



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών

Σημητράς Ανδρέας
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συγκριτική Μελέτη Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας Πλοίου

Επιβλέπων Καθηγητής:
Νικόλαος Θεμελής

Αθήνα 2021

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract	5
Κεφάλαιο 1 ^ο Εισαγωγή.....	6
1.1 Πλαίσιο προβλήματος.....	6
1.2 Στοχος διπλωματικής.....	7
1.3 Συνοπτική παρουσίαση περιεχομένου των κεφαλαίων	8
Κεφάλαιο 2 ^ο Ιστορική εξέλιξη και συστήματα ευστάθειας	9
2.1 Έννοια ευσταθείας πλοίου	9
2.2 Ιστορική εξέλιξη κανονισμών ευστάθειας των πλοίων	11
2.3 Συστήματα που προσδίδουν επιπλέον ευστάθεια	12
Κεφάλαιο 3 ^ο Κανονισμοί ευστάθειας.....	17
3.1 Κριτήριο καιρού του IMO (Resolution MSC.267(85)).....	17
3.1.1 Εισαγωγή.....	17
3.1.2 Κριτήρια που αφορούν τις ιδιότητες του μοχλοβραχίονα επαναφοράς.....	17
3.1.3 Κριτήριο ισχυρών ανέμων και διατοιχισμού	18
3.1.4 Κριτήριο κλίσης λόγω στροφής.....	22
3.2 Κώδικας ANEP-77 για την άθικτη ευστάθεια	24
3.2.1 Εισαγωγή.....	24
3.2.2 Goal Based Standards	24
3.2.3 ANEP-77 κανονισμός ευστάθειας	27
3.3 Κριτήρια ευστάθειας 2 ^{ης} γενιάς	34
3.3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με αποτυχία ευστάθειας λόγω εγκάρσιας επιτάχυνσης.	34
3.3.2 Κανονισμός κριτηρίου 2 ^{ης} γενιάς.....	37
3.4 Εξεταζόμενο κριτήριο απότομων στροφών για την αναθεώρηση του IS code	39
3.4.1 Εισαγωγή	39
3.4.2 Αξιολόγηση ευστάθειας	40
Κεφάλαιο 4 ^ο Εφαρμογή κανονισμών ευστάθειας	43
4.1 Εισαγωγή	43
4.2 Εφαρμογή κανονισμών του κριτηρίου καιρού MSC.267(85)	47
4.2.1 Εφαρμογή κριτηρίου ανέμου	47

4.2.2 Εφαρμογή κριτηρίου στροφής	49
4.3 Εφαρμογή κανονισμού ANEP-77	51
4.3.1 Εφαρμογή κριτηρίου ανέμου	51
4.3.2 Εφαρμογή κριτηρίου στροφής.	54
4.4 Εφαρμογή κριτηρίου ευστάθειας 2 ^{ης} γενιάς για εγκάρσια επιτάχυνση	56
4.5 Εφαρμογή κριτηρίου απότομων στροφών εξεταζόμενο για την αναθεώρηση του IS code	57
Κεφάλαιο 5 ^ο Σύγκριση κανονισμών ευστάθειας.....	59
5.1 Εισαγωγή	59
5.2 Υπολογισμός κρίσιμων τιμών του κέντρου βάρους KG για κριτήρια ανέμου	60
5.2.1 Κρίσιμες τιμές KG για το κριτήριο IMO MSC.267(85)	60
5.2.2 Κρίσιμες τιμές KG για το κριτήριο ANEP-77 Solution 1 με ταχύτητα ανέμου 100 knots	61
5.2.3 Κρίσιμες τιμές KG για το κριτήριο ANEP-77 Solution 1 με ταχύτητα ανέμου 80 knots	64
5.2.4 Κρίσιμες τιμές KG για το κριτήριο ANEP-77 Solution 2.....	68
5.3 Υπολογισμός μέγιστης ταχύτητας ανέμου.....	72
5.3.1 Κρίσιμη τιμή ταχύτητα ανέμου για το κριτήριο του IMO MSC.267(85).....	72
5.3.2 Κρίσιμη τιμή ταχύτητας ανέμου για το κριτήριο ANEP-77 1 ^η μέθοδος	76
5.4 Υπολογισμός κρίσιμων τιμών κέντρων βάρους για κριτήρια στροφής.....	80
5.4.1 Κρίσιμο KG για το κριτήριο IMO MSC.267(85)	80
5.4.2 Κρίσιμο KG για το κριτήριο στροφής ANEP-77	80
5.4.3 Κρίσιμη τιμή KG για το κριτήριο στροφής για την αναθεώρηση του IS code.....	84
5.5 Υπολογισμός κρίσιμων τιμών κέντρων βάρους για το κριτήριο επιτάχυνσης 2 ^{ης} γενιάς.....	85
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα.....	88
Βιβλιογραφία.....	89

Περίληψη

Το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής είναι η εφαρμογή και σύγκριση διαφόρων κριτηρίων ευστάθειας υπό την επίδραση δυσμενών καιρικών συνθηκών και κατά την εκτέλεση στροφής. Χρησιμοποιήθηκε ένα πραγματικό ΕΓ/ΟΧ με DWT = 16300 ton για το οποίο έγινε η αναπαραγωγή των γραμμών του στο πρόγραμμα της AVEVA lines. Ύστερα το αρχείο εισήχθη στο πρόγραμμα Hydrostatics & Hydrodynamics της AVEVA προκειμένου να δημιουργηθούν οι καταστάσεις φόρτωσης και να υπολογιστεί η καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ.

Κατόπιν εφαρμόστηκαν το κριτήριο καιρού και το κριτήριο στροφής του IMO MSC.267(85). Επίσης εφαρμόστηκαν δύο τρόποι ώστε να υπάρξει ευστάθεια σύμφωνα με κριτήρια Goal Based Standards, τα οποία αφορούσαν στις καιρικές καταστάσεις που θα αντιμετωπίσει το πλοίο ανάλογα με το ταξίδι του. Στον ίδιο κανονισμό περιλαμβάνεται επιπλέον ένα κριτήριο σχετικά με στροφή που μπορεί να εκτελέσει το πλοίο και την απαίτηση για ευστάθεια σε αυτή την διαδικασία. Χρησιμοποιήθηκε ακόμα ένα κριτήριο που αφορά στην διατήρηση της ευστάθειας κατά την εκτέλεση στροφής με υψηλή ταχύτητα, όπου εξετάστηκαν 2 τιμές για τον δείκτη μίας εμπειρικής σταθεράς. Για τη συγκεκριμένη διαδικασία οι ειδικοί διχάζονται μεταξύ τους σχετικά με την τιμή ενός συντελεστή. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο τιμές που προτείνονται. Το τελευταίο κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε ανήκει στα κριτήρια δεύτερης γενιάς και αφορά στην επιτάχυνση που αναπτύσσεται σε κρίσιμη θέση του πλοίου κατά την κίνηση του διατοιχισμού.

Αφού εφαρμόστηκαν οι κανονισμοί παρατηρήθηκε ότι το συγκεκριμένο πλοίο δεν είναι συμβατό με όλους, οπότε προκειμένου να γίνει μία σύγκριση έγιναν οι υπολογισμοί ώστε να βρεθεί το κέντρο βάρους ώστε να είναι ικανοποιείται ο κάθε κανονισμός, για διάφορα βυθίσματα. Επίσης υπολογίστηκαν και οι κρίσιμες ταχύτητες ανέμου για τα κριτήρια καιρού. Ο τρόπος που έγιναν οι παραπάνω υπολογισμοί ήταν μέσω επαναληπτικής διαδικασίας κατά την οποία δημιουργήθηκαν καταστάσεις φόρτωσης στα επιθυμητά βυθίσματα και διαφορετικών κέντρων βάρους μέχρι να βρεθεί το οριακό κέντρο βάρους για κάθε βύθισμα.

Abstract

The objective of this thesis is to apply and compare different regulations of ship stability in intact state during unfavorable weather conditions and during turning. In order to apply these regulations a 3D model of the hull of a real RO-RO with DWT=16300 ton was made. The reproduction of the ship's lines was made with AVEVA lines program. Then with the help of AVEVA Hydrostatics & Hydrodynamics program were created the ship's conditions and the GZ heeling curve.

The first criterion that was used was the weather and turning criterion of MSC.267(85). Also there were applied two different criterions that belong a framework of a goal based standard regulation and have to do with the weather conditions that the ship will encounter. In the same regulation there is also a single criterion that predicts if a ship will maintain its stability in turning condition. Also there was examination about a criterion for maximum angle of heel in turns, where two values of an empirical constant were tested. Last criterion that was used belongs to second generation criteria and exams the vulnerability of stability due to excessive acceleration.

After all regulations were applied in the model it was clear that not all of them were fulfilled. So in order to compare all of them it was calculated the critical center of gravity so that each one is fulfilled for different drafts. Also there were calculated critical wind velocities for weather criterions. The method that was used in these calculations is a repetitive procedure at which conditions were created with desirable draft and there was a change at KG until the criterion was fulfilled.

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή

1.1 Πλαίσιο προβλήματος

Στις μέρες μας η απώλεια ευστάθειας ενός πλοίου οδηγεί σε ατυχήματα, με αποτέλεσμα να υπάρχει απώλεια φορτίου, ανθρώπινων ζώων ή και του πλοίου καθώς και μόλυνση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η σχεδίαση και κατασκευή των πλοίων έχουν αλλάξει κυρίως σε ότι αφορά στην ποσότητα του φορτίου που μπορούν να μεταφέρουν και την υδροδυναμική τους, λόγω της αύξησης της ποικιλομορφίας των φορτίων και της ανάγκης για μεγαλύτερες ταχύτητες. Την τελευταία δεκαετία η απώλεια της ευστάθειας των πλοίων δημιούργησε ιδιαίτερο πρόβλημα εξαιτίας των διαφορετικών συνθηκών με τις οποίες συνέβη. Για αυτό το λόγο χρειάζεται προσοχή για κάθε μία από τις συνθήκες των ατυχημάτων.

Ατυχήματα που σχετίζονται με την απώλεια ευστάθειας παρατηρήθηκαν πρώτα σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και οφείλονταν στο φαινόμενο του διατοιχισμού, όπως και σε μικρά αλιευτικά που είχε σαν αποτέλεσμα μερικές φορές ακόμα και την ανατροπή τους. Στα ΕΓ/ΟΧ η πιθανότητα ατυχήματος λόγω διατοιχισμού ή απώλειας ευστάθειας σε κυματισμούς ήταν πολύ μικρή μέχρι που εισήχθη νέα μορφή γάστρας παρόμοια με αυτή των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

Η συμπεριφορά ενός πλοίου σε δύσκολες καιρικές συνθήκες και η δυναμική ευστάθειά του παρουσιάζουν δύσκολης φύσης θέματα, τα οποία συνδέονται άμεσα με τον σχεδιασμό του. Το συχνότερο φαινόμενο που προκαλεί την μείωση της ευστάθειας είναι ο διατοιχισμός κυρίως λόγω κυματισμών. Υπάρχουν πλέον διαθέσιμες υπολογιστικές μέθοδοι, μαθηματικά μοντέλα και εργαλεία ανάλυσης τα οποία βοηθούν στη κατανόηση και στους υπολογισμούς που απαιτούνται πάνω στο φαινόμενο της ευστάθειας. Η εδραίωση ενός πλαισίου που προσφέρει μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με τους υπάρχοντες κανονισμούς έχει καθυστερήσει από τον ΙΜΟ, κυρίως γιατί δόθηκε προτεραιότητα στους κανονισμούς ευστάθειας κατόπιν βλάβης, και του γεγονότος ότι είναι πιο περίπλοκη η φύση της δυναμικής ευστάθειας ενός πλοίου

Υπήρχε η ιδέα ότι πολλές επικίνδυνες περιπτώσεις δεν καλύπτονται γενικά ή όσο θα έπρεπε από τα υπάρχον κριτήρια. Τέτοιες συνθήκες ήταν :

- Παραμετρική αστάθεια σε ακολουθούντες και μετωπικούς κυματισμούς
- Απώλεια ευστάθειας στην κορυφή των κυμάτων
- Απώλεια ευστάθειας λόγω φαινομένων Broaching to, και surfing
- Κατάσταση «νεκρού πλοίου»
- Ανάπτυξη επιτάχυνσης κατά τον διατοιχισμό

1.2 Στοχος διπλωματικης

Στην εργασία αυτή, για ένα συγκεκριμένο πλοίο τύπου Ro/Ro, εφαρμόζονται διαδοχικά το κριτήριο καιρού (IMO MSC.267(85)), κανονισμοί άθικτης ευστάθειας που αναγράφονται που προδιαγράφονται στον κώδικα του ANEP-77[2], ο οποίος έχει αναπτυχθεί με βάση πρότυπα σχεδίασης και κατασκευής πλοίων βάσει στόχων. Ο κώδικας αυτός όπως θα περιγραφεί παρακάτω αναφέρεται σε πολεμικά πλοία ωστόσο στην παρούσα μελέτη θα εφαρμοστεί για το υπό εξέταση πλοίο. Επίσης θα εξεταστούν κριτήρια που σχετίζονται με την ευστάθεια κατά τη στροφή του πλοίου καθώς και το κριτήριο για την εγκάρσια επιτάχυνση όπως έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο ανάπτυξης των κριτηρίων 2^{ης} γενιάς.

Στη συνέχεια αξιολογείται η ευστάθεια που προσφέρει κάθε κριτήριο και γίνεται σύγκριση μεταξύ τους. Επίσης, σε κάθε μία περίπτωση, δοκιμάζονται τρεις καταστάσεις φόρτωσης, ώστε να βρεθούν τα κρίσιμα κέντρα βάρους με τα οποία ικανοποιούνται οριακά οι συγκεκριμένοι κανονισμοί.

Ο σκοπός της μελέτης είναι η εξέταση της ταυτόχρονης ικανοποίησης κριτηρίων σε σχέση με τις οριακές τιμές της καθ' ύψος θέσης του κέντρου βάρους KG για διάφορες καταστάσεις φόρτωσης καθώς και της σύγκρισης των οριακών τιμών της ταχύτητας ανέμου για την ικανοποίηση διαφόρων κριτηρίων, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν στο μέλλον ατυχήματα που οφείλονται στην απώλεια ευστάθειας των πλοίων και τα οποία εγκυμονούν κινδύνους για τα ίδια τα πλοία, τα πληρώματα, τα φορτία και το περιβάλλον.

1.3 Συνοπτική παρουσίαση περιεχομένου των κεφαλαίων

Κεφάλαιο 2°

Γίνεται επεξήγηση σχετικά με την έννοια της ευστάθειας ενός πλοίου καθώς και τον τρόπο λειτουργίας των δυνάμεων και των ροπών που ασκούνται σε αυτό κατά την διάρκεια της ζωής του. Παρουσιάζεται επίσης η ιστορική αναδρομή των κανονισμών που εφαρμόζονται μέχρι σήμερα. Τέλος αναγράφονται μερικά συστήματα που έχουν αναπτυχθεί με την πάροδο της τεχνολογίας και δημιουργούν καλύτερες συνθήκες ως προς την ευστάθεια.

Κεφάλαιο 3°

Παρατίθενται οι κανονισμοί ευστάθειας που έχουν χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς. Γίνεται μία περιγραφή των κανονισμών αυτών και αναγράφονται αναλυτικά οι απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται από το πλοίο όπως επίσης και οι αναλυτικοί υπολογισμοί κάθε μεθόδου.

Κεφάλαιο 4°

Παρουσιάζεται το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς καθώς και η κατάσταση φόρτωσης του. Επίσης εφαρμόζονται σε αυτή την κατάσταση όλοι οι κανονισμοί στους οποίους γίνεται αναφορά.

Κεφάλαιο 5°

Γίνονται υπολογισμοί για 3 καταστάσεις φόρτωσης όλων των κανονισμών. Υπολογίζεται το κρίσιμο κέντρο βάρους για κάθε κανονισμό και μέθοδο ώστε να ικανοποιείται και βάσει αυτών συγκρίνονται οι κανονισμοί.

Κεφάλαιο 2^ο

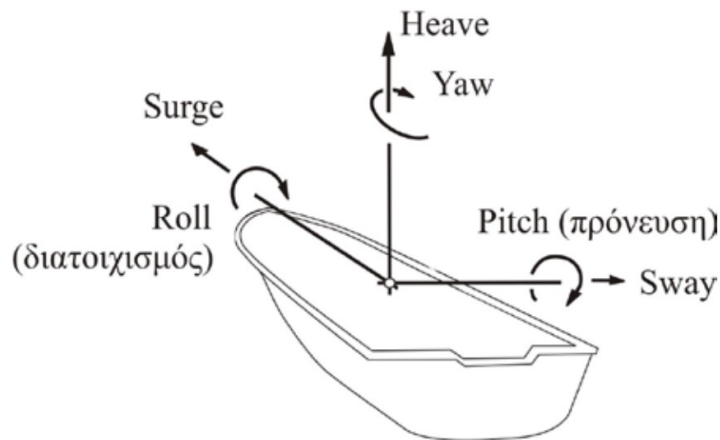
Ιστορική εξέλιξη και συστήματα ευστάθειας

2.1 Έννοια ευσταθείας πλοίου

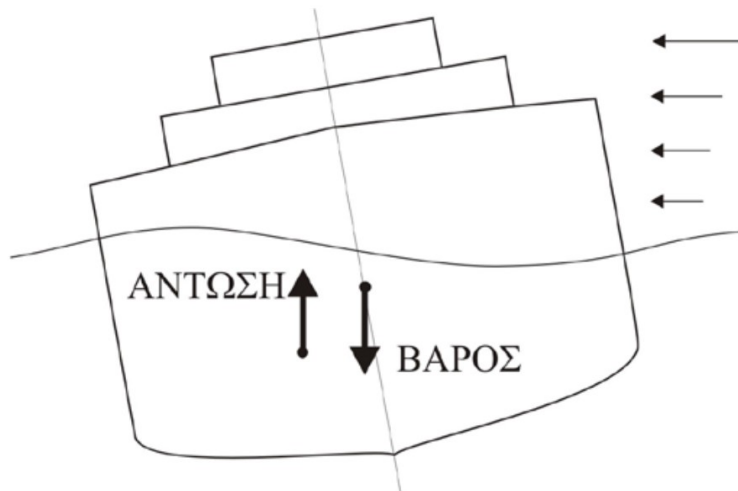
Ένας από τους κυριότερους παράγοντες στην σχεδίαση ενός πλοίου είναι η ευστάθεια που θα υπάρχει κατά την πλευση του. Η ευστάθεια αναφέρεται στην ικανότητα ενός πλοίου να διατηρείται αξιόπλοο υπό την επίδραση διαφόρων εξωτερικών παραγόντων που ενδέχεται να συναντήσει κατά την διάρκεια ζωής του. Για παράδειγμα αν ασκηθεί εξωτερική ροπή (Σχήμα 3) κάθετη στην διεύθυνση του διαμήκη άξονα θα έχει σαν αποτέλεσμα την περιστροφή του γύρω από αυτόν. Θα δημιουργούταν κλίση η οποία με την πάροδο του χρόνου θα αυξάνονταν, μέχρι να ανατραπεί το πλοίο σε περίπτωση που δεν ήταν ευσταθές. Αντιθέτως όμως αν υπάρχει σωστή σχεδίαση σε αυτόν τον τομέα τότε η κλίση αυτή πρέπει να λαμβάνει μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα αντίθετες τιμές και το πλοίο να επανέρχεται στην αρχική κατάσταση ισοροπίας.

Κατά την διάρκεια ενός ταξιδιού ένα πλοίο μπορεί να συναντήσει διάφορες διεγέρσεις όπως κυματισμούς ή ανέμους, οι οποίες προκαλούν μεταβολή την αρχικής θέσης ισοροπίας. Προκειμένου να χαρακτηριστεί λοιπόν αξιόπλοο πρέπει όταν υπάρχει εκτροπή της όρθιας θέσης να αναπτύσσονται υδροστατικές δυνάμεις που μαζί με την επίδραση του βάρους να δημιουργούν ροπή επαναφοράς στην αρχική θέση. Με αυτόν τον παθητικό μηχανισμό διατηρούνται τα πλοία σε όρθια θέση. Οι δυνάμεις επαναφοράς θα πρέπει να δημιουργούνται κατά τις δύο διευθύνσεις που υπάρχει κίνδυνος αντροπής [«διατοιχισμός» (roll), «προνευτασμός» (pitch)] (Σχήμα 1).

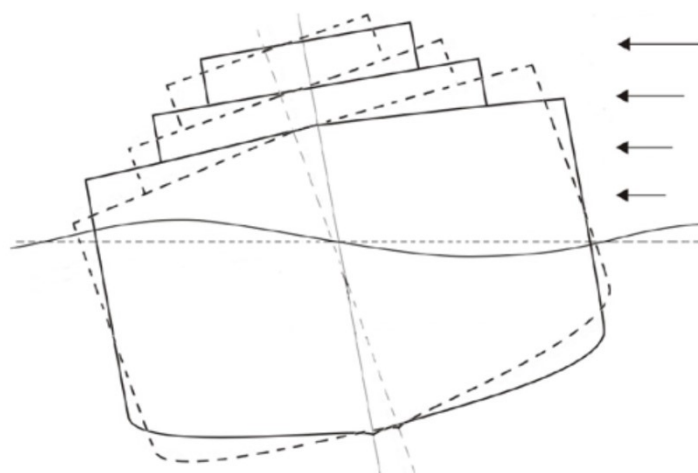
Κατά την σχεδίαση της γάστρας δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην συμπεριφορά του πλοίου απέναντι στο φαινόμενο του διατοιχισμού. Σε περίπτωση που δεν υπάρξει κατάλληλη σχεδίαση είναι πιθανό η ροπή που δημιουργείται από εξωτερικές δυνάμεις να λάβει μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με την ροπή επαναφοράς (Σχήμα 2). Επίσης λόγω της τοποθέτησης βάρους με ακατάλληλο τρόπο η ροπή επαναφοράς μπορεί να πάρει αρνητικές τιμές, δηλαδή το βάρος και η άντωση που δημιουργείται στο πλοίο να συμβάλλουν στην αποσταθεροποίηση της θέσης ισοροπίας.



Σχήμα 1 : Κύριοι άξονες περιστροφής και ορολογία βασικών κινήσεων πλοίου. [1]

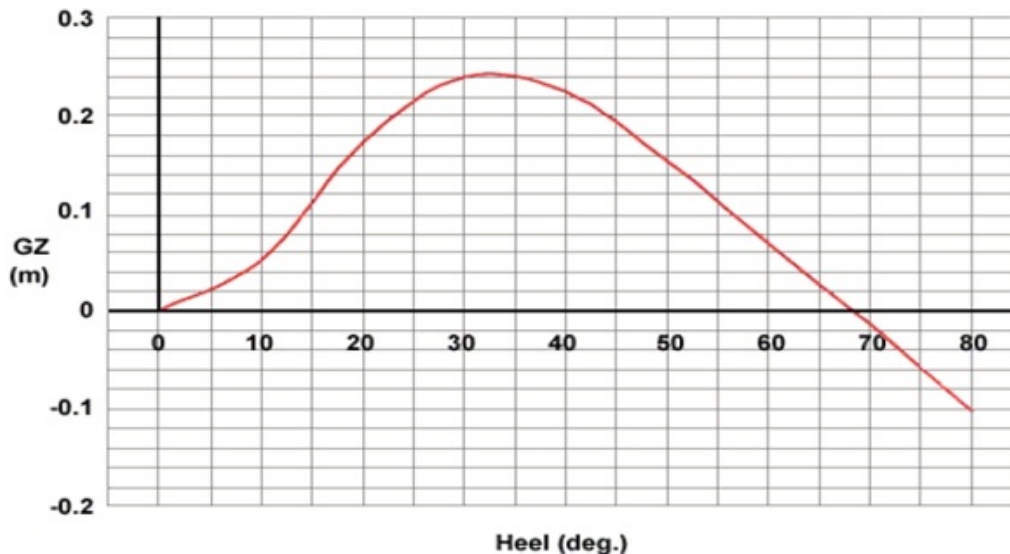


Σχήμα 2 : Το ζεύγος βάρους και άνωσης παράγει ροπή επαναφοράς [1]



Σχήμα 3 : Εγκάρσια περιστροφή του πλοίου λόγω περιβαλλοντικών επιδράσεων [1]

Έχουν γίνει πολλές έρευνες πάνω στο φαινόμενο της ευστάθειας πλοίου προκειμένου να αναπτυχθούν κατάλληλα κριτήρια ώστε να αποφευχθούν ακατάλληλες καταστάσεις. Παλαιότερα η σχεδίαση της ευστάθειας γινόνταν εμπειρικά αλλά έχουν παρουσιαστεί περιπτώσεις που υπάρχει αναντιστοιχία των μαθηματικών ορισμών και των εμπειρικών μεθόδων. Αυτό το γεγονός παρατηρείται κυριώς σε κατάσταση κυμματισμών που το πλοίο δεν θα επανέλθει στην κατάσταση ισοροπίας του αλλά πρέπει να διατηρείται σε μια ικανοποιητική σχετικά κατάσταση ισοροπίας.



Διάγραμμα 1: Τυπική καμπύλη GZ.[15]

2.2 Ιστορική εξέλιξη κανονισμών ευστάθειας των πλοίων

Η ευστάθεια πλοίου όπως σχετίζεται με την ναυπηγική λαμβάνεται υπ όψιν για εκατοντάδες χρόνια. Παλαιότερα οι υπολογισμοί για την ευστάθεια βασίζονταν σε εμπειρικούς υπολογισμούς. Μερικές παλιές εξισώσεις χρησιμοποιούνται ακόμα σε βιβλία ναυπηγικής. Βέβαια η είσοδος υπολογιστικών μεθόδων για τον ακριβέστερο υπολογισμό ευστάθειας, ειδικά η εισαγωγή της έννοιας του μετάνικτρου την δεκαετία του 1740 του Pierre Bouguer, επιτρέπουν πολύ πιο σύνθετη ανάλυση.

Πρώτη φορά που προτάθηκε ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς ως κριτήριο ευστάθειας ήταν από τον Atwood το 1796 και άρχισε να καθιερώνεται μετά τις εργασίες των Reed και Denny το 1868 και 1887 αντίστοιχα. Προκειμένου να δημιουργηθούν κριτήρια ο Benjamin χρησιμοποίησε ως βάση τον μοχλοβραχίονα δυναμικής ευστάθειας ο οποίος είναι το ολοκλήρωμα του στατικού μοχλοβραχίονα. Δημιουργήθηκαν όμως αντιδράσεις σχετικά με τις γωνίες για τις οποίες εξεταζόντουσαν οι τιμές του μοχλοβραχίονα, οποίες ήταν 30 και 60 μοίρες

Η αρχή της μοντέρνας εποχής ξεκίνησε την δεκαετία του 30 του προηγούμενου αιώνα και βασίστηκε σε 2 μελέτες. Η πρώτη ήταν του Pierrottet το 1935 που έθεσε τις βάσεις για το λεγόμενο κριτήριο καιρού. Μέχρι τότε ο σχεδιασμός της ευστάθειας βασιζόταν εξ' ολοκλήρου πάνω σε εμπειρικά μοντέλα και ο Pierrottet πρότεινε πρώτος να υπάρχει ένα επιστημονικό μοντέλο

υπολογισμού ευστάθειας. Η μελέτη του βασίστηκε στην ιδέα ότι ο δυναμικός μοχλοβραχίονας μέχρι μία συγκεκριμένη γωνία θα πρέπει να επαρκεί ώστε να καλύπτει το έργο που δημιουργείται από κύματα, ανέμους, τη φυγοκεντρική δύναμη και τις κινήσεις των ταξιδιωτών. Στη συνέχεια ήρθε η διδακτορική διατριβή του Rahola το 1939 που είχε στόχο να δημιουργήσει μία διαδικασία ώστε να υπολογίζεται με αρκετή βεβαιότητα η ευστάθεια που θα απαιτείται από ένα πλοίο για τις συνθήκες στις οποίες καλείται να ταξιδέψει. Έκανε έναν στατιστικό υπολογισμό σχετικά με την υδροστατική ανάλυση 30 πλοίων που ανατράπηκαν στην Βαλτική. Πρότεινε επίσης κριτήρια ευστάθειας τέτοια ώστε να μην ξεπερνάει ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς τις 40 μοίρες. Αυτά ήταν και η βάση των κριτηρίων που δημιουργήθηκαν από τον IMO το 1969 τα οποία είναι ακόμα σε ισχύ.

Τα παραπάνω κριτήρια όμως δεν προβλέπουν σε μεγάλο βάθος τη συμπεριφορά του πλοίου σε ανέμους και κυματισμούς και για αυτό το λόγο έπρεπε να δημιουργηθούν συμπληρωματικά κριτήρια. Μία πρώτη μορφή επίσημου κριτηρίου εφαρμόστηκε στην Ιαπωνία με βάση την δημοσίευση του Yamagata το 1959 για την εκτίμηση της ασφάλειας ενός πλοίου κάτω από ακραίες καιρικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης και της επίδρασης του ανέμου σε κατάσταση κυματισμών. Το κριτήριο εφαρμόστηκε αρχικά σε ιαπωνικά επιβατηγά πλοία και η λογική του βασίστηκε στην έρευνα του Pierrotet και άλλων Ρώσων επιστημόνων όπως ο Blagoveschensky. Αυτή ήταν η πρώτη φορά που έγιναν προσπάθειες ώστε οι κανονισμοί να βασίζονται σε επιστημονικά δεδομένα και όχι εμπειρικά.

Στην SOLAS 1948 δημιουργήθηκε πρώτη φορά η ανάγκη για έρευνα για την δημιουργία κανονισμών άθικτης ευστάθειας. Ο πρώτος σχετικός κανονισμός συμπεριλαμβανόταν στα συμπεράσματα της SOLAS '60, και προτάθηκε από την επιτροπή του οργανισμού ICMO (πλέον IMO) να γίνουν έρευνες σχετικά με την άθικτη ευστάθεια για επιβατηγά, εμπορικά, και αλιευτικά, καθώς και για γενικότερες πληροφορίες σχετικά με το φαινόμενο της ευστάθειας.

Οι παραπάνω έρευνες είχαν σαν αποτέλεσμα τα γενικά κριτήρια ευστάθειας τα οποία βασίζονταν σε χαρακτηριστικά μοχλοβραχίονα, και υιοθετήθηκαν από τον IMCO το 1968 ως RES. A.167. Το κριτήριο καιρού υιοθετήθηκε το 1985 ως Res.A.562. Ο κανονισμός αυτός βέβαια πάλι δημιουργήθηκε σαν απάντηση στην πρόταση που είχε στα συμπεράσματα η SOLAS '74, στην οποία πρότεινε τα βήματα που πρέπει να ληφθούν ώστε να δημιουργηθούν διεθνή κριτήρια άθικτης ευστάθειας, πρέπει να λαμβάνουν μεταξύ άλλων και τις εξωτερικές δυνάμεις που επηρεάζουν τα πλοία στην πορεία τους και οδηγούν στην ανατροπή ή σε μη αποδεκτές γωνίες κλίσης. Το κριτήριο του καιρού βασίστηκε σε αυτό της Ιαπωνίας μαζί με την έρευνα των Ρώσων και ήταν το πρώτο δυναμικό κριτήριο ευστάθειας.

2.3 Συστήματα που προσδίδουν επιπλέον ευστάθεια

Με την πάροδο του χρόνου δημιουργήθηκαν διαφορές μέθοδοι με τους οποίους έχει γίνει επιτρεπτό να βελτιωθεί η ευστάθεια ενός πλοίου μειώνοντας την επίδραση των κυματισμών και των ανέμων. Σε ήρεμη θάλασσα δεν προκαλούν κάποια μεταβολή στην ευστάθεια. Ο IMO (International Maritime Organization) δεν θεωρεί επιτρεπτή την ευστάθεια του πλοίου με την χρήση αυτών των συστημάτων. Η γάστρα πρέπει να είναι έχει ικανοποιητική ευστάθεια χωρίς αυτά τα συστήματα.

- Παθητικά συστήματα

1. Bilge keel (Παρατροπίδιο)

Η χρήση παρατροπιδίων ήταν η πρώτη μέθοδος που εφαρμόστηκε απόσβεσης του διατοιχισμού. Πρόκειται για μία μεταλλική πλάκα ή ένα πτερύγιο το οποίο εφαρμόζεται εξωτερικά της καμπύλης της στροφής του κοίλου. Το μήκος τους ξεπερνάει το 1/3 του μήκους του πλοίου και είναι μικρότερο του 1/2. Το πλάτος τους είναι μεταξύ 0,40εκ με 1 μέτρο, ανάλογα με το μήκος τους και με τον συντελεστή μέσης τομής. Αν το πλάτος τους είναι πολύ μικρό τότε η επίδραση τους θα είναι αμελητέα, αν είναι πολύ μεγάλο τότε μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα κατά τον δεξαμενισμό του πλοίου.

Πειραματικά έχει αποδειχθεί σε πλοία και μοντέλα ότι τα παρατροπίδια είναι πιο αποτελεσματικά όταν τοποθετούνται με σωστές γωνίες στο κοίλο. Η αντίσταση που δημιουργούν προκαλούν τον τετραγωνισμό της γωνιακής ταχύτητας διατοιχισμού, και προκαλούν αύξηση της περιόδου του διατοιχισμού. Τα παρατροπίδια είναι έχουν μεγαλύτερη επίδραση σε μεγάλες γωνίες διατοιχισμού και η μείωση της κίνησης του διατοιχισμού είναι μεγαλύτερη για ένα κινούμενο πλοίο σε σχέση με ένα ακίνητο.



