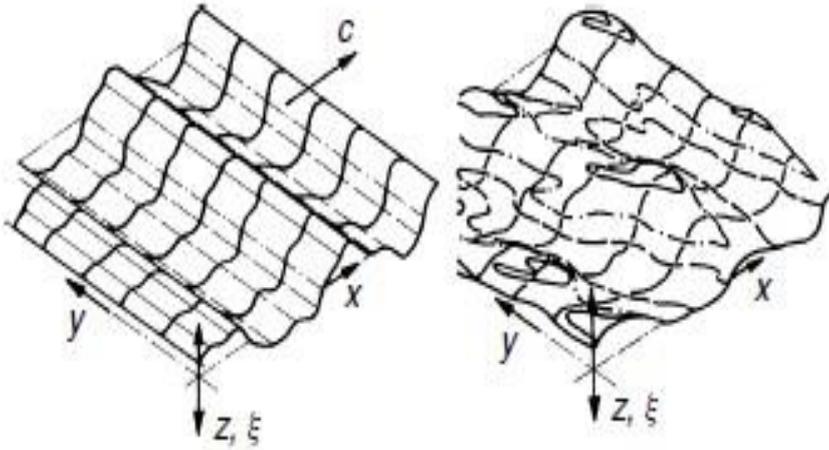
Αντίθετα, στην περίπτωση των αποθαλασσών, οι κυματισμοί είναι περισσότερο ομαλοί και λείοι, ο λόγος ύψους προς μήκος κύματος παίρνει μικρότερες τιμές, και υπάρχει σαφής κύρια διεύθυνση διάδοσης (long-crested waves). Εάν οι κυματισμοί δεν βρίσκονται και υπό την επίδραση τοπικού ανέμου (ή άλλου τοπικού αιτίου διέγερσης τύρβης), η ροή στο νερό μπορεί να θεωρηθεί αστρόβιλη, και συνήθως δεν συμβαίνει θραύση των κυματισμών. Πρόκειται για κυματισμούς, οι οποίοι προέρχονται από μια μακρινή ως προς τον παρατηρητή περιοχή. 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 seconds διαχωρίζει τα sea waves από τα swell, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχει και επικάλυψη στις περιόδους.

Σύμφωνα με τον Torsethaugen (1993, 1996), η σχέση που διαχωρίζει έναν τυχαίο κυματισμό σαν ανεμογενή ή σαν αποθαλασσία είναι:

$$T_p \leq 6.6 H_1^{3/10} \text{ wind sea}$$

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

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



Εικόνα 6: Τυχαίοι κυματισμοί (irregular wave), αποθαλασσιά (swell), ανεμογενείς (sea)

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

$$\zeta(t) = \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t)$$

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

$T_H$ : Η διάρκεια της χρονικής ιστορίας [sec]

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

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

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

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

Άρα μπορεί να γραφτεί:

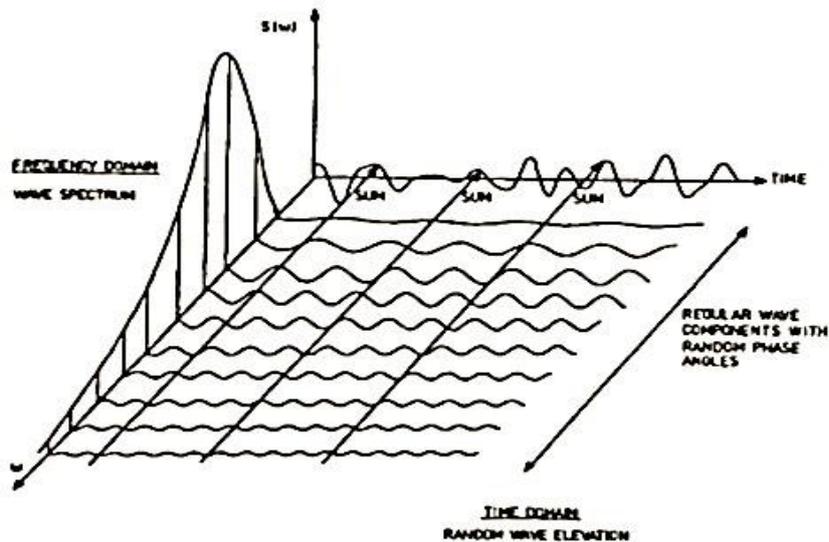
$$\zeta(t) = \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} \zeta_{n0} \cos(\omega_n t + \varepsilon_n) \quad [m]$$

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

$$\tan \varepsilon_n = -\frac{B_n}{A_n}, \varepsilon_n \text{ η φάση}$$

Η τελευταία έκφραση της στιγμιαίας ανύψωσης της θάλασσας  $\zeta(t)$  εκφράζει το γεγονός ότι ένας τυχαίος κυματισμός μπορεί να παρασταθεί από ένα άθροισμα θεωρητικά απείρου, πρακτικά πεπερασμένου, αριθμού ημιτονικών κυματισμών με πλάτος  $\zeta_{n0}$  και συχνότητα  $\omega_n$ . Το μεσοδιάστημα συχνοτήτων  $\delta\omega$  μεταξύ των κυματισμών είναι  $\delta\omega = 2\pi/T_H = \omega_1$  [rad/sec]. Αν το  $\delta\omega$  πάρει πολύ μικρές τιμές, τότε το  $T_H$  παίρνει πολύ μεγάλες τιμές.

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 απεικόνιζε ικανοποιητικά τον τυχαίο κυματισμό. 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.



Εικόνα 7: Υπέρθεση ημιτονικών κυματισμών

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 τυχαίων μεταβλητών.

## Φαινόμενα και στατιστικά μεγέθη ανεμογενών κυματισμών

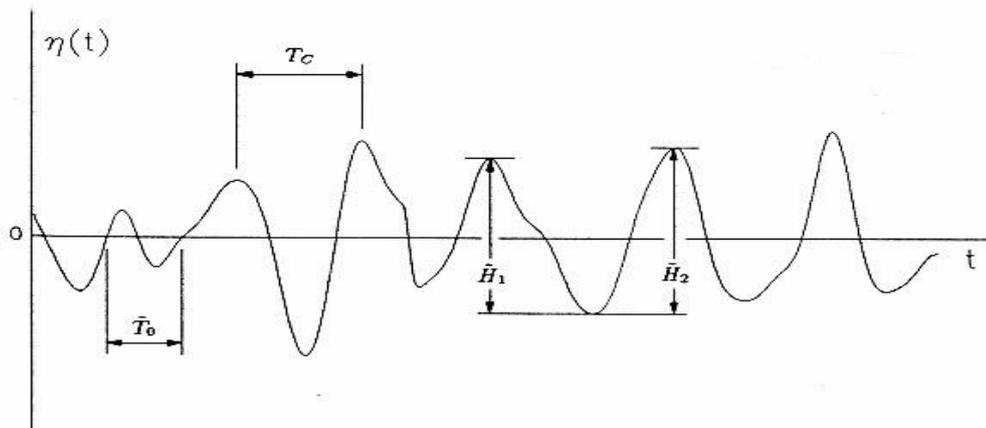
Ο όρος «φαινόμενα μεγέθη» υποδηλώνει τα μεγέθη τα οποία «φαίνονται» απ' ευθείας (χωρίς δηλαδή, περαιτέρω επεξεργασία) πάνω σε μια καταγραφή της ανύψωσης της επιφάνειας της θάλασσας  $\eta(x,t)$ . Δεδομένου ότι η ανύψωση είναι συνάρτηση τόσο του χρόνου, όσο και της οριζόντιας θέσης του σημείου μέτρησης (χώρου), διακρίνουμε δύο περιπτώσεις, τα φαινόμενα μεγέθη χρόνου και χώρου.

**Φαινόμενο πλάτος κύματος,  $\alpha$ :** Ηπροσημασμένη κατακόρυφη απόσταση μιας κορυφής από την αδιατάρακτη επιφάνεια.

**Φαινόμενο ύψος κύματος,  $H$ :** Η απόλυτη κατακόρυφη απόσταση μεταξύ μιας κορυφής και της επόμενης κοιλάδας, ή το αντίστροφο.

**Φαινόμενη περίοδος μηδενικής υπέρβασης,  $T_0$ :** Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών υπερβάσεων του επιπέδου ηρεμίας από την συνάρτηση  $\eta(t)$ .

**Φαινόμενη περίοδος κορυφών (ή κοιλάδων),  $T_c$  ( $T_t$ ):** Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών (ή κοιλάδων) της συνάρτησης  $\eta(t)$ .



Εικόνα 8: Φαινόμενα κυματικά μεγέθη χρόνου

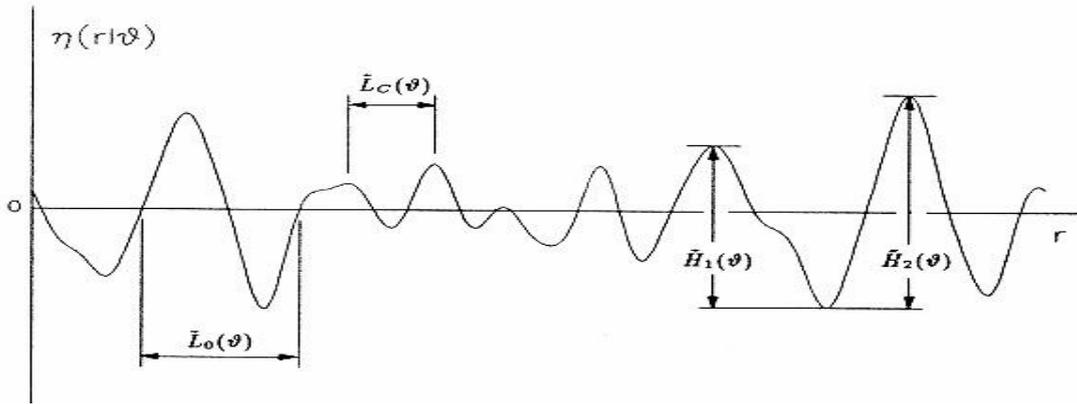
Όσο αφορά τα φαινόμενα μεγέθη χώρου, επιλέγουμε μια κατεύθυνση (άξονα)  $\theta$  και θεωρούμε την τομή της επιφάνειας  $\eta(x,t_0)$  με το κατακόρυφο επίπεδο που διέρχεται από τον οριζόντιο άξονα  $\theta$ .

**Φαινόμενο πλάτος κύματος,  $\alpha$ :**  $\alpha=\alpha(\theta)$

**Φαινόμενο ύψος κύματος,  $H$ :**  $H=H(\theta)$

**Φαινόμενο μήκος κύματος μηδενικής υπέρβασης,  $\lambda_0$  ( $L_0$ ):**  $\lambda_0=\lambda_0(\theta)$

**Φαινόμενο μήκος κύματος κορυφών (ή κοιλάδων),  $\lambda_c$  ( $L_c$ ):**  $\lambda_c=\lambda_c(\theta)$



Εικόνα 9: Φαινόμενα κυματικά μεγέθη χώρου

Οι τιμές των φαινόμενων μεγεθών μεταβάλλονται κατά την καταγραφή. Επομένως θεωρούνται τυχαίες 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.

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \tilde{H}_j, \text{ μέσο ύψος κύματος}$$

$$H_{RMS} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \tilde{H}_j^2, \text{ τυπική απόκλιση}$$

$$H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} \tilde{H}_j, \text{ σημαντικό ύψος κύματος (η μέση τιμή του 1/3 των υψηλότερων τιμών του φαινόμενου ύψους κατά την διάρκεια μια καταγραφής)}$$

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

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

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  $\theta$ , δηλαδή  $\bar{H} = \bar{H}(\theta)$ ,  $\bar{H}_{RMS} = \bar{H}_{RMS}(\theta)$ ,  $H_{1/3} = H_{1/3}(\theta)$ . Αν η συνάρτηση  $H_{1/3}(\theta)$  παρουσιάζει έντονο ολικό μέγιστο για μια γωνία  $\theta = \theta_0$ , τότε η κατεύθυνση  $\theta_0$  ονομάζεται κύρια κατεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Η στοχαστική διαδικασία της ανύψωσης της θαλάσσιας επιφάνειας  $\eta$  ως συνάρτηση του χρόνου  $t$ ,  $\eta(t)$ , 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  $\sigma_f$  είναι η τυπική απόκλιση

Η επιβεβαίωση του γεγονότος ότι η ανύψωση της θάλασσας ακολουθεί στάσιμη και κανονική κατανομή έχει ελεγχθεί διεξοδικά. Από τον έλεγχο συμπεραίνεται ότι για κύματα  $H_s < 8$  m η θεώρηση ισχύει, αν και για  $4\text{m} < H_s < 8\text{m}$  υπάρχουν αποκλίσεις από την κανονική κατανομή που αυξάνουν ελαφρά με την αύξηση της κατάστασης της θάλασσας. Όμως, στην περίπτωση όπου η θαλάσσια περιοχή έχει μεγάλο βάθος, μπορεί να θεωρηθεί ως στάσιμη και κανονική κατανομή, ανεξάρτητα με την επικρατούσα κατάσταση θαλάσσης.

Οι αντίστοιχες διαδικασίες που αφορούν τα πλάτη και τα ύψη των κυματισμών,  $A(t)$  και  $H(t)$ , ακολουθούν την κατανομή Rayleigh με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

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

Όπου  $2^a$  η μέση τιμή του  $x^2$ .

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  $\omega$  είναι η κυκλική συχνότητα του κύματος και  $\theta$  η κατεύθυνση του κύματος.

Τα στοχαστικά μεγέθη, τα οποία 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  $S(\omega)$ .

$$S(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \theta) d\theta$$

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

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

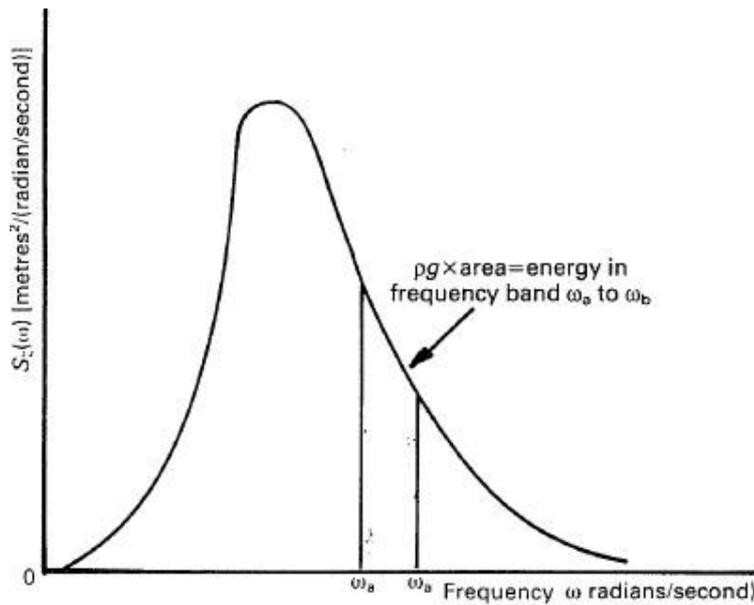
$$\text{Μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης: } E[T_0] = 2\pi\sqrt{\frac{m_0}{m_2}} = T_{02}$$

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

Όπου  $E[\ ]$  ο τελεστής μέσης ολότητας και  $m_0, m_2$  οι φασματικές ροπές, οι οποίες στην γενική του έκφραση ορίζονται:

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

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 πως κατανέμεται η κυματική ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο στις διάφορες κυκλικές συχνότητες  $\omega$  του κυματισμού.



Εικόνα 10: Σημειακό 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 κυματικής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο στις διάφορες κατευθύνσεις  $\theta$ . Αν η συνάρτηση  $S(\theta)$  εμφανίζει έντονο ολικό μέγιστο για  $\theta = \theta_0$ , τότε η κατεύθυνση  $\theta_0$  ονομάζεται κύρια κατεύθυνση διάδοσης των κυματισμών. Αν υπάρχουν περισσότερα τοπικά μέγιστα, τότε θα έχουμε τόσες κύριες κατευθύνσεις, όσα και τα μέγιστα.

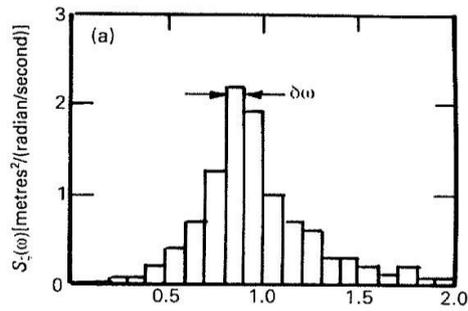
## ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (WAVE ENERGY SPECTRUM)

Το φάσμα της κινητικής ενέργειας εκφράζει την σημασία της κάθε ημιτονοειδούς συνιστώσας του κύματος. Η ενέργεια του  $n$ -οστού ημιτονικού κύματος-συνιστώσας, ανά  $m^2$  θαλάσσιας επιφάνειας ισούται με  $\frac{1}{2} \rho g \zeta_{n0}^2$ . Το φάσμα της κυματικής ενέργειας ορίζεται κατά τρόπο ώστε η περιοχή που περικλείεται από ένα εύρος συχνοτήτων, έστω  $\omega_\alpha$  έως  $\omega_\beta$ , να είναι ανάλογη της ολικής ενέργειας (ανά  $m^2$  θαλάσσιας επιφάνειας) των κυμάτων-συνιστωσών που έχουν συχνότητες μεταξύ  $[\omega_\alpha, \omega_\beta]$ . επομένως 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 συχνοτήτων  $[\omega_\alpha, \omega_\beta]$  θα υπάρχει μόνο ένας ημιτονικός κυματισμός, σύμφωνα με την ανάλυση κατά Fourier του τυχαίου κυματισμού. Άρα η τεταγμένη που θα αντιστοιχεί στην συχνότητα  $\omega_n$ , δίνεται από την παρακάτω σχέση.

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

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

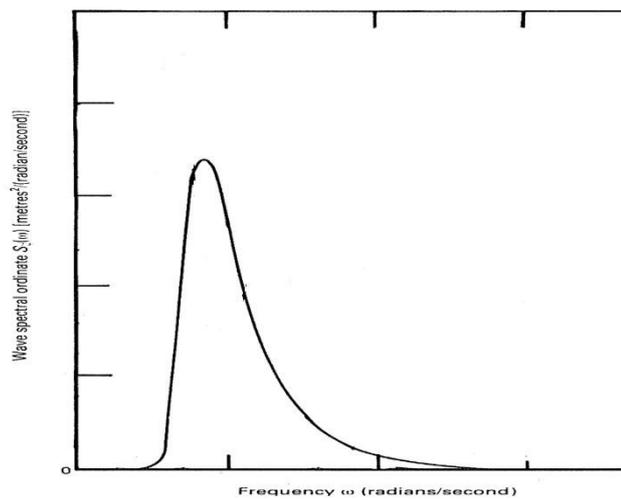
### Spectral moments



Εικόνα 11: Τυπικό φάσμα ανάλυσης Fourier ενός τυχαίου κυματισμού

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

$$S_z(\omega)d\omega = \frac{1}{2}\zeta_{n0}^2 \Rightarrow \zeta_{n0}^2 = \int_0^{\infty} S_{\omega}(\omega)d\omega$$



## ΤΟ ΔΙΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟ ΦΑΣΜΑ BRETSCHNEIDER

Το φάσμα Bretschneider μοντελοποιεί θαλάσσιους κυματισμούς και ορίζεται με την βοήθεια δύο παραμετρων, της κυκλικής συχνότητας κορυφής και του σημαντικού ύψους κύματος  $H^{1/3}$ .

$$S(\omega) = \frac{5}{6} \left( \frac{\omega_p}{\omega} \right)^5 \frac{(\bar{H}^{1/3})^2}{\omega_p} \exp \left\{ -\frac{5}{4} \left( \frac{\omega_p}{\omega} \right)^4 \right\}$$

Όπου:

$H^{1/3}$  το σημαντικό ύψος κύματος

$\omega_p$  η κυκλική συχνότητα κορυφής του φάσματος με  $\omega_p = 2\pi/T_p$

Επίσης ισχύουν και οι παρακάτω σχέσεις:

$$m_0 = 0.0625(H^{1/3})^2 \Rightarrow H^{1/3} = 4\sqrt{m_0} = 4RMS [m]$$

$$m_{02} = 2.916 \frac{H^{1/3}}{T^2} \left[ \frac{m^2}{sec^4} \right] \text{ με } \bar{T} = \frac{2\pi m_0}{m_1}$$

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

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

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

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

Εφαρμόζεται σε πλήρως ή μερικώς ανεπτυγμένες ή αποσβενύμενες θάλασσες ή σε αποθάλασσες και έχει μια κορυφή (unimodal). Αυτό σημαίνει ότι ο ρυθμός με τον οποίο προσδίδεται ενέργεια στο νερό από ένα πνέοντα (με θεωρητικά σταθερή ταχύτητα) άνεμο, ο είναι διαφορετικός από τον ρυθμό με τον οποίο η ενέργεια αυτή υποβιβάζεται, λόγω συνεκτικότητας του νερού και λόγω θραύσης των κυμάτων. Στην περίπτωση που οι ρυθμοί εξισωθούν, τότε υπάρχει μια πλήρως ανεπτυγμένη θάλασσα και μελετάται με χρήση άλλου φάσματος.

## ΑΤΑΛΑΝΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΩΝ (WIND AND WAVE ATLAS)

Γενικά οι άτλαντες προσφέρουν αξιόπιστα στατιστικά στοιχεία ανεμολογικών και κυματικών συνθηκών, τα οποία προήλθαν από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για έναν ικανό χρονικό διάστημα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία αντλήθηκαν τα στοιχεία από τον άτλαντα έκδοσης 2004, ο οποίος δημιουργήθηκε από τον οργανισμό Western European Armament Organisation Research Cell, όπου συμμετείχε και το Ε.Μ.Π. Από τον συγκεκριμένο άτλαντα λήφθηκαν στατιστικά στοιχεία για ανέμους και κυματισμούς της θαλάσσιας λεκάνης της Μεσογείου που συγκεντρώνονταν επί μια δεκαετία.

Τα παρεχόμενα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για:

- i. Την επιχειρησιακή σχεδίαση και βελτιστοποίηση των υπαρχόντων πλοίων ή στόλων. Δηλαδή, καθορίστηκαν αποδεκτά όρια περιβαλλοντικών συνθηκών για τα υφιστάμενα πλοία ή στόλους και εκτιμώντας την πιθανότητα ή μη υπέρβασής τους, είναι εφικτός ο υπολογισμός δεικτών λειτουργησιμότητας, η βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης των πλοίων και η αναθεώρηση της γεβγραφικής κατανομής ενός στόλου.
- ii. Στην σύγκριση διαφορετικών γαστρών πλοίου με την βοήθεια των δεικτών λειτουργησιμότητας.
- iii. Στην επιχειρησιακή σχεδίαση της ναυτικής δραστηριότητας. Δηλαδή, ο προσδιορισμένος του καταλληλότερου εποχιακού διαστήματος για την

εκτέλεση μια ναυτικής άσκησης ή θαλάσσιων και υποθαλάσσιων εργασιών και ερευνών.

iv. Στην εκτίμηση του ενεργειακού περιεχομένου μια θαλάσσιας περιοχής

## ΠΗΓΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι πληροφορίες και τα αποτελέσματα που συναντώνται σε έναν άτλαντα προέρχονται από τέσσερις πηγές:

- Από οπτικές παρατηρήσεις του πληρώματος των διερχομένων πλοίων
- Από πλωτήρες και πλατφόρμες
- Από όργανα εγκαταστημένα σε δορυφόρους
- Από μετεωρολογικά και κυματικά μοντέλα που αξιοποιούνται σε μετεωρολογικούς και ωκεανογραφικούς σταθμούς.

Οι πληροφορίες που παρέχονται από τις διαφορετικές πηγές δεν είναι γενικά ίδιες. Διαφέρουν στην ακρίβεια, την ποιότητα, την γεωγραφική κατανομή και το πλήθος.

Ο άτλαντας που λήφθηκε υπόψιν και αντλήθηκαν τα δεδομένα για αυτήν την διατριβή δεν περιλαμβάνει οπτικές παρατηρήσεις, διότι οι υπόλοιπες πηγές παρείχαν ένα ικανοποιητικό μεγάλο πλήθος δεδομένων, το οποίο κάλυπτε πλήρως και με αρκετή ακρίβεια τον χώρο της Μεσογείου.

### ΠΛΩΤΗΡΕΣ (BUOY DATA)

Παρέχουν πληροφορίες για την κατακόρυφη κίνηση της θαλάσσιας επιφάνειας, την κατευθυντική κατανομή της ενέργειας και την κύρια διεύθυνση του κύματος (Wavesc). Βέβαια, παλιότερα παρείχαν μόνο πληροφορίες για την κατακόρυφη κίνηση της θαλάσσιας επιφάνειας (Waverider, Netherlands).

### ΟΡΓΑΝΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΗΜΕΝΑ ΣΕ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ

Παρέχουν στοιχεία για το σημαντικό ύψος κύματος, την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου σε ύψος δέκα μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας.

### ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Διάφορα κέντρα χρησιμοποιούν ένα πλήθος μοντέλων για πρόβλεψη και ανάλυση των θαλάσσιων συνθηκών. Γενικά, τα μοντέλα αυτά, και κυρίως τα κυματικά, δεν έχουν υψηλή ακρίβεια σε κλειστές θαλάσσιες περιοχές, όπως η Μεσόγειος θάλασσα. Για αυτό το λόγο, όσα ιδρύματα ενδιαφέρονται για τέτοιου είδους θαλάσσιες περιοχές, χρησιμοποιούν ιδιαίτερες εκδόσεις μοντέλων, προσαρμοσμένες σε αυτές τις θαλάσσιες περιοχές. Ο άτλαντας που χρησιμοποιήθηκε, 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 θάλασσα. Η ανάλυση προέρχεται από 4000 σημεία, 25 διαφορετικές συχνότητες ξεκινώντας από την συχνότητα  $n_i=0.04\text{Hz}$  και έχοντας βήμα  $f(n+1)=1.1f_n$ .

Καμία πηγή πληροφοριών, όμως, δεν δίνει ικανοποιητικές πληροφορίες για τον άτλαντα. Η πρώτη πηγή, οι πλωτήρες, έχουν μεγάλη ακρίβεια όμως υστερούν στην

κάλυψη μεγάλων γεωγραφικών περιοχών. Η δεύτερη πηγή, όργανα εγκατεστημένα σε δορυφόρους, δίνουν πληροφορίες καλής ποιότητας με εξαίρεση τις πολύ υψηλές και τις πολύ χαμηλές τιμές των μετρούμενων μεγεθών, όπως το ίδιο συμβαίνει και στις περιοχές που βρίσκονται κοντά στις ακτές. Η τρίτη και τελευταία πηγή, μετεωρολογικά και κυματικά μοντέλα, παρότι έχουν χρονική και χωρική συνέχεια, συνήθως υποεκτιμούν τις μετρούμενες τιμές συγκριτικά με τις πραγματικές. Όπως επίσης, είναι αναξιόπιστα στις ακραίες τιμές καθώς και κοντά στις ακτές.

Επομένως χρησιμοποιείται κατάλληλος συνδυασμός πληροφοριών από τις τρεις πηγές. Οι πλωτήρες χρησιμοποιούνται για επαλήθευση των πληροφοριών που παρέχουν οι δορυφόροι και στην συνέχεια διορθώνονται τα αποτελέσματα που παρέχουν τα μοντέλα. Όταν ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία, τα τελικά αποτελέσματα είναι αυτά που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των στατιστικών στοιχείων σε όλα τα σημεία.

### ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΤΛΑΝΤΑ

Οι πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν, για την παρούσα διατριβή, από τον άτλαντα είναι οι παρακάτω:

- i. Κατανομή μέσης ταχύτητας ανέμου ανά εποχή και καθ' έτος.
- ii. Κατανομή διεύθυνσης ανέμου ανά εποχή και καθ' έτος.
- iii. Κατανομή μέσης τιμής σημαντικού ύψους κύματος ανά εποχή και καθ' έτος.
- iv. Κατανομή μέσης τιμής περιόδου κορυφής κύματος ανά εποχή και καθ' έτος.
- v. Κατανομή μέσης τιμής κλίσης κύματος ανά εποχή και καθ' έτος.
- vi. Κατανομή διεύθυνσης κύματος ανά εποχή και καθ' έτος.
- vii. Κατανομή πιθανότητας ταχύτητας ανέμου  $U_w < 4$  m/sec ανά εποχή και καθ' έτος.
- viii. Κατανομή πιθανότητας ταχύτητας ανέμου  $U_w < 6$  m/sec ανά εποχή και καθ' έτος.
- ix. Κατανομή πιθανότητας ταχύτητας ανέμου  $U_w > 8$  m/sec ανά εποχή και καθ' έτος.
- x. Κατανομή πιθανότητας ταχύτητας ανέμου  $U_w > 11$  m/sec ανά εποχή και καθ' έτος.
- xi. Κατανομή πιθανότητας σημαντικού ύψους κύματος  $H_s < 0.5$  m ανά εποχή και καθ' έτος.
- xii. Κατανομή πιθανότητας σημαντικού ύψους κύματος  $H_s < 1.25$  m ανά εποχή και καθ' έτος.
- xiii. Κατανομή πιθανότητας σημαντικού ύψους κύματος  $H_s > 2.5$  m ανά εποχή και καθ' έτος.
- xiv. Κατανομή πιθανότητας σημαντικού ύψους κύματος  $H_s > 4$  m ανά εποχή και καθ' έτος.
- xv. Ιστόγραμμα ταχύτητας-διεύθυνσης ανέμου ανά εποχή και καθ' έτος.
- xvi. Ιστόγραμμα σημαντικού ύψους κύματος-περιόδου κορυφής ανά εποχή και καθ' έτος.
- xvii. Ιστόγραμμα σημαντικού ύψους κύματος-διεύθυνσης κύματος ανά εποχή και καθ' έτος.
- xviii. Ιστόγραμμα σημαντικού ύψους κύματος-ταχύτητας ανέμου ανά εποχή και καθ' έτος.

Όλες οι παραπάνω πληροφορίες που περιέχονται στον άτλαντα αφορούν την θαλάσσια περιοχή της Μεσογείου. Τα σημεία των μετρήσεων απέχουν μεταξύ τους περίπου 50km.

Για την παρούσα διατριβή επιλέχθηκαν τέσσερις θέσεις για να μελετηθούν τα στοιχεία τους, οι οποίες βρίσκονται όλες στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο. Οι τεσσέρις θέσεις είναι οι εξής:

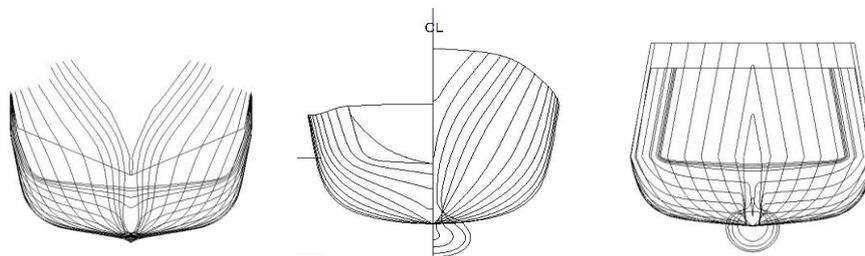
1. AREA 1: 35N, 22E. (ΔΥΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ)
2. AREA 2: 36N, 32E. (ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ ΠΕΛΟΠΟΝΗΣΣΟΥ)
3. AREA 3: 36N, 27E. (ΒΟΡΕΙΑ ΝΗΣΟΥΣ ΚΑΡΑΠΑΘΟΥ)
4. AREA 4: 38N, 25.5E. (ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΑΙΓΑΙΟ)



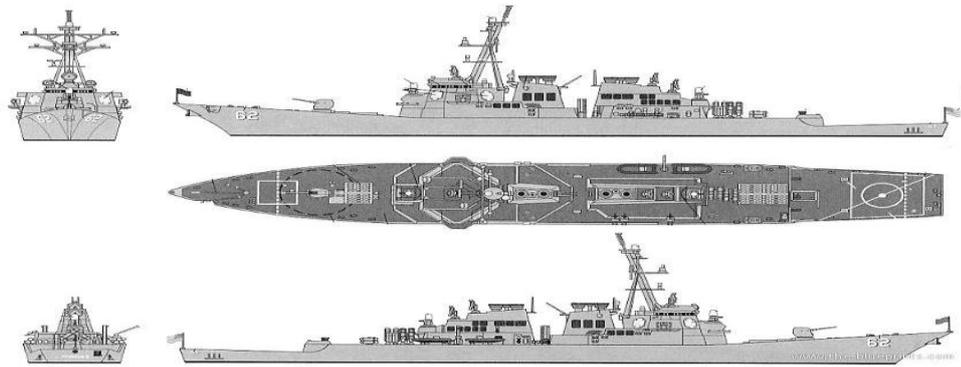
Εικόνα 12: Θαλάσσιες περιοχές μελέτης

## ΓΑΣΤΡΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΩΝ

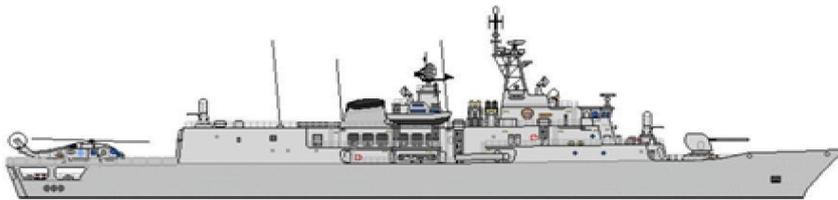
Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές σχεδιάσεις γαστρών, η γερμανική φρεγάτα ΜΕΚΟ, η γάστρα 5415Μ (DDG-51) και η γάστρα ONR5613 TUMBLEHOME (ΤΗ). Οι τρεις αυτές σχεδιάσεις είχαν διαφορετικό μέγεθος και έπρεπε να τροποποιηθούν κατάλληλα ώστε να μπορούν να μελετηθούν και να συγκριθούν σε πανομοιότυπες διαστάσεις. Η γάστρα ΜΕΚΟ κρατήθηκε σταθερή και η τροποποίηση έγινε στις άλλες δύο ώστε να αντιστοιχούν στο μέγεθος της πρώτης.



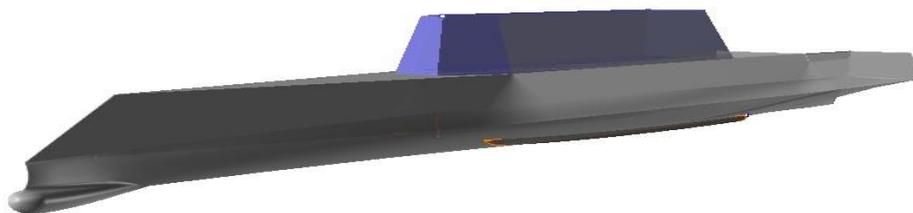
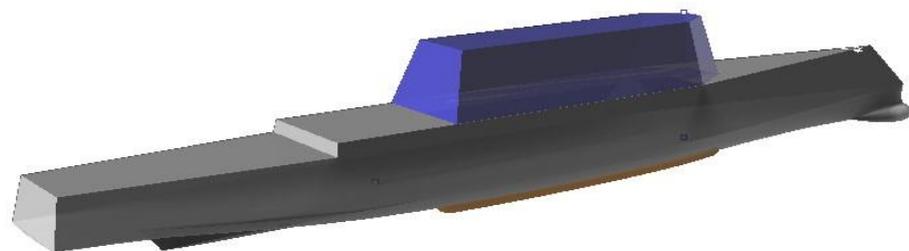
Εικόνα 13: Εγκάρσια τομή πλοίων, ΜΕΚΟ, DDG-51, ΤΗ



Εικόνα 14: 5415M (DDG-51)



Εικόνα 15: MEKO



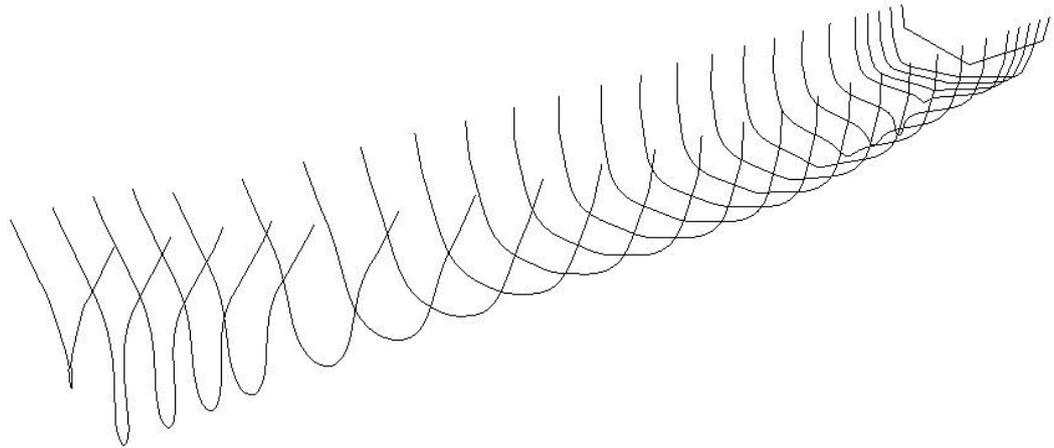
Εικόνα 16: ONR 5613 (TH)

Η διάσταση που κρατήθηκε σταθερή στην ΜΕΚΟ επιλέχθηκε να είναι το μήκος του, το οποίο είναι  $L_{BP}=109m$ . Για την γάστρα DDG-51 επιλέχθηκε μια όμοια γάστρα με την πατρική και έγινε μείωση των διαστάσεων της (με βάση το μήκος της) με λόγο ομοιότητας  $\lambda=0.767$  (scale down). Για την τρίτη γάστρα, την TH, έγινε κατάλληλη των διαστάσεων της προκειμένου με επιτευχθεί το επιθυμητό μήκος μεταξύ καθέτων στα 109m και έπειτα υπολογίσθηκαν τα υδροστατικά της στοιχεία με χρήση του προγράμματος RHINO-MARINE, τα οποία επιβεβαιώθηκαν με χρήση κώδικα υδροστατικών υπολογισμών του Ε.Μ.Π. Για την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στους υπολογισμούς, και ειδικότερα στον διατοχισμό (roll), η μελέτη πραγματοποιήθηκαν με τα παρελκόμενα του κάθε πλοίου. Η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε πριν την εκτέλεση των υπολογισμών είναι η ακόλουθη:

- a. ΜΕΚΟ: Το πλοίο χωρίστηκε σε 25 εγκάρσιους τομείς (station), και οι συντεταγμένες των τομέων (offsets) αυτών χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα για το αρχείο εισόδου στον κώδικα S.M.P. Ο διαχωρισμός του πλοίου στους τομείς παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

ST 0	x=0.000
ST 0.5	x=2.725
ST 1	x=5.450
ST 1.5	x=8.175
ST 2	x=10.900
ST 3	x=16.350
ST 4	x=21.800
ST 5	x=27.250
ST 6	x=32.700
ST 7	x=38.150
ST 8	x=43.600
ST 9	x=49.050
ST 10	x=54.500
ST 11	x=59.950
ST 12	x=65.400
ST 13	x=70.850
ST 14	x=76.300
ST 15	x=81.750
ST 16	x=87.200
ST 17	x=92.650
ST 18	x=98.100
ST 18.5	x=100.825
ST 19	x=103.550
ST 19.5	x=106.275
ST 20	x=109.000

Επιπρόσθετα, στο αρχείο εισόδου στον κώδικα εισάχθηκαν και τα παρελκόμενα της γάστρας, τα οποία είναι ένα ζεύγος παρατροπιδίων (bilge keels), ένα ζεύγος αντιδιατοχιστικών πτερυγίων (roll stabilizing fins) και ένα πτερύγιο πηδαλίου (rudder fin). Η κατάσταση φόρτωσης στην οποία μελετήθηκε ήταν η κατάσταση πλήρους φόρτωσης (Full Load Departure).

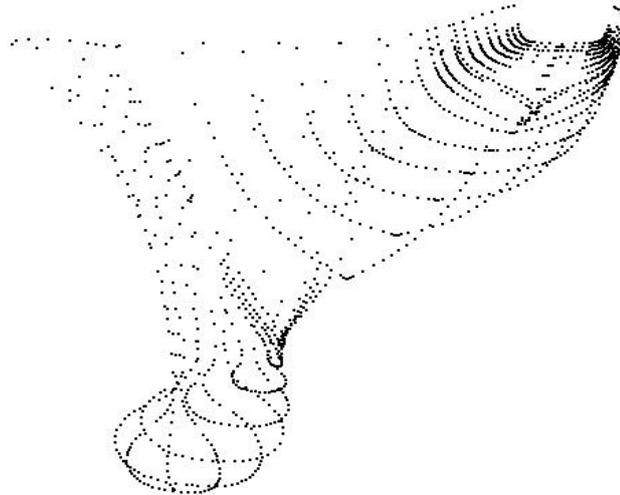


Εικόνα 17: Σχέδιο εγκάρσιων σταθμών ΜΕΚΟ (frames)

- b. 5415M (DDG-51): Η γάστρα αυτή, χωρίστηκε σε 23 εγκάρσιους τομείς (stations) προκειμένου να εισαχθεί η γεωμετρία της γάστρας στον κώδικα S.M.P. Το σχέδιο βασίστηκε πάνω στο αντίστοιχο που υπάρχει στην αναφορά της MARIN με αριθμό 23848-1-SMB, και όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε υπό κλίμακα. Η διαμήκης θέση και η αρίθμηση των εγκάρσιων τομών παρουσιάζεται παρακάτω:

ST 0	x=0.000
ST 0.5	x=2.725
ST 1	x=5.450
ST 1.5	x=8.175
ST 2	x=10.900
ST 3	x=16.350
ST 4	x=21.800
ST 5	x=27.250
ST 6	x=32.700
ST 7	x=38.150
ST 8	x=43.600
ST 9	x=49.050
ST 10	x=54.500
ST 11	x=59.950
ST 12	x=65.400
ST 13	x=70.850
ST 14	x=76.300
ST 15	x=81.750
ST 16	x=87.200
ST 17	x=92.650
ST 18	x=98.100
ST 19	x=103.550
ST 20	x=109.000

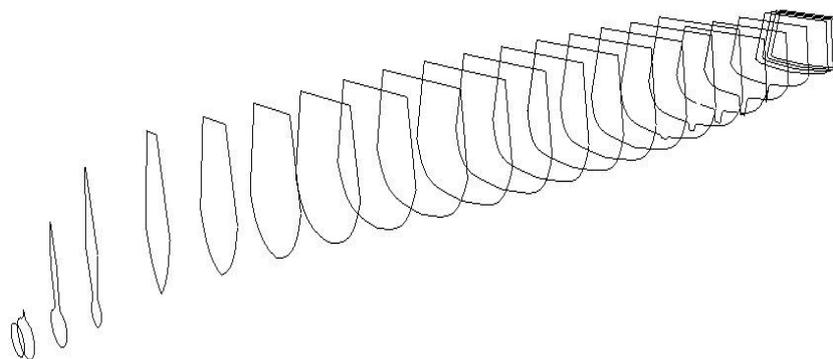
Όπως και στην ΜΕΚΟ, και σε αυτή την γάστρα στο αρχείο εισόδου συμπεριλήφθηκαν όλα τα παρελκόμενα, τα οποία αποτελούνται από δύο ζεύγη παρατροπιδίων (bilge keels), ένα ζεύγος αντιδιατοχιστικών πτερυγίων (roll stabilizing fins), δυο πτερύγια πηδαλίου (rudder fin) και ένα Skeg.



