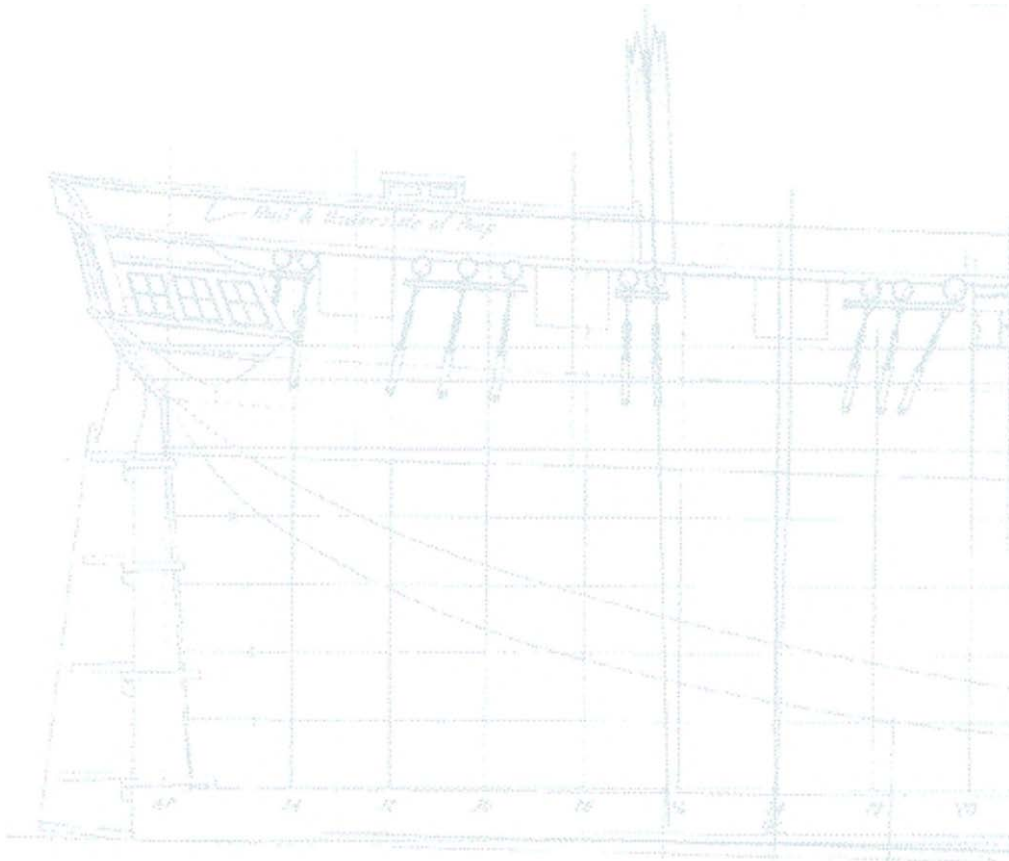


ΓΕΝΙΚΟ ΕΠΙΤΕΛΕΙΟ ΝΑΥΤΙΚΟΥ



ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΝΑΥΠΗΓΙΑΣ

ΑΡΧΕΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ
ΠΛΟΙΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΟΙΟΥ..... 3

ΓΕΝΙΚΑ.....	3
ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....	3
ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	5
ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	7
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	8
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	9
ΚΑΘΕΛΚΥΣΗ.....	10
ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ-ΔΟΚΙΜΕΣ.....	11
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	12

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι Ι ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ14

ΓΕΝΙΚΑ.....	14
ΟΡΙΣΜΟΙ.....	14
ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	16
ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΛΕΥΣΤΟΤΗΤΑΣ - ΟΡΙΣΜΟΙ	18
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΑΣΤΡΑΣ	22
ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....	25

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι Ι Ι ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ 36

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ	36
ΑΡΧΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ.....	40
ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ.....	45
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΜΕΓΑΛΕΣ ΓΩΝΙΕΣ ΚΛΙΣΕΩΣ	47

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι Ι Ι Ι Η ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ 60

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΘΑΦΑΙΡΕΣΕΩΣ ΒΑΡΩΝ ΕΠΙ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ	60
ΓΕΝΙΚΑ.....	60
ΠΡΟΣΘΕΣΗ ΒΑΡΟΥΣ.....	61
ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΒΑΡΟΥΣ	65
ΠΡΟΣΑΡΑΞΗ ΚΑΙ ΔΕΞΑΜΕΝΙΣΜΟΣ.....	67
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΛΑΒΩΝ ΕΠΙ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ	70
ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΥΓΡΩΝ	70

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΚΑΤΟΠΙΝ ΒΛΑΒΗΣ..... 75

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο V ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ 89

ΓΕΝΙΚΑ..... 89

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΡΟΠΗ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΚΑΙΣΕΩΣ..... 90

ΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΥΣΕΩΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ..... 92

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ 94

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι Προγραμματισμός για την κατασκευή πλοίου

Γενικά

Το σύγχρονο πολεμικό πλοίο είναι μια πολύπλοκη κατασκευή για την πραγματοποίηση της οποίας απαιτείται η καταβολή μεγίστων προσπαθειών - ατομικών και συλλογικών - η χρησιμοποίηση ειδικών γνώσεων, οι οποίες να καλύπτουν πολλούς τομείς της Μηχανικής και η δαπάνη σημαντικότερων χρηματικών ποσών.

Το πλοίο με την ολοκλήρωση της κατασκευής του, παραδίδεται στους χειριστές του, οι οποίοι είναι πλέον υπεύθυνοι για την αξιοποίηση του κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Η ευθύνη των χειριστών είναι τεράστια, διότι από την ορθολογιστική χρησιμοποίηση του πλοίου εξαρτάται αν αυτό θα ανταποκριθεί στις απαιτήσεις για τις οποίες σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε, ώστε να εκπληρώσει τον σκοπό της ύπαρξής του.

Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητο ο χειριστής να έχει βαθιά και σαφή αντίληψη των δυνατοτήτων τις οποίες παρέχει αλλά και των περιορισμών στους οποίους υποβάλλεται το πλοίο, ώστε οι απαιτήσεις του από το πλοίο να βρίσκονται πάντα εντός λογικών ορίων.

Για την απόκτηση εκείνων των γνώσεων οι οποίες θα διαμορφώσουν την αντίληψη του χειριστή για το πλοίο, είναι σκόπιμο αρχικά να αναπτυχθούν σύντομα τα διαδοχικά στάδια τα οποία μεσολαβούν από την σύλληψη της ιδέας αποκτήσεως του πλοίου, μέχρι την πραγματοποίηση της κατασκευής. Τα διαδοχικά αυτά στάδια είναι τα εξής:

- α. Προμελέτη του πλοίου
- β. Προκαταρκτική μελέτη
- γ. Λεπτομερής μελέτη
- δ. Κατασκευή

Προμελέτη του πλοίου

Το πολεμικό πλοίο είναι βασικά ένα μέσο για την μεταφορά και χρησιμοποίηση ενός συνόλου οπλισμού.

Επομένως η αρχική ιδέα για την κατασκευή ενός πολεμικού πλοίου πρέπει να αναζητηθεί στην ανάγκη αποκτήσεως μέσου για την αποτελεσματικότερη μεταφορά και χρησιμοποίηση οπλισμού, όπως αυτή διαμορφώνεται βάσει στρατηγικών, επιχειρησιακών και τεχνολογικών προϋποθέσεων και δεδομένων.

Το Επιτελείο διατυπώνει αρχικά σε γενικές γραμμές, τις βασικές απαιτήσεις τις οποίες πρέπει να καλύπτει η νέα κατασκευή και στη συνέχεια αναθέτει σε ομάδα ειδικών την εκπόνηση προμελέτης για τον προσδιορισμό των γενικών χαρακτηριστικών τα οποία πρέπει να έχει το πλοίο ώστε αυτό να ανταποκρίνεται κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο στις δοθείσες απαιτήσεις.

Η ομάδα στην οποία ανατίθεται η ανωτέρω εργασία, αποτελούμενη από όλες εκείνες τις ειδικότητες οι οποίες έχουν σχέση με την κατασκευή και τον εξοπλισμό του πλοίου, προετοιμάζει διάφορες εναλλακτικές λύσεις, προσπαθώντας να συμβιβάσει τις τυχόν αλληλοσυγκρουόμενες απαιτήσεις του Επιτελείου ή τουλάχιστον να προσδιορίσει τις συνέπειες τις οποίες έχει η υιοθέτηση μίας ή ομάδας απαιτήσεων για την εξασφάλιση των υπολοίπων, ώστε τελικώς να μπορέσει να καταλήξει στον καθορισμό των γενικών χαρακτηριστικών του πλοίου π.χ. αν η δοθείσα κατεύθυνση του Επιτελείου ήταν η κατασκευή ενός πλοίου το οποίο να φέρει δεδομένο σύνολο οπλισμού με δεδομένη ταχύτητα σε δεδομένο εκτόπισμα, η ομάδα των ειδικών προσπαθεί αρχικά να διαπιστώσει αν όλες οι απαιτήσεις μπορούν να ικανοποιηθούν. Σε θετική περίπτωση προσδιορίζει τα γενικά χαρακτηριστικά της νέας κατασκευής. Εάν όμως δεν μπορούν να καλυφθούν όλες οι απαιτήσεις στο σύνολό τους, η ομάδα μελετά διάφορες εναλλακτικές λύσεις όπως π.χ. εκτίμηση του εκτοπίσματος αν διατηρηθούν οι απαιτήσεις οπλισμού και ταχύτητας ή εκτίμηση της ταχύτητας αν διατηρηθούν οι απαιτήσεις περί οπλισμού και εκτοπίσματος.

Η ομάδα στη συνέχεια προχωρεί στον κατά εκτίμηση προσδιορισμό των γενικών χαρακτηριστικών και του κόστους της νέας κατασκευής η οποία αντιστοιχεί σε κάθε μία από τις προτεινόμενες λύσεις.

Ως γενικά χαρακτηριστικά του πλοίου μπορούν να θεωρηθούν τα ακόλουθα:

- α. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σκάφους: Βασικές διαστάσεις, σχήμα κατά προσέγγιση
- β. Οπλισμός (γενικά)
- γ. Ταχύτητα
- δ. Ισχύς και τύπος προωστήριου εγκαταστάσεως
- ε. Ακτίνα ενέργειας

- στ. Προστασία
- ζ. Ηλεκτρονικός εξοπλισμός
- η. Στελέχωση και ενδίαίτηση

Τελικά η ομάδα υποβάλλει τα ανωτέρω συμπεράσματά της στο Επιτελείο, το οποίο έχοντας πλέον στην διάθεση του συγκεκριμένα στοιχεία σχετικά με την δυνατότητα και τον τόπο πραγματοποιήσεως των αρχικών του απαιτήσεων, αποφασίζει την βέλτιστη λύση προκειμένου να εξυπηρετήσει όσο το δυνατόν καλύτερα τις προθέσεις του.

Στο στάδιο αυτό η απόφαση του Επιτελείου είναι συνισταμένη ποικίλων παραγόντων όπως είναι η γενική πολιτική του, η εκτίμηση των υφισταμένων στρατηγικών και επιχειρησιακών δεδομένων, οι διαθέσιμες πιστώσεις καθώς και άλλοι παράγοντες.

Προκαταρκτική μελέτη κατασκευής

Μετά την επιλογή από το Επιτελείο της θεωρούμενης ως βέλτιστης λύσης για την απόκτηση του νέου πολεμικού πλοίου, αναλαμβάνεται από τους αρμοδίους φορείς η προκαταρκτική μελέτη για την κατασκευή του πλοίου βάσει των δοθέντων γενικών χαρακτηριστικών του. Η προκαταρκτική μελέτη περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- α. Μελέτη και κατάστρωση των ναυπηγικών γραμμών του σκάφους.
- β. Εκπόνηση σχεδίου γενικής διάταξης στα οποία φαίνονται οι υποδιαίρέσεις του πλοίου, η εγκατάσταση των οπλικών συστημάτων, οι πυριταποθήκες, οι χώροι του ηλεκτρονικού εξοπλισμού και της προωστηρίου εγκαταστάσεως, οι χώροι ενδίαίτησεως, οι αποθήκες, οι δεξαμενές κ.τ.λ.
- γ. Εκπόνηση κατασκευαστικών σχεδίων στα οποία φαίνονται οι λεπτομέρειες της μέσης τομής καθώς και άλλων τυπικών εγκάρσιων τομών, το ανάπτυγμα των ελασμάτων του εξωτερικού περιβλήματος και τα καταστρώματα του πλοίου. Στα σχέδια αυτά αναγράφονται και οι διαστάσεις των διαφόρων ανθεκτικών μελών του πλοίου.
- δ. Μελέτη της διαμήκους αντοχής του πλοίου και υπολογισμός των καμπτικών ροπών και τάσεων για όλες τις οριακές συνθήκες λειτουργίας του πλοίου.
- ε. Υπολογισμός της ευστάθειας του πλοίου για όλες τις καταστάσεις φόρτου.

στ. Υπολογισμός κατακλυσίμων μηκών ώστε να καθορισθεί το μέγιστο μήκος του πλοίου για το οποίο θα μπορεί να συμβεί κατάκλυση χωρίς βύθιση του καταστρώματος στο οποίο τερματίζονται οι κύριες εγκάρσιες στεγανές φρακτές.

ζ. Εκτίμηση των ομάδων βαρών, οι οποίες αποτελούνται από διάφορα ομοειδή αντικείμενα, τα οποία πρόκειται, κατά οποιονδήποτε τρόπο να αποτελέσουν το πλοίο. Συνήθως τα διάφορα μέρη του πλοίου κατατάσσονται στις παρακάτω ομάδες:

Σκάφος
Οπλισμός
Πρόωση
Προστασία
Εφόδια

Τελικά στην προκαταρκτική μελέτη περιλαμβάνεται και ένα πλήρες ιστορικό των δεδομένων και των παραδοχών πάνω στις οποίες βασίσθηκε η προκαταρκτική μελέτη. Η γνώση του ιστορικού αυτού είναι απαραίτητη κατά την σύνταξη της λεπτομερούς μελέτης του πλοίου.

Κατά την διάρκεια της προκαταρκτικής μελέτης εκτελείται και ο πειραματικός προσδιορισμός της απαιτούμενης ισχύος για την ανάπτυξη από το πλοίο της δεδομένης ταχύτητας. Αυτό πραγματοποιείται σε δεξαμενές προτύπων όπου πραγματοποιείται ρυμούλκηση ενός προτύπου, το οποίο κατασκευάζεται «γεωμετρικώς όμοιο» προς το πραγματικό σκάφος, βάσει των αρχικώς εκπονηθείσων ναυπηγικών γραμμών. Σε αυτό το στάδιο είναι δυνατόν να εκτελεσθούν και δοκιμές του προτύπου για την διαπίστωση της ευελιξίας του πλοίου.

Τελικώς, βάσει των αποτελεσμάτων των δοκιμών, εκπονείται το τελικό σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών, το οποίο και θα αποτελέσει το κυριότερο στοιχείο για την κατασκευή του πλοίου.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί η σπουδαιότητα ενός παράγοντα ο οποίος επηρεάζει τον υπολογισμό του πλοίου από την αρχή της σχεδίασης του. Ο παράγοντας αυτός είναι η θέση του κέντρου βάρους του πλοίου. Όπως θα εξηγηθεί λεπτομερώς στα επόμενα κεφάλαια, η θέση του κέντρου βάρους επηρεάζει γενικά την συμπεριφορά του πλοίου από πλευράς ευστάθειας, μπορούμε όμως να διατυπώσουμε πως όσο χαμηλότερο είναι το κέντρο βάρους του πλοίου τόσο καλύτερη είναι η ευστάθειά του.

Εν τούτοις στα σύγχρονα πολεμικά πλοία υπάρχει μια συνεχής τάση ανυψώσεως του κέντρου βάρους λόγω του μικρότερου βάρους των αντικειμένων τα οποία τοποθετούνται χαμηλότερα στο πλοίο και της συνεχούς προσθέσεως βαρών στα υψηλότερα τμήματα του πλοίου εξ' αιτίας των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων στον ηλεκτρονικό και λοιπό εξοπλισμό του πλοίου. Το μικρότερο βάρος των αντικειμένων, τα οποία τοποθετούνται χαμηλότερα στο πλοίο, οφείλεται κυρίως στους εξελιγμένους σημερινούς τύπους προωστηρίων εγκαταστάσεων, όπου η χρησιμοποίηση υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων και μεγάλων ταχυτήτων περιστροφής, επιφέρει ελάττωση του βάρους τους.

Επίσης η λεπτομερής μελέτη του πλοίου, η γενική παραδοχή της συγκολλήσεως ως του καταλληλότερου τρόπου συνδέσεως του σκάφους, η χρησιμοποίηση χαλύβων υψηλής αντοχής, ακόμα και η απουσία θωρακίσεως από τα σύγχρονα πολεμικά πλοία, επιφέρουν ελάττωση και του βάρους του σκάφους με αποτέλεσμα την περαιτέρω ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου.

Η τάση ανύψωσης του κέντρου βάρους των σύγχρονων πολεμικών πλοίων δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στους μελετητές των πλοίων και επηρεάζει άμεσα την εκλογή των διαστάσεων και του σχήματος του πλοίου.