Εικόνα 1: Αριστερό παρατροπίδιο πλοίου[12]

2. Outriggers (πρωόστης)

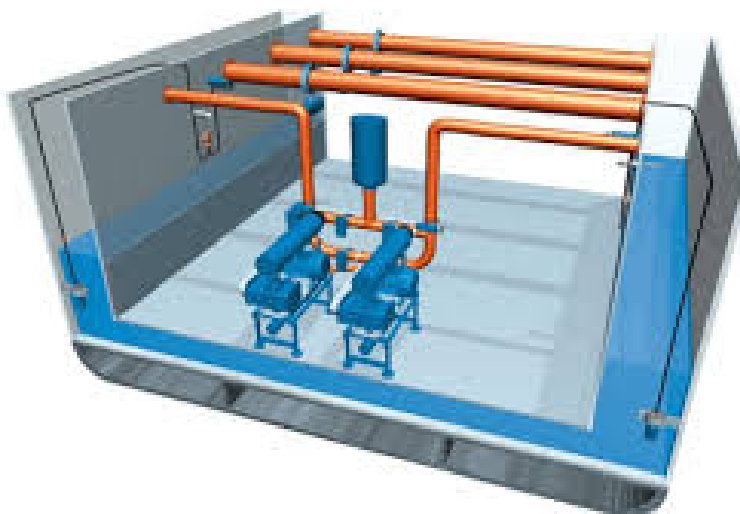
Οι πρωόστες εγκαθίστανται στα πλοία ώστε να μειωθεί το φαινόμενο του διατοιχισμού, είτε μέσω δύναμης που απαιτείται για να μεγαλώσει το βύθισμα είτε μέσω υδροδυναμικής. Σε μερικές περιπτώσεις οι πρωόστες είναι αρκετοί ώστε να κατηγοριοποιηθεί το πλοίο ως τριμαράν.



Εικόνα 2: Πρωόστρες πλοίου[12]

3. Antiroll tanks

Πρόκειται για εσωτερικές δεξαμενές εξοπλισμένες με εξοπλισμό ώστε να μειώνεται η ροή του νερού από την δεξαμενή της μιας πλευράς στην άλλη. Είναι σχεδιασμένες ώστε ο μεγαλύτερος όγκος του νερού να είναι εγκλωβισμένος στο μεγαλύτερο ύψος. Ο σκοπός τους κυρίως είναι να μειώσουν το φαινόμενο ελεύθερων επιφανειών.



Εικόνα 3: Τοπική διάταξη συστήματος antiroll tanks[12]

- Ενεργητικά συστήματα

1. Stabilizer fins (σταθερωτήρες)

Οι σταθερωτήρες είναι η πιο αποτελεσματική και δημοφιλής μέθοδος ενεργητικών συστημάτων εναντίον του διατοιχισμού. Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε σκάφη μεγάλων ταχυτήτων, σε πολεμικά πλοία και σε κρουαζιερόπλοια. Παράγονται δυνάμεις ανύψωσης από τους σταθερωτήρες και υπάρχει αλληλεπίδραση με τους κυματισμούς. Επειδή οι δυνάμεις ανυψώσεως εξαρτώνται από την ταχύτητα ροής, οι σταθερωτήρες είναι πιο αποτελεσματικοί σε υψηλές ταχύτητες. Πρόκειται για οριζόντια πτερύγια που τοποθετούνται στη γάστρα του πλοίου ανά ζεύγη. Έτσι όταν υφίσταται κυματισμός αυτά ανοίγουν σε οριζόντια υποβρύχια θέση και όταν το πλοίο αρχίζει να παίρνει κλίση, να διατοιχίζεται π.χ. δεξιά, τότε το δεξιό πτερύγιο (κατά πλευρά σκάφους) στρέφεται ελαφρά, έτσι ώστε όλη η προωαία ακμή του να στρέφει προς την επιφάνεια της θάλασσας, αντίθετα και ταυτόχρονα κινείται το αριστερό πτερύγιο του ζεύγους στην αριστερή πλευρά του σκάφους, που η προωαία αυτού ακμή στρέφεται προς τα κάτω. Με την ταχύτητα όμως που έχει το πλοίο ο διατοιχισμός διακόπτεται ακριβώς στην έναρξή του και το πλοίο επανέρχεται και διατηρείται συνεχώς σε θέση ισορροπίας. Θέση στην οποία και τα πτερύγια ισορροπούν οριζόντια παραμένοντα σε ετοιμότητα επανάληψης λειτουργίας των, ανάλογα, με την επόμενη έναρξη κλίσης του πλοίου (αριστερά ή δεξιά).



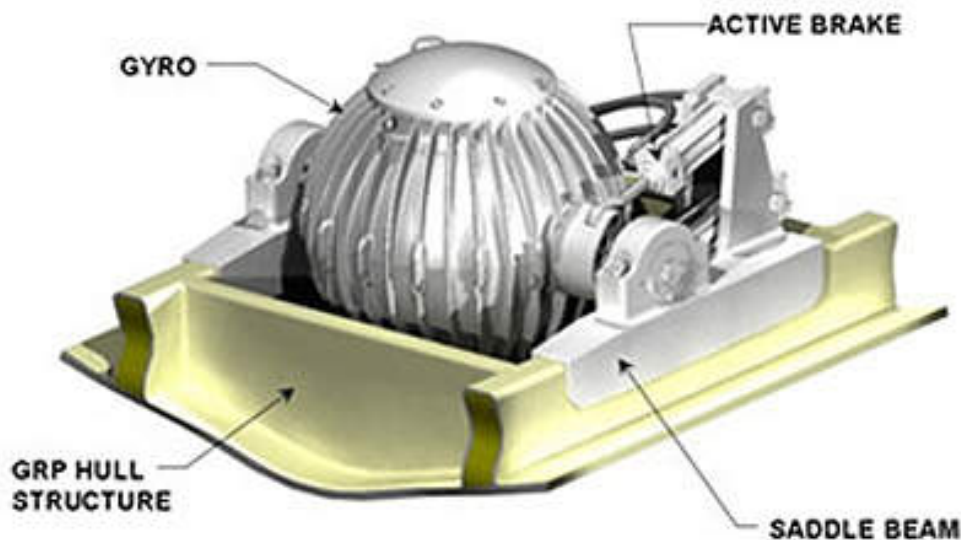
Εικόνα 4: σταθερωτήρας[12]

2. Rudder roll Stabilisation

Στην περίπτωση που ένα πλοίο κινείται, μία απότομη αλλαγή του πηδαλίου δεν θα προκαλέσει μόνο αλλαγή κατεύθυνσης αλλά θα προκαλέσει και διατοιχισμό του πλοίου. Για μερικά πλοία όπως οι φρεγάτες το φαινόμενο αυτό είναι τόσο έντονο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλγόριθμος ώστε να γίνει ταυτόχρονη στρέψη του πλοίου για να μειωθεί η κίνηση του διατοιχισμού. Η επίδραση αυτή προκαλεί το ίδιο αποτέλεσμα με τους σταθερωτήρες. Βέβαια αυτό εξαρτάται από την ταχύτητα του πλοίου (όσο υψηλότερη τόσο καλύτερη) και άλλα χαρακτηριστικά σχεδίασης όπως η θέση, το μέγεθος και η θέση του πηδαλίου. Επίσης σημαντικό είναι πόσο γρήγορα αποκρίνεται σε κινήσεις του πηδαλίου και του διατοιχισμού (όσο γρηγορότερο τόσο καλύτερο) και την γωνιακή ταχύτητα (όσο πιο αργή τόσο καλύτερη). Παρόλο το υψηλό κόστος ενός συστήματος καλής ποιότητας και της ανάγκης ενίσχυσης στην πρύμνη, αυτή η επιλογή είναι φθηνότερη από αυτή των σταθερωτήρων.

3. Gyroscopic internal stabilizers

Αυτός ο μηχανισμός χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά για να ελέγχει τον διατοιχισμό του πλοίου το 1920 για πολεμικά και ύστερα για επιβατηγά πλοία. Αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο σφόνδυλο και περιστρεφόμενη υποχώρηση που μεταφέρει την ροπή στα κατασκευαστικά μέρη του πλοίου. Όσο υψηλότερη η στροφορμή που προκαλείται στον σφόνδυλο, τόσο υψηλότερη η δύναμη αντίστασης του συστήματος σε εξωτερικές ροπές.



Εικόνα 4: Τοπικό σύστημα Gyroscopic internal stabilizer[12]

Κεφάλαιο 3^ο

Κανονισμοί ευστάθειας

3.1 Κριτήριο καιρού του IMO (Resolution MSC.267(85))

3.1.1 Εισαγωγή

Ο στόχος του κώδικα είναι να παρουσιάσει υποχρεωτικά και προτεινόμενα κριτήρια ευστάθειας και άλλα μέτρα για να εξασφαλίσει τις ασφαλείς λειτουργίες του πλοίου, να ελαχιστοποιήσει το ρίσκο σε πλοία, επιβαίων προσωπικό και στο περιβάλλον.

Ο κώδικας περιλαμβάνει κριτήρια άθικτης ευστάθειας για τους παρακάτω τύπους πλοίων και άλλων πλωτών μέσων άνω των 24m.

- Εμπορικά
- Εμπορικά πλοία μεταφοράς ξυλείας
- Επιβατηγά
- Αλιευτικά
- Ειδικών χρήσεων
- Πλοία ανεφοδιασμού εγκαταστάσεων ανοιχτής θαλάσσης
- Κινητές μονάδες γεώτρησης ανοιχτής θαλάσσης
- Πλωτήρες
- Εμπορικά πλοία μεταφοράς container και containerships

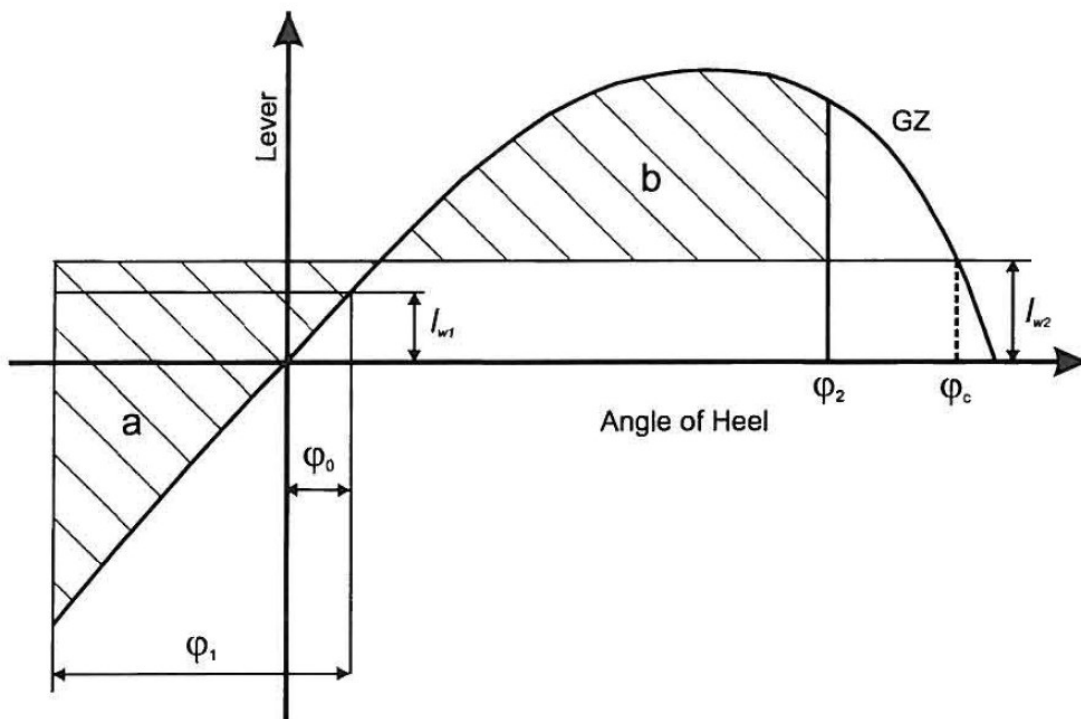
3.1.2 Κριτήρια που αφορούν τις ιδιότητες του μοχλοβραχίονα επαναφοράς

1. Η επιφάνεια κάτω από τον μοχλοβραχίονα επαναφοράς δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0.55metre-radians ως την γωνία 30° και όχι μικρότερη από 0.09metre-radians ως την γωνία 40° ή ως την γωνία κατάκλισης ϕ_f αν αυτή η γωνία είναι μικρότερη των 40°. Επιπλέον, η επιφάνεια κάτω από τον μοχλοβραχίονα επαναφοράς ανάμεσα στις γωνίες 30° και 40° ή 30° και ϕ_f αν αυτή είναι μικρότερη των 40°, δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 0.03metre-radians
2. Ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς GZ πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.2m σε γωνία κλίσης ίση ή μεγαλύτερη από τις 30°
3. Ο μέγιστος μοχλοβραχίονας επαναφοράς θα πρέπει να βρίσκεται σε γωνία μικρότερη των 25°. Αν αυτό δεν είναι πρακτικό, εναλλακτικά κριτήρια, βασισμένα σε παρόμοιο επίπεδο ασφαλείας, μπορούν να εφαρμοστούν αν συμφωνούν με τον νηογνώμονα του πλοίου.
4. Το αρχικό μετακεντρικό ύψος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 0.15m.

3.1.3 Κριτήριο ισχυρών ανέμων και διατοιχισμού

Η ικανότητα ενός πλοίου να αντέχει τον συνδυασμό των επιδράσεων του ισχυρού ανέμου και του διατοιχισμού παρουσιάζεται παρακάτω:

1. Το πλοίο που υπόκειται σε σταθερή πίεση ανέμου που εφαρμόζεται κάθετα με την μεσοκάθετο του πλοίου έχει σαν αποτέλεσμα σε έναν σταθερό μοχλοβραχίονα ανέμου (I_{w1}).
2. Από την επακόλουθη γωνία ισορροπίας(φ_0), γίνεται υπόθεση διατοιχισμού του πλοίου λόγω κυματισμών έως την γωνία (φ_1), η οποία δεν πρέπει να ξεπεράσει τις 16° ή το 80% της γωνίας κατάκλισης, οποιαδήποτε είναι μικρότερη.
3. Το πλοίο τότε υπόκειται σε πίεση ριπής ανέμου που έχει σαν αποτέλεσμα έναν μοχλοβραχίονα ριπής ανέμου (I_{w2}).
4. Κάτω από αυτές τις συνθήκες πρέπει το εμβαδόν b να είναι μεγαλύτερο από το εμβαδόν a, όπως δείχνεται στο παρακάτω σχήμα:



Διάγραμμα 2: Σχεδιάγραμμα εφαρμογής του κριτηρίου ανέμου MSC.267(85).

Όπου οι γωνίες στο παραπάνω σχήμα δίνονται ως εξής:

- ϕ_0 = γωνία κλίσης κάτω από σταθερό άνεμο.
- ϕ_1 = γωνία διατοιχισμού προς τον άνεμο λόγω κυματισμών.
- ϕ_2 = γωνία κατάκλισης Φ_f ή 50° ή Φ_c , οποιαδήποτε είναι μικρότερη.

Όπου

- ϕ_f = η γωνία στην οποία ανοίγματα στο κύτος, στις υπερκατασκευές ή υπερστεγάσματα δεν γίνεται να είναι υδατοστεγή κλειστά. Στην εφαρμογή του κριτηρίου μικρά ανοίγματα από τα οποία δεν υπάρχει δίοδος του νερού προς το εσωτερικό του πλοίου για κατάκλιση, δεν χρειάζεται να θεωρηθούν ανοιχτά.
- ϕ_c = γωνία δεύτερης τομής μεταξύ του μοχλοβραχίονα I_{w2} και της καμπύλης GZ.

Οι μοχλοβραχίονες επαναφοράς I_{w1} και I_{w2} είναι σταθερές τιμές για όλες τις γωνίες κλίσης και υπολογίζονται ως εξής:

$$I_{w1} = \frac{P * A * Z}{1000 * g * \Delta} \quad (3.1)$$

$$I_{w2} = 1.5 * I_{w1} \quad (3.2)$$

Όπου :

P = πίεση ανέμου 504 Pa. Η πίεση ανέμου για πλοία με περιορισμένη περιοχή λειτουργίας μπορεί να μειωθεί αν συμφωνεί και ο νηογνώμονας του πλοίου.

A = η προβολή της επιφάνειας του πλοίου πάνω από το επίπεδο της ισάλου (m^2).

Z = κάθετη απόσταση από το κέντρο της A στο κέντρο της επιφάνειας κάτω από την ίσαλο πλεύσης (m).

Δ = εκτόπισμα (t).

g = επιτάχυνση βαρύτητας 9.81 m/s^2 .

Εναλλακτικοί μέθοδοι για να διευκρινιστεί ο μοχλοβραχίονας ανέμου είναι δεκτοί, αν συμφωνούν με τον νηογνώμονα, ως παρόμοιοι με την παραπάνω εξίσωση.

Η γωνία διατοιχισμού (ϕ_1) υπολογίζεται ως εξής:

$$\phi_1 = 109 * k * X1 * X2 * \sqrt{r * s} \quad (\text{degrees}) \quad (3.3)$$

Όπου:

X_1 = συντελεστής δίνεται από τον πίνακα 1.

X_2 = συντελεστής δίνεται από τον πίνακα 2.

k = συντελεστής που δίνεται ως εξής:

- $k = 1.0$ για πλοίο με καμπυλωτή, σε εγκάρσιες τομές, γάστρα, δίχως εμφανή τρόπιδα ή παρατροπίδια.
- $k = 0.7$ για πλοίο με ακμές.
- k = λαμβάνεται απ' τον σχετικό πίνακα που δίδεται στον πίνακα 3.

$$r = 0.73 + 0.6 \times OG/d$$

με:

$$OG = KG - d$$

d = μέσο βύθισμα πλοίου (m).

s = συντελεστής που δίνεται από τον πίνακα 4, όπου T είναι η περίοδος διατοιχισμού του πλοίου. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω τύπος.

$$T = \frac{2 * C * B}{\sqrt{GM}} \quad (S) \quad (3.4)$$

$$\text{Όπου } C = 0.373 + 0.023(B/d) - 0.043(L_{wl}/100)$$

Τα σύμβολα στους παρακάτω πίνακες είναι:

- L_{wl} = μήκος ισάλου του πλοίου.
- B = πλάτος του πλοίου.
- D = μέσο βύθισμα.
- C_B = συντελεστής γάστρας.
- A_k = ολική επιφάνεια παρατροπιδίων .
- GM = μετακεντρικό ύψος διορθωμένο για τις ελεύθερες επιφάνειες.

B/d	X ₁
≤ 2.4	1.00
2.5	0.98
2.6	0.96
2.7	0.95
2.8	0.93
2.9	0.91
3.0	0.90
3.1	0.88
3.2	0.86
3.4	0.82
≥ 3.5	0.80

Πίνακας 1: Τιμές του συντελεστή X₁.

C _B	X ₂
≤ 0.45	0.75
0.5	0.82
0.55	0.89
0.60	0.95
0.65	0.97
≥ 0.7	1.00

Πίνακας 2: Τιμές του συντελεστή X₂.

$\frac{Ak \times 100}{Lwl \times B}$	k
0	1.0
1.0	0.98
1.5	0.96
2	0.88
2.5	0.79
3	0.74
3.5	0.72
≥ 4.0	0.70

Πίνακας 3: Τιμές του συντελεστή k.

T	s
≤ 6	0.100
7	0.098
8	0.093
12	0.065
14	0.053
16	0.044
18	0.038
≥ 20	0.035

Πίνακας 4: Τιμές του συντελεστή s.

(Σχετικά με την τιμή του συντελεστή s έχει δημιουργηθεί καινούργιος πίνακας που περιλαμβάνεται στα κριτήρια 2^{ης} γενιάς.)

Οι παραπάνω πίνακες ισχύουν για πλοία στα οποία ισχύει :

- $B/d < 3.5$,
- $0.3 < (KG/d-1) < 0.5$,
- $T < 20$ s.

Για πλοία με παραμέτρους διαφορετικές από τις παραπάνω η γωνία διατοιχισμού (ϕ_1) μπορεί να καθοριστεί από πειράματα του μοντέλου του υποκείμενου πλοίου με την διαδικασία που περιγράφεται στο MSC.1/Circ.1200 ως εναλλακτική. Επιπλέον ο νηογνώμονας γίνεται να θεωρήσει δεκτές και άλλες μεθόδους για οποιοδήποτε πλοίο αν θεωρούνται κατάλληλες.

3.1.4 Κριτήριο κλίσης λόγω στροφής

Απότομες στροφές σε επιβατηγά πλοία μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες γωνίες κλίσης, οι οποίες από την πλευρά τους προκαλούν επικίνδυνες καταστάσεις στο πλοίο. Οι επιβάτες και το πλοίο μπορούν να υποστούν τραυματισμούς και μη δεσμευμένο φορτίο μπορεί κινηθεί και να εκθέσει ακόμη περισσότερο την ευστάθεια του πλοίου. Για αυτό το λόγο ο IMO υιοθέτησε τον κανονισμό International Code on Intact Stability (ISC) τον Δεκέμβριο του 2008 με τον κανονισμό MSC.267(85), που περιλαμβάνει έναν κανονισμό ειδικά για επιβατηγά πλοία. Ο κανονισμός αυτός παρουσιάζει μία εξίσωση με σκοπό την εκτίμηση την γωνίας κλίσης λόγω στροφής και την εξασφάλιση ότι αυτή η τιμή δεν ξεπερνά του κριτηρίου.

Σύμφωνα με τον κανονισμό πρέπει η κλίση λόγω στροφής να είναι μικρότερη από 10 μοίρες όταν η ροπή διατοιχισμού υπολογίζεται από τους τύπους :

$$MR = 0.200 \frac{V^2}{LWL} \Delta \left(KG - \frac{d}{2} \right) \quad (3.5)$$

$$tg(\phi_R) = \frac{MR}{\Delta g GM} \quad (3.6)$$

Όπου :

MR = ροπή κλίσης (kNm).

V = ταχύτητα υπηρεσίας (m/s).

L_{WL} = μήκος ισάλου (m).

Δ = εκτόπισμα (t).

d = μέσο βύθισμα (m).

KG = κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους (m).

g = επιτάχυνση βαρύτητας (m/s^2).

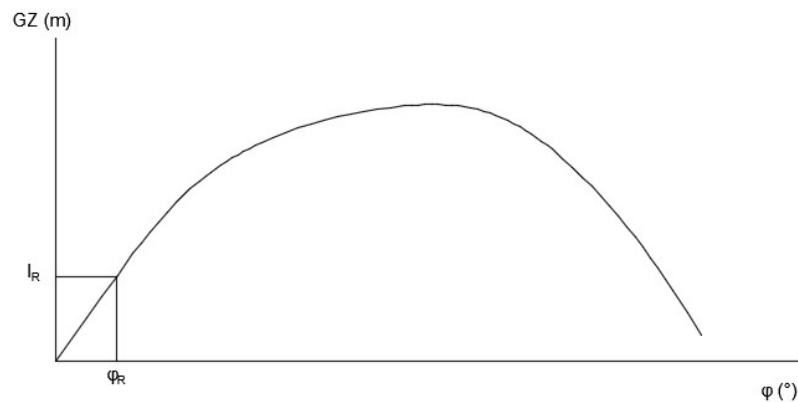
$tg(\varphi R)$ = εφαπτόμενη της γωνίας φR (rad).

Ο συντελεστής 0.2 της εξίσωσης 3.5 είναι αποτέλεσμα της υπόθεσης ότι η ακτίνα του κύκλου της στροφής ισούται με 5 φορές το μήκος της βρεχόμενης ισάλου.

$$R=5LWL \Rightarrow \frac{1}{R} = 0.2 \frac{1}{LWL}$$

Υπάρχει και εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού της γωνίας κλίσης ο οποίος βρίσκεται από την τομή του παρακάτω μογλοβραχίονα με την καμπύλη GZ :

$$IR(\varphi) = \frac{MR}{\Delta g} \cos \varphi \quad (3.7)$$



Διάγραμμα 3: Σχεδιάγραμμα εφαρμογής του κριτηρίου στροφής MSC.267(85).

3.2 Κώδικας ANEP-77 για την άθικτη ευστάθεια

3.2.1 Εισαγωγή

Ο κώδικας ANEP-77[2] έχει αναπτυχθεί ως πρότυπο βάσει στόχων (goal based standard) για πολεμικά πλοία κατά τη φάση λειτουργίας τους εν καιρώ ειρήνης και παρέχει τη δυνατότητα να πιστοποιούνται ως ασφαλή για λειτουργία. Περιλαμβάνει διαδικασίες και πιθανές λύσεις για συγκεκριμένες τεχνικές περιοχές που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα πλοίο, μέσα στο πλαίσιο λειτουργίας του. Ο κώδικας προέκυψε από συνεργασία ναυτικών και νηογνομών από διάφορες χώρες.

Η ολική ασφάλεια εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως την επάνδρωση, την οργάνωση και λειτουργία, τα οποία δεν περιλαμβάνονται στον σκοπό του κώδικα.

Ο κώδικας δεν απευθύνεται σε περιβαλλοντολογικούς κανονισμούς στους οποίους θα πρέπει να υπάγεται ένα πλοίο.

Για να καλύπτονται οι διάφορες λειτουργίες διαφορετικών πλοίων ο κώδικας είναι goal based. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη δημιουργία του Κώδικα έχουν λάβει υπ'όψιν τη διακινδύνευση και τα προβλήματα που μπορεί να επηρεάσουν την ασφάλεια και έχουν συναθροίσει σε στόχους οι οποίοι πρέπει να επιτυγχάνονται με τη τεχνική σχεδίαση, τη χρήση σωστών λύσεων που προτείνονται μέσω του Κώδικα ή με τη χρήση αξιόπιστου μηχανικού επιχειρήματος έτσι ώστε η λύση να ικανοποιεί τα όρια ασφαλείας.

Προκειμένου το πλοίο να είναι σύμφωνο με το ανώτερο επίπεδο στόχων του κώδικα, όλα τα κατώτερα επίπεδα, λειτουργικά αντικείμενα και οι λειτουργικές απαιτήσεις πρέπει να εκπληρούνται. Λόγω της κατασκευής του ο κώδικας είναι ευέλικτος ώστε να υπάρξει πιστοποίηση. Σκοπός του κώδικα είναι να παρέχει ένα πλαίσιο για την επίτευξη ενός επιπέδου ασφαλείας παρόμοιου με αυτό που επιτυγχάνεται με την SOLAS. Για αυτόν τον λόγο περιλαμβάνει περιοχές εξέτασης όπως η πυρασφάλεια, η εκκένωση, η κατασκευή, οι τηλεπικοινωνίες, η πλοήγηση.

3.2.2 Goal Based Standards

3.2.2.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μία τάση προς goal based standards και προκύπτει από διάφορους λόγους.

Σε πολλές βιομηχανίες υπάρχει αύξηση της πολυπλοκότητας των συστημάτων και των αλληλεπιδράσεων τους. Δημιουργούνται καινοτόμες τεχνολογίες με αυξανόμενη συχνότητα και είναι δύσκολο να καταγραφούν όλες οι συμπεριλαμβανόμενες προδιαγραφές που απευθύνονται στις τεχνολογίες αυτές, για τις οποίες δεν είναι κατανοητό πλήρως το ρίσκο τους. Απαιτείται λοιπόν ευλύγιστοι και προσαρμόσιμοι κανονισμοί.

Οργανισμοί που δημιουργούν κανονισμούς συνειδητοποίησαν την ανάγκη να αναβαθμιστούν οι υπάρχον ρυθμιστικοί κανονισμοί και να γίνει καταγραφή ενός ολόκληρου μοντέλου αντικειμένων από πρωταρχικά αντικείμενα, τα οποία περιλαμβάνουν το πιθανό ρίσκο το οποίο σχετίζεται με τον εξοπλισμό, σε επίπεδο που μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε τεχνολογία ή λύση.

Στο παρελθόν παραδοσιακά ρυθμιστικές προδιαγραφές είχαν αναπτυχθεί κυρίως ως απάντηση σε γεγονότα αλλά αυτός ο τρόπος δεν είναι πια αποδεκτός από την κοινωνία και υπάρχει προσμονή για λογικά ρίσκα που αναγνωρίζονται και λαμβάνονται υπ' όψιν στον σχεδιασμό και την λειτουργία ενός πλοίου.

3.2.2.2 Ιστορική αναδρομή goal based standards

Ο όρος goal based standards δεν είναι καινούργιος, χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια. Goal based standards αναπτύχθηκαν για κανονισμούς ασφαλείας κτηρίων ως απάντηση στην προοδευτική εξέλιξη της μηχανικής και ανάλυσης πυρκαγιών και επιπλέον λόγω της θέλησης για εξέλιξη από προσέγγιση συνταγογραφούμενης συμμόρφωσης σε προσέγγιση ευέλικτων goal based standards που υπολογίζει ολόκληρο το σύστημα.

Μία από τις πρώτες σημαντικές δημοσιεύσεις τέτοιας προσέγγισης ήταν του National Fire Protection Associate NFPA Building, ο οποίος ανέπτυξε τον κώδικα το 1997, ο οποίος είναι γνωστός ως NFPA 5000 the Building Construction and Safety Code. Δόθηκαν οδηγίες στις τεχνικές επιτροπές για την ανάπτυξη ενός κώδικα βασισμένου στην απόδοση βασισμένου στην έρευνα του NFPA. Αυτό εισήγαγε ένα κλιμακωτό κατασκεύασμα σκοπού και στόχου, αντικειμένου, λειτουργικών καταθέσεων, προϋποθέσεων απόδοσης, κριτηρίων, στόχων και λύσεων.

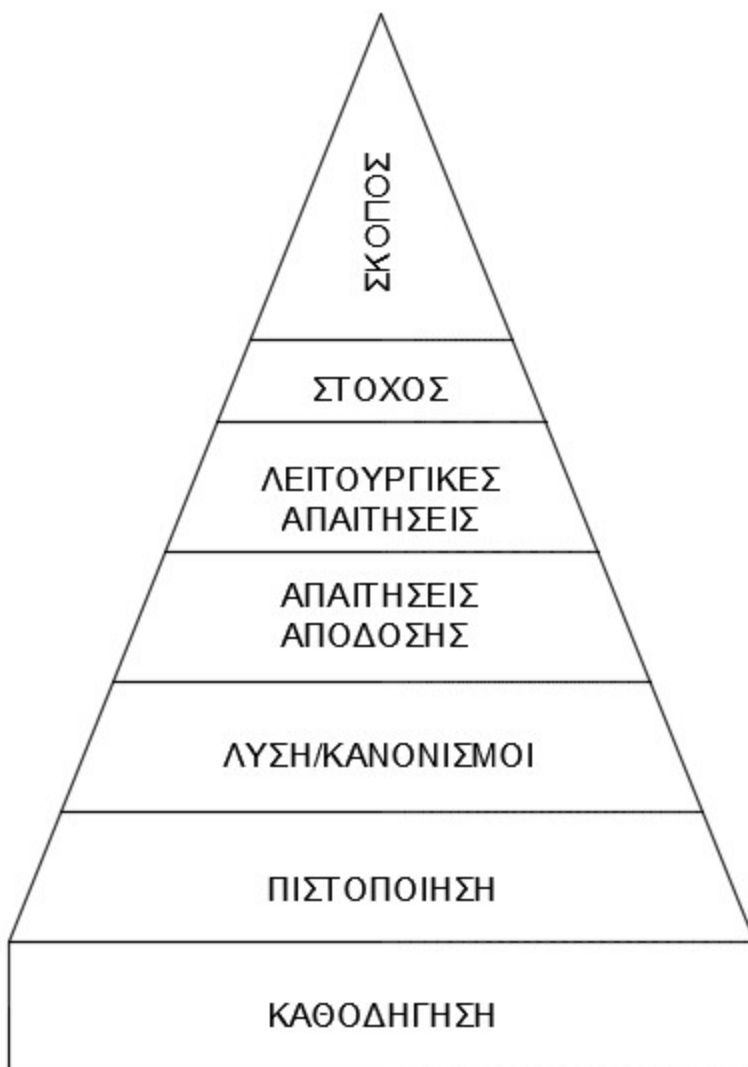
Η προσέγγιση αυτή παράχθηκε από το New Zealand Building Regulations και υιοθετήθηκε το 1991. Τα κριτήρια αυτά είχαν μία κλιμακωτή σειρά και ήταν μία πρώτη μορφή goal based standards τα οποία περιείχαν:

1. Αντικείμενο – ο στόχος ο οποίος πρέπει να επιτευχθεί στο κτίριο.
2. Λειτουργικές ανάγκες – την λειτουργία την οποία πρέπει να έχει το κτίριο.
3. Κριτήρια απόδοσης – ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια με τα οποία πρέπει να είναι σύμφωνο το κτίριο για την λειτουργία που θα εκπληρεί.

Πρώτη φορά που συζητήθηκε στον IMO ο όρος goal based standards για την κατασκευή ενός πλοίου ήταν το 2002. Επακολούθως η επιτροπή ναυτικής ασφάλειας ξεκίνησε αναλυτική τεχνική δουλειά και έγινε διάλογος για τα θέματα του το 2004. Η επιτροπή συμφώνησε σε ένα σύστημα 5 επιπέδων αποτελούμενων από τα εξής:

1. Επίπεδο 1^ο : στόχος να είναι η κατασκευή τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής και περιβαλλοντική-φιλική λειτουργία του πλοίου.
2. Επίπεδο 2^ο : λειτουργικές απαιτήσεις σχετικές με τις λειτουργίες των κατασκευών του πλοίου ώστε να εξασφαλίζεται το 1^ο επίπεδο.