Εικόνα 18: Σχέδιο εγάρσιων σταθμών DDG-51 (frames)

- c. ΤΗ: Χωρίστηκε σε 25 εγκάρσιους τομείς (stations) προκειμένου να εισαχθεί η γεωμετρία της γάστρας στον κώδικα S.M.P. Το σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε πάνω στο σχέδιο ONR 5613 υπό κατάλληλη κλίμακα ώστε η διάσταση του μήκους να είναι στα 109 m. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται η αρίθμηση και η διαμηκής θέση των εγκάρσιων τομέων:

ST -0.1101	x=-0.600
ST 0	x=0.000
ST 0.5	x=2.500
ST 1	x=5.449
ST 2	x=10.898
ST 3	x=16.347
ST 4	x=21.796
ST 5	x=27.245
ST 6	x=32.694
ST 7	x=38.143
ST 8	x=43.592
ST 9	x=49.041
ST 10	x=54.490
ST 11	x=59.939
ST 12	x=65.388
ST 13	x=70.837
ST 14	x=76.286
ST 15	x=81.735
ST 16	x=87.184
ST 17	x=92.633
ST 18	x=98.082
ST 19	x=103.531
ST 19.2696	x=105.000
ST 19.4531	x=106.000
ST 19.6366	x=107.000



Εικόνα 19: Σχέδιο εγάρσιων τομών ONR 5613 (TH) (frames)

Τα παρελκόμενα του πλοίου αυτού, τα οποία συμπεριλήφθηκαν στο αρχείο εισόδου, είναι ένα ζεύγος παρατροπιδίων (bilge keels), δύο πτερύγια πηδαλίου (rudder fin) και ένα Skeg.

Αναλυτικότερα τα κύρια χαρακτηριστικά των τριών πλοίων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, με όλα τα στοιχεία να είναι αυτά που εισάχθηκαν στο κώδικα S.M.P.

	MEKO	5415M	TH
SHIP LENGTH ( $L_{BP}$ ) [m]	109.000	109.000	108.980
BEAM AT MIDSHIP (B) [m]	13.960	14.620	13.290
DRAFT AT MIDSHIP (T) [m]	4.320	4.720	3.890
DISPLACEMENT S.W. ( $\Delta$ ) [m.t]	3441.100	3898.400	3087.600
SHIP SPEED [kn]	30.000	30.000	30.000
L/B	7.808	7.456	8.200
B/T	3.231	3.097	3.416
T/B	0.309	0.323	0.293
	2.657	3.010	2.386
FROUDE NUMBER [ $F_n$ ]	0.472	0.472	0.472
VERTICAL CENTRE OF GRAVITY (VCG) [m]	1.670	1.040	1.550
CENTRE OF GRAVITY (KG) [m]	5.990	5.760	5.440
METACENTRIC HEIGHT (GM) [m]	1.410	1.460	1.410
METACENTER (KM) [m]	7.400	7.220	6.850
CENTRE OF BUOYANCY (KB) [m]	2.630	2.800	2.300
VCG/B	0.120	0.071	0.117
KG/B	0.429	0.394	0.409
GM/B	0.101	0.100	0.106
KM/B	0.530	0.494	0.515
KB/B	0.188	0.192	0.173
LONGITUDINAL CENTRE OF GRAVITY (LCG) [m]	57.770	55.140	56.100
LONGITUDINAL CENTRE OF BUOYANCY (LCB) [m]	57.770	55.140	56.100
LONGITUDINAL CENTRE OF FLOTATION (LCF) [m]	63.210	59.540	61.280
LCG/ $L_{BP}$	0.530	0.506	0.515
LCB/ $L_{BP}$	0.530	0.506	0.515

LCF/L <sub>BP</sub>	0.580	0.546	0.562
ROLL GYRADIUS [m]	4.890	5.690	5.050
PITCH GYRADIUS [m]	27.250	27.470	27.250
YAW GYRADIUS [m]	27.250	27.360	27.250
ESTIMATED ROLL PERIOD [m]	9.230	10.560	9.540
R <sub>G</sub> /B	0.350	0.389	0.380
P <sub>G</sub> /L <sub>BP</sub>	0.250	0.252	0.250
Y <sub>G</sub> /L <sub>BP</sub>	0.250	0.251	0.250
ROLL FREQUENCY (RADIAN)	0.681	0.595	0.659
WATERPLANE AREA [m <sup>2</sup> ]	1184.000	1222.300	1123.200
WETTED SURFACE [m <sup>2</sup> ]	1619.000	1737.400	1590.200
BLOCK COEFFICIENT (C <sub>B</sub> )	0.510	0.505	0.534
PRISMATIC COEFFICIENT (C <sub>P</sub> )	0.625	0.618	0.638
WATERPLANE COEFFICIENT (C <sub>WP</sub> )	0.778	0.767	0.776
MIDSHIP COEFFICIENT (C <sub>M</sub> )	0.816	0.818	0.837
VERTICAL PRISMATIC COEFFICIENT (C <sub>VWP</sub> )	0.656	0.659	0.689

Οι ακτίνες αδράνειας (GYRADIUS) για το DDG-51 εντοπίστηκαν από την έκδοση “WEIGHT ESTIMATING AND MARGIN MANUAL FOR MARINE VEHICLE” SOCIETY OF ALLIED WEIGHT ENGINEERS (SAWE) – SNAME. Αντίστοιχα, οι ακτίνες αδράνειας (GYRADIUS) για την MEKO είναι οι συνήθεις τιμές για πλοίο τύπου φρεγάτας, ενώ τα στοιχεία για το TH εντοπίστηκαν από σχετική δημοσίευση των H. Sadat-Hosseini, F. Stern et al (2010).

## ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ ΠΟΛΕΜΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Η αξιολόγηση της λειτουργησιμότητας ενός πλοίου, προϋποθέτει μια ορθολογική διαδικασία για τον προσδιορισμό των κριτηρίων που πρέπει να ικανοποιεί και τον προσδιορισμό της ικανότητας του πλοίου να ικανοποιεί αυτά τα κριτήρια. Αυτή η διαδικασία αρχίζει με τον ορισμό των αποστολών του πλοίου, που πρέπει να εκπληρώσει, όπως επίσης και τον προσδιορισμό των διαδικασιών και των ενεργειών των συστημάτων του πλοίου που πρέπει να εκτελεί. Τα θεμελιώδη μέρη για την πρόβλεψη της απόδοσης και της λειτουργησιμότητας ενός πλοίου είναι:

- i. ΔΕΔΟΜΕΝΑ:
  - a. Αποστολές. Προσδιορισμός των ναυτικών αποστολών και των ενεργειών αυτών.
  - b. Περιβάλλον. Περιγραφή του αέρα και του κυματισμού στην περιοχή όπου θα επιχειρεί το πλοίο.
  - c. Κριτήρια. Προσδιορισμός των κριτηρίων της απόδοσης των συστημάτων του πλοίου, καθώς επίσης και την επίδραση πάνω στο πλήρωμα.
- ii. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:
  - a. Κινήσεις. Υπολογισμός των κινήσεων του πλοίου στο συγκεκριμένο θαλάσσιο περιβάλλον.

- b. Εκτίμηση. Καθορισμός της λειτουργησιμότητας και της αποτελεσματικότητας ενός πλοίου στο συγκεκριμένο θαλάσσιο περιβάλλον.

Γενικά, πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν γενικά δύο μέθοδοι καθορισμού της λειτουργησιμότητας ενός πλοίου. Στην παρούσα διατριβή, χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο μέθοδοι για την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων.

- i. Απόλυτη μέθοδος. Σε αυτήν την μέθοδο, ορίζονται επιτρεπτά όρια κινήσεων του πλοίου, με γνώμονα το πλήρωμα και την λειτουργία των συστημάτων του, αντί για την ολική απόδοση του πλοίου.
- ii. Συγκριτική μέθοδος. Σε αυτή την μέθοδο, η λειτουργησιμότητα ενός σχεδίου πλοίου, συγκρίνεται με την αντίστοιχη ενός ήδη γνωστού πλοίου με αποδεδειγμένα καλή λειτουργησιμότητα.

Οι αποστολές ενός πλοίου μπορεί να είναι διάφορες και ποικίλες. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικά μια λίστα από πιθανές αποστολές, που μπορεί να εκτελέσει ένα πολεμικό πλοίο:

TYPE	SORT NAME	DESCRIPTION
Naval Mission	TAP	Transit and Patrol
	ASW	Anti-Submarine Warfare
	AAW	Anti-Air Warfare
	SUW	Anti-Surface Warfare
	MCM	Mine Countermeasures
Support Activity	RAS	Replenishment at Sea
	NAO	Naval Air Operations
	WRL	Weapon Systems Reload

Πίνακας 3: Επιχειρησιακές αποστολές πολεμικού πλοίου

Αναλυτικότερα, ο όρος TAP αναφέρεται σε αποστολές που το πλοίο πρέπει να κινηθεί από το ένα μέρος στο άλλο και ίσως χρειαστεί να ενεργοποιήσει κάποια όργανα για να ελέγξει το θαλάσσιο περιβάλλον από το οποίο διέρχεται. Ο όρος ASW, μπορεί να έχει δύο σημασίες, η μία είναι «επιθετική» και η άλλη «αμυντική». Και στις δύο σημασίες, σκοπός της αποστολής είναι ο εντοπισμός, η αναγνώριση και η ιχνηλάτηση υποβρυχίων και υποθαλάσσιων αντικειμένων. Αντίστοιχα, ο όρος AAW, αναφέρεται στον εντοπισμό, την αναγνώριση και την ιχνηλάτηση αεροσκαφών, πυραύλων και άλλων εναέριων αντικειμένων. Οι SUW ναυτικές αποστολές αναφέρονται στην συμπλοκή επιφανειακών πλοίων ή άλλων πλωτών μέσων. Τέλος, ο όρος MCM αναφέρεται σε ότι αφορά τις νάρκες, δηλαδή από τον εντοπισμό τους μέχρι και την εξουδετέρωσή τους.

Όσον αφορά τις υποστηρικτικές ενέργειες, ο όρος RAS αναφέρεται στην μεταφορά καυσίμου, όπλων και οπλικών συστημάτων, προμηθειών και προσωπικού. Οι αποστολές NAO έχουν συνήθως σημαντικό ρόλο στις αποστολές ASW και RAS, και συχνά σχετίζονται επίσης με τις TAP, AAW, SUW και MCM.

Οι αποστολές αυτές, δεν χρησιμοποιούν όλες τα ίδια συστήματα και τους ίδιους πόρους από ένα πλοίο. Παρουσιάζεται παρακάτω μια λίστα με τα συστήματα που κάθε αποστολή χρησιμοποιεί ξεχωριστά:

	Missions					N A O	R A S	W R L
	T A P	A S W	A A W	S U W	M C M			
<b>Weapons</b>								
CIWS			•	•				•
guns			•	•	•	•		•
missiles			•	•		•		•
torpedoes		•		•		•		•
mines		•		•		•		•
<b>Aircraft</b>								
helicopters	•	•	•	•	•	•	•	•
fixed wing	•	•	•	•		•	•	•
RPV	•	•	•	•		•		•
VSTOL	•	•	•	•		•	•	•
<b>Sensors</b>								
surveillance radar	•	•	•	•	•	•	•	
target/guidance radar			•	•		•		
navigation radar	•	•	•	•	•	•	•	
hull mounted sonar	•	•		•	•			
towed array sonar	•	•		•				
variable depth sonar	•	•		•	•			
dipping sonar	•	•				•		
sonobuoys	•	•				•		•
infra red sensors	•		•	•		•		
laser sensors	•		•	•		•		
visual sensors	•	•	•	•	•	•	•	
<b>Command and Control</b>								
decision making	•	•	•	•	•	•	•	•
communications	•	•	•	•	•	•	•	
data fusion	•	•	•	•	•	•	•	

<b>Counter Measures</b>								
chaff launchers			•	•		•		•
ECM/ESM			•	•		•		
torpedo decoys		•		•				•
mine countermeasures					•	•		•
<b>Platform Systems</b>								
RAS gear							•	
Moon pool								
Launch and recovery systems (davits, ramps, cranes, etc)								

Παρατηρείται, ότι για κάθε αποστολή υπάρχει μια πληθώρα συστημάτων που πρέπει να χρησιμοποιείται για να εκτελεσθεί και να ολοκληρωθεί η αποστολή. Όμως, αυτό δεν σημαίνει ότι όλα τα συστήματα για να είναι λειτουργικά χρειάζονται να τηρούν κάποια κριτήρια, διότι το εύρος λειτουργίας μερικών συστημάτων, όπως τα ραντάρ ερεύνης/ επιφανείας, έχουν μεγάλο εύρος λειτουργίας και πρακτικά δεν συμβάλουν στην μείωση της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας.

Τα πολεμικά πλοία κατασκευάζονται για να μπορούν να εκτελούν ένα μεγάλο εύρος αποστολών. Αυτό πρακτικά σημαίνει, ότι είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν ομάδες κριτηρίων σύμφωνα με την κάθε αποστολή ξεχωριστά, ώστε να αξιολογείται το πλοίο για την λειτουργησιμότητά του σε ένα εύρος αποστολών.

Επομένως, γίνεται πιο εύκολο κατά την διαδικασία της μελέτης ή της σχεδίασης, να μπορεί να δοθεί έμφαση σε μια συγκεκριμένη αποστολή, ή σε ένα συνδυασμό αποστολών, και να υπολογισθεί η εκάστοτε λειτουργησιμότητα για τις εκάστοτε ανάγκες.

Ο διαχωρισμός των κριτηρίων με βάση τις εκάστοτε αποστολές, σύμφωνα με την έκδοση του NATO STANAG 4154, φαίνονται παρακάτω:

		<b>Location - Dependent criteria</b>						
		<b>Roll (deg)</b>	<b>Pitch (deg)</b>	<b>No .</b>	<b>MII / min</b>	<b>Vacc (g)</b>	<b>Lacc (g)</b>	<b>Vvel (m/s)</b>
<b>TAP</b>	deck wetness / hr			30				
	slamming / hr			20				
	personel, bridge	4	1.5		1	0.2	0.1	
	MSI, bridge (percent)			20				
	MII helm				1			
	MII hangar				1			

	MII fight deck				1			
	propeller emergence / hr			90				
<b>ASW</b>	TAP criteria, plus...							
	sonar emergence / hr			24				
	active sonar	7.5	2.5					
	towed array launch				0.5			
	torpedo launch	3.8	3.8					
<b>AAW</b>	TAP criteria, plus...							
	foredeck gun fire	3.8	3.8					0.5
	VLS launch	8.8	1.5			0.3	0.35	
	CIWS fire	3.8	3.8					0.5
<b>NAO</b>	TAP criteria, plus...							
	helicopter landing	3	1					3.7
	helicopter traverse	5	1					

Πίνακας 4: Κριτήρια επιχειρησιακών αποστολών σύμφωνα με STANAG 4154 (v4)

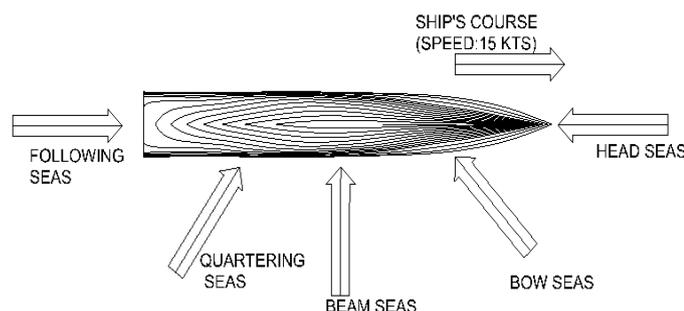
Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αποφασίστηκε να εξεταστεί μια τροποποιημένη ομάδα κριτηρίων για τις τέσσερις αποστολές που φαίνονται στον παραπάνω πίνακα. Οι λόγοι που επιλέχθηκαν να εξαιρεθούν μερικά κριτήρια είναι:

1. Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται κυρίως στις πλατφόρμες του πλοίου και όχι τόσο στο πλήρωμα.
2. Δεν λήφθηκε στα υπόψιν η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στην κάθε περιοχή.

Τελικά, οι αποστολές που επιλέχθηκαν τα τρία πλοία να συγκριθούν, και τα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούν για την εκπλήρωση των αποστολών είναι τα εξής:

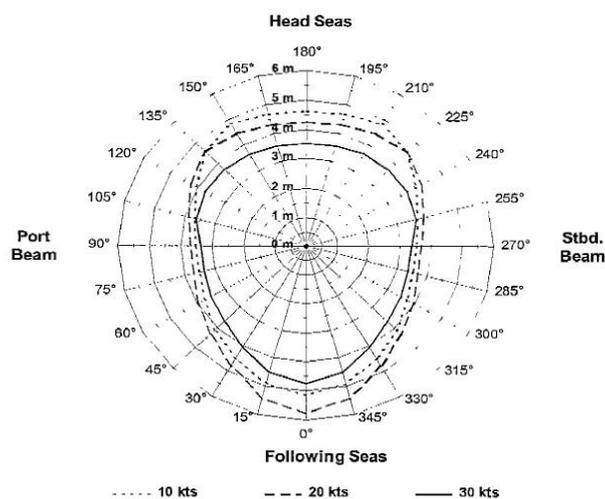
		Roll [deg]	Pitch [deg]	Yaw [deg]	LOCATION DEPENDENT CRITERIA			
					No.	Vacc [g]	Lacc [g]	Vvel [m/sec]
T.A.P.	DECK WETNESS				30			
	SLAMMING				20			
	PERSONELL, BRIGDE (HELMSMAN)	4	1.50			0.20	0.10	
	PROPELLER EMERGENCE					90		
N.A.O.	TAP Criteria and...							
	HELICOPTER LANDING	2.50	1					1
A.S.W.	TAP Criteria and...							
	SONAR EMERGENCE				24			
	SONAR	7.50	2.50					
A.A.W.	TAP Criteria and...							
	FOREHEAD GUN	3.80	3.80					0.50
	MISSILE GUN VLS	8.80	1.50	0.80		0.30	0.35	

Η μελέτη και ο έλεγχος των κριτηρίων, πραγματοποιήθηκε για δύο ξεχωριστές ταχύτητες και πέντε κατευθύνσεις συνάντησης κυματισμών. Οι ταχύτητες που επιλέχθηκαν είναι 15 kn και 25 kn, θεωρώντας την πρώτη μια ταχύτητα σχετικά οικονομική και την δεύτερη μια ταχύτητα αρκετά μεγάλη για να θεωρηθεί σαν ταχύτητα καταδίωξης ή σύρραξης. Οι κατευθύνσεις συνάντησης κυματισμών που επιλέχθηκαν είναι οι 0° (μετωπικοί κυματισμοί, head seas), 45° (πρωραίοι κυματισμοί, bow seas), 90° (πλευρικοί κυματισμοί, beam seas), 135° (πρυμναίοι κυματισμοί, quartering seas) και 180° (ακολουθούμενοι κυματισμοί, following seas).



Εικόνα 20: Κατευθύνσεις συνάντησης κυματισμών

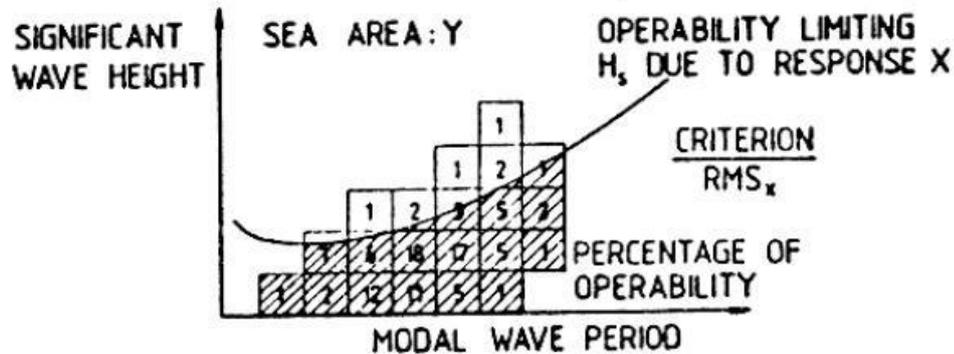
Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων (δεικτών λειτουργησιμότητας, operability indices) γίνεται συνήθως με την βοήθεια πολικών διαγραμμάτων. Τα διαγράμματα έχουν την μορφή του παρακάτω σχήματος, και πάνω σε αυτό απεικονίζονται οι γωνίες συνάντησης του πλοίου με τον κυματισμό και το σημαντικό ύψος κύματος. Πάνω στο πολικό διάγραμμα, σχεδιάζονται για κάθε ταχύτητα του πλοίου μια καμπύλη, η οποία απεικονίζει τους τομείς (κατάσταση θάλασσας, γωνία συνάντησης κυματισμού και σημαντικό ύψος κύματος) όπου το πλοίο τίθεται εκτός ορίων λειτουργίας.



Εικόνα 21: Δείκτες λειτουργησιμότητας πλοίου σε πολικό διάγραμμα για τρεις ταχύτητες

Σε αυτήν την διατριβή, επιλέχθηκε η απεικόνιση να γίνει σε καρτεσιανές συντεταγμένες, όπου διακρίνεται καθαρά η περιοχή που δεν παραβιάζεται κανένα κριτήριο. Η απεικόνιση στις καρτεσιανές συντεταγμένες γίνεται σε διάγραμμα σημαντικού ύψους κύματος-περιόδου κορύφης κύματος ( $H_s-T_p$ ), και σχεδιάζονται

καμπύλες για κάθε κριτήριο και ταχύτητα του πλοίου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 22: Δείκτες λειτουργησιμότητας πλοίου σε καρτεσιανές συντεταγμένες

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε, η μελέτη πραγματοποιήθηκε για τον ευρύτερο θαλάσσιο χώρο της Ανατολικής Μεσογείου, και συγκεκριμένα σε τέσσερις ελληνικές θαλάσσιες περιοχές. Τα δεδομένα για αυτές τις περιοχές λήφθηκαν από τον άτλαντα έκδοσης 2004, ο οποίος δημιουργήθηκε από τον Western European Armaments Organisation Research Cell, με συμμετοχή του Ε.Μ.Π. Τα δεδομένα που αντλήθηκαν από τον άτλαντα αφορούν το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  και την περίοδο κορυφής  $T_p$  σε ετήσια βάση. Οι πίνακες που αντλήθηκαν οι πληροφορίες είναι οι εξής:

Δυτικά Κρήτης (35N, 22E): AREA 1

$T_p$ [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	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1-3.8	3	14	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.8-4.6	3	41	57	38	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.6-5	0	14	31	28	17	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-5.5	1	16	26	30	26	17	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5-6.1	0	9	20	25	22	18	11	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.1-6.7	0	4	19	21	21	21	14	11	8	1	0	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	0	116
7.4-8.1	0	1	3	9	14	15	13	11	17	9	4	1	0	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	0	67
8.9-9.8	0	0	0	1	1	2	3	4	8	7	6	4	3	1	0	0	0	40
9.8-10.8	0	0	0	0	0	0	1	1	3	5	4	3	3	1	0	0	0	21
10.8-11.9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	0	0	0	7
11.9-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
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
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>106</b>	<b>179</b>	<b>178</b>	<b>138</b>	<b>106</b>	<b>71</b>	<b>55</b>	<b>67</b>	<b>39</b>	<b>23</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>995</b>

Νοτιοδυτικά Πελοποννήσου (36N, 21): AREA 2

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	7-9		>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	2	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
3.1-3.8	7	23	19	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51
3.8-4.6	8	62	62	35	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	177
4.6-5	1	25	31	24	15	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102
5-5.5	1	19	33	24	18	11	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112
5.5-6.1	1	10	30	23	18	13	11	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	114
6.1-6.7	1	5	21	24	19	12	11	7	9	1	0	0	0	0	0	0	0	110
6.7-7.4	1	2	8	18	20	18	12	10	13	5	1	0	0	0	0	0	0	108
7.4-8.1	0	1	3	7	13	14	12	10	14	8	4	2	0	0	0	0	0	88
8.1-8.9	0	1	1	3	4	6	7	8	12	8	6	3	2	0	0	0	0	61
8.9-9.8	0	0	1	1	2	1	3	2	6	7	6	3	3	1	0	0	0	36
9.8-10.8	0	0	0	0	1	1	0	1	2	3	3	2	2	1	0	0	0	16
10.8-11.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	5
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
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>155</b>	<b>211</b>	<b>161</b>	<b>119</b>	<b>82</b>	<b>62</b>	<b>44</b>	<b>59</b>	<b>33</b>	<b>21</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>991</b>

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

Tp [sec]	Hs [m]																TOTAL		
	0-0.2 5	0.2 5-0.5	0.5-0.7 5	0.7 5-1	1-1.2 5	1.2 5-1.5	1.5-1.7 5	1.7 5-2	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	
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>138</b>	<b>181</b>	<b>169</b>	<b>130</b>	<b>97</b>	<b>71</b>	<b>54</b>	<b>65</b>	<b>28</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>993</b>

Κεντρικό Αιγαίο (38N, 25.5E): AREA 4

Tp [sec]	Hs [m]																TOTAL		
	0-0.2 5	0.2 5-0.5	0.5-0.7 5	0.7 5-1	1-1.2 5	1.2 5-1.5	1.5-1.7 5	1.7 5-2	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	0
1.9-2.6	24	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.6-3.1	49	25	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1-3.8	50	50	37	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.8-4.6	25	51	59	52	22	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.6-5	3	13	19	30	32	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-5.5	4	6	9	19	27	29	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5-6.1	3	3	6	7	15	21	24	19	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.1-6.7	2	2	2	4	4	8	14	18	27	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.7-7.4	2	1	1	3	2	3	5	6	21	14	3	0	0	0	0	0	0	0	0
7.4-8.1	1	0	0	1	1	1	1	1	5	9	8	3	0	0	0	0	0	0	0

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
<b>TOTAL</b>	165	160	139	122	103	79	61	49	62	29	15	7	6	2	0	0	0	999

Λόγω του μεγάλου όγκο δεδομένων και της αναλυτικής υποδιαίρεσης, τόσο στην περίοδο κορυφών όσο και στο σημαντικό ύψος κύματος, που παρουσιάζεται στον παραπάνω πίνακα, δημιουργήθηκαν νέοι πίνακες με διαφορετική υποδιαίρεση, έτσι ώστε τα δεδομένα να μπορούν να επεξεργαστούν με μεγαλύτερη ευκολία, χωρίς αλλοίωση των αποτελεσμάτων.

#### Δυτικά Κρήτης (35N, 22E): AREA 1

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	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

#### Νοτιοδυτικά Πελοποννήσου (36N, 21): AREA 2

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	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

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

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	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

Κεντρικό Αιγαίο (38N, 25.5E): AREA 4

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	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

Με βάση τους καινούργιους τροποποιημένους πίνακες  $H_s - T_p$ , υπολογίστηκε η πιθανότητα εμφάνισης κάθε κατάστασης θάλασσας στην κάθε περιοχή.

Δυτικά Κρήτης (35N, 22E): AREA 1

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

Νοτιοδυτικά Πελοποννήσου (36N, 21): AREA 2

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

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

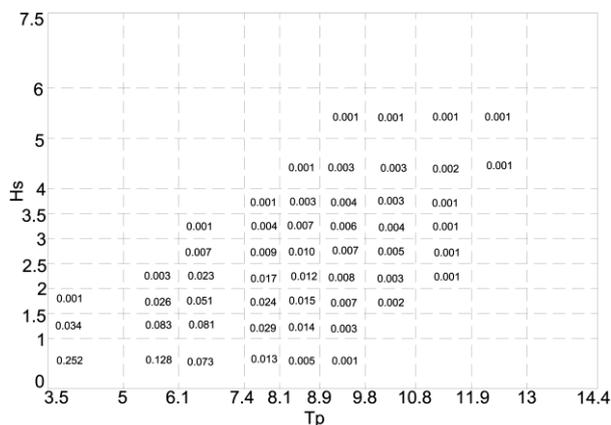
Tp [sec]	Hs [m]										
	0 - 1	1 - 1.5	1.5 - 2	2 - 2.5	2.5 - 3	3 - 3.5	3.5 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7.5	7.5 - 10
0-5	0.305	0.050	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6.1	0.105	0.110	0.049	0.004	0	0	0	0	0	0	0
6.1-7.4	0.061	0.038	0.056	0.047	0.012	0.002	0	0	0	0	0
7.4-8.1	0.022	0.009	0.005	0.007	0.009	0.006	0.002	0	0	0	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

Κεντρικό Αιγαίο (38N, 25.5E): AREA 4

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	0.509	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

Στους παραπάνω πίνακες, τα κελιά που έχουν μπλε σκίαση, είναι αυτά που έχουν πιθανότητα εμφάνισης (probability of occurrence) διαφορετική από μηδενική. Οι χρωματισμένες πιθανότητες είναι αυτές που χρησιμοποιήθηκαν τελικά, για τον σχεδιασμό των διαγραμμάτων και εν συνεχεία για τον υπολογισμό των τελικών τιμών της λειτουργησιμότητας των σκαφών. Για τον σχεδιασμό των διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα AutoCAD, προκειμένου να υπάρξει η γραφική αναπαράσταση σε καρτεσιανές συντεταγμένες. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα σε καρτεσιανές συντεταγμένες, προτού σχεδιαστούν πάνω σε αυτό οι καμπύλες των κριτηρίων.



Εικόνα 23: Διάγραμμα σχεδίασης (grid). Οι αριθμοί ανάμεσα στα ορθογώνια είναι η πιθανότητα εμφάνισης

## ΣΗΜΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Αφού φτιάχτηκαν για κάθε θαλάσσια περιοχή το παραπάνω σχέδιο με τις πιθανότητες εμφάνισης κάθε πιθανής θαλάσσιας κατάστασης, σύμφωνα με τα στοιχεία του άτλαντα, στην συνέχεια σχεδιάστηκαν πάνω του οι καμπύλες των κριτηρίων, οι οποίες προέκυψαν από τον κώδικα S.M.P. Τα σημεία της κάθε φρεγάτας τα οποία υποβλήθηκαν στην μελέτη, τα οποία είναι αυτά που φέρνουν τα συστήματα και υποσυστήματα των κριτηρίων, παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

No	ΟΝΟΜΑ	STATION No (X)	Y [m]	Z [m]
<b>MEKO</b>				
1	Κατάστρωμα ελικοπτέρου	18.495	0.000	10.000
2	Γέφυρα (Helmsman)	5.505	0.000	15.600
3	5/54 Gun Brarrel Tip	1.321	0.000	10.300
4	GMVLS outer corner	12.661	2.200	15.800
5	Σφυρόκρουση 3/20 LBP	3.000	0.000	0.667
6	Διαβροχή Καταστρώματος 1/10 LBP	2.000	5.047	10.736
7	Ανάδυση Έλικας	18.935	3.250	2.800
8	Ανάδυση Θόλου Sonar	3.596	0.000	0.675
<b>5415 M(DDG-51)</b>				
1	Κατάστρωμα ελικοπτέρου	18.227	0.000	10.736
2	Γέφυρα (Helmsman)	6.200	0.000	21.301
3	5/54 Gun Brarrel Tip	1.882	0.000	14.969
4	GMVLS outer corner	5.000	5.682	12.046
5	Σφυρόκρουση 3/20 LBP	3.000	0.000	2.319
6	Διαβροχή Καταστρώματος 1/10 LBP	2.000	5.744	13.508

7	Ανάδυση Έλικας	19.000	3.567	4.000
8	Ανάδυση Θόλου Sonar	0.500	0.000	3.791
<b>ΤΗ</b>				
1	Κατάστρωμα ελικοπτέρου	17.471	0.000	10.325
2	Γέφυρα (Helmsman)	6.625	0.000	19.180
3	5/54 Gun Brarrel Tip	6.000	0.000	11.738
4	GMVLS outer corner	5.000	0.000	11.738
5	Σφυρόκρουση 3/20 L <sub>BP</sub>	3.000	0.000	1.489
6	Διαβροχή Καταστρώματος 1/10 L <sub>BP</sub>	2.000	0.748	11.739
7	Ανάδυση Έλικας	18.440	2.898	3.380
8	Ανάδυση Θόλου Sonar	-0.015	0.000	2.900

Πίνακας 5: Συντεταγμένες σημείων μετρήσεων

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ

### Σφυρόκρουση (Slamming)

Ο κίνδυνος της σφυρόκρουσης μπορεί να περιγραφεί είτε ως τοπική ζημιά στην γάστρα (κατασκευαστική αστοχία) είτε ως φαινόμενο κόπωση στα ελάσματα της γάστρα. Οι δυνάμεις που ασκούνται κατά το φαινόμενο αυτό είναι μη γραμμικές και επομένως δεν μπορούν να προβλεφθούν από γραμμικές μεθόδους. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος πρόβλεψης των δυνάμεων που ασκούνται πάνω στην γάστρα κατά το φαινόμενο της σφυρόκρουσης αναπτύχθηκε από τον Ochi (1964). Το φαινόμενο της σφυρόκρουσης περιγράφεται συνοπτικά ως η έντονη πρόσκρουση της τρόπιδας του πλοίου στο νερό, όταν αυτή έχει εξέλθει της επιφάνειας της θάλασσας. Το φαινόμενο αυτό εντείνεται, όταν ο πυθμένας του πλοίου είναι φαρδύτερος, το πλοίο πλέει με μεγαλύτερη ταχύτητα και ο μετωπικός κυματισμός που συνάντα το πλοίο είναι υψηλότερο. Επίσης σύμφωνα με τις θεωρήσεις των Ochi και Motter (1973), υπάρχει μια κατακόρυφη ταχύτητα του πλοίου, πάνω από την οποία εμφανίζεται αυτό το φαινόμενο. Η εμπειρική σχέση που αναπτύχθηκε είναι:

$$V_{TH} = 3.66 \times \sqrt{\frac{L_{BP}}{158.5}} \text{ (m/s)}$$

Επιπρόσθετα, οι ίδιοι, πρότειναν ότι τα όρια για την σφυρόκρουση πρέπει να μελωτώνται στα 3/20 του L<sub>BP</sub>, διότι σε αυτό το σημείο ο πυθμένας πλαταίνει και η πίεση που ασκείται σε αυτό το σημείο μπορεί να προκαλέσει την οποιαδήποτε ζημιά. Στην παρούσα διατριβή, η σφυρόκρουση μελετάται στο σημείο που υπέδειξαν οι Ochi και Motter, και μελετάται ο αριθμός που επαναλαμβάνεται αυτό το φαινόμενο στην διάρκεια μιας ώρας.

### Διαβροχή Καταστρώματος (Deck Wetness)

Το κριτήριο περιγράφει το ρίσκο στον εξοπλισμό που προκαλείται από τις πράσινες θάλασσες (green seas) ή την ανικανότητα της εργασίας πάνω στο κατάστρωμα λόγω βρεγμένου καταστρώματος. Ο δείκτης συνήθως διατυπώνεται ως τον αριθμό των γεγονότων στα οποία η επιφάνεια των κυματισμών είναι υψηλότερη από το κατάστρωμα σε συγκεκριμένο σημείο. Στη περίπτωση της θεωρίας των λωρίδων, η σχετική κίνηση των κυμάτων δεν περιλαμβάνει την παραμόρφωση των κυμάτων από την ακτινοβολία και την διάθλαση. Επιπλέον, οι εκτιμήσεις δεν περιλαμβάνουν την επίδραση των κυμάτων που κρούουν στην πλήρη του σκάφους.

### Ανάδυση Θόλου ανθυποβρυχιακής συσκευής (sonar emergence)

Τ κριτήριο αυτό περιγράφει το ρίσκο της απώλειας επαφής της ανθυποβρυχιακής συσκευής καθώς αυτή πλησιάζει την επιφάνεια της θάλασσας ή και καταδύεται. Συνήθως διατυπώνεται ως η πιθανότητα ενός συγκεκριμένου σημείου της συσκευής να αναδύεται από την επιφάνεια της θάλασσας. Στην περίπτωση της θεωρίας των λωρίδων, η σχετική κίνηση των κυματισμών δεν περιλαμβάνει την παραμόρφωση των κυματισμών από το φαινόμενο της ακτινοβολίας και της διάθλασης. Η παραμόρφωση των εισερχόμενων κυμάτων από το φαινόμενο της ακτινοβολίας και της διάθλασης γίνονται πιο ήπια καθώς έχουμε προσπίπτων κυματισμό στην πρύμνη του σκάφους.

### Ανάδυση έλικας (propeller emergence)

Αυτό το κριτήριο είναι το ρίσκο της ελεύθερης περιστροφής της προπέλας έξω από το νερό, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε ζημιά στον κινητήρα. Ο δείκτης αυτός διατυπώνεται συνήθως ως η πιθανότητα ενός συγκεκριμένου τμήματος της επιφάνειας της προπέλας να αναδύεται από την θάλασσα. Στην περίπτωση της θεωρίας των λωρίδων, η σχετική κίνηση των κυματισμών δεν περιλαμβάνει την παραμόρφωση των κυματισμών από το φαινόμενο της ακτινοβολίας και της διάθλασης. Η παραμόρφωση των εισερχόμενων κυμάτων από το φαινόμενο της ακτινοβολίας και της διάθλασης γίνεται πιο έντονο καθώς έχουμε ακόλουθους κυματισμούς.

## **ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ**

Για τους υπολογισμούς των τιμών των κριτηρίων που θεσπίστηκαν παραπάνω, χρησιμοποιήθηκε ο υπολογιστικός κώδικας S.M.P. (Standard Ship Motion Program). Μέσω του κώδικα αυτού μπορεί να προβλεφθούν οι αποκρίσεις (κινήσεις, στροφές, ταχύτητες, επιταχύνσεις) ενός πλοίου, το οποίο κινείται με σταθερή ταχύτητα σε αυθαίρετη διεύθυνση σε τυχαίους κυματισμούς, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε μονοκατευθυντικοί είτε πολυκατευθυντικοί. Οι μετωπικοί κυματισμοί θεωρούνται από τον κώδικα, ως αυτοί που προσπίπτουν στο πλοίο με γωνία  $0^\circ$ . Οι κυματισμοί μοντελοποιούνται με χρήση του διπεραμετρικού φάσματος Bretschneider. Η ενέργεια του κυματικού φάσματος κατανέμεται  $180^\circ$  εκατέρωθεν της κύριας διεύθυνσης. Τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι ανά γωνία  $15^\circ$ . Σε αυτήν την διπλωματική εργασία εξετάζονται μόνο πολυκατευθυντικοί κυματισμοί. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί, ότι ο

κώδικας έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί τέσσερα διαφορετικά εύρη συχνοτήτων κυματισμών, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και την περίοδο του διατοιχισμού του υπό μελέτη 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

Εικόνα 24: Εύρος συχνοτήτων ανάλογα τον τύπο πλοίου στον κώδικα SMP

Ο κώδικας χρησιμοποιεί μια επαναληπτική διαδικασία για τον υπολογισμό της μη γραμμικής πρόβλεψης διατοιχισμού. Ο μη γραμμικός όρος της απόσβεσης του διατοιχισμού (ο οποίος όσο αυξάνεται η ταχύτητα του πλοίου γίνεται σημαντικότερος) υπολογίζεται ως συνάρτηση της μέσης τιμής της γωνίας του διατοιχισμού. Ο κώδικας μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα εύρος τιμών από  $0.5^\circ$  έως  $40^\circ$ . Για τον σκοπό της διατριβής χρησιμοποιούνται οκτώ διαφορετικές μέσες τιμές μεταξύ των ορίων. Οι συναρτήσεις μεταφοράς δημιουργούν μια βάση δεδομένων, η οποία εν συνεχεία χρησιμοποιείται στην επαναληπτική διαδικασία προκειμένου να εξαχθούν οι αποκρίσεις στους τυχαίους κυματισμούς.

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 είναι η εξής:

$$\Phi_{RSV}(\bar{\varphi}) = STATIS \cdot H_{1/3} \sigma_\varphi(\bar{\varphi})$$

Όπου οι όροι είναι:

- STATIS: σταθερά Rayleigh
- $H_{1/3}$ : σημαντικό ύψος κύματος
- $\sigma_\varphi$ : μέση τετραγωνική τιμή του διατοιχισμού σε θάλασσες με μία κατεύθυνση διάδοσης (μονοκατευθυντικοί) ή σε πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις (πολυκατευθυντικοί).

Η τιμή  $\sigma_\varphi$  υπολογίζεται για μια ομάδα σημαντικών υψών κύματος και αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων των τετραγωνικών τιμών, για μια σειρά από οκτώ μέσες τιμές γωνιών διατοιχισμού. Σε θάλασσες με πολυκατευθυντικούς κυματισμούς, οι οποίοι και μελετώνται, η μέση τετραγωνική τιμή βρίσκεται από την εξής σχέση:

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

- $\mu$ : επικρατούσα γωνία συνάντησης
- $\sigma_{\phi LC}(\bar{\varphi}) = \left( \int_0^{\omega^*} \xi_4^2 [B_{44}(\bar{\varphi})] S_z(\omega) d\omega \right)^{1/2}$ 
  - $S_z(\omega)$ : φάσμα κύματος Bretschneider, υπολογιζόμενο για μοναδιαίο σημαντικό ύψος κύματος
  - $B_{44}$ : συντελεστής απόσβεσης διατοιχισμού. Υπολογίζεται ως συνάρτηση της μέσης γωνίας διατοιχισμού
  - $\xi_4$ : συνάρτηση μεταφοράς διατοιχισμού που προκύπτει από τις παράλληλες εξισώσεις της κίνησης, χρησιμοποιώντας τον συντελεστή απόσβεσης του διατοιχισμού

Η εξίσωση υπολογισμού της  $\varphi_{RSV}$ , λύνεται με επαναληπτική διαδικασία έτσι ώστε το στατιστικό πλάτος του διατοιχισμού  $\varphi_{RSV}$  να είναι ίσο με την μέση γωνία διατοιχισμού  $\bar{\varphi}$ .