Λεπτομερής μελέτη κατασκευής

Βάσει των δεδομένων της προκαταρκτικής μελέτης, γίνεται η εκπόνηση της λεπτομερούς μελέτης, η οποία μετά το πέρας της αποστέλλεται στον Ναύσταθμο όπου θα εκτελεστεί η κατασκευή του πλοίου ή επισυνάπτεται στο συμβόλαιο κατασκευής, αν η κατασκευή του πλοίου πρόκειται να ανατεθεί σε Ιδιωτικά Ναυπηγεία.

Η λεπτομερής μελέτη του πλοίου αναλαμβάνεται από ομάδα ειδικών οι οποίοι προέρχονται από όλους τους τεχνικούς τομείς που έχουν σχέση ή επηρεάζουν την κατασκευή και την λειτουργία του πλοίου.

Η κάθε ομάδα αρχίζει τις εργασίες της βάσει των εγκριθέντων γενικών χαρακτηριστικών του πλοίου και των δεδομένων της προκαταρκτικής μελέτης, λαμβάνοντας υπ' όψιν και τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της αρμοδιότητάς της, ώστε να καταφέρει να δώσει την καλύτερη δυνατή λύση σε κάθε περίπτωση.

Οι εργασίες των ομάδων συντονίζονται από επιτροπή, ούτως ώστε να υπάρχει κοινή κατεύθυνση και έλεγχος της προόδου της μελέτης.

Η συντονιστική επιτροπή έχει πάντοτε υπ' όψιν της ότι ο αντικειμενικός σκοπός της αποκτήσεως του νέου πολεμικού πλοίου είναι η μεταφορά και χρησιμοποίηση οπλισμού και με βάση πάντα το κριτήριο αυτό καθορίζει τις ενέργειές της.

Κατά την εξέλιξη γίνεται και ο λεπτομερής καθορισμός της θέσεως και των βαρών των διαφόρων αντικειμένων, τα οποία πρόκειται να αποτελέσουν τις διάφορες ομάδες του πλοίου, έτσι ώστε με το πέρας της μελέτης να ελεγχθεί αν το εκτόπισμα και το κέντρο βάρους του πλοίου συμπίπτουν πράγματι με τα αντίστοιχα στοιχεία που υπολογίστηκαν στο στάδιο της προκαταρκτικής μελέτης του πλοίου.

Αν αυτό δεν συμβαίνει, απαιτείται αναθεώρηση της όλης μελέτης του πλοίου ή ακόμα και εγκατάλειψη της ίδιας της κατασκευής του πλοίου.

Προετοιμασία κατασκευής

Η κατασκευή του πλοίου αρχίζει με την χάραξη των γραμμών του, παραδοσιακά στο ιχνωτήριο του Ναυπηγείου (σάλα χαράξεως) ή σε σύγχρονες μονάδες με την χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό. Η χάραξη γίνεται σύμφωνα με το σχέδιο γραμμών σκάφους όπως αυτό έχει εκπονηθεί στο στάδιο της προκαταρκτικής μελέτης. Η κλίμακα του σχεδίου των γραμμών σκάφους στο ιχνωτήριο είναι συνήθως $\frac{1}{4}$ in έως $\frac{1}{16}$ in=1ft (αγγλοσαξονικό σύστημα) ή 1:25 έως 1:50 (μετρικό σύστημα). Κατά συνέπεια, κατά την χάραξη των γραμμών στο ιχνωτήριο, οποιοδήποτε λάθος που υπάρχει στο αρχικό σχέδιο να μεγεθύνεται τουλάχιστον 50 φορές. Επομένως είναι απαραίτητο, μετά την χάραξη των γραμμών να γίνει λεπτομερής έλεγχος όλων των υφιστάμενων λαθών, ώστε οι τελικές γραμμές του πλοίου να αποτελέσουν ένα αρμονικό σύνολο. Με την χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών ο περιορισμός των λαθών είναι σημαντικός σε σύγκριση με την παραδοσιακή μέθοδο.

Το ιχνωτήριο είναι μια μεγάλη στεγασμένη αίθουσα, η οποία βρίσκεται συνήθως πάνω το μεγαλύτερο συνεργείο του Ναυπηγείου (για λόγους καθαρά διαστάσεων διότι η χάραξη των γραμμών γίνεται σε κλίμακα 1:1). Το δάπεδο της αίθουσας αποτελεί μια λεία, οριζόντια επιφάνεια, χωρίς εμπόδια η οποία είναι επενδυμένη με κατάλληλο υλικό (π.χ. ξυλεία) πάνω στην οποία χαράσσονται οι γραμμές υπό φυσική κλίμακα.

Οι γραμμές του σκάφους μετά από τις τελικές διορθώσεις τους, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή προτύπων, βάσει των οποίων γίνεται η

διαμόρφωση των νομέων του πλοίου. Επίσης από τις γραμμές λαμβάνονται και όλες οι απαιτούμενες διαστάσεις για τις ποικίλες λεπτομερειακές κατασκευές του πλοίου. Μετά την χάραξη των γραμμών, μπορεί να αρχίσει η κατασκευή του πλοίου στην ναυπηγική κλίνη.

Αν όμως η θαλάσσια περιοχή μπροστά από την ναυπηγική κλίνη είναι περιορισμένη, ώστε να μην επιτρέπεται άνετη διαμήκης καθέλκυση, το πλοίο μπορεί να καθελκυστεί με πλευρική ολίσθηση στην θάλασσα.

Η ναυπήγηση του πλοίου μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί και σε μόνιμη δεξαμενή, αν βέβαια γίνει αποδεκτή η δέσμευση της μόνιμου δεξαμενής για τόσο μακρό χρονικό διάστημα.

Το επίπεδο της ναυπηγικής κλίνης έχει μικρή κλίση ως προς το οριζόντιο με αποτέλεσμα το προς τη θάλασσα άκρο της κλίνης να βρίσκεται υπό την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ το άλλο άκρο να βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

Η περιοχή της ναυπηγικής κλίνης είναι συνήθως ακάλυπτη και εξυπηρετείται από γερανούς, οι οποίοι κατά κανόνα καλύπτουν οποιοδήποτε τμήμα της κλίνης επί του οποίου ναυπηγείται το πλοίο.

Η ανυψωτική ικανότητα των γερανών είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας για τον προγραμματισμό της κατασκευής του πλοίου, διότι προσδιορίζει το μέγιστο βάρος των τμημάτων του πλοίου, τα οποία μπορούν να κατασκευασθούν στα συνεργεία του Ναυπηγείου και στη συνέχεια να μεταφερθούν στη ναυπηγική κλίνη, ώστε να αποτελέσουν μέρος του πλοίου.

Στην περιοχή του κεντρικού τμήματος της ναυπηγικής κλίνης, τοποθετείται σειρά υποβάθρων, πάνω στα οποία πρόκειται να κατασκευαστεί το πλοίο ενώ εκατέρωθεν των κεντρικών υποβάθρων τοποθετούνται τα πλευρικά υπόβαθρα, πάνω στα οποία θα ολισθήσει το πλοίο κατά την καθέλκυση του.

Κατασκευή του πλοίου

Η ναυπήγηση του πλοίου είναι μια πολύπλοκη εργασία, και είναι απαραίτητο να τεθεί από την αρχή σαφής προγραμματισμός των σταδιακών φάσεων κατασκευής, ώστε να αποφευχθεί σύγχυση και τυχόν καθυστέρηση.

Κατά την διάρκεια της ναυπηγήσεως, απαιτείται η εκπόνηση μεγάλου πλήθους λεπτομερειακών σχεδίων και η παραγγελία πληθώρας υλικών και μηχανημάτων. Παράλληλα απαιτείται η κατασκευή ποικίλων εξαρτημάτων σε διάφορα εργοστάσια εκτός Ναυπηγείου, τα οποία πρέπει να ελεγχθούν και να

φτάσουν εγκαίρως στο Ναυπηγείο για να τοποθετηθούν στο πλοίο κατά το αντίστοιχο στάδιο ναυπήγησης. Έτσι, στον προγραμματισμό της κατασκευής, πρέπει να συμπεριληφθούν όλοι εκείνοι οι παράγοντες που πρόκειται να επηρεάσουν κατά οποιονδήποτε τρόπο την πρόοδο της ναυπηγήσεως.

Βάσει λοιπόν του καταρτισθέντος προγράμματος, αρχίζει στα συνεργεία του Ναυπηγείου η προκατασκευή των διαφόρων τμημάτων του πλοίου. Για τον προσδιορισμό του σχήματος και των διαστάσεων των διαφόρων τεμαχίων, τα οποία θα αποτελέσουν το προκατασκευασμένο τμήμα, χρησιμοποιούνται πρότυπα που λαμβάνονται από τις γραμμές του σκάφους στην σάλα χαράξεως. Τα πρότυπα, στα οποία σημειώνονται όλες οι απαιτούμενες πληροφορίες για την κατασκευή και τοποθέτηση των αντίστοιχων τεμαχίων, στέλνονται στο ελασματοουργείο του Ναυπηγείου, όπου και γίνεται η κατασκευή των χαλύβδινων τεμαχίων. Στην συνέχεια, τα διάφορα χαλύβδινα τεμάχια μεταφέρονται σε άλλο συνεργείο του πλοίου, όπου γίνεται η κατασκευή των τμημάτων του πλοίου. Η μέθοδος ναυπηγήσεως του πλοίου με τμηματική προκατασκευή, έχει σαφή πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την παλαιότερη μέθοδο - στην οποία η ναυπήγηση του πλοίου συντελείται εξ' ολοκλήρου στην ναυπηγική κλίνη - διότι οι συνθήκες, ο έλεγχος και η ταχύτητα εργασίας είναι περισσότερο ευνοϊκές στο εργοστάσιο παρά στην ναυπηγική κλίνη.

Αρχικά προκατασκευάζεται κεντρικό τμήμα της περιοχής της τρόπιδας του πλοίου, το οποίο στη συνέχεια τοποθετείται και ευθυγραμμίζεται στη ναυπηγική κλίνη. Στη συνέχεια ακολουθεί η προπαρασκευή, τοποθέτηση και η σύνδεση των υπολοίπων τμημάτων και έτσι, σταδιακά, η κατασκευή στη ναυπηγικής κλίνης λαμβάνει σχήμα πλοίου.

Όταν πλέον η ναυπήγηση στην κλίνη έχει προχωρήσει σε τέτοιο σημείο, ώστε η κατασκευή να αποτελεί ένα ενιαίο σύνολο, από πλευράς σκάφους, γίνεται η καθέλκυση του πλοίου.

Καθέλκυση

Η μετακίνηση του πλοίου, το οποίο κατά την καθέλκυση μπορεί να έχει βάρος χιλιάδων τόνων, από την ναυπηγική κλίνη στην θάλασσα, είναι ένα σημαντικό επίτευγμα της Μηχανικής και γι' αυτό η μελέτη και η εκτέλεση της καθέλκυσης απασχολεί το αρμόδιο προσωπικό του Ναυπηγείου από την έναρξη της ναυπήγησης μέχρι την στιγμή της καθελκύσεως.

Η συνιστώσα του βάρους του πλοίου λόγω της κλίσεως της κλίνης ως προς το οριζόντιο επίπεδο, είναι επαρκής για να προκαλέσει την ολίσθηση του πλοίου επί των πλευρικών υποβάθρων της κλίνης, εφ' όσον με κατάλληλη λίπανση ελαττωθεί ο συντελεστής τριβής των ολισθαινόντων τμημάτων.

Κατά τη διάρκεια της ναυπηγήσεως το βάρος του πλοίου παραλαμβάνεται από τα κεντρικά υπόβαθρα της κλίνης. Ταυτόχρονα με την ναυπήγηση του σκάφους, κατασκευάζεται εκατέρωθεν και παράλληλα με τα κεντρικά υπόβαθρα σειρά πλευρικών υποβάθρων. Επίσης κατασκευάζεται και το λίκνο της καθελκύσεως, το οποίο στο ανώτερο μέρος του ακολουθεί το σχήμα του πλοίου, ενώ στο κατώτερο μέρος του στερεώνεται σειρά υποβάθρων, τα οποία βρίσκονται ακριβώς πάνω από τα πλευρικά υπόβαθρα. Μεταξύ των πλευρικών υποβάθρων της κλίνης και των υποβάθρων του λίκνου καθελκύσεως, παρεμβάλλεται λιπαντικό, ενώ τοποθετώντας χαλύβδινες ράβδους μεταξύ των δύο σειρών υποβάθρων εμποδίζεται η επαφή μεταξύ τους καθ' όλη την διάρκεια της ναυπηγήσεως. Λίγες ημέρες πριν την καθέλκυση, οι χαλύβδινες ράβδοι αφαιρούνται και το βάρος του πλοίου μεταφέρεται από τα κεντρικά υπόβαθρα στα πλευρικά υπόβαθρα μέσω του λίκνου καθελκύσεως. Το πλοίο είναι πλέον έτοιμο για καθέλκυση και συγκρατείται μόνο με την βοήθεια εμποδιστικού μηχανισμού, ο οποίος και αφαιρείται κατά την στιγμή της καθελκύσεως, οπότε το πλοίο, υπό την επίδραση της συνιστώσας του βάρους του, κατά τον άξονα της κλίνης, αρχίζει και ολισθαίνει επί των πλευρικών υποβάθρων προς την θάλασσα. Η κίνηση του πλοίου είναι διαρκώς επιταχυνόμενη και ως εκ τούτου για τον έλεγχο της ταχύτητας προβλέπεται η εμπλοκή διαφόρων βαρών (όπως π.χ. αλυσίδες) τα οποία προκαλούν πέδηση στο κινούμενο σύστημα του πλοίου μετά του λίκνου του, η οποία και ολοκληρώνεται όταν το πλοίο εισέλθει στην θάλασσα λόγω της αντιστάσεως του νερού. Στη συνέχεια το πλοίο ρυμουλκείται στον προβλήτα όπου θα συνεχισθεί και θα συμπληρωθεί η ναυπήγησή του.

Συμπλήρωση κατασκευής-Δοκιμές

Συνήθως η καθέλκυση των πλοίων γίνεται όταν η κατασκευή έχει προχωρήσει κατά 60-70%, ενώ το υπόλοιπο 30-40% της κατασκευής συμπληρώνεται μετά την καθέλκυση. Στο τελευταίο στάδιο ναυπηγήσεως, το πλοίο μεταμορφώνεται σταδιακά σε μια αυτοδύναμη ομάδα, έτοιμο προς ανάληψη υπηρεσίας. Στο τέλος της ολοκλήρωσεως της κατασκευής, αρχίζει και η στελέχωση του πλοίου με μέλη από το κανονικό πλήρωμα του, το οποίο αρχίζει να ενημερώνεται και να εκπαιδεύεται στις

λεπτομέρειες των διαφόρων συστημάτων του πλοίου. Τελικά, με την πρόοδο της ολοκληρώσεως ναυπηγήσεως, αρχίζουν και οι διάφορες δοκιμές των συστημάτων του πλοίου, ώστε να διαπιστωθεί ότι η λειτουργία και η απόδοση αυτών είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές κατασκευής. Οι δοκιμές συμπληρώνονται και με εκτεταμένες εν όρμω και εν πλω δοκιμές, όπου καταβάλλεται κάθε προσπάθεια, ώστε να αναπαρασταθούν κατά το δυνατόν οι πλέον κρίσιμες συνθήκες της κανονικής λειτουργίας του πλοίου. Τυχόν παρουσιαζόμενες ανωμαλίες ή βλάβες κατά τη διάρκεια των δοκιμών αποκαθίστανται από το Ναυπηγείο και στη συνέχεια επαναλαμβάνονται οι δοκιμές, μέχρι να διαπιστωθεί ότι το όλο συγκρότημα λειτουργεί και αποδίδει ικανοποιητικά.

Με το πέρας των δοκιμών, το πλοίο παραδίδεται επίσημα στο κανονικό του πλήρωμα, το οποίο πλέον είναι υπεύθυνο για την περαιτέρω χρησιμοποίηση του πλοίου.

Ανακεφαλαίωση

Ο αντικειμενικός σκοπός όλων των προσπαθειών οι οποίες καταβάλλονται για την μελέτη και κατασκευή ενός σύγχρονου πολεμικού πλοίου, είναι η απόκτηση μιας μονάδας «υψηλής ποιότητας».

Το μέγεθος και η έκταση του προβλήματος, γίνονται αμέσως αντιληπτά από απλή ανάγνωση των απαιτήσεων για την επίτευξη της «υψηλής ποιότητας», οι οποίες και έχουν ως εξής:

- α. Μέγιστη ευκαμψία λειτουργίας του πλοίου στο σύνολο του.
- β. Ικανοποιητική απόδοση σε όλες τις κλιματολογικές συνθήκες υπό τις οποίες προβλέπεται ότι θα επιχειρεί το πλοίο.
- γ. Ικανοποιητική απόδοση του σκάφους, των μηχανημάτων και του εξοπλισμού όταν το πλοίο διατοιχίζεται και προνεύει.
- δ. Ικανοποιητική λειτουργία υπό συνθήκες οι οποίες δημιουργούν κραδασμούς και δυναμικές φορτίσεις.
- ε. Αθόρυβη κατά το δυνατόν λειτουργία των διαφόρων συστημάτων.
- στ. Μέγιστη αντοχή στις βλάβες μάχης.
- ζ. Ικανοποιητικοί τομείς χρήσης του οπλισμού.
- η. Ελάχιστος όγκος του μηχανολογικού συγκροτήματος.