3. Επίπεδο 3^ο : επιβεβαίωση των κριτηρίων συμμόρφωσης ώστε να παρέχονται να εργαλεία τα οποία είναι αναγκαία για να αποδειχθεί ότι οι αναλυτικές απαιτήσεις του επιπέδου 4 είναι σύμφωνα με τους στόχους του 1^{ου} και του 2^{ου} επιπέδου.
4. Επίπεδο 4^ο : τεχνικές διαδικασίες και οδηγίες, που περιλαμβάνουν εθνικές και διεθνείς απαιτήσεις, που περιλαμβάνονται από αναλυτικές απαιτήσεις που έχουν αναπτυχθεί από τον ΙΜΟ, τις ναυτικές διοικήσεις ή τον νηογνώμονα.
5. Επίπεδο 5^ο : βιομηχανικές απαιτήσεις, κώδικες εφαρμογής , ασφαλείας και ποιότητας για ναυπήγηση, λειτουργία, συντήρηση, εκπαίδευση, επάνδρωση.



Σχήμα 4 :Επίπεδα Goal Based Standards.

3.2.3 ANEP-77 κανονισμός ευστάθειας

Σκοπός των κανονισμών ευστάθειας είναι το πλοίο να διαθέτει επαρκής ευστάθεια ώστε να αποφευχθεί η ανατροπή κατά την πλεύση στο προβλεπόμενο περιβάλλον λειτουργίας και σε όλες τις πιθανές καταστάσεις είτε σε άθικτη είτε μετά από βλάβη, λαμβάνοντας υπόψη τις αρχές της καλής ναυτοσύνης.

Ο λειτουργικός στόχος είναι το πλοίο να έχει ικανοποιητική αντίσταση στην κίνηση του διατοιχισμού ώστε να μην υπάρξει ανατροπή στην όταν διαταράσσεται η ισοροπία του. Επίσης θα πρέπει να διαθέτει ικανοποιητική ροπή επαναφοράς ώστε να επιστρέφει στην όρθια θέση όταν αφαιρείται η διαταραχή σε κάθε πιθανή κατάσταση λειτουργίας.

Απαιτήσεις απόδοσης

- Το πλοίο πρέπει για κάθε πιθανή κατάσταση λειτουργίας:
 - Επαρκή αντίσταση σε διατοιχισμό και ανάπτυξη εγκάρσιων γωνιών που οφείλεται σε διέγερση από το θαλάσσιο περιβάλλον, τόση ώστε να μπορούν οι επιβαίνοντες να διατελέσουν τις εργασίες τους με ασφαλές τρόπο
 - Να επιστρέψει σε όρθια θέση από την γωνία εγκάρσιας κλίσης μετά από την αφαίρεση της διαταραχής.
- Οποιοσδήποτε προδιαγραφές, μοντέλα (φυσικά ή μαθηματικά), υπολογισμοί, τεστ, δοκιμές ή διαδικασίες που έχουν χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί το κέντρο βάρους και η ροπή επαναφοράς του πλοίου, καθώς και το μέγεθος των προβλεπόμενων διεγέρσεων, θα πρέπει να είναι διαθέσιμη για έγκριση από την αρμόδια Αρχή.
- Κάθε οδηγία λειτουργίας του πλοίου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το πλήρωμα για την ασφαλή πλεύση του πλοίου θα πρέπει να εγκριθεί από την αρμόδια Αρχή (π.χ. εγχειρίδια ευστάθειας, loading stability computer, weather routing system, περιορισμοί λειτουργίας).

Άθικτη ευστάθεια

Όπως αναφέρθηκε οι κανονισμοί τύπου goal based standard είναι ευέλικτοι. Σε αυτόν τον κανονισμό για να υπάρξει επίτευξη άθικτης ευστάθειας υπάρχουν 4 κριτήρια (solutions), και το υπό σχεδίαση πλοίο πρέπει να πληροί τουλάχιστον ένα.

- Solution 1: Προτείνεται για πλοία με απαίτηση να έχουν παρόμοια επιβιωσιμότητα με αυτή που υπάρχει παραδοσιακά για τέτοιου είδους πλοία.
- Solution 2: Προτείνεται για πλοία με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον πίνακα 7
- Solution 3 :το υπό μελέτη πλοίο να είναι συμβατό με την αρχή (π.χ. Ναυτική διοίκηση ή σημαία)
- Solution 4: το υπό μελέτη πλοίο να είναι συμβατό με τον κανονισμό του IMO για άθικτη ευστάθεια

Στην παρούσα μελέτη θα εξεταστούν τα Solutions 1 και 2:

Solution 1

Η άθικτη ευστάθεια θα αξιολογείται με βάση τα κατάλληλα κριτήρια ευστάθειας για πλοία με απαίτηση λειτουργίας για το πλήρες εύρος τους σε κατάσταση φόρτωσης. Ο παρακάτω πίνακας περιγράφει τις ελάχιστες καταστάσεις φόρτωσης που απαιτούν αξιολόγηση για συμμόρφωση με ελάχιστο 33,3% για αναλώσιμα και φορτίο (υγρά και στερεά). Εκεί που απαιτείται λιγότερη ποσότητα π.χ. 10% πρέπει να έρχεται σε συμφωνία με τον κώδικα.

ΒΑΡΗ	FULL LOAD	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΣΧΟΛΙΑ
Lightship	100%	100%	100%	Περιλαμβάνει solid ballast , συστήματα σωληνώσεων και άλλα αντικείμενα μη ωφέλιμου φορτίου
Πλήρωμα και ο εξοπλισμός τους	100%	100%	100%	
Εξοπλισμός πλήρώματος	100%	100%	100%	
Ship logistic material	100%	100%	100%	Επισκευαστικός εξοπλισμός
foods	100%	66.6%	33.3%	
Φορτίο και σχετικός εξοπλισμός	100%	66.6%	33.3%	Παραδείγματα περιλαμβάνουν οχήματα(θαλάσσια, αέρος, στεριάς), στερεές προμήθειες(φαγητό, ανταλλακτικά, κτλ), καύσιμα, λιπαντικά νερό
Φορτίο και σχετικός εξοπλισμός		100%	100%	
Καύσιμα και λιπαντικά	100%	66.6%	33.3%	
Αναλώσιμα	100%	66.6%	33.3%	
Fresh water	100%	66.6%	33.3%	Όταν δεν παράγεται εν πλω
Fresh water	100%	66.6%	66.6%	Όταν παράγεται εν πλω
Bilge water	100%	33.3%	33.3%	
Ballast water				Όταν χρειάζεται για να την ευστάθεια, διαγωγή, κλίση
Δεξαμενές ευστάθειας				Σε επίπεδο λειτουργίας
Μη αναλώσιμα και υπολείμματα άντλησης	100%	100%	100%	

Πίνακας 5: ελάχιστες καταστάσεις φόρτωσης που απαιτούν εκτίμηση ευστάθειας.

- Η επιρροή των ελεύθερων επιφανειών πρέπει να ληφθεί υπόψιν όποτε το επίπεδο πληρότητας μίας δεξαμενής είναι λιγότερο από 98%. Δεξαμενές που λαμβάνονται υπόψιν στον υπολογισμό διόρθωσης λόγω ελεύθερων επιφανειών χωρίζονται σε 2 κατηγορίες:
 1. Δεξαμενές με συγκεκριμένα επίπεδα πληρότητας(π.χ. υγρού φορτίου, έρματος). Η διόρθωση λόγω ελεύθερων επιφανειών θα καθορίζεται με βάση το πραγματικό επίπεδο πληρότητας που χρησιμοποιείται στην δεξαμενή.

2. Δεξαμενές με διάφορα επίπεδα πληρότητας(π.χ. αναλώσιμα ρευστά ,όπως καυσίμων, λιπαντικών, και νερού, όπως επίσης και υγρού φορτίου και έρματος κατά την διάρκεια διαδικασιών μεταφορών ρευστών). Η διόρθωση λόγω ελευθέρων επιφανειών πρέπει να είναι η μέγιστη εφικτή τιμή μεταξύ των προβλεπόμενων ορίων γεμίσματος για κάθε δεξαμενή, σταθερή για κάθε διαδικασία.
- Στον υπολογισμό του φαινομένου των ελευθέρων επιφανειών στις δεξαμενές που περιέχουν αναλώσιμα ρευστά , πρέπει να υποθετηθεί ότι για κάθε είδος ρευστού , τουλάχιστον ένα εγκάρσιο ζεύγος ή μία κεντρική γραμμή δεξαμενής επηρεάζεται από τις ελεύθερες επιφάνειες και η δεξαμενή ή ο συνδυασμός δεξαμενών που λαμβάνονται υπόψιν, θα έχουν την μεγαλύτερη επίδραση λόγω του φαινομένου των ελευθέρων επιφανειών.
 - Για πλοία που προορίζονται για μεταφορές ρευστών , οι διορθώσεις ελευθέρων επιφανειών σε κάθε στάδιο της μεταφοράς θα πρέπει να σύμφωνα με την πληρότητα τους σε κάθε δεξαμενή σε αυτό το στάδιο.
 - Κάθε ασυνήθιστη απειλή στην ευστάθεια πρέπει να ερευνάται ξεχωριστά, υποθέτοντας την χειρότερη περίπτωση.
 - Το άθικτο πλοίο θα αξιολογείται , και θα πρέπει να πληρεί τα εξής κριτήρια που αφορούν:
 - Επιρροή ανέμου σε συνδυασμό με τον διατοίχισμό λόγω κυματισμών.
 - Επιρροή ανέμου σε συνδυασμό με τον διατοίχισμό λόγω κυματισμών περιλαμβανομένων topside icing effects.
 - Ανύψωση μεγάλων βαρών.
 - Στροφή μεγάλων ταχυτήτων.
 - Συνωστισμό των επιβατών
 - Κίνηση του φορτίου που μπορεί να προκαλέσει κίνδυνο για την ευστάθεια.
 - Αξιολόγηση ευστάθειας για πλοία που υποβάλλονται σε ανέμους και κυματισμούς.
 - Οι επιδράσεις του κυματισμού του διατοίχισμού και του ανέμου πρέπει να ληφθούν υπόψιν ταυτόχρονα. Οι μοχλοβραχίονες κλίσης ανέμου υπολογίζονται σύμφωνα με τις διαδικασίες που αναγράφονται παρακάτω. Η επαναφορά από γωνία 25° πρέπει να επιβεβαιώνει την επιπλέον ενέργεια που μεταδόθηκε στο πλοίο από τον διατοίχισμό.
 - Οι παρακάτω ταχύτητες ανέμου χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του μοχλοβραχίονα κλίσης ανέμου.

Υπηρεσία		Ελάχιστη ταχύτητα ανέμου
Απεριόριστος ωκεανός	Πλοία τα οποία αναμένεται να αντιμετωπίσουν ακραίες καιρικές καταστάσεις..	100 knots
Περιορισμένος ωκεανός	Πλοία που αναμένεται να αποφύγουν ακραίες καιρικές καταστάσεις.	80 knots
Κοντά στην στεριά	Πλοία που αναμένεται να αντιμετωπίσουν τέτοιες καιρικές καταστάσεις.	60 knots
Περιορισμένα κοντά στην στεριά	Πλοία τα οποία αναμένεται να αποφύγουν καταστάσεις gale force.	50 knots

Πίνακας 6: ταχύτητες ανέμου ανάλογα με την κατάσταση πλεύσης.

3.2.3.1 Υπολογισμός ευστάθειας λόγω ροπής ανέμου

- Άνεμος που ασκείται στο προφίλ του πλοίου πάνω από την επιφάνεια του νερού προκαλεί ροπή κλίσης που χαρακτηρίζεται από μοχλοβραχίονα κλίσης.

$$\text{Μοχλοβραχίονας Κλίσης Ανέμου} = \frac{\text{Ροπή Κλίσης Ανέμου}}{\text{Εκτόπισμα}}$$

- Οι ακόλουθες παράγραφοι παρέχουν μία μέθοδο για τον καθορισμό του μοχλοβραχίονα κλίσης ανέμου. Η ροπή κλίσης υπολογίζεται για την όρθια άθικτη περίπτωση και γίνεται υπόθεση μείωσης της γωνίας ως συνημιτονική συνάρτηση. Αυτό συμβαίνει διότι και οι δύο επιφάνειες προφίλ, και ο μοχλοβραχίονας στο κέντρο πλευρικής αντίστασης, θεωρούνται ότι μειώνονται ως συνημιτονική συνάρτηση της γωνίας κλίσης.
- Γίνεται ενσωμάτωση της πίεσης ανέμου στο προφίλ πάνω από την επιφάνεια νερού ώστε να βρεθεί η συνολική δύναμη και να συσχετιστεί με το κέντρο της προσπάθειας του ανέμου. Από αυτό μπορεί να προκύψει ο μοχλοβραχίονας κλίσης. Το κέντρο πλευρικής αντίστασης πρέπει να καθιερωθεί και να υποτεθεί σαν το μισό του μέσου όρου, ή εναλλακτικά προκύπτει από προσομοιώσεις και πειράματα
- Η ακόλουθη εξίσωση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πλευρικής πίεσης που ασκείται σε μια κατασκευή σε ένα συγκεκριμένο ύψος πάνω από το μέσο βύθισμα:

$$P = \frac{1}{2G} \rho_a v^2 C_D C_C \quad (3.8)$$

Όπου

- P = πίεση ανέμου (te/m^2).
 - g = επιτάχυνση βαρύτητας (m/s^2).
 - ρ_a = πυκνότητα αέρα (te/m^3).
 - v = ταχύτητα ανέμου στο απαιτούμενο ύψος πάνω από την ίσαλο (m/s).
 - C_D = drag coefficient.
 - C_C = συντελεστής εξαρτώμενος από το ύψος, απαραίτητος για να φέρει τις υπολογιζόμενες πιέσεις, χρησιμοποιώντας εμπειρικά δεδομένα.
- Η υποτιθέμενη ταχύτητα ανέμου στο προφίλ περιγράφεται από:

$$N = V \left[\frac{Z}{10} \right]^{(1/7)} \quad (3.9)$$

Όπου :

- v = ταχύτητα στο ύψος Z (m/s).
- V = 'ονομαστική' ταχύτητα ανέμου στα 10 μέτρα πάνω από το μέσο βύθισμα (m/s).
- Z = ύψος πάνω από το μέσο βύθισμα (m).

- Τυπική τιμή για τον υποτιθέμενο συντελεστή αντίστασης είναι 1.12.
- Ο συντελεστής συσχέτισης του ύψους Z (m) δίνεται από όποια από τις παρακάτω εξισώσεις δίνει την χαμηλότερη τιμή:

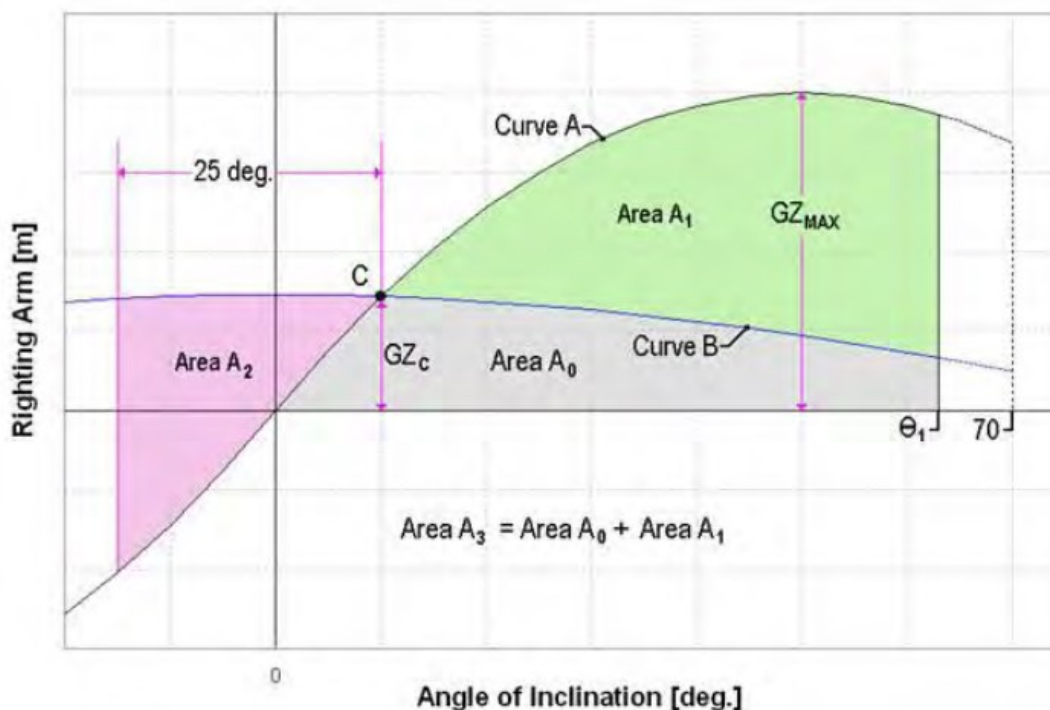
$$C_C=1.0113+0.0046Z$$

$$C_C=1.0488-0.0056Z$$

- Εμπειρικά δεδομένα στα οποία οι παραπάνω εξισώσεις βασίζονται καλύπτουν ύψη πάνω από το μέσο βύθισμα μεταξύ 0 και 30.5 m. Χρήση αυτής της μεθόδου πέρα από αυτό το εύρος πρέπει να ληφθεί με προσοχή.
- Σημειώνεται ότι η καμπύλη πίεσης που περιγράφεται από αυτές τις εξισώσεις έχει μέγιστο 0.239 te/m^2 σε ύψος 41.62 m πάνω από το μέσο βύθισμα. Προτείνεται να υποτεθεί μία οριζόντια εφαπτομένη στην καμπύλη πίεσης όταν εκτιμάται η πίεση ανέμου-κλίσης σε ύψη που ξεπερνούν τα 41.62 m.

Απαιτήσεις:

- 1 – Μοχλοβραχίονας επαναφοράς στο σημείο C $GZ_C \leq 60\%GZ_{MAX}$
- 2 – Εμβαδόν $A_1 \geq 140\%A_2$



Διάγραμμα 4: Σχεδιάγραμμα εφαρμογής του κριτηρίου ανέμου ANEP-77 solution 1.[2]

Όπου

Curve A = άθικτη καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς.

Curve B = καμπύλη κλίσης λόγω κινδύνου (δηλ. Άνεμος, στροφή , ανύψωση βαρών, συνωστισμός).

C = σημείο ισορροπίας (σημείο τομής των καμπυλών curve A= curve B).

GZ_C = μοχλοβραχίονας επαναφοράς στο σημείο ισορροπίας C.

GZ_{MAX} = μέγιστος μοχλοβραχίονας επαναφοράς.

$\Theta_1 = \eta$ γωνία κατάκλισης ή 70° , οποιαδήποτε είναι μικρότερη.

Area A_0 = περιοχή δεξιά των μηδέν μοιρών κλίσης, που βρίσκεται κάτω από την curve A, κάτω από την curve B και περιορίζεται από την κάθετη γραμμή στο Θ_1 .

Area A_1 = περιοχή δεξιά του C που βρίσκεται κάτω από την curve A, πάνω από την curve B και περιορίζεται από την κάθετη γραμμή στο Θ_1 .

Area A_2 = περιοχή αριστερά του σημείου C που βρίσκεται πάνω από την curve A, κάτω από την curve B και περιορίζεται από την κάθετη γραμμή που υπάρχει 25° αριστερά του C.

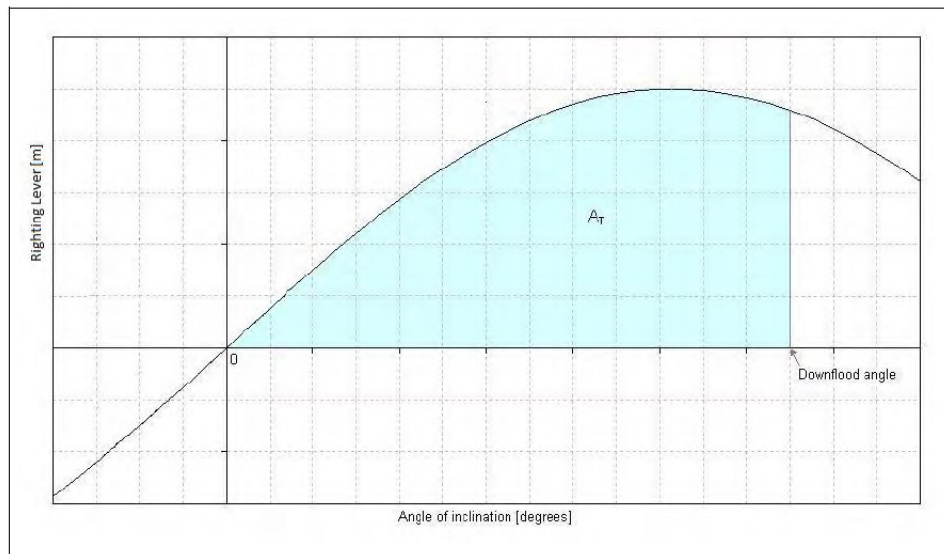
Area A_3 = Area A_0 + Area A.

Solution 2 :

Απαιτήσεις :

1 – Επιφάνεια $A_T \geq 0.038\text{mrad}$

2 – Μετακεντρικό ύψος $GM > 0.001B^2$



Διάγραμμα 5: Σχεδιάγραμμα εφαρμογής του κριτηρίου ανέμου ANEP-77 solution 2.[2]

Αυτός ο κανονισμός ισχύει μόνο για πλοία με τα εξής χαρακτηριστικά :

Παράμετρος	Μέγιστο	Ελάχιστο	Χαρακτηρισμός
D	1730	10220	Εκτόπισμα (tonnes)
L	78	142	Μήκος ισάλου (m)
B	11	19	Πλάτος ισάλου (m)
L/B	6.75	9.23	Μήκος προς πλάτος
C_B	0.44	0.55	Συντελεστής γάστρας
C_{WP}	0.64	0.81	Συντελεστής ισάλου επιφάνειας
C_{VP}	0.59	0.73	Πρισματικός συντελεστής
T	3.29	6.91	Μέσο βύθισμα(m)
f_m	4.13	6.91	Μέσο ύψος έξαλλων(m)

Πίνακας 7: χαρακτηριστικά πλοίων για τα οποία ισχύει το solution 2 του ANEP-77

3.2.3.1 Υπολογισμός ευστάθειας λόγω στροφής με υψηλή ταχύτητα

- Οι υπολογισμοί πρέπει να γίνουν ώστε να διασφαλιστεί ότι ένα πλοίο έχει επαρκή ευστάθεια ενώ διενεργεί στροφή υψηλής ταχύτητας. Ο μοχλοβραχίονας στροφής αντιπροσωπεύει την επιρροή της κεντρομόλου δύναμης οπότε πρέπει να βρίσκεται πάνω στον μοχλοβραχίονα άθικτης επαναφοράς.
- Η σταθερή ακτίνα στροφής μπορεί να υποτεθεί ως η μισή της τακτικής διαμέτρου. Αν δεν είναι γνωστή η τακτική διάμετρος μπορεί να γίνει εκτίμηση της ως 2.5-3.5 φορές μεγαλύτερη του LBP.
- Ο μοχλοβραχίονας κλίσης μπορεί να βρεθεί από μεθοδολογία δεκτή από την σημαία, εναλλακτικά υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Μοχλοβραχίονας κλίσης [m]} = \frac{V^2 a \cos\theta s}{gR} \quad (3.10)$$

Όπου:

V = ταχύτητα πλοίου στην στροφή (65% της ταχύτητας προσέγγισης)[ms⁻¹].

A = κάθετη απόσταση του KG από το κέντρο της πλευρικής αντίστασης (εκτιμάται ως η απόσταση από την τρόπιδα ως το μέσο βύθισμα)[m].

Θ = γωνία κλίσης[degrees].

g = επιτάχυνση λόγω βαρύτητας [ms⁻²].

R = ακτίνα στροφής [m].

Απαιτήσεις :

- 1 – Μοχλοβραχίονας επαναφοράς στο σημείο C $GZ_C \leq 60\%GZ_{MAX}$
- 2 – Γωνία κλίσης στο σημείο C $\leq 15^\circ$
- 2 – Εμβαδόν A1 $\geq 40\%A3$

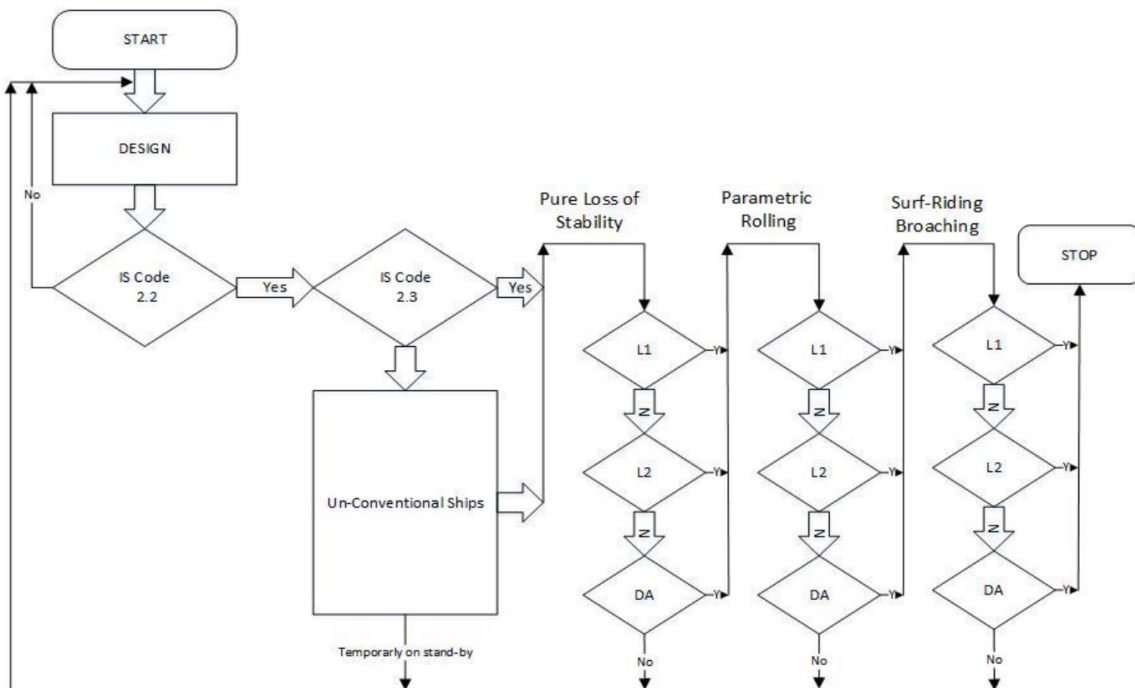
3.3 Κριτήρια ευστάθειας 2^{ης} γενιάς

3.3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με αποτυχία ευστάθειας λόγω εγκάρσιας επιτάχυνσης.[5]

Το 2002 ήταν έτος έναρξης της ανάπτυξης κριτηρίων 2^{ης} γενιάς, καθώς η μορφοποίηση των γαστρών κυρίως σε πλοία τύπου containerships και Ro/Ro είχε αλλάξει. Αυτή η αλλαγή έγινε προκειμένου να βελτιωθεί η υδροδυναμική συμπεριφορά και η απόδοση, όμως είχε επιπτώσεις στην ευστάθεια κυρίως σε κυματισμούς. Τον Σεπτέμβριο του 2005 η επιτροπή του SLF αποφάσισε ότι τα κριτήρια 2^{ης} γενιάς πρέπει να εστιάσουν σε αυτούς τους 3 τρόπους απώλειας ευστάθειας.

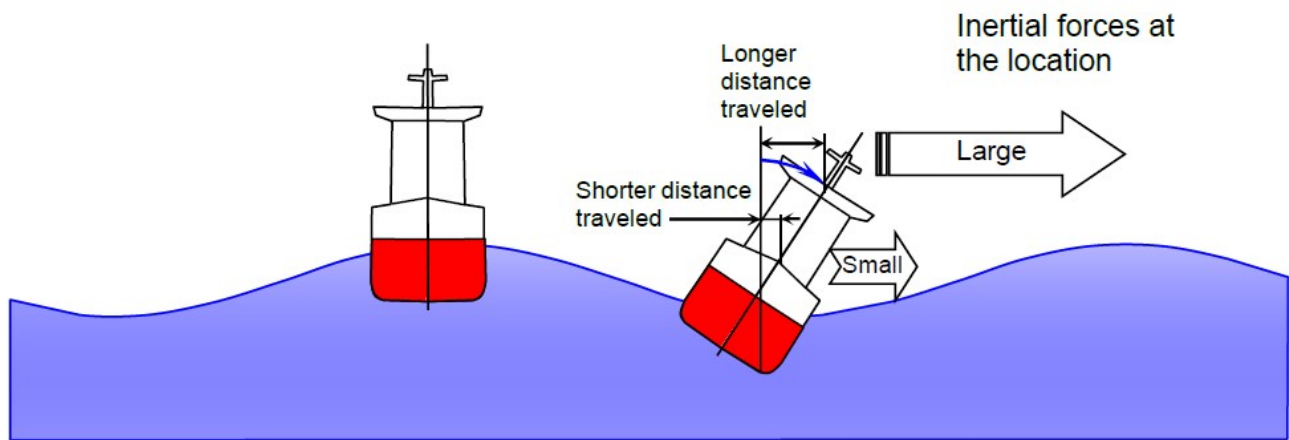
- Προβλήματα επαναφοράς στην αρχική θέση.
- Ευστάθεια σε κατάσταση <νεκρού πλοίου>.
- Προβλήματα στροφής σε κυματισμούς.

Τα κριτήρια 2^{ης} γενιάς αποτελούνται από μία προσέγγιση 3 επιπέδων. Κάθε επίπεδο περιλαμβάνει όλο και πιο περίπλοκους και ακριβείς υπολογισμούς. Στο πρώτο επίπεδο γίνεται μία εκτίμηση, λαμβάνοντας υπόψιν γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γάστρας και καταστάσεις φόρτωσης, προκειμένου να βρεθούν τυχόν ευαίσθησιες ως προς την ευστάθεια που οφείλονται στο σχεδιασμό. Το δεύτερο επίπεδο αποτελείται από σύνθετους υπολογισμούς καθώς συνυπολογίζονται πιο σύνθετες πληροφορίες όπως τα φαινόμενα τα οποία πρόκειται να συναντήσει το πλοίο κατά το ταξίδι του και η δυναμική συμπεριφορά του. Στο τρίτο και τελευταίο επίπεδο γίνονται προσομοιώσεις με τουλάχιστον 4 βαθμούς ελευθερίας. Με αυτόν τον τρόπο προβλέπεται η συμπεριφορά που θα έχει το πλοίο σε κατάσταση πλεύσης.



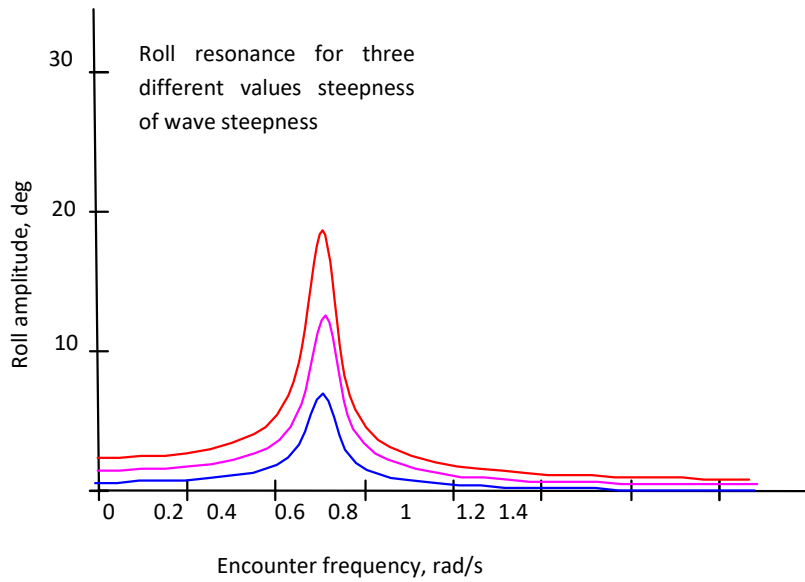
Σχήμα 5 : Προσέγγιση 3 επιπέδων κριτηρίων 2^{ης} γενιάς[11]

Στην μελέτη αυτή θα υπολογιστεί και μόνο το 1^ο επίπεδο σχετικά με το πρόβλημα της εγκάρσιας επιτάχυνσης. Κατά την κίνηση του διατοιχισμού το πλοίο έχει μία συγκεκριμένη περίοδο κίνησης. Ότι βρίσκεται στο εσωτερικό του κινείται με αυτή την περίοδο. Οπότε αντικείμενα σε υψηλότερες θέσεις που πρέπει να καλύψουν μεγαλύτερες αποστάσεις στον ίδιο χρόνο αποκτούν μεγαλύτερες ταχύτητες και επιταχύνσεις. Αποτέλεσμα αυτού είναι να δημιουργούνται μεγαλύτερες αδρανειακές δυνάμεις. Το φαινόμενο αυξάνεται ειδικά για μεγαλύτερο μετακεντρικό ύψος καθώς μειώνεται η περίοδος.