Τα αποτελέσματα που εξάγει ο κώδικας συνοψίζονται στα:

- Κινήσεις. Υπολογίζονται οι αποκρίσεις του πλοίου και περιλαμβάνουν κινήσεις, στροφές, ταχύτητες και επιταχύνσεις και στους 6 βαθμούς ελευθερίας (surge, sway, heave, roll, pitch, yaw).
- Κινήσεις σημείων. Υπολογίζονται οι διαμήκεις, εγκάρσιες και κατακόρυφες κινήσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις σε αυθαίρετα σημεία (μέχρι 10).
- Σχετικές κινήσεις και ταχύτητες σημείων. Υπολογίζονται σε μέχρι 10 αυθαίρετα σημεία, τα οποία μπορεί να διαφέρουν από τα παραπάνω.
- Πιθανότητα και συχνότητα εμφάνισης σφυρόκρουσης, διαβροχής και ανάδυσσης στα σημεία όπου υπολογίζονται οι σχετικές κινήσεις.
- Δομικά φορτία. Υπολογίζονται οι τάσεις και οι ροπές κάμψης της γάστρας (μέχρι 10 σημεία).

Ο υπολογισμός των κατακόρυφων αποκρίσεων στην παρούσα εργασία στηρίχθηκε στην γραμμικότητα που τους διέπει. Επομένως, αν η απόκριση για μοναδιαίο ύψος κύματος είναι γνωστή (εξαγόμενα αποτελέσματα από τον κώδικα), τότε αρκεί αυτή να πολλαπλασιαστεί με το υπό μελέτη ύψος κύματος έτσι ώστε να βρεθεί η ζητούμενη απόκριση.

$$\text{Απόκριση} = \text{RMS τιμή} \cdot H_s$$

Η RMS τιμή εξάγεται από τον κώδικα για μοναδιαίο ύψος κύματος. Επίσης, σαν δεδομένο, υπάρχει η οριακή τιμή της απόκρισης που το πλοίο δεν πρέπει να υπερβεί ώστε να φέρει εις πέρας την αποστολή του. Επομένως, έχοντας σαν δεδομένα την RMS τιμή και την απόκριση που δεν πρέπει να ξεπεραστεί, μπορεί να βρεθεί το σημαντικό ύψος κύματος το οποίο αποτελεί το όριο, πάνω από το οποίο το κριτήριο δεν ικανοποιείται.

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

Το οριακό ύψος κύματος υπολογίσθηκε για κάθε περίοδο κορυφής, τύπο πλοίου, ταχύτητα και απόκριση. Οι αποκρίσεις που ανταποκρίνονται στην παραπάνω θεώρηση είναι:

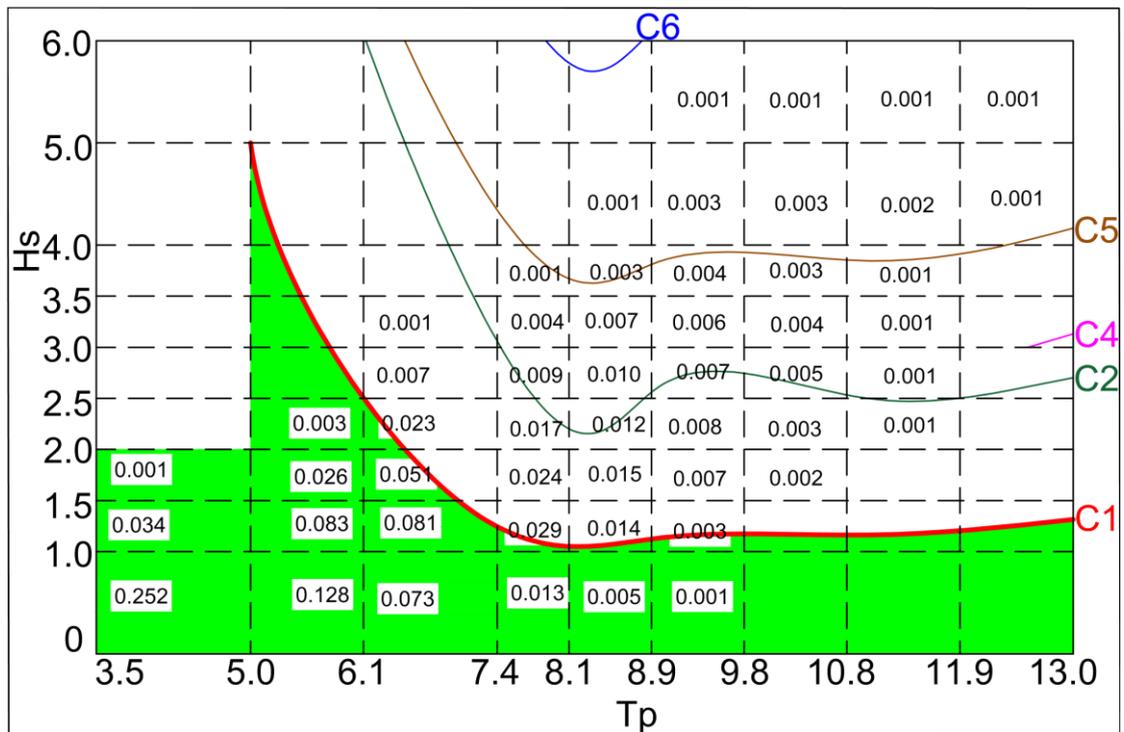
- Pitch (προνευστασμός)
- Vertical Velocity (κατακόρυφη ταχύτητα)
- Vertical Acceleration (κατακόρυφη επιτάχυνση)

- iv. Roll (διατοιχισμός)
- v. Yaw (στροφική οριζόντια ταλάντωση)

Για τις υπόλοιπες αποκρίσεις, έγινε γραφικός υπολογισμός του οριακού ύψους κύματος για τις τιμές από 1m – 6m. Δηλαδή, κατασκευάστηκε ένα διάγραμμα RMS- $T_p$  και πάνω σε αυτό σχεδιάστηκαν οι καμπύλες των αποκρίσεων για τα 6 διαφορετικά ύψη κύματος. Μετέπειτα, σχεδιάστηκε η οριζόντια τιμή του κριτηρίου της κάθε απόκρισης, και υπολογίστηκαν τα σημεία τομής των καμπυλών με την οριζόντια γραμμή του κριτηρίου. Οι αποκρίσεις που υπολογίστηκαν με αυτόν τον τρόπο είναι:

- i. Deck Wetness (διαβροχή καταστρώματος)
- ii. Propeller Emergence (ανάδυση προπέλας)
- iii. Slamming (σφυρόκρουση)
- iv. Sonar emergence (ανάδυση ανθυποβρυχιακής συσκευής)

Όλα τα παραπάνω σημεία  $H_s-T_p$  για κάθε απόκριση συγκεντρώθηκαν και σχεδιάστηκαν σε ένα κοινό διάγραμμα  $H_s-T_p$  για κάθε πλοίο, ταχύτητα και γωνία συνάντησης κυματισμών, για κάθε μια από τις τέσσερις περιοχές που μελετώνται. Η περιοχή των διαγραμμάτων που βρίσκεται κάτω από τις καμπύλες, εκφράζει την λειτουργησιμότητα του πλοίου χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η πορεία του.



Διάγραμμα 1: Μορφή τελικού διαγράμματος

Οι αριθμοί που βρίσκονται μέσα στα ορθογώνια τμήματα, είναι η πιθανότητα εμφάνισης κυματισμών με ύψος κύματος και περίοδο κορυφής μεταξύ των ορίων του κάθε ορθογωνίου στην συγκεκριμένη περιοχή. Οι καμπύλες του σχήματος είναι οι αποκρίσεις του πλοίου, οι οποίες λόγω μεγέθους χρησιμοποιήθηκαν συντομεύσεις όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Απόκριση	Συντόμευση
GUN VERTICAL VELOCITY	C1
PITCH	C2
ROLL	C3
SONAR EMERGE	C4
HELICOPTER DECK VERTICAL VELOCITY	C5
BRIDGE VERTICAL ACCELARAION	C6
DECK WETNESS	C7
SLAMMING	C8
GMVLS VERTICAL ACCELARATION	C9
YAW	C10

Πίνακας 6: Πίνακας συντομογραφιών κριτηρίων

Η χρωματισμένη πράσινη περιοχή του διαγράμματος είναι ο δείκτης λειτουργησιμότητας του πλοίου για συγκεκριμένη ταχύτητα, γωνία συνάντησης και θαλάσσια περιοχή, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψιν η πορεία του πλοίου. Επομένως, η πράσινη περιοχή του διαγράμματος είναι το ποσοστό του χρόνου για το οποίο το συγκεκριμένο πλοίο μπορεί να εκτελέσει τον συνδυασμό των αποστολών. Αντιστρόφως, το διάγραμμα παρουσιάζει επίσης και τις συνθήκες εκείνες που καθιστούν απαγορευτική την εκτέλεση ενός ή περισσότερων αποστολών, οι οποίες είναι αυτές που βρίσκονται πάνω από τις καμπύλες των κριτηρίων.

Η λειτουργησιμότητα του πλοίου υπολογίζεται από τις πιθανότητες εμφάνισης κυματισμού (ορθογώνια) που βρίσκονται στην πράσινη περιοχή αθροίζοντας τες. Για τα ορθογώνια που βρίσκονται μερικώς στην πράσινη περιοχή και μερικώς στην λευκή, είναι κατανοητό ότι δεν υπολογίζονται ολόκληρα. Για αυτό το λόγο, θεωρούμε ότι το εύρος των κυμάτων που συναντώνται σε ένα ορθογώνιο είναι ισοπίθανα ενδεχόμενα. Με αυτήν την θεώρηση, και με την χρήση του προγράμματος AutoCAD, μετρήθηκε το ποσοστό που βρίσκεται στην πράσινη περιοχή, ως το πηλίκο του πράσινου εμβαδού ενός ορθογωνίου δια το εμβαδόν του ολόκληρου ορθογωνίου. Ακολούθως, αυτό το ποσοστό πολλαπλασιάστηκε με την πιθανότητα εμφάνισης κυματισμού που ορίζονται από αυτό το ορθογώνιο.

Παρακάτω παρουσιάζονται όλοι οι πίνακες λειτουργησιμότητας για τα τρία πλοία, τις δύο ταχύτητες, τις πέντε γωνίες συνάντησης και τις τέσσερις περιοχές, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η πορεία του πλοίου.

#### **AREA 1 35N, 22E**

TAXYTHTA 15 kn					
	ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ				
ΠΛΟΙΟ	0	45	90	135	180
ΜΕΚΟ	0.726	0.719	0.766	0.773	0.836
DDG-51	0.685	0.662	0.717	0.837	0.962
ΤΗ	0.794	0.776	0.815	0.869	0.955

ΤΑΧΥΤΗΤΑ 25 kn					
	ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ				
ΠΛΟΙΟ	0	45	90	135	180
ΜΕΚΟ	0.728	0.708	0.771	0.876	0.922
DDG-51	0.699	0.669	0.718	0.866	0.940
ΤΗ	0.755	0.752	0.793	0.918	0.917

### **AREA 2 36N, 21E**

ΤΑΧΥΤΗΤΑ 15 kn					
	ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ				
ΠΛΟΙΟ	0	45	90	135	180
ΜΕΚΟ	0.768	0.764	0.801	0.809	0.856
DDG-51	0.730	0.705	0.762	0.859	0.968
ΤΗ	0.814	0.804	0.845	0.889	0.940

ΤΑΧΥΤΗΤΑ 25 kn					
	ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ				
ΠΛΟΙΟ	0	45	90	135	180
ΜΕΚΟ	0.767	0.757	0.805	0.895	0.934
DDG-51	0.733	0.714	0.759	0.884	0.950
ΤΗ	0.789	0.791	0.821	0.929	0.929

### **AREA 3 36N, 27E**

ΤΑΧΥΤΗΤΑ 15 kn					
	ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ				
ΠΛΟΙΟ	0	45	90	135	180
ΜΕΚΟ	0.778	0.759	0.783	0.789	0.853
DDG-51	0.737	0.704	0.744	0.884	0.955
ΤΗ	0.827	0.801	0.827	0.877	0.933

ΤΑΧΥΤΗΤΑ 25 kn					
	ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ				
ΠΛΟΙΟ	0	45	90	135	180
ΜΕΚΟ	0.782	0.756	0.799	0.878	0.916
DDG-51	0.736	0.722	0.727	0.868	0.927
ΤΗ	0.801	0.833	0.809	0.910	0.914

### AREA 4 38N, 25.5E

ΤΑΧΥΤΗΤΑ 15 kn					
	ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ				
ΠΛΟΙΟ	0	45	90	135	180
ΜΕΚΟ	0.869	0.844	0.844	0.863	0.898
DDG-51	0.841	0.805	0.814	0.895	0.976
ΤΗ	0.896	0.865	0.876	0.915	0.971

ΤΑΧΥΤΗΤΑ 25 kn					
	ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ				
ΠΛΟΙΟ	0	45	90	135	180
ΜΕΚΟ	0.883	0.859	0.863	0.921	0.957
DDG-51	0.852	0.824	0.780	0.852	0.966
ΤΗ	0.891	0.866	0.868	0.945	0.952

Πίνακας 7: Δείκτες λειτουργησιμότητας χωρίς να περιλαμβάνεται η πορεία του πλοίου

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Στα διαγράμματα, τα οποία παρουσιάζονται στο παράρτημα, παρουσιάζονται οι πιθανότητες εμφάνισης των κυματισμών συναρτήσει του σημαντικού ύψους κύματος  $H_S$  και της περιόδου κορυφής  $T_p$ . Από αυτά τα διαγράμματα, δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού του ποσοστού του χρόνου για τον οποίο μπορεί το πλοίο να λειτουργεί και να εκτελεί τις αποστολές του, σε κάθε θαλάσσια περιοχή, ταχύτητα και πορεία πλοίου, για κάθε δυνατόν συνδυασμό κυμάτων και περιόδων αυτών. Η θεώρηση που γίνεται είναι ότι η λειτουργησιμότητα ενός πλοίου επικεντρώνεται κατά την διάρκεια ενός έτους, επομένως η συχνότητα κατανομής της εποχής ισούται με την μονάδα ( $f_{season}=1$ ). Επιπρόσθετα, όπως προαναφέρθηκε, η γωνία συνάντησης κυματισμών είναι ίση με  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  και  $180^\circ$ . Η μελέτη επικεντρώθηκε σε πολυκατευθυντικούς κυματισμούς, επομένως το πρόβλημα εστιάζεται στην εύρεση της πιθανότητας εμφάνισης τέτοιων κυματισμών, οι οποίοι θα ανταποκρίνονται σε αυτές τις κατευθύνσεις συνάντησης σε σχέση με την πορεία του πλοίου. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό, ορίστηκαν σε κάθε περιοχή η πορεία που θα ακολουθεί το πλοίο, σε σύγκριση με τον Βορρά. Για κάθε θαλάσσια περιοχή, επιλέχθηκαν να μελετηθούν δύο πορείες πλοίου, οι οποίες προσομοιάζουν ένα ταξίδι μετ' επιστροφής για κάθε πλοίο.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΟΡΕΙΑ ΠΛΟΪΟΥ (°)	ΠΟΡΕΙΑ ΠΛΟΪΟΥ (°)
<b>1 (35N, 22E)</b>	45	225
<b>2 (36N, 21E)</b>	90	270
<b>3 (36N, 27E)</b>	135	315
<b>4 (38N, 25.5E)</b>	0	180

Η πιθανότητα εμφάνισης των κυματισμών, στις πέντε υπό εξέταση κατευθύνσεις συνάντησης ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ), υπολογίστηκε με βάση τις παραπάνω πορείες που θεωρήθηκαν για κάθε περιοχή. Για τους υπολογισμούς, όπως

φαίνεται και στον Πίνακα 5, τα περισσότερα σημεία μετρήσεων βρίσκονται στο μέσο του πλοίου, και ειδικότερα οι κρίσιμες αποκρίσεις που καθορίζουν την λειτουργησιμότητα του πλοίου. Επομένως, καθώς τα πλοία είναι συμμετρικά, οι αποκρίσεις και στις δύο πλευρές του πλοίου θα παραμένουν σταθερές και οι καμπύλες των ορίων δεν θα αλλάζουν μορφή. Για παράδειγμα, όταν το πλοίο συναντά πλοία με γωνία 45°, οι αποκρίσεις που θα αναπτύσσονται στο πλοίο θα είναι ίδιες με το να συναντά κύμα με γωνία 315°. Με αυτήν την παραδοχή, για κάθε πορεία του πλοίου μελετήθηκαν όλες οι πιθανές κατευθύνσεις διάδοσης κυματισμών, δηλαδή μελετήθηκαν οι γωνίες 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° και 315°, και στις 4 υπό μελέτη θαλάσσιες περιοχές.

Οι κατευθύνσεις αυτές, αντιστοιχούν για το πλοίο σε κατεύθυνση συνάντησης κυματισμών 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, και για τις υπόλοιπες κατευθύνσεις συνάντησης κυματισμού λήφθηκε υπόψιν η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της πλώρης του σκάφους και του κύματος που προσπίπτει πάνω σε αυτό, επομένως οι κατευθύνσεις συνάντησης κυματισμού 45°, 90° και 135° λήφθηκαν δυο φορές λόγω της συμμετρικότητας του σκάφους και συμπερασματικά των αποκρίσεων. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε για όλο το εύρος των κατευθύνσεων διάδοσης κυματισμού, για να καλυφθούν όλες οι διαφορετικές πιθανότητες εμφάνισης κυματισμών όπως προκύπτουν από τα ιστογράμματα σημαντικού ύψους κύματος – διεύθυνσης κύματος κατ' έτος του άτλαντα.

Επιπρόσθετα, ο άτλαντας παρέχει στοιχεία για τους κυματισμούς ανά 15°, επομένως ο υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης κυματισμών πραγματοποιήθηκε θεωρώντας κατεύθυνση διάδοσης 15° εκατέρωθεν της εκάστοτε θεωρούμενης κύριας διεύθυνσης. Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό της πιθανότητας εμφάνισης κυματισμών με κατεύθυνση διάδοσης 45°, υπολογίστηκε από τον άτλαντα η πιθανότητα εμφάνισης κυματισμών με κατεύθυνση από 30° έως 60°.

		ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ (°)							
		0	45	90	135	180	225	270	315
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ / ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ(°)							
1 (35N,22E)	45	0.152 / 30 - 60	0.084 / 345 - 15	0.385 / 300 - 330	0.213 / 255 - 285	0.068 / 210 - 240	0.030 / 165 - 195	0.039 / 120 - 150	0.028 / 75 - 105
1 (35N,22E)	225	0.068 / 210 - 240	0.030 / 165 - 195	0.039 / 120 - 150	0.028 / 75 - 105	0.152 / 30 - 60	0.084 / 345 - 15	0.385 / 300 - 330	0.213 / 255 - 285
2 (36N,21E)	90	0.104 / 75 - 105	0.054 / 120 - 150	0.038 / 165 - 195	0.074 / 210 - 240	0.253 / 255 - 285	0.382 / 300 - 330	0.059 / 345 - 15	0.036 / 30 - 60
2 (36N,21E)	270	0.253 / 255 - 285	0.382 / 300 - 330	0.059 / 345 - 15	0.036 / 30 - 60	0.104 / 75 - 105	0.054 / 120 - 150	0.038 / 165 - 195	0.074 / 210 - 240
3 (36N,27E)	135	0.028 / 120 - 150	0.040 / 165 - 195	0.059 / 210 - 240	0.280 / 255 - 285	0.454 / 300 - 330	0.134 / 345 - 15	0.001 / 30 - 60	0.004 / 75 - 105
3 (36N,27E)	315	0.454 / 300 - 330	0.134 / 345 - 15	0.001 / 30 - 60	0.004 / 75 - 105	0.028 / 120 - 150	0.040 / 165 - 195	0.059 / 210 - 240	0.280 / 255 - 285

4 (38N,25.5 E)	0	0.541 / 345 - 15	0.051 / 30 - 60	0.007 / 75 - 105	0.036 / 120 - 150	0.133 / 165 - 195	0.095 / 210 - 240	0.029 / 255 - 285	0.107 / 300 - 330
4 (38N,25.5 E)	180	0.133 / 165 - 195	0.095 / 210 - 240	0.029 / 255 - 285	0.107 / 300 - 330	0.541 / 345 - 15	0.051 / 30 - 60	0.007 / 75 - 105	0.036 / 120 - 150

Λόγω σύγκρισης γαστρών, στις παραπάνω πιθανότητες χρησιμοποιήθηκαν 3 δεκαδικά ψηφία. Κανονικά, τα δύο δεκαδικά ψηφία θεωρούνται αρκετά, παρόλα αυτά επιλέχθηκαν τα τρία δεκαδικά ψηφία, έτσι ώστε να πετύχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς των πιθανοτήτων. Επιπρόσθετα, όπως παρατηρείται παρακάτω, οι δείκτες λειτουργησιμότητας των τριών γαστρών σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι αρκετά κοντά, οπότε χρησιμοποιώντας ακόμα ένα δεκαδικό ψηφίο, πετυχαίνουμε την μεγαλύτερη ακρίβεια που είναι επιθυμητό όταν χρησιμοποιείται μια συγκριτική μέθοδος, μεταξύ πανομοιότυπων πλοίων.

Ο ζητούμενος δείκτης λειτουργησιμότητας, για κάθε ταχύτητα και περιοχή, βρίσκεται πολλαπλασιάζοντας την συχνότητα κατανομής της εποχής  $f_{season}$  με το άθροισμα των συντελεστών εμφάνισης κυματισμών  $(W_f)_i$  επί τους δείκτες λειτουργησιμότητας χωρίς να λάμβάνεται υπόψιν η πορεία του πλοίου (εμβαδόν πράσινης περιοχής στα διαγράμματα)  $(area)_i$  :

$$OPERABILITY\ INDEX = f_{season} \cdot \sum ((W_f)_i \cdot (area)_i)$$

Όμως στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται τα φαινόμενα κατά την διάρκεια ενός έτους, άρα  $f_{season}=1$ , επομένως η εξίσωση μπορεί να γραφτεί επίσης:

$$OPERABILITY\ INDEX = \sum ((W_f)_i \cdot (area)_i)$$

Όπου ο δείκτης  $i$  αναφέρεται στην κατεύθυνση συνάντησης κυματισμών, 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°.

Τελικά, μετά από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτουν οι δείκτες λειτουργησιμότητας, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψιν την πορεία του πλοίου και την κατεύθυνση διάδοσης κυματισμών.

ΤΕΛΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ				
AREA 1 35N, 22E (ΔΥΤΙΚΑ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ)				
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΜΕΚΟ	DDG - 51	ΤΗ
15	45	76.10%	75.17%	83.02%
15	225	76.30%	75.18%	83.14%
25	45	79.33%	76.07%	82.14%
25	225	78.73%	75.49%	81.31%
AREA 2 36N, 21E (ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ ΠΕΛΟΠΟΝΗΣΣΟΥ)				
15	90	81.15%	84.97%	88.24%
15	270	78.20%	75.81%	83.26%
25	90	87.05%	85.74%	89.17%
25	270	79.49%	76.27%	82.00%
AREA 3 36N, 27E (ΒΟΡΕΙΑ ΝΗΣΟΥ ΚΑΡΠΑΘΟΥ)				
15	135	81.62%	89.56%	89.48%
15	315	77.29%	73.66%	82.14%
25	135	88.27%	87.62%	89.92%

25	315	78.01%	74.07%	82.26%
AREA 4 38N, 25.5E (ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΑΙΓΑΙΟ)				
15	0	86.71%	85.95%	90.28%
15	180	87.95%	91.69%	93.45%
25	0	89.33%	85.99%	90.13%
25	180	92.51%	90.71%	92.82%

Από τον παραπάνω πίνακα και τα δεδομένα που παρέχει, μπορεί να βγουν κάποια άμεσα συμπεράσματα, τα οποία είναι:

- i. Η δυσμενέστερη περιοχή για την λειτουργία και την εκτέλεση αποστολών των πλοίων (δείκτης λειτουργησιμότητας) είναι η πρώτη περιοχή Δυτικά της Κρήτης.
- ii. Την καλύτερη δυναμική συμπεριφορά σε όρους λειτουργησιμότητας, με βάση τα κριτήρια που θέσαμε, την έχει η γάστρα ΤΗ. Στις περισσότερες περιοχές και ταχύτητες έχει τα υψηλότερα ποσοστά, και σε αυτές που υστερεί είναι για ελάχιστη διαφορά.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

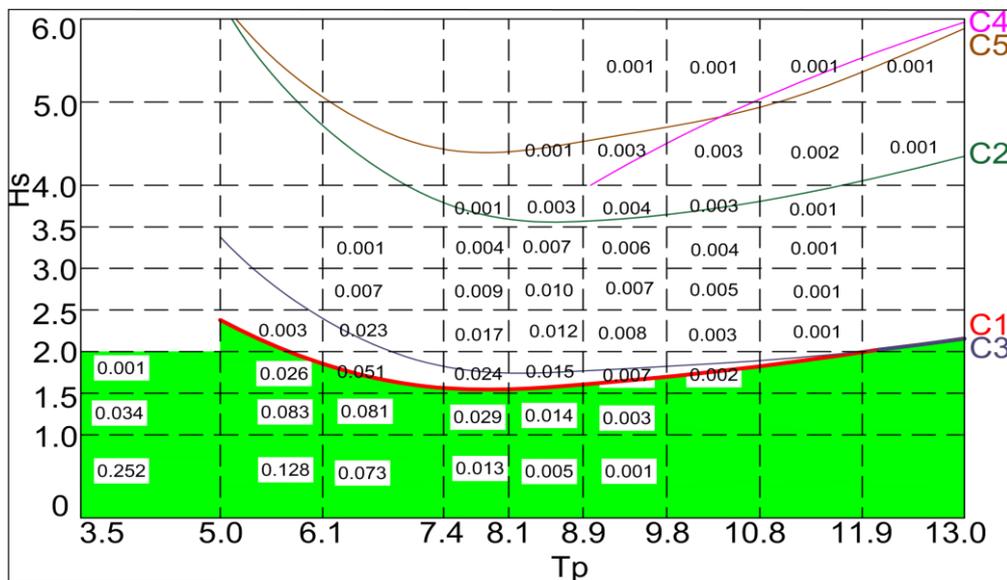
Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε και συγκρίθηκε η λειτουργησιμότητα τριών διαφορετικών σχεδιάσεων πολεμικών πλοίων, τα οποία είναι ίδιου τύπου και εκτελούν τις ίδιες αποστολές, με χρήση της απόλυτης μεθόδου σε τέσσερις περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου με ιδιαίτερη έμφαση στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου Πελάγους. Με χρήση του κώδικα S.M.P. πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί των κινήσεων και των τυχαίων συμβάντων σε οκτώ θέσεις ανά πλοίο, σε δύο ταχύτητες και οκτώ κατευθύνσεις συνάντησης, εξάγοντας τις αποκρίσεις των πλοίων, οι οποίες και αναλύθηκαν. Οι ταχύτητες που επιλέχθηκαν, είναι οι 25 kn και 15 kn, οι οποίες προσομοιάζουν ταχύτητες μέγιστη δυνατή σε αποστολές και ταχύτητα περιπολίας – οικονομική, αντίστοιχα. Τα συγκεκριμένα πλοία, έχουν την δυνατότητα να αναπτύξουν ταχύτητες μέχρι 30 kn, όμως δεν λήφθηκαν υπόψιν διάφορα φαινόμενα εκούσιας μείωσης ταχύτητας, για αυτό το λόγο επιλέχθηκε να πάρουμε μειωμένη ταχύτητα από την μέγιστη δυνατή. Τα εκούσια φαινόμενα μείωσης αντίστασης μπορούν να αναλυθούν στα εξής:

- Αντίσταση ανέμου
- Αντίσταση παρελκομένων και αντίσταση μειωμένης απόδοσης πρόωσης
- Πρόσθετη αντίσταση
- Αντίσταση κυματισμών

Για να γινόταν πιο αναλυτική μελέτη, χρειάζεται να είναι γνωστές οι καμπύλες ισχύος προπέλας και η πρόσθετη ισχύ. Όμως, αυτές οι πληροφορίες, δεν ήταν γνωστές, οπότε η μελέτη έγινε με δεδομένη σταθερή ταχύτητα, η οποία επιλέχθηκε αρκετά μειωμένη από την μέγιστη δυνατή, και έγινε η υπόθεση ότι μπορεί να η ταχύτητα να διατηρηθεί σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του ταξιδιού του.

Τα κριτήρια με τα οποία ελέγχθηκε η λειτουργησιμότητα των πλοίων, στηρίχθηκαν σε ένα συνδυασμό σε ένα συνδυασμό αποστολών, όπως ορίστηκαν από την έκδοση NATO STANAG 4154 (Working v4). Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε διαγράμματα καρτεσιανών συντεταγμένων, και όχι πολικών διαγραμμάτων όπως συνηθίζεται να παρουσιάζονται. Επιλέχθηκε αυτός ο τρόπος παρουσίασης διότι:

- i. Σε κάθε διάγραμμα απεικονίζονται όλες οι καταστάσεις θάλασσας που επικρατούν στην περιοχή, και όχι μόνο μια όπως συμβαίνει στα πολικά.
- ii. Μπορούν εύκολα να εξαχθούν συμπεράσματα για την λειτουργησιμότητα του κάθε πλοίου ανάλογα με την αποστολή ή τον συνδυασμό αποστολών που πρόκειται να εκτελεσθεί. Σε κάθε διάγραμμα καρτεσιανών συντεταγμένων, πέρα από όλες τις καταστάσεις θάλασσας, παρουσιάζονται επίσης και όλες οι αποκρίσεις των πλοίων σε μορφή καμπυλών. Επομένως, υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστεί η λειτουργησιμότητα των πλοίων σε οποιονδήποτε συνδυασμό αποστολών επιλεγεί, ή και να αξιολογήσουμε τα πλοία με βάση μόνο μια απόκριση. Αυτό επιτυγχάνεται προσθέτοντας τις πιθανότητες εμφάνισης κυματικών φαινομένων που περικλείονται κάτω από την καμπύλη της απόκρισης. Με αυτόν τον τρόπο, είναι πολύ πιο εύκολο και γρήγορο να υπάρξει μια εποπτική εικόνα για το πως επηρεάζει η κάθε αποστολή – απόκριση την λειτουργησιμότητα του πλοίου, καθώς και για το ποιο πλοίο θα επιχειρεί, σε ποια περιοχή και σε τι ρόλο σε ετήσιο χρονικό ορίζονται (βέλτιστη κατανομή στόλου σε περιοχές και σχεδίαση ασκήσεων).



Διάγραμμα 2: Καμπύλες κριτηρίων πλοίου DDG-51, με γωνία συνάντησης κυματισμού 90deg και ταχύτητα 15 kn στην περιοχή 1

Για την λειτουργησιμότητα των τριών πλοίων, τα συμπεράσματα μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

- α. Η περιοχή 1 (AREA 1 35N, 22E), η οποία βρίσκεται στα δυτικά της νήσου Κρήτης, παρουσιάζει την χειρότερη λειτουργησιμότητα και για τα 3 πλοία, για την πορεία που επιλέχθηκε στις 45°.
- β. Από τα διαγράμματα, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει ένα κριτήριο που να έθετε τα πλοία εκτός λειτουργίας. Όμως, παρατηρείται ότι μπορούμε

να διακρίνουμε τρεις ομαδοποιήσεις, ανάλογα με την γωνία συνάντησης κυματισμού, όπου σε αυτές έθετε τα πλοία έβγαιναν εκτός λειτουργίας από ένα κριτήριο.

- Γωνίες συνάντησης κυματισμού 0°, 45°, 90°. Παρατηρείται πως σε όλες τις περιοχές και ταχύτητες των πλοίων, το κριτήριο που όριζε την λειτουργησιμότητα των πλοίων είναι η κατακόρυφη ταχύτητα στην κάνη του πυροβόλου της πλώρης.
- Γωνία συνάντησης κυματισμού 135°. Το κριτήριο που όριζε την λειτουργησιμότητα, σε όλες τις περιοχές και ταχύτητες, σε αυτήν την γωνία συνάντησης είναι κατά κύριο λόγο ο διατοιχισμός (roll) των πλοίων.
- Γωνία συνάντησης κυματισμού 180°. Σε αυτήν την γωνία συνάντησης κυματισμού, παρατηρήθηκε ότι υπήρχαν δύο κριτήρια, που είτε σε συνδυασμό είτε από μόνα τους έθεταν την λειτουργησιμότητα των πλοίων σε όλες τις περιοχές και τις ταχύτητες. Τα κριτήρια αυτά είναι ο διατοιχισμός (roll) και η στροφική οριζόντια ταλάντωση (yaw).

Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, ότι στις περιοχές 1 και 3, στην ταχύτητα των 15 kn, ο προνευτασμός (pitch) παρατηρήθηκε ότι για την γωνία συνάντησης κυματισμού στις 180°, στα πλοία τύπου ΜΕΚΟ και ΤΗ, σε μεγάλες τιμές της περιόδου κορυφής ( $T_p$ ), συνέβαλε στον περιορισμό της λειτουργησιμότητας. Στον ακόλουθο πίνακα, φαίνονται όλα τα κριτήρια που περιορίζουν την λειτουργία των πλοίων.

		<b>AREA 1</b>		
		<b>ΜΕΚΟ</b>	<b>DDG-51</b>	<b>ΤΗ</b>
<b>ΤΑΧΥΤΗΤΑ</b>	<b>ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ</b>	<b>ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ</b>		
15	0	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	45	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	90	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity, Roll	Gun Vertical Velocity
	135	Roll	Roll	Roll
	180	Roll, Yaw, Pitch	Roll	Roll, Yaw, Pitch
25	0	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	45	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	90	Roll, Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	135	Roll	Roll	Roll, Yaw, Roll
	180	Roll, Yaw	Roll, Yaw	Yaw

		<b>AREA 2</b>		
		<b>ΜΕΚΟ</b>	<b>DDG-51</b>	<b>ΤΗ</b>
<b>ΤΑΧΥΤΗΤΑ</b>	<b>ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ</b>	<b>ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ</b>		

15	0	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	45	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	90	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	135	Roll	Roll	Roll
	180	Roll,Yaw	Roll	Roll,Yaw
25	0	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	45	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	90	Roll,Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	135	Roll	Roll	Roll,Yaw,Roll
	180	Roll,Yaw	Roll,Yaw	Yaw

		<b>AREA 3</b>		
		<b>MEKO</b>	<b>DDG-51</b>	<b>TH</b>
<b>TAXYTHTA</b>	<b>ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ</b>	<b>ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ</b>		
15	0	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	45	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	90	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity, Roll	Gun Vertical Velocity
	135	Roll	Roll	Roll
	180	Roll,Yaw,Pitch	Roll	Roll,Yaw,Pitch
25	0	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	45	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	90	Roll,Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	135	Roll	Roll	Roll,Yaw,Roll
	180	Yaw	Roll,Yaw	Yaw

		<b>AREA 4</b>		
		<b>MEKO</b>	<b>DDG-51</b>	<b>TH</b>
<b>TAXYTHTA</b>	<b>ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ</b>	<b>ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ</b>		

15	0	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	45	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	90	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	135	Roll	Roll	Roll
	180	Roll,Yaw	Roll	Roll,Yaw
25	0	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	45	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	90	Roll,Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity	Gun Vertical Velocity
	135	Roll	Roll	Roll,Yaw,Roll
	180	Roll,Yaw	Roll,Yaw	Yaw

- γ. Γενικά οι αποστολές T.A.P. (Transit and Patrol) εμφανίζουν τον μεγαλύτερο δείκτη λειτουργησιμότητας και για τα τρία πλοία σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν (περιοχές, ταχύτητες πλοίων και γωνιών συνάντησης. Τον μικρότερο δείκτη λειτουργησιμότητας για γωνίες συνάντησης κυμάτων 0°, 45° και 90°, τον έχουν οι αποστολές A.A.W. (Anti Air Warfare), ενώ για τις γωνίες συνάντησης 135° και 180° τον χειρότερο συντελεστή κατά κύριο λόγο τον έχουν οι αποστολές N.A.O. (Naval Air Operations).
- δ. Τα πλοία DDG-51 και TH, τα οποία έχουν τον θόλο της ανθυποβρυχιακής συσκευής τοποθετημένο στα ύφαλα της πλώρας (hull mounted), εμφανίζουν ανάδυση του θόλου (Sonar Emergence, C4) σε περισσότερες περιοχές, ταχύτητες και γωνίες συνάντησης από το πλοίο τύπου MEKO. Αυτό συμβαίνει διότι, σε αυτό το πλοίο, ο θόλος είναι τοποθετημένος στην τρόπιδα (keel mounted), επομένως παρατηρείται ότι αυτή η θέση του θόλου (τρόπιδα) υπερτερεί σε της προαναφερθείσας θέσης (πλώρα).
- ε. Η δυναμική συμπεριφορά της γάστρας TH, η οποία στηρίχθηκε στην γάστρα ONR 5613, όπως αυτή υπολογίστηκε, βρέθηκε να είναι καλύτερη από τις υπόλοιπες δύο γάστρες, με βάση την υπολογισθέντα λειτουργησιμότητα. Για το συμπέρασμα αυτό, πρέπει να τονιστεί ότι έγινε μια υπόθεση για την θέση του πυροβόλου, το οποίο και έθετε τα όρια της λειτουργίας των πλοίων μέχρι τις 90° γωνία συνάντησης, εξαιτίας έλλειψης δεδομένων. Πιθανή γνώση της πραγματικής θέσης του πυροβόλου και μεταβολή της θέσης του στους υπολογισμούς, ενδέχεται να μετέβαλλαν τα αποτελέσματα

Οι δείκτες λειτουργησιμότητας των τριών πλοίων, όπως αυτοί υπολογίστηκαν με την απόλυτη μέθοδο σύγκρισης, και λαμβάνοντας υπόψιν την πορεία του πλοίου, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, όπου με πράσινο χρώμα είναι

το μεγαλύτερο ποσοστό, με κόκκινο το μικρότερο ποσοστό και με κίτρινο το ενδιάμεσο ποσοστό.

<b>ΤΕΛΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ</b>				
AREA 1 35N, 22E (ΔΥΤΙΚΑ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ)				
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΠΟΡΕΙΑ (°)	ΜΕΚΟ	DDG - 51	ΤΗ
15	45	76.10%	75.17%	83.02%
15	225	76.30%	75.18%	83.14%
25	45	79.33%	76.07%	82.14%
25	225	78.73%	75.49%	81.31%
AREA 2 36N, 21E (ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ ΠΕΛΟΠΟΝΗΣΣΟΥ)				
15	90	81.15%	54.97%	88.24%
15	270	78.20%	75.81%	83.26%
25	90	87.05%	85.74%	89.17%
25	270	79.49%	76.27%	82.00%
AREA 3 36N, 27E (ΒΟΡΕΙΑ ΝΗΣΟΥ ΚΑΡΠΑΘΟΥ)				
15	135	81.62%	89.56%	89.48%
15	315	77.29%	73.66%	82.14%
25	135	88.27%	87.62%	89.92%
25	315	78.01%	74.07%	82.26%
AREA 4 38N, 25.5E (ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΑΙΓΑΙΟ)				
15	0	86.71%	85.95%	90.28%
15	180	87.95%	91.69%	93.45%
25	0	89.33%	85.99%	90.13%
25	180	92.51%	90.71%	92.82%

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. NATO «STANAG 4154 EDITION 4», 2012.
2. T.C. SMITH, W.G. MEYERS «SMP93 USER MANUAL», CARDEROCK DIVISION, NAVAL SURFACE WARFARE CENTER, 1994.
3. T.C. SMITH, C. BENNETT «USER'S MANUAL FOR THE SHIP MOTIONS PREDICTION APPLICATIONS MANAGER - PREDICT», CARDEROCK DIVISION, NAVAL SURFACE WARFARE CENTER, 1994.
4. WESTERN EUROPEAN ARMAMENTS ORGANISATION RESEARCH CELL «WIND AND WAVE ATLAS OF THE MEDITERRANEAN SEA», 2004, ISBN 2-11-095674-7.
5. T.C. SMITH, W.L. THOMAS «A SURVEY AND COMPARISON OF CRITERIA FOR NAVAL MISSIONS», DTRC/SHD – 1312-01, 1989.
6. G.J. GRIGOROPOULOS, G.P. PETROPOULOS «A NEW METHODOLOGY FOR THE OPERABILITY PERFORMANCE ASSESSMENT OF NAVAL SHIPS», 2012.
7. G.J. GRIGOROPOULOS, G.P. PETROPOULOS «A COMPARATIVE STUDY ON THE SEAKEEPING OPERABILITY PERFORMANCE OF NAVAL COMBATANTS».
8. Γ.Α. ΑΘΑΝΑΣΟΥΛΗΣ «ΑΝΕΜΟΓΕΝΕΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ», ΕΜΠ, 2007.
9. Γ.Κ. ΠΟΛΙΤΗΣ «ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΩΣΗ ΠΛΟΙΟΥ», ΕΜΠ, 2015.
10. Γ.Α. ΑΘΑΝΑΣΟΥΛΗΣ, Κ.Α. ΜΠΕΛΙΜΠΑΣΑΚΗΣ «ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΛΟΙΟΥ», ΕΜΠ, 2012.
11. Θ.Α. ΛΟΥΚΑΚΗΣ, Γ.Ι. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ «ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΣΚΑΦΩΝ», ΕΜΠ, 2012.
12. VOLKER BERTRAM «PRACTICAL SHIP HYDRODYNAMICS», BUTTERWORTH - HEINEMANN 2003.
13. SNAME «PRINCIPLES OF NAVAL ARCHITECTURE 2<sup>ND</sup> REVISION VOL 3, MOTIONS IN WAVES AND CONTROLLABILITY», 1989.