- θ. Ελάχιστο βάρος του σκάφους και του μηχανολογικού συγκροτήματος.
 - ι. Οικονομική λειτουργία και συντήρηση.
 - ια. Μέγιστη αντίσταση στις διαβρώσεις προκαλούμενες από το θαλάσσιο περιβάλλον.
 - ιβ. Μέγιστη εναλλαξιμότητα μεταξύ των συνιστωσών των διαφόρων μηχανημάτων και συσκευών εντός του πλοίου, όπως επίσης και μεταξύ άλλων πλοίων.
 - ιγ. Μέγιστη εναλλαξιμότητα των διαφόρων μερών, τα οποία απαρτίζουν κάθε συνιστώσα.
 - ιδ. Ελάχιστος αριθμός αντικειμένων τα οποία υπόκεινται σε φθορά.
 - ιε. Μέγιστη προσιτότητα για επιθεωρήσεις, συντήρηση και επισκευές.
 - ιστ. Εξασφάλιση αναλήψεως επισκευών από το προσωπικό του πλοίου χρησιμοποιώντας μόνο τα μέσα τα οποία παρέχονται στο πλοίο (αυτοεπισκευασιμότητα).
 - ιζ. Εξασφάλιση της καλύτερης δυνατής ενδιαίτησης για το προσωπικό του πλοίου.
 - ιη. Ικανοποιητική οργάνωση αναγνώρισης του εξοπλισμού και των μηχανισμών του πλοίου, ώστε να καθίσταται δυνατή η ταχεία αναγνώριση και προμήθεια των απαιτούμενων αμοιβών.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Π ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ

Γενικά

Το εξωτερικό σχήμα ενός πλοίου είναι μια πολύπλοκη καμπύλη επιφάνεια η οποία προσδιορίζεται ούτως ώστε να εξυπηρετείται κατά τον καλύτερο δυνατόν τρόπο ο σκοπός για τον οποίο κατασκευάζεται το πλοίο.

Λόγω της ποικιλίας των απαιτήσεων, οι οποίες καλούνται να εξυπηρετήσουν τα πλοία, οι παραλλαγές του σχήματός τους είναι άπειρες.

Προς διευκόλυνση όμως του προσδιορισμού ορισμένων βασικών γεωμετρικών στοιχείων έχει καθιερωθεί στην ναυπηγική μια ορολογία, η οποία έχει εφαρμογή ανεξαρτήτως του μεγέθους ή του τύπου του πλοίου.

Ορισμοί

Παρακάτω δίνονται οι ορισμοί των βασικών γεωμετρικών στοιχείων του πλοίου.

Βασικό επίπεδο κατασκευής: Είναι το οριζόντιο επίπεδο το οποίο συμπίπτει συνήθως με το άνω μέρος της επίπεδης τρόπιδας.

Βασική γραμμή κατασκευής: Είναι η τομή του βασικού επιπέδου κατασκευής με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας ή με το επίπεδο της μέσης τομής.

Ίσαλος: Είναι η τομή του επιπέδου της επιφάνειας της θάλασσας με το επιπλέον πλοίο.

Ίσαλος κατασκευής: Είναι η ίσαλος στην οποία εκτιμάται υπολογιστικά ότι θα επιπλέει το πλοίο υπό πλήρες φορτίο.

Παρίσαλοι: Είναι οι τομές της επιφάνειας του πλοίου με επίπεδα παράλληλα προς το επίπεδο της ισάλου κατασκευής.

Πρωραία κάθετος: Είναι η κατακόρυφος η οποία φέρεται από το σημείο τομής της ισάλου κατασκευής με την γραμμή της πρόρης (ΠΡ).

Πρυμναία κάθετος: Είναι η κατακόρυφος η οποία φέρεται από το σημείο της τομής της ισάλου κατασκευής μετά της γραμμής της πρύμνης (ΠΜ) ή της ευθείας του άξονα του πηδαλίου.

Διάμηκες επίπεδο συμμετρίας: Είναι το επίπεδο το οποίο διέρχεται από την ΠΡ και την ΠΜ κάθετο.

Ολικό μήκος: Είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ του ακραίου προραίου σημείου του πλοίου και του ακραίου πρυμναίου σημείου.

Μήκος μεταξύ καθέτων: Είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ της προραίας και της πρυμναίας καθέτου.

Μέγιστο πλάτος: Είναι η μέγιστη απόσταση μεταξύ των εξωτερικών επιφανειών των πλευρών του πλοίου, μετρούμενη καθέτως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου.

Πλάτος κατασκευής: Είναι η μέγιστη απόσταση μεταξύ των εξωτερικών όψεων των νομέων, μετρούμενη καθέτως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι αν στο πλάτος κατασκευής προστεθεί το πάχος του ελάσματος των πλευρών του πλοίου, προκύπτει το μέγιστο πλάτος του πλοίου.

Μέση τομή: Είναι η τομή της επιφάνειας του πλοίου με ένα επίπεδο κάθετο προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας αγόμενο στο μισό του μήκους μεταξύ καθέτων.

Κοίλο ή ύψος κατασκευής: Είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ του βασικού επιπέδου κατασκευής και της κορυφής των εγκαρσίων νομέων (ζυγών) του ανώτατου συνεχούς υδατοστεγούς καταστρώματος του πλοίου, μετρούμενη στην πλευρά της μέσης τομής.

Βύθισμα: Είναι γενικά η κάθετη απόσταση μεταξύ της ισάλου του πλοίου και του κατώτατου σημείου της τρόπιδας.

Βύθισμα κατασκευής: Είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ της ισάλου κατασκευής και του βασικού επιπέδου κατασκευής.

Πρωραίο βύθισμα: Είναι η απόσταση μεταξύ της ισάλου του πλοίου και του κατώτατου σημείου της τρόπιδας μετρούμενη επί της προραίας καθέτου.

Πρυμναίο βύθισμα: Είναι η απόσταση μεταξύ της ισάλου του πλοίου και του κατώτατου σημείου της τρόπιδας μετρούμενη επί της πρυμναίας καθέτου.

Μέγιστο βύθισμα: Εφ' όσον στο πλοίο υπάρχουν προεξοχές κάτω από την τρόπιδα, όπως π.χ ο θόλος Α/Υ, έλικες, πηδάλια κτλ, ως μέγιστο βύθισμα θεωρείται η κάθετη απόσταση μεταξύ της επιφάνειας της θάλασσας και του κατώτατου σημείου της μεγαλύτερης προεξοχής.

Μέσο βύθισμα: Είναι το ημιάθροισμα το προραίου και πρυμναίου βυθίσματος.

Διαγωγή: Είναι η διαφορά μεταξύ πρυμναίου και προραίου βυθίσματος.

Όταν το πρυμναίο βύθισμα ενός πλοίου είναι μεγαλύτερο του προραίου, το πλοίο έχει πρυμναία διαγωγή και αντιστοίχως όταν το προραίο βύθισμα είναι μεγαλύτερο του πρυμναίου, το πλοίο έχει προραία διαγωγή.

Συνήθως τα πολεμικά πλοία κατασκευάζονται με μηδενική διαγωγή δηλαδή με ίσα το πωραίο και το πρυμναίο βύθισμα.

Εξαιρέση αποτελούν ορισμένοι τύποι πλοίων τα οποία λόγω του προορισμού τους κατασκευάζονται με διαγωγή, συνήθως πρυμναία όπως π.χ. τα αρματαγωγά. Κάθε όμως περίπτωση προσθέσεως, αφαιρέσεως ή και μετακινήσεως βάρους επί του πλοίου έχει σαν αποτέλεσμα την αυξομείωση των βυθισμάτων και επομένως την εμφάνιση διαγωγής ή την μεταβολή τυχόν υπάρχουσας διαγωγής. (Εξαιρέση αποτελεί η πρόσθεση ή αφαίρεση μικρού βάρους στο κέντρο πλευστότητας της ισάλου, οπότε αυξομειώνονται τα βυθίσματα του πλοίου χωρίς να εμφανιστεί διαγωγή ή να μεταβληθεί η διαγωγή του).

Ύψος εξάλων: Είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ της ισάλου και του ανώτατου συνεχούς υδατοστεγούς καταστρώματος, μετρούμενη στην πλευρά του πλοίου. Το ύψος εξάλων είναι η διαφορά μεταξύ του κοίλου ή ύψους κατασκευής και του βυθίσματος κατασκευής.

Σιμότητα καταστρώματος: Είναι η διαφορά του ύψους των εξάλων σε κάθε σημείο του μήκους του πλοίου από το ύψος των εξάλων στην μέση τομή.

Κυρτότητα καταστρώματος: Είναι η εγκάρσια καμπυλότητα η οποία προσδίδεται στα καταστρώματα του πλοίου προς αύξηση της αντοχής τους και διευκόλυνση της απαγωγής των υδάτων προς τις πλευρές.

Στα σχήματα 2-1 και 2-2 φαίνονται τα διάφορα γεωμετρικά στοιχεία του πλοίου:

Ναυπηγικές γραμμές

Η επίπεδη παράσταση του πολύπλοκου σχήματος του πλοίου επιτυγχάνεται με την προβολή του σχήματός του σε τρία επίπεδα κατά το οριζόντιο, το διάμηκες και το εγκάρσιο σύμφωνα με τις μεθόδους της παραστατικής γεωμετρίας.

Προκειμένου όμως να παρασταθεί πληρέστερο το σχήμα του πλοίου στα τρία προβολικά επίπεδα, θεωρείται ότι το πλοίο τέμνεται από τρία συστήματα επιπέδων, παράλληλα:

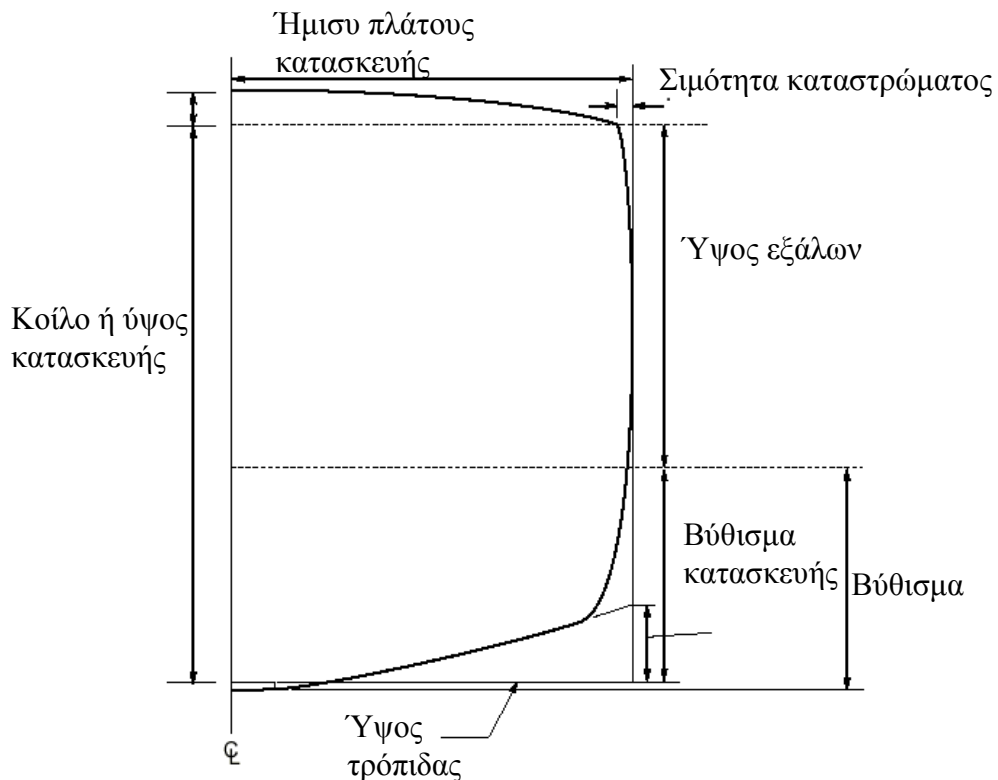
- α. Προς το οριζόντιο επίπεδο
- β. Προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας
- γ. Προς το εγκάρσιο επίπεδο (δηλαδή το επίπεδο της μέσης τομής)

Οι προβολές των τομών των επιπέδων αυτών μετά του σκάφους αποτελούν τις Ναυπηγικές Γραμμές του Πλοίου.

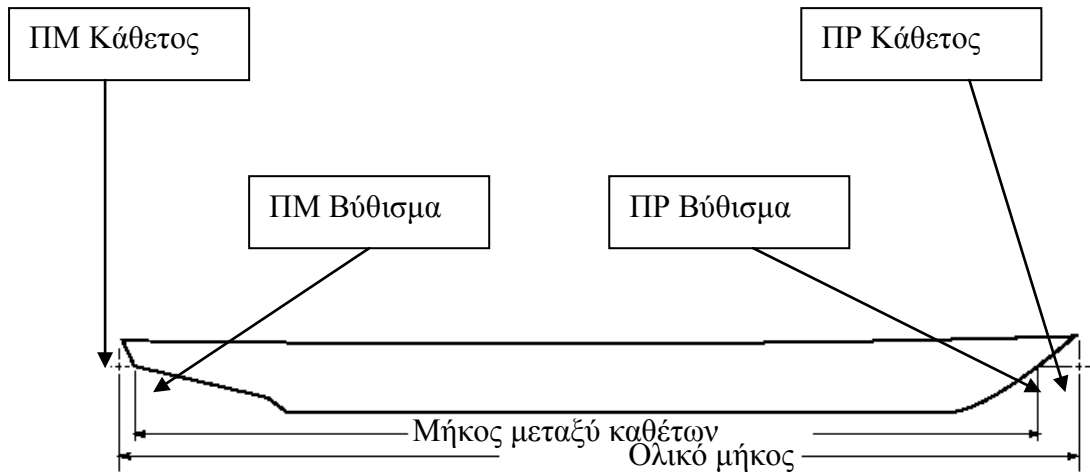
Τα παραπάνω επίπεδα ορίζονται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να απέχουν εξ' ίσου μεταξύ τους, διότι, με αυτόν τον τρόπο διευκολύνονται οι υπολογισμοί οι οποίοι γίνονται για την σχεδίαση των ναυπηγικών γραμμών.

Οι ναυπηγικές γραμμές αναφέρονται στις διαστάσεις κατασκευής στις οποίες δεν συμπεριλαμβάνεται το πάχος των ελασμάτων ή της ξυλείας του εξωτερικού περιβλήματος του σκάφους.

Με την σχεδίαση των ναυπηγικών γραμμών είναι δυνατόν να προσδιοριστούν επακριβώς, αφ' ενός μεν όλα τα γεωμετρικά στοιχεία του πλοίου, αφ' ετέρου δε, να ληφθούν όλες οι απαιτούμενες διαστάσεις για την κατασκευή του πλοίου, συνεπώς το σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών είναι ένα από τα πλέον βασικά σχέδια για τον υπολογισμό και την κατασκευή του πλοίου.



Σχήμα 2-1 Μέση τομή



Σχήμα 2-2 Διαμήκης τομή

Γενικές αρχές πλευστότητας - Ορισμοί

Αρχή του Αρχιμήδη - Άντωση

Σύμφωνα με την αρχή του Αρχιμήδη, κάθε σώμα το οποίο βρίσκεται μερικώς ή ολικώς εντός υγρού υφίσταται την ενέργεια μιας κατακόρυφης δύναμης, ίσης και αντίθετης προς το βάρος του υγρού το οποίο εκτοπίζεται από το σώμα.

Η κατακόρυφη δύναμη ονομάζεται άντωση.

Εκτόπισμα

Το βάρος του υγρού το οποίο εκτοπίζεται από ένα σώμα το οποίο βρίσκεται μερικώς ή ολικώς εντός του υγρού ονομάζεται εκτόπισμα του σώματος.

Σύμφωνα λοιπόν με την αρχή του Αρχιμήδη Άντωση = Εκτόπισμα. Εξ' άλλου, εφ' όσον το σώμα βρίσκεται σε ισορροπία στην επιφάνεια ή εντός του υγρού, οι δυνάμεις αυτές επιδρούν σε αυτό, δηλαδή το βάρος του σώματος και η άντωση, σύμφωνα με τις βασικές αρχές της μηχανικής είναι ίσες. Επομένως:

$$\underline{\text{Βάρος}} = \underline{\text{Άντωση}} = \underline{\text{Εκτόπισμα}}$$

Στην περίπτωση των πλοίων οι παραπάνω δυνάμεις μετρώνται σε τόνους. Το εκτόπισμα του πλοίου, όπως είπαμε προηγουμένως, είναι το βάρος του ύδατος το οποίο εκτοπίζεται από τα ύφαλα του πλοίου. Αλλά το βάρος του εκτοπιζόμενου ύδατος είναι ίσο με τον όγκο του επί το ειδικό βάρος του ύδατος.

Προκειμένου να υπολογιστεί το εκτόπισμα (δηλαδή το βάρος) ενός πλοίου για μια ορισμένη κατάσταση φόρτου, βρίσκεται ο όγκος των υφάλων μέχρι την ίσαλο στην οποία επιπλέει το πλοίο και στην συνέχεια πολλαπλασιάζεται επί το ειδικό βάρος του ύδατος. Το ειδικό βάρος του θαλάσσιου ύδατος λαμβάνεται ως 1,0275 τόννοι/m³ ή 1/35 τόννοι/ft³ και του ποσίμου ύδατος 1,000 τόννοι/m³ ή 1/36 τον./ft³.