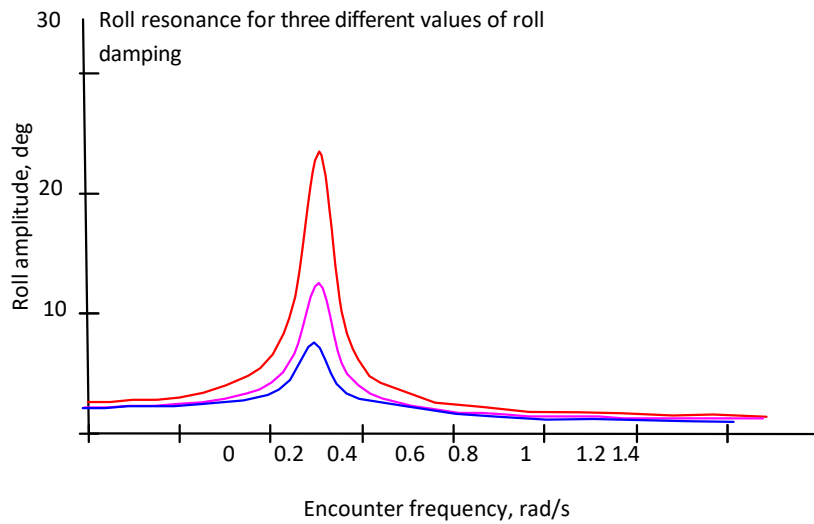


Σχήμα 6: Αποτυχία ευστάθειας λόγω επιτάχυνσης.[5]

Στην περίπτωση που δημιουργηθεί συντονισμός τότε η συχνότητα της κίνησης διατοιχισμού του πλοίου ταυτίζεται με την συχνότητα της διέγερσης των κυματισμών. Είναι ένα φαινόμενο που εξαρτάται από την συχνότητα των κυματισμών, την ταχύτητα του πλοίου και την διεύθυνση των κυματισμών σε σχέση με το πλοίο. Στα Διαγράμματα 6 και 7 φαίνεται η επίδραση της «οξύτητας» των κυματισμών και της απόσβεσης στο πλάτος του διατοιχισμού ανάλογα με την συχνότητα συνάντησης.



Διάγραμμα 6: Συντονισμός διατοιχισμού συναρτήσει διαφορετικών τιμών wave steepness .[5]



Διάγραμμα 7: Συντονισμός διατοιχισμού ανάλογα με την απόσβεση του διατοιχισμού.[5]

3.3.2 Κανονισμός κριτηρίου 2^{ης} γενιάς

Συμφώνα με αυτό το κριτήριο το πλοίο δεν θεωρείται ευάλωτο λόγω υπερβολικής επιτάχυνσης για απώλεια ευστάθειας, λόγω διατοιχισμού αν για κάθε κατάσταση φόρτωσης και κάθε τοποθεσίας πάνω στο πλοίο όπου υπάρχει πλήρωμα ή επιβάτες:

$$\phi k_L(g+4\pi^2h/T_\phi^2) < R_{EA1} \quad (3.11)$$

Όπου:

$$R_{EA1} = 4.64 \text{ m/s}^2.$$

$$\phi = \text{χαρακτηριστικό εύρος διατοιχισμού} = 4.43 \text{ rs}/\delta_\phi^{0.5}.$$

k_L = συντελεστής που λαμβάνει υπόψιν ταυτόχρονα τις κινήσεις roll, yaw, pitch.

$$= 1.125 - 0.625x/L \quad \text{αν } x < 0.2L$$

$$= 1 \quad \text{αν } 0.2L < x < 0.65L$$

$$= 0.527 - 0.727x/L \quad \text{αν } x > 0.65L$$

X = διαμήκης απόσταση της θέσης όπου βρίσκονται οι επιβάτες ή το πλήρωμα από το frame 0 του πλοίου.

g = επιτάχυνση βαρύτητας 9.81 m/s^2 .

h = ύψος πάνω από τον άξονα διατοιχισμού της θέσης όπου βρίσκονται οι επιβάτες ή το πλήρωμα.

T_ϕ = περίοδος διατοιχισμού.

r = συντελεστής effective wave slope.

$$r = \frac{K1 + K2 + (OG)F}{\frac{B^2}{12CBd} - \frac{CBd}{2} - OG} \quad (3.12)$$

$$K_1 = g \beta T_2 (\tau + \tau \bar{T} - 1 / \bar{T}) / (4 \pi^2).$$

$$K_2 = g \tau T^2 (\beta - \cos B) / (4 \pi^2).$$

$$OG = KG - d.$$

$$F = \beta (\tau - 1 / \bar{T}).$$

$$B = \sin(B) / \bar{B}.$$

$$\tau = \exp(-\bar{T}) / \bar{T}.$$

$$\bar{B} = 2 \pi^2 B / (g T^2).$$

$$\bar{T} = 4 \pi^2 C_B d / (g T^2).$$

s = αδιάστατος συντελεστής λόγω απόκλισης κυμάτων ο οποίος υπολογίζεται βάση του παρακάτω πίνακα:

Περίοδος διατοιχισμού T (s)	Συντελεστής s
≤6	0.100
7	0.098
8	0.093
12	0.065
14	0.053
16	0.044
18	0.038
20	0.032
22	0.028
24	0.025
26	0.023
28	0.021
≥30	0.0200

Πίνακας 8: Τιμές συντελεστή s.

δ_ϕ = αδιάστατος συντελεστής λογαριθμικής μείωσης λόγω μείωσης διατοιχισμού.

Το παραπάνω κριτήριο εφαρμόζεται για πλοία στα οποία ισχύει ότι η απόσταση από την ίσαλο έως την υψηλότερη θέση όπου βρίσκονται επιβάτες η πλήρωμα ξεπερνάει το 70% του πλάτους του πλοίου, και πρέπει $GM > 0.08B$.

3.4 Εξεταζόμενο κριτήριο απότομων στροφών για την αναθεώρηση του IS code[4]

3.4.1 Εισαγωγή [16]

Ο περιορισμός της μέγιστης γωνίας είναι σχετικός και για την ασφάλεια των επιβατών και για την κίνηση του ελεύθερου φορτίου. Σημειώνεται ότι πολλοί πλοιοκτήτες χρησιμοποιούν τον όρο “weather dependent lashing”, δηλαδή το δέσιμο του φορτίου ανάλογα με τον καιρό. Όμως απότομες στροφές μπορούν να συμβούν και σε καλές καιρικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα σε απότομη αλλαγή πορείας, για αποφυγή σύγκρουσης, προσαράξεις, ή και σε βλάβες του αυτόματου πιλότου ή του πηδαλίου.

Στις 16 Απριλίου 2014 το MV Sewol , κατασκευασμένο το 1994, ταξίδευε από την πόλη Ίνστέον της Ν. Κορέας προς το νησί Τζετζού, με 476 επιβάτες, μεταξύ των οποίων πολλοί έφηβοι μαθητές που συμμετείχαν σε σχολική εκδρομή. Το πλοίο ανετράπη με αποτέλεσμα το χαμό 304 ανθρώπων, κυρίως μαθητών.

Είχε προηγηθεί μία απότομη στροφή, το πλοίο έχασε την ευστάθειά του, πήρε απότομη κλίση γεγονός που προκάλεσε μετατόπιση του φορτίου προς τη μία πλευρά και το πλοίο βυθίστηκε.

Το ινστιτούτο ναυτικών ερευνών MARIN, ανέλαβε τη διερεύνηση των αιτιών οι οποίες οδήγησαν στο τραγικό ατύχημα. Χαρακτηριστικά αναφέρθηκε «Χωρίς άνεμο, Χωρίς κύματα. Χωρίς ρευματα. Χωρίς ζημιά. Μόνο γυρίζοντας».

Η MARIN κατασκεύασε αρχικά δύο μοντέλα. Το πρώτο για την ανάλυση της γρήγορης στροφής και κλίσης και το δεύτερο για την ανάλυση της πλυμμήρας και της βύθισης εντός 100 λεπτών.

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα, ο συνδυασμός χαμηλής σταθερότητας και κίνησης του πηδαλίου, προκάλεσε στο πλοίο κλίση τουλάχιστον 18 μοιρών και στροφή προς τη δεξιά μεριά, με αποτέλεσμα την αρχική μετατόπιση του φορτίου. Μετά από αυτό η κλίση έγινε 33 μοίρες, προκλήθηκε δεύτερη μετατόπιση φορτίου και το πλοίο κατέληξε με κλίση μεγαλύτερη από 45 μοίρες και δεν ανέκτησε πια τη θέση του. Το τελικό συμπέρασμα της MARIN[3] ήταν πως μπορεί να εξηγηθεί η συμπεριφορά κατά τη στροφή και την κλίση του Sewol, χωρίς την υπόθεση πως ασκήθηκε μια εξωτερική δύναμη στο πλοίο.

Η MARIN κάνει από τότε μία προσπάθεια ώστε να συμπεριληφθεί η υπόθεση του Sewol στο πρόβλημα του κανονισμού για την ασφάλεια των επιβατικών πλοίων. Δημιούργησε έτσι ένα νέο μοντέλο σαν σύνδεσμο μεταξύ του ατυχήματος του Sewol και της ασφάλειας των επιβατικών πλοίων[3].

Έτσι, διαπιστώθηκε πως ο τύπος του κανονισμού ευστάθειας που ισχύει δεν είναι αποτελεσματικός σε οριακές κλίσεις σε περιπτώσεις στροφής στη θάλασσα. Αποδείχτηκε ότι η εξίσωση του ISC υποτιμά τις γωνίες κλίσης όταν συγκρίνονται με την μέγιστη και σταθερή

γωνία που μετριέται σε πειράματα του μοντέλου. Σύμφωνα με την εργασία αυτή υπάρχει ανάγκη για αναθεώρηση του κριτηρίου στροφής που περιλαμβάνεται στο ISC.

3.4.2 Αξιολόγηση ευστάθειας

Ο στόχος της προτεινόμενης αναθεώρησης του ISC είναι να περιοριστούν οι γωνίες κλίσης των επιβατηγών κατά την στροφή έως τις 15°. Οι δοκιμές στην θάλασσα θεωρούνται ο πιο αξιόπιστος τρόπος για να πληρείται ο κανονισμός. Όμως είναι χρήσιμο για τον ναυπηγό να έχει μία ένδειξη αν το πλοίο θα πληρεί τον κανονισμό ή όχι κατά την διάρκεια της σχεδίασης. Μία αξιολόγηση πολλών επιπέδων παρέχει ελαστικότητα και αποτρέπει να βρεθεί απόκλιση από τον κανονισμό πολύ αργά στην διαδικασία σχεδίασης. Σύμφωνα με την εργασία προτείνεται σαν αξιολόγηση πολλών επιπέδων για εξακριβωθεί αν το πλοίο πληρεί τον κανονισμό.

- Το πρώτο βήμα είναι η συμμόρφωση με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$\varphi_R = \arctan \left[C \frac{V_0^2}{GM L_{WL}} \left(KG - \frac{d}{2} \right) \right] \quad (3.13)$$

Όπου

φ_R = γωνία κλίσης (rad).

C = συντελεστής με τιμές 0.07 ή 0.14 (s²/m).

V_0 = ταχύτητα προσέγγισης (m/s).

GM = μετακεντρικό ύψος (m).

L_{WL} = μήκος ισάλου (m).

KG = κατακόρυφο κέντρο βάρους (m).

d = βύθισμα (m).

- Αν το κριτήριο δεν πληρείται τότε πρέπει να εφαρμοστούν πιο προηγμένες μέθοδοι όπως τεστ μοντέλου για επιπλέον έρευνα. Αν ο κανονισμός ακόμα δεν πληρείται τότε η σχεδίαση πρέπει να αλλάξει.
- Δοκιμές στην θάλασσα πάντα πρέπει να γίνονται ως τελική επιβεβαίωση της συμμόρφωσης με τον κανονισμό.

Το πρώτο επίπεδο αξιολόγησης είναι η παραπάνω εξίσωση που εκτιμά την μέγιστη γωνία κλίσης σχετικά νωρίς κατά την διαδικασία της σχεδίασης. Αυτή η εξίσωση βασίζεται στο κεφάλαιο 3.1.2 του ISC, στην εξίσωση (1) και περιέχει μερικές από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την κλίση, όπως είναι η ταχύτητα προσέγγισης στο τετράγωνο. Για τον συντελεστή C ο αρχικός σχεδιασμός του τύπου, προτείνει την τιμή 0.07 (s²/m) η οποία είναι βασισμένη σε πειραματικά αποτελέσματα. Όμως ο συντελεστής δεν θα έπρεπε να εφαρμοστεί ακριβώς λόγω του ότι είναι βασισμένος σε πειράματα, αλλά θα πρέπει να είναι σκοπίμως συντηρητικός ώστε να μειώσει την διακινδύνευση των λανθασμένων αρνητικών.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση στην βάση δεδομένων της MARIN προκύπτει η τιμή $0.14(s^2/m)$ που εξασφαλίζει μία ασφαλή και συντηρητική προσέγγιση. Παρακάτω δίνεται η μέθοδος υπολογισμού των τύπων του κριτηρίου καθώς και τι εκφράζει ο συντελεστής στροφής C.[4]

$$M_H = \alpha \cdot M_R$$

$$M_R = \frac{\Delta \cdot v_R^2}{R} \cdot \left(KG - \frac{d}{2} \right)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v_R = v_0 \cdot \beta \\ R = L_{WL} \cdot \gamma \end{array} \right. \quad tg(\Delta\varphi) = \frac{M_H}{\Delta \cdot g \cdot GM}$$

M_H = Η ροπή κλίσης που απαιτείται σε κατάσταση ακινησίας για να προκαληθεί η μέγιστη γωνία κλίσης σε στροφή $\Delta\varphi$

M_R = Η ροπή κλίσης που παράγεται από την κεντρομόλο δύναμη την στιγμή της μέγιστης κλίσης σε στροφή. Εκείνη την στιγμή η ταχύτητα του πλοίου είναι v_R και η ακτίνα της στροφής είναι R.

Τα παραπάνω οδηγούν στις ακόλουθες εξισώσεις:

$$tg(\varphi_R) = \frac{\frac{\alpha \cdot \Delta \cdot v_R^2}{R} \cdot \left(KG - \frac{d}{2} \right)}{\Delta \cdot g \cdot GM} = \frac{a \cdot v_0^2 \cdot \beta^2}{L_{WL} \cdot \gamma \cdot g \cdot GM} = \frac{a \cdot \beta^2}{\gamma} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v_0^2}{L_{WL} \cdot GM} \cdot \left(KG - \frac{d}{2} \right)$$

$$tg(\varphi_R) = C \cdot \frac{v_0^2}{L_{WL} \cdot GM} \cdot \left(KG - \frac{d}{2} \right)$$

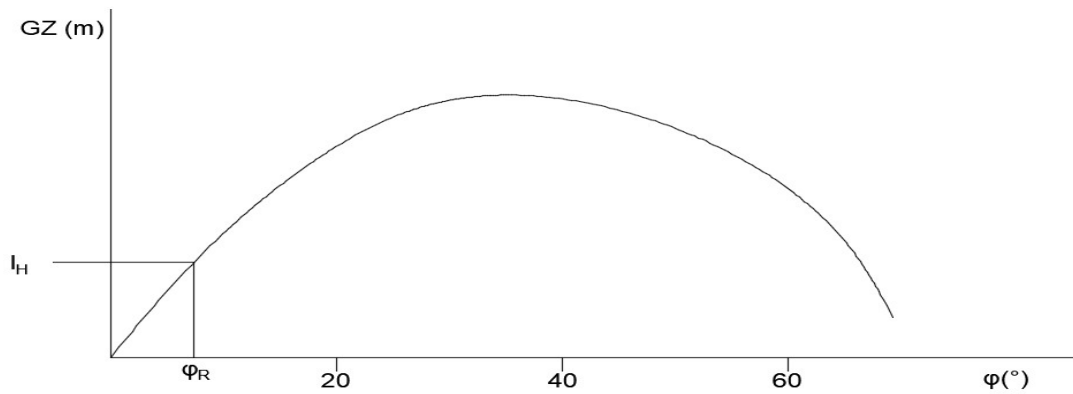
H

$$I_H = C \cdot \frac{v_0^2}{L_{WL}} \cdot \left(KG - \frac{d}{2} \right)$$

Άρα ένας δεύτερος τρόπος υπολογισμού της γωνίας κλίσης είναι με την βοήθεια του μοχλοβραχίονα:

$$I_H = C \frac{V_0^2}{L_{WL}} \left(KG - \frac{d}{2} \right) \quad (3.14)$$

Βρίσκοντας λοιπόν την τομή του με την καμπύλη GZ υπολογίζεται και η γωνία φ_R .



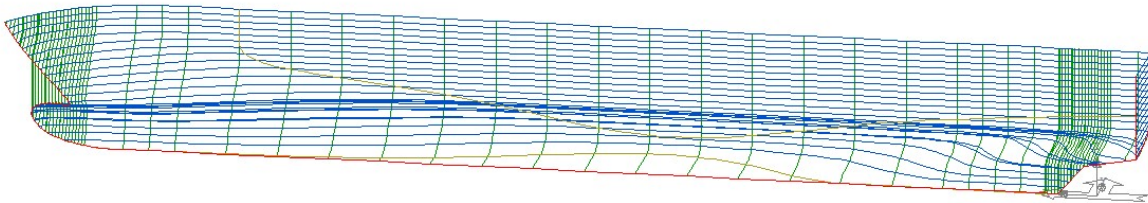
Διάγραμμα 8: Σχεδιάγραμμα εφαρμογής του κριτηρίου απότομων στροφών.

Κεφάλαιο 4^ο

Εφαρμογή κανονισμών ευστάθειας

4.1 Εισαγωγή

Προκειμένου να εφαρμοστούν οι παραπάνω κανονισμοί έγινε η αναπαραγωγή της γάστρας ενός πραγματικού Ε/Γ-Ο/Γ στο πρόγραμμα AVEVA Lines. Ύστερα με την χρήση του προγράμματος AVEVA Hydrostatics & Hydrodynamics προστέθηκαν τα βάρη που έχει το πλοίο στην κατάσταση φόρτωσης με το μέγιστο βύθισμα ώστε να λάβουμε την καμπύλη GZ και τους υπόλοιπους παράγοντες που χρειάζονται για την εφαρμογή των τύπων. Σημειώνεται ότι η γωνία βύθισης καταστρώματος στο πραγματικό πλοίο είναι 35° και αυτή χρησιμοποιήσαμε στους υπολογισμούς.



Εικόνα 7: Μοντελοποιημένη γάστρα του υπό μελέτη πλοίου.

Το πλοίο που χρησιμοποιήθηκε έχει τις εξής βασικές διαστάσεις:

Length Over All	172 m
Length Between P.P.	157 m
Breadth Moulded	26.20 m
Depth Upper Deck	14.84 m
Depth Main Deck	9.20 m
Draught Design	6.20 m

Πίνακας 9: Κύρια χαρακτηριστικά μοντέλου.

Η κατανομή βαρών της κατάσταση φόρτωσης που χρησιμοποιήθηκε είναι :

ITEM	Weight (t)	Zcdg (m)	Xcdg (m)
Fuel Oil	470	3.46	65.20
Diesel Oil	90	2.13	55.34
Lubricating Oil	25	1.80	28.60
Fresh Water	350	6.00	129.2
Heeling Water	300	4.50	74.70
Trailers deck 1	400	4.85	89.30
Trailers main deck (deck 3)	1814	11.10	71.00
Trailers upper deck (deck5)	1000	17.20	70.00
Cars deck 5	133	15.34	25.30
Cars deck 6	150	18.18	25.30
Pas (1000)	100	23.5	70.35
Crew (100)	10	27.5	70.35
Others	158.000	14.36	66.60
DEADWEIGHT	5000	10.85	79.51

Πίνακας 10 : Ανάλυση DWT μοντέλου.

Με Lightship:

ITEM	Weight	Zcdg	Xcdg
	tons	m	m
Lightweight	11300	13.55	+8.70

Πίνακας 11 : Ανάλυση Lightship μοντέλου.

Χρησιμοποιήσαμε την παραπάνω κατάσταση φόρτωσης και λάβαμε το εξής αποτέλεσμα:

Item	Weight (t)	LCG (m)	VCG (m)	Fsm(t-m)
Fuel Oil	470	65.2	3.46	
Diesel Oil	90	55.34	2.13	
Lubricating Oil	25	28.6	1.8	
Fresh Water	350	129.2	6	
Heeling Water	300	74.7	4.5	
Trailers deck 1	400	89.3	4.85	
Trailers main deck (deck 3)	1814	71	11.1	
Trailers upper deck (deck5)	1000	70	17.2	
Cars deck 5	133	25.3	15.34	
Cars deck 6	150	25.3	18.18	
Pas (1000)	100	70.35	23.5	
Crew (100)	10	70.35	27.5	
Others	158	66.6	14.36	
Deadweight	5000	72.781	10.85	
Lightweight	11300	87.2	13.55	
Total Displacement	16300	82.777	12.722	
Total Buoyancy	16300.1	83.039	3.694	173530.2

Πίνακας 12: Κατάσταση φόρτωσης του μοντέλου.

Προέκυψαν τα εξής βυθίσματα:

Βύθισμα στο LCF = 6.36 m.

Βύθισμα στο μέσο του πλοίου = 6.38 m.

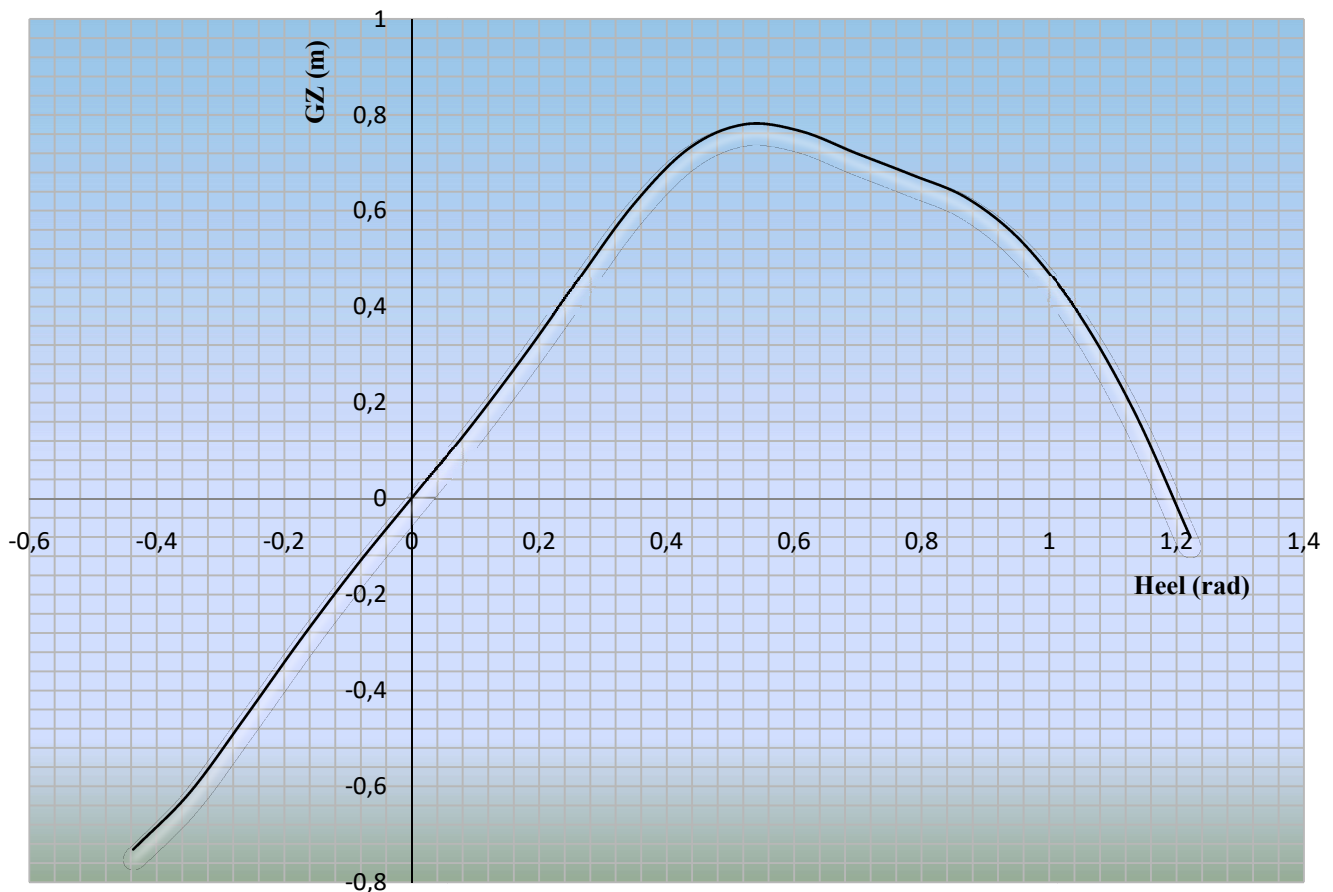
KG	12.722	metres
FSC	0	metres
GM	1.618	metres
BMt	10.646	metres
BM1	302.785	metres
Waterplane area	3334	Sq. metres
LCG	82.777	metres
LCB	83.039	metres
LCF	78.058	metres
TPC	34.339	Tonnes/cm
MTC	314.358	Tonnes-m/cm
C _B	0.627	
C _M	0.97	
C _P	0.646	
C _W	0.891	

Πίνακας 13: Υδροστατικά στοιχεία του μοντέλου.

Τελικά προκύπτει η καμπύλη GZ :

Heel to Stbd rad	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)
-0.43611111	-0.7298	1.0021	4.835	5.225	14.31[35]
-0.34888889	-0.6137	1.6444	4.757	5.643	13.40[35]
-0.26166667	-0.4568	1.9037	4.672	5.963	12.43[35]
-0.17444444	-0.2948	1.8121	4.611	6.193	11.38[35]
-0.08722222	-0.1418	1.6722	4.568	6.332	10.25[35]
0	0	1.618	4.563	6.377	9.04[35]
0.08722222	0.1418	1.6722	4.568	6.332	7.79[35]
0.17444444	0.2948	1.8121	4.611	6.193	6.48[35]
0.26166667	0.4568	1.9037	4.672	5.963	5.14[35]
0.34888889	0.6137	1.6444	4.757	5.643	3.76[35]
0.43611111	0.7298	1.0021	4.835	5.225	2.40[35]
0.52333333	0.779	0.1504	4.893	4.698	1.08[35]
0.61055556	0.7649	-0.4043	4.919	4.061	-0.18[35]

Πίνακας 14: Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς.



Διάγραμμα 9: Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς σε βύθισμα 6.36m.

4.2 Εφαρμογή κανονισμών του κριτηρίου καιρού MSC.267(85)

4.2.1 Εφαρμογή κριτηρίου ανέμου

Πλάτος B	26.2	m
Βύθισμα d	6.36	m
Βρεχόμενη ίσαλος L_{WL}	161.71	m
Συντελεστής C	0.4	
Διορθωμένο μετακεντρικό ύψος GM_{COR}	1.618	m
Περίοδος διατοιχισμού T (τυπος 3.4)	16.404	s
Συντελεστής S (πίνακας 4)	0.043	
Κέντρο βάρους KG	12.722	m
Κάθετη απόσταση κέντρου βάρους με βύθισμα OG	6.362	m
Συντελεστής r	1.33	
Εμβαδόν παρατροπιδίων A_k	$0.26 \times 60.9 = 15.834$	m^2
Συντελεστής k(πίνακας 3)	0.988	
Συντελεστής X_1 (πίνακας 1)	0.8	
Συντελεστής X_2 (πίνακας 2)	0.96	
Γωνία διατοιχισμού Φ_1 (τυπος 3.3)	19.725	degrees
Μέγιστη γωνία κλίσης Φ_2	35	degrees
Εμβαδόν A	3765	m^2
Απόσταση κέντρου εμβαδού Z	14.6	m
Εκτόπισμα Δ	16300	t
Γωνία κλίσης κάτω από σταθερό άνεμο Φ_0	6.028	degrees

Πίνακας 15:Εφαρμογή κριτηρίου καιρού MSC.267(85).

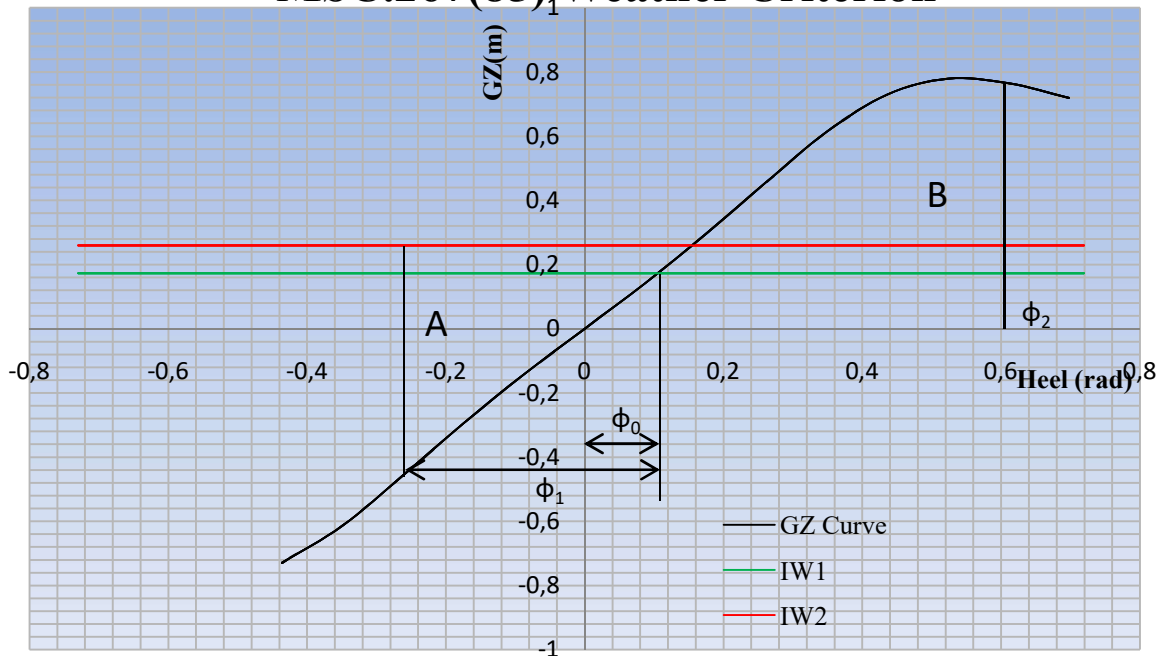
Για το A_k βάση του πατρικού το εμβαδόν των παρατροπιδίων καθώς το παράλληλο τμήμα ήταν 60.9m και το πλάτος τους ήταν 0.26m.

Το ύψος Z πάρθηκε κατά προσέγγιση από τη γενική διάταξη του πλοίου.

Το εμβαδόν της επιφάνειας A υπολογίστηκε και αυτό από το General arrangement του πλοίου.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτουν οι εξής μοχλοβραχίονες $I_{W1} = 0.1732$ m και $I_{W1} = 0.26$ m.

MSC.267(85)₁ Weather Criterion



Διάγραμμα 10: Εφαρμογή κριτηρίου καιρού MSC.267(85).

Ο κανονισμός πληρείται με βάση τον παρακάτω πίνακα:

Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.55 mrad ως τις 30°	0.229 mrad > 0.055 mrad
Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.9 mrad ως τις 35°	0.296 mrad > 0.09 mrad
Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.03 mrad από 30° μέχρι 35°	0.0673 mrad > 0.03mrad
Μοχλοβραχίονας επαναφοράς τουλάχιστον 0.2 από 30° μέχρι 35°	0.765m > 0.2m
Αρχικό μετακεντρικό ύψος μεγαλύτερο 0.15m	1.618 m > 0.15m
Η γωνία Φ ₀ όχι μεγαλύτερη από 16° ή από το 80% της γωνίας κατάκλισης	6.03° < 16° ή 28°
Περιοχή Β μεγαλύτερη ή ίση της Α	0.158 mrad ≥ 0.152 mrad
Γωνία μέγιστου μοχλοβραχίονα σε γωνία μεγαλύτερη ή ίση των 25°	30° ≥ 25°

Πίνακας 16: Εφαρμογή κριτηρίων άθικτης ευστάθειας για το κριτήριο καιρού MSC.267(85).

4.2.2 Εφαρμογή κριτηρίου στροφής

Υπολογιστική μέθοδος

GM	1.6183	m
KG	12.722	m
Δ	16300	t
L_{WL}	161.71	m
V_0	24	knots
d	6.36	m

Πίνακας 17: Εφαρμογή κριτηρίου στροφής MSC.267(85).

Μέσω λοιπόν του τύπου 2.5 προκύπτει η ροπή $M_R = 29313 \text{ kNm}$.

Άρα το οποίο φέρει σαν αποτέλεσμα $\tan(\varphi) = 0.113$ που αντιστοιχεί σε γωνία 6.467° η οποία προφανώς είναι μικρότερη των 10° που απαιτεί το κριτήριο.