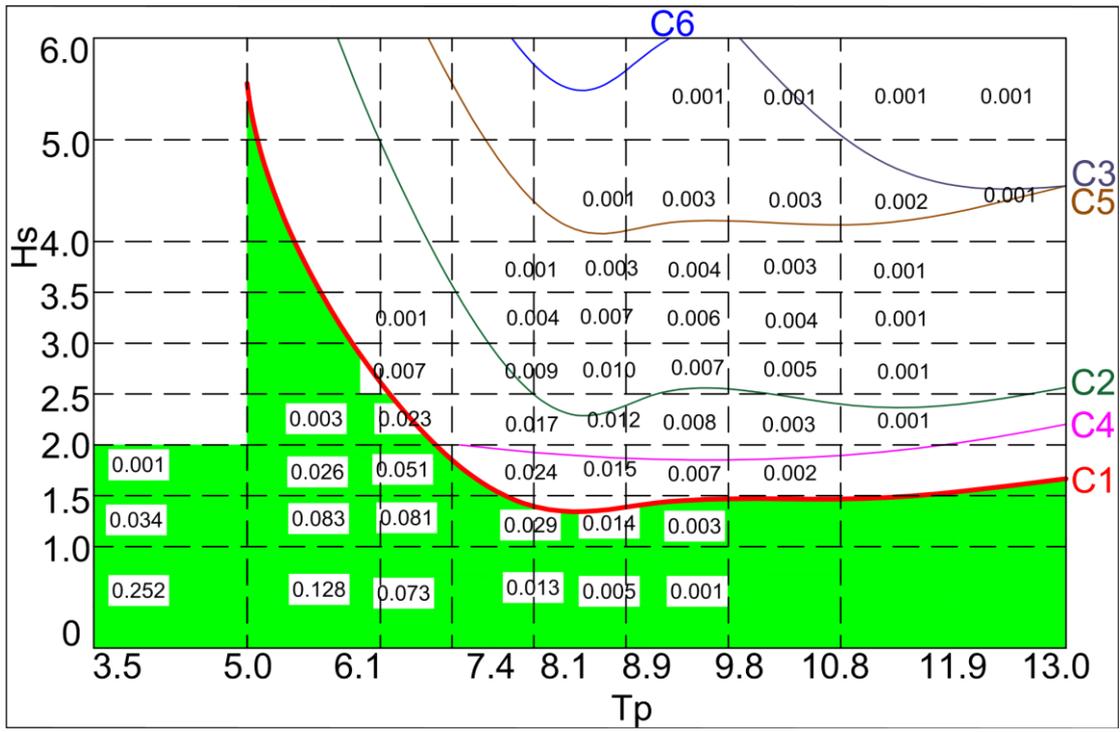
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΕ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ  $H_s - T_p$ , ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ, ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΥΠΟΨΗ Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ**

Οι συντομογραφίες των κριτηρίων αποκρίσεων του πλοίου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

<b>Απόκριση</b>	<b>Συντόμευση</b>
GUN VERTICAL VELOCITY	C1
PITCH	C2
ROLL	C3
SONAR EMERGE	C4
HELICOPTER DECK VERTICAL VELOCITY	C5
BRIDGE VERTICAL ACCELARAION	C6
DECK WETNESS	C7
SLAMMING	C8
GMVLS VERTICAL ACCELARATION	C9
YAW	C10



# TH

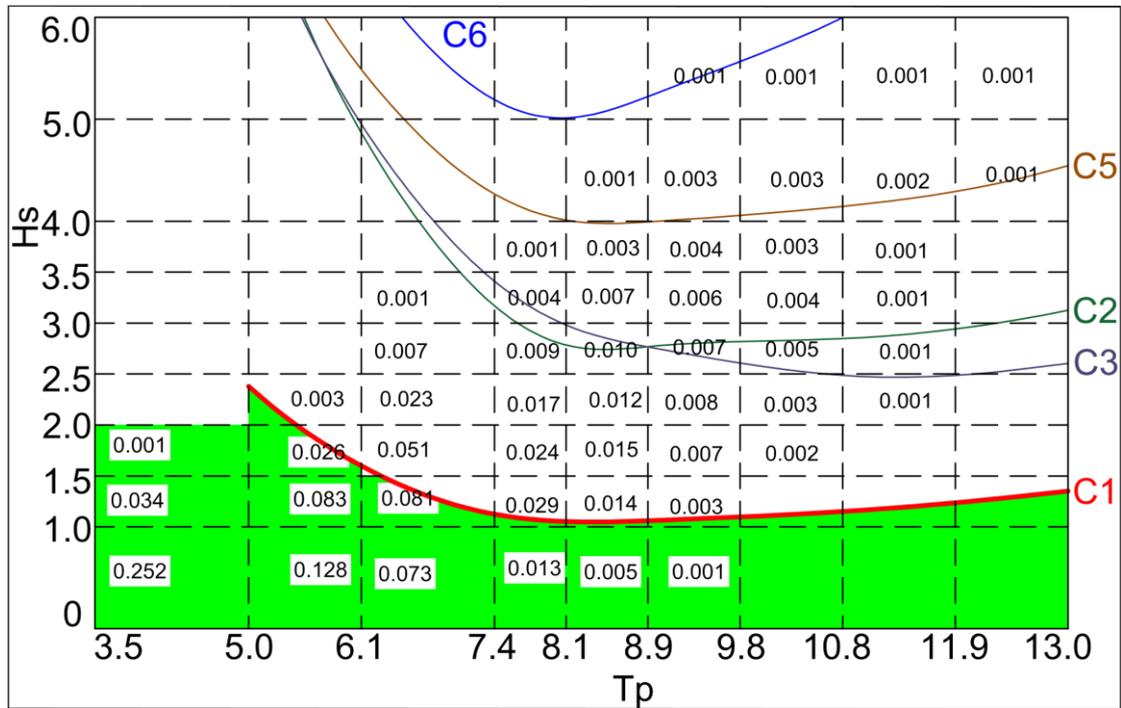


TAXYTHTA: 15 kn

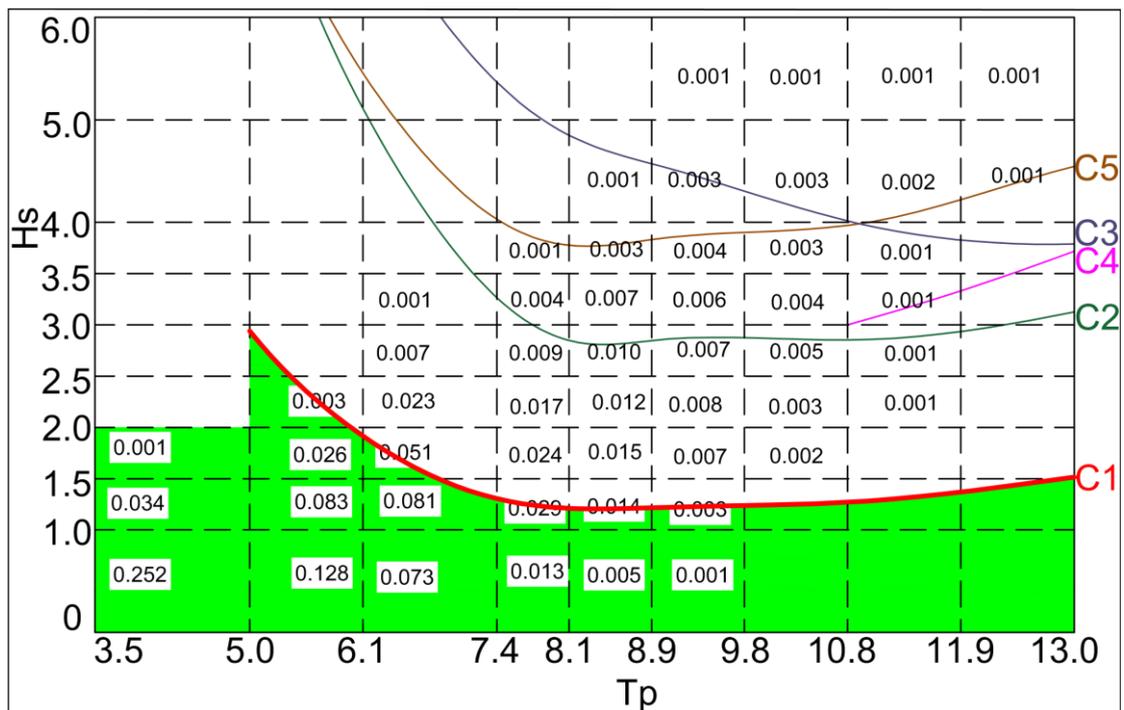
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 45°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 1

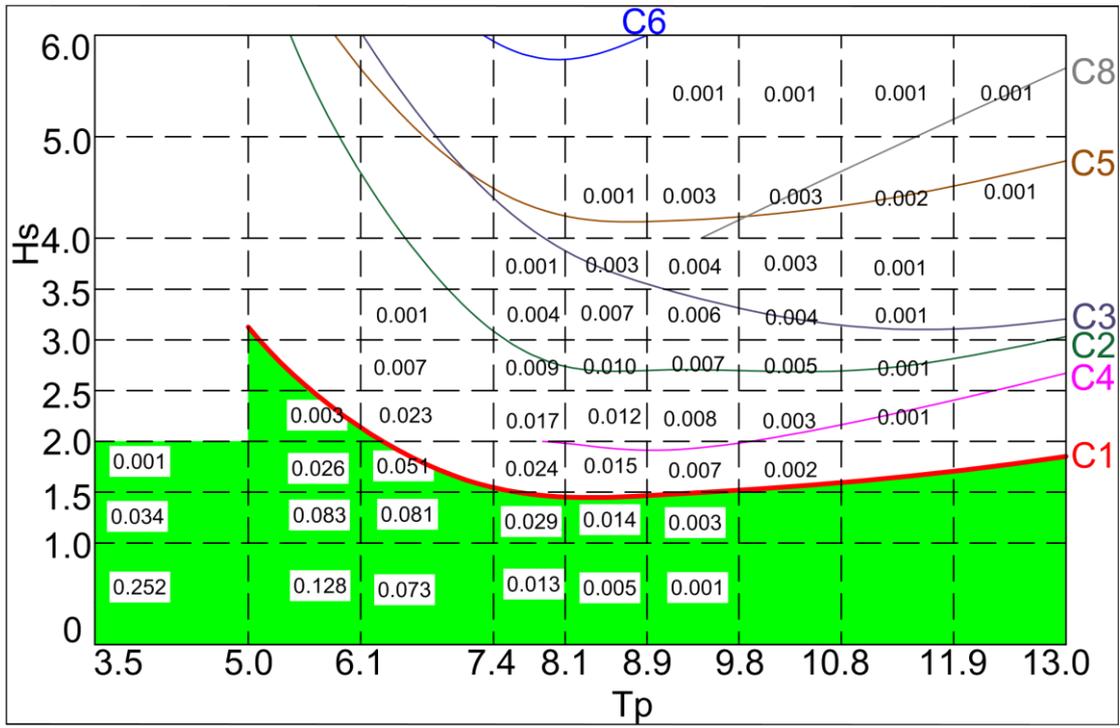
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

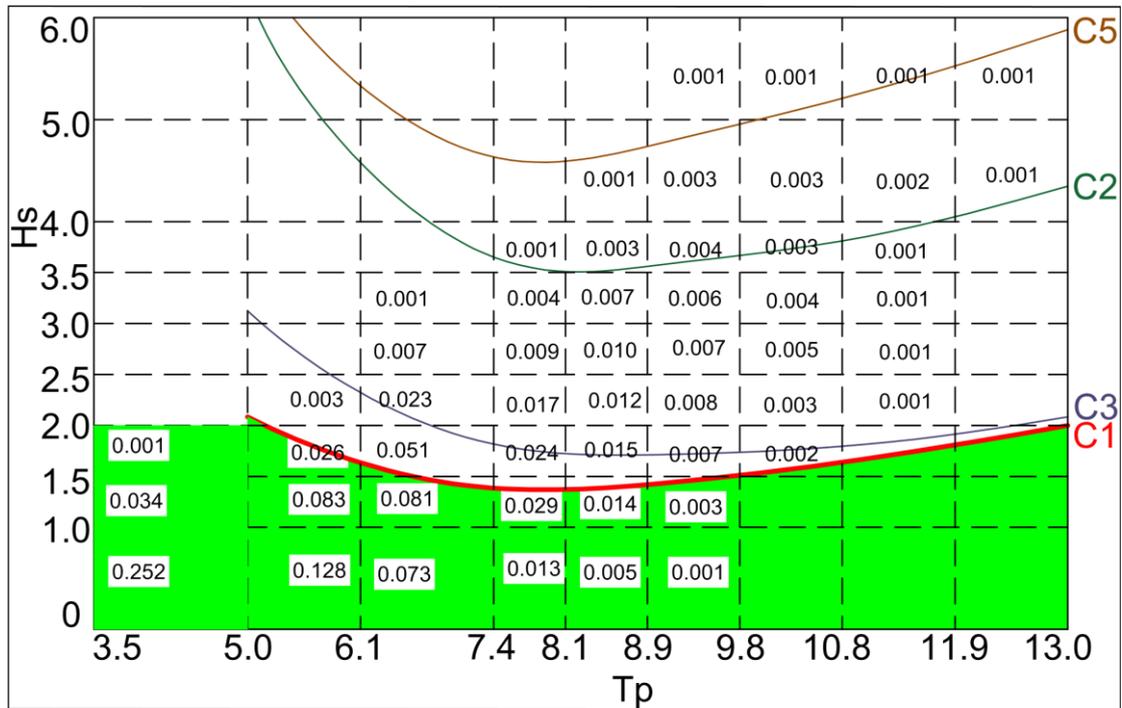


TAXYTHTA: 15 kn

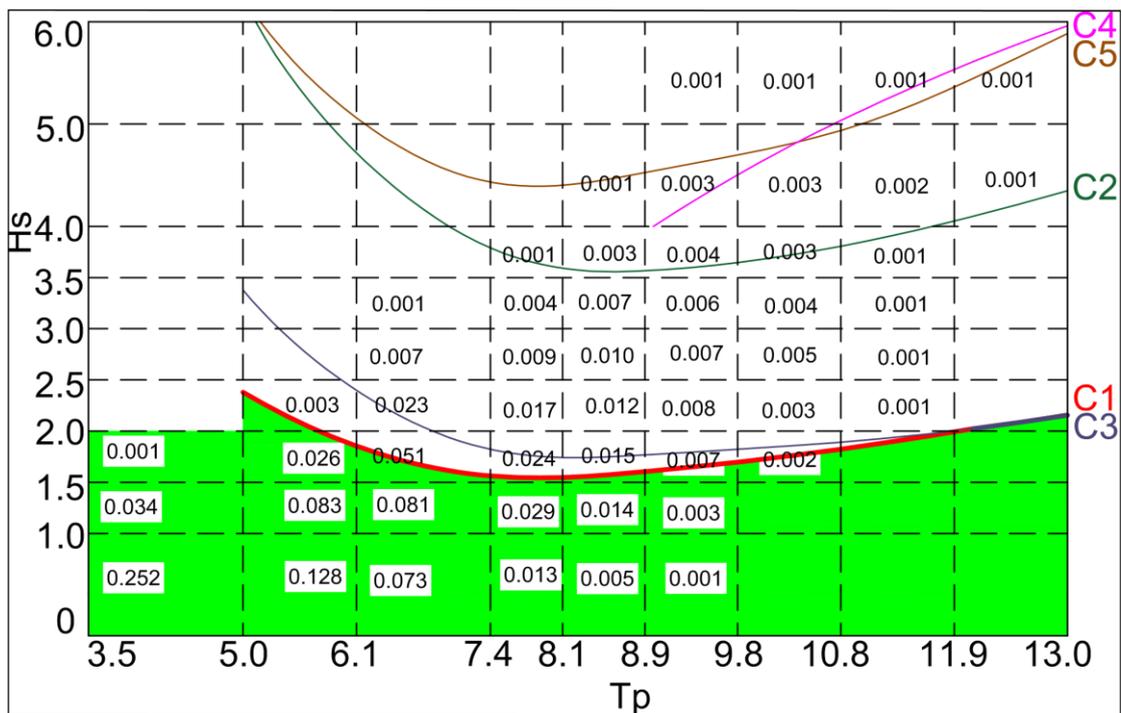
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 90°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 1

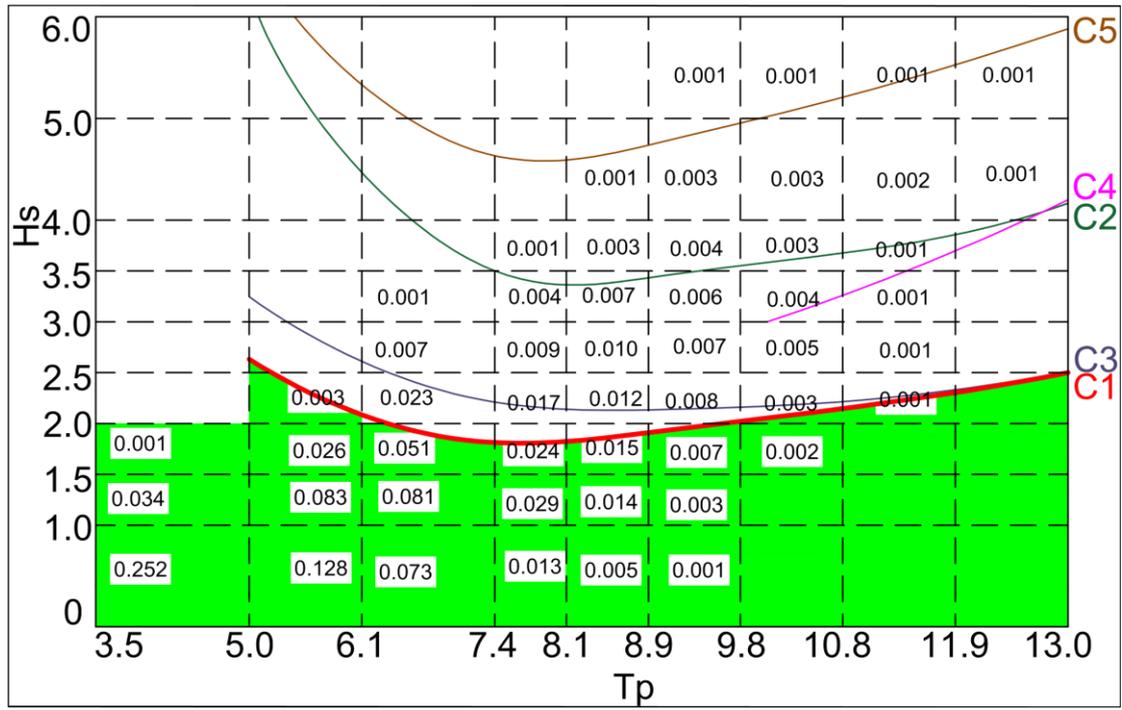
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

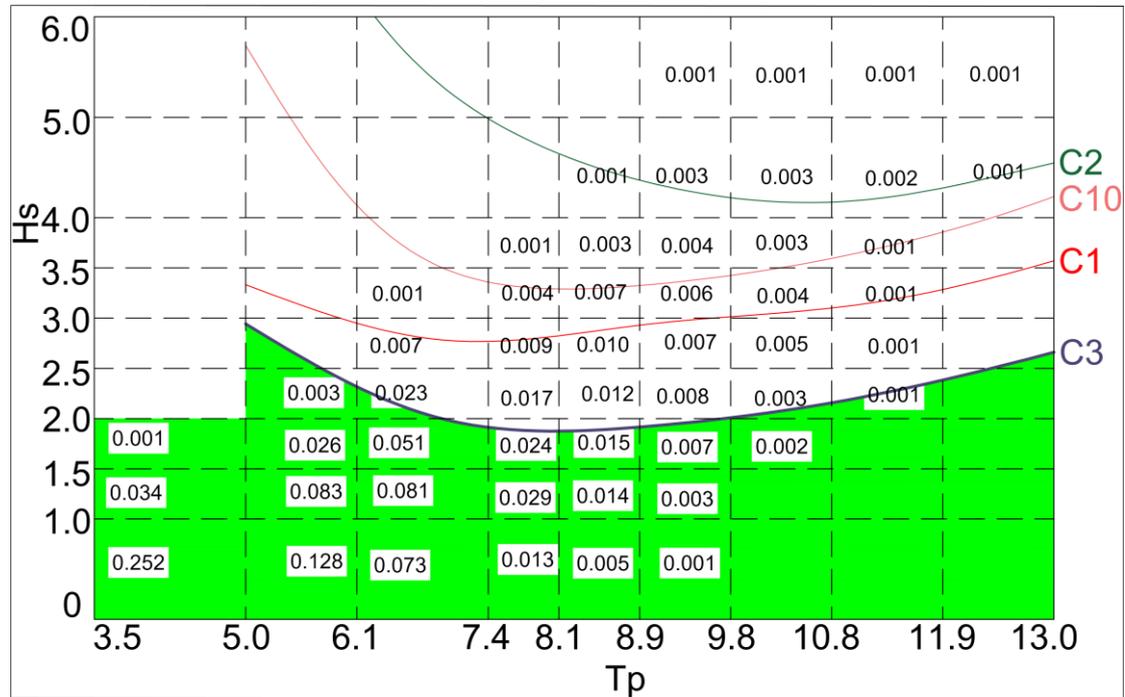


TAXYTHTA: 15 kn

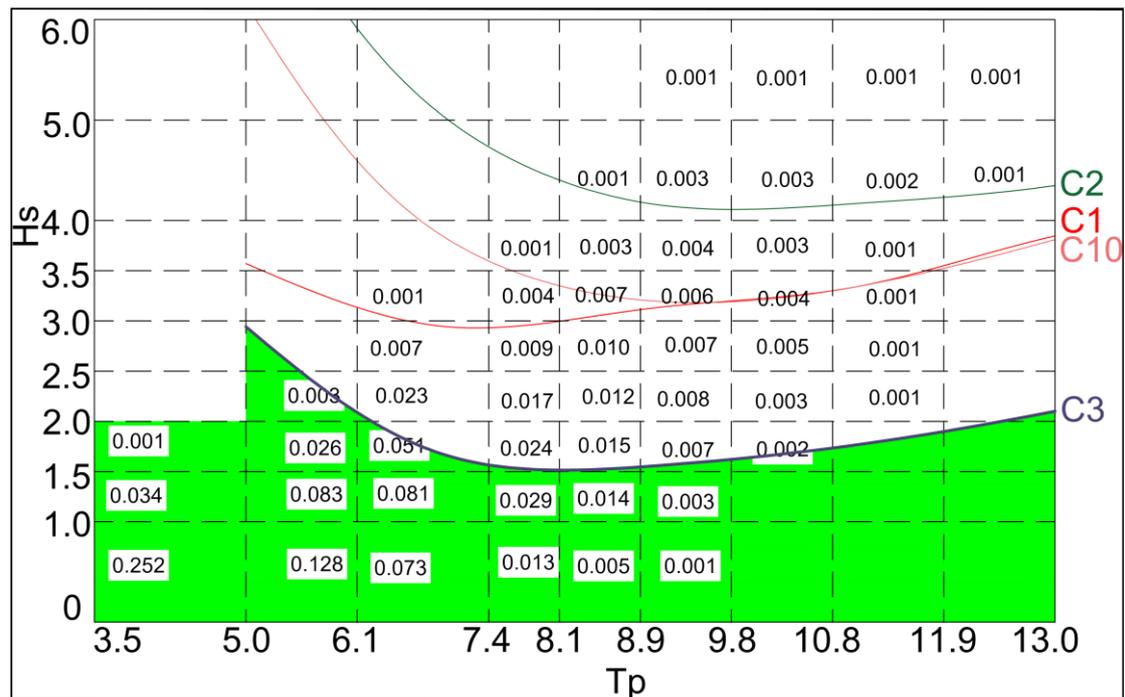
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 135°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 1

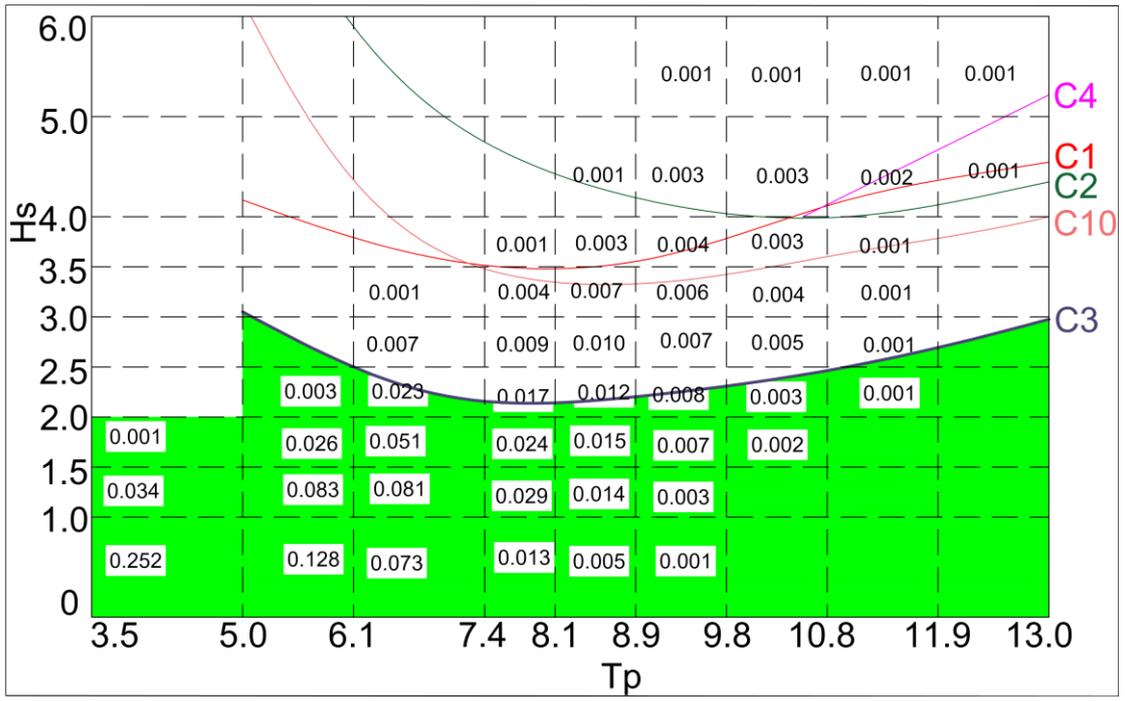
### ΜΕΚΟ



### DDG-51



# TH

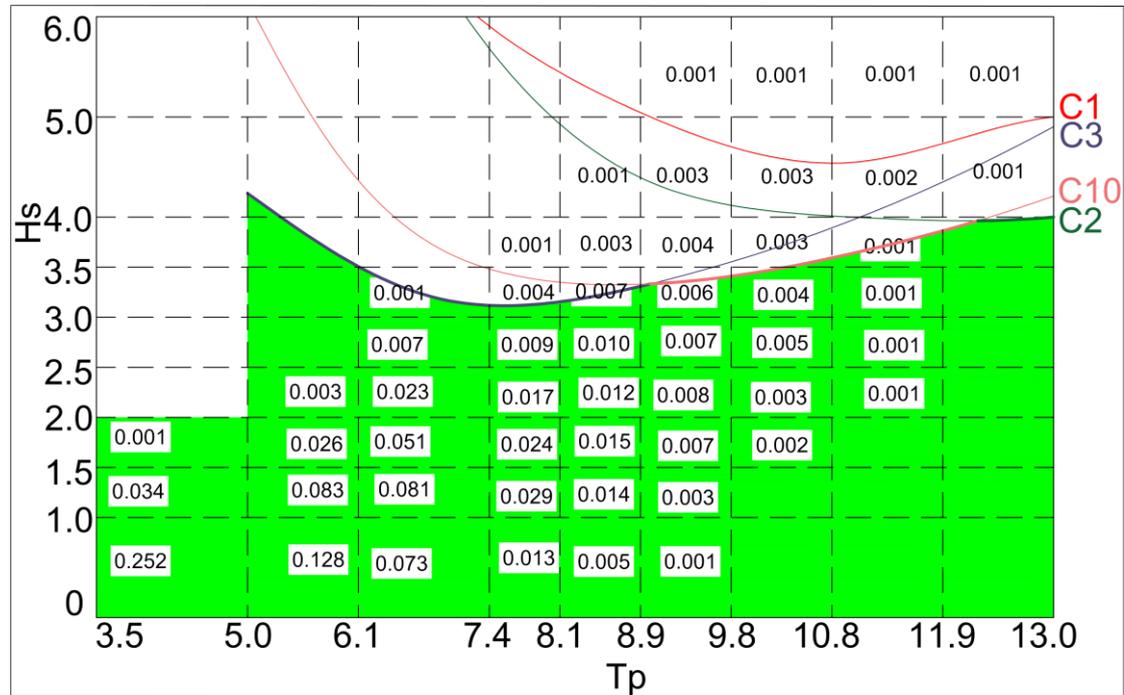


TAXYTHTA: 15 kn

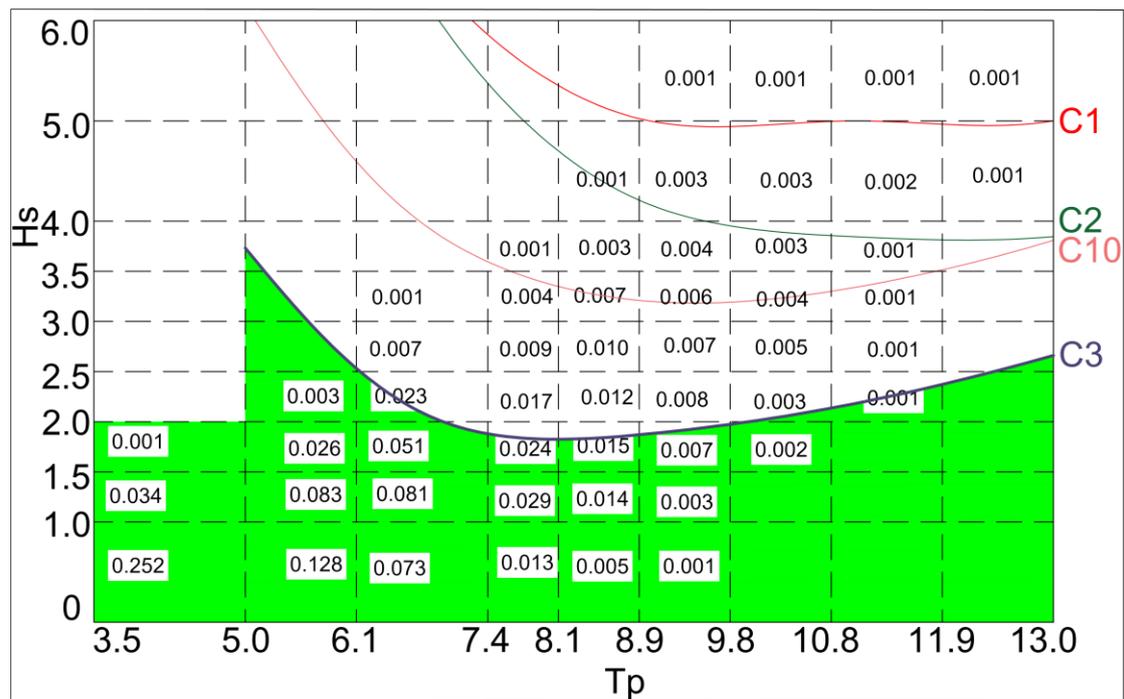
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 180°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 1

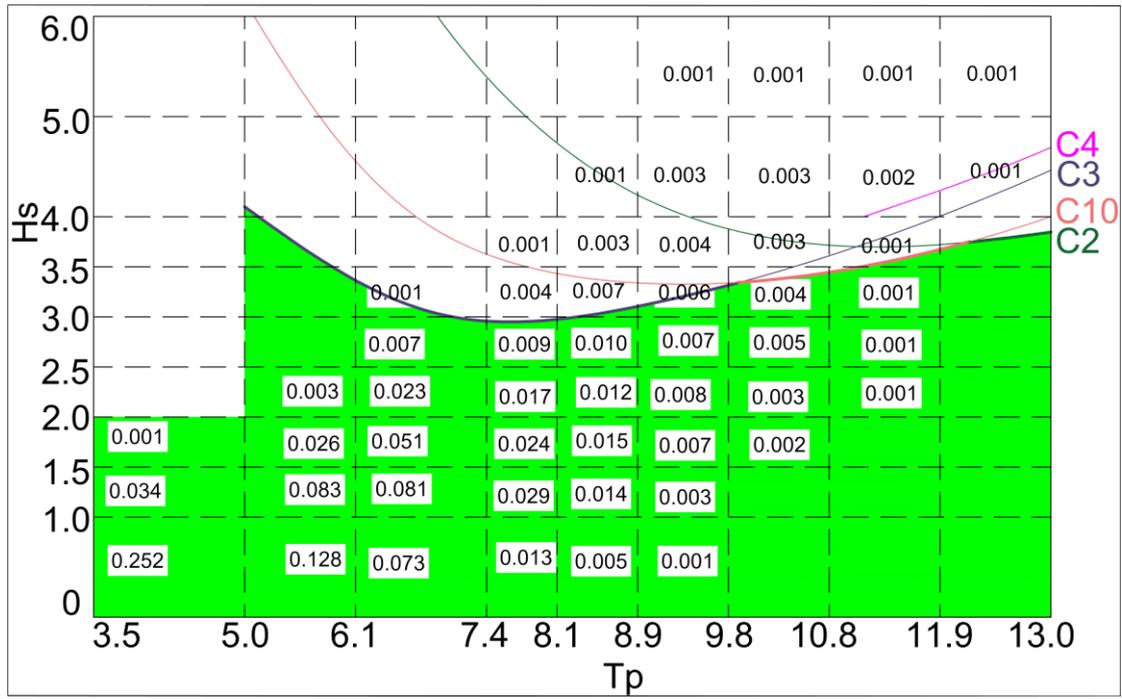
ΜΕΚΟ



DDG-51

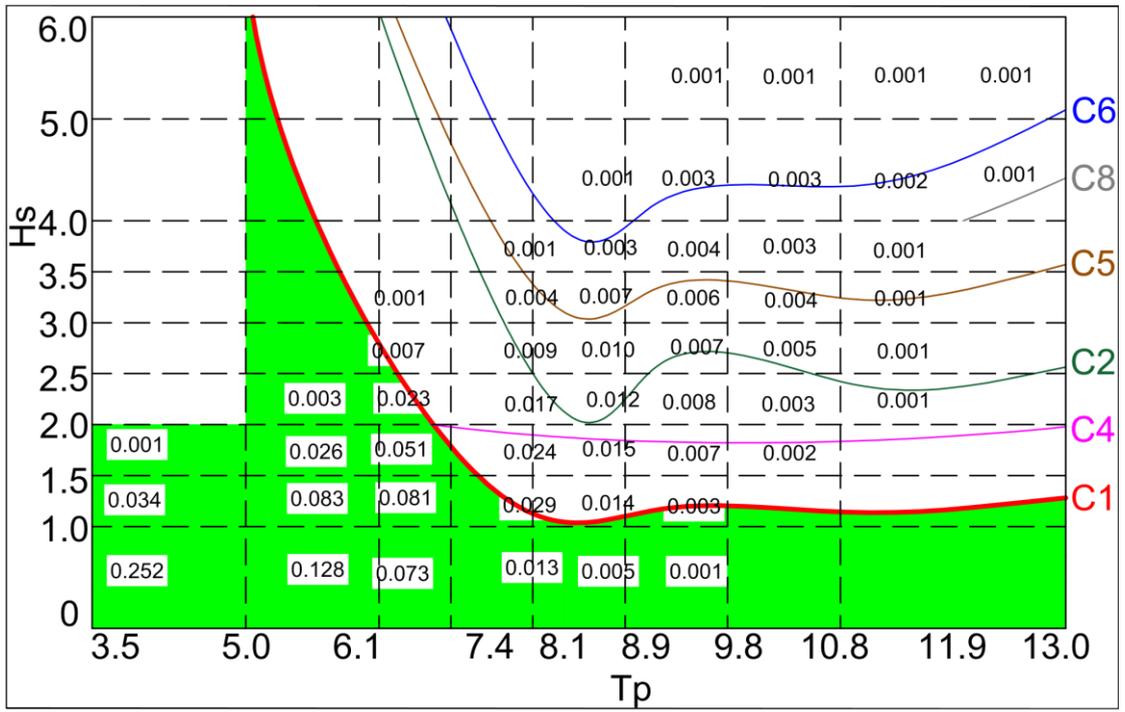


# TH



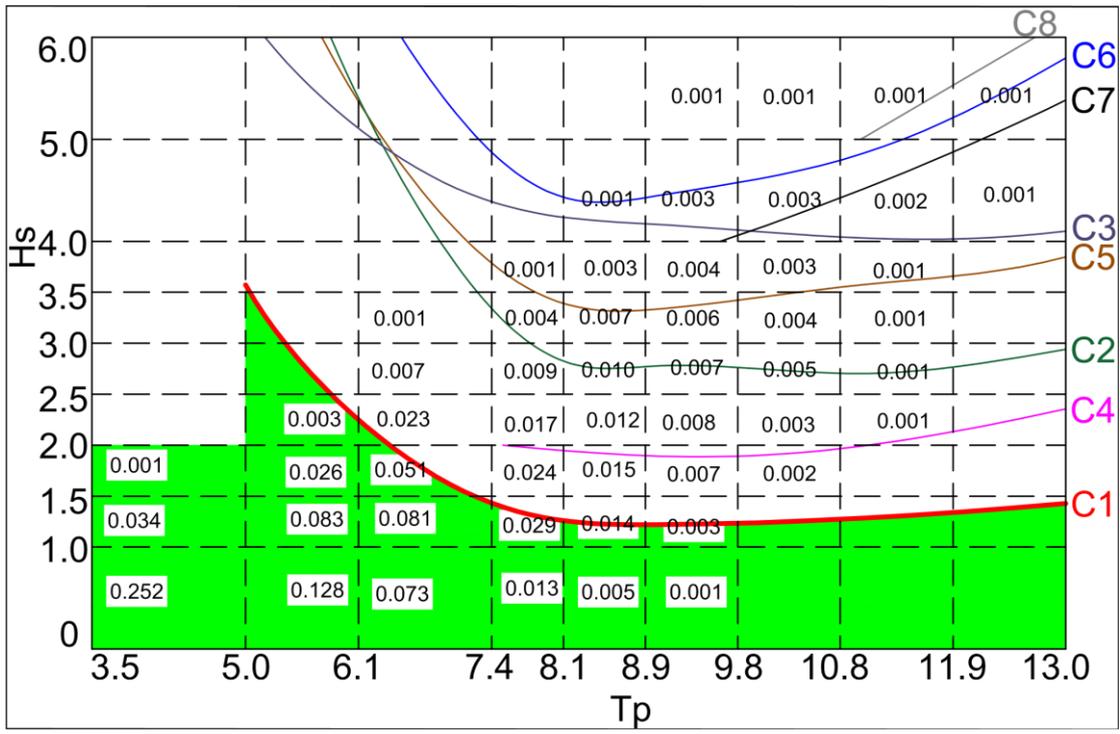


# TH





# TH

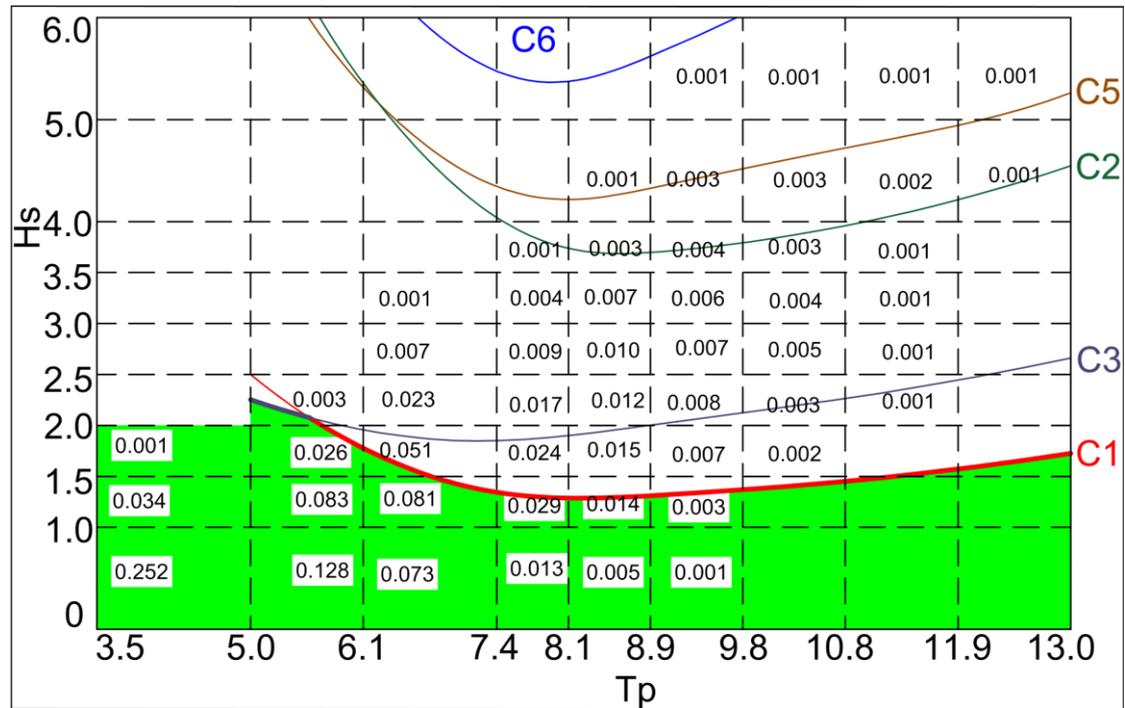


TAXYTHTA: 25 kn

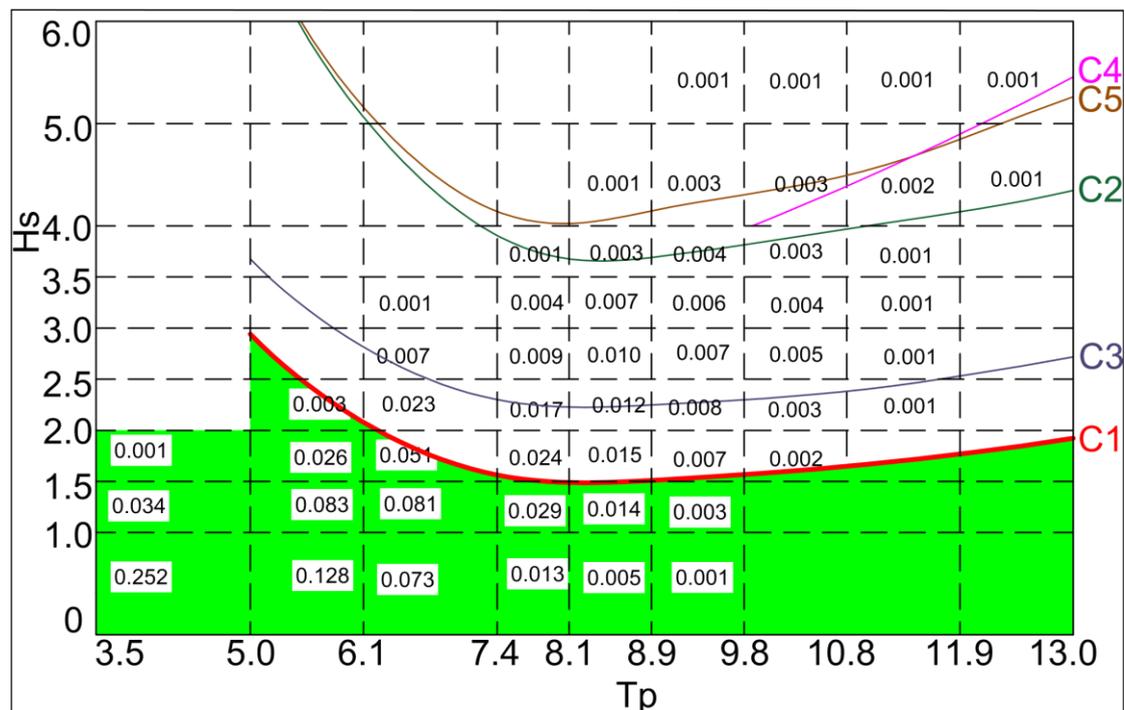
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 90°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 1