Άφορτο εκτόπισμα

Είναι το εκτόπισμα το οποίο αντιστοιχεί σε πλοίο πλήρως έτοιμο για ανάληψη οποιασδήποτε αποστολής, συμπεριλαμβανομένου του μονίμου έρματος και των διαφόρων υγρών της πάσης φύσεως μηχανημάτων στην στάθμη λειτουργίας, αλλά χωρίς πλήρωμα, πλήρους φόρτου πυρομαχικών και πλήρους φόρτου των πάσης φύσεως κανονικών εφοδίων και καυσίμων.

Εκτόπισμα Standard

Από την συνθήκη της Washington το 1922 ως εκτόπισμα Standard καθορίστηκε το εκτόπισμα το οποίο αντιστοιχεί σε πλοίο το οποίο είναι πλήρως στελεχωμένο, με πλήρη την μηχανολογική εγκατάσταση, πλήρη εξοπλισμό για άμεσο απόπλου, συμπεριλαμβανομένων του οπλισμού και των πυρομαχικών και του συνόλου των λοιπών εφοδίων που πρέπει να υπάρχουν σε καιρό πολέμου αλλά εξαιρουμένων των φορτίων καυσίμων και τροφοδοτικού ύδατος.

Εφεδρική πλευστότητα ή εφεδρική άντωση

Εφεδρική πλευστότητα είναι ο όγκος του υδατοστεγούς τμήματος του πλοίου το οποίο βρίσκεται άνω της ισάλου. Στα πολεμικά πλοία η εφεδρική άντωση κυμαίνεται από 50 έως 100% του όγκου εκτοπίσματος με πλήρες φορτίο.

Κέντρο βάρους

Το κέντρο βάρους του πλοίου, το οποίο συμβολίζεται με το γράμμα **G**, είναι το σημείο του οποίου η θέση είναι τέτοια, ώστε το άθροισμα των ροπών όλων των βαρών του πλοίου αναφορικά με οποιονδήποτε άξονα ο οποίος διέρχεται από το σημείο αυτό, να είναι μηδέν.

Η ακριβής θέση του κέντρου βάρους ενός πλοίου είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιορισθεί υπολογιστικά. Για τον λόγο αυτό, προκειμένου να προσδιορισθεί

ακριβώς η θέση του κέντρου βάρους εκτελείται το πείραμα ευστάθειας (περιγράφεται λεπτομερώς στο κεφάλαιο III). Κατά τους υπολογισμούς ευστάθειας, υποτίθεται ότι το βάρος του πλοίου ενεργεί στο κέντρο βάρους του.

Κέντρο αντώσεως

Το κέντρο αντώσεως του πλοίου, το οποίο συμβολίζεται με το γράμμα **B**, είναι το γεωμετρικό κέντρο των υφάλων του πλοίου. Το κέντρο αντώσεως βρίσκεται εύκολα με απλούς γεωμετρικούς υπολογισμούς.

Εφ' όσον το πλοίο δεν έχει εγκάρσια κλίση, το κέντρο αντώσεως βρίσκεται επί του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας.

Κατά τους υπολογισμούς ευστάθειας υποτίθεται ότι η άντωση του πλοίου ενεργεί στο κέντρο αντώσεώς του.

Κέντρο πλευστότητας

Το κέντρο πλευστότητας, το οποίο σημειώνεται συνήθως με **CF**, είναι το γεωμετρικό κέντρο της επιφάνειας της ισάλου.

Το κέντρο πλευστότητας βρίσκεται εύκολα με απλούς γεωμετρικούς υπολογισμούς.

Οι διαμήκεις κλίσεις του πλοίου γίνονται περί άξονα ο οποίος διέρχεται από το κέντρο πλευστότητας και είναι κάθετος στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου.

Μετάκεντρο

Όταν το πλοίο επιπλέει χωρίς εγκάρσια κλίση, το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του είναι κατακόρυφο και το κέντρο αντώσεως βρίσκεται επί του επιπέδου αυτού.

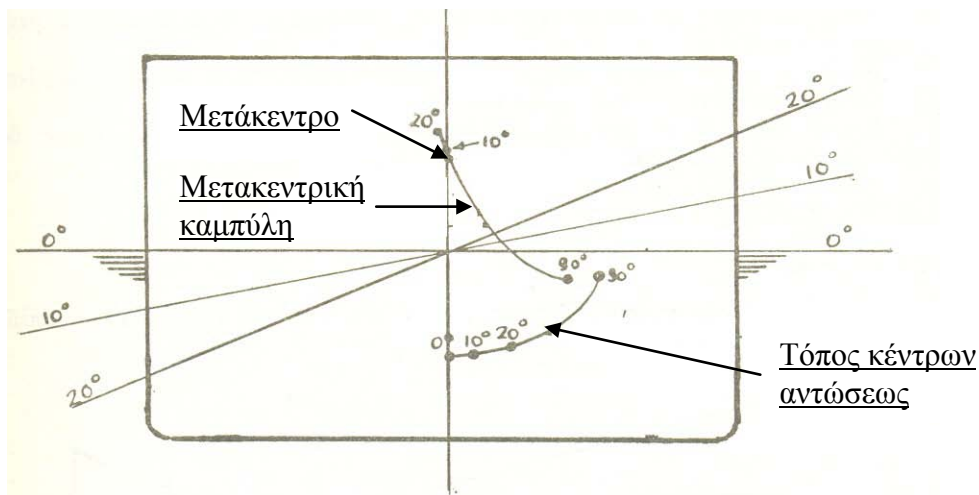
Αμέσως όμως όταν το πλοίο αποκτήσει εγκάρσια κλίση, το σχήμα των υφάλων του αλλάζει και συνεπώς το κέντρο αντώσεως απομακρύνεται από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας.

Η καμπύλη εκείνη η οποία διέρχεται από τα σημεία των κέντρων αντώσεως τα οποία αντιστοιχούν στις διαδοχικές εγκάρσιες κλίσεις του πλοίου, είναι ο γεωμετρικός τόπος των κέντρων αντώσεως.

Το σχήμα της καμπύλης του γεωμετρικού αυτού τόπου εξαρτάται από το σχήμα της γάστρας του πλοίου, για πλοία συνήθους μορφής το σχήμα αυτό είναι ελλειπτικό.

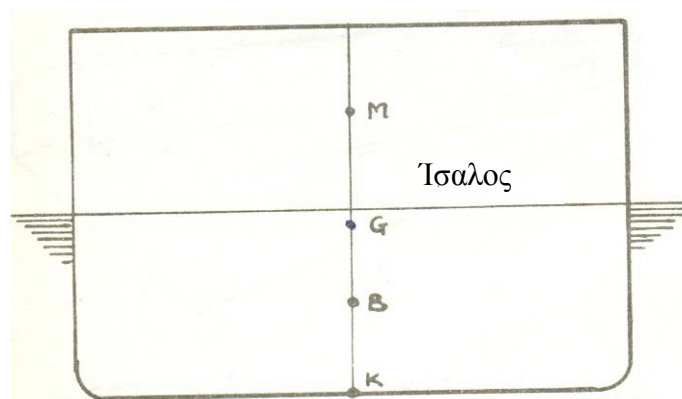
Το κέντρο καμπυλότητας κάθε απειροστού τμήματος της καμπύλης του γεωμετρικού τόπου των κέντρων αντώσεως καλείται προμετάκεντρο.

Ο γεωμετρικός τόπος των ανωτέρω κέντρων καμπυλότητας καλείται μετακεντρική καμπύλη.



Σχήμα 2-3 Μετάκεντρο

Η μετακεντρική καμπύλη είναι η εξελιγμένη της καμπύλης των κέντρων αντώσεως. Όταν η γωνία της εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου πλησιάζει στο μηδέν, η οριακή θέση του προμετακέντρου είναι ένα σταθερό σημείο το οποίο βρίσκεται επί του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας καλούμενο μετ ά κ εν τ ρ ο.



Σχήμα 2-4 Θέσεις κέντρων βάρους, αντώσεως, μετάκεντρο

Το μετάκεντρο σημειώνεται με το γράμμα **M**. Στους συνήθεις υπολογισμούς ευστάθειας, το μετάκεντρο μπορεί να ληφθεί ως σταθερό σημείο και για εγκάρσια

κλίση μέχρι 10° . Η απόσταση μεταξύ του κέντρου ανώσεως **B** και του μετακέντρου **M** καλείται μετακεντρική ακτίνα.

Η απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους **G** και του μετακέντρου **M** καλείται μετακεντρικό ύψος.

Το μετάκεντρο το οποίο προσδιορίστηκε παραπάνω είναι το εγκάρσιο μετάκεντρο του πλοίου.

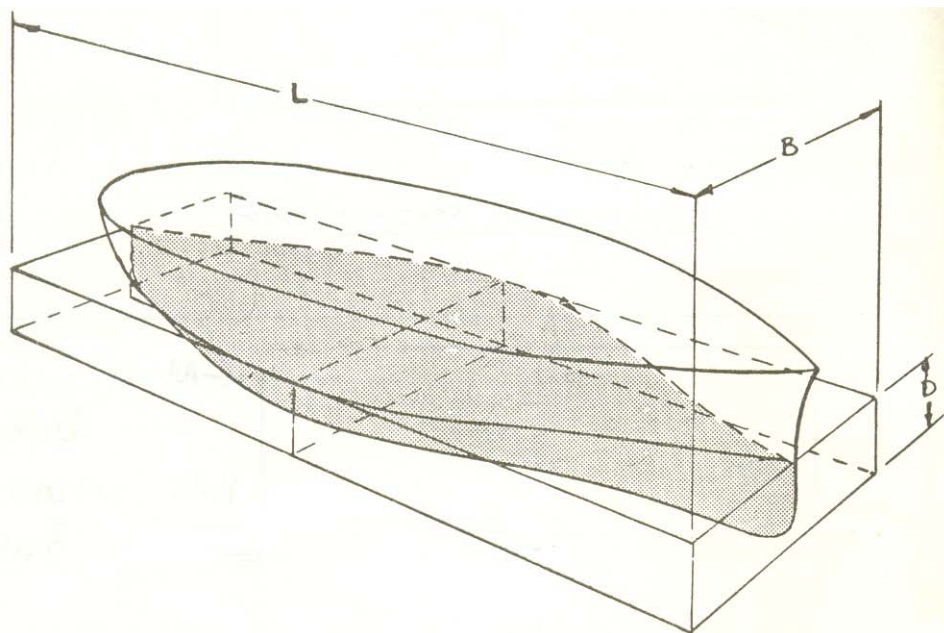
Κατά τον ίδιο τρόπο μπορεί να προσδιοριστεί και το διάμηκες μετάκεντρο το οποίο και σημειώνεται με το γράμμα **M_L**.

Στο σχήμα 2-4 φαίνεται η σχετική θέση των κέντρων ανώσεως, βάρους και του μετακέντρου.

Συντελεστές γάστρας

Γενικά

Για την σύγκριση του σχήματος των πλοίων και για την εκτέλεση απλών υπολογισμών, έχει καθιερωθεί στην Ναυπηγία ένας αριθμός συντελεστών οι οποίοι καλούνται συντελεστές γάστρας.



Σχήμα 2-5 Συντελεστής γάστρας

Οι συντελεστές γάστρας είναι χρήσιμοι κατά τα αρχικά στάδια υπολογισμού ενός νέου τύπου πλοίου, διότι με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η συγκριτική

εξέταση του νέου τύπου με άλλους παρόμοιους επιτυχείς τύπους πλοίων. Οι συντελεστές γάστρας είναι οι παρακάτω:

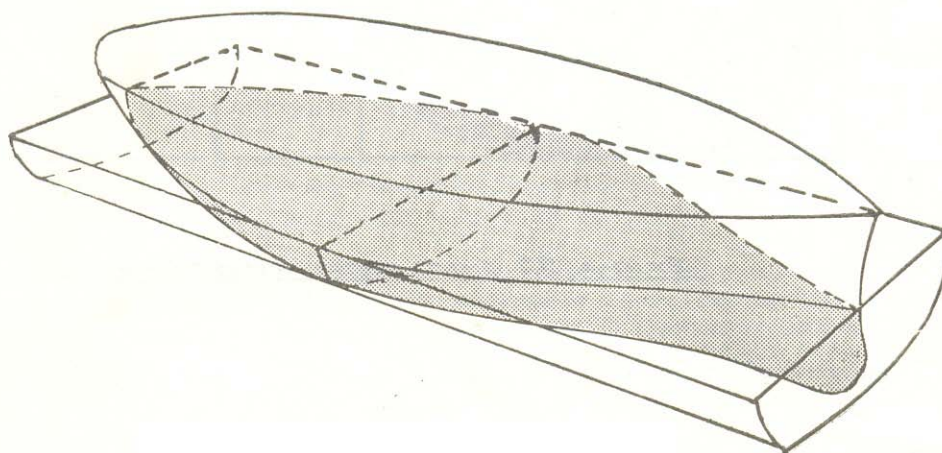
Συντελεστής εκτοπίσματος ή γάστρας

Ο συντελεστής εκτοπίσματος, C_B είναι ο λόγος του όγκου του εκτοπίσματος των υφάλων του πλοίου (V) δια του όγκου του ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου το οποίο είναι περιγεγραμμένο στο σχήμα των υφάλων του το οποίο έχει μήκος ίσο με το μήκος της ισάλου (L), πλάτος ίσο με το πλάτος κατασκευής στην ίσαλο (B) και ύψος ίσο με το μέσο βύθισμα κατασκευής (D) το οποίο αντιστοιχεί στο παραπάνω εκτόπισμα (Σχήμα 2-5):

$$C_B = V/LBD \quad (2.1)$$

Πρισματικός συντελεστής

Ο πρισματικός συντελεστής C_P είναι ο λόγος του όγκου εκτοπίσματος των υφάλων του πλοίου (V) προς τον όγκο ενός κυλινδρικού σχήματος το οποίο έχει βάση την μέση τομή (M) και ύψος το μήκος της ισάλου (L) (Σχήμα 2-6):

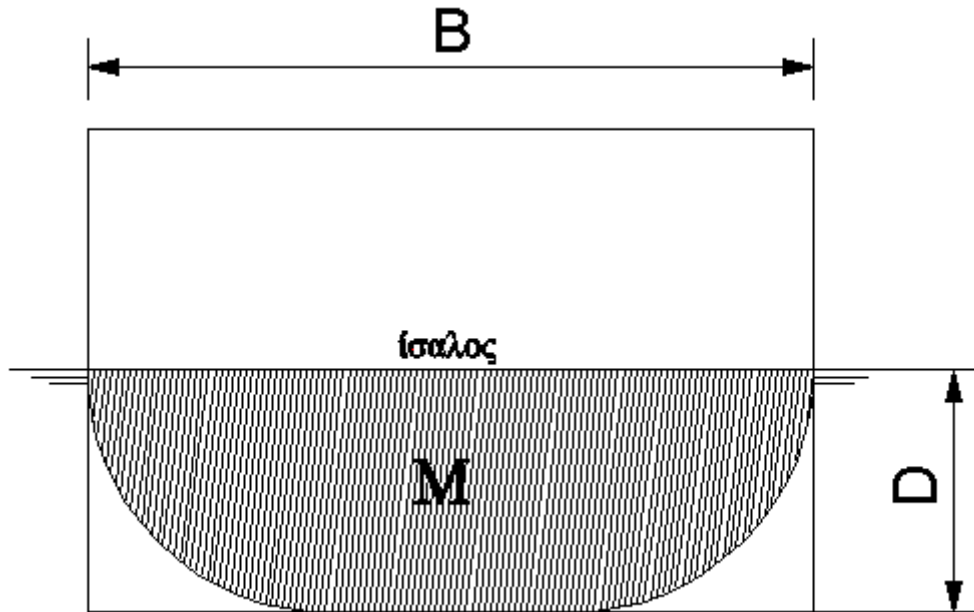


Σχήμα 2-6 Πρισματικός συντελεστής

$$C_P = V/ML \quad (2.2)$$

Συντελεστής Μέσης Τομής

Ο συντελεστής μέσης τομής C_M είναι ο λόγος του εμβαδού της επιφανείας της μέσης τομής (M) το οποίο βρίσκεται υπό την ίσαλο, προς το εμβαδόν της επιφανείας ενός ορθογωνίου περιγεγραμμένου στο σχήμα της μέσης τομής το οποίο έχει πλευρές ίσες με το πλάτος κατασκευής (B) και το βύθισμα κατασκευής (D). (Σχήμα 2-7)

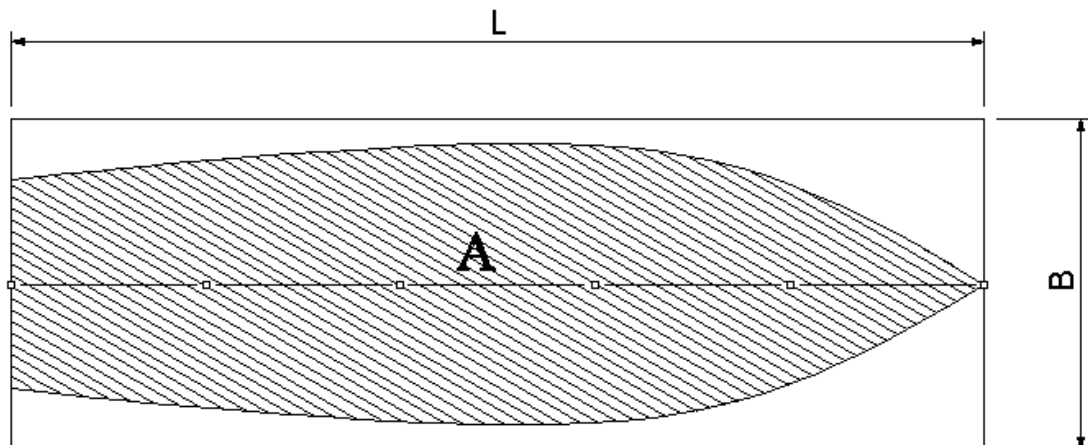


Σχήμα 2-7 Συντελεστής μέσης τομής

$$C_M = M/BD \quad (2.3)$$

Συντελεστής Ισάλου

Ο συντελεστής ισάλου C_w είναι ο λόγος του εμβαδού της επιφάνειας της ισάλου (A) προς το εμβαδόν της επιφάνειας του περιγεγραμμένου στο σχήμα της ισάλου ορθογωνίου το οποίο έχει πλευρές ίσες με το πλάτος κατασκευής της ισάλου (B) και με το μήκος της ισάλου (L), (Σχήμα 2-8) :



Σχήμα 2-8 Συντελεστής ισάλου

$$C_w = A/LB \quad (2.4)$$

Τυπικές τιμές συντελεστών γάστρας

Στον πίνακα 2-1 δίνονται τυπικές τιμές των συντελεστών γάστρας για διάφορους τύπους πλοίων:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

<i>Τύπος πλοίου</i>	<i>Συντελεστής γάστρας</i>			
	C_B	C_P	C_M	C_W
Αεροπλανοφόρο	0.61	0.61	0.99	0.77
Καταδρομικό	0.55	0.67	0.83	0.74
Αντιτορπλικό	0.55	0.67	0.82	0.78
Ρυμουλκό	0.58	0.61	0.95	0.76
Φορηγό	0.73	0.77	0.95	0.83
Ιστιοφόρο	0.20	0.50	0.40	0.75

Μέθοδοι υπολογισμού των γεωμετρικών στοιχείων του πλοίου

Προκειμένου να εκτελεσθεί η μελέτη ενός πλοίου, όπως π.χ. η μελέτη ευστάθειας ή αντιστάσεως στην πρόωση, είναι απαραίτητο να υπολογισθούν τα γεωμετρικά στοιχεία του πλοίου.