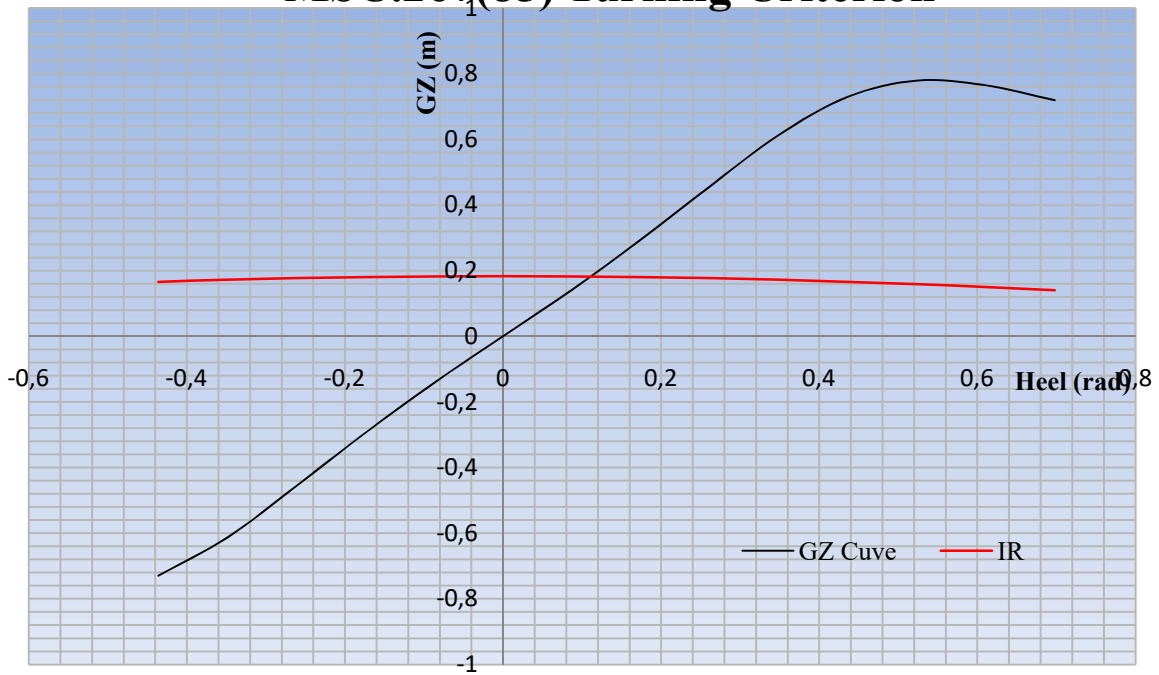
Διαγραμματική μέθοδος

Χρησιμοποιώντας τον τύπο 2.7 λαμβάνουμε τον παρακάτω μοχλοβραχίονα και υπολογίζουμε την γωνία κλίσης διαγραμματικά.

I_R (m)	Φ (rad)
0.166157	-0.43611
0.17227	-0.34889
0.177075	-0.26167
0.180532	-0.17444
0.182618	-0.08722
0.183315	0
0.182618	0.087222
0.180532	0.174444
0.177075	0.261667
0.17227	0.348889
0.166157	0.436111
0.158779	0.523333
0.150195	0.610556

Πίνακας 18: Μοχλοβραχίονας κριτηρίου στροφής MSC.267(85)

MSC.267(85) Turning Criterion



Διάγραμμα 11: Εφαρμογή κριτηρίου καιρού MSC.267(85).

Το σημείο τομής είναι $\text{heel}=0.111\text{rad}$ και $\text{GZ}=0.183\text{m}$ το οποίο αντιστοιχεί σε γωνία 6.357° . Άρα το κριτήριο πληρείται και με αυτήν την μέθοδο.

4.3 Εφαρμογή κανονισμού ANEP-77

4.3.1 Εφαρμογή κριτηρίου ανέμου

4.3.1.1 Solution 1

Θεωρώντας ότι το πλοίο θα αποφύγει ακραίες καιρικές καταστάσεις βάσει πίνακα 6 παίρνουμε ταχύτητα ανέμου 80 knots.

Επιτάχυνση λόγω βαρύτητας g	9.81	m/s^2
Πυκνότητα αέρα ρ_a	0.001225	te/m^3
Ταχύτητα ανέμου στο προφίλ v	43.438	m/s
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου πάνω στα 10 μέτρα πάνω από την μεσαία ίσαλο V	80 Knots = 41.152 m/s	m/s
Ύψος πάνω από την μεσαία ίσαλο Z	14.6	m
Συντελεστής C_D	1.12	
Συντελεστής C_C	0.967	
Επιφάνεια πίεσης ανέμου A	3765	m^2
Γωνία εισροής Υδάτων Θ_1	35	degrees

Πίνακας 19: Εφαρμογή κριτηρίου καιρού ANEP-77 1^η μέθοδος.

Άρα η ολική πίεση λόγω ανέμου βάση του τύπου 2.8 είναι $P = 0.1276 te/m^2$.

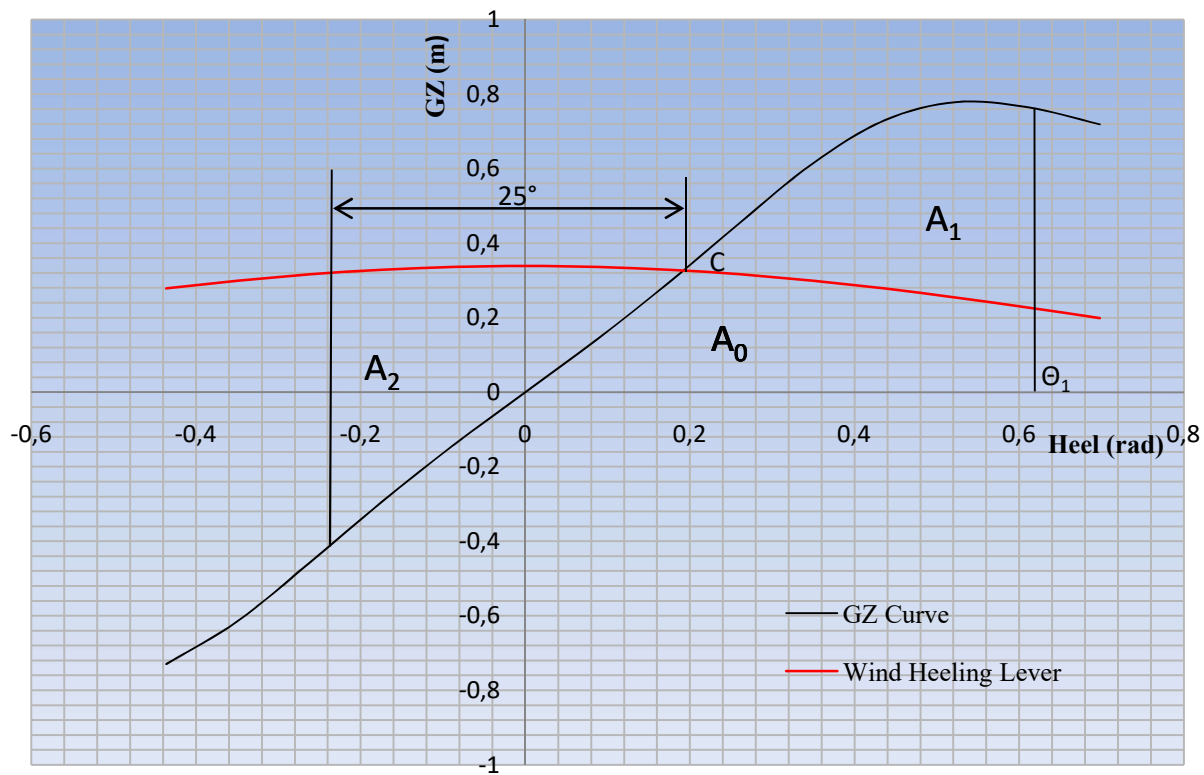
Προκύπτει άρα ο εξής μοχλοβραχίονας:

Heel to Stbd	Wind Heeling Moment	Wind Heeling Lever
rad	$te \cdot m$	m
-0.43611	4538.82262	0.278455375
-0.34889	4878.988364	0.299324439
-0.26167	5154.904897	0.316251834
-0.17444	5358.197111	0.328723749
-0.08722	5482.694322	0.336361615
0	5524.617568	0.338933593
0.087222	5482.694322	0.336361615
0.174444	5358.197111	0.328723749
0.261667	5154.904897	0.316251834
0.348889	4878.988364	0.299324439
0.436111	4538.82262	0.278455375
0.523333	4144.732979	0.254278097
0.610556	3708.681549	0.227526475

Πίνακας 20: Μοχλοβραχίονας ανέμου κριτηρίου ANEP-77 1^η μέθοδος

Από τον οποίο λαμβάνουμε το εξής διάγραμμα :

ANEP-77 Solution 1 80 knots



Διάγραμμα 12: Εφαρμογή κριτηρίου ανέμου βάση ANEP-77 Solution 1.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.191rad, 0.326m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

Areas	mrad
A ₀	0.149
A ₁	0.147
A ₂	0.165
A ₃	0.296

Πίνακας 21: Επιφάνειες διαγράμματος καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 1^{ης} μεθόδου.

Το κριτήριο δεν πληρείται όπως προκύπτει παρακάτω:

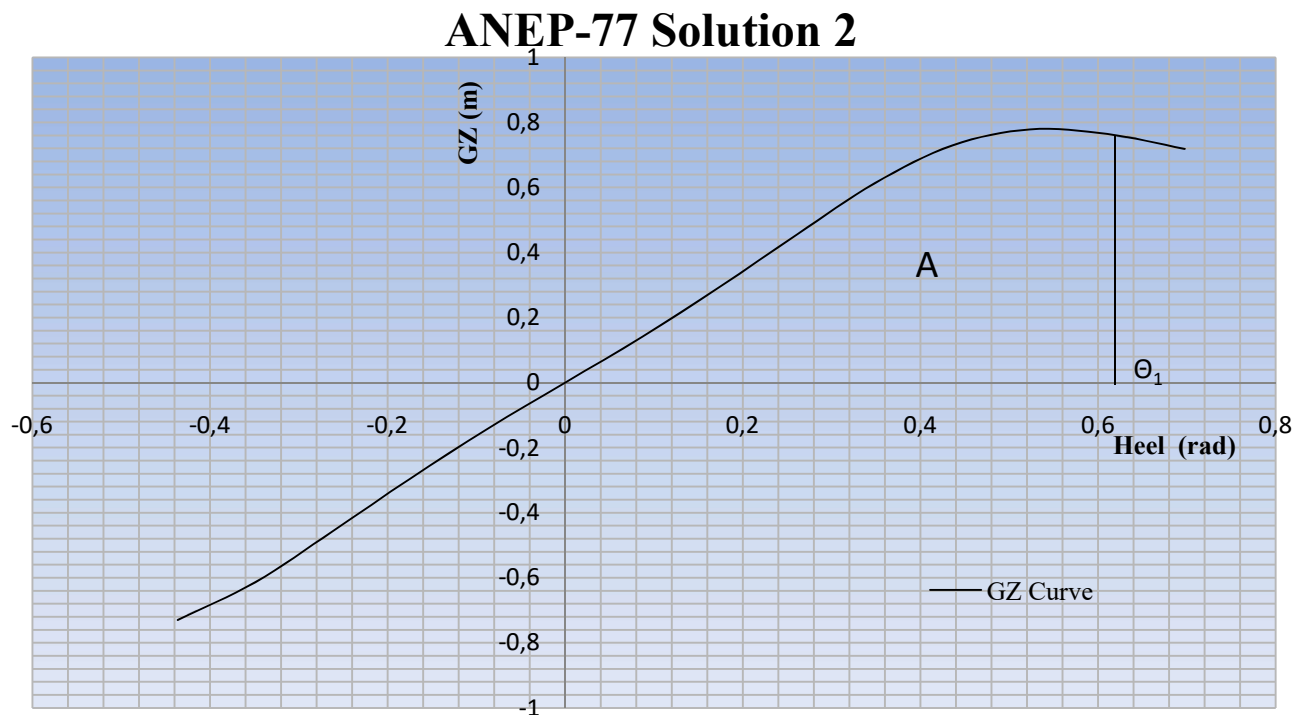
$140\% A_2 \leq A_1$	$0.231 \leq 0.147$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.326 \leq 0.467$

Πίνακας 22: Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για το κριτήριο ανέμου ANEP-77 1^{ης} μεθόδου.

4.3.1.2 Solution 2

Σύμφωνα με την δεύτερη μέθοδο προκειμένου να επιτυγχάνεται η ευστάθεια πρέπει το εμβαδόν A κάτω από την καμπύλη GZ μέχρι την γωνία κατάκλισης να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με 0.38mrad και το μετακεντρικό ύψος να είναι μεγαλύτερο του $0.001B^2 = 0.686\text{m}^2$

Έχουμε λοιπόν το εξής διάγραμμα:



Διάγραμμα 13: Εφαρμογή κριτηρίου ανέμου βάση ANEP-77 Solution 2 .

Η επιφάνεια A κάτω από την καμπύλη GZ μέχρι την γωνία Θ_1 είναι 0.296mrad και το μετακεντρικό ύψος 1.618m . Άρα ούτε με το solution 2 πληρείται το κριτήριο.

4.3.2 Εφαρμογή κριτηρίου στροφής.

Υπηρεσιακή ταχύτητα	24	knots
Ταχύτητα στροφής $v = 60\%V$	15.6 knots = 8.025	m/s
Επιτάχυνση βαρύτητας	9.81	m/s^2
Ακτίνα στροφής $R = 1.5 \times L_{BP}$	392.5	m.
Κάθετη απόσταση από KG ως το κέντρο πλευρικής αντίστασης	9.542	m

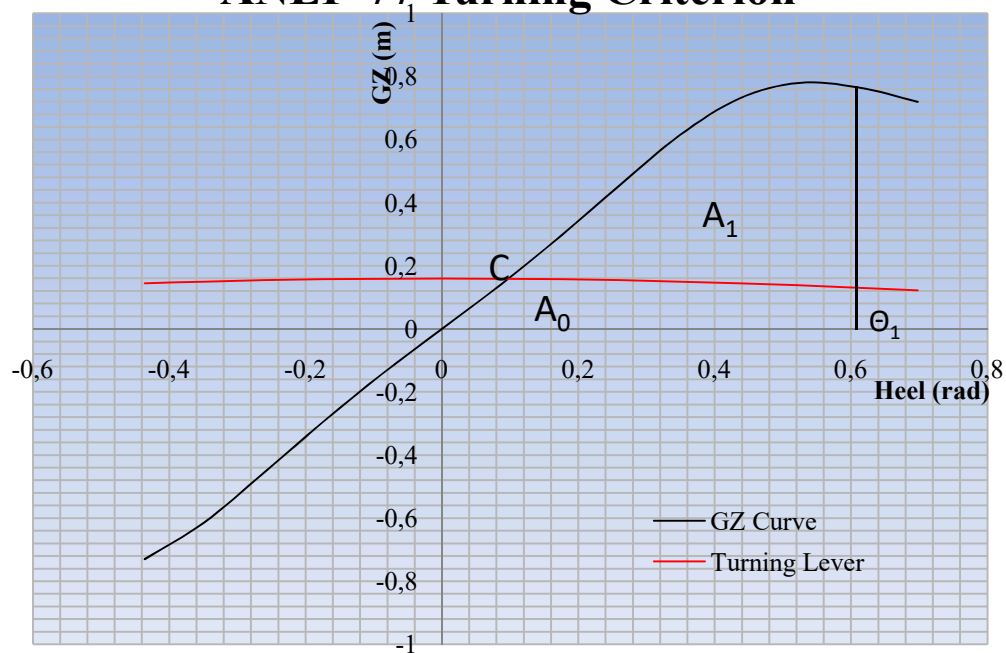
Πίνακας 23: Εφαρμογή κριτηρίου στροφής ANEP-77.

Προκύπτει άρα ο μοχλοβραχίονας :

Heel to Stbd	Heeling Lever
rad	m
-0.43611	0.144645
-0.34889	0.149967
-0.26167	0.154149
-0.17444	0.157159
-0.08722	0.158975
0	0.159581
0.087222	0.158975
0.174444	0.157159
0.261667	0.154149
0.348889	0.149967
0.436111	0.144645
0.523333	0.138223
0.610556	0.13075

Πίνακας 24: Μοχλοβραχίονας στροφής ANEP-77.

ANEP-77 Turning Criterion



Διάγραμμα 14: Εφαρμογή κριτηρίου στροφής ANEP-77.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.097rad, 0.159m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

Areas	mrad
A_0	0.077
A_1	0.213
$A_3 = A_1 + A_0$	0.290

Πίνακας 25: Επιφάνειες διαγράμματος καμπύλης GZ κριτηρίου στροφής ANEP-77.

Το κριτήριο πληρείται όπως προκύπτει παρακάτω:

$40\% A_3 \leq A_1$	$0.116 \leq 0.213$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.159 \leq 0.467$
Γωνία στο σημείο τομής < 15°	$5.55 < 15$

Πίνακας 26: Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για το κριτήριο στροφής ANEP-77.

4.4 Εφαρμογή κριτηρίου ευστάθειας 2^{ης} γενιάς για εγκάρσια επιτάχυνση

1. Συντελεστής k_L :
 $x = 130.95\text{m}$
 $k_L = 1.133$
2. Περίοδος διατοιχισμού T_Φ :
 $g = 9.81\text{m/s}^2$
 Height of nav. deck= 29.15m
 $C = 0.373 + 0.023 (B / d) - 0.043(L_{WL} / 100) = 0.398$
 $T_\Phi = 2 C B / GM^{0.5} = 16.4\text{s}$
3. Συντελεστής effective wave slope r :
 $\underline{B} = 0.196$
 $\underline{T} = 0.0573$
 $\underline{\beta} = 0.994$
 $K_1 = - 1.834$
 $K_2 = 14.03$
 $F = -0.966$
 $OG = 6.362\text{m}$
 $r = 0.912$
4. Συντελεστής λόγω απόκλισης κυμάτων s
 $s = 0.052$
5. Συντελεστής λογαριθμικής μείωσης λόγω μείωσης διατοιχισμού δ_ϕ :
 $C_m > 0.96$
 $\delta_\phi = 0.267 + 0.0668 \times 100 A_{BK} / (L B) = 0.524$
6. Χαρακτηριστικό εύρος διατοιχισμού ϕ :
 $\phi = 0.29 \text{ rad}$
7. Εγκάρσια επιτάχυνση :
 $h = 19.609 \text{ m}$

$$\phi k_L (g + 4\pi^2 h / T_\Phi^2) = 4.17 \text{ m/s}^2 < 4.64 \text{ m/s}^2 \quad \text{Άρα το κριτήριο πληρείται.}$$

4.5 Εφαρμογή κριτηρίου απότομων στροφών εξεταζόμενο για την αναθεώρηση του IS code Υπολογιστική μέθοδος

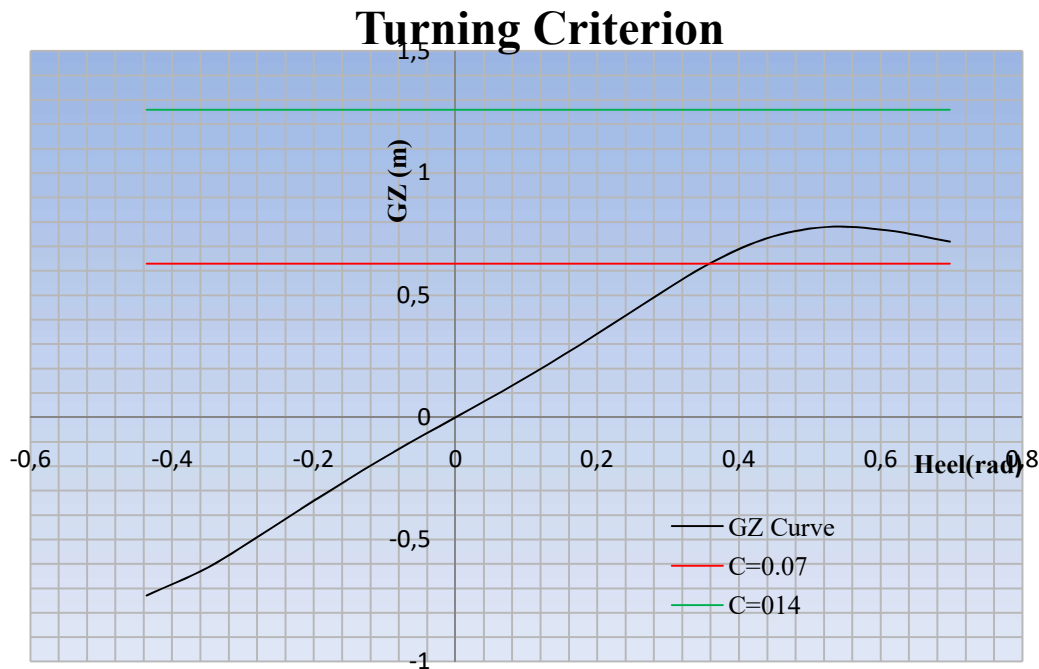
Συντελεστής C	0.07	0.14	s ² /m
Ταχύτητα V ₀	24		knots
Ίσαλος βρεχόμενη επιφάνεια L _{WL}	161.71		m
Κέντρο βάρους KG	12.722		m
Βύθισμα T	6.36		m
Μετακεντρικό ύψος GM	1.618		m
Γωνία κλίσης	21.26	-	degrees

Πίνακας 27: Εφαρμογή κριτηρίου στροφής για το προτεινόμενο κριτήριο στροφής του IS code.

Άρα το κριτήριο δεν πληρείται.

Διαγραμματική μέθοδος

Εφαρμόσαμε τον μοχλοβραχίονα του τύπου 2.14 και ως αποτέλεσμα λάβαμε το εξής διάγραμμα:



Διάγραμμα 15: Εφαρμογή κριτηρίου απότομων στροφών.

Το οποίο προφανώς δεν ικανοποιείται για C=0.14 αλλά για C=0.07 η γωνία που τέμνει την καμπύλη GZ είναι 12.91°.

Εξετάστικαν λοιπόν οι μέγιστες ταχύτητες προσέγγισης για τις 2 τιμές του συντελεστή C :

Συντελεστής C	0.07	0.14	s ² /m
Κρίσημη Ταχύτητα V ₀	19.91	14.08	knots
Ίσαλος βρεχόμενης επιφάνειας L _{WL}	161.71		m
Κέντρο βάρους KG	12.722		m
Βύθισμα T	6.36		m
Μετακεντρικό ύψος GM	1.618		m
Γωνία κλίσης	15	15	degrees

Πίνακας 28: Υπολογισμός μέγιστων ταχυτήτων στροφής για το προτεινόμενο κριτήριο στροφής του IS code.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα παρατίθεται μία λίστα με τους κανονισμούς και αν το υπό μελέτη πλοίο είναι συμβατό με αυτούς.

Εφαρμοζόμενο Κριτήριο	Συμβατότητα
Κριτήριο καιρού MSC.267(85)	✓
Κριτήριο στροφής MSC.267(85)	✓
Solution 1 ANEP-77	×
Solution 2 ANEP-77	×
Κριτήριο στροφής ANEP-77	✓
Κριτήριο επιτάχυνσης	✓
Κριτήριο στροφής υψηλών ταχυτήτων	×

Πίνακας 29: Συμβατότητα των κανονισμών με το υπό μελέτη πλοίο.

Κεφάλαιο 5^ο

Σύγκριση κανονισμών ευστάθειας

5.1 Εισαγωγή

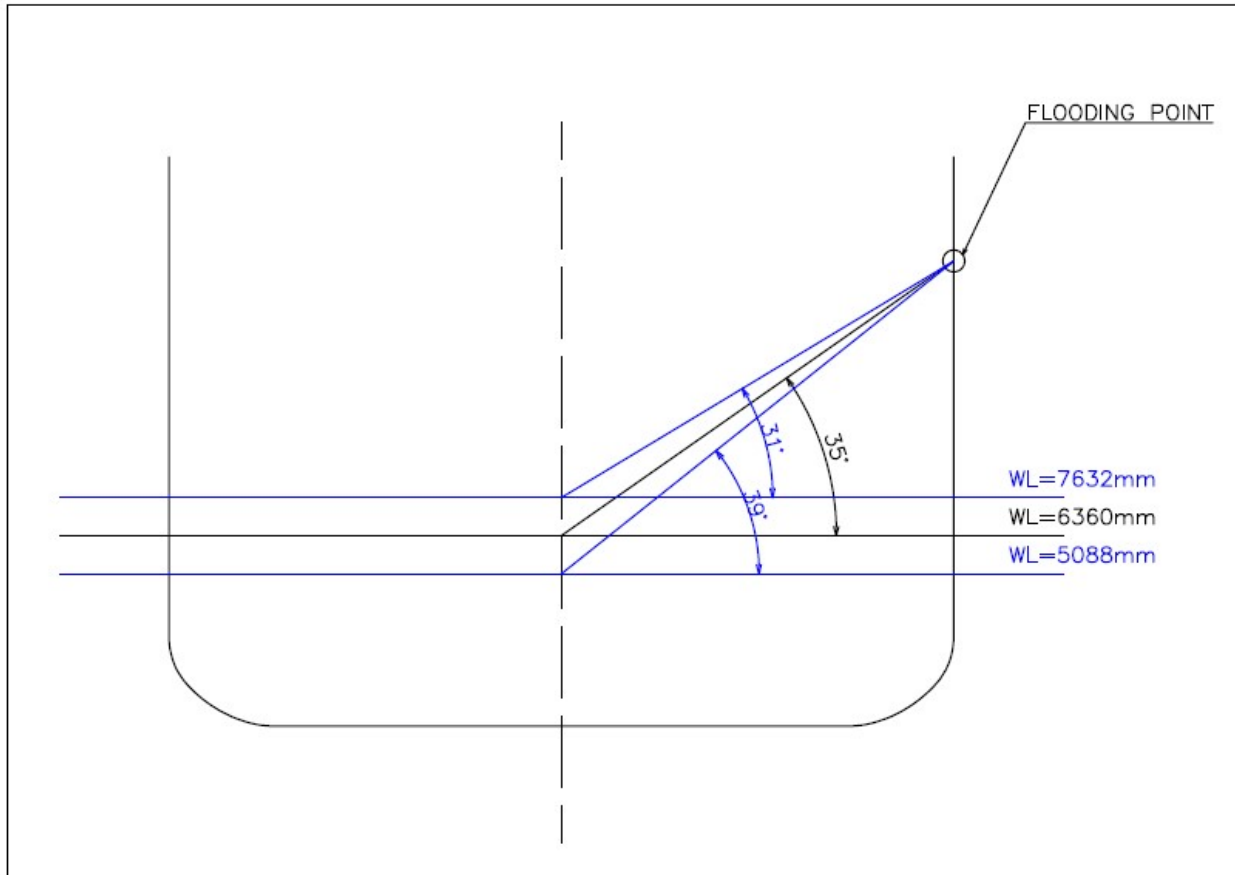
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί σύγκριση των παραπάνω κανονισμών η οποία εφαρμόστηκε στο υπό μελέτη πλοίο. Οι υπολογισμοί έγιναν για 3 διαφορετικά βύθισματα τα οποία είναι το βύθισμα υπηρεσίας $T = 6.36\text{m}$ και $\pm 20\%T$, δηλ. $T_{\text{MIN}} = 5.088\text{m}$ και $T_{\text{MAX}} = 7.632\text{m}$. Τα αποτελέσματα αφορούν :

- Κρίσιμη τιμή του κέντρου βάρους KG
 1. Κριτήριο καιρού IMO MSC.267(85)
 2. ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 100 knots
 3. ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 80 knots
 4. ANEP-77 2^η μέθοδος
- Κρίσιμη τιμή ταχύτητας ανέμου για τα κριτήρια
 1. κριτήριο καιρού IMO MSC.267(85)
 2. ANEP-77 1^η μέθοδος
- Κρίσιμη τιμή KG για τα κριτήρια στροφών
 1. IMO MSC.267(85) 1^η μέθοδος
 2. ANEP-77
 3. Κριτήριο στροφής υψηλών ταχυτήτων για $C=0.07$
 4. Κριτήριο στροφής υψηλών ταχυτήτων για $C=0.14$
- Κρίσιμη τιμή KG για το κριτήριο επιτάχυνσης κριτηρίων 2^{ης} γενιάς

Είναι πολύ βασικό να αναφερθεί είναι ότι λόγω αλλαγής των βυθισμάτων άλλαξε και η μέγιστη γωνία κατάκλισης η οποία υπολογίστηκε με τριγωνομετρικές μεθόδους και δίδεται στο εξής σχήμα για κάθε βύθισμα.

Βύθισμα T (m)	Γωνία κατάκλισης φ (degrees)
7.632	31°
6.36	35°
5.088	39°

Πίνακας 30: Μέγιστες γωνίες κλίσης.



Εικόνα 8: Γωνίες κατάκλισης ανάλογα με το βύθισμα.

5.2 Υπολογισμός κρίσιμων τιμών του κέντρου βάρους KG για κριτήρια ανέμου

5.2.1 Κρίσιμες τιμές KG για το κριτήριο IMO MSC.267(85)

Ο υπολογισμός των κρίσιμων τιμών KG έγινε με την βοήθεια του προγράμματος της AVEVA Hydrodynamics & hydrostatics. Σύμφωνα με το οποίο βρέθηκαν τα εξής αποτελέσματα :

Βύθισμα (m)	KG (m)
5.088	11.904
6.36	13.034
7.632	12.856

Πίνακας 31: Κρίσιμες τιμές κέντρων βάρους για το κριτήριο καιρού MSC.267(85).

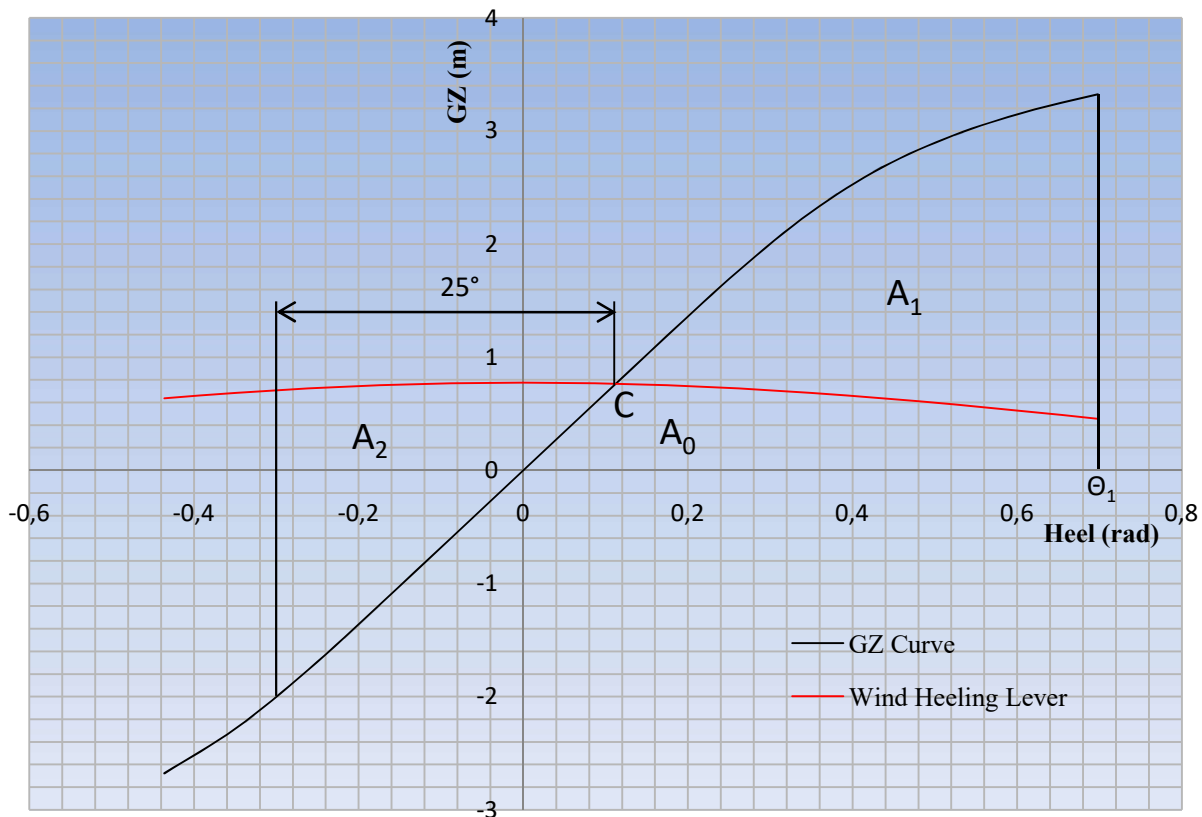
5.2.2 Κρίσιμες τιμές KG για το κριτήριο ANEP-77 Solution 1 με ταχύτητα ανέμου 100 knots

Βυθίσμα T	5.088	6.36	7.632	m
Επιτάχυνση λόγω βαρύτητας g	9.81	9.81	9.81	m/s ²
Πυκνότητα αέρα ρ _a	0.001225	0.001225	0.001225	te/m ³
Ταχύτητα ανέμου στο προφίλ v	54.27	54.30	54.19	m/s
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου πάνω στα 10 μέτρα πάνω από την μεσαία ίσαλο V	100 Knots= 51.44 m/s	100 Knots= 51.44 m/s	100 Knots= 51.44 m/s	m/s
Ύψος πάνω από την μεσαία ίσαλο Z	14.544	14.6	14.395	m
Συντελεστής C _D	1.12	1.12	1.12	
Συντελεστής C _C	0.967	0.967	0.967	
Επιφάνεια πίεσης ανέμου A	4005	3765	3590	m ²
Γωνία εισροής Υδάτων Θ ₁	39	35	31	degrees
Ολική πίεση ανέμου	0.19922	0.19937	0.1988	te/ m ²
Οριακό KG	8.6	8.541	2.5	m

Πίνακας 32:Εφαρμογή κριτηρίου καιρού ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 100knots.