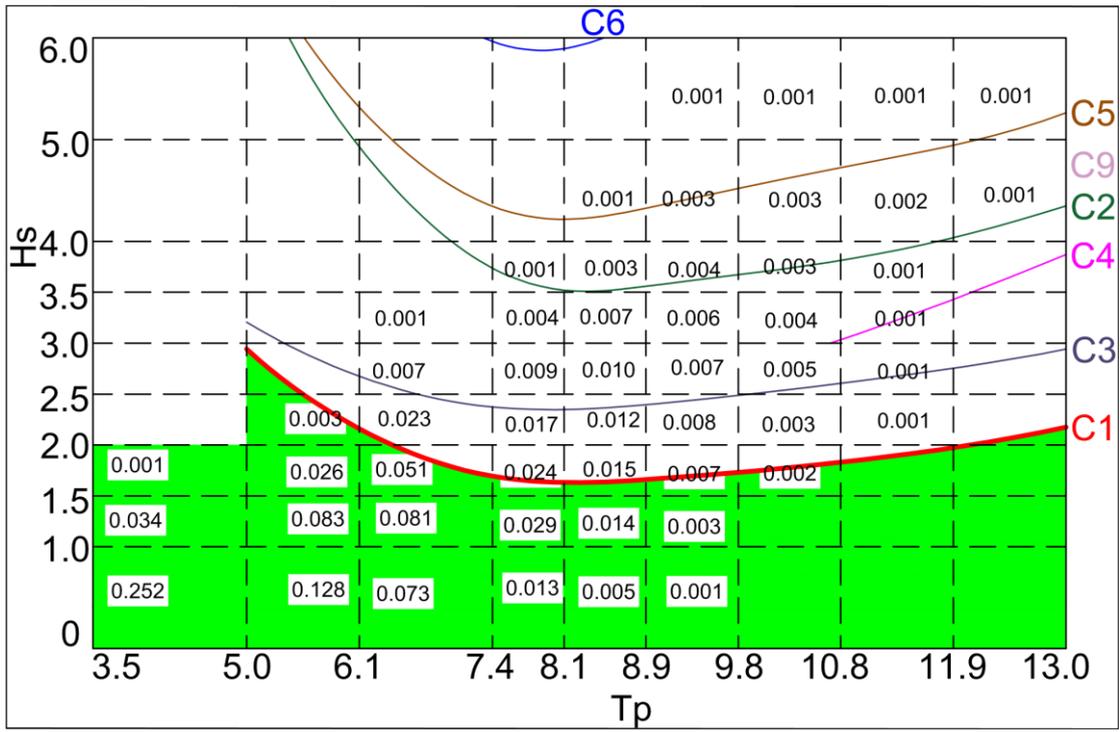
ΜΕΚΟ



DDG-51



TH

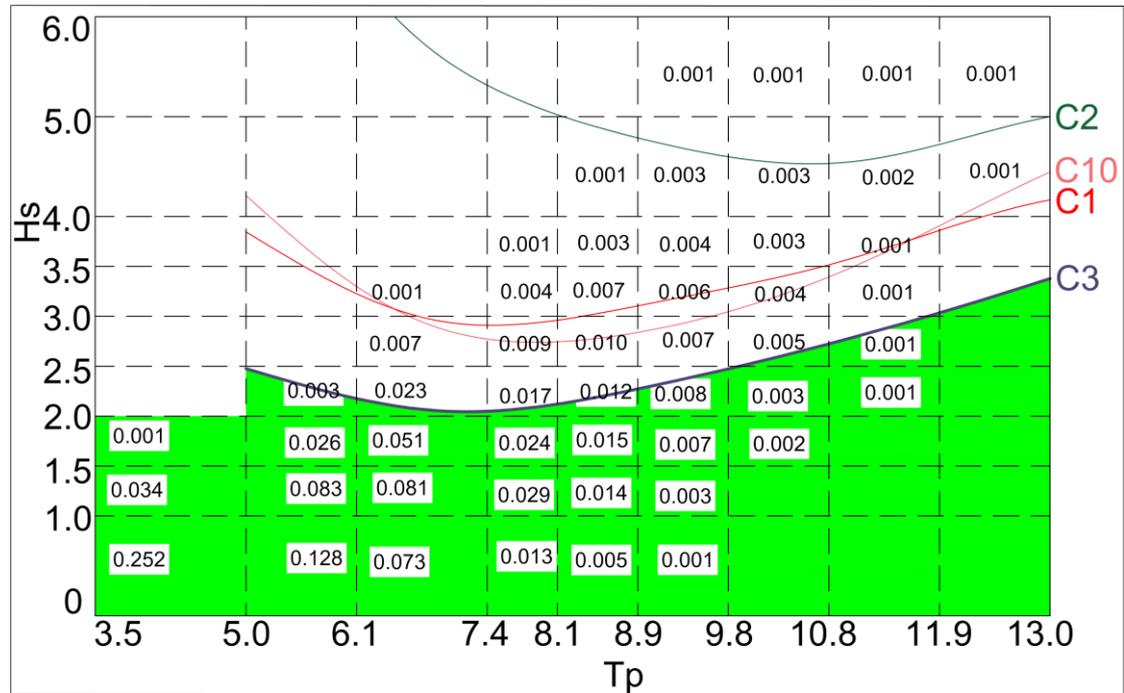


TAXYTHTA: 25 kn

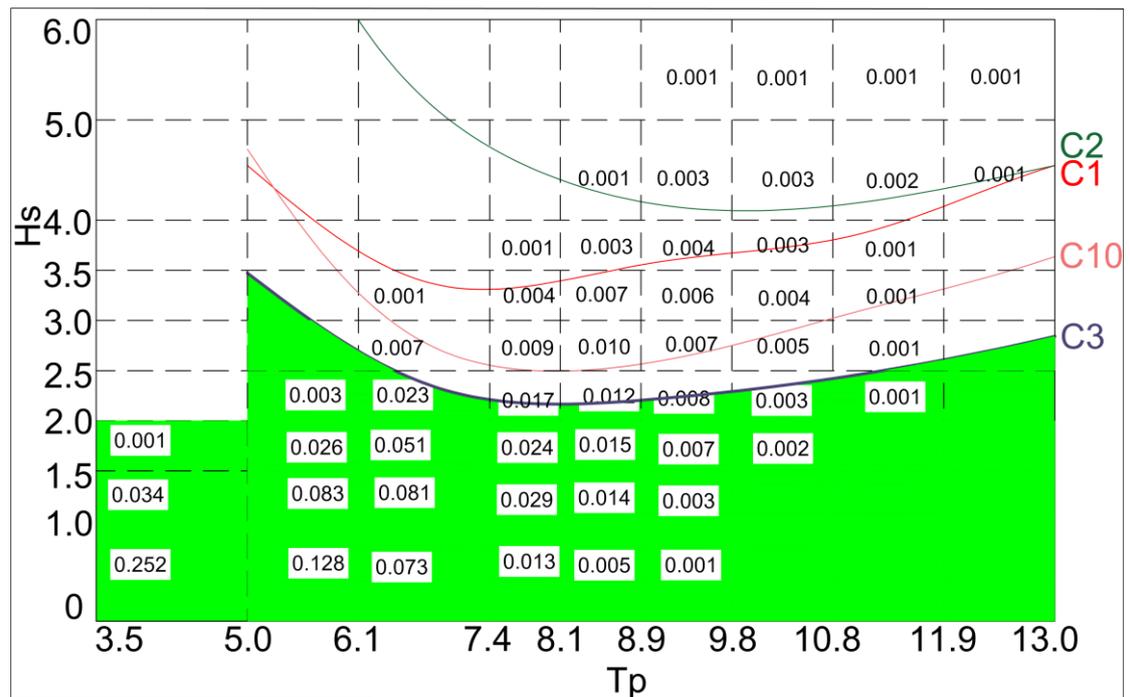
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 135°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 1

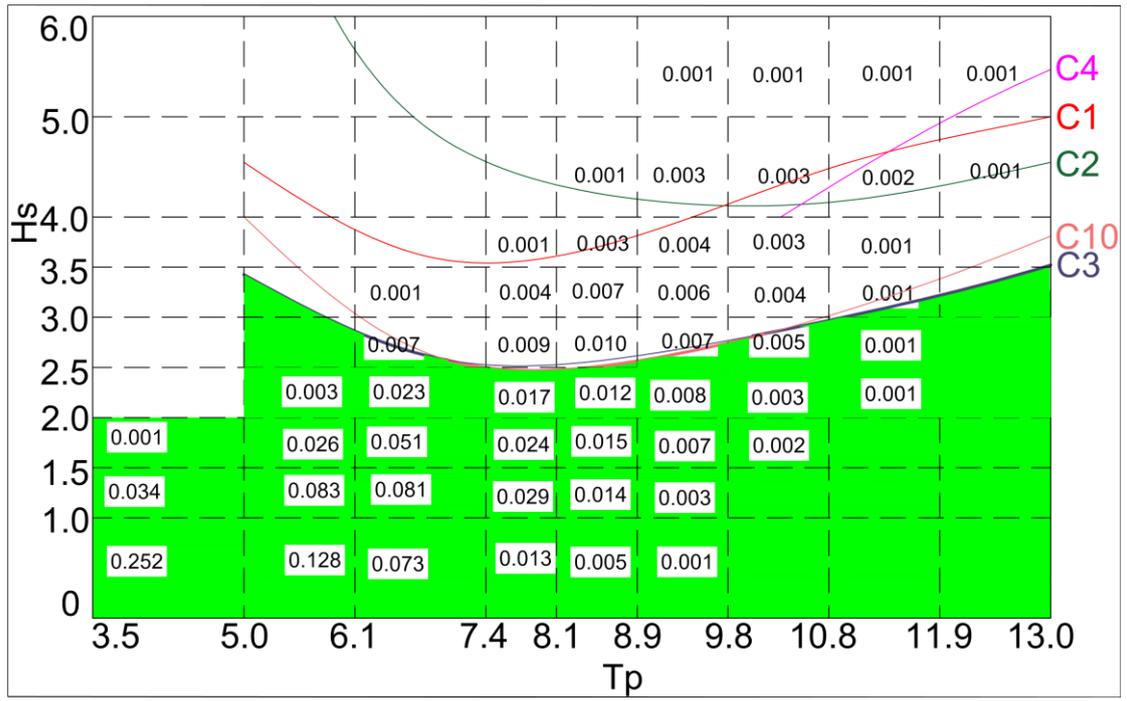
ΜΕΚΟ



DDG-51

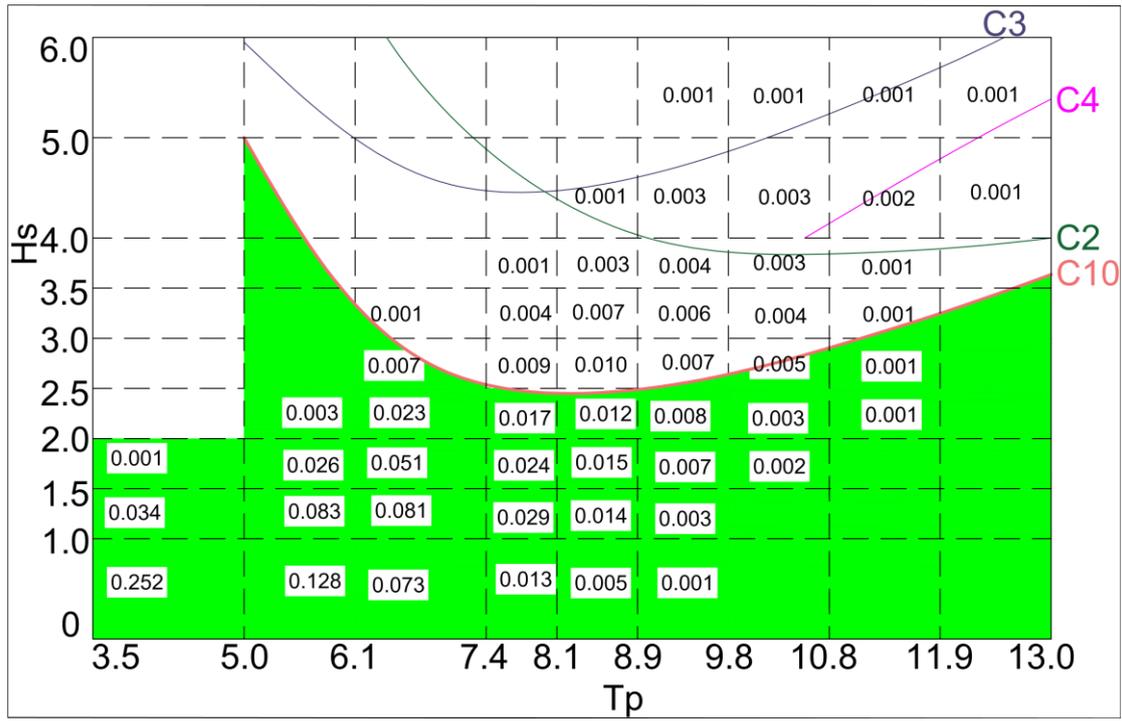


# TH





# TH

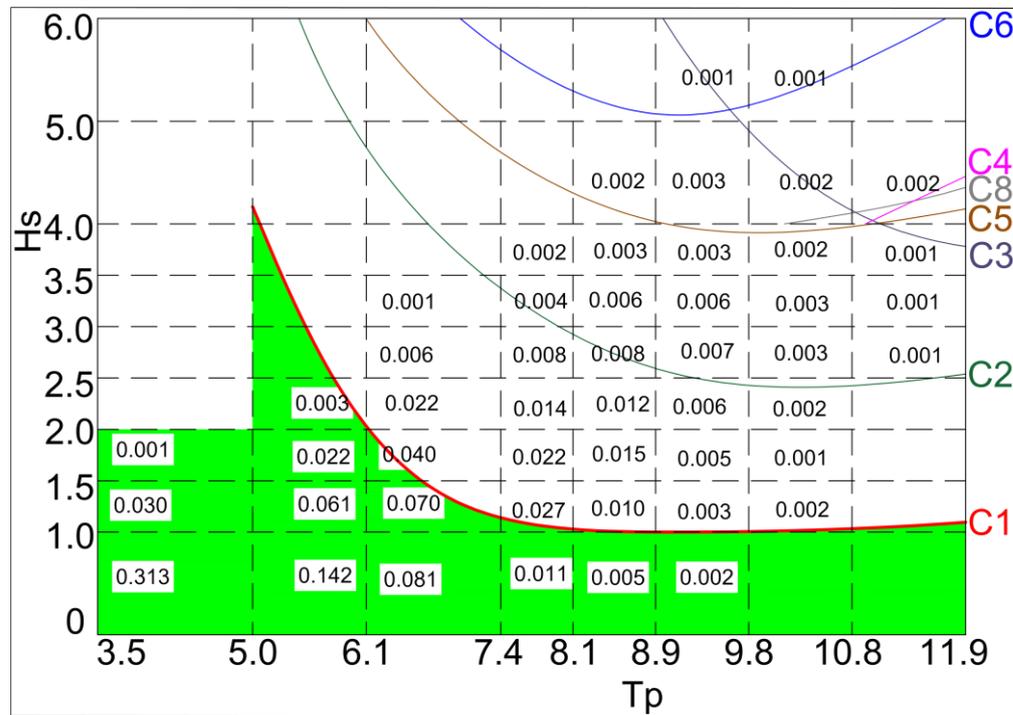


**TAXYTHTA: 15 kn**

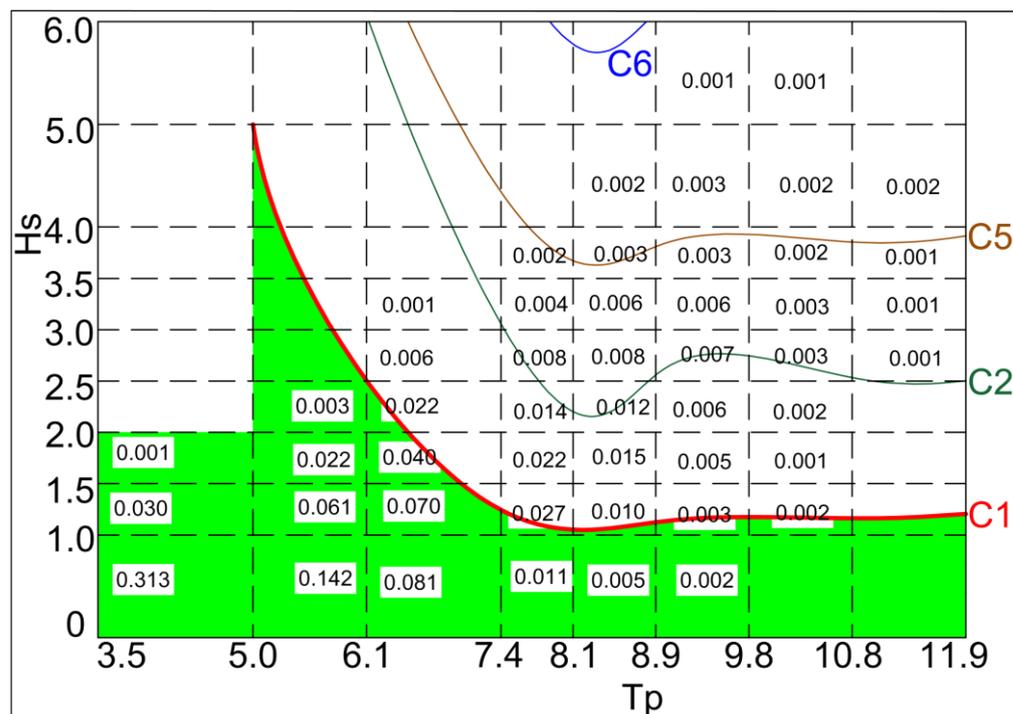
**ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 0°**

**ΠΕΡΙΟΧΗ: 2**

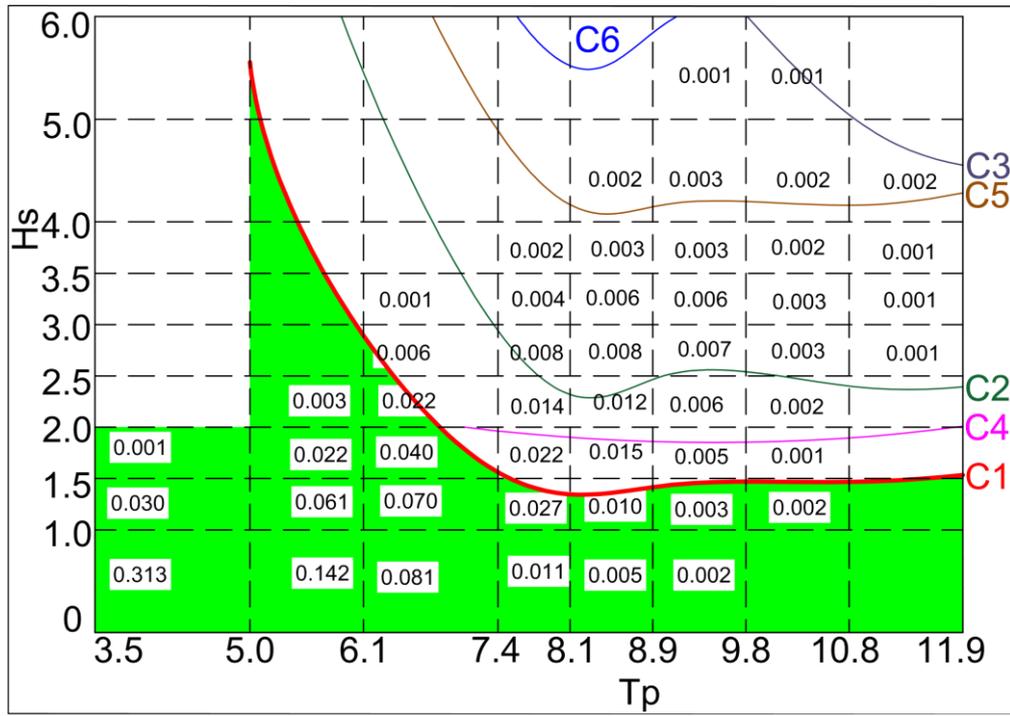
**ΜΕΚΟ**



**DDG-51**



# TH

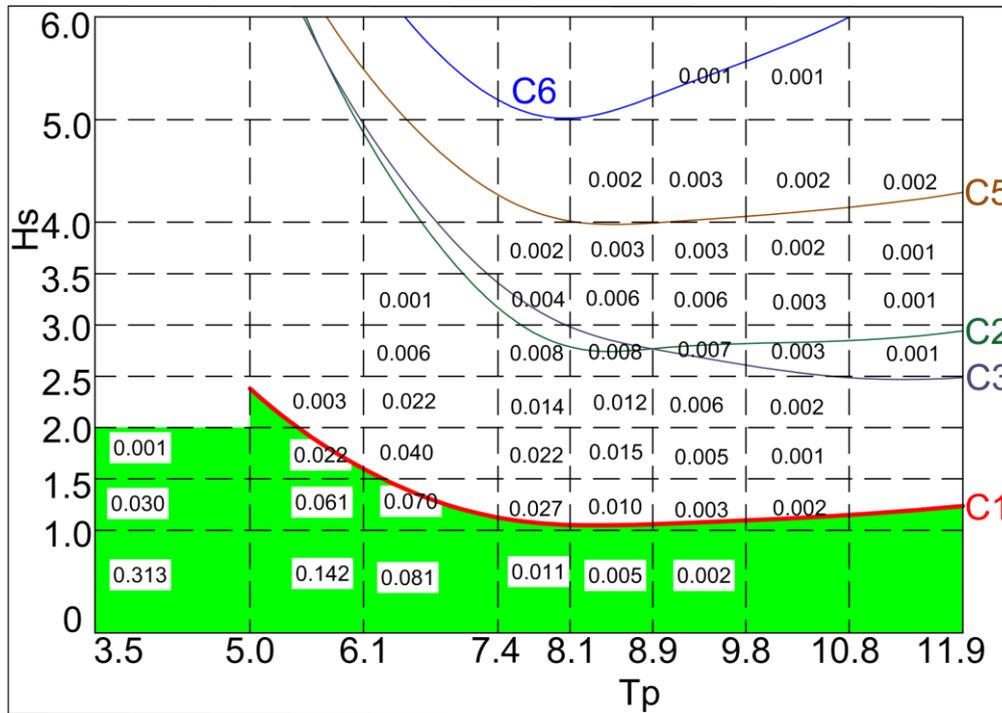


TAXYTHTA: 15 kn

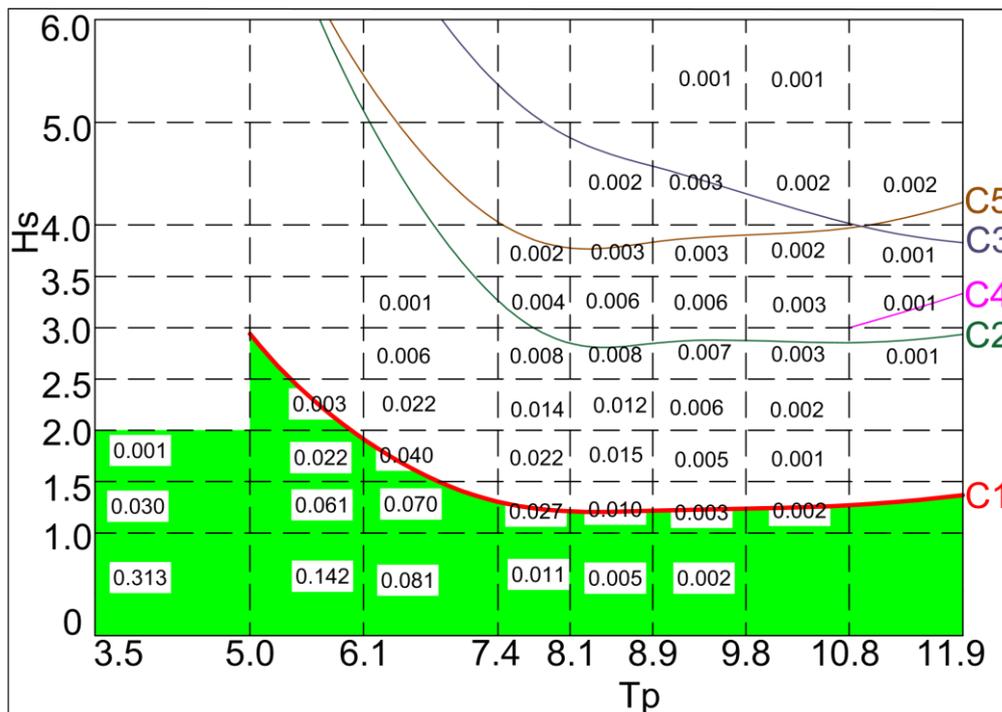
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 45°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 2

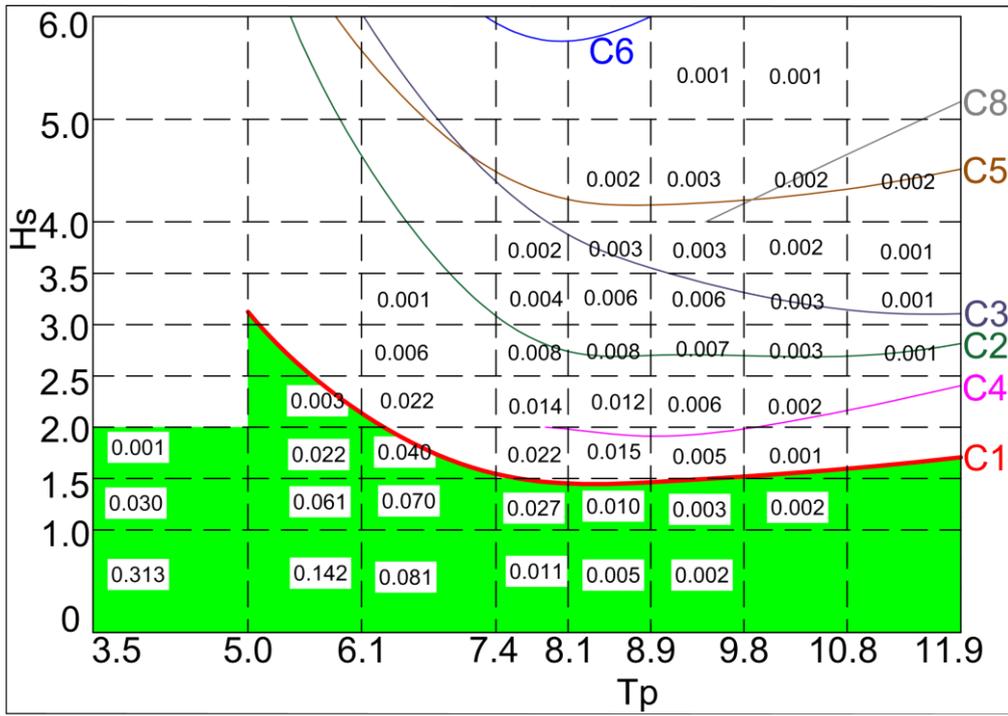
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH





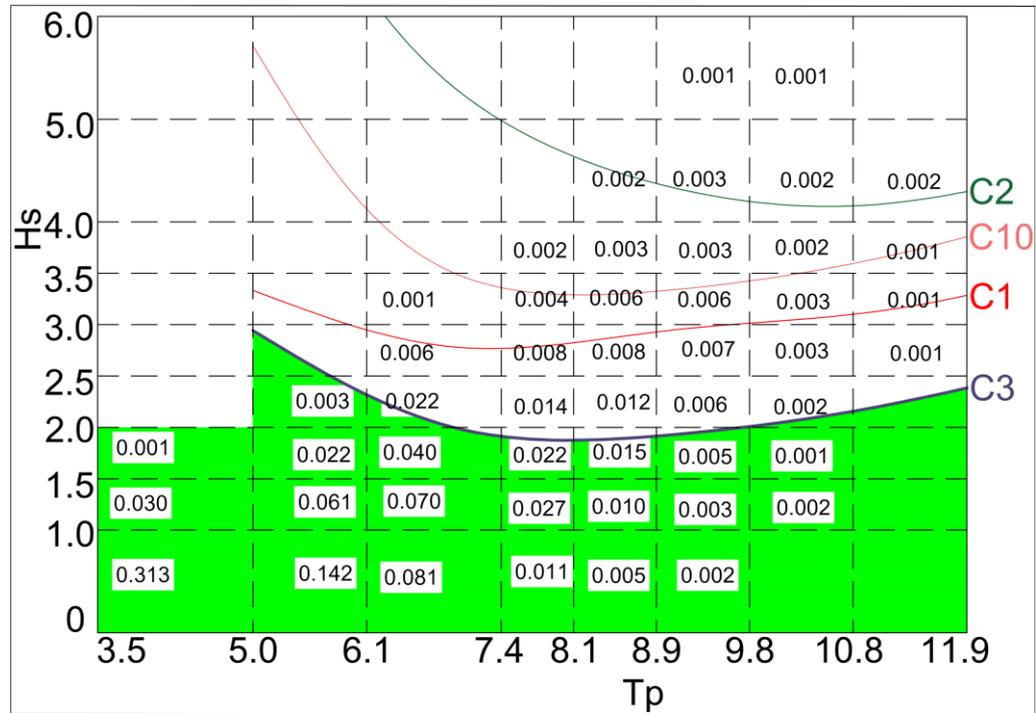


TAXYTHTA: 15 kn

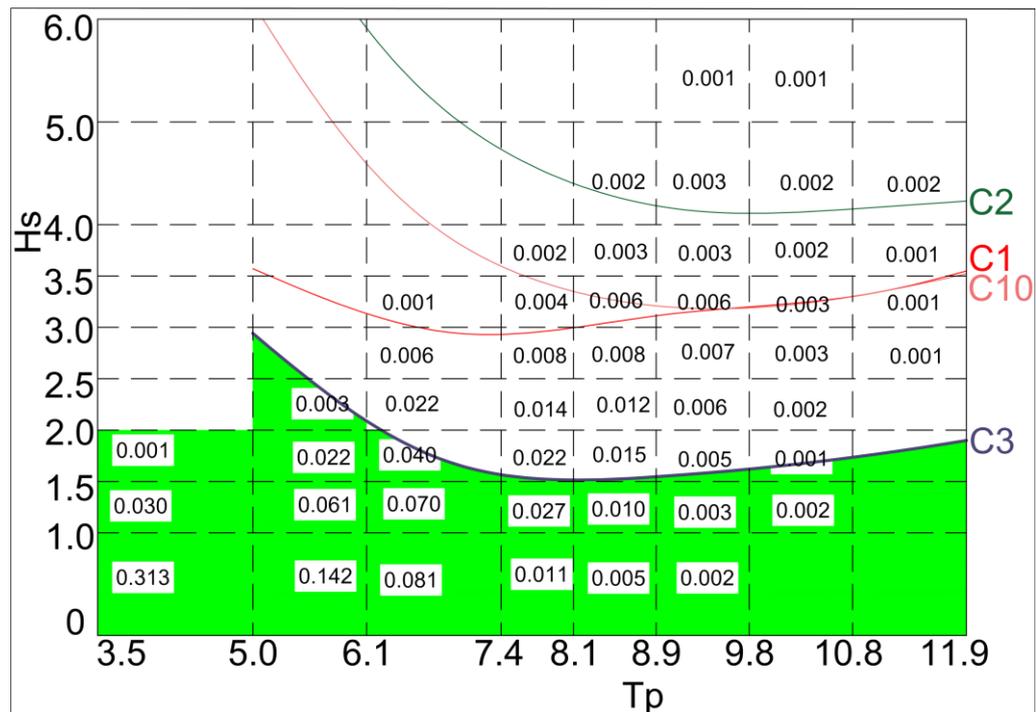
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 135°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 2

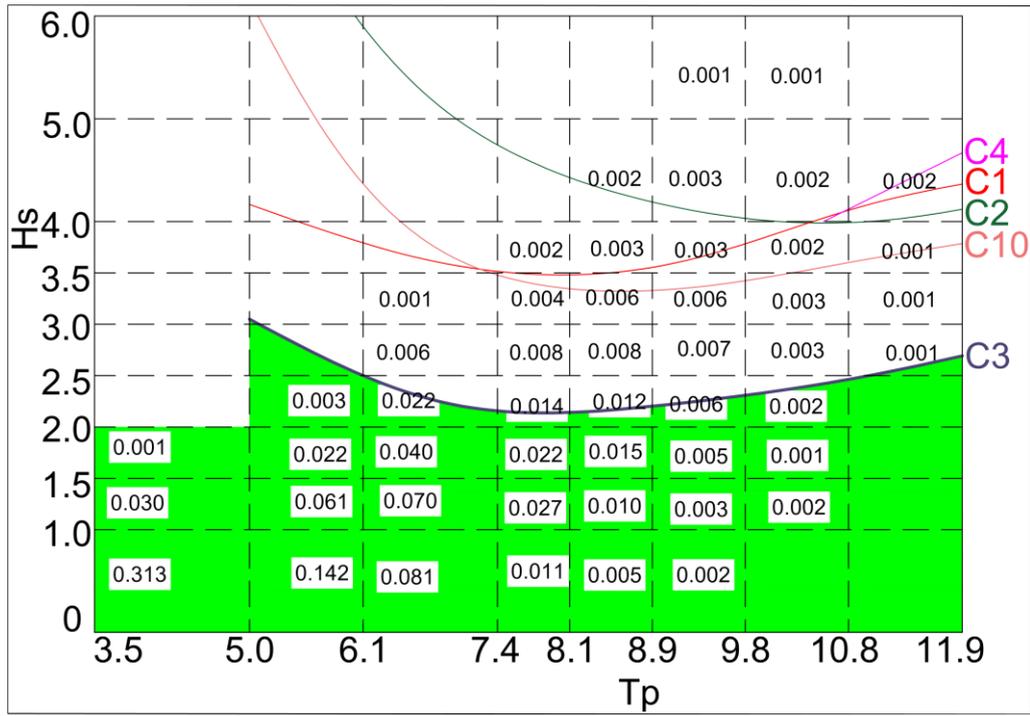
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

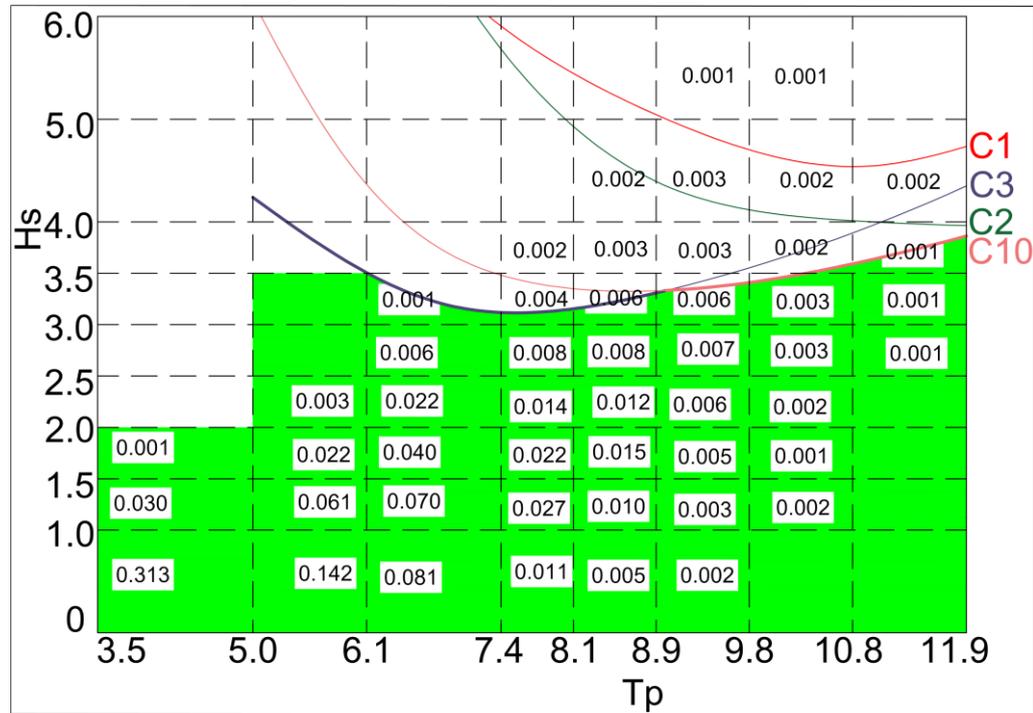


TAXYTHTA: 15 kn

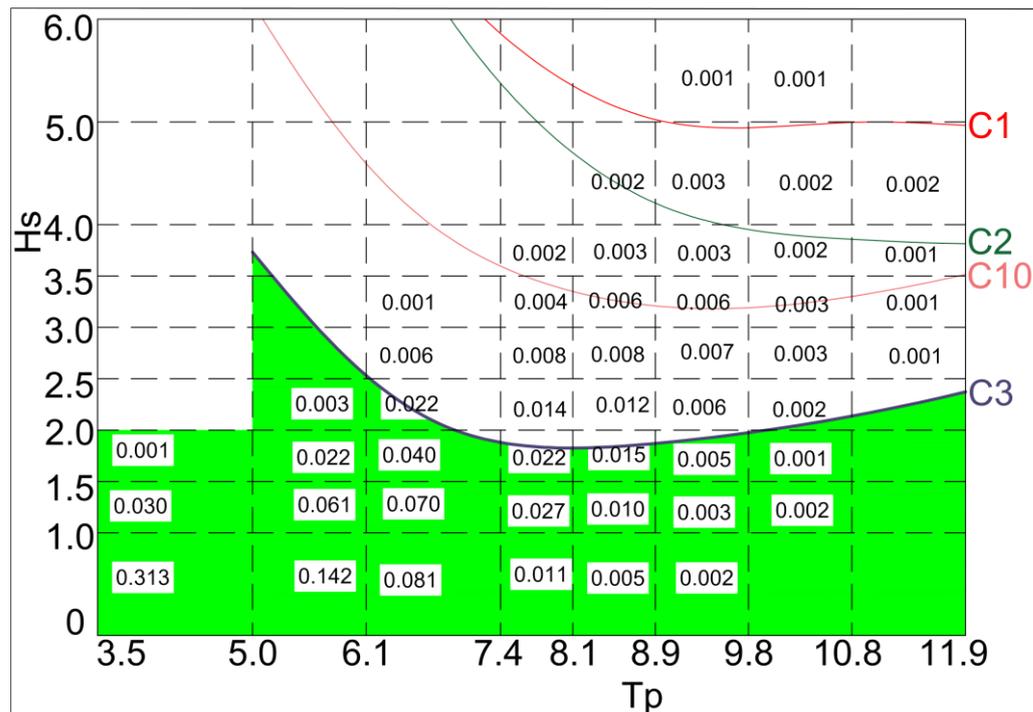
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 180°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 2

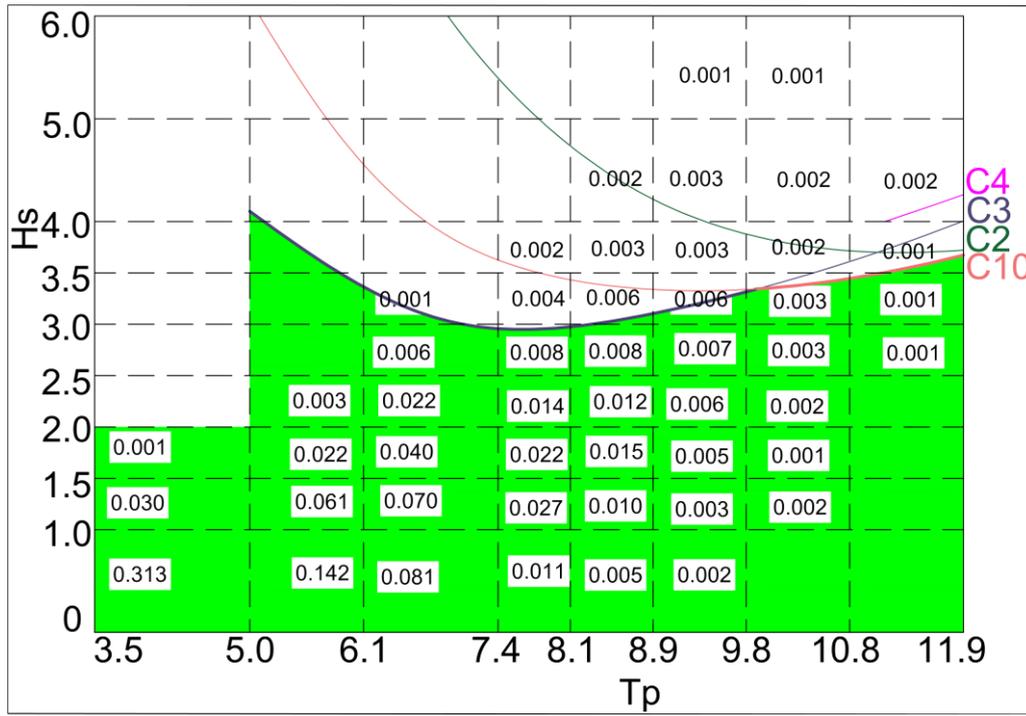
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