Για τον λόγο αυτό, πρέπει αρχικά να υπολογισθούν τα γεωμετρικά στοιχεία των επιφανειών των παρισάλων ή των εγκαρσίων τομών για να υπολογισθεί στην συνέχεια ο όγκος εκτοπίσματος καθώς και τα λοιπά γεωμετρικά στοιχεία του πλοίου.

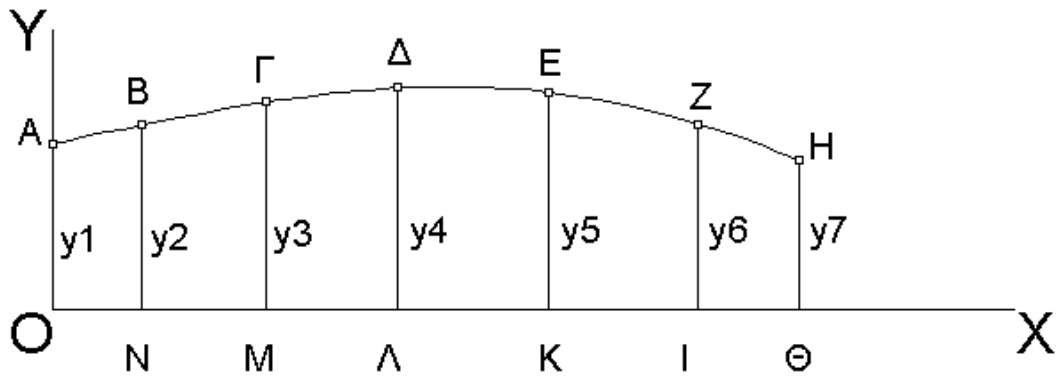
Τα βασικά στοιχεία μιας επιφάνειας είναι τα παρακάτω:

- α. Το εμβαδόν της επιφάνειας
- β. Η ροπή του εμβαδού της επιφάνειας
- γ. Το γεωμετρικό κέντρο της επιφάνειας
- δ. Η ροπή αδρανείας της επιφάνειας

Οι επιφάνειες των παρισάλων και των εγκαρσίων τομών λαμβάνονται από τις ναυπηγικές γραμμές.

Οι υπολογισμοί των στοιχείων των ανωτέρω επιφανειών μπορούν να εκτελεσθούν μόνο για το μισό αυτών, λόγω της διαμήκους συμμετρίας του πλοίου.

Το σχήμα 2-9 παριστά, σε γενικές γραμμές, μια παρίσαλο ή μια εγκάρσια τομή ενός πλοίου.



Σχήμα 2-9

Το σχήμα αυτό προσδιορίζεται από την ευθεία της βάσεως $ΟΘ=l$, από τις κάθετες πλευρές $ΟΑ$ και $ΘΗ$ και από την ομαλή καμπύλη $ΑΒΓΔΕΖΗ$. Σε ορισμένες περιπτώσεις η μια ή και οι άλλες κάθετες πλευρές μπορούν να είναι ίσες με το μηδέν.

Αν παρασταθεί δια του $Ο$ η αρχή των ορθογωνίων αξόνων $ΟΧ$ και $ΟΨ$, οι συντεταγμένες ενός τυχαίου σημείου $Γ$ της καμπύλης $ΑΒΓΔΕΖΗ$ είναι $Χ=ΟΜ$ και $Ψ=ΜΓ$.

Από τα παραπάνω και με βάση τις γνωστές αρχές των μαθηματικών, τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία της επιφάνειας $ΟΑΒΓ...ΗΘΙ...Ο$ δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\text{Εμβαδόν } A = \int_0^l y dx$$

Ροπή επιφάνειας περί τον άξονα $ΟΨ$:

$$C_I = \int_0^l xy dx$$

Ροπή επιφάνειας περί τον άξονα $ΟΧ$:

$$C_t = \int_0^l \frac{y^2}{2} dx$$

Απόσταση του γεωμετρικού κέντρου της επιφάνειας από τον άξονα $ΟΧ$:

$$\bar{y} = \frac{\int_0^l \frac{y^2}{2} dx}{\int_0^l y dx} = \frac{C_t}{A}$$

Απόσταση του γεωμετρικού κέντρου της επιφανείας από τον άξονα **OΨ**:

$$\bar{x} = \frac{\int_0^l xy dx}{\int_0^l y dx} = \frac{C_1}{A}$$

Ροπή αδρανείας περί τον άξονα **OΨ**:

$$I_1 = \int_0^l x^2 y dx$$

Ροπή αδρανείας περί τον άξονα **OX**:

$$I_t = \int_0^l \frac{y^3}{3} dx$$

Ο ακριβής υπολογισμός των παραπάνω ολοκληρωμάτων προϋποθέτει γνώση της μαθηματικής εξίσωσης μέσω της οποίας περιγράφονται οι ναυπηγικές γραμμές του πλοίου.

Σπάνια όμως στην πράξη, οι γραμμές του πλοίου μπορούν να προσδιοριστούν μέσω μαθηματικής εξίσωσης και συνεπώς για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών στοιχείων του πλοίου είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι προσεγγιστικής ολοκληρώσεως.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι προσεγγιστικής ολοκλήρωσης, αλλά εκείνοι που χρησιμοποιούνται πιο συχνά, είναι ο κανόνας του τραπεζοειδούς, ο οποίος χρησιμοποιείται στην Αμερική και κανόνες του Simpson οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη.

Κανόνας του τραπεζοειδούς

Για να βρεθεί το εμβαδόν του σχήματος 2-8 διαιρείται η βάση OΘ σε ίσα μέρη και από τα σημεία των διαιρέσεων N,M,...I, φέρονται τεταγμένες οι οποίες τέμνουν την καμπύλη ABΓ...ZH στα σημεία B,Γ...Z. Αν υποθεθεί ότι φέρονται οι ευθείες AB, BΓ...ZH, σχηματίζεται ένα πολύπλευρο σχήμα OABΓ...HΘI το οποίο αποτελείται από τραπέζια OABN...ZHΘI.

Έστω **h** η απόσταση μεταξύ των τεταγμένων και $Y_1, Y_2, \dots, Y_6, Y_7$ τα μήκη των τεταγμένων OA, NB, IZ, ΘH.

Το εμβαδόν του τραπεζίου OABN είναι: $h (1/2Y_1+1/2Y_2)$

Το εμβαδόν του τραπεζίου NBΓM είναι: $h (1/2Y_2+1/2Y_3)$ κ.ο.κ

Αν προσθέσουμε τα ανωτέρω εμβαδά προκύπτει ότι το εμβαδόν του πολύπλευρου σχήματος OABΓ...ΖΘΗ είναι:

$$A=h \times (1/2Y_1+Y_2+Y_3+Y_4+Y_5+Y_6+1/2Y_7)$$

Αν η απόσταση h είναι αρκετά μικρή η χορδή ΒΓ μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων ως τα Β και Γ, δεν διαφέρει ουσιωδώς από την καμπύλη ΒΓ και ως εκ τούτου το εμβαδόν του σχήματος 2-8 μπορεί να υπολογισθεί προσεγγιστικά από τον τύπο 2.12.

Ο κανόνας του τραπεζοειδούς έχει το πλεονέκτημα ότι είναι εύκολος στην χρήση του αλλά και το μειονέκτημα ότι απαιτείται μεγάλος αριθμός τεταγμένων για να επιτευχθεί παραδεκτή ακρίβεια αποτελεσμάτων. Συνήθως απαιτείται διπλάσιος ως τετραπλάσιος αριθμός τεταγμένων συγκριτικά με τον κανόνα του Simpson.

Γενικά ο κανόνας του τραπεζοειδούς διατυπώνεται ως εξής:

«Διαιρείται η βάση του σχήματος σε αριθμό ίσων μερών και επί των σημείων της διαιρέσεως άγονται τεταγμένες.

Το εμβαδόν του σχήματος δίνεται από το γινόμενο της ισαποστάσεως μεταξύ των τεταγμένων επί το ημίαθροισμα της πρώτης και τελευταίας τεταγμένης συν το άθροισμα των υπολοίπων τεταγμένων».

Πρώτος κανόνας του Simpson

Αν υποθεθεί ότι η καμπύλη ΑΒΓ...ΖΗ είναι κυβική παραβολή με εξίσωση:

$$Y=a+a_1x+a_2x^2+a_3x^3$$

μπορεί να αποδειχθεί μαθηματικώς ότι το εμβαδόν του τμήματος OABΓ δίνεται από τον τύπο: $h/3 [Y_1+4Y_2+Y_3]$, παρομοίως το εμβαδόν του τμήματος ΜΓΔΕΚΑΜ υπό του τύπου: $h/3 [Y_1+4Y_2+Y_3]$ κ.ο.κ. (Τα μήκη h, Y_1, Y_2, \dots, Y_7 προσδιορίζονται με τον ίδιο τρόπο με τον κανόνα του τραπεζοειδούς)

Αν προσθέσουμε τα ανωτέρω εμβαδά προκύπτει ότι το εμβαδόν του σχήματος 2-8 είναι:

$$A=h/3 \times (Y_1+4Y_2+2Y_3+4Y_4+2Y_5+Y_6+Y_7)$$

Για να εφαρμοσθεί ο πρώτος κανόνας του Simpson είναι απαραίτητο η βάση του σχήματος του οποίου ζητείται το εμβαδόν σε άρτιο αριθμό ή ίσων μερών από $(n+1)$ τεταγμένες.

Για την περίπτωση του σχήματος 2-8 το εμβαδόν του οποίου υπολογίστηκε από τον τύπο 2.13 το n είναι ίσο με 6.

Γενικά ο πρώτος κανόνας του Simpson διατυπώνεται ως εξής:

«Διαιρείται η βάση του σχήματος σε άρτιο αριθμό ίσων μερών και στα σημεία της διαιρέσεως άγονται τεταγμένες.

Το εμβαδόν του σχήματος δίνεται από το γινόμενο του τρίτου της ισαποστάσεως μεταξύ τεταγμένων επί το άθροισμα της πρώτης και της τελευταίας τεταγμένης συν το τετραπλάσιο άθροισμα των άρτιων τεταγμένων συν το διπλάσιο άθροισμα των υπολοίπων τεταγμένων».

Δεύτερος κανόνας του Simpson

Για να εφαρμοσθεί ο δεύτερος κανόνας του Simpson πρέπει ο αριθμός n των ίσων μερών στα οποία διαιρείται η βάση του σχήματος να είναι πολλαπλάσιο του 3. Στην περίπτωση του σχήματος 2-8 ο αριθμός των ίσων μερών είναι $n=2 \times 3=6$. Υπό την προϋπόθεση πάντοτε ότι η καμπύλη ΡΒΓ...ΖΗ είναι κυβική παραβολή με εξίσωση $Y=a+a_1x+a_2x^2+a_3x^3$ αποδεικνύεται ότι το εμβαδόν του σχήματος 2-8 είναι:

$$A = (3/8) \times h \times [Y_1 + 3Y_2 + 3Y_3 + 2Y_4 + 3Y_5 + 3Y_6 + Y_7]$$

Ο δεύτερος κανόνας του Simpson χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου η διαίρεση της βάσεως του σχήματος σε άρτιο αριθμό ίσων μερών δεν είναι εφικτή.

Γενικά ο δεύτερος κανόνας του Simpson διατυπώνεται ως εξής:

«Διαιρείται η βάση του σχήματος στον αριθμό ίσων μερών, ο οποίος είναι πολλαπλάσιος του 3, και στα σημεία της διαιρέσεως άγονται τεταγμένες.

Το εμβαδόν του σχήματος δίνεται από το γινόμενο των τριών όγδοων της ισαποστάσεως μεταξύ τεταγμένων επί το άθροισμα της πρώτης και τελευταίας τεταγμένης συν το διπλάσιο άθροισμα της τέταρτης, έβδομης, δέκατης κ.ο.κ. τεταγμένης συν το τριπλάσιο άθροισμα των υπολοίπων τεταγμένων».

Εκτός των κανόνων του τραπεζοειδούς και του Simpson υπάρχουν και άλλοι κανόνες προσεγγίζουσας ολοκληρώσεως, εκ των οποίων γνωστότεροι είναι οι κανόνες του Tchevbycheft, του Durand και του Gauss.

Μέτρηση επιφανειών με πλανίμετρο

Το εμβαδόν επιπέδων επιφανειών μπορεί να μετρηθεί και με την βοήθεια του πλανίμετρου. Η χρήση του πλανίμετρου στους ναυπηγικούς υπολογισμούς περιορίζεται στον υπολογισμό του εμβαδού των εγκαρσίων τομών.

Υπολογισμός της ροπής του εμβαδού επιφανείας και του γεωμετρικού κέντρου της επιφανείας.

Οι κανόνες του τραπεζοειδούς και του Simpson καθιστούν δυνατή την εύρεση του εμβαδού των επιφανειών.

Παρόμοιοι κανόνες προσεγγίζουσας ολοκλήρωσης μπορούν να βρεθούν για τον υπολογισμό της ροπής του εμβαδού της επιφανείας ως εξής:

Είδαμε παραπάνω ότι η ροπή του εμβαδού της επιφανείας του σχήματος 2-8 περί τους άξονες ΟΨ και ΟΧ είναι:

$$C_1 = \int_0^l xy dx \quad \text{και} \quad C_t = \int_0^l \frac{y^2}{2} dx$$

Επομένως το εμβαδόν της επιφανείας του σχήματος 2-8 είναι:

$$A = \int_0^l y dx$$

Οι κανόνες της προσεγγίζουσας ολοκληρώσεως για τον υπολογισμό της ροπής του εμβαδού επιφανείας βασίζονται στην παραδοχή ότι τα γινόμενα xy και $y^2/2$ στους παραπάνω τύπους των C_1 και C_t μπορούν να θεωρηθούν ως τεταγμένες μιας νέας καμπύλης η οποία μπορεί να ολοκληρωθεί βάσει των γνωστών κανόνων προσεγγίζουσας ολοκληρώσεως για τον υπολογισμό εμβαδού επιφανειών.

Τελικά, το γεωμετρικό κέντρο της επιφανείας είναι το σημείο το οποίο έχει συντεταγμένες $\bar{X} = \frac{C_1}{A}$ και $\bar{Y} = \frac{C_t}{A}$.

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση των πλοίων, για την εύρεση του γεωμετρικού κέντρου των παρισάλων και των εγκαρσίων τομών, λόγω της συμμετρίας των επιφανειών, αρκεί ο υπολογισμός της αποστάσεως του κέντρου από άξονα κάθετο επί τον άξονα συμμετρίας.