Λαμβάνουμε λοιπόν τα εξής διαγράμματα:

Critical GZ Curve for ANEP-77 Solution 1



Διάγραμμα 16: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 solution 1 για ταχύτητα ανέμου 100 knots για βύθισμα 5.088m.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.1123rad, 0.765m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

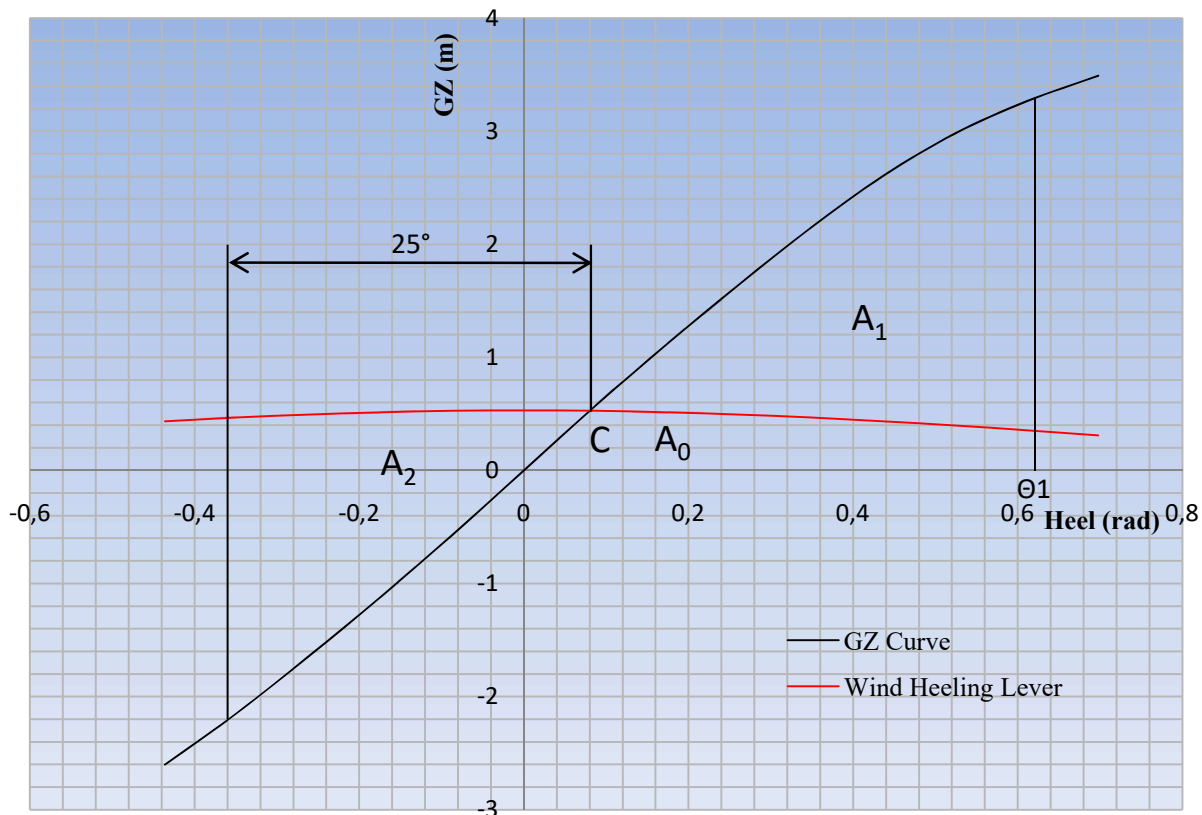
Areas	mrad
A_0	0.435
A_1	0.954
A_2	0.681
A_3	1.39

Πίνακας 33:Επιφάνειες διαγράμματος κρίσιμης καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 100 knots για βύθισμα 5.088m.

$140\% A_2 \leq A_1$	$0.954 \leq 0.954$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.765 \leq 1.9$

Πίνακας 34:Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 100 knots για βύθισμα 5.088m.

Critical GZ Curve for ANEP-77 Solution 1



Διάγραμμα 17: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 100 knots για βύθισμα 6.36m.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.08rad, 0.526m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

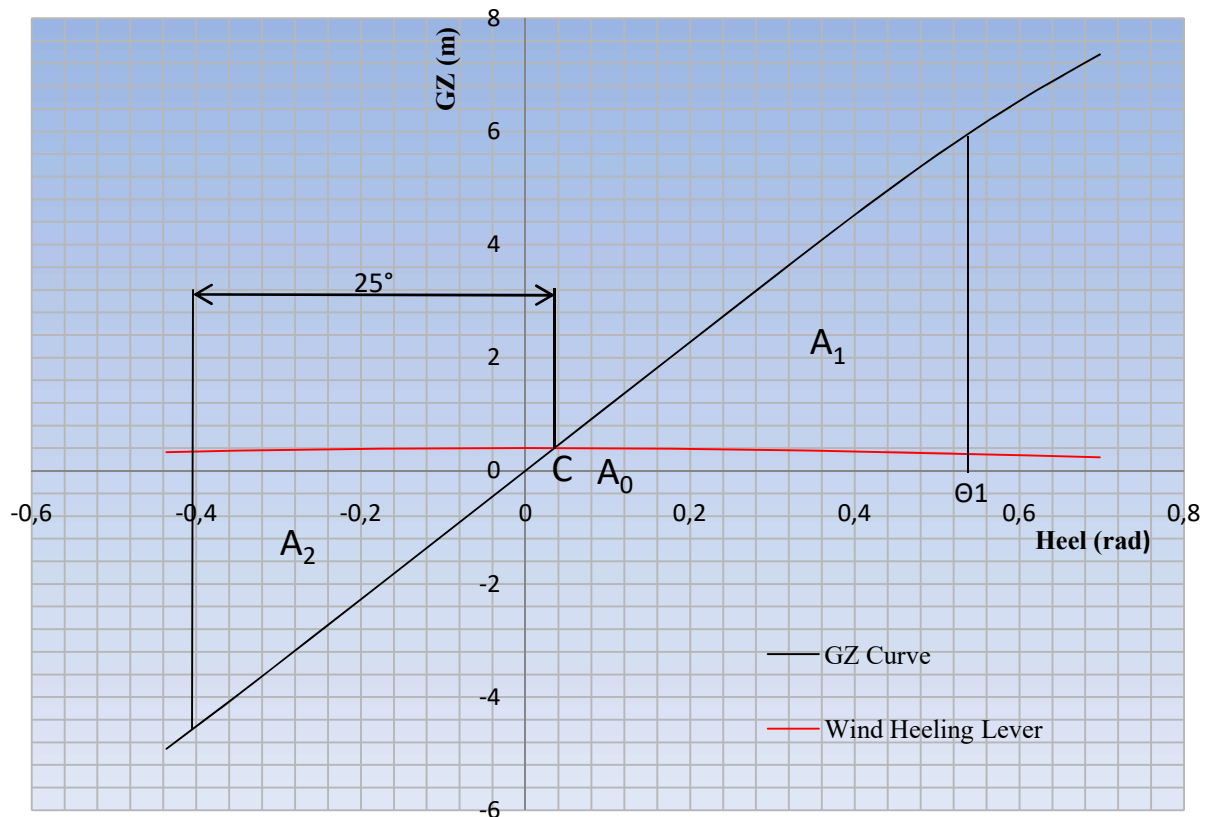
Areas	mrad
A_0	0.166
A_1	0.843
A_2	0.602
A_3	1

Πίνακας 35: Επιφάνειες διαγράμματος κρίσιμης καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 100 knots για βύθισμα 6.36m.

$140\% A_2 \leq A_1$	$0.843 \leq 0.843$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.626 \leq 1.787$

Πίνακας 36: Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλη GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 100 knots για βύθισμα 6.36m.

Critical GZ Curve for ANEP-77 Solution 1



Διάγραμμα 18: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 100 knots για βύθισμα 7.632m.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.0355rad, 0.404m)

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

Areas	mrad
A ₀	0.264
A ₁	1.459
A ₂	1.042
A ₃	1.723

Πίνακας 37:Επιφάνειες διαγράμματος κρίσιμης καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 100 knots για βύθισμα 7.632m.

$140\% A_2 \leq A_1$	$1.459 \leq 1.459$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.404 \leq 3.489$

Πίνακας 38:Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 100 knots για βύθισμα 7.632m.

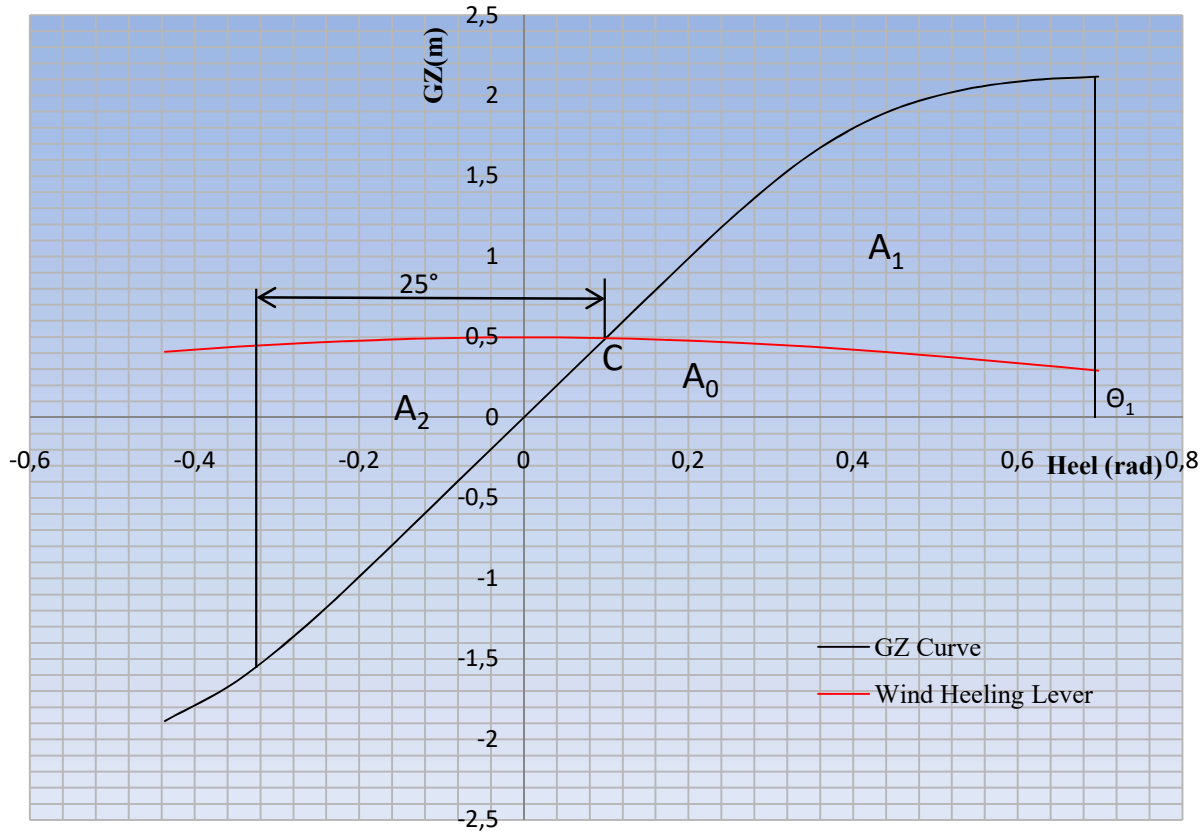
5.2.3 Κρίσιμες τιμές KG για το κριτήριο ANEP-77 Solution 1 με ταχύτητα ανέμου 80 knots

Βύθισμα T	5.088	6.36	7.632	m
Επιτάχυνση λόγω βαρύτητας g	9.81	9.81	9.81	m/s ²
Πυκνότητα αέρα ρ _a	0.001225	0.001225	0.001225	te/m ³
Ταχύτητα ανέμου στο προφίλ v	54.27	54.30	54.19	m/s
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου πάνω στα 10 μέτρα πάνω από την μεσαία ίσαλο V	80 Knots= 41.15 m/s	80 Knots= 41.15 m/s	80 Knots= 41.15 m/s	m/s
Ύψος πάνω από την μεσαία ίσαλο Z	14.544	14.6	14.395	m
Συντελεστής C _D	1.12	1.12	1.12	
Συντελεστής C _C	0.967	0.967	0.967	
Επιφάνεια πίεσης ανέμου A	4005	3765	3590	m ²
Γωνία εισροής Υδάτων Θ ₁	39	35	31	degrees
Ολική πίεση ανέμου	0.1275	0.1276	0.1272	te/ m ²
Οριακό KG	10.475	10.781	6.75	m

Πίνακας 39:Εφαρμογή κριτηρίου καιρού ANEP-77 1^η μέθοδος για ταχύτητα ανέμου 80knots.

Λαμβάνουμε λοιπόν τα εξής διαγράμματα:

Critical GZ Curve for ANEP-77 Solution 1



Διάγραμμα 19: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 Solution 1 για ταχύτητα ανέμου 80 knots για βύθισμα 5.088m.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.099rad, 0.49m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

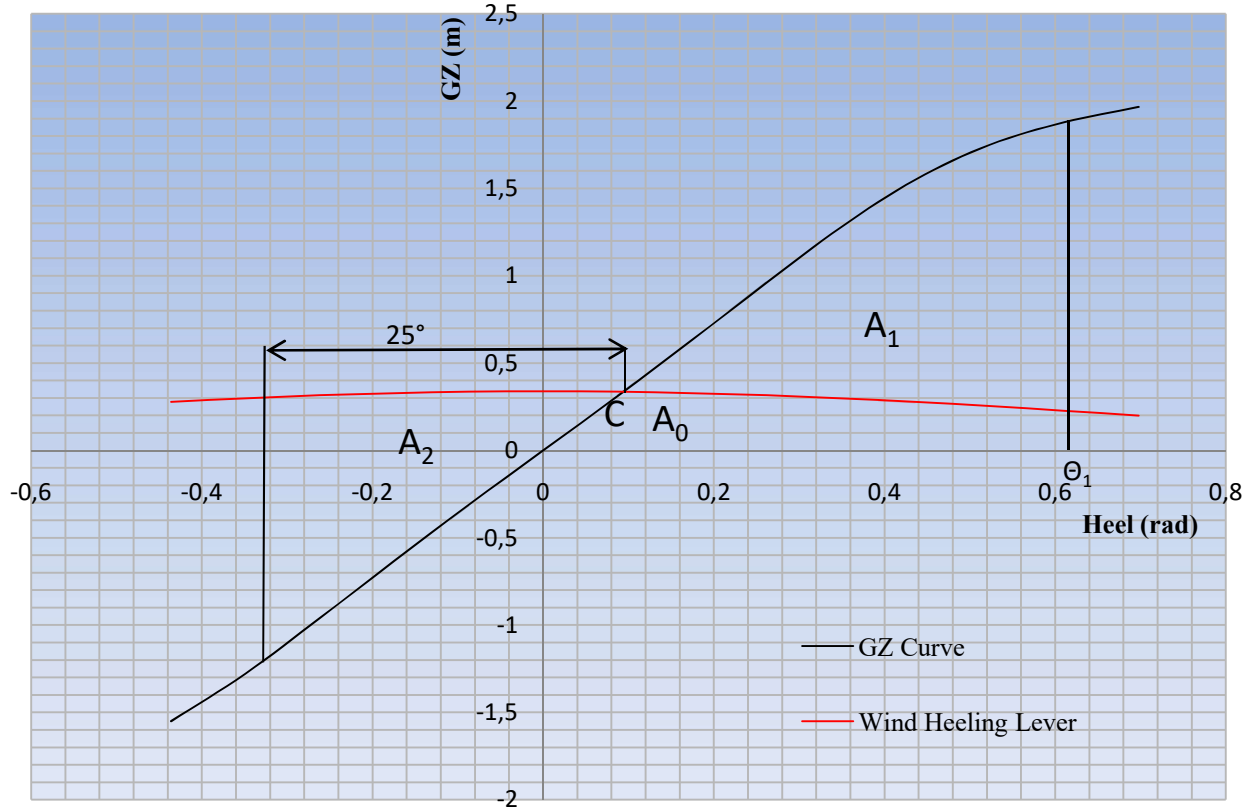
Areas	mrad
A ₀	0.284
A ₁	0.681
A ₂	0.487
A ₃	0.965

Πίνακας 40: Επιφάνειες διαγράμματος κρίσιμης καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου GBS Solution 1 για ταχύτητα ανέμου 80 knots για βύθισμα 5.088m.

$140\% A_2 \leq A_1$	$0.681 \leq 0.681$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.491 \leq 1.255$

Πίνακας 41: Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλη GZ κριτηρίου ανέμου GBS Solution 1 για ταχύτητα ανέμου 80 knots για βύθισμα 5.088m.

Critical GZ Curve for ANEP-77 Solution 1



Διάγραμμα 20: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 Solution 1 για ταχύτητα ανέμου 80 knots για βύθισμα 6.36m.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.094rad, 0.336m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

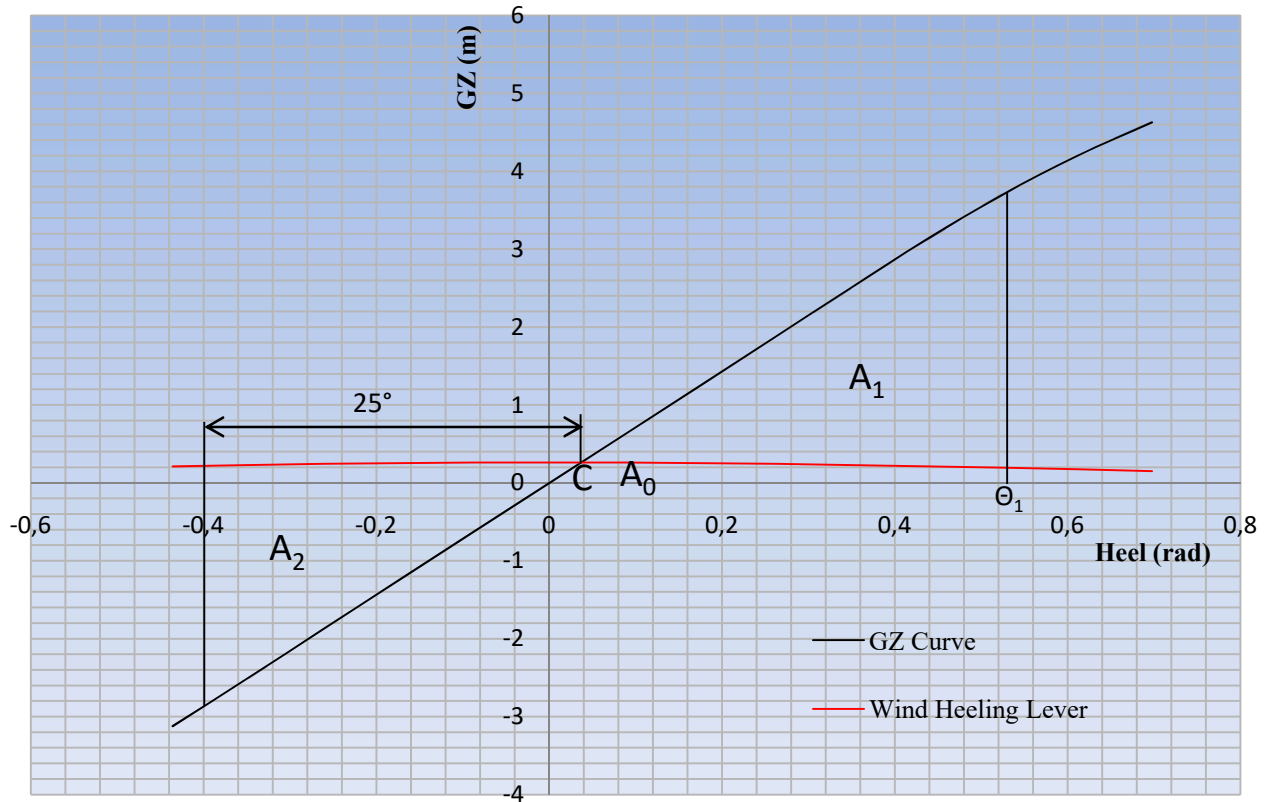
Areas	mrad
A ₀	0.167
A ₁	0.48
A ₂	0.34
A ₃	0.647

Πίνακας 42:Επιφάνειες διαγράμματος κρίσιμης καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 1 για ταχύτητα ανέμου 80 knots για βύθισμα 6.36m.

$140\% A_2 \leq A_1$	$0.479 \leq 0.480$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.336 \leq 1.127$

Πίνακας 43:Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 1 για ταχύτητα ανέμου 80 knots για βύθισμα 6.36m.

Critical GZ Curve for ANEP-77 Solution 1



Διάγραμμα 21: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 Solution 1 για ταχύτητα ανέμου 80 knots για βύθισμα 7.632m

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.362rad, 0.259m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

Areas	mrاد
A ₀	0.168
A ₁	0.921
A ₂	0.658
A ₃	1.089

Πίνακας 44: Επιφάνειες διαγράμματος κρίσιμης καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 1 για ταχύτητα ανέμου 80 knots για βύθισμα 7.632m.

$140\% A_2 \leq A_1$	$0.920 \leq 0.921$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.259 \leq 2.216$

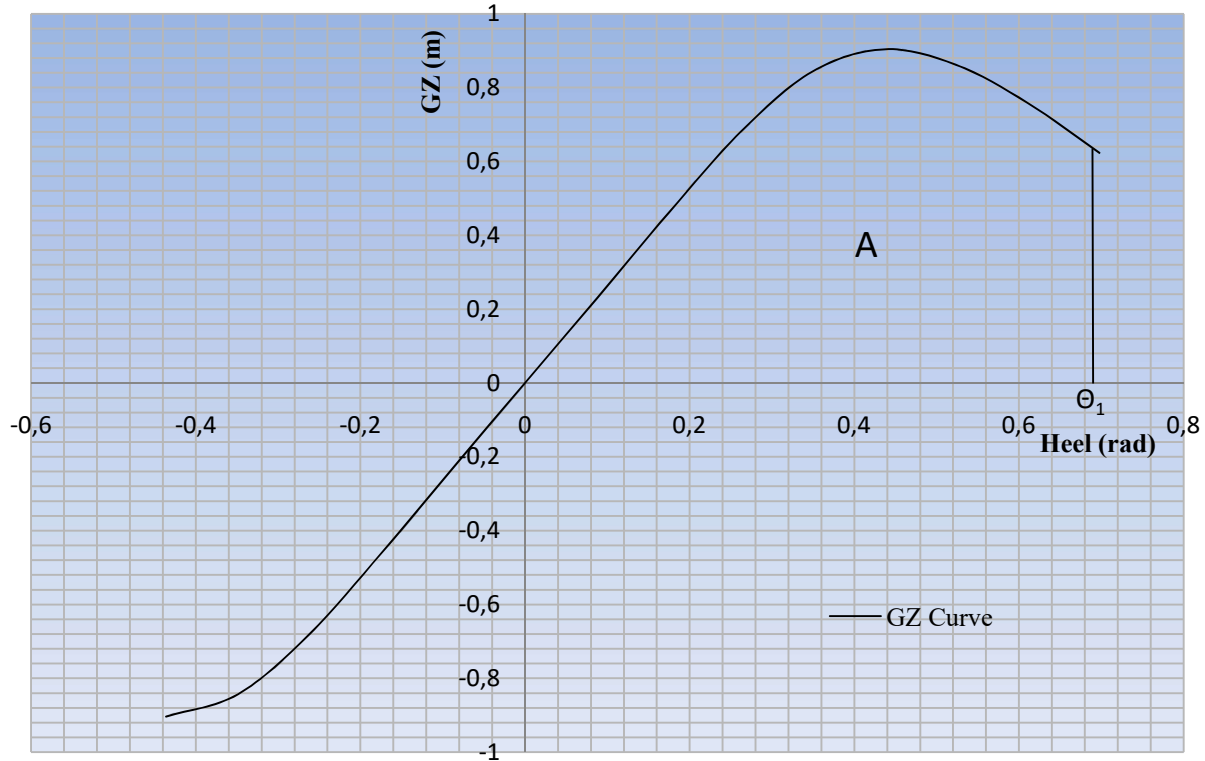
Πίνακας 45: Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 1 για ταχύτητα ανέμου 80 knots για βύθισμα 7.632m.

5.2.4 Κρίσιμες τιμές KG για το κριτήριο ANEP-77 Solution 2

Για βύθισμα 5.088m:

Προκύπτει το διάγραμμα:

Critical GZ Curve for ANEP-77 Solution 2



Διάγραμμα 22: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 Solution 2 για βύθισμα 5.088m

Το οποίο επιτυγχάνεται για $KG = 12.8m$.

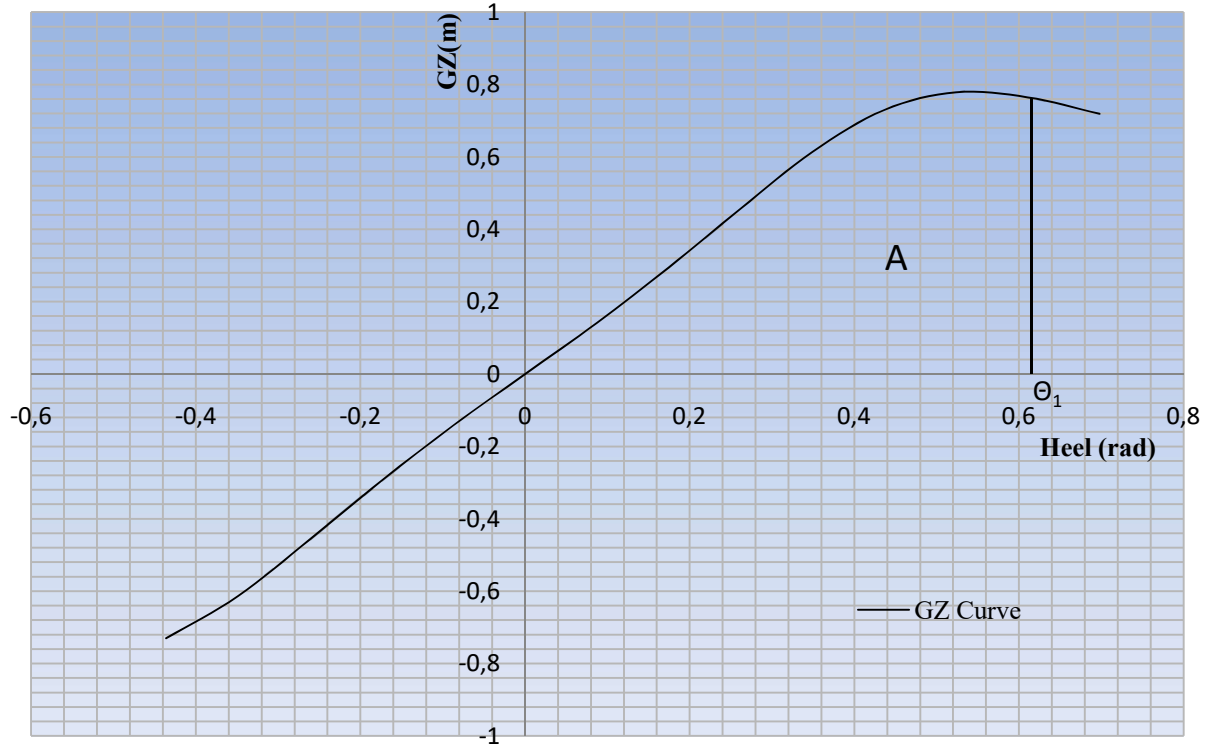
$A_{\tau} \geq 0.38 \text{ mrad}$	$0.380 \geq 0.38$
$GM > 0.001B^2$	$2.643 > 0.686$

Πίνακας 46: Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 2 για βύθισμα 5.088m.

Για βύθισμα 6.36m:

Προκύπτει το διάγραμμα:

Critical GZ Curve for ANEP-77 Solution 2



Διάγραμμα 23: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 Solution 2 για βύθισμα 6.36m

Το οποίο επιτυγχάνεται για $KG = 12.257m$.

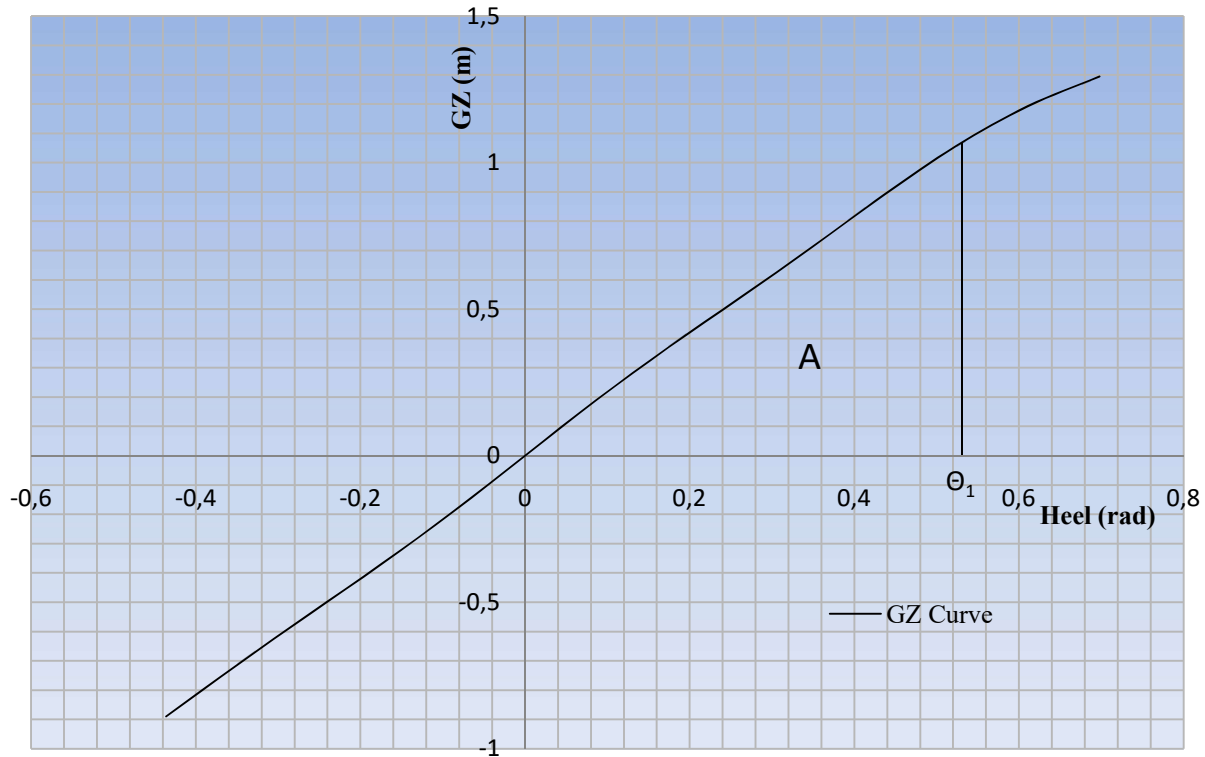
$A_{\tau} \geq 0.38 \text{ mrad}$	$0.380 \geq 0.38$
$GM > 0.001B^2$	$1.701 > 0.686$

Πίνακας 47: Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 2 για βύθισμα 6.36m.

Για βύθισμα 7.632m:

Προκύπτει το διάγραμμα:

Critical GZ Curve for ANEP-77 Solution 2



Διάγραμμα 24: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 Solution 2 για βύθισμα 7.632m

Το οποίο επιτυγχάνεται για $KG = 11.881m$.

$A_{\tau} \geq 0.38 \text{ mrad}$	$0.380 \geq 0.38$
$GM > 0.001B^2$	$2.235 > 0.686$

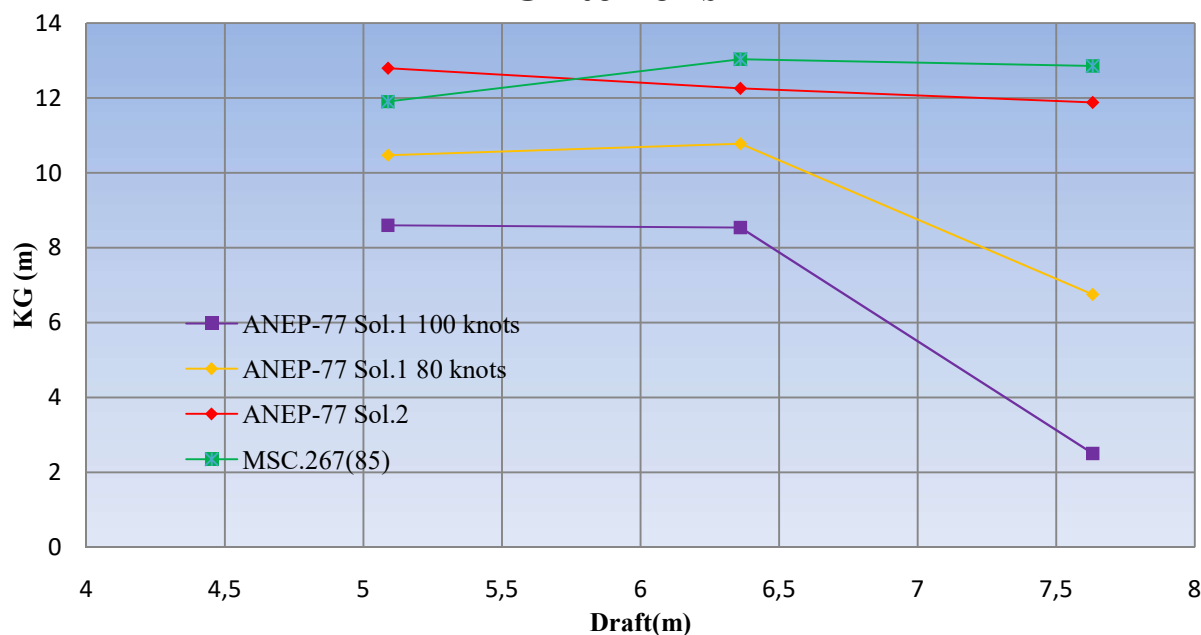
Πίνακας 48: Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλης GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 2 για βύθισμα 7.632m.