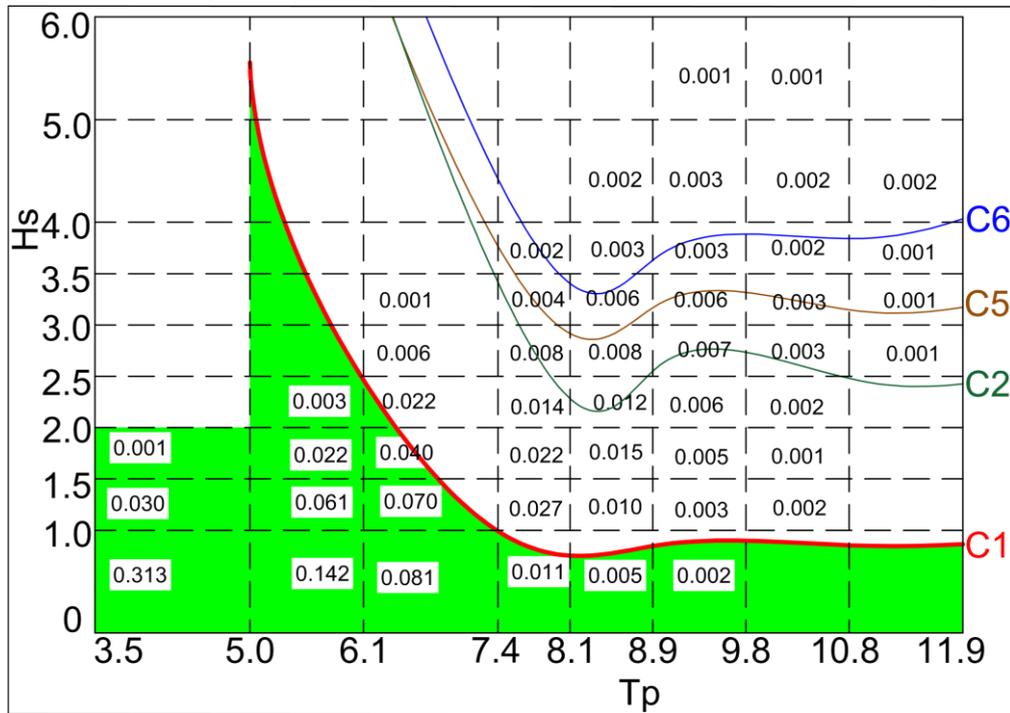


TAXYTHTA: 25 kn

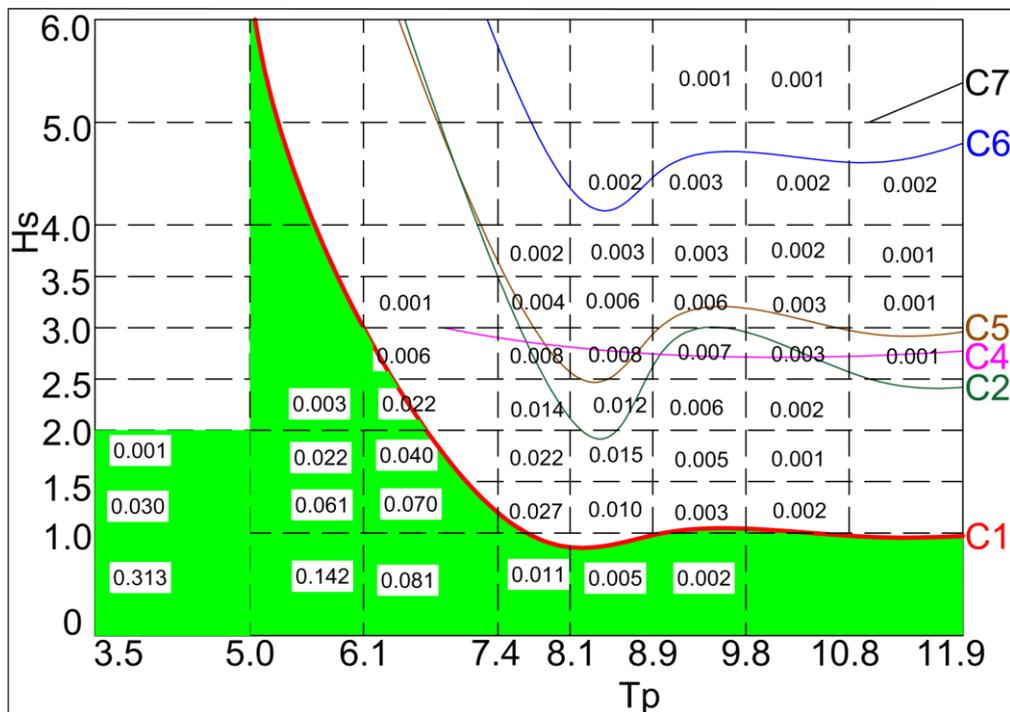
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 0°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 2

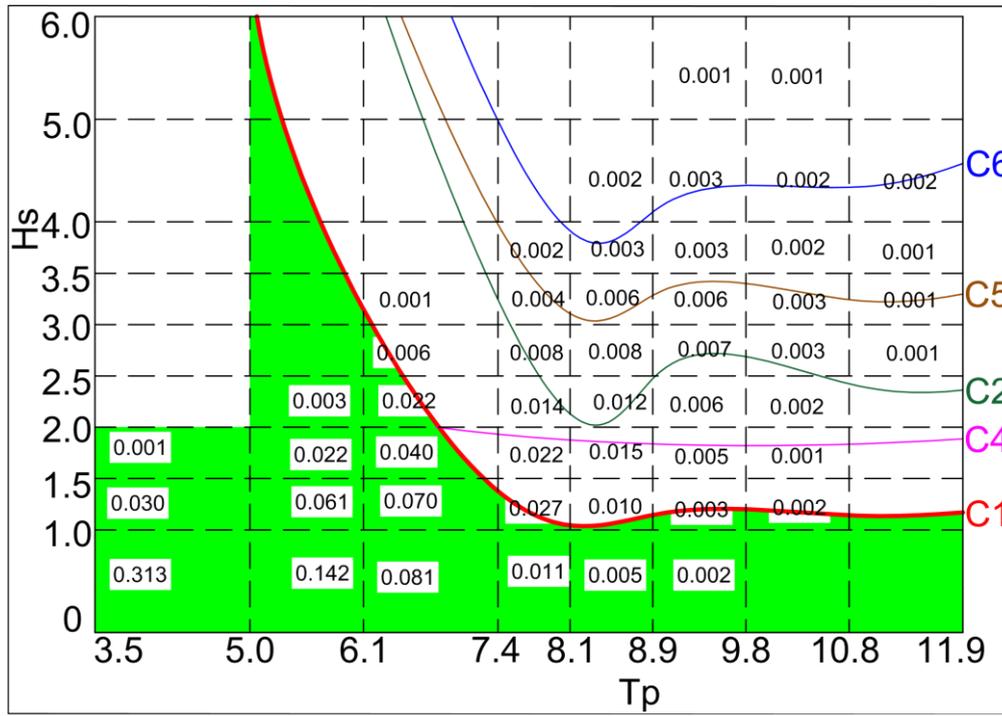
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

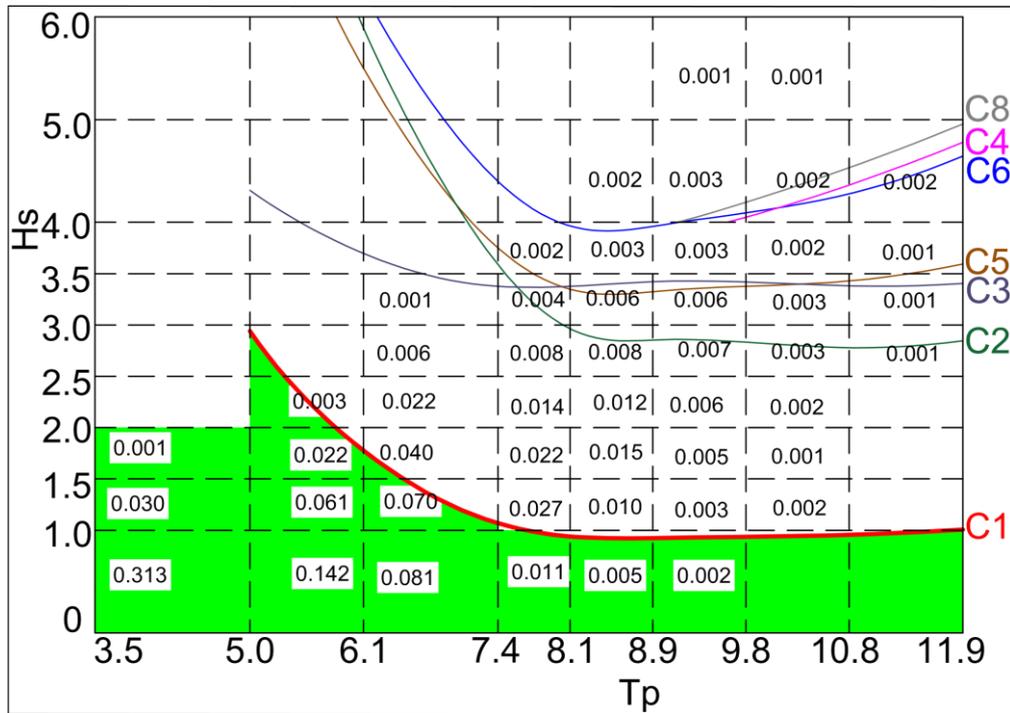


TAXYTHTA: 25 kn

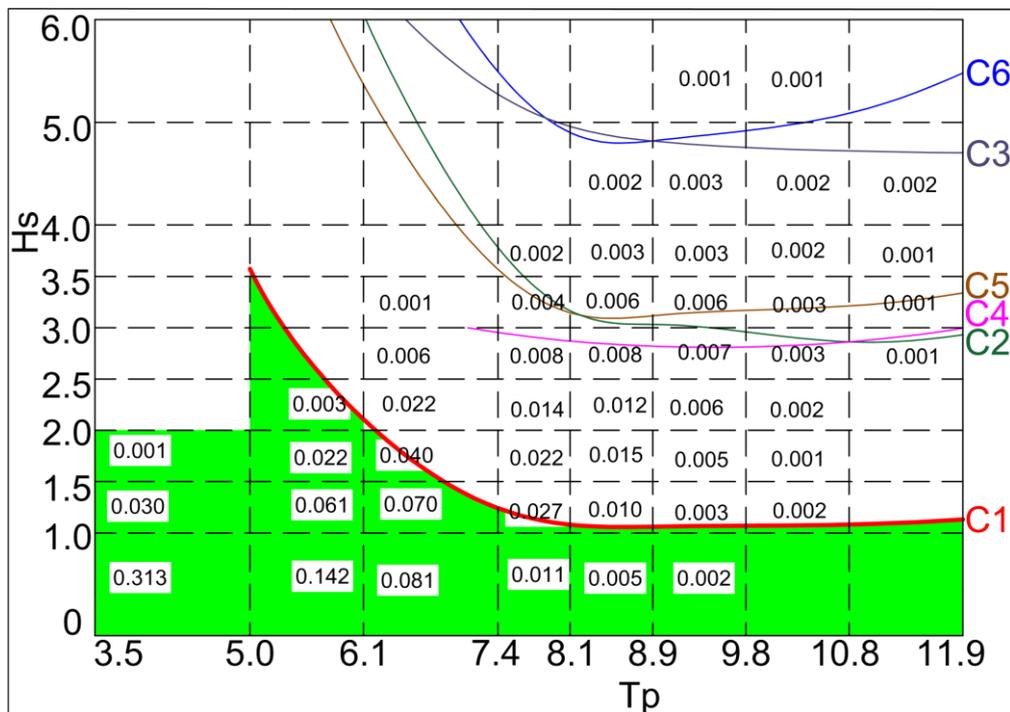
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 45°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 2

ΜΕΚΟ



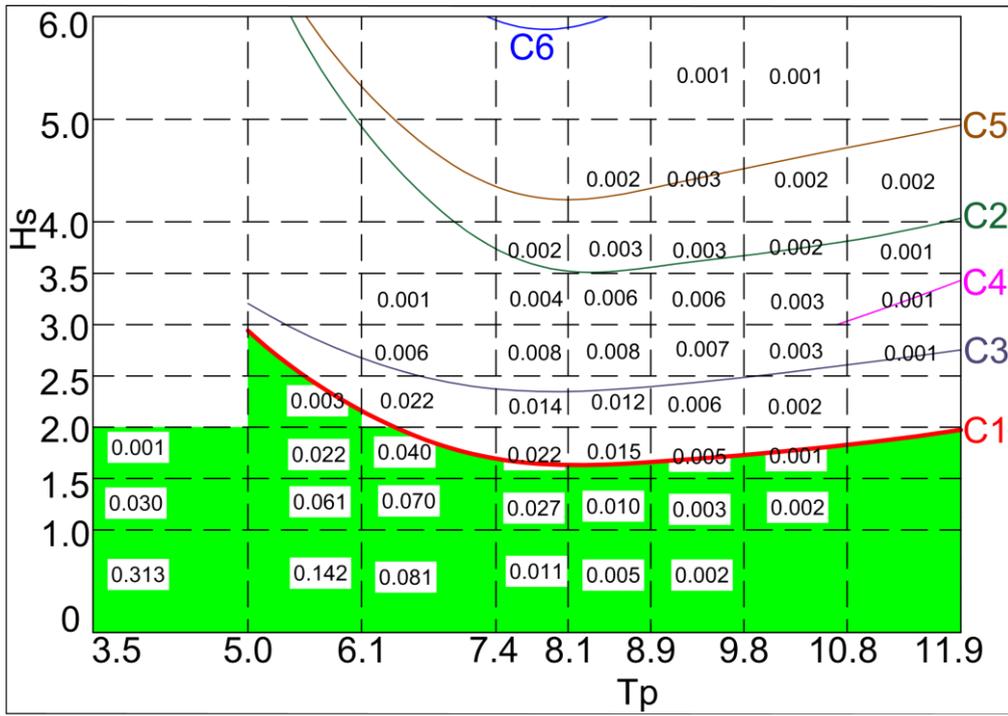
DDG-51







# TH

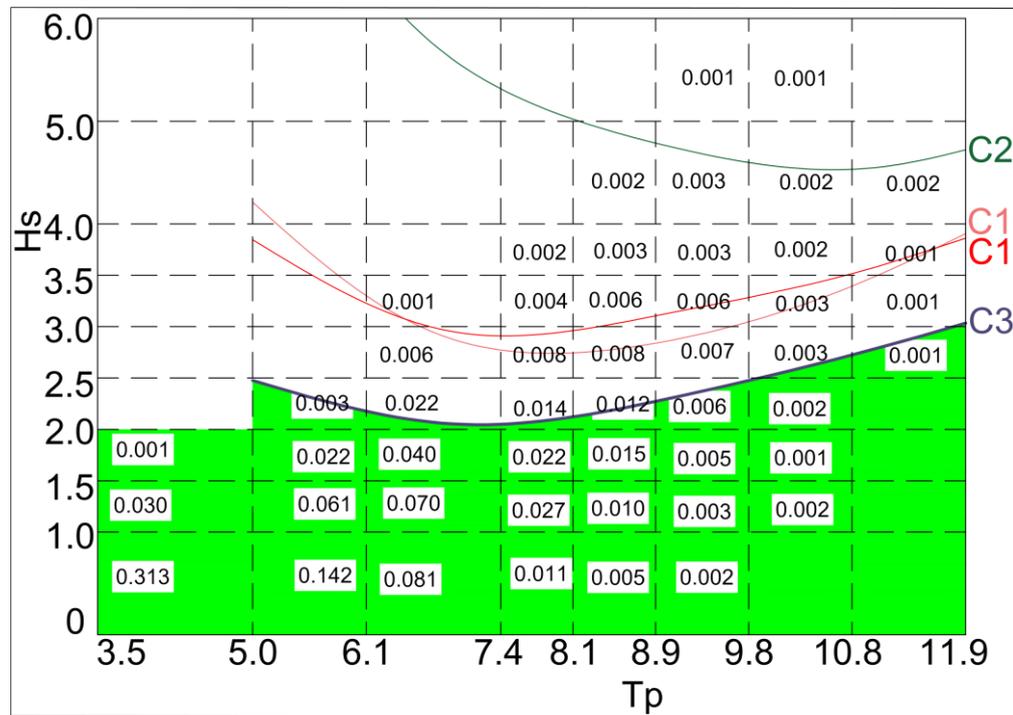


TAXYTHTA: 25 kn

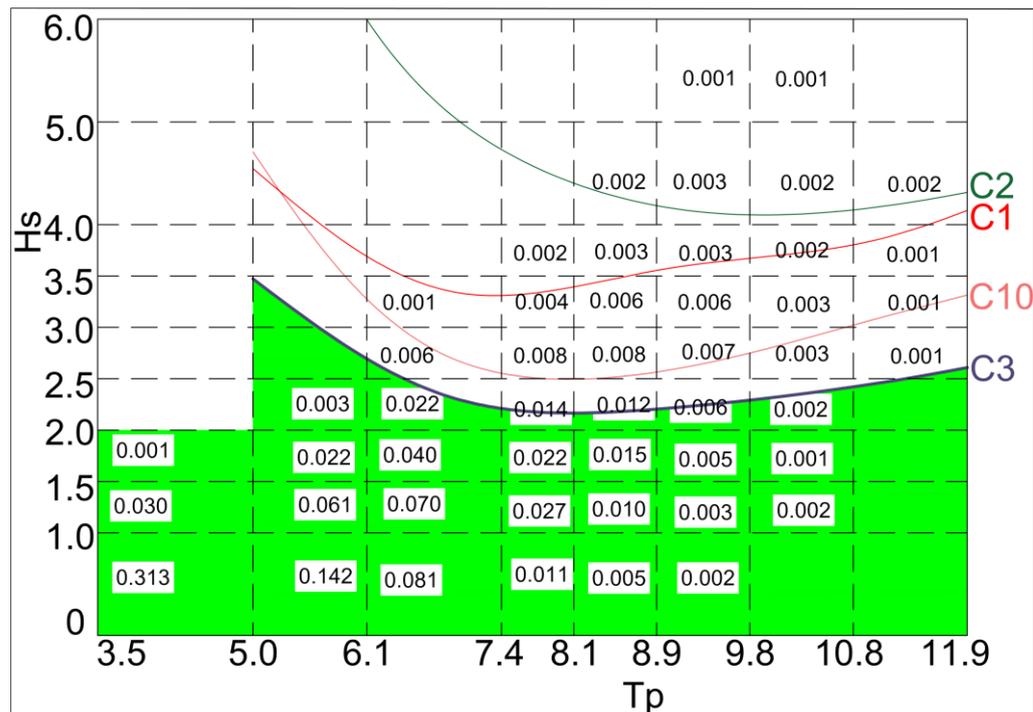
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 135°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 2

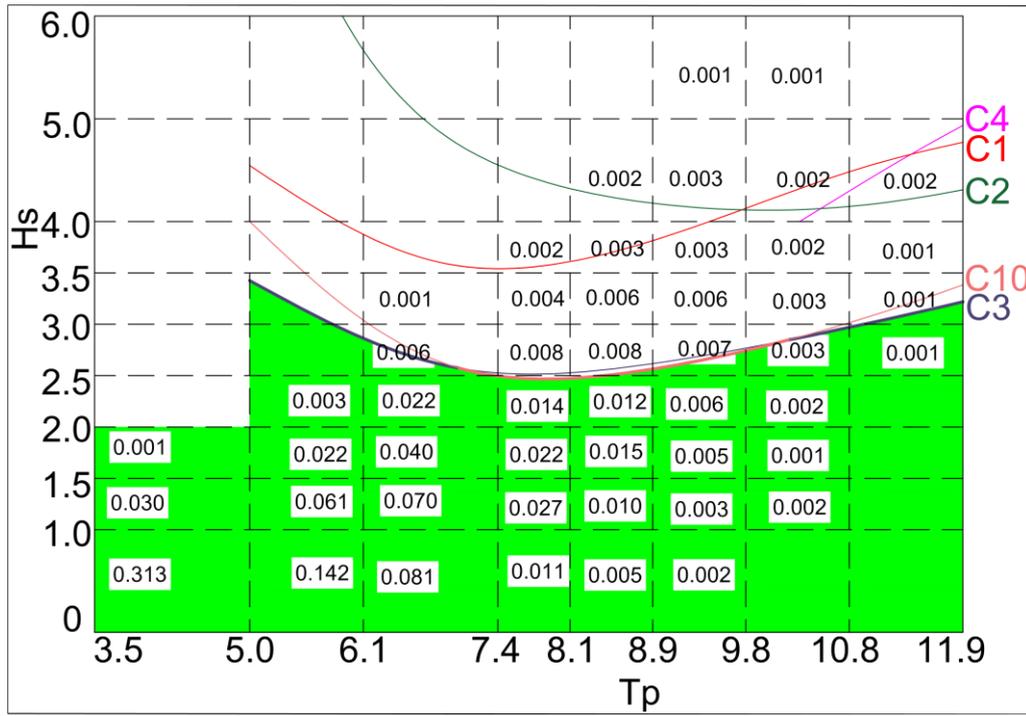
ΜΕΚΟ



DDG-51

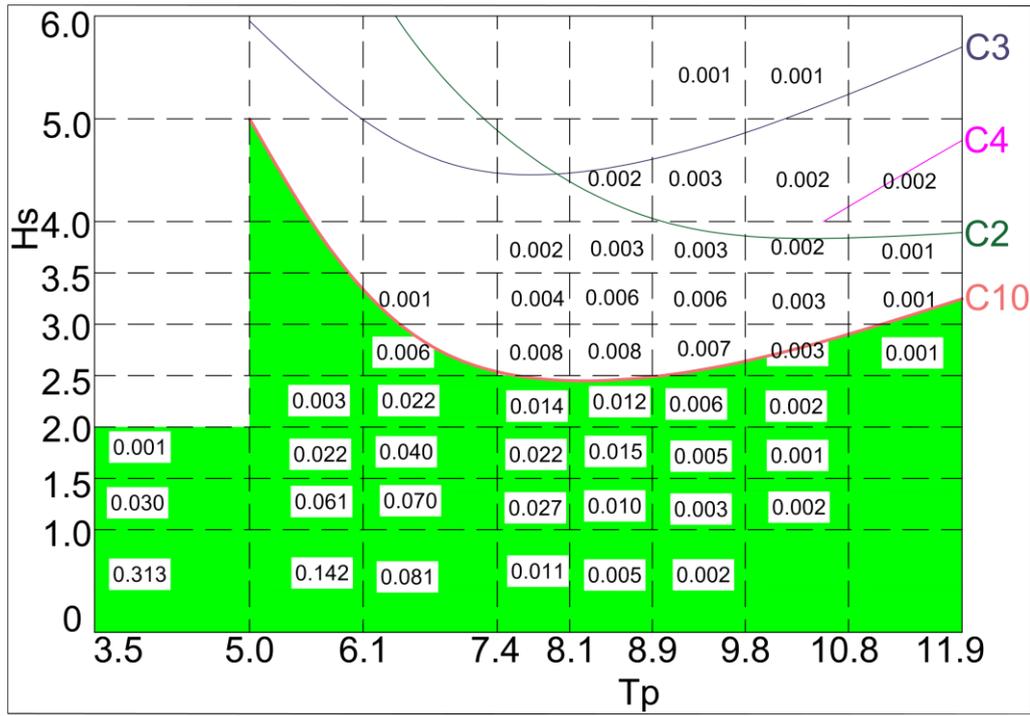


# TH





# TH

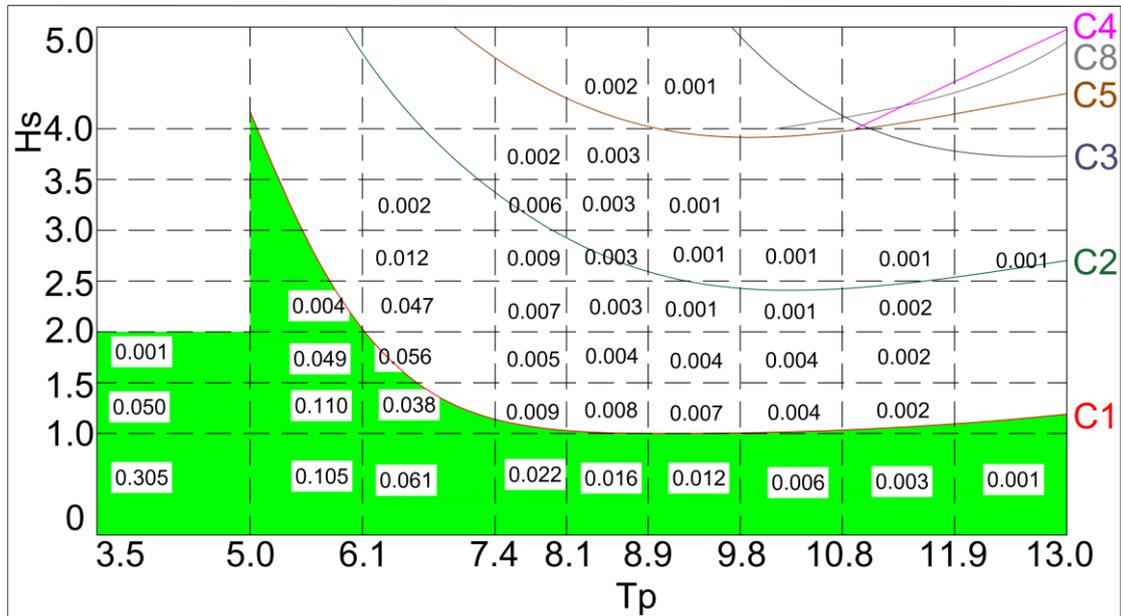


**ΤΑΧΥΤΗΤΑ: 15 kn**

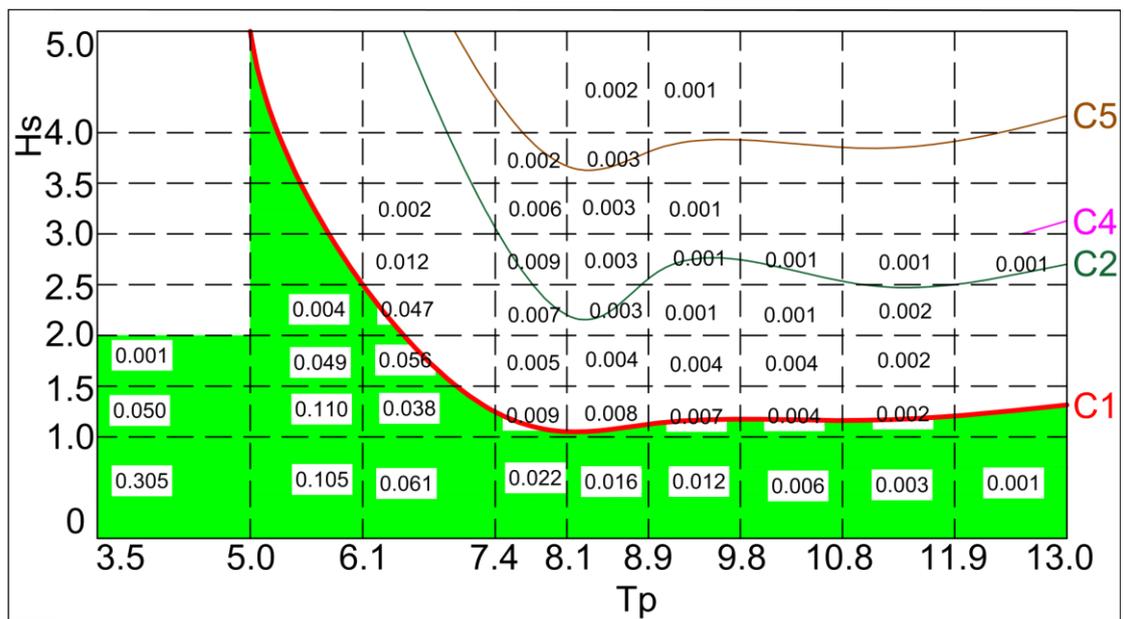
**ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 0°**

**ΠΕΡΙΟΧΗ: 3**

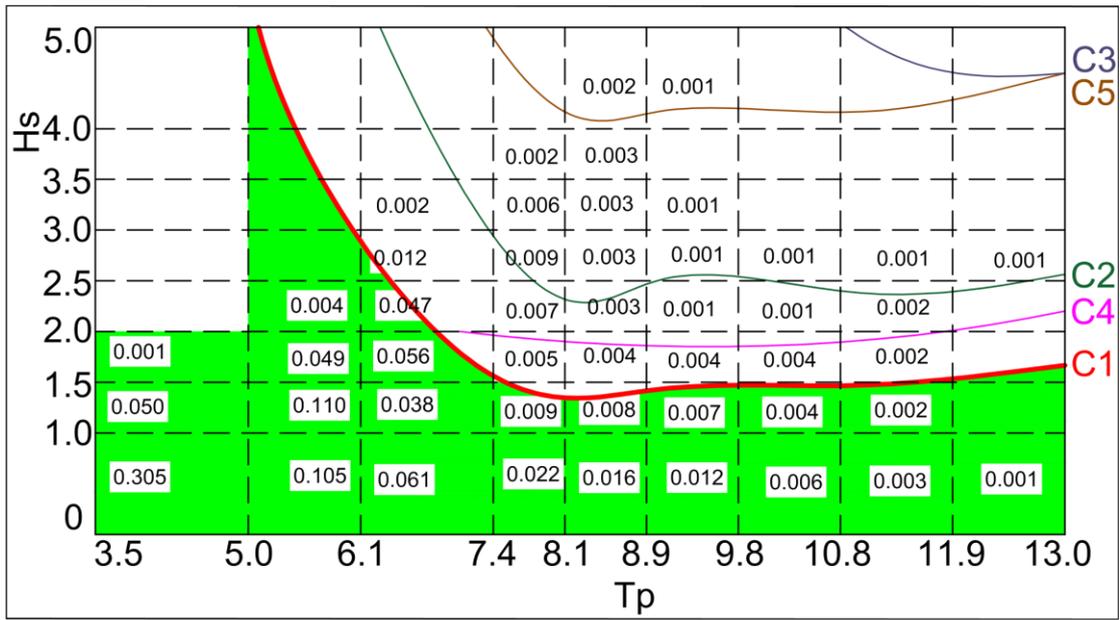
**ΜΕΚΟ**



**DDG-51**

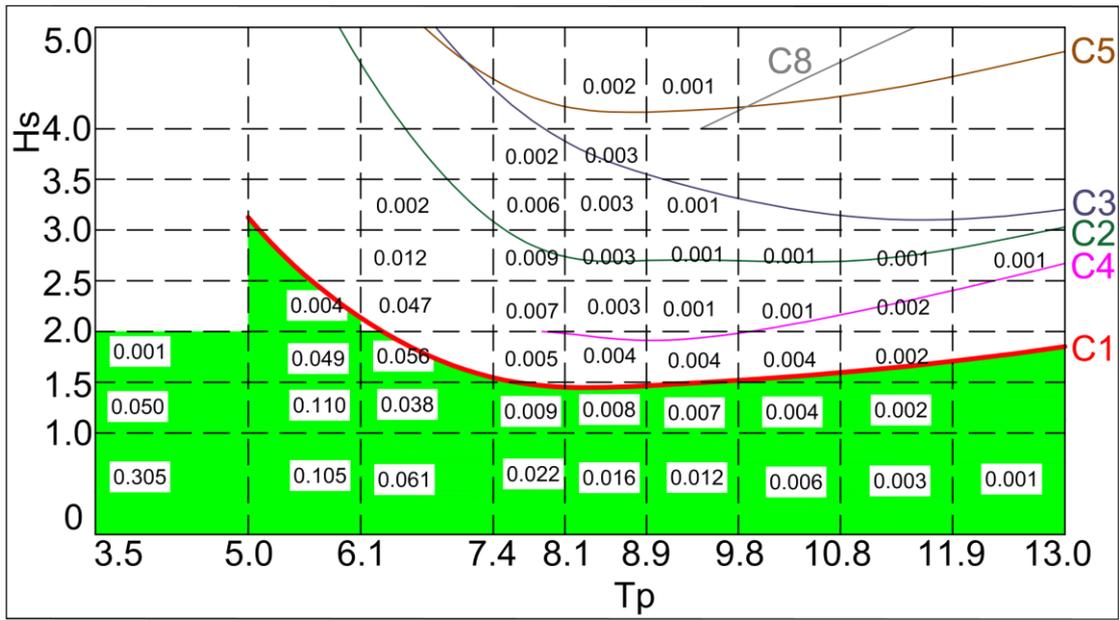


# TH





# TH

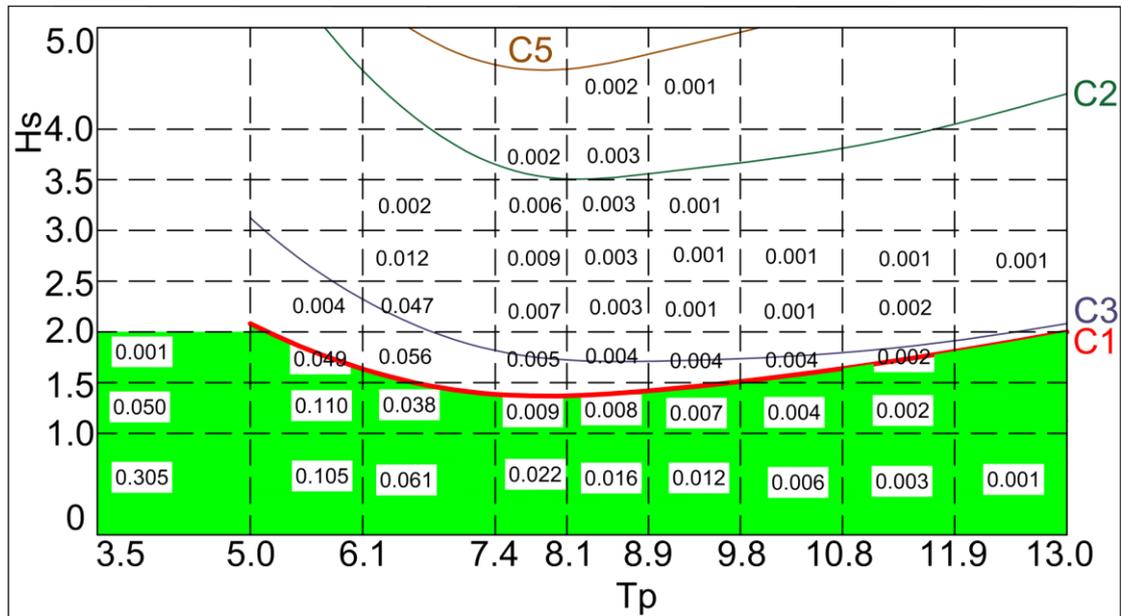


TAXYTHTA: 15 kn

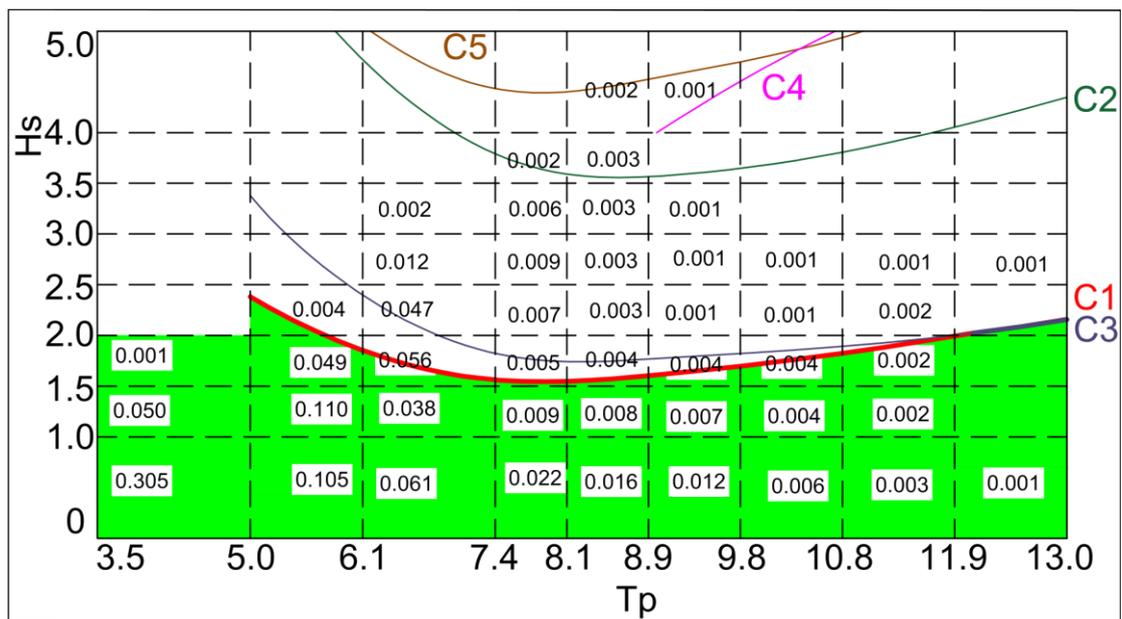
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 90°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 3

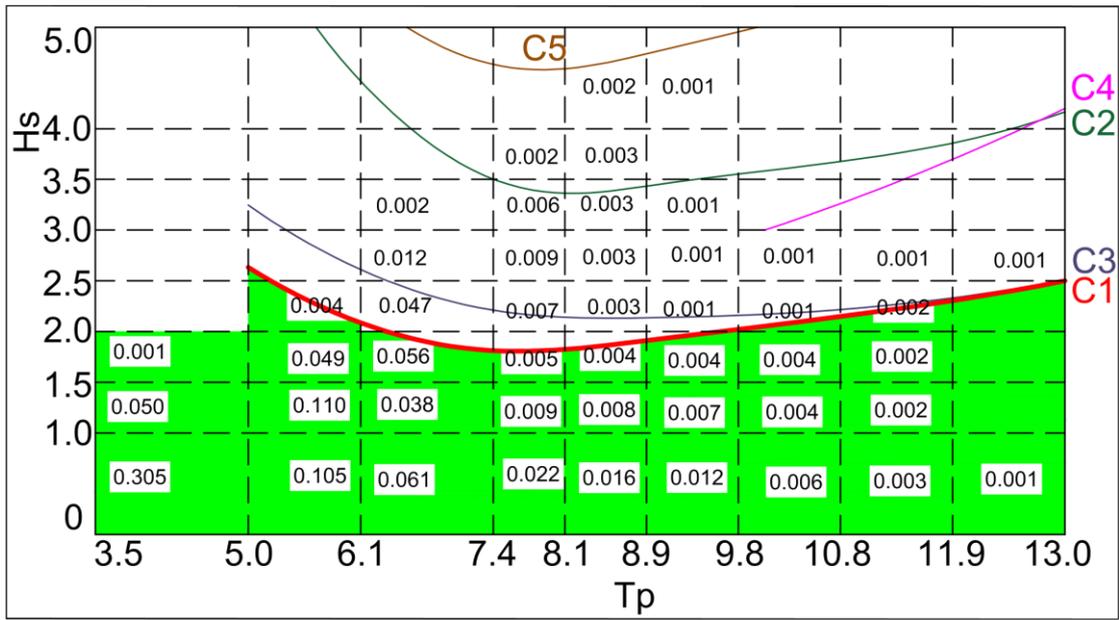
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

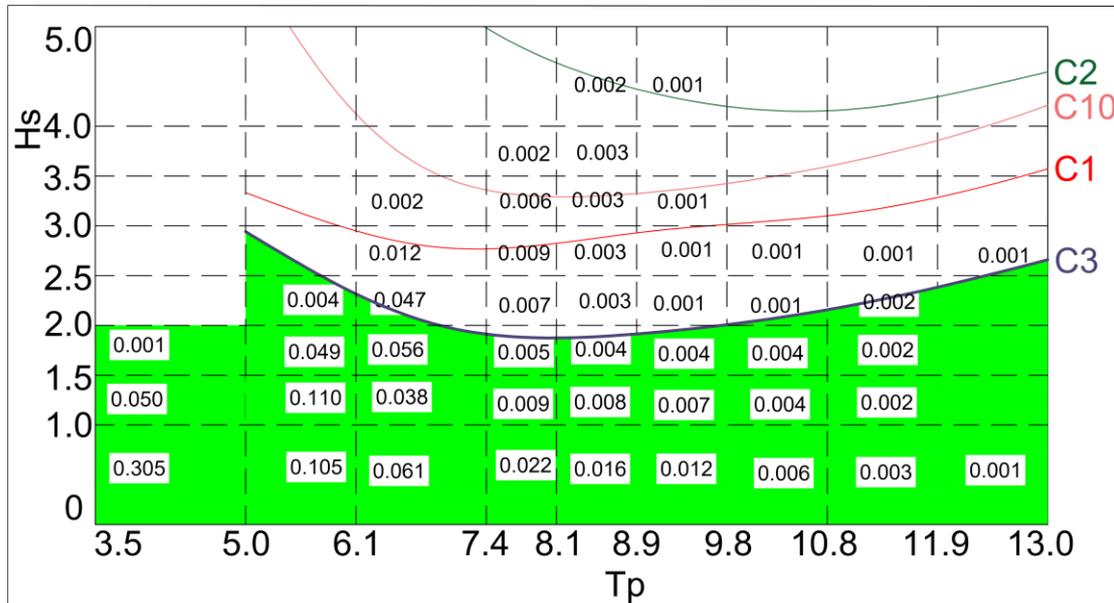


TAXYTHTA: 15 kn

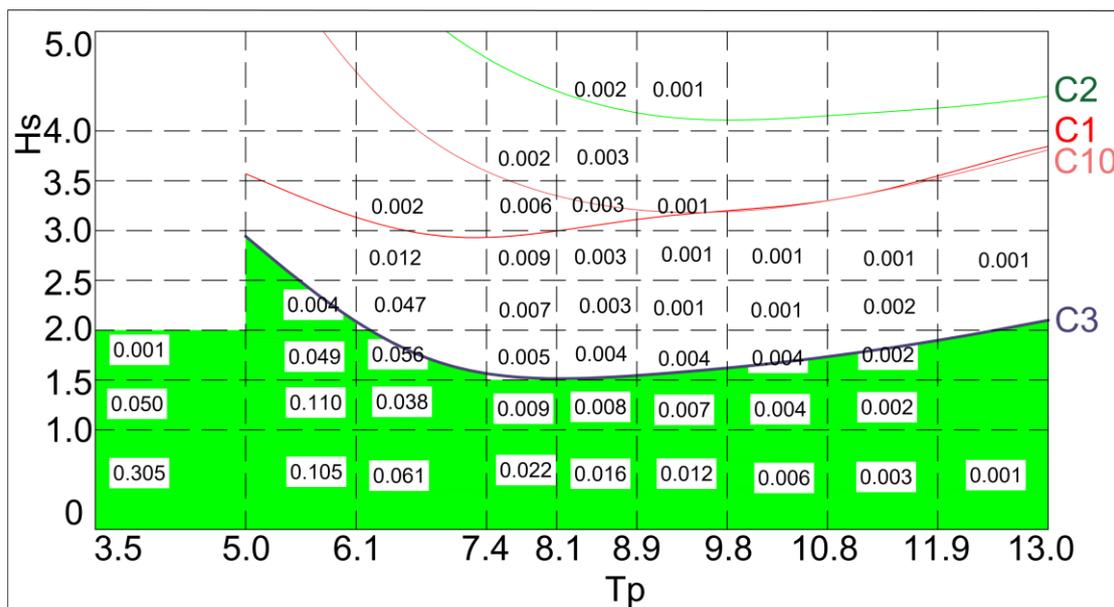
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 135°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 3