Υπολογισμός της ροπής αδρανείας

Η ροπή αδρανείας του σχήματος 2-8 προς τους άξονες ΟΧ και ΟΨ είναι

$$I_1 = \int_0^l x^2 y dx \quad \text{και} \quad I_2 = \int_0^l \frac{y^3}{3} dx \quad (\text{τύποι 2.10 και 2.11}).$$

Ως και στην περίπτωση της ροπής εμβαδού επιφανείας, η ροπή αδρανείας επιφανείας μπορεί να βρεθεί με τους κανόνες της προσεγγίζουσας ολοκληρώσεως επιφανειών, μέσω της παραδοχής ότι τα γινόμενα $x^2 y$ και $y^3/3$ μπορούν να θεωρηθούν ως τεταγμένες μια νέας καμπύλης στην οποία εφαρμόζονται οι μέθοδοι προσεγγίζουσας ολοκλήρωσης για την εύρεση εμβαδού επιφανειών.

Τυποποίηση υπολογισμών βάσει των κανόνων προσεγγίζουσας ολοκληρώσεως

Προς διευκόλυνση των υπολογισμών οι οποίοι εκτελούνται βάσει των κανόνων προσεγγίζουσας ολοκληρώσεως καταρτίζονται τυποποιημένοι πίνακες.

Στον πίνακα 2.2 φαίνονται οι υπολογισμοί για την εύρεση του εμβαδού του γεωμετρικού κέντρου και των ροπών αδρανείας του σχήματος 2-8 εκτελούμενοι με τον πρώτο κανόνα του Simpson.

Υπολογισμός των όγκων

Ο υπολογισμός των επιφανειών είναι το πρώτο βήμα για τον υπολογισμό των όγκων. Στην περίπτωση των πλοίων, τα εμβαδά των επιφανειών των παρισάλων θεωρούνται ως τεταγμένες μιας καμπύλης και με αυτόν τον τρόπο μέσω των γνωστών μεθόδων προσεγγίζουσας ολοκλήρωσης επιφανειών, μπορεί να υπολογισθεί ο όγκος του πλοίου.

Παρομοίως ο όγκος του πλοίου μπορεί να υπολογισθεί με προσεγγίζουσα ολοκλήρωση των εμβαδών των εγκαρσίων τομών.

Γεωμετρικό κέντρο όγκων

Για τον προσδιορισμό του γεωμετρικού κέντρου του όγκου απαιτούνται οι αποστάσεις του κέντρου αυτού από τρία επίπεδα αναφοράς.

Στην περίπτωση των πλοίων, υπολογίζεται η ροπή του όγκου ως προς το βασικό επίπεδο κατασκευής ως και η ροπή του όγκου ως προς το επίπεδο της μέσης τομής. Οι δύο ροπές διαιρούνται με τον όγκο και έτσι καθορίζεται η θέση του γεωμετρικού κέντρου των υφάλων, δηλαδή του κέντρου αντώσεως, λαμβανομένου

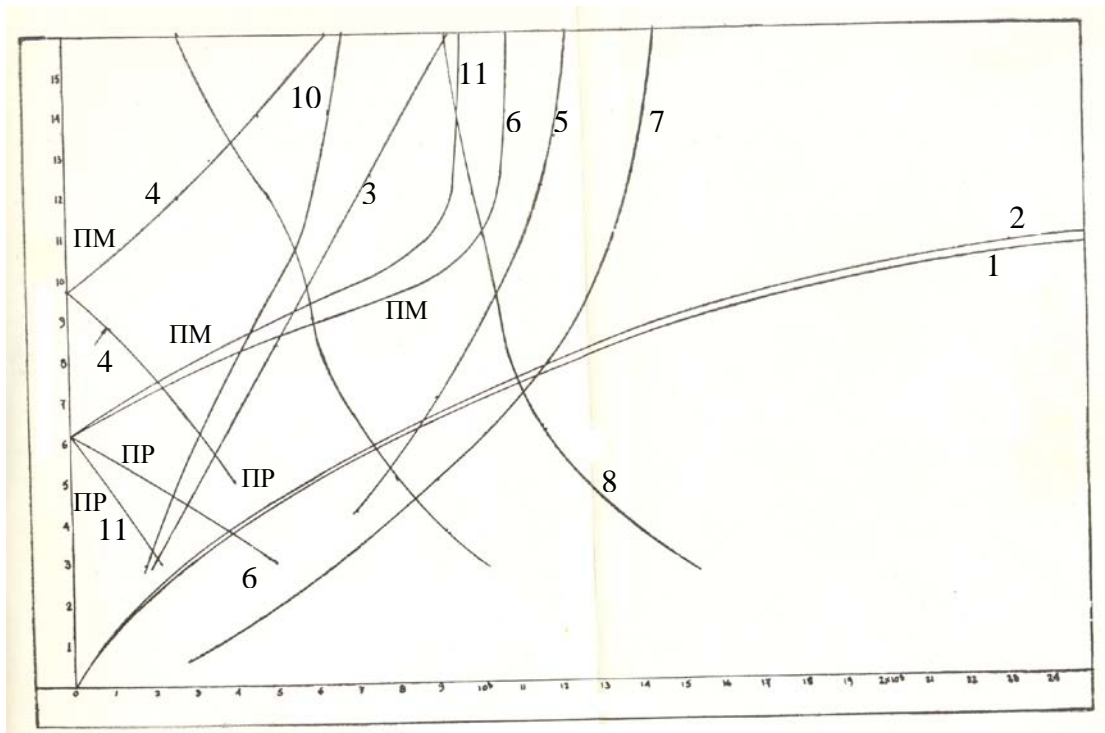
υπ' όψιν ότι λόγω της συμμετρίας του σχήματος του πλοίου το γεωμετρικό κέντρο του όγκου βρίσκεται επί του διαμήκου επιπέδου συμμετρίας.

Οι υπολογισμοί του όγκου και της ροπής του όγκου γίνονται βάσει των κανόνων προσεγγίζουσας ολοκλήρωσης επιφανειών, και καταγράφονται σε πίνακες παρόμοιους με τους χρησιμοποιημένους στους υπολογισμούς επιφανειών.

Υδροστατικό διάγραμμα

Τα γεωμετρικά στοιχεία της γάστρας του πλοίου καταγράφονται υπό μορφή καμπυλών στο Υδροστατικό διάγραμμα. Τα στοιχεία αυτά δίνονται στο υδροστατικό διάγραμμα συναρτήσει του μέσου βυθίσματος, καθ' ότι η μεταβολή του βυθίσματος επιφέρει μεταβολή του όγκου των υφάλων και κατά συνέπεια μεταβολή του εκτοπίσματος, του κέντρου ανώσεως και των λοιπών γεωμετρικών στοιχείων.

Η τεταγμένη του υδροστατικού διαγράμματος παριστά το μέσο βύθισμα σε πόδια. Η κλίμακα της τετμημένης είναι σε τόνους εκτοπίσματος. Για την ανάγνωση όλων των καμπυλών του υδροστατικού διαγράμματος, πλην της καμπύλης εκτοπίσματος, χρησιμοποιούνται κατάλληλοι συντελεστές κλιμάκων ώστε να μετατρέπεται η κλίμακα τόνων της τετμημένης στην κανονική διάσταση κάθε καμπύλης.



Σχήμα 2-10 Υδροστατικό διάγραμμα

Το σχήμα 2-10 παριστά τυπικό υδροστατικό διάγραμμα ενός αντιτορπιλικού. Σε ένα υδροστατικό διάγραμμα, όπως αυτό του σχήματος 2-10, υπάρχουν συνήθως οι εξής καμπύλες:

Καμπύλη (1) : Εκτόπισμα σε θαλασσινό νερό (Δ_{SW})

Η εν λόγω καμπύλη χρησιμοποιείται περισσότερο από όλες τις καμπύλες του υδροστατικού διαγράμματος. Από την καμπύλη αυτή είναι δυνατόν να βρεθεί το εκτόπισμα του πλοίου όταν το μέσο βύθισμα του είναι γνωστό και αντιστρόφως, μπορεί να βρεθεί το μέσο βύθισμα όταν είναι γνωστό το εκτόπισμα.

Καμπύλη (2) : Εκτόπισμα σε γλυκό νερό (Δ_{FW})

Για το ίδιο μέσο βύθισμα, το εκτόπισμα του πλοίου θα είναι μικρότερο στο γλυκό παρά στο θαλασσινό και αντιθέτως, για το ίδιο εκτόπισμα (δηλαδή το ίδιο βάρος του πλοίου) το μέσο βύθισμα του πλοίου θα είναι μικρότερο στο θαλασσινό παρά στο γλυκό νερό.

Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των καμπυλών (1) και (2) είναι ανάλογη του $\frac{35}{36}$, δηλαδή ανάλογη προς τον λόγο του ειδικού βάρους του γλυκού προς το θαλασσινό νερό.

Καμπύλη (3) : Κατακόρυφη θέση του κέντρου αντώσεως (KB)

Η κατακόρυφη θέση του κέντρου αντώσεως άνωθεν της τρόπιδας δίνεται από την καμπύλη (3) του υδροστατικού διαγράμματος με χρησιμοποίηση του κατάλληλου συντελεστή κλίμακας. Στο υδροστατικό διάγραμμα του σχήματος 2-10 ο συντελεστής κλίμακας της καμπύλης (3) είναι 100 τόννοι=1FT. Για την εύρεση της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου αντώσεως, από τη δοθείσα τιμή του μέσου βυθίσματος φέρεται μια οριζόντια ευθεία και από το σημείο τομής της ευθείας αυτής με την καμπύλη (3) φέρεται κατακόρυφη ευθεία.

Το σημείο της τομής της κατακόρυφης ευθείας με την τετμημένη του διαγράμματος δίνει μια τιμή σε τόνους η οποία διαιρούμενη δια του συντελεστή κλίμακας δίνει την κατακόρυφη απόσταση του κέντρου της αντώσεως άνωθεν της τρόπιδας.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για την ανάγνωση των τιμών και όλων των υπολοίπων καμπυλών του διαγράμματος.

Καμπύλη (4) : Διαμήκης θέση του κέντρου αντώσεως (LCB)

Η καμπύλη αυτή δίνει την διαμήκη θέση του κέντρου αντώσεως αναφορικά με το επίπεδο της μέσης τομής του πλοίου.

Ο συντελεστής κλίμακας της καμπύλης (4) είναι 100 τόννοι=2 πόδια.

Καμπύλη (5) : Επιφάνεια Ισάλων (A_{WL})

Η καμπύλη αυτή δίνει την επιφάνεια της αντίστοιχης προς το δεδομένο βύθισμα, ισάλου, παράλληλα προς το βασικό επίπεδο κατασκευής. Συντελεστής κλίμακας 100 τόννοι=1000 FT².

Καμπύλη (6) : Κέντρο Πλευστότητας (LCF)

Η καμπύλη αυτή δίνει την διαμήκη απόσταση του κέντρου πλευστότητας κάθε ισάλου από το επίπεδο της μέσης τομής. Συντελεστής κλίμακας 100 τόννοι=2FT

Καμπύλη (7) : Καμπύλη TPI-Τόννοι ανά δάκτυλο βυθίσεως (TPI)

Η καμπύλη αυτή δίνει το βάρος σε τόνους που πρέπει να προστεθεί ή να αφαιρεθεί από το πλοίο για να αυξηθούν ή να ελαττωθούν τα βυθίσματά του, παραλλήλως κατά έναν δάκτυλο.

Οι τιμές οι οποίες παρέχονται από την καμπύλη (7), δίνονται συναρτήσει του μέσου βυθίσματος του πλοίου και αντιστοιχούν σε θαλασσινό νερό. Ο συντελεστής κλίμακας είναι 100 τόννοι=2 τόννοι.

Υπό την προϋπόθεση ότι οι πλευρές του πλοίου στην περιοχή της ισάλου μπορούν να θεωρηθούν ως παράλληλες όταν το βύθισμα αυξομειώνεται κατά έναν δάκτυλο, οι τόννοι ανά δάκτυλο βυθίσματος για θαλασσινό νερό πυκνότητας 35 FT³/τόννο υπολογίζεται από τον τύπο:

$$T = \frac{A}{35 \cdot 12} = \frac{A}{420} \quad (TPI)$$

όπου A είναι η επιφάνεια της ισάλου σε FT².

Καμπύλη (8): Ύψος του εγκάρσιου μετακέντρου άνωθεν της τρόπιδας (KM)

Η καμπύλη αυτή δίνει την τιμή του **KM** (σχήμα 2-4). Συντελεστής κλίμακας 100 τόννοι=2FT.

Καμπύλη (9) : Διαμήκης Μετακεντρική Ακτίνα (BM_L)

Η καμπύλη αυτή δίνει την τιμή της διαμήκουσ μετακεντρικής ακτίνας συναρτήσει του μέσου βυθίσματος. Συντελεστής κλίμακας 100 τόννοι=200 FT

Καμπύλη (10): Προσεγγίζουσα ροπή μεταβολής διαγωγής κατά 1 δάκτυλο (MCT)

Η καμπύλη αυτή δίνει την προσεγγίζουσα τιμή της ροπής η οποία απαιτείται για να μεταβληθεί η διαγωγή το υ πλο ό υ κατά 1 δάκτυλο . Η τιμή της ρο πής

μεταβολής 1 δακτύλου, η οποία δίνεται από την καμπύλη **(10)** είναι προσεγγίζουσα, διότι, για τον υπολογισμό της ροπής χρησιμοποιείται ο τύπος $\frac{W \times BM_L}{12L}$ αντί του

πλέον ακριβούς τύπου $\frac{W \times GM_L}{12L}$ όπου **W** είναι το βάρος (εκτόπισμα) του πλοίου σε

τόνους, **BM_L** η διαμήκης μετακεντρική ακτίνα σε πόδια, **GM_L** το διάμηκες μετακεντρικό ύψος σε πόδια και **L** το μήκος του πλοίου στην ίσαλο μετρούμενο σε πόδια.

Συντελεστής κλίμακας στην καμπύλη **(10)**, 100 τόννοι=100 τόννοι-πόδια.

Οι παραπάνω τύποι διερευνούνται στο κεφάλαιο III.

Καμπύλη **(11)**: Αύξηση του εκτοπίσματος για ΠΜ διαγωγή 1 ποδός

Το εκτόπισμα ενός πλοίου το οποίο έχει ΠΜ διαγωγή, είναι λίγο μεγαλύτερο από το εκτόπισμα του ίδιου πλοίου με το ίδιο μέσο βύθισμα αλλά χωρίς διαγωγή. Αυτό συμβαίνει γιατί οι παρίσαλοι του πλοίου είναι πλέον πλήρεις πρύμνηθεν της μέσης τομής.

Η καμπύλη **(11)** δίνει την αύξηση του εκτοπίσματος, όταν το πλοίο υπό το ίδιο μέσο βύθισμα έχει διαγωγή ΠΜ ενός ποδιού.

Συντελεστής κλίμακας 100 τόννοι=2 τόννοι.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι Ι Ι Ευστάθεια

Συνθήκες ισορροπίας

Η ισορροπία ενός σώματος λέγεται ευσταθής όταν το σώμα αυτό, μετακινούμενο ελαφρώς και κατά οποιονδήποτε τρόπο από την θέση της ισορροπίας του, επανέρχεται στην αρχική του θέση.

Η ισορροπία ενός σώματος λέγεται ουδέτερη ή αδιάφορη όταν το σώμα μετακινούμενο ελαφρά από την θέση του παραμένει στην νέα θέση του μη επανερχόμενο στην αρχική.

Τελικώς, η ισορροπία ενός σώματος λέγεται ασταθής όταν το σώμα μετακινούμενο ελαφρώς από την θέση του, εξακολουθεί να κινείται απομακρυνόμενο συνεχώς από την αρχική του θέση.

Ισορροπία επιπλέοντος σώματος

Υποτίθεται ότι ένα πλοίο επιπλέει στην επιφάνεια ήρεμου νερού.

Επί του πλοίου ενεργούν δύο δυνάμεις:

- α. Το βάρος, το οποίο ενεργεί στο κέντρο βάρους του πλοίου
- β. Η άντωση, η οποία ενεργεί στο κέντρο αντώσεως του πλοίου

Όταν το πλοίο είναι ακίνητο οι δύο δυνάμεις ενεργούν επί της ίδιας κατακόρυφου και είναι αριθμητικώς ίσες και αντίθετες κατά διεύθυνση.