Παρακάτω τίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τις κρίσιμες τιμές κέντρων βάρους.

T(m)	IMO MSC.267(85)	ANEP-77 1 ^η μέθοδος 100knots	ANEP-77 1 ^η μέθοδος 80knots	ANEP-77 2 ^η μέθοδος
	KG (m)			
5.088	11.904	8.6	10.475	12.8
6.36	13.034	8.541	10.781	12.25
7.632	12.856	2.5	6.75	11.881

Πίνακας 49: Κρίσιμες τιμές κέντρων βάρους κριτηρίων ανέμου.

Comparison of Critical KG for Weather Criteria



Διάγραμμα 25: Κρίσιμες τιμές κέντρων βάρους ανάλογα με το βύθισμα για όλα τα κριτήρια καιρού.

5.3 Υπολογισμός μέγιστης ταχύτητας ανέμου

Προκειμένου να υπολογίσουμε την μέγιστη ταχύτητα ανέμου γίνεται η υπόθεση ότι το κέντρο βάρους παραμένει σταθερό για κάθε βύθισμα στα 12.722m, θεωρώντας ότι θα γίνει ομοιόμορφη κατανομή του βάρους σε κάθε κατάσταση.

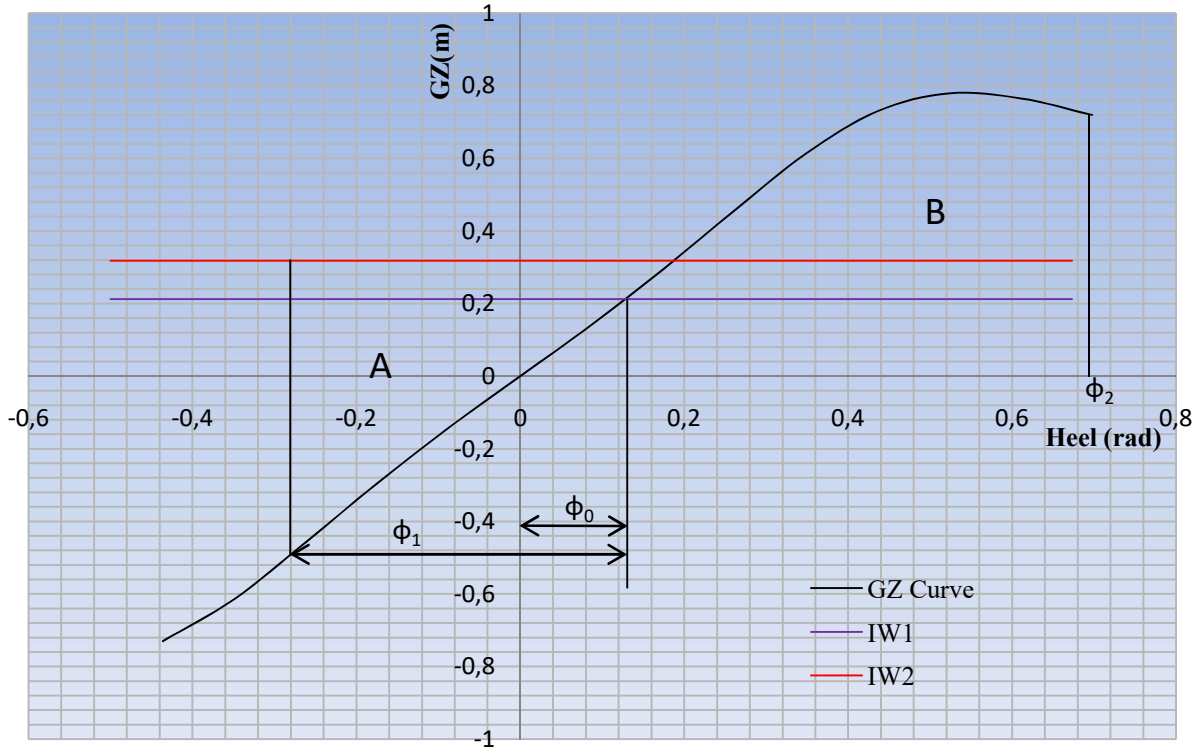
5.3.1 Κρίσιμη τιμή ταχύτητα ανέμου για το κριτήριο του IMO MSC.267(85)

d	5.088	6.36	7.632	m
Παράγοντες που παραμένουν σταθεροί σε κάθε κατάσταση				
B	26.2	26.2	26.2	m
L _{WL}	161.71	161.71	161.71	m
A _k	0.26 × 60.9 =15.834	0.26 × 60.9 =15.834	0.26 × 60.9 =15.834	m ²
k	0.988	0.988	0.988	
Παράγοντες που μεταβάλλονται σε κάθε κατάσταση				
C	0.4219	0.398	0.392	
GM _{COR}	2.712	1.618	1.218	m
T	13.42	16.4	18.15	s
s	0.056	0.043	0.038	
KG	12.722	12.722	12.722	m
OG	7.634	6.362	5.09	m
r	1.63	1.33	1.13	
X ₁	0.8	0.8	0.81	
X ₂	0.902	0.96	0.967	
Φ ₁	23.57	19.725	17.42	degrees
Φ ₂	39	35	31	degrees
A	4005	3765	3590	m ²
Z	14.544	14.6	14.395	m
Δ	11812	16300	20230	t
Φ ₀	4.5	7.8	7.82	degrees
I _{w1}	0.212	0.228	0.165	m
I _{w2}	0.318	0.342	0.247	m
P	422	663	633	Pa
v	46.46	57.77	56.9	knots

Πίνακας 50: Εφαρμογή κριτηρίου καιρού MSC.267(85) για οριακή ταχύτητα ανέμου.

Οι καμπύλες που προκύπτουν είναι :

MSC.267(85) Weather Criterion

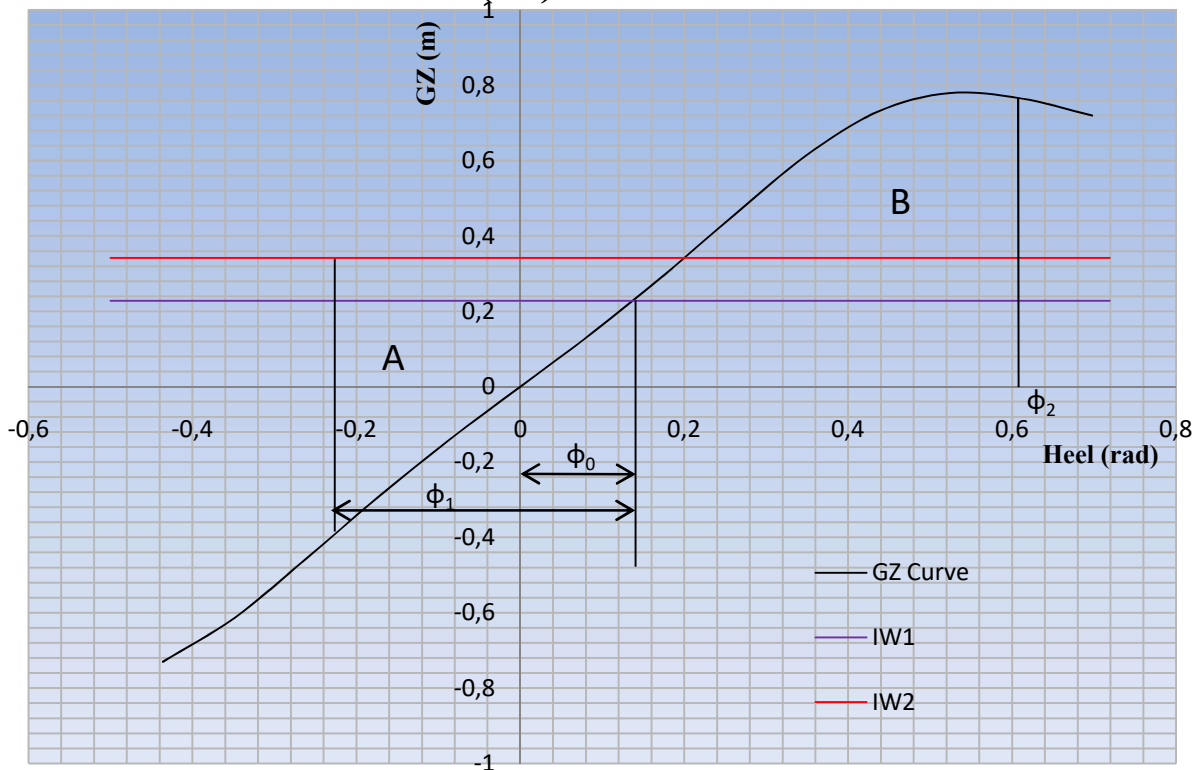


Διάγραμμα 26: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου καιρού MSC.267(85) για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 5.088m

Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.55 mrad ως τις 30°	0.319 mrad > 0.055 mrad
Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.9 mrad ως τις 35°	0.447 mrad > 0.09 mrad
Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.03 mrad από 30° μέχρι 35°	0.074 mrad > 0.03mrad
Μοχλοβραχίονας επαναφοράς τουλάχιστον 0.2 από 30° μέχρι 35°	0.803m > 0.2m
Αρχικό μετακεντρικό ύψος μεγαλύτερο 0.15m	2.712 m > 0.15m
Η γωνία Φ_0 όχι μεγαλύτερη από 16° ή από το 80% της γωνίας κατάκλισης	4.499° < 16° ή 28°
Περιοχή B μεγαλύτερη ή ίση της A	0.271 mrad \geq 0.271 mrad
Γωνία μέγιστου μοχλοβραχίονα σε γωνία μεγαλύτερη ή ίση των 25°	30° \geq 25°

Πίνακας 51: Εφαρμογή κριτηρίων άθικτης ευστάθειας για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για το κριτήριο καιρού MSC.267(85) για βύθισμα 5.088m.

MSC.267(85) Weather Criterion

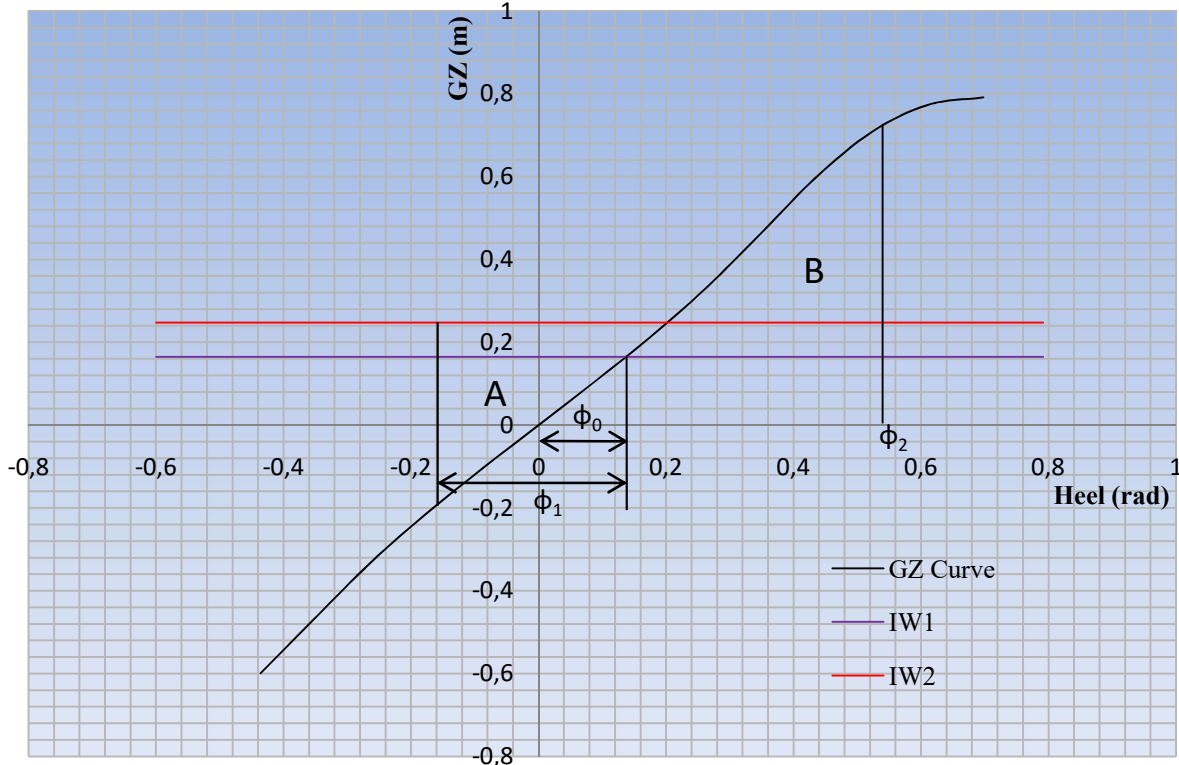


Διάγραμμα 27: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου καιρού MSC.267(85) για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 6.36m.

Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.55 mrad ως τις 30°	0.229 mrad > 0.055 mrad
Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.9 mrad ως τις 35°	0.296 mrad > 0.09 mrad
Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.03 mrad από 30° μέχρι 35°	0.067 mrad > 0.03mrad
Μοχλοβραχίονας επαναφοράς τουλάχιστον 0.2 από 30° μέχρι 35°	0.765m > 0.2m
Αρχικό μετακεντρικό ύψος μεγαλύτερο 0.15m	1.618 m > 0.15m
Η γωνία Φ₀ όχι μεγαλύτερη από 16° ή από το 80% της γωνίας κατάκλισης	7.814° < 16° ή 28°
Περιοχή Β μεγαλύτερη ή ίση της Α	0.123 mrad ≥ 0.123 mrad
Γωνία μέγιστου μοχλοβραχίονα σε γωνία μεγαλύτερη ή ίση των 25°	30° ≥ 25°

Πίνακας 52: Εφαρμογή κριτηρίων άθικτης ευστάθειας για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για το κριτήριο MSC.267(85) για βύθισμα 6.36m.

MSC.267(85) Weather Criterion



Διάγραμμα 28: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου καιρού MSC.267(85) για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 7.632m.

Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.55 mrad ως τις 30°	0.18 mrad > 0.055 mrad
Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.9 mrad ως τις 35°	0.245 mrad > 0.09 mrad
Εμβαδόν μεγαλύτερο από 0.03 mrad από 30° μέχρι 35°	0.065 mrad > 0.03mrad
Μοχλοβραχίονας επαναφοράς τουλάχιστον 0.2 από 30° μέχρι 35°	0.773m > 0.2m
Αρχικό μετακεντρικό ύψος μεγαλύτερο 0.15m	2.139 m > 0.15m
Η γωνία Φ₀ όχι μεγαλύτερη από 16° ή από το 80% της γωνίας κατάκλισης	7.824° < 16° ή 28°
Περιοχή B μεγαλύτερη ή ίση της A	0.07 mrad ≥ 0.07 mrad
Γωνία μέγιστου μοχλοβραχίονα σε γωνία μεγαλύτερη ή ίση των 25°	30° ≥ 25°

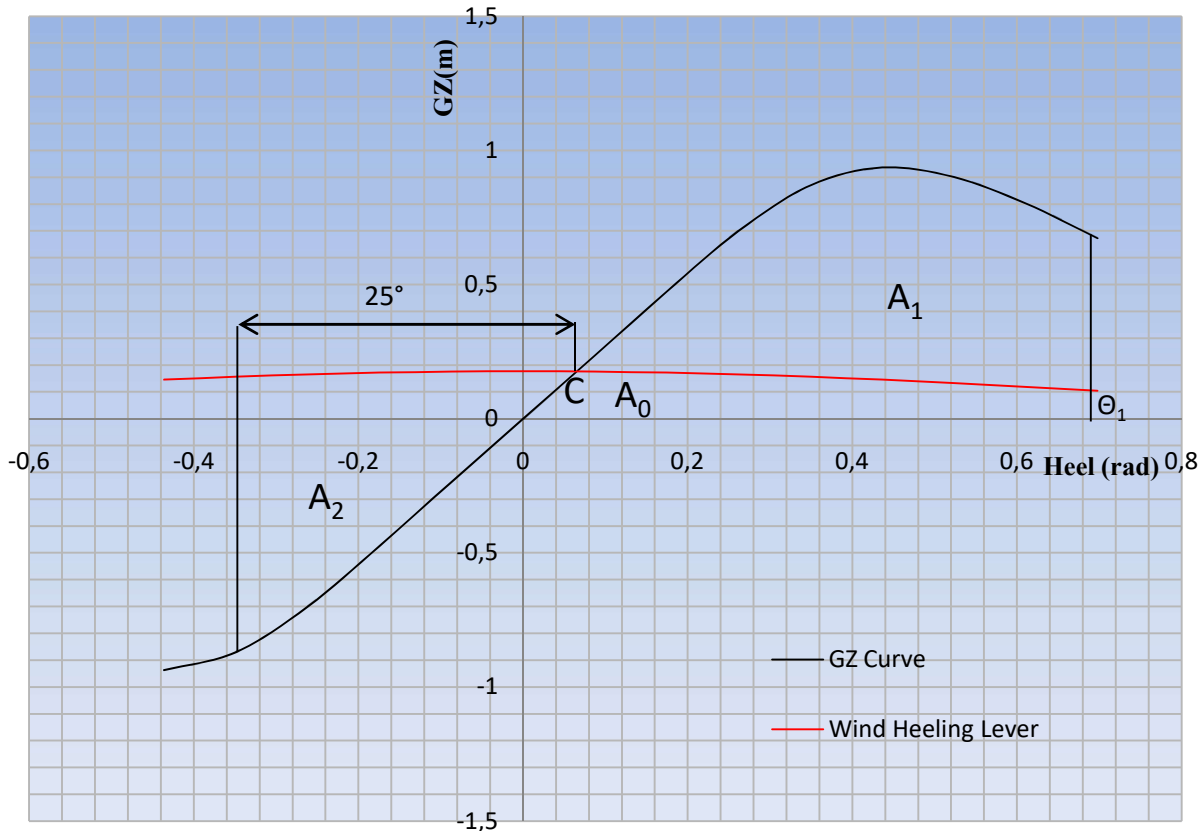
Πίνακας 53: Εφαρμογή κριτηρίων άθικτης ευστάθειας για μέγιστη ταχύτητας ανέμου για το κριτήριο MSC.267(85) για βύθισμα 7.632m.

5.3.2 Κρίσιμη τιμή ταχύτητας ανέμου για το κριτήριο ANEP-77 1^η μέθοδος

Βύθισμα T	5.088	6.36	7.632	m
Επιτάχυνση λόγω βαρύτητας g	9.81	9.81	9.81	m/s ²
Πυκνότητα αέρα ρ_a	0.001225	0.001225	0.001225	te/m ³
Ταχύτητα ανέμου στο προφίλ v	25.94	28.892	23.19	m/s
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου πάνω στα 10 μέτρα πάνω από την μεσαία ίσαλο V	47.8 Knots= 24.58 m/s	53.21 Knots= 27.37 m/s	42.8 Knots= 22 m/s	m/s
Ύψος πάνω από την μεσαία ίσαλο Z	14.544	14.6	14.395	m
Συντελεστής C_D	1.12	1.12	1.12	
Συντελεστής C_C	0.967	0.967	0.967	
Επιφάνεια πίεσης ανέμου A	4005	3765	3590	m ²
Γωνία εισροής Υδάτων Θ_1	39	35	31	degrees
Ολική πίεση ανέμου	0.0455	0.0564	0.0364	te/m ²

Πίνακας 54: Εφαρμογή κριτηρίου καιρού ANEP-77 1^η μέθοδος για οριακή ταχύτητα ανέμου.

ANEP-77 Solution 1 Maximum Wind Velocity



Διάγραμμα 29: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 solution 1 για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 5.088m.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.0652rad, 0.176m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

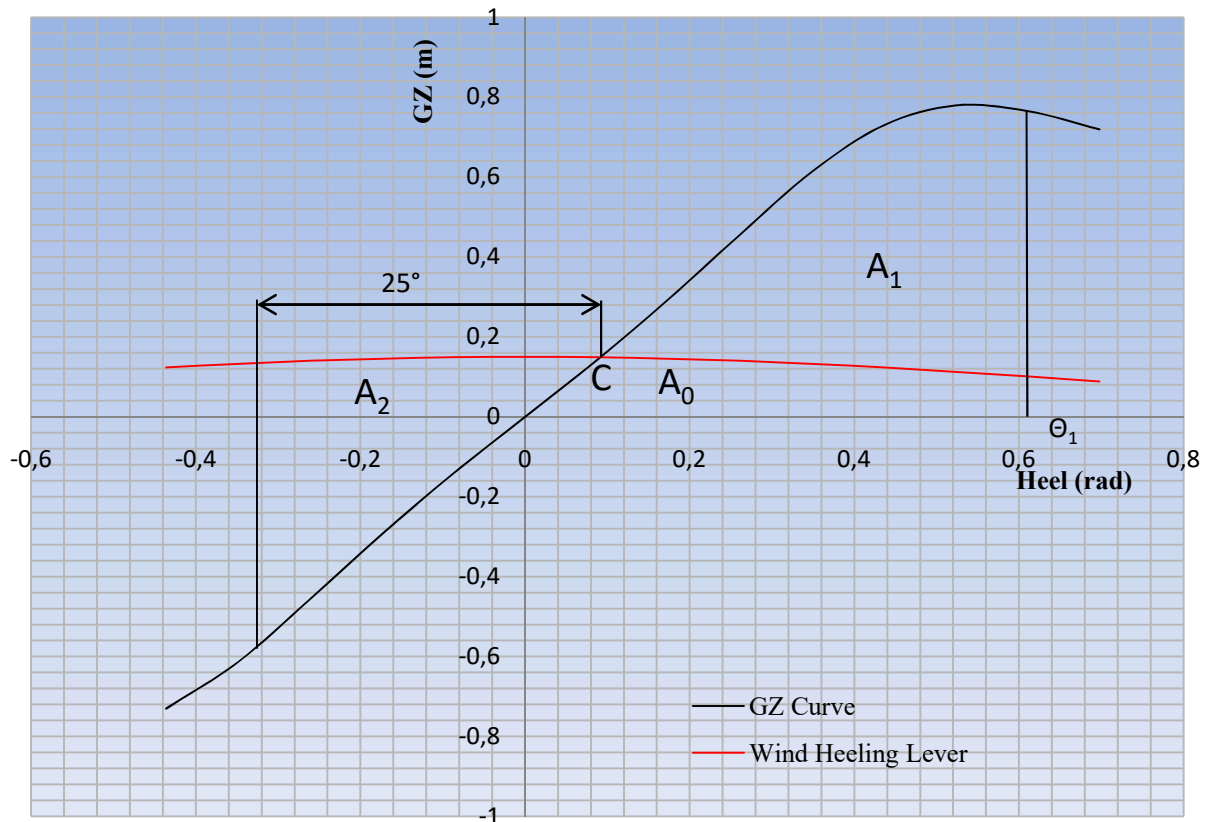
Areas	mrاد
A_0	0.098
A_1	0.349
A_2	0.249
A_3	0.447

Πίνακας 55:Επιφάνειες διαγράμματος GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 1 για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 5.088m.

$140\% A_2 \leq A_1$	$0.348 \leq 0.349$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.176 \leq 0.54$

Πίνακας 56:Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 1 για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 5.088m.

ANEP-77 Solution 1 Maximum Wind Velocity



Διάγραμμα 30: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 solution 1 για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 6.36m.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.091rad, 0.149m) .

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

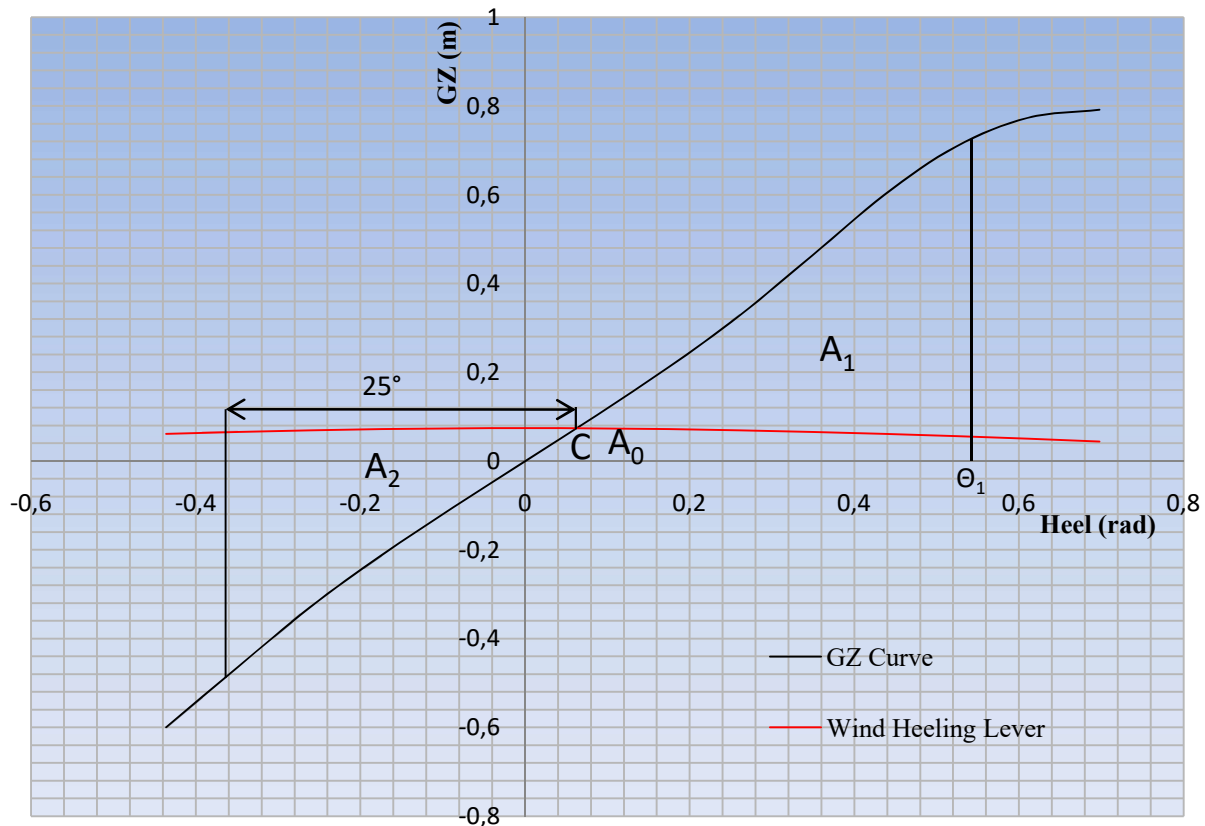
Areas	mrاد
A ₀	0.068
A ₁	0.222
A ₂	0.159
A ₃	0.29

Πίνακας 57:Επιφάνειες διαγράμματος GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 1 για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 6.36m.

$140\% A_2 \leq A_1$	$0.222 \leq 0.222$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.149 \leq 0.467$

Πίνακας 58:Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 1 για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 6.36m.

ANEP-77 Solution 1 Maximum Wind Velocity



Διάγραμμα 31: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου ANEP-77 solution 1 για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 7.632m.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.062rad, 0.074m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

Areas	mrاد
A ₀	0.039
A ₁	0.159
A ₂	0.113
A ₃	0.197

Πίνακας 59: Επιφάνειες διαγράμματος GZ κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 1 για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 7.632m.

$140\% A_2 \leq A_1$	$0.158 \leq 0.158$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.074 \leq 0.425$

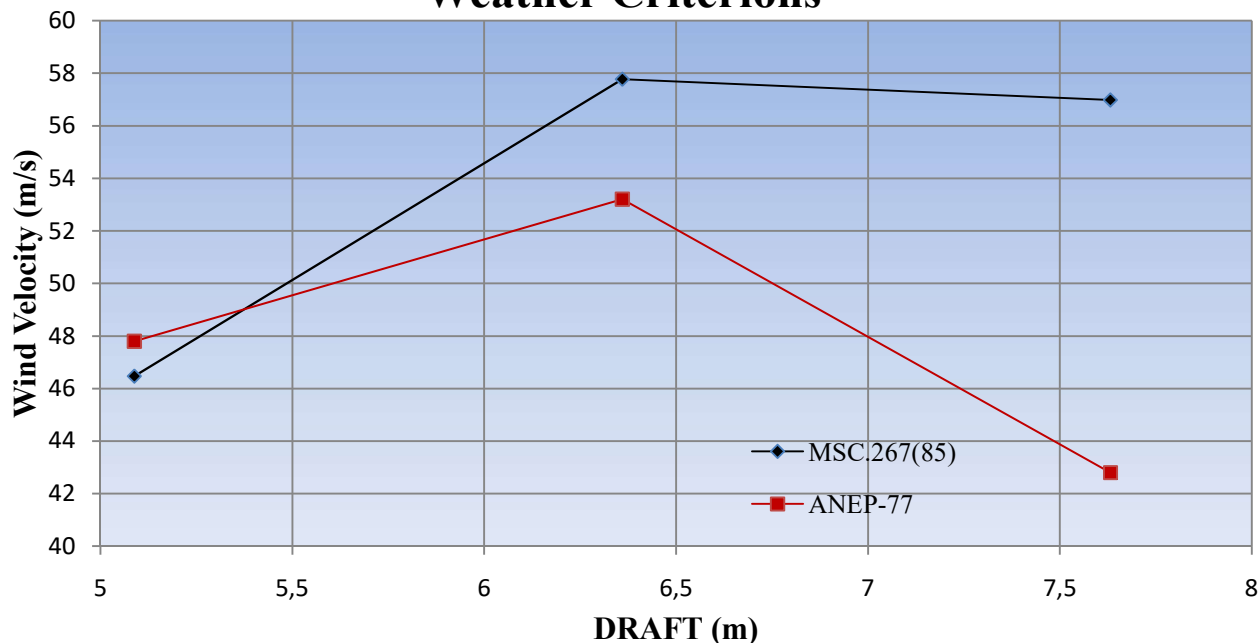
Πίνακας 60: Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας κριτηρίου ανέμου ANEP-77 Solution 1 για μέγιστη ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 7.632m.

Παρακάτω τίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τις κρίσιμες τιμές ταχύτητας ανέμου.

	IMO MSC.267(85)	ANEP-77 solution 1
Βύθισμα (m)	Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (knots)	
5.088	46.47	47.8
6.36	57.77	53.21
7.632	56.98	42.8

Πίνακας 61: Κρίσιμα ταχύτητες ανέμου.

Comparison of Critical Wind Velocities for Weather Criteria



Διάγραμμα 32: Κρίσιμες τιμές ταχύτητας ανέμου ανάλογα με το βύθισμα για τα κριτήρια καιρού.

5.4 Υπολογισμός κρίσιμων τιμών κέντρων βάρους για κριτήρια στροφής

5.4.1 Κρίσιμο KG για το κριτήριο IMO MSC.267(85)

d	5.088	6.36	7.632	m
GM	1.17	1.098	1	m
KG	14.167	13.242	12.94	m
Δ	11820	16300	20240	t
L _{WL}	161.71	161.71	161.71	m
V ₀	24	24	24	knots
M _R	25869	30916	34803	kNm
φ	9.79	9.99	9.95	Degrees

Πίνακας 62: Εφαρμογή κριτηρίου στροφής MSC.267(85) για οριακό κέντρο βάρους.