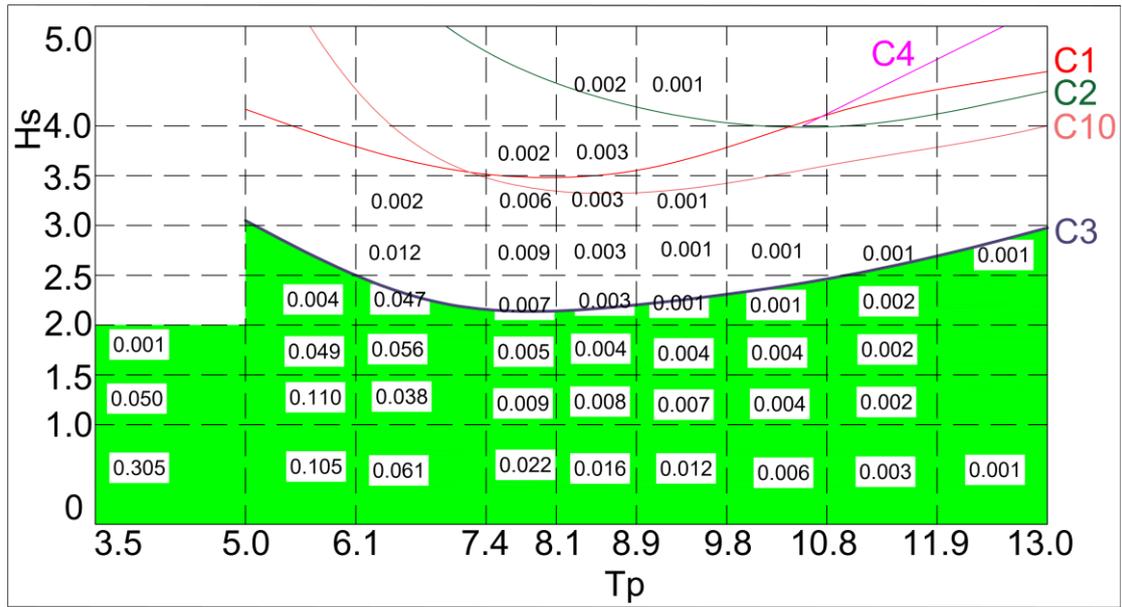
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

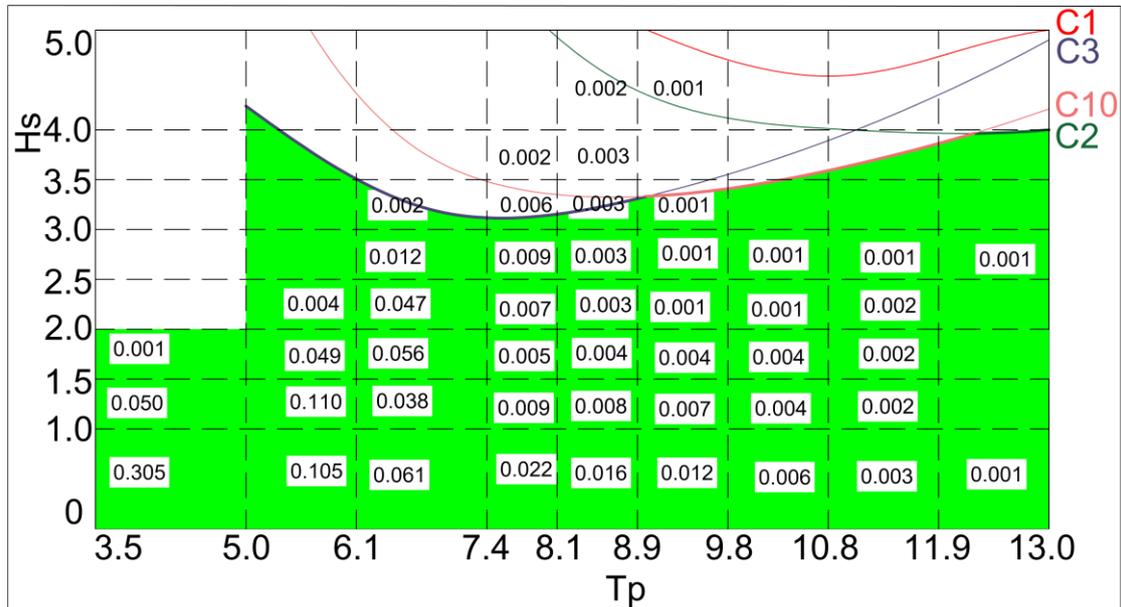


**TAXYTHTA: 15 kn**

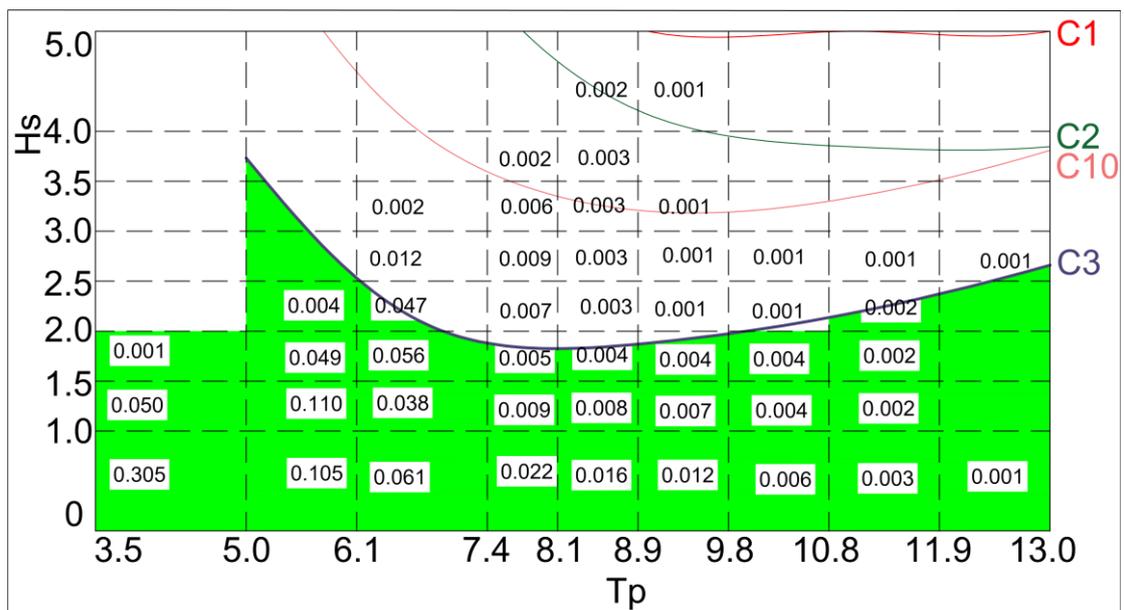
**ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 180°**

**ΠΕΡΙΟΧΗ: 3**

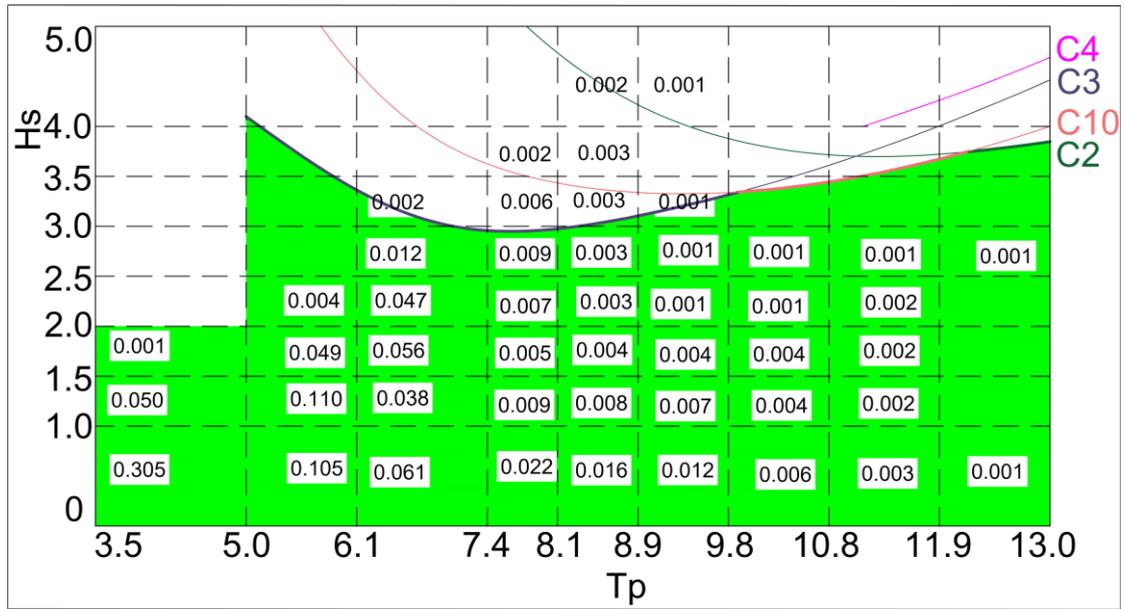
**ΜΕΚΟ**



**DDG-51**

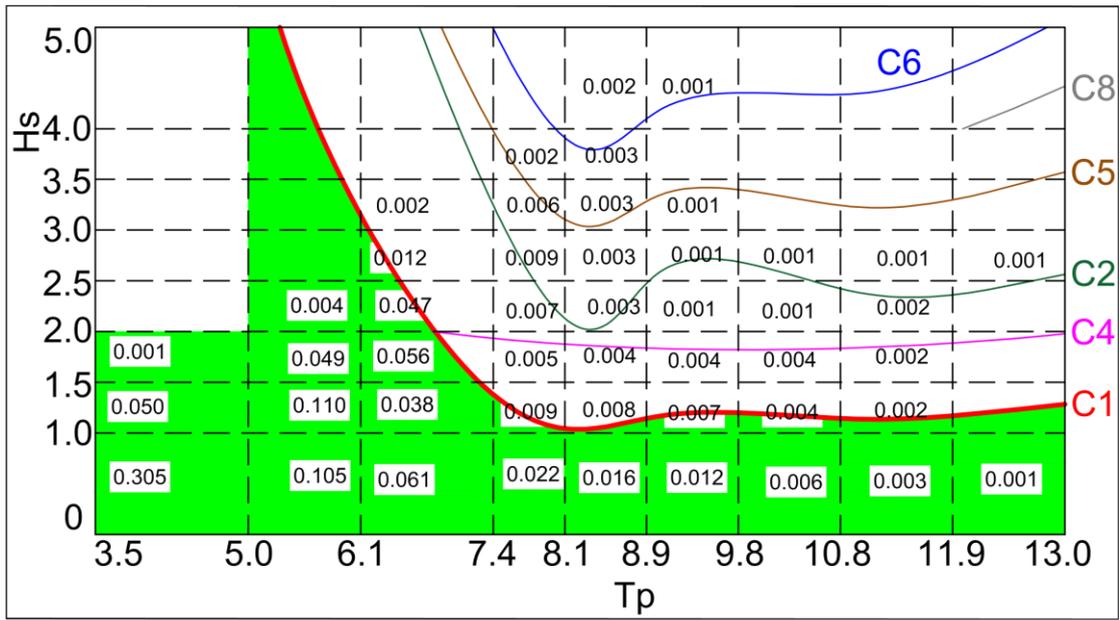


# TH



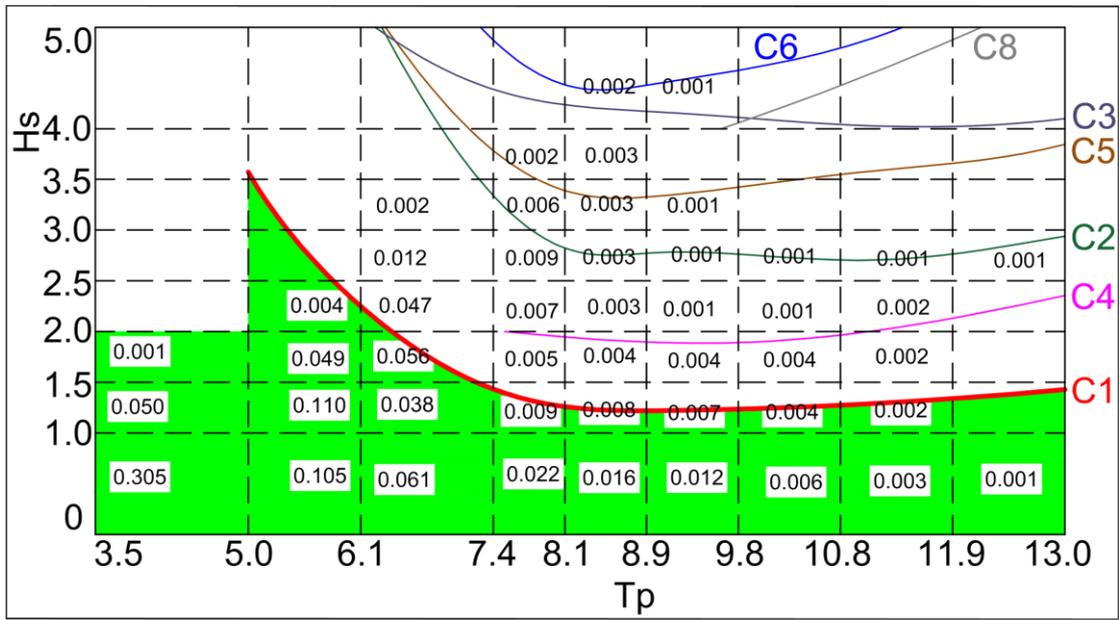


# TH





# TH

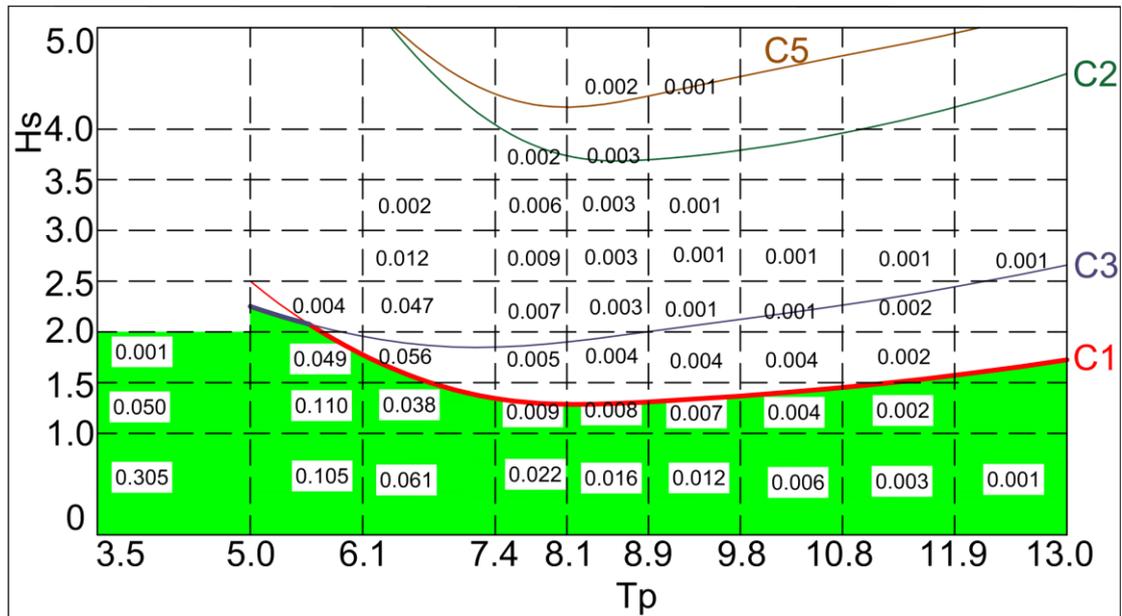


TAXYTHTA: 25 kn

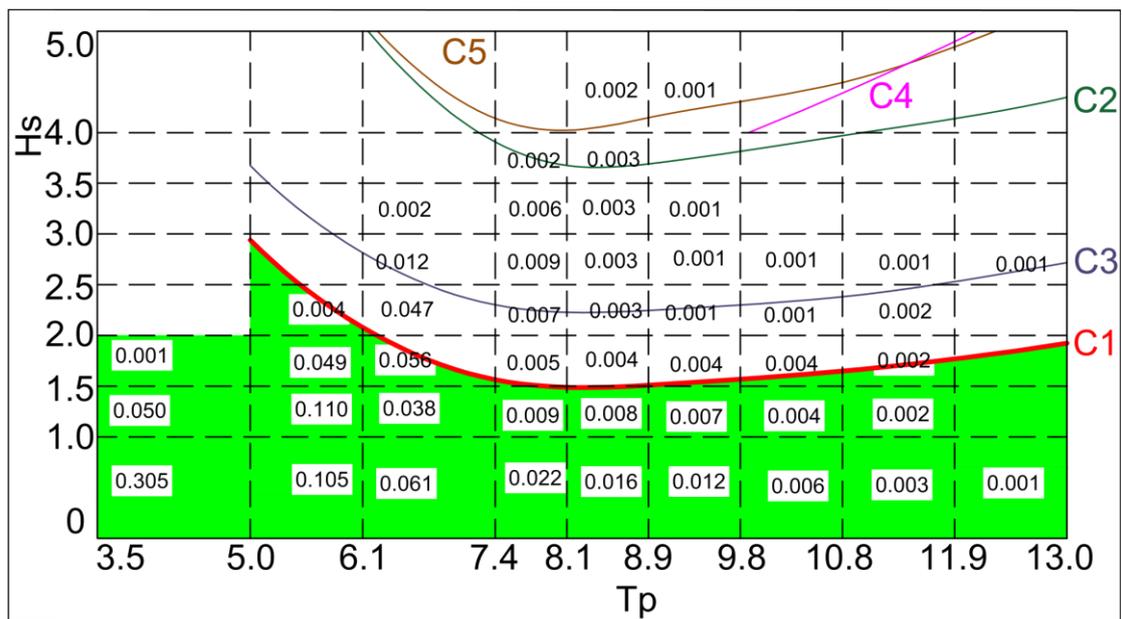
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 90°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 3

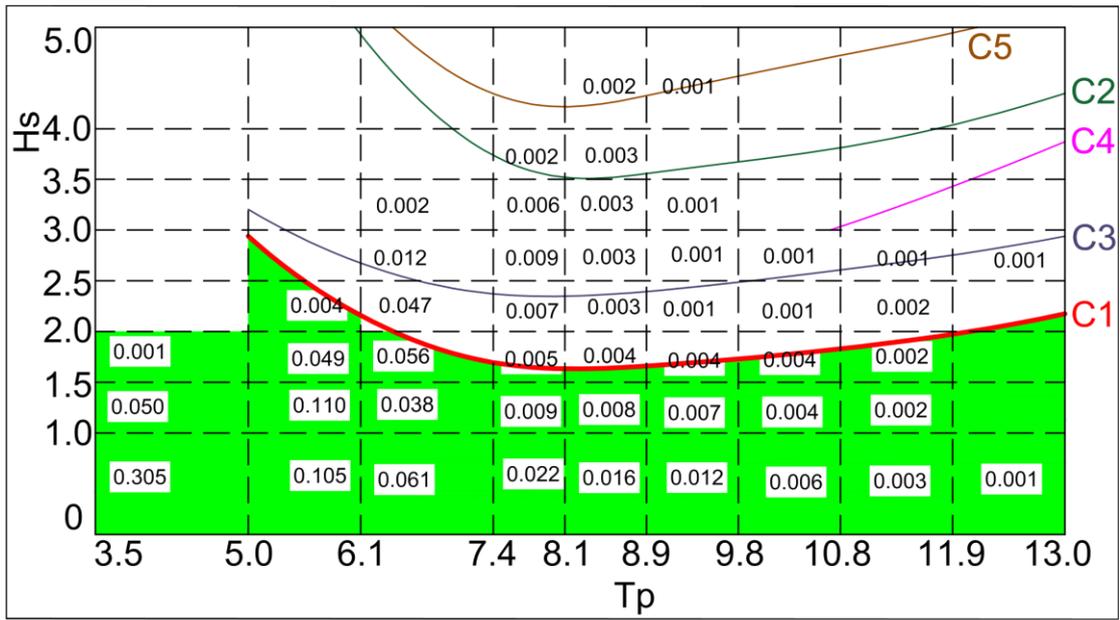
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

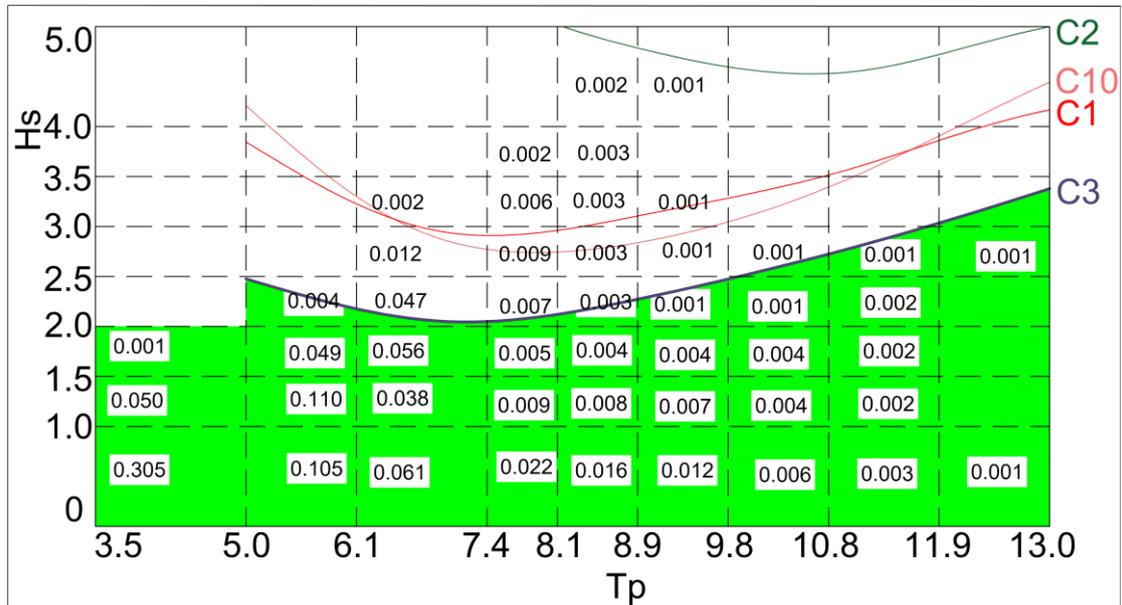


TAXYTHTA: 25 kn

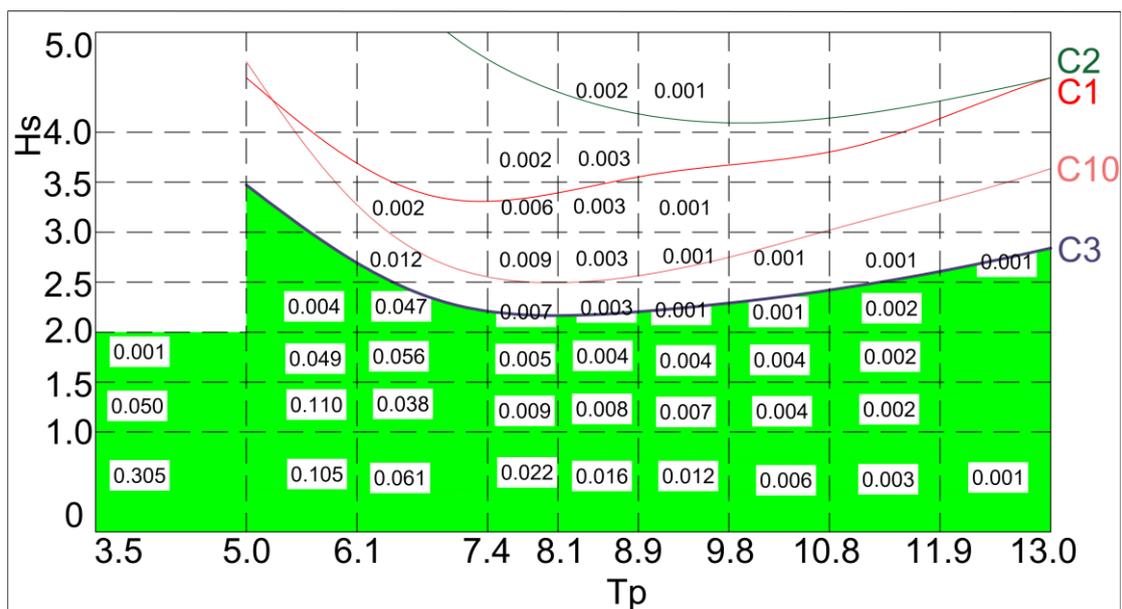
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 135°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 3

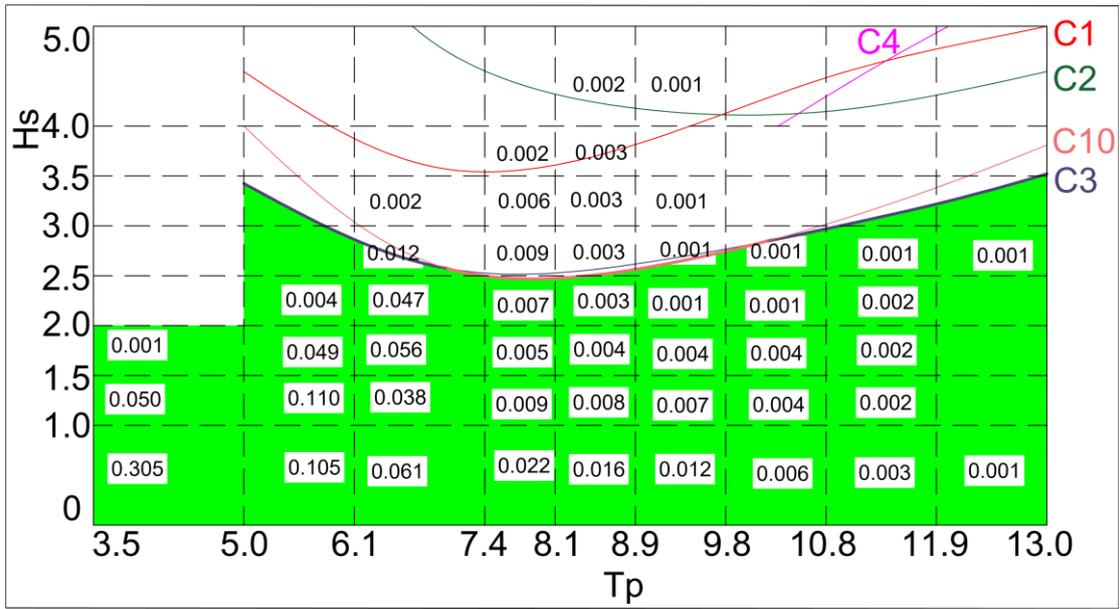
ΜΕΚΟ



DDG-51

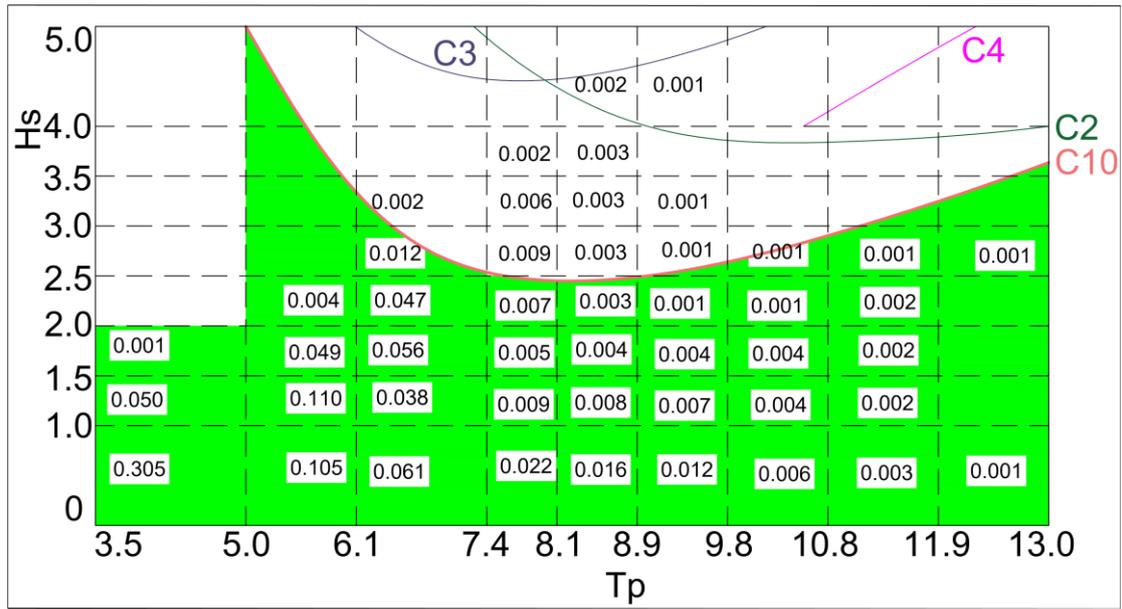


# TH





# TH

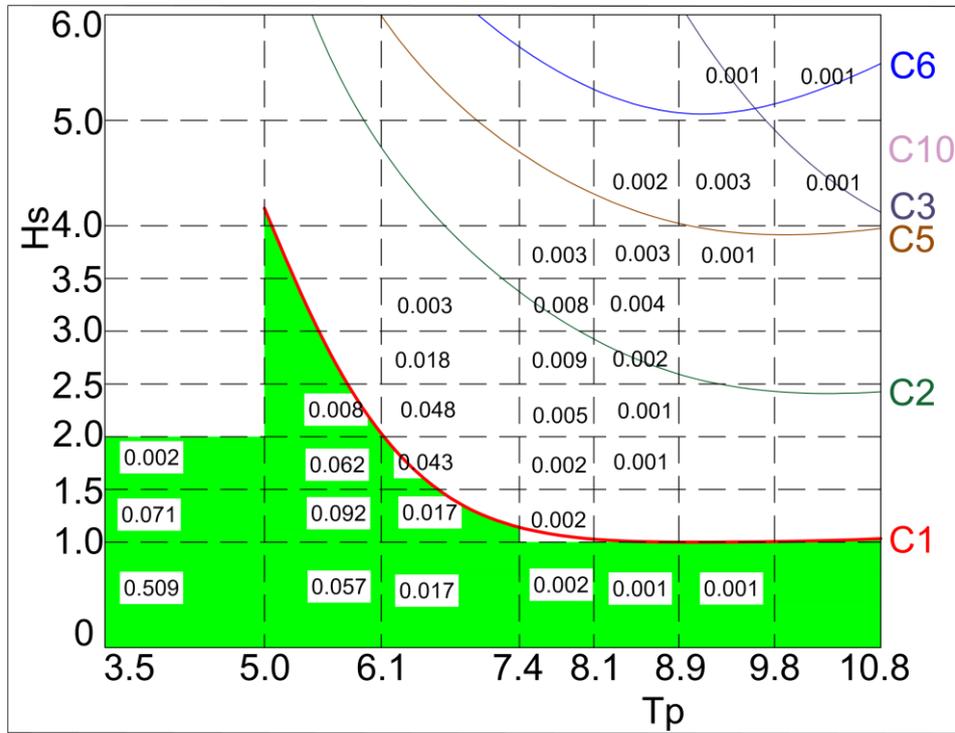


**TAXYTHTA: 15 kn**

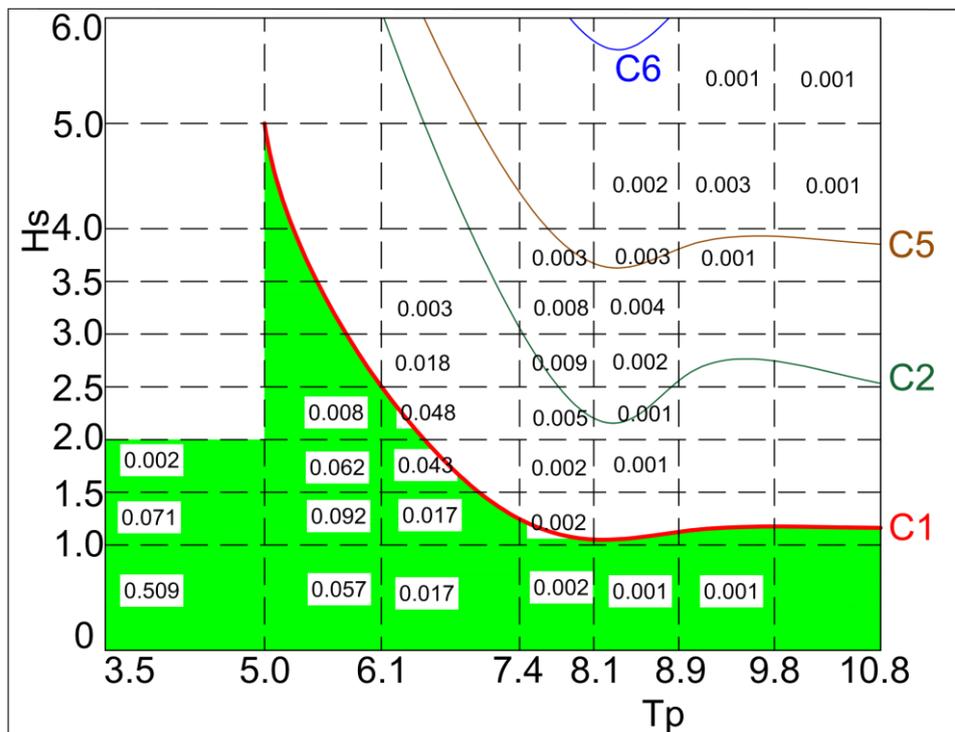
**ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 0°**

**ΠΕΡΙΟΧΗ: 4**

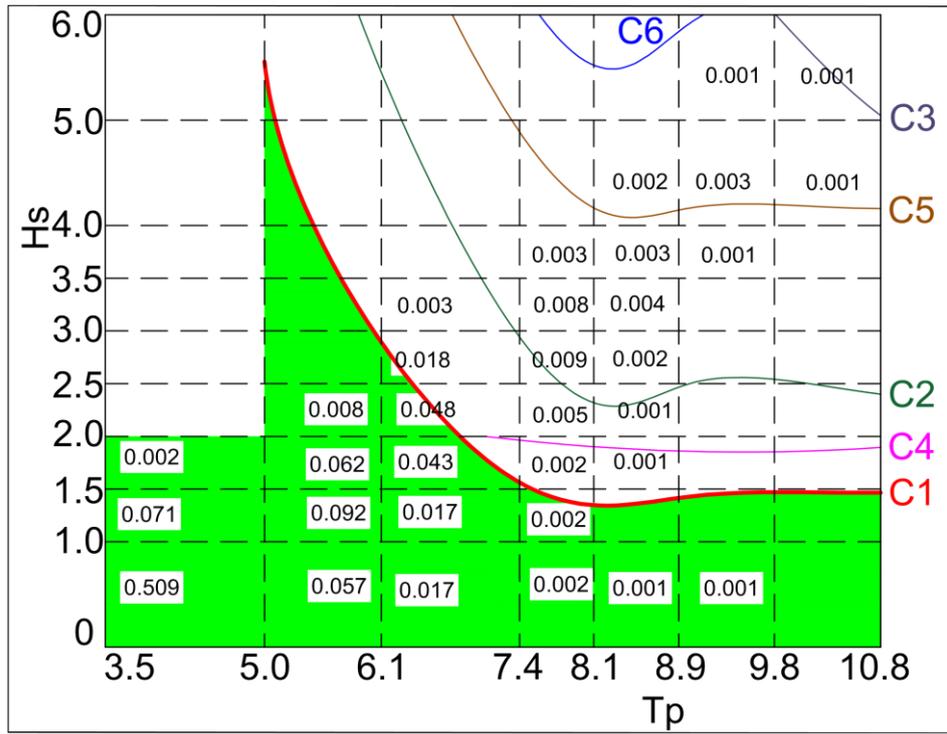
**ΜΕΚΟ**



**DDG-51**



# TH

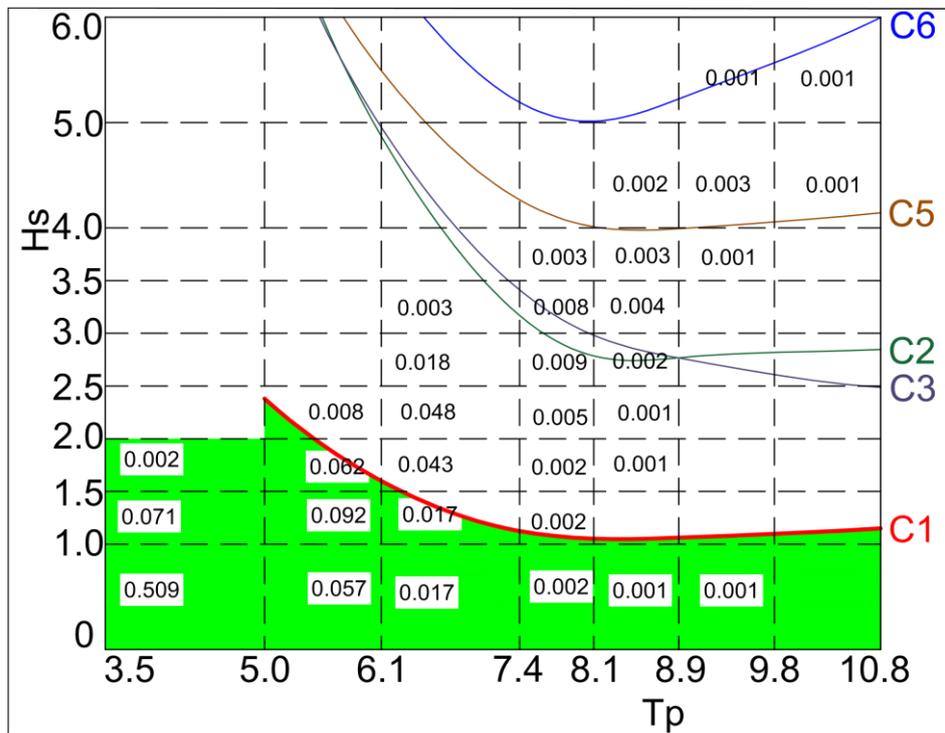


TAXYTHTA: 15 kn

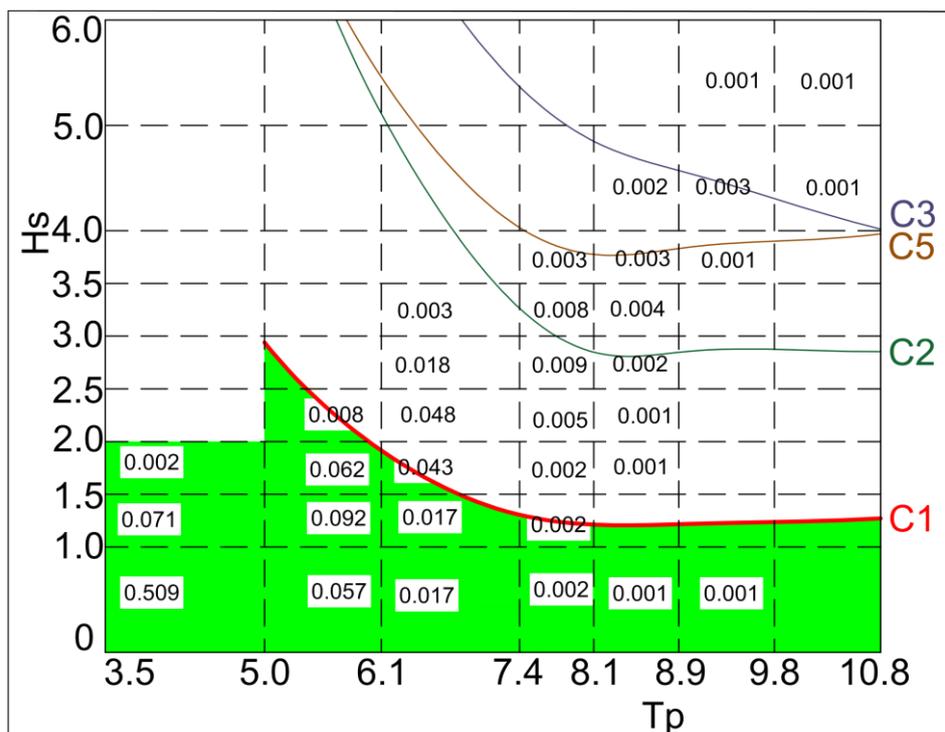
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 45°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 4