Όταν το πλοίο αποκτήσει εγκάρσια κλίση λόγω της επιδράσεως εξωτερικών αιτιών, το σχήμα των υφάλων μεταβάλλεται και συνεπώς το κέντρο αντώσεως αλλάζει θέση απομακρυνόμενο από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον αποχωρισμό των ευθειών ενέργειας των δυνάμεων του βάρους και της αντώσεως και την δημιουργία ενός ζεύγους δυνάμεων με ροπή (**M**) ίση με το γινόμενο της μιας εκ των δύο δυνάμεων (π.χ. του βάρους του) επί την κάθετη απόσταση μεταξύ των ευθειών ενέργειάς τους (**GZ**). (Σχήμα 3-1)

$$\text{δηλ } \mathbf{M} = \mathbf{W} \times \mathbf{GZ} \quad (3.1)$$

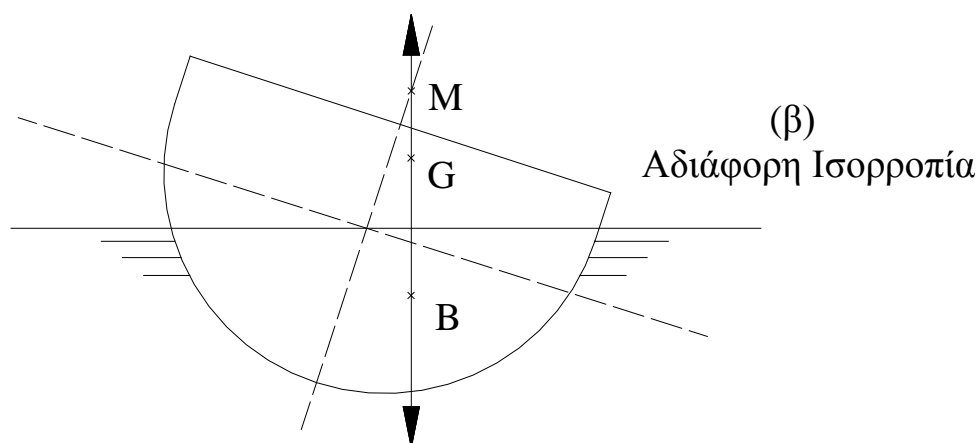
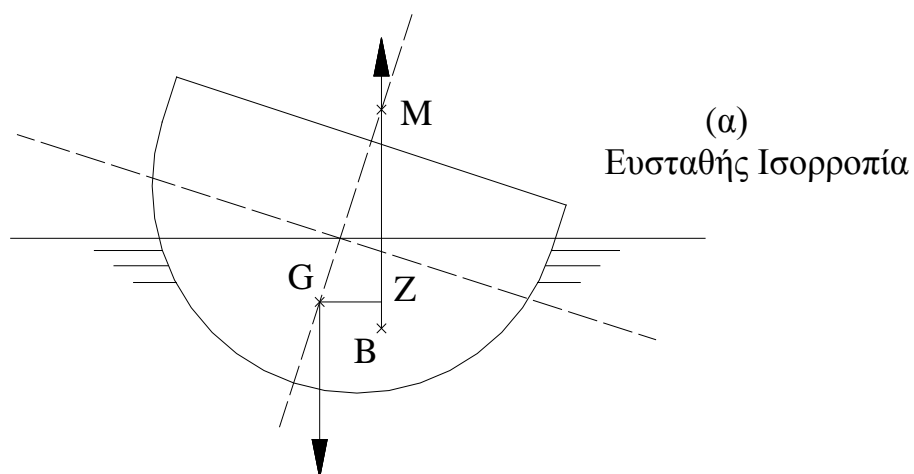
Όταν η ροπή τείνει να επαναφέρει το πλοίο στην αρχική του θέση λέγεται ροπή επαναφοράς (Σχήμα 3-1(α)), οπότε στην περίπτωση αυτή η ισορροπία του πλοίου είναι ευσταθής.

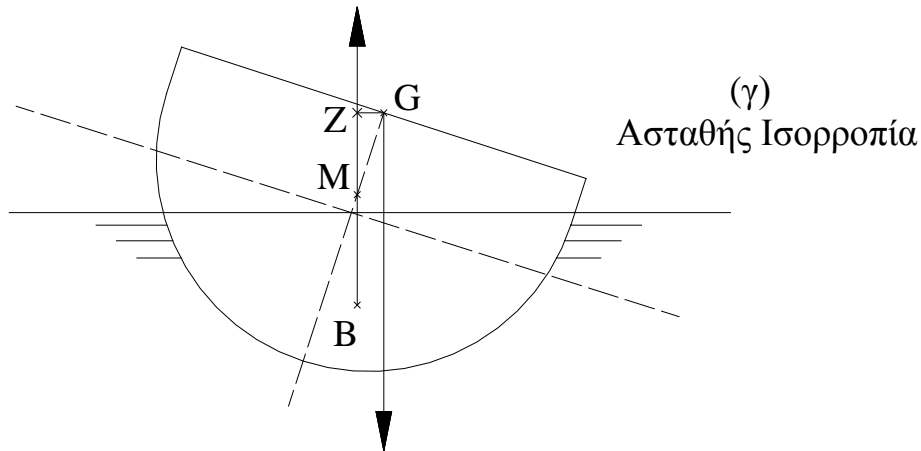
Υποτίθεται τώρα ότι το κέντρο βάρους του πλοίου μετακινείται κάθετα προς τα πάνω, σε θέση τέτοια ώστε όταν το πλοίο αποκτήσει μικρή εγκάρσια κλίση η δύναμη της άντωσης να ενεργεί επί της κατακόρυφου η οποία διέρχεται από το

κέντρο βάρους. (Σχήμα 3-1 (β)). Στην περίπτωση αυτή η ροπή M είναι μηδέν και η ισορροπία του πλοίου αδιάφορη ή ουδέτερη.

Όταν το κέντρο βάρους του πλοίου μετακινηθεί ακόμη ψηλότερα (Σχήμα 3-1(γ)), η ροπή M τείνει να αυξήσει την εγκάρσια κλίση του πλοίου. Στην περίπτωση αυτή το πλοίο βρίσκεται σε κατάσταση ασταθούς ισορροπίας.

Οι παραπάνω καταστάσεις δείχνουν τις δυνάμεις εκείνες οι οποίες ενεργούν επί του πλοίου από τις σχετικές θέσεις των ευθειών ενέργειας των δυνάμεων στις τρεις βασικές καταστάσεις ισορροπίας του πλοίου.





Σχήμα 3-1 Καταστάσεις ισορροπίας

Μετάκεντρο

Σε προηγούμενο κεφάλαιο δόθηκε ο ορισμός του μετακέντρου. Το μετάκεντρο επίσης μπορεί να προσδιοριστεί ως η τιμή της κατακόρυφου η οποία διέρχεται από το κέντρο αντώσεως το οποίο αντιστοιχεί στην μικρή εγκάρσια κλίση του πλοίου μετά της θέσεως της αρχικής κατακόρυφου η οποία διέρχεται από το κέντρο αντώσεως όταν η εγκάρσια κλίση του πλοίου είναι μηδενική.

Η θέση του μετακέντρου έχει σημαντική επιρροή στην ευστάθεια του πλοίου. Έτσι, όταν το κέντρο βάρους είναι κάτω από το μετάκεντρο το πλοίο είναι ευσταθές, όταν το κέντρο βάρους συμπίπτει με το μετάκεντρο η ισορροπία του πλοίου είναι αδιάφορη, ενώ όταν το κέντρο βάρους είναι πάνω από το μετάκεντρο το πλοίο είναι ασταθές. (Σχήμα 3-1)

Κατά την εξέταση της επιρροής της θέσεως του μετακέντρου επί της ευστάθειας πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν ότι το μετάκεντρο θεωρείται ως σταθερό σημείο μόνο για μικρές γωνίες εγκάρσιας κλίσεως (7° έως 10°) και συνεπώς η παρούσα ανάπτυξη του θέματος της ευστάθειας αφορά μόνο την ευστάθεια του πλοίου σε μικρές γωνίες εγκάρσιας κλίσεως, δηλαδή την αρχική ευστάθεια.

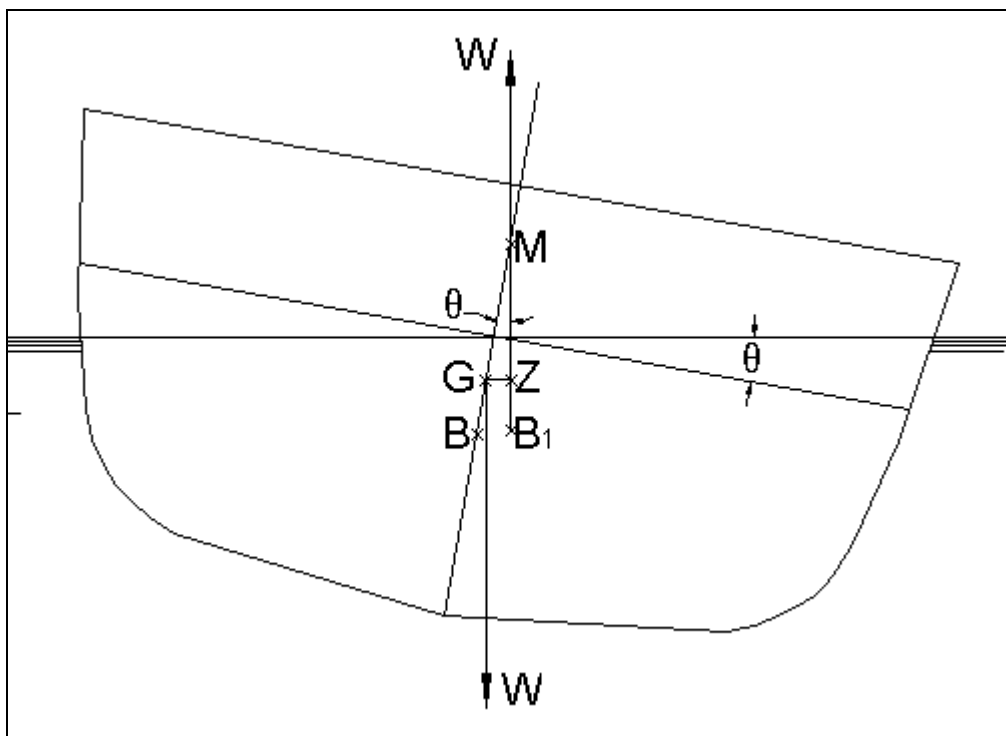
Η εξέταση βέβαια της ευστάθειας των πλοίων δεν περιορίζεται στην αρχική ευστάθεια αλλά επεκτείνεται και στην ευστάθεια μεγάλων κλίσεων.

Η μελέτη όμως της αρχικής ευστάθειας είναι πρωταρχικής σημασίας καθότι ικανοποιητική αρχική ευστάθεια ενός πλοίου συνήθους μορφής, προδικάζει εν γένει

και την ικανοποιητική συμπεριφορά του πλοίου από πλευράς ευστάθειας και σε μεγάλες γωνίες κλίσεων.

Μετακεντρικό ύψος

Η απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους του πλοίου και του μετακέντρου είναι το μετακεντρικό ύψος **GM**



Σχήμα 3-2 Ροπή επαναφοράς

Το μετακεντρικό ύψος είναι το μέτρο της αρχικής ευστάθειας του πλοίου. Έτσι όταν το πλοίο αποκτήσει λόγω εξωτερικών αιτίων μια μικρή εγκάρσια κλίση θ η ροπή επαναφοράς είναι (Σχήμα 3-2) $\underline{M = W \times GZ}$. Για τις μικρές όμως γωνίες εγκάρσιας κλίσης το μετάκεντρο θεωρείται σταθερό σημείο και επομένως είναι:

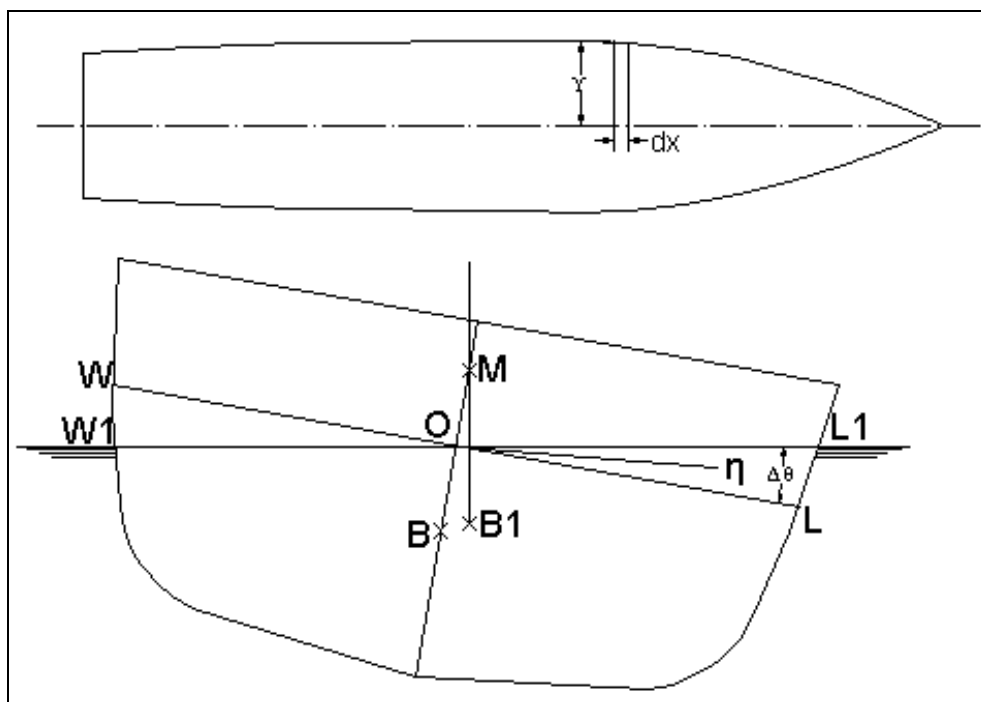
$$\underline{GZ = GM \times \sin\theta}$$

$$\text{Από τις παραπάνω σχέσεις έχουμε : } \underline{M = W \times GM \times \sin\theta} \quad 3.2$$

Από την σχέση **3.2** φαίνεται ότι το μέγεθος και το σημείο (θετικό ή αρνητικό) του **GM** καθορίζει το μέγεθος και την φορά της ροπής **M**.

Το μέγεθος του **GM** προσδιορίζεται από την θέση του κέντρου βάρους και του μετακέντρου, περαιτέρω η θέση του κέντρου βάρους καθορίζεται από την

κατανομή των βαρών του πλοίου, ενώ η θέση του μετακέντρου καθορίζεται από το γεωμετρικό σχήμα των υφάλων.



Σχήμα 3-3 Υπολογισμός μετακεντρικής ακτίνας

Στις επόμενες παραγράφους θα εξετασθεί λεπτομερώς ο τρόπος προσδιορισμού του κέντρου βάρους και του μετακέντρου.

Επί τη ευκαιρία όμως σημειώνεται ότι από τα αρχικά στάδια κατασκευής του πλοίου μέχρι την αποπεράτωση της κατασκευής του αλλά και καθ' όλη την διάρκεια της ζωής του πλοίου, καταβάλλεται κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε να επιτευχθεί και να διατηρηθεί η τιμή του **GM** που έχει καθοριστεί κατά τους υπολογισμούς.

Αρχική ευστάθεια

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η αρχική ευστάθεια ενός πλοίου καθορίζεται από την τιμή του αρχικού μετακεντρικού ύψους (**GM**).

Έτσι από το σχήμα 2-4 φαίνεται ότι:

$$\mathbf{GM=KB+BM-KG} \quad (3.3)$$

Στον παραπάνω τύπο, **KB** είναι η απόσταση του κέντρου ανώσεως από την τρόπιδα, **BM** η μετακεντρική ακτίνα και **KG** η απόσταση του κέντρου βάρους από τη τρόπιδα.

Υπολογισμός του KB

Η τιμή του **KB** δίνεται από το υδροστατικό διάγραμμα (σελ 32).

Για έναν πρόχειρο υπολογισμό του **KB**, μπορεί να χρησιμοποιείται ο τύπος του Morrish ο οποίος γενικά δίνει ακρίβεια της τάξεως του 2%. Ο τύπος αυτός είναι :

$$\mathbf{KB} = \frac{5\mathbf{D}}{6} - \frac{\mathbf{V}}{3\mathbf{A}} \quad (3.4)$$

όπου **D** είναι το μέσο βύθισμα του πλοίου

V είναι ο όγκος του εκτοπίσματος του πλοίου

A είναι η επιφάνεια της ισάλου

Υπολογισμός του BM

Το σχήμα 3-3 παριστά μια εγκάρσια τομή και την ισάλο του πλοίου.

Το πλοίο λαμβάνει μια μικρή εγκάρσια κλίση λόγω εξωτερικών αιτίων ούτως ώστε να επιπλέει στην ισάλο $\mathbf{W}_1\mathbf{L}_1$ αντί της ισάλου \mathbf{WL} . Λόγω της εγκάρσιας κλίσεως το κέντρο αντώσεως μετακινείται από το σημείο **B** στο σημείο \mathbf{B}_1 . Έστω **Y** το μισό του πλάτους του πλοίου.