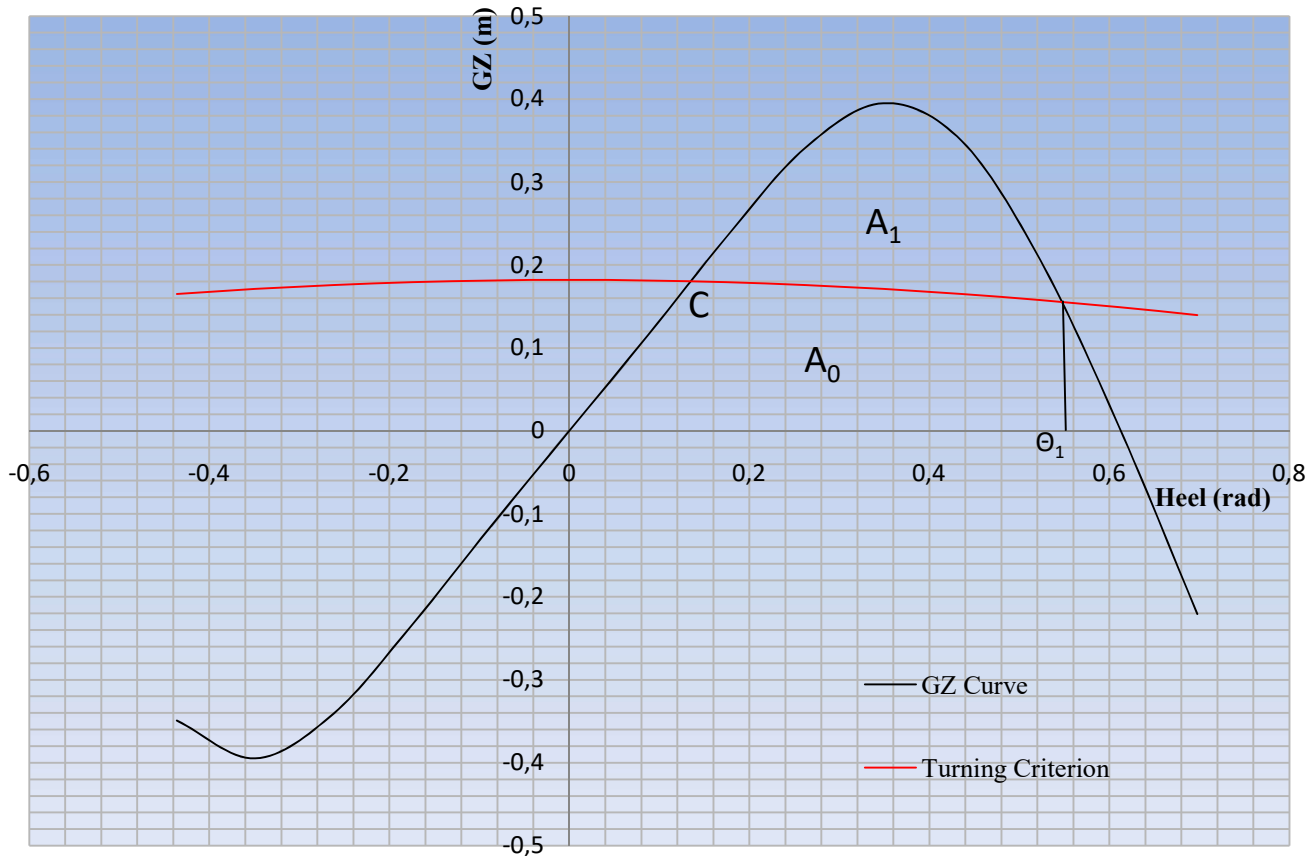
5.4.2 Κρίσιμο KG για το κριτήριο στροφής ANEP-77

Βύθισμα	5.088	6.36	7.632	m
Υπηρεσιακή ταχύτητα	24 knots	24 knots	24 knots	knots
Ταχύτητα στροφής $v = 60\%V$	15.6 knots = 8.025 m/s	15.6 knots = 8.025 m/s	15.6 knots = 8.025 m/s	m/s
Επιτάχυνση βαρύτητας	9.81 m/s ²	9.81 m/s ²	9.81 m/s ²	m/s ²
Ακτίνα στροφής $R = 1.5 X$ L _{BP}	392.5 m.	392.5 m.	392.5 m.	m
Κάθετη απόσταση από KG ως το κέντρο πλευρικής αντίστασης	10.89m	10.435m	9.488m	m
Κέντρο βάρους KG	14.07m	13.615m	13.304m	m

Πίνακας 63: Εφαρμογή κριτηρίου στροφής ANEP-77 για οριακό κέντρο βάρους.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν οι μογλοβραχίονες

Critical GZ Curve for ANEP-77 Turning Criterion



Διάγραμμα 33: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου στροφής ANEP-77 για βύθισμα 5.088m.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.013rad, 0.18m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

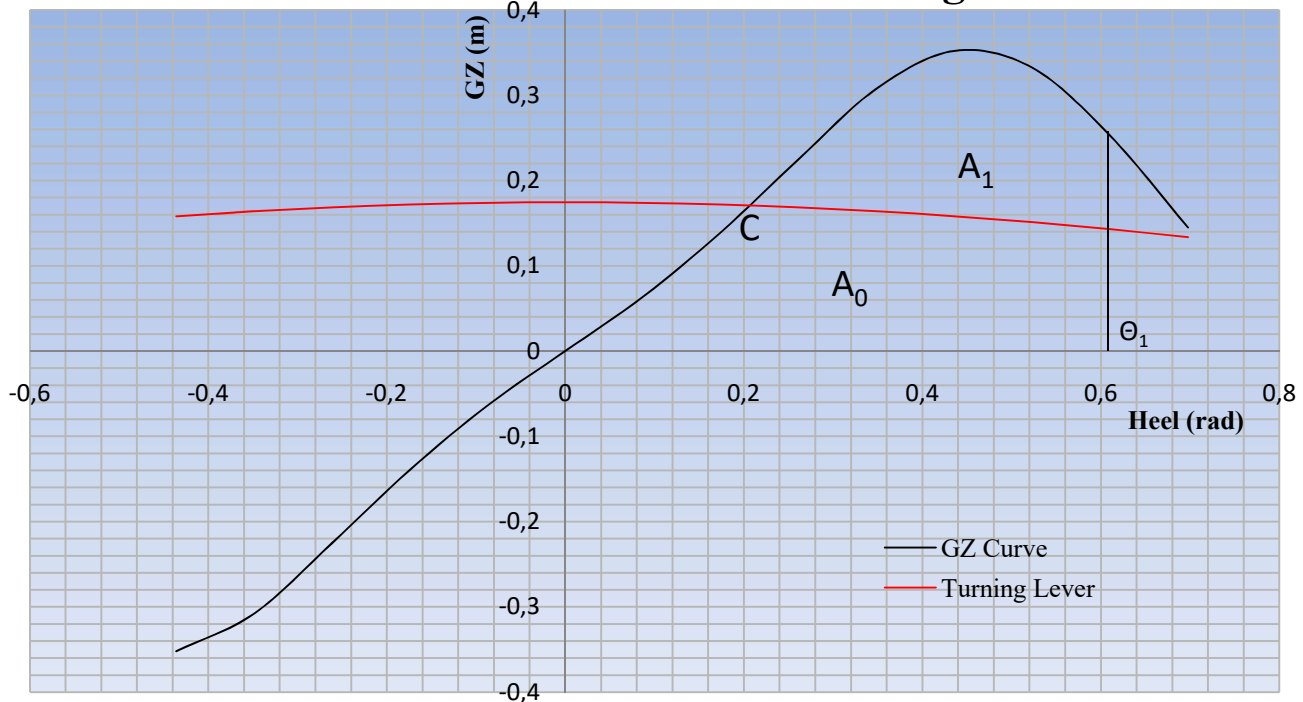
Areas	mrad
A ₀	0.091
A ₁	0.061
A ₃	0.153

Πίνακας 64:Επιφάνειες διαγράμματος κρίσιμης καμπύλης GZ κριτηρίου στροφής GBS για ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 5.088m.

40% A ₃ ≤ A ₁	0.061 ≤ 0.061
GZ _C ≤ 60% GZ _{MAX}	0.18 ≤ 0.237
Γωνία στο σημείο τομής < 15°	7.755 < 15

Πίνακας 65:Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλης GZ κριτηρίου στροφής ANEP-77 για βύθισμα 5.088m.

Critical GZ Curve for ANEP-77 Turning Criterion



Διάγραμμα 34: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου στροφής ANEP-77 για βύθισμα 6.36m.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.206rad, 0.171m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

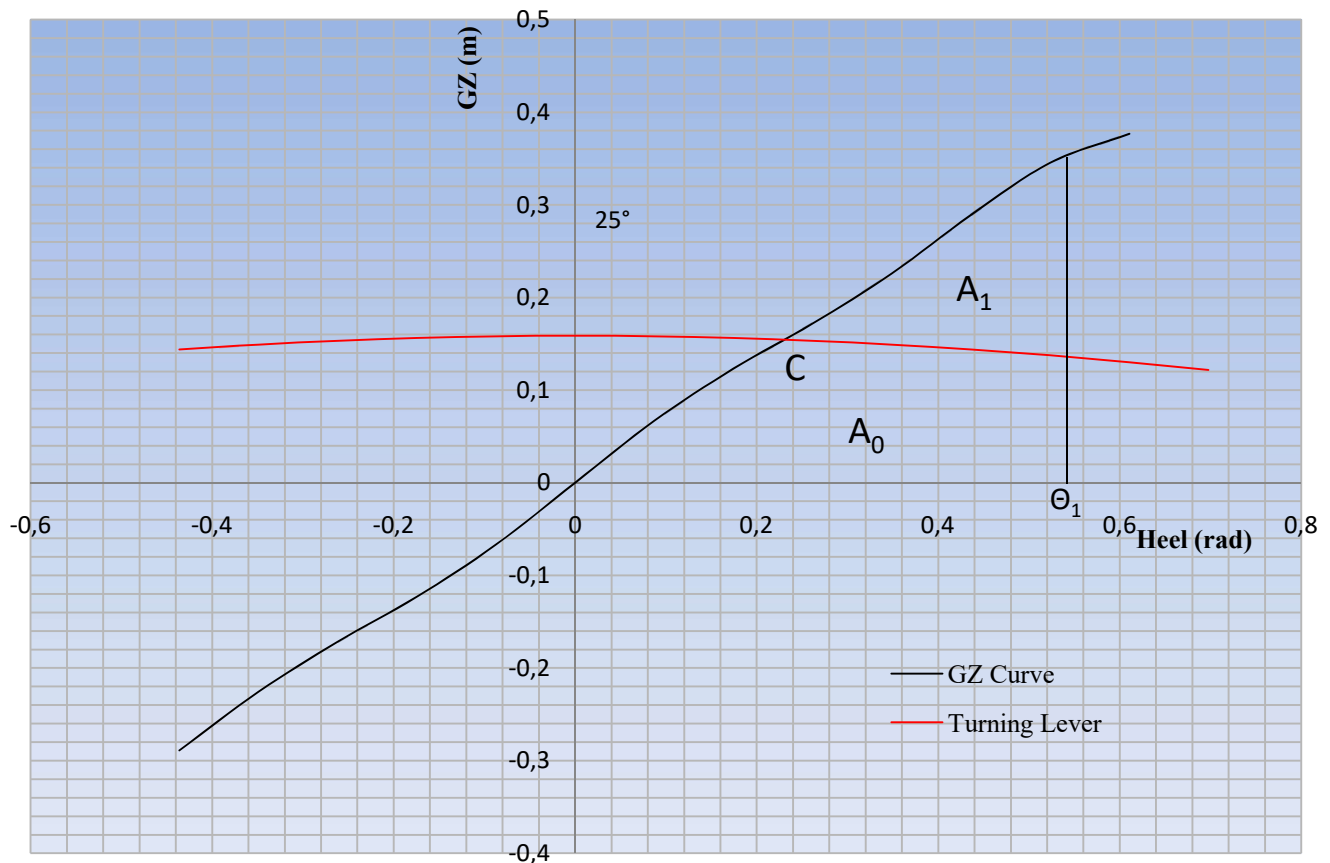
Areas	mrad
A ₀	0.081
A ₁	0.054
A ₃	0.135

Πίνακας 66: Επιφάνειες διαγράμματος κρίσιμης καμπύλης GZ κριτηρίου στροφής ANEP-77 για ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 6.36m

$40\% A_3 \leq A_1$	$0.054 \leq 0.054$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.171 \leq 0.211$
Γωνία στο σημείο τομής $< 15^\circ$	$1.817 < 15$

Πίνακας 67: Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλης GZ κριτηρίου στροφής ANEP-77 για βύθισμα 6.36m.

Critical GZ Curve for ANEP-77 Turning Criterion



Διάγραμμα 35: Κρίσιμη καμπύλη GZ για εφαρμογή κριτηρίου στροφής ANEP-77 για βύθισμα 7.632m.

Σύμφωνα με το διάγραμμα το σημείο τομής C είναι (0.23rad, 0.154m).

Προκύπτουν οι επιφάνειες :

Areas	mrad
A ₀	0.074
A ₁	0.049
A ₃	0.123

Πίνακας 68: Επιφάνειες διαγράμματος κρίσιμης καμπύλης GZ κριτηρίου στροφής ANEP-77 για ταχύτητα ανέμου για βύθισμα 7.632m.

$40\% A_3 \leq A_1$	$0.049 \leq 0.049$
$GZ_C \leq 60\% GZ_{MAX}$	$0.154 \leq 0.207$
Γωνία στο σημείο τομής $< 15^\circ$	$13.208 < 15$

Πίνακας 69: Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για κρίσιμη καμπύλη GZ κριτηρίου στροφής ANEP-77 για βύθισμα 7.632m.

5.4.3 Κρίσιμη τιμή KG για το κριτήριο στροφής για την αναθεώρηση του IS code

Βυθίσματα T	5.088		6.36		7.632		m
Συντελεστής C	0.07	0.14	0.07	0.14	0.07	0.14	s ² /m
Ταχύτητα V ₀	24		24		24		knots
Ίσαλος βρεχόμενης επιφάνειας L _{WL}	161.71		161.71		161.71		m
Κέντρο βάρους KG	12.89	11.175	12.132	10.656	12.35	10.59	m
Μετακεντρικό ύψος GM	2.556	3.26	2.207	3.683	2.01	3.35	m

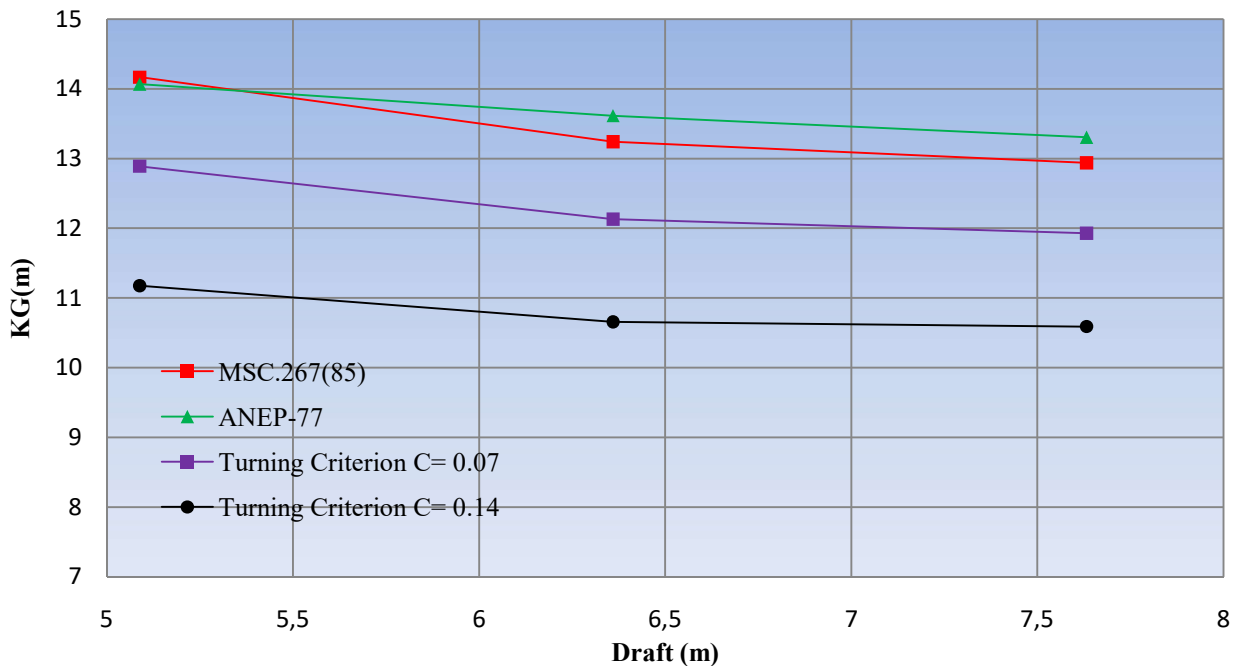
Πίνακας 70: Εφαρμογή κριτηρίου στροφής 2^{ης} γενιάς για οριακό κέντρο βάρους.

Παρακάτω τίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τα κρίσιμα κέντρα βάρους.

	IMO MSC.267(85)	ANEP-77	Turning criterion C = 0.07	Turning criterion C = 0.14
Βύθισμα (m)	Κρίσιμα κέντρα βάρους KG (m)			
5.088	14.167	14.07	12.89	11.175
6.36	13.242	13.615	12.132	10.656
7.632	12.94	13.304	11.93	10.59

Πίνακας 71: Οριακές τιμές κέντρων βάρους κριτηρίων στροφής.

Comparison of Critical KG for Turning Criteria



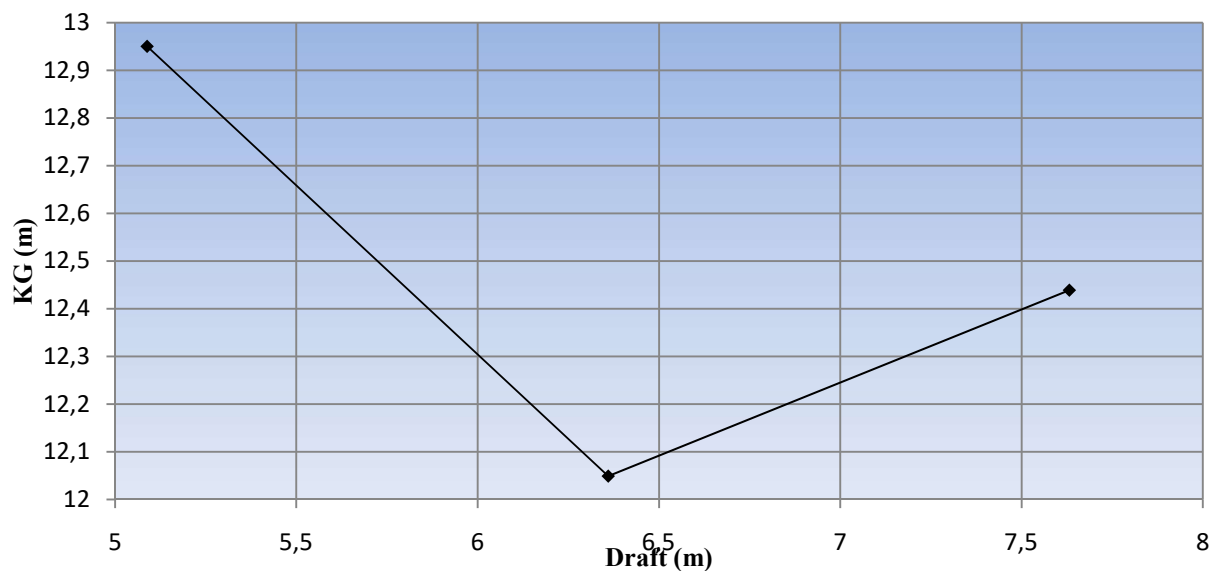
Διάγραμμα 36: Κρίσιμες τιμές κέντρων βάρους ανάλογα με το βύθισμα για όλα τα κριτήρια στροφής

5.5 Υπολογισμός κρίσιμων τιμών κέντρων βάρους για το κριτήριο επιτάχυνσης 2^{ης} γενιάς

Βύθισμα	5.088	6.36	7.632	m
x	130.95	130.95	130.95	m
k _L	1.133	1.133	1.133	
g	9.81	9.81	9.81	m/s ²
C	0.422	0.398	0.398	
T _Φ	14.04	13.789	16.108	s
B	0.267	0.267	0.203	
T	0.059	0.081	0.08	
β	0.988	0.987	0.993	
K ₁	- 1.385	- 1.794	- 2.423	
K ₂	18.357	13.649	10.226	
F	-0.959	-0.948	-0.955	
OG	7.862	5.689	4.807	m
r	0.915	0.884	0.859	
s	0.052	0.0543	0.044	
δ _φ	0.524	0.524	0.267	
φ	0.296	0.293	0.322	rad
h	20.131	19.946	19.95	m
KG	12.95	12.39	12.439	m
φk _L	4.639	4.639	4.636	m/s ²

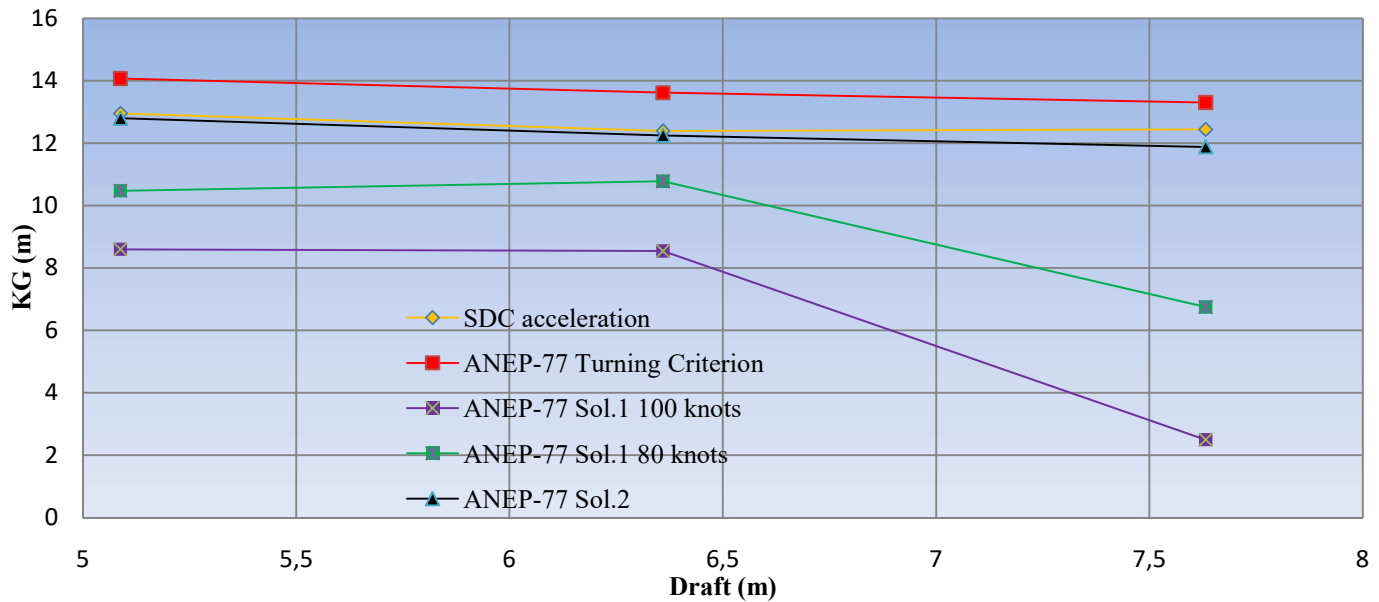
Πίνακας 72: Εφαρμογή κριτηρίου επιτάχυνσης για οριακές τιμές κέντρων βάρους.

Comparison of Critical KG for 2nd Generation Criterion

Διάγραμμα 37: Κρίσιμες τιμές κέντρων βάρους ανάλογα με το βύθισμα για το κριτήριο 2^{ης} γενιάς.

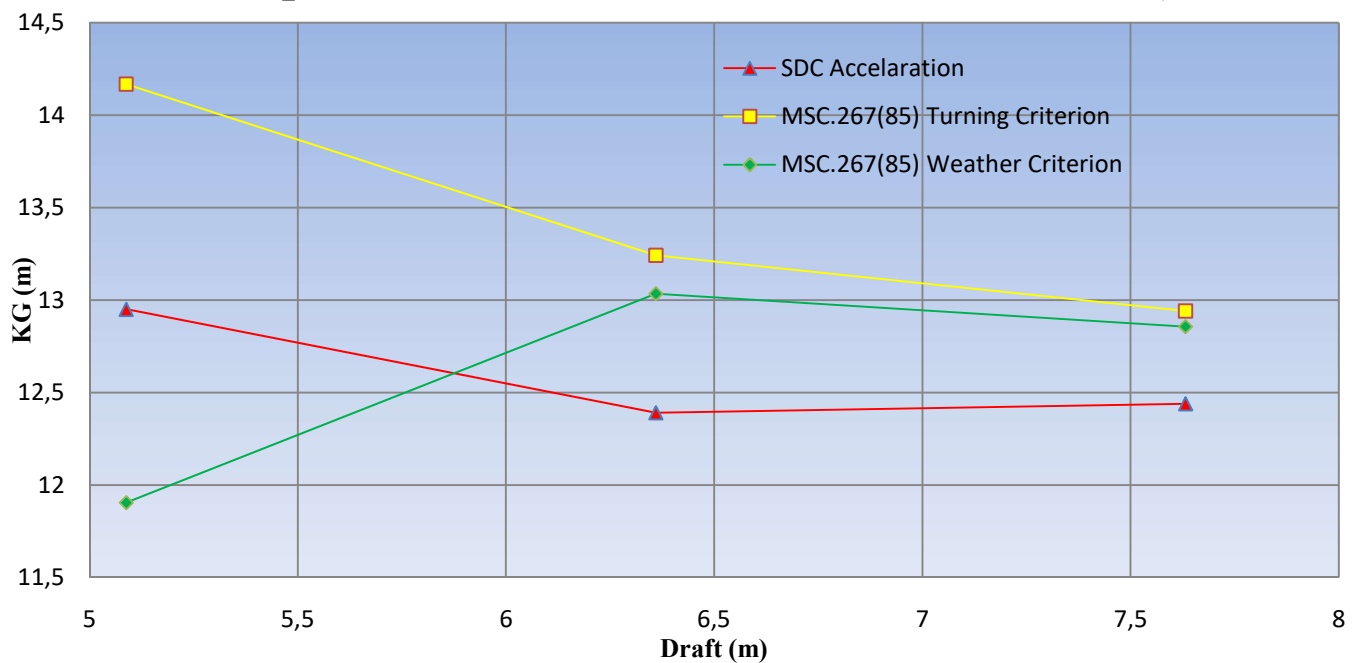
Προκειμένου να γίνει μία σύγκριση μεταξύ των κανονισμών παρατίθενται τα εξής διαγράμματα:

Comparison of SDC acceleration and ANEP-77



Διάγραμμα 38: Σχέση μεταξύ κριτηρίου επιτάχυνσης για τα κριτήρια 2^{ης} γενιάς και ANEP-77.

Comparison of SDC acceleration and MSC.267(85)



Διάγραμμα 39: Σχέση μεταξύ κριτηρίου επιτάχυνσης για τα κριτήρια 2^{ης} γενιάς και MSC.267(85).

Με βάση το διάγραμμα 38 παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κοινή περιοχή μεταξύ του κριτηρίου επιτάχυνσης των κριτηρίων 2^{ης} γενιάς και των solutions 1,2 του κώδικα ANEP-77. Αυτό οφείλεται διότι τα solutions ικανοποιούνται για κέντρα βάρους χαμηλότερα των καμπυλών των οριακών τιμών τους, ενώ το κριτήριο επιτάχυνσης ικανοποιείται για κέντρα βάρους μεγαλύτερα των οριακών τιμών τους. Αυτό συμβαίνει γιατί η αύξηση του KG επιφέρει μείωση του μετακεντρικού ύψους GM, οπότε και μείωση της συχνότητας του διατοιχισμού.

Παρατηρείται επίσης πως το κριτήριο της επιτάχυνσης έχει παρόμοια ανεκτικότητα με την 2^η μέθοδο που προτείνεται από τον κανονισμό.

Αντιθέτως με βάση το διάγραμμα 39 για το κριτήριο καιρού του IMO υπάρχει κοινή περιοχή για βυθίσματα 5,8μ και άνω, καθώς οι οριακές τιμές του κριτηρίου καιρού είναι μεγαλύτερες από τις οριακές τιμές του κριτηρίου επιτάχυνσης, ενώ παράλληλα για ικανοποιείται και το κριτήριο στροφής. Για βυθίσματα μικρότερα των 5,8μ δεν υπάρχει κοινή περιοχή καθώς οι οριακές τιμές του KG για το κριτήριο επιτάχυνσης είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του κριτηρίου καιρού.

Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις στις μέρες μας στις οποίες πλοία χάνουν την ευστάθεια της είτε λόγω ανέμου είτε λόγω στροφής. Έχει δημιουργηθεί λοιπόν η ανάγκη για ενδεδειγμένη εξέταση των κανονισμών που ισχύουν. Παρατηρούμε ότι παρόλο που το πλοίο που υπάρχει και έχει γίνει η μοντελοποίηση του είναι συμβατό με τον κανονισμό του IMO δεν ικανοποιεί τις προϋποθέσεις του κανονισμού ANEP-77 για κανέναν Solution και ούτε και το κριτήριο για στροφή υψηλών ταχυτήτων που έχει προταθεί για την αναθεώρηση του IS code.

Όσον αφορά τα κριτήρια καιρού βλέπουμε ότι η ταχύτητα ανέμου που προβλέπει ο κανονισμός του IMO είναι πολύ μικρή σε σχέση με ταχύτητες που μπορεί να συναντήσει σε ανοιχτές θάλασσες. Υπάρχουν αρκετά συμβάντα που πλοία συναντούν ακόμα και τυφώνες. Προκειμένου να μην υπάρξει απώλεια ευστάθειας το κέντρο βάρους πρέπει να μειωθεί και για τα δύο solution του κανονισμού GBS. Οπότε η εμφανέστερη λύση είναι να υπάρχουν δεξαμενές heeling water χαμηλά στο πλοίο ώστε όταν συναντήσει το πλοίο δυσμενείς καιρικές συνθήκες να γεμίζουν και να μειώνεται το κέντρο βάρους. Αυτό βέβαια προβλέπει μία προσεκτική μελέτη διότι υπάρχουν πολλές παράμετροι όταν βρίσκονται σε λειτουργία, όπως το φαινόμενο των ελεύθερων επιφανειών και η αύξηση βυθίσματος. Η πιο σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την εκπλήρωση των κριτηρίων είναι η γωνία κατάκλισης. Ειδικά όταν αυξάνεται το βύθισμα η γωνία αυτή μειώνεται με αποτέλεσμα οι επιφάνειες στην καμπύλη GZ να είναι μικρότερες, δηλαδή μειώνεται η κλίση που μπορεί να πάρει το πλοίο. Το αυστηρότερο κριτήριο που παρέχει την μεγαλύτερη ευστάθεια είναι το solution 1 του GBS.

Αξίζει να αναφερθεί ότι το κριτήριο του IMO είναι και περισσότερο ανεκτικό στην μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα ανέμου. Όμως και οι δύο κανονισμοί έχουν ένα κοινό στοιχείο, ότι υπάρχει βέλτιστο βύθισμα. Οπότε κατά την διαδικασία του σχεδιασμού είναι δυνατό να υπάρξει εκμετάλλευση του βυθίσματος αυτού ώστε να αυξηθεί η αντίσταση του πλοίου σε διατοιχισμό.

Για τα κριτήρια της στροφής υπάρχει μία σχεδόν γραμμική σχέση μεταξύ βυθισμάτων και κρίσιμων κέντρων βάρους. Το συγκεκριμένο πλοίο δεν πληρούσε μόνο το κριτήριο στροφής υψηλών ταχυτήτων για καμία τιμή του συντελεστή C. Το κριτήριο όμως αυτό είναι το μόνο που προβλέπει την κίνηση του φορτίου κατά την διαδικασία της στροφής, γεγονός που αν και σπάνιο είναι πιθανό.

Τέλος για την εγκάρσια επιτάχυνση του κριτηρίου δεύτερης γενιάς παρατηρήθηκε ότι υπάρχει βέλτιστο βύθισμα για το οποίο η ανοχή στο κέντρο βάρους είναι μεγαλύτερη. Λαμβάνοντας υπόψη την εγκάρσια επιτάχυνση προστατεύει τους επιβάτες από τραυματισμούς και κυρίως το πλήρωμα ώστε να είναι λειτουργικοί στην εργασία που εκτελούν.

Επίσης βάση της έρευνας που έγινε ώστε να βρεθεί κοινή περιοχή σε σχέση με τους κανονισμούς του ANEP-77 και των κριτηρίων 2^{ης} γενιάς παρατηρήθηκε ότι δεν είναι συμβατόι. Αντιθέτως για τα

κριτήρια 2^{ης} γενιάς και το κριτήριο καιρού του MSC.267(85) για βυθίσματα μεγαλύτερα των 5,8μ ικανοποιούνται οι κανονισμοί.

Για να είναι βέλτιστος ο σχεδιασμός ενός πλοίου πρέπει ο μηχανικός που το σχεδιάζει να προβλέψει για όλα τα παραπάνω. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα απώλειας ευστάθειας και θα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των ατυχημάτων.

Βιβλιογραφία

1. Κ. Σπύρου, 2015, Δυναμική Ευστάθεια Πλοίου, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ISBN :978-960-603-337-7
2. NATO Standarization Office, 2019, ANEP -77, Naval Ship Code: Goals , Functional Objectives and Performance Requierment, Edition G Version 2, February 2019
3. V. Ferrari, H. v. d. Boom, A. S. Kisjes, F. H. H. Quadvlieg, 2020, Heel Angles in Turn and Passenger Safety, Proceedings, Sustainable and Safe Passenger Ships 4th March 2020, Athens, Greece
4. IMO, SDC 1/14/1,IMO , 2013, Development of Amendments to the Criterion for Maximum Angle of Heel in Turns of the 2008: Proposal for the structure of the criterion for maximum angle of heel in turns of the 2008 IS Code, Submitted by Poland, IMO, London
5. IMO SDC 4/5/1/Add.4 ,IMO, 2018, Finalization of Second Generation Intact Stabillity Criteria, Report of the correspondence group (part 5), Submitted by Japan, IMO, London
6. Z. Szozda, 2014, The Need of the Revision of Passenger Ships' Stability Criterion on account of Turning, TRANASNAV, International Journal, Volume 8,Number 3
7. C. Cascino, F. Arini, 2018, RoPax, the layout history and analysis, University of Genoa
8. A. Francescutto, 2015, Intact stability criteria of ships – past present and future, Proceeding of the 12th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles, 14-19 June 2015, Glasgow UK
9. E. Masoudi, 2017, Second generation IMO intact stability vulnerability criteria and its application to ships navigating in Persian gulf and Oman sea, IJMT Vol.7/ Winter 2017, International Journal of Maritime Technology
10. L.Kobylnski, 2014, Stabillity Criteria – Present status and perspectives of improvement, TRANASNAV, International Journal, Volume 8,Number 2
11. IMO , Resolution MSC.267(85), 2008, Adoption of the International Code on Intact Stability, 2008, (2008 IS CODE), IMO, London
12. www.wikipedia.org
13. www.britannica.com
14. www.imo.org
15. www.marinegyaan.com
16. www.deingenieur.nl