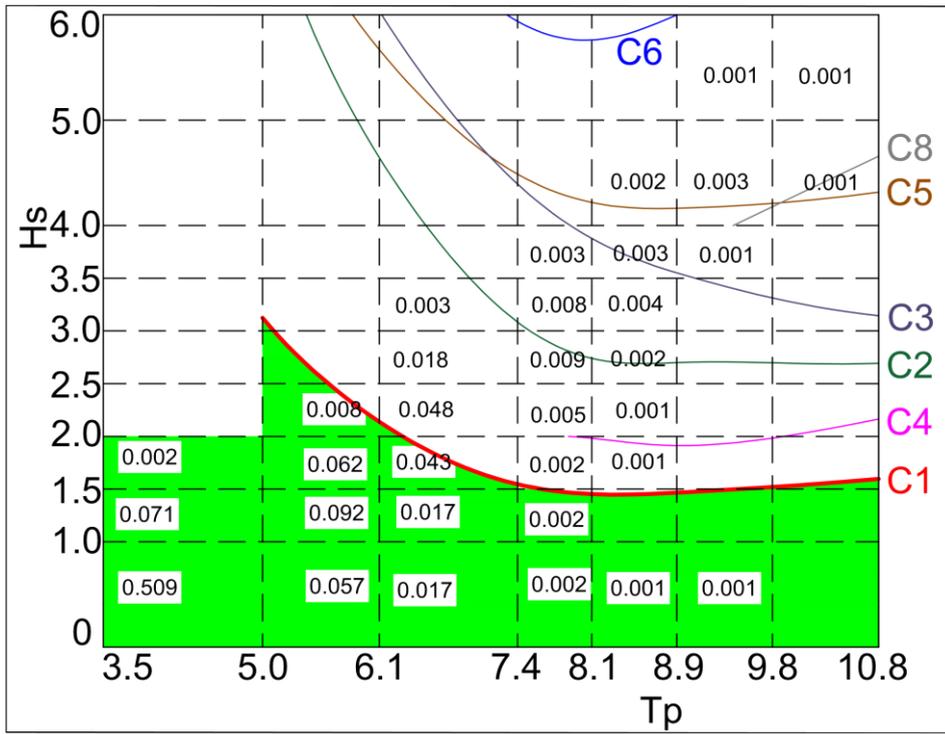
### ΜΕΚΟ



### DDG-51



# TH





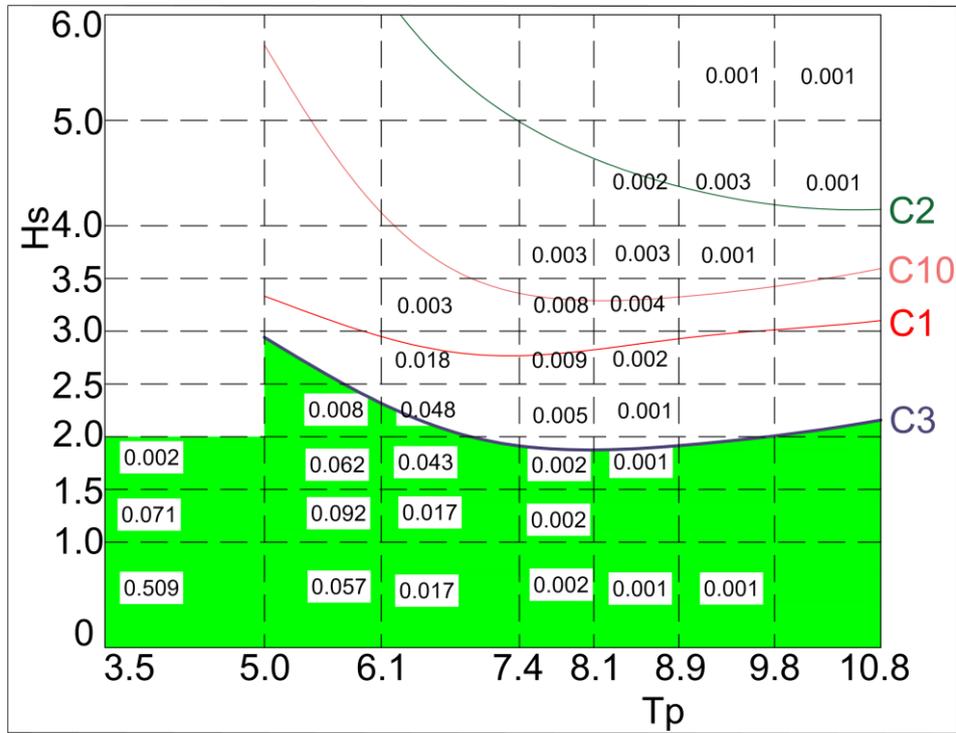


TAXYTHTA: 15 kn

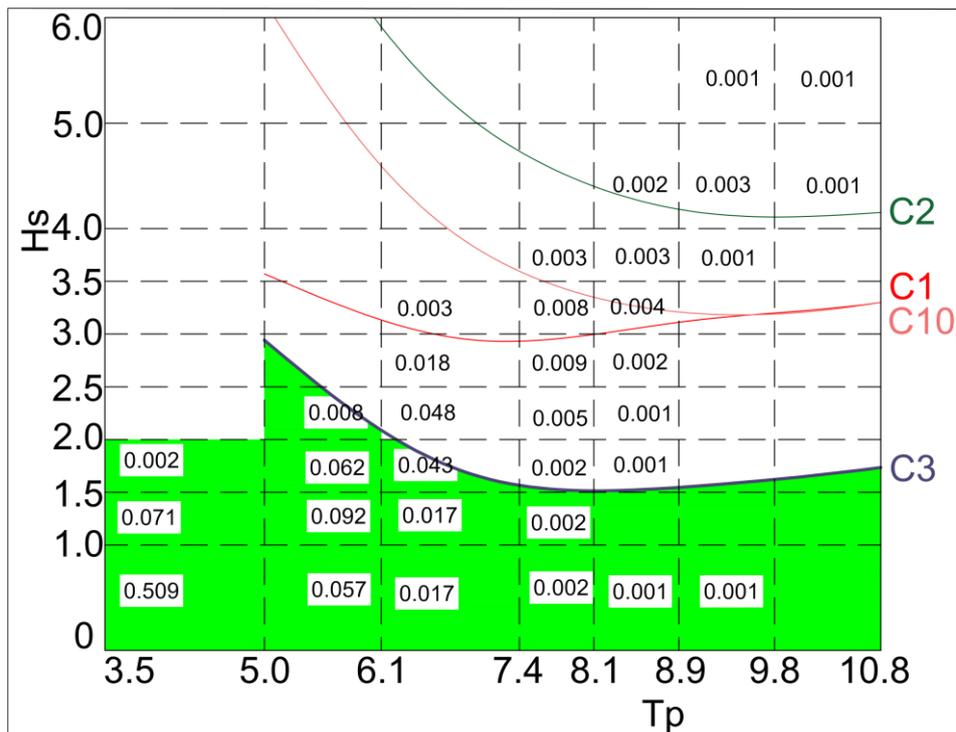
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 135°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 4

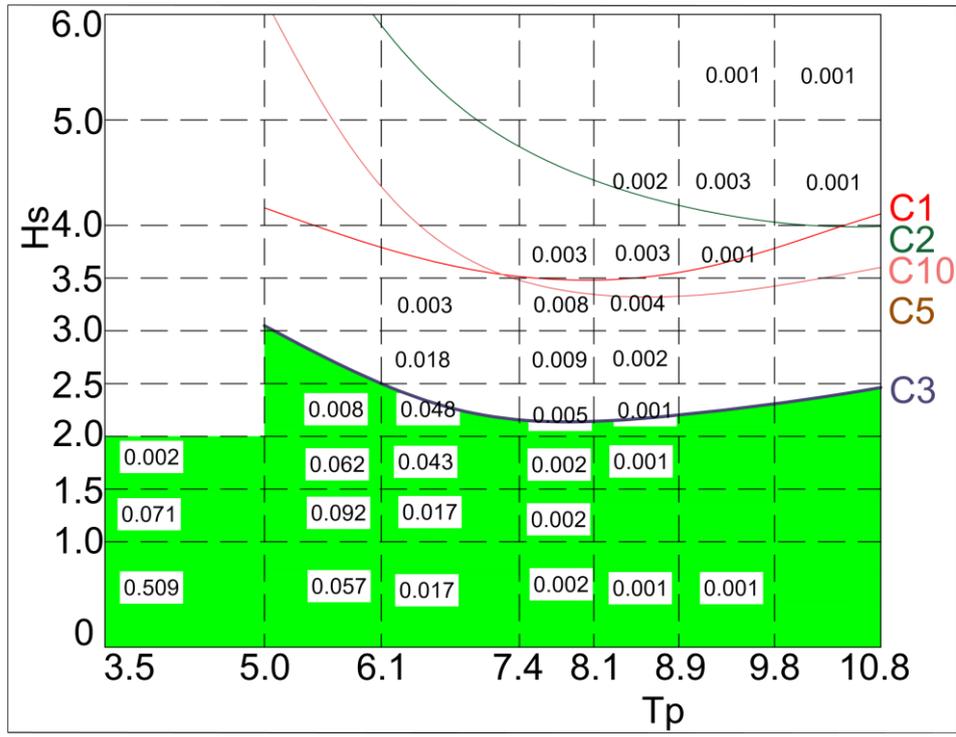
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

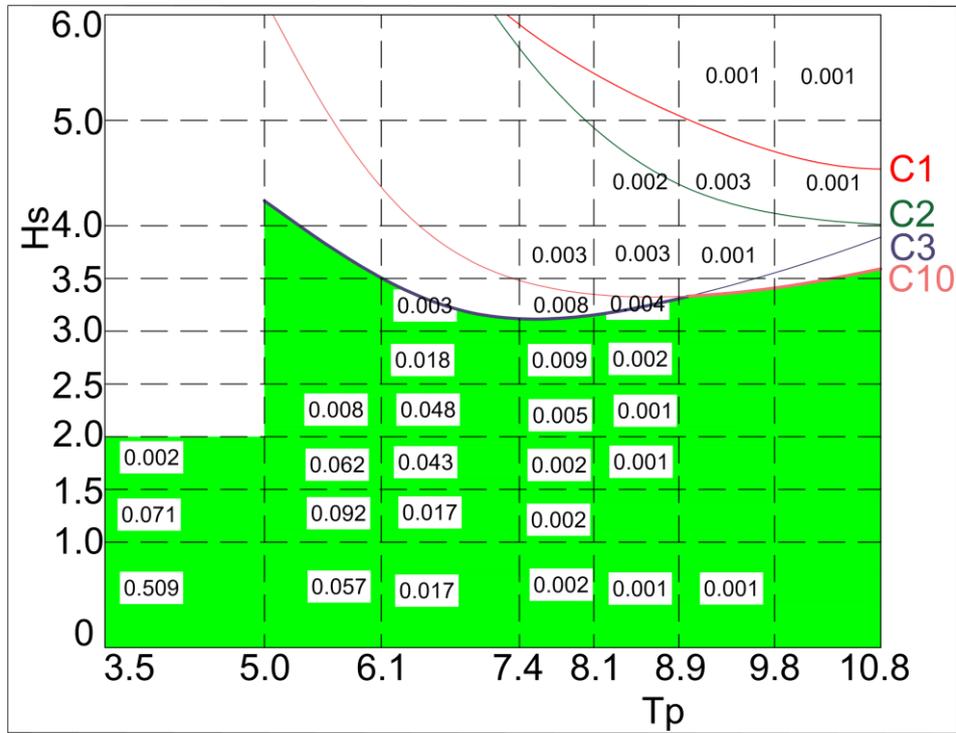


TAXYTHTA: 15 kn

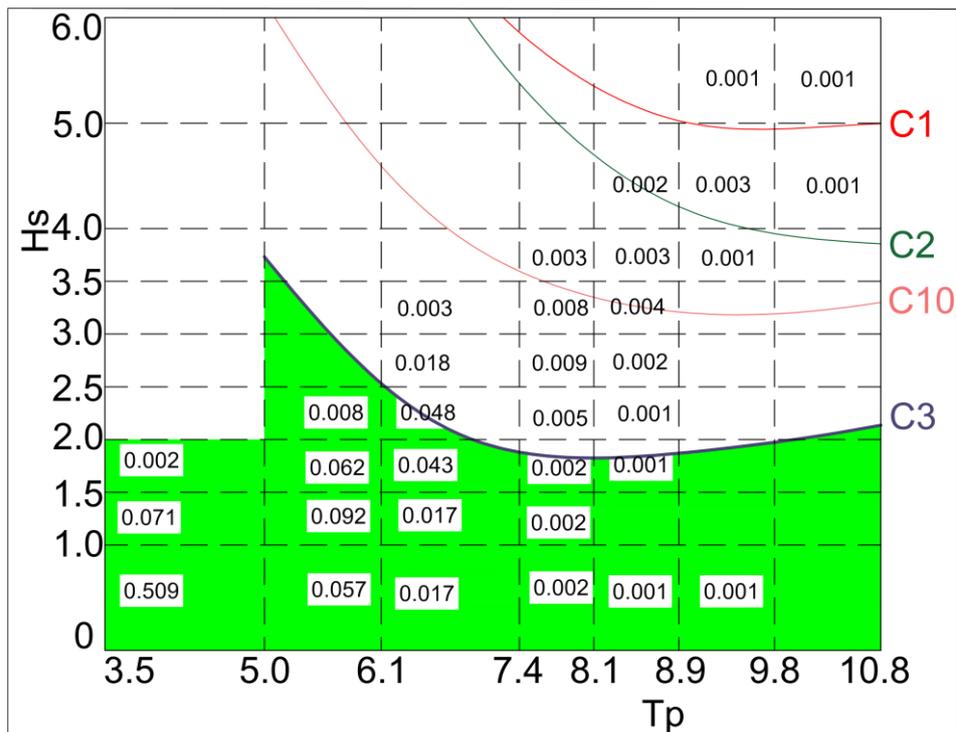
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 180°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 4

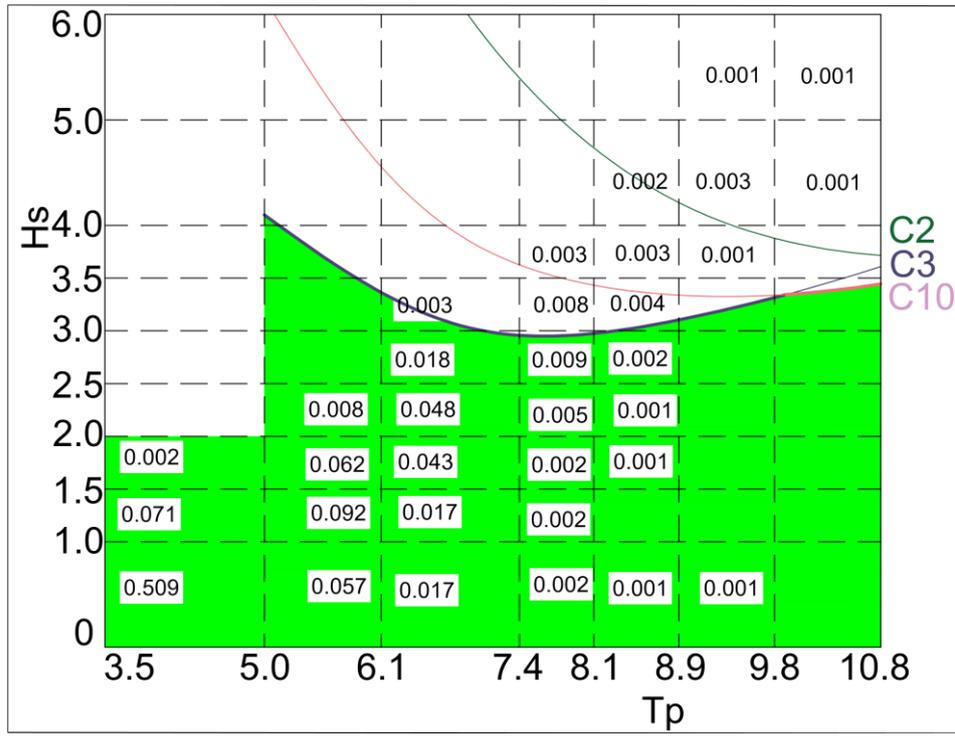
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

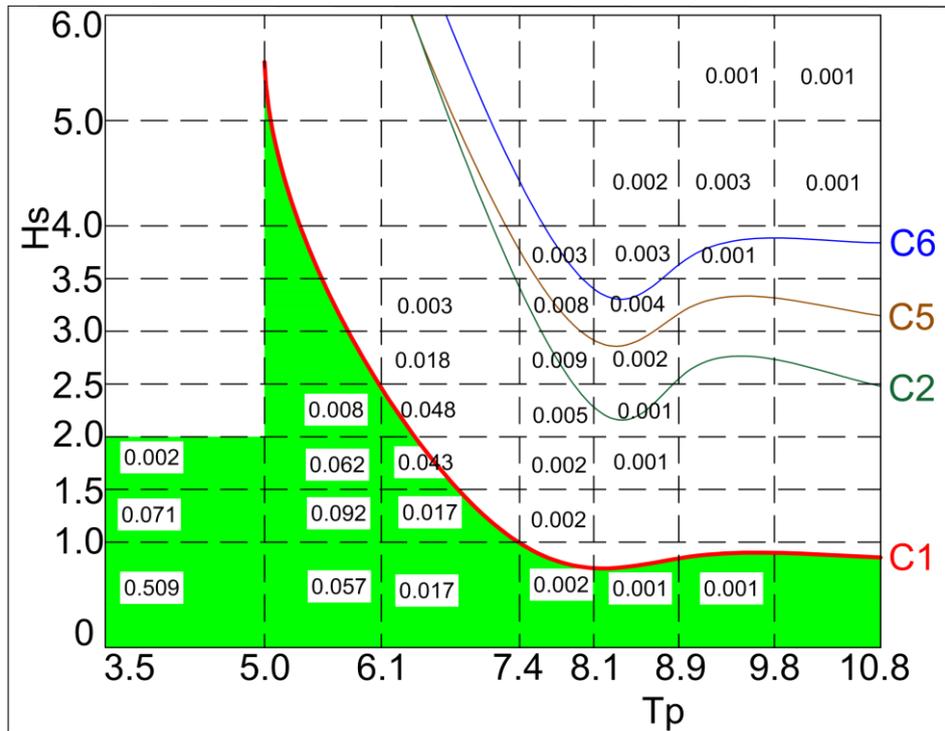


TAXYTHTA: 25 kn

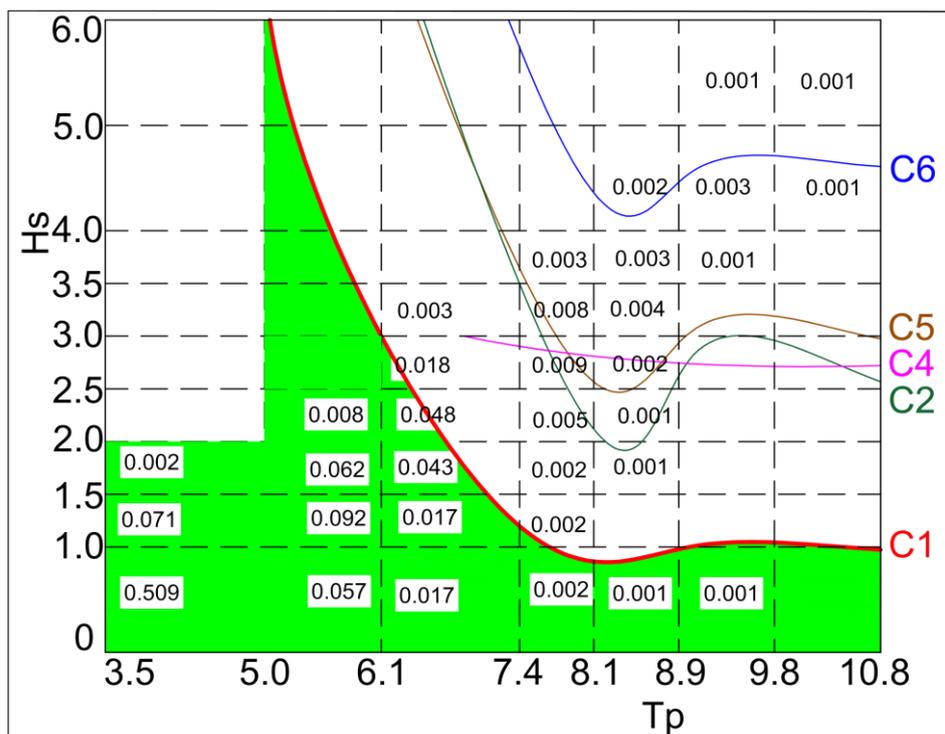
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 0°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 4

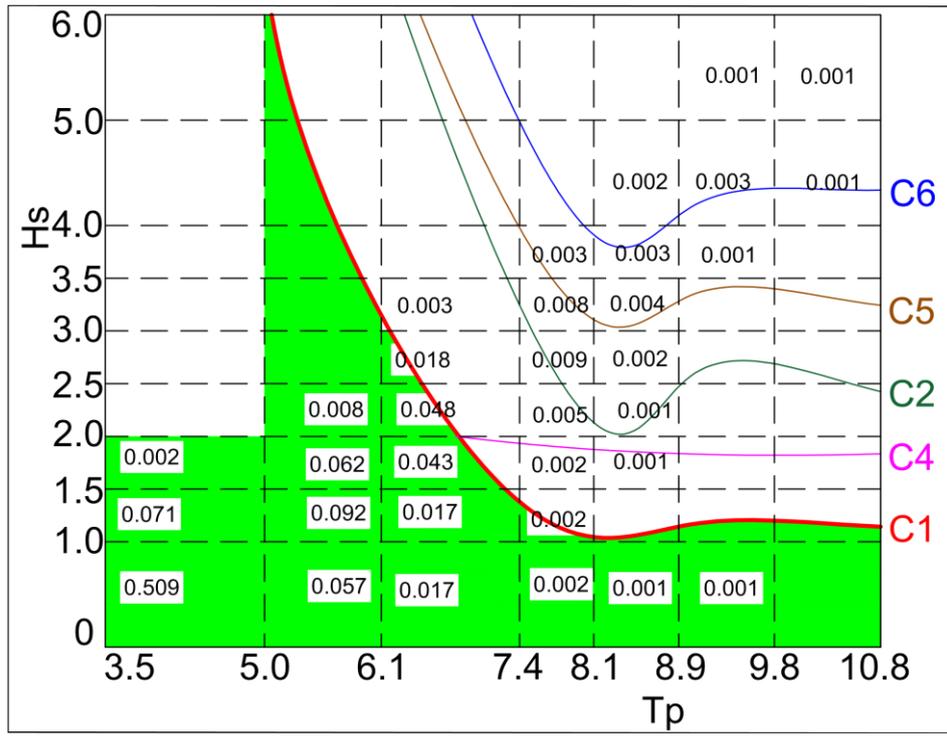
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

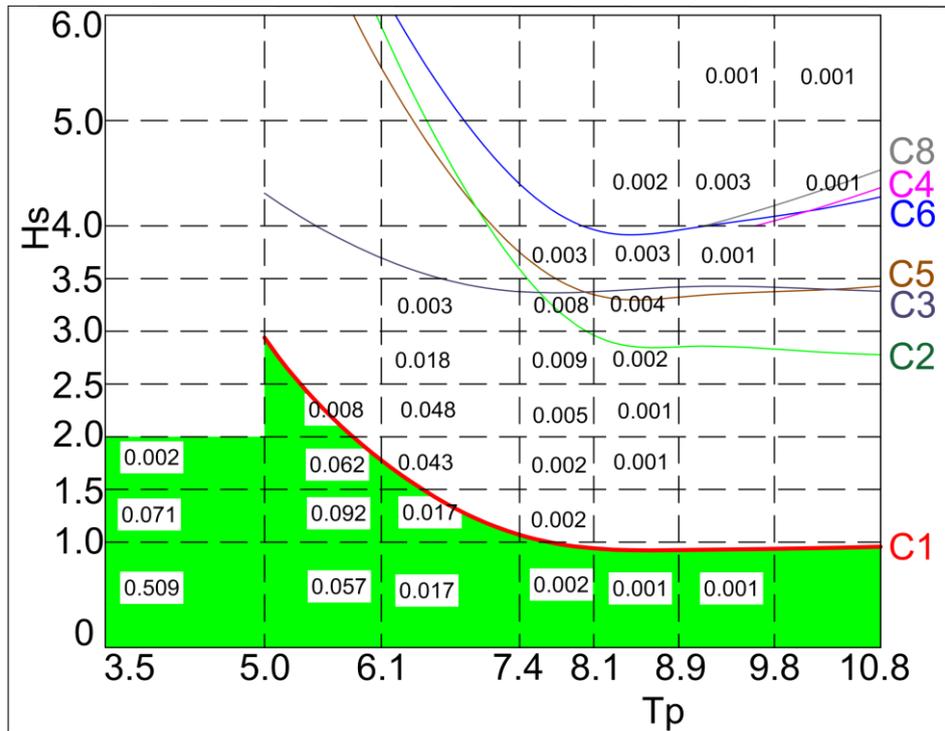


TAXYTHTA: 25 kn

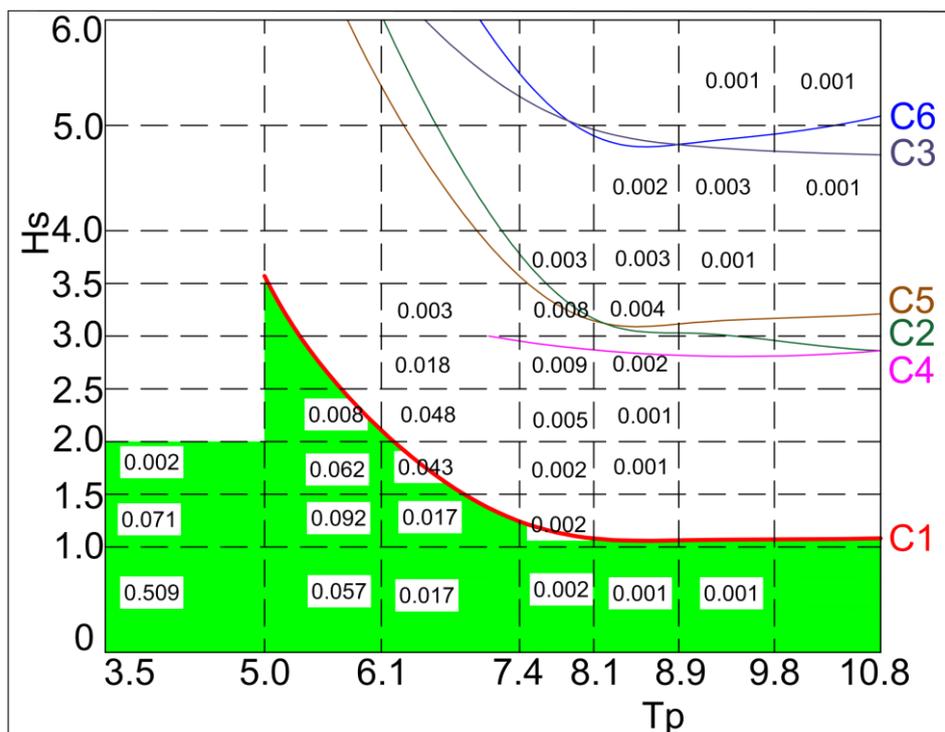
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 45°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 4

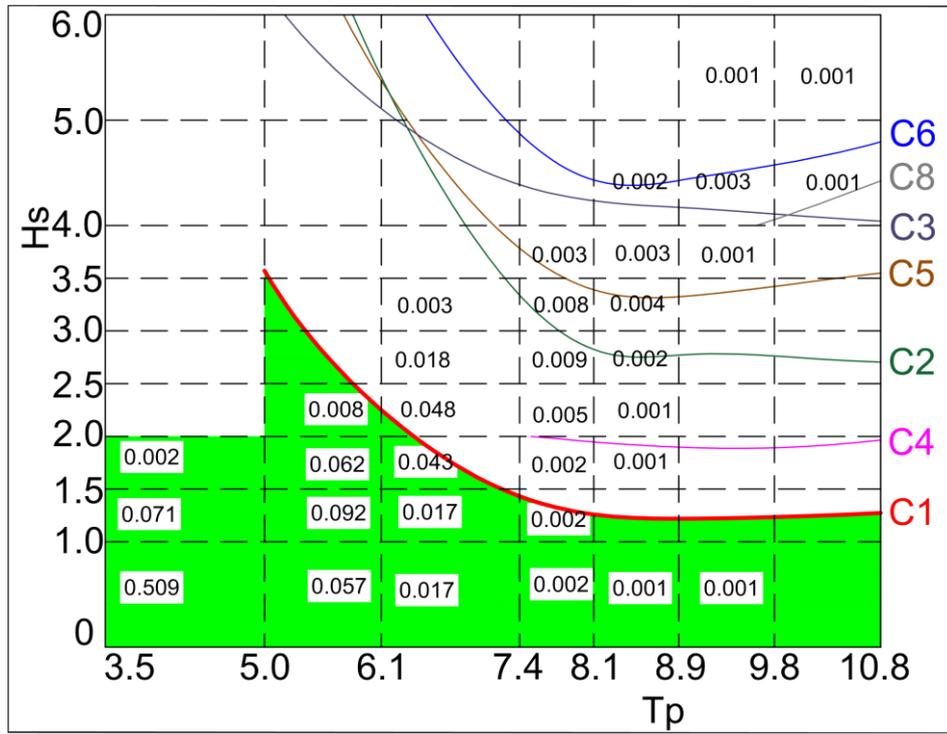
### ΜΕΚΟ



### DDG-51



# TH

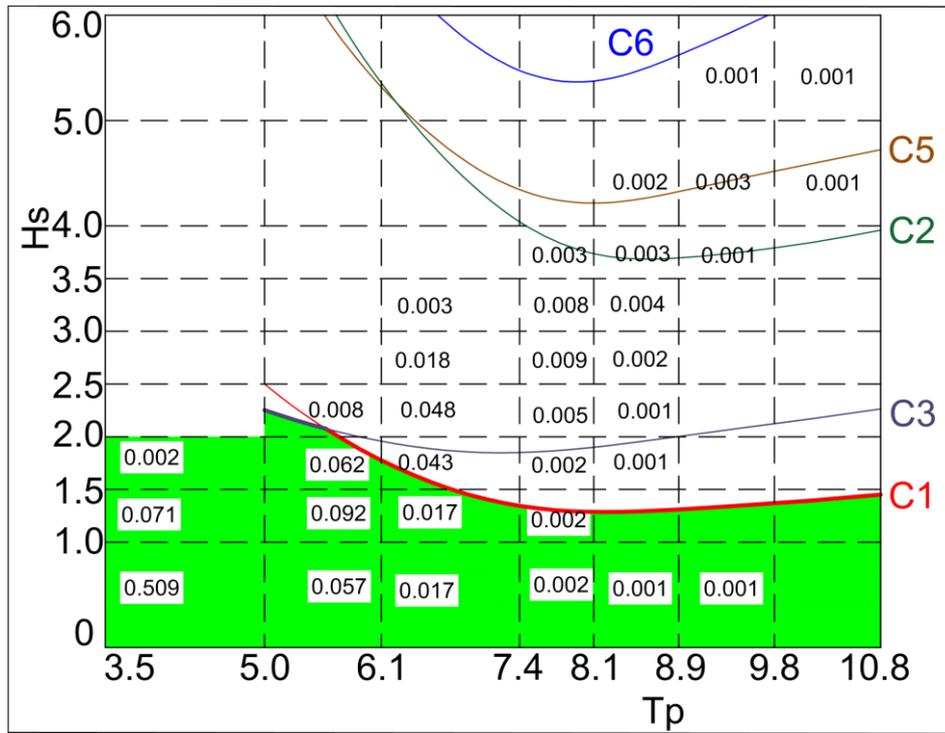


TAXYTHTA: 25 kn

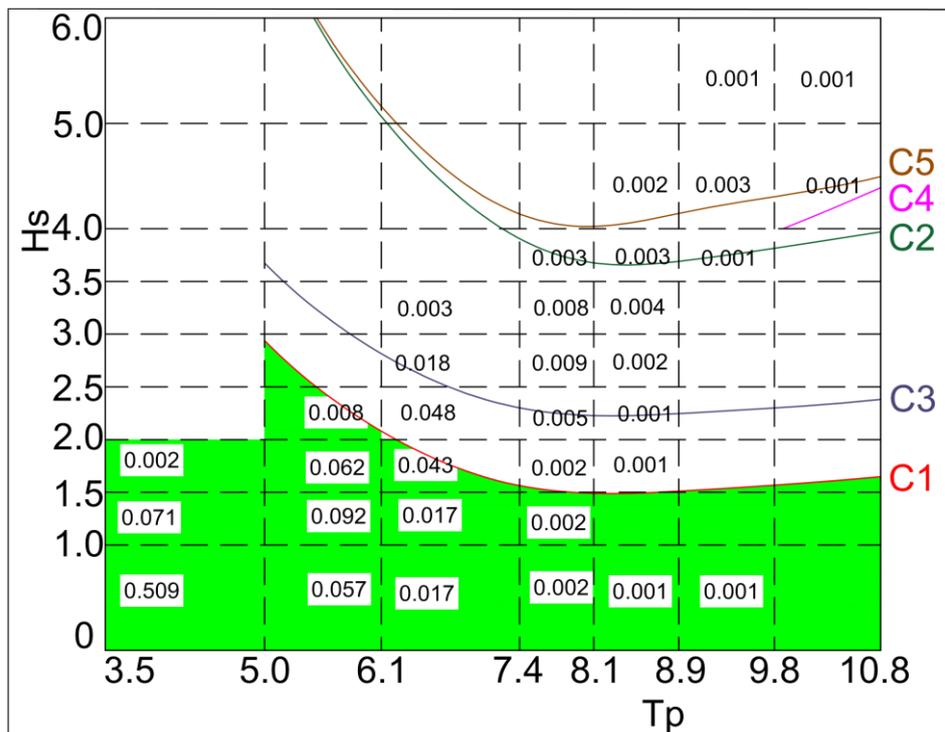
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 90°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 4

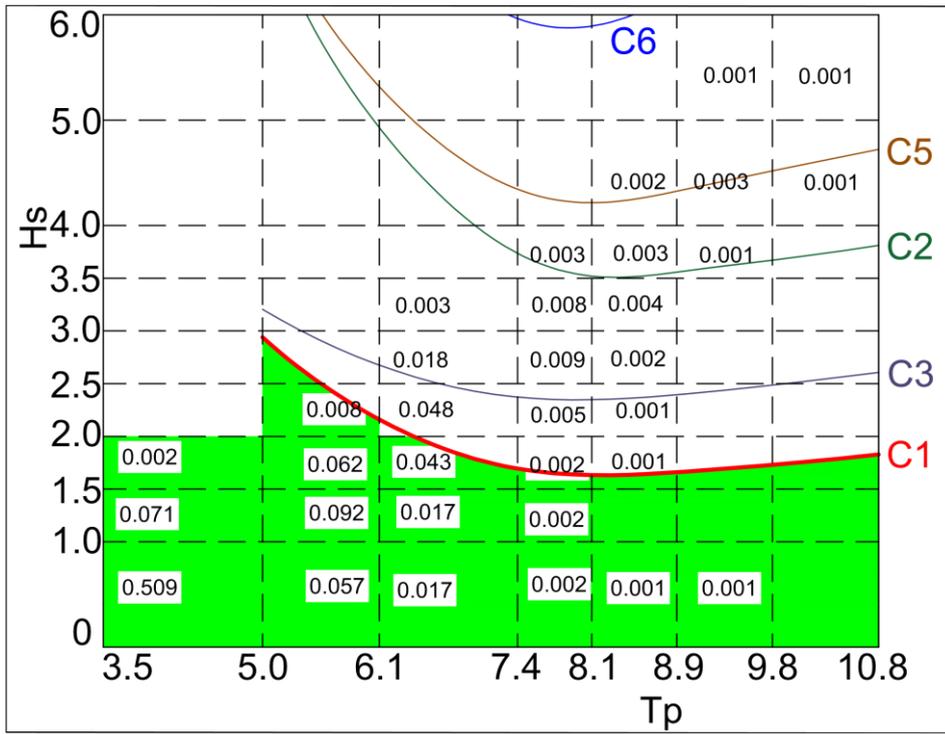
ΜΕΚΟ



DDG-51



# TH

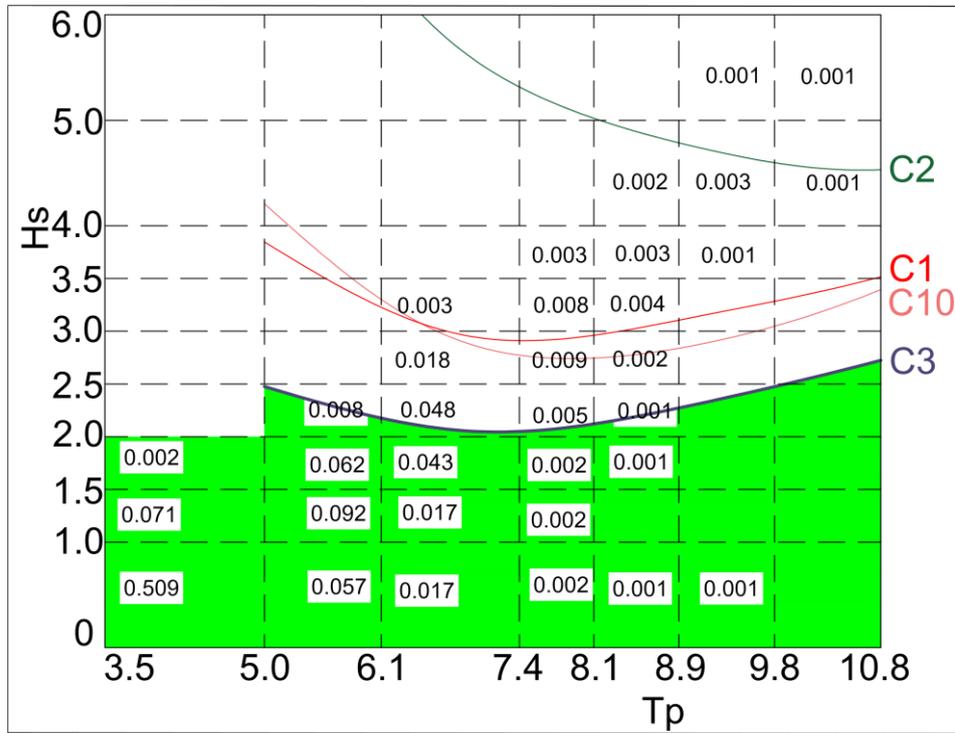


TAXYTHTA: 25 kn

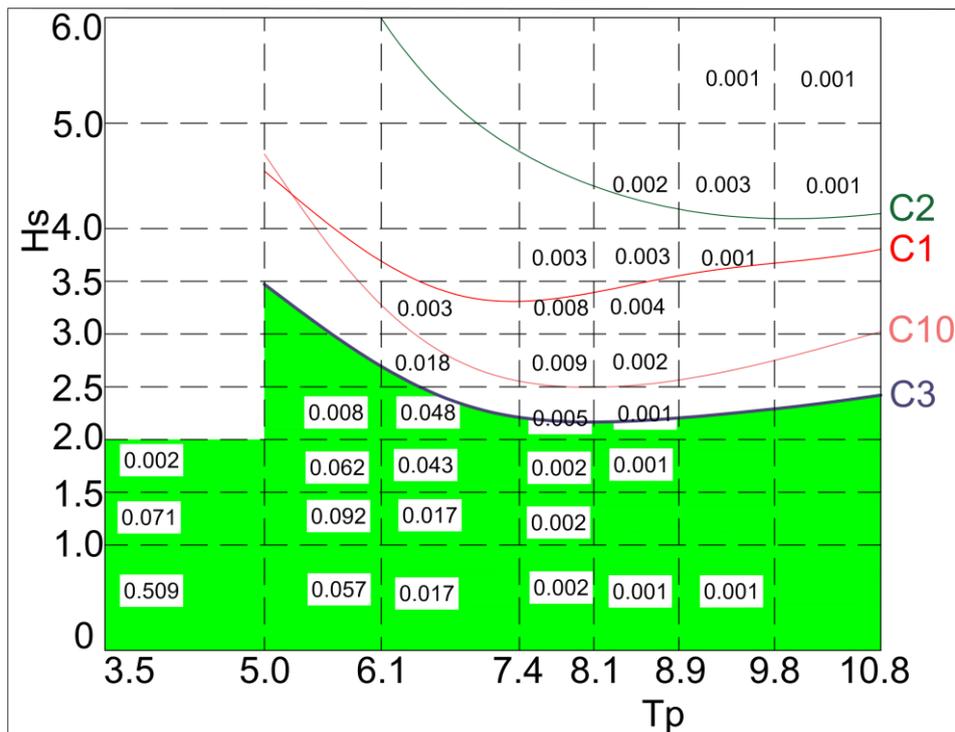
ΓΩΝΙΑ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ: 135°

ΠΕΡΙΟΧΗ: 4

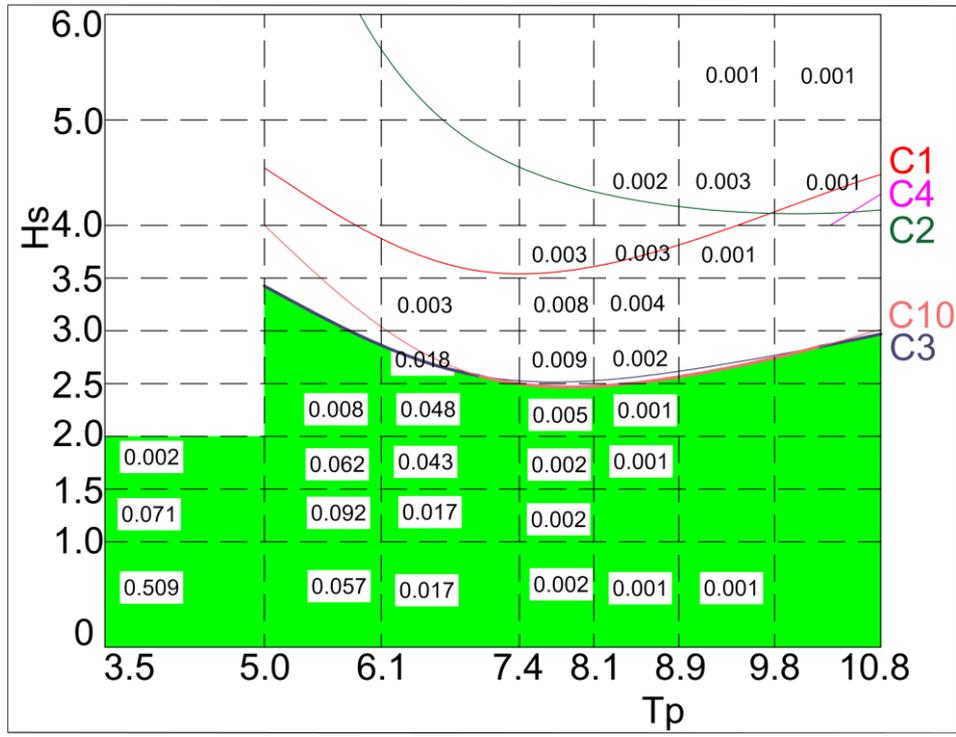
### ΜΕΚΟ



### DDG-51



# TH





### TH