$\Delta\theta$ η μικρή γωνία εγκάρσιας κλίσεως σε ακτίνια

V ο όγκος του εκτοπίσματος του πλοίου

η το γεωμετρικό κέντρο του τριγώνου \mathbf{LOL}_1

Το εμβαδόν του τριγώνου \mathbf{LOL}_1 είναι $\frac{1}{2} \times \mathbf{Y} \times \mathbf{Y} \times \Delta\theta$

Η ροπή της επιφανείας του τριγώνου \mathbf{LOL}_1 περί το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας είναι $\frac{1}{2} \times \mathbf{Y} \times \mathbf{Y} \times \Delta\theta \times \frac{2}{3} \times \mathbf{Y} = \frac{1}{3} \times \mathbf{Y}^3 \times \Delta\theta$. Κατ' ακολουθία η ροπή του όγκου του πρίσματος το οποίο έχει βάση το τρίγωνο \mathbf{LOL} , και μήκος ίσο με το μήκος **L** του πλοίου είναι:

$$\int_0^l \frac{1}{3} y^3 \Delta\theta dx$$

Δεδομένου όμως ότι ο όγκος του πρίσματος το οποίο έχει βάση το τρίγωνο \mathbf{LOL}_1 είναι ίσος με τον όγκο του πρίσματος με βάση \mathbf{WOW}_1 η πρόσθετη άντωση λόγω της εγκαίρου κλίσεως του πλοίου είναι ίση με την απολεσθείσα άντωση, ενώ η ροπή των πρισμάτων με βάση το \mathbf{LOL}_1 και \mathbf{WOW}_1 ως προς το διάμηκες επίπεδο

συμμετρίας είναι ίση με την ροπή του όγκου του εκτοπίσματος του πλοίου ως προς το ίδιο επίπεδο.

$$\text{Επομένως } \mathbf{V} \times \mathbf{BB}_1 = 2 \times \int_0^l \frac{1}{3} y^3 \Delta\theta dx$$

$$\text{Αλλά για μικρές γωνίες } \mathbf{V} \times \mathbf{BB}_1 = \mathbf{V} \times \mathbf{BM} \times \Delta\theta = \Delta\theta \times \int_0^l (2/3) y^3 dx$$

Αλλά το ολοκλήρωμα $\int_0^l (2/3) y^3 dx$ παριστά την ροπή αδράνειας της ισάλου \mathbf{I} , περί τον διάμηκες άξονα συμμετρίας.

$$\text{Τελικά έχουμε } \boxed{\mathbf{BM} = \frac{\mathbf{I}}{\mathbf{V}}} \quad (3.5)$$

Έτσι, ο υπολογισμός του \mathbf{BM} , δηλ της μετακεντρικής ακτίνας του πλοίου, προϋποθέτει τον υπολογισμό της ροπής αδράνειας της ισάλου ως και τον υπολογισμό του όγκου των υφάλων. Ο υπολογισμός της ροπής αδράνειας της ισάλου και του όγκου των υφάλων εκτελείται δια των κανόνων προσεγγίζουσας ολοκληρώσεως.

Οι τιμές του \mathbf{BM} , οι οποίες αντιστοιχούν σε κάθε βύθισμα του πλοίου, υπολογίζονται όπως περιγράφηκε παραπάνω και δίνονται στο υδροστατικό διάγραμμα.

Υπολογισμός του KG

Η ευστάθεια του πλοίου εξαρτάται άμεσα και από την θέση του κέντρου βάρους και ως εκ τούτου είναι απαραίτητο να υπολογισθεί με κάθε δυνατή ακρίβεια το κέντρο βάρους του πλοίου.

Τονίζεται ότι το κέντρο βάρους του πλοίου δεν έχει άμεση εξάρτηση από το γεωμετρικό σχήμα του πλοίου και συνεπώς δεν είναι δυνατή η συσχέτιση της θέσεως του \mathbf{KG} με τα λοιπά γεωμετρικά στοιχεία του πλοίου.

Το κέντρο βάρους του πλοίου εξαρτάται από την διανομή των βαρών τα οποία αποτελούν το πλοίο, επιπλέον δε, οποιαδήποτε μετακίνηση βάρους εντός του πλοίου έχει ως συνέπεια την αντίστοιχη μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου.

Στα αρχικά στάδια υπολογισμού του πλοίου, η θέση του κέντρου βάρους εκτιμάται κατά μεγάλη προσέγγιση βάσει των δεδομένων άλλων πλοίων παρόμοιου τύπου.

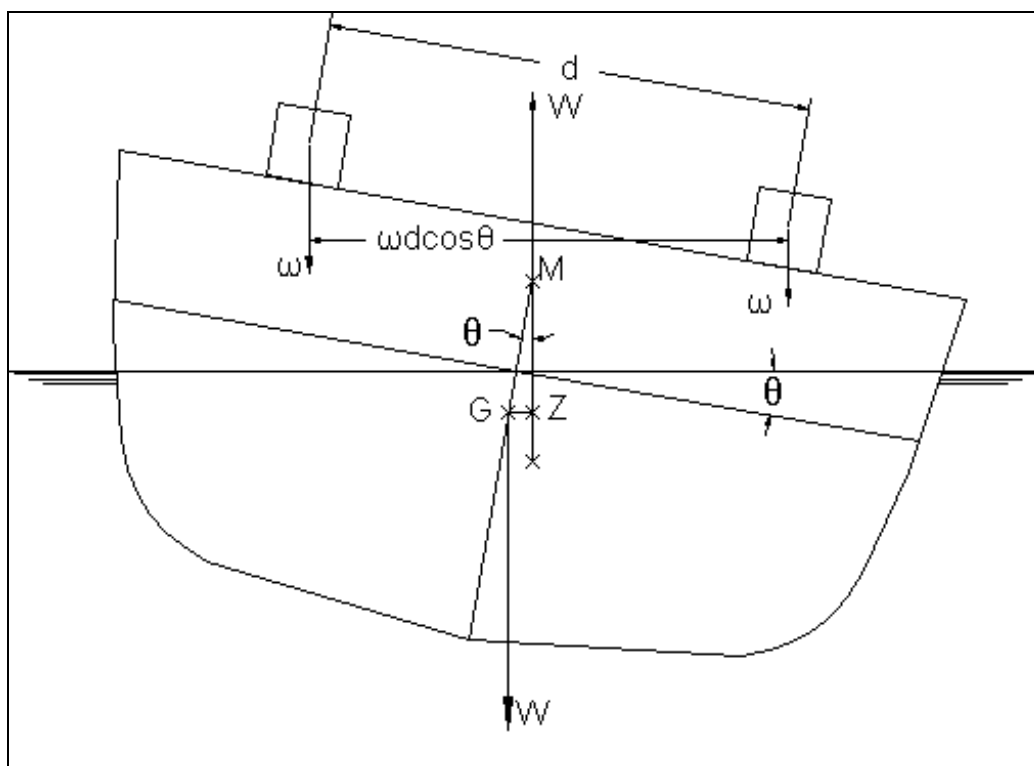
Κατά τα προχωρημένα στάδια των υπολογισμών η θέση του κέντρου βάρους υπολογίζεται δι' αθροίσεως των βαρών και των ροπών όλων των αντικειμένων τα οποία πρόκειται να σχηματίσουν το πλοίο.

Ο υπολογισμός αυτός εκτελείται όχι μόνο για την εύρεση του κέντρου βάρους, αλλά και για την σύγκριση του υπολογισθέντος βάρους του πλοίου με το καθορισθέν εκτόπισμα.

Τελικά, μετά το πέρας της κατασκευής του πλοίου, η ακριβής θέση του κέντρου βάρους υπολογίζεται με το πείραμα ευστάθειας.

Εγκάρσια κλίση λόγω μετακινήσεως βάρους-Πείραμα ευστάθειας

Υποτίθεται ότι ένα βάρος ω τόνων μετακινείται εγκαρσώς στο πλοίο κατά απόσταση d ποδών (Σχήμα 3-4). Το πλοίο λόγω της μετακίνησης βάρους αποκτά μια εγκάρσια κλίση θ° .



Σχήμα 3-4 Πείραμα ευσταθείας

Η ροπή της μετακινήσεως του βάρους είναι: $\omega \cdot d \cdot \cos\theta$ ενώ η ροπή επαναφοράς του πλοίου είναι $W \cdot GM \cdot \sin\theta$.

Εφ' όσον το πλοίο ισορροπεί στην γωνία θ , η ροπή λόγω της εγκάρσιας μετακινήσεως του βάρους είναι ίση με την ροπή επαναφοράς. Έτσι θα είναι:

$$\underline{w*d*cos\theta=W*GM*sin\theta.}$$

$$\tan\theta=(w*d)/(W*GM) \quad (3.6)$$

Το πείραμα ευστάθειας βασίζεται στην παραπάνω θεωρία. Όταν ένα γνωστό βάρος w , μετακινείται εγκάρσιως κατ' απόσταση d , προκαλείται εγκάρσια κλίση θ η οποία μετράται με τη βοήθεια ενός εκκρεμούς.

Στη συνέχεια υπολογίζεται από το υδροστατικό διάγραμμα το εκτόπισμα του πλοίου W βάσει του μέσου βυθίσματος κατά την στιγμή του πειράματος ευστάθειας και συνεπώς από τον τύπο (3.6) μπορεί να υπολογισθεί το GM .

Από το υδροστατικό διάγραμμα υπολογίζονται τα KB και BM για την κατάσταση του πλοίου κατά την στιγμή του πειράματος ευστάθειας και τελικώς υπολογίζεται η θέση του κέντρου βάρους του πλοίου από τον τύπο

$$\underline{KG=KB+BM-GM} \quad (3.7)$$

Το βάρος w καθορίζεται κατά τρόπο ώστε η μετακίνησή του κατά την εγκάρσια απόσταση να δώσει στο πλοίο μικρή κλίση της τάξεως των 2° - 3° .

Το βάρος w αποτελείται συνήθως από συμπαγή χυτοσίδηρα τεμάχια, τα οποία τοποθετούνται σε ορισμένες γνωστές θέσεις επί του καταστρώματος. Το κέντρο βάρους κάθε τεμαχίου υπολογίζεται ακριβώς και σημειώνεται πάνω σε αυτό.

Για την μέτρηση της εγκάρσιας κλίσεως αναρτάται από το πλοίο ένα ή περισσότερα εκκρεμή παρόμοια με το νήμα της στάθμης. Το μήκος κάθε εκκρεμούς μετράται ακριβώς πριν από το πείραμα, και πρέπει το μήκος αυτό να είναι το μεγαλύτερο δυνατό ώστε η απόκλιση του εκκρεμούς, όταν το πλοίο αποκτήσει την εγκάρσια κλίση, να είναι τουλάχιστον $2''$.

Η διαδικασία εκτελέσεως του πειράματος ευστάθειας έχει ως παρακάτω:

α. Το πείραμα εκτελείται εντός προφυλαγμένου τμήματος του λιμένος και κατά προτίμηση εντός μονίμου δεξαμενής.

β. Κατά την διάρκεια του πειράματος πρέπει να επικρατεί άπνοια.

γ. Η σύνδεση του πλοίου με την ξηρά πρέπει να είναι χαλαρή.

δ. Οι δεξαμενές πάσης φύσεως υγρών και οι λέβητες πρέπει να είναι τελείως πλήρεις ή κενοί.

ε. Τα κύτη του πλοίου πρέπει να είναι στεγνά

στ. Τα κινητά βάρη του πλοίου πρέπει να είναι καλώς στερεωμένα ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν πρόκειται να μετακινηθούν κατά την διάρκεια του πειράματος.

ζ. Το πλήρωμα του πλοίου πρέπει να αποβιβασθεί, πλην των ανδρών, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την εκτέλεση του πειράματος.

η. Μετά την τοποθέτηση των βαρών και λίγο πριν την έναρξη του πειράματος λαμβάνονται οι ακόλουθες ενδείξεις:

- (1) ΠΡ και ΠΜ βύθισμα
- (2) Θερμοκρασία της θάλασσας
- (3) Πυκνότητα της θάλασσας

Από τις ενδείξεις αυτές μπορεί να υπολογισθεί το ακριβές εκτόπισμα του πλοίου από το υδροστατικό διάγραμμα.

θ. Στη συνέχεια τα βάρη του πειράματος μετακινούνται κατά την προκαθορισθείσα απόσταση και μετά το πέρας της μετακινήσεως μετράται η απόκλιση λ του εκκρεμούς. Έτσι, αν λ είναι το μήκος του εκκρεμούς, η εγκάρσια κλίση θ δίνεται από τον τύπο:

$$\tan\theta = \lambda / l$$

Στη συνέχεια από τον τύπο (3.6), υπολογίζεται το **GM** του πλοίου το οποίο αντιστοιχεί στην κατάσταση του πειράματος ευστάθειας και τελικά από τον τύπο (3.7) βρίσκεται η θέση του κέντρου βάρους του πλοίου.

Το κέντρο βάρους του πλοίου σε οποιαδήποτε άλλη κατάσταση, διαφορετική από αυτή του πειράματος ευστάθειας, μπορεί να βρεθεί με υπολογισμό των βαρών και τον προσδιορισμό της θέσεως πάνω στο πλοίο των βαρών, τα οποία πρέπει να προστεθούν ή να αφαιρεθούν, για να φέρουν το πλοίο στην εξεταζόμενη κατάσταση.

Διαμήκης ευστάθεια

Γενικά

Για τον υπολογισμό της διαμήκους ευστάθειας του πλοίου εφαρμόζονται οι ίδιες αρχές και για την εγκάρσια ευστάθεια.

Έτσι για να υπολογίσουμε το διάμηκες μετακεντρικό ύψος **GM_L** από την σχέση:

$$\mathbf{GM_L = KB + BM_L - KG}$$

είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το **BM_L** το οποίο δίνεται από την σχέση:

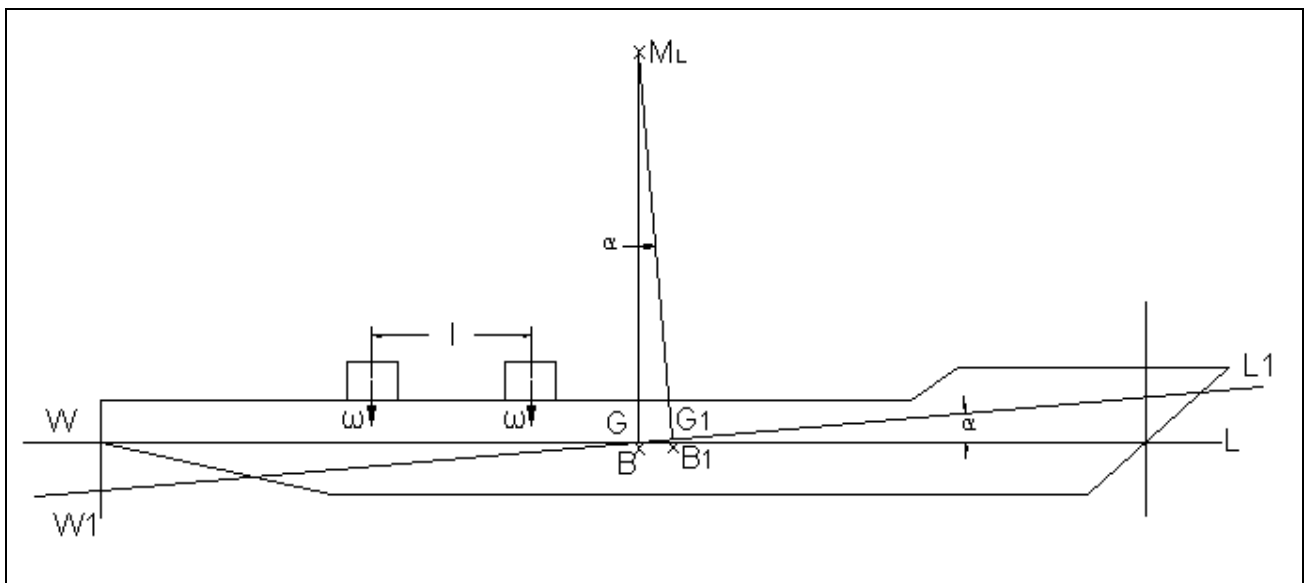
$$\mathbf{BM}_L = \mathbf{I}_L / V$$

όπου \mathbf{I}_L =ροπή αδράνειας της ισάλου περί άξονα ο οποίος διέρχεται από το κέντρο πλευστότητας και είναι κάθετος προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου και V =όγκος υφάλων.

Λόγω της μεγάλης τιμής του \mathbf{I}_L συγκριτικά με το \mathbf{I} , δηλ. την ροπή αδράνειας της ισάλου περί τον άξονα συμμετρίας, η διαμήκης μετακεντρική ακτίνα \mathbf{BM}_L είναι κατά πολύ μεγαλύτερη της εγκάρσιας μετακεντρικής ακτίνας \mathbf{BM} , συνεπώς και το διάμηκες μετακεντρικό ύψος \mathbf{GM}_L είναι κατά πολύ μεγαλύτερο του εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους \mathbf{GM} .

Ακριβώς γι' αυτό τον λόγο, το πλοίο ποτέ δεν μπορεί να αποκτήσει αρνητικό διάμηκες μετακεντρικό ύψος.

Διαμήκης κλίση λόγω μετακίνησης βάρους.



Σχήμα 3-5 Διαμήκης ευστάθεια

Διαμήκης απόσταση ενός βάρους ω κατ' απόσταση I , προξενεί αντίστοιχη διαμήκη μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου κατά: $\omega \cdot I = W \cdot GG_1$

$$GG_1 = \omega \cdot I / W \quad (3.8)$$

όπου G = αρχική θέση του κέντρου βάρους

G_1 = τελική θέση του κέντρου βάρους

W = εκτόπισμα του πλοίου

Αλλά από το σχήμα 3-5 φαίνεται ότι:

$$\mathbf{GG_1 = GM_L \cdot \tan a = \omega \cdot I / W} \quad (3.9)$$

όπου \mathbf{a} = γωνία διαμήκους κλίσεως και

$\mathbf{GM_L}$ = διάμηκες μετακεντρικό ύψος

Υπολογισμός της ροπής μεταβολής διαγωγής

Αν υποθεθεί ότι η ροπή $\mathbf{\omega I = C}$ είναι τέτοια ώστε να προξενεί διαγωγή ή μεταβολή διαγωγής κατά 1 ίντσα, θα έχουμε :

$$\mathbf{\tan a = t / L \Rightarrow \tan a = 1 / 12L}$$

όπου \mathbf{L} = το μήκος της ισάλου του πλοίου, σε ft

επομένως ο τύπος (3.9) γίνεται :

$$\mathbf{C = (W \cdot GM_L) / (12L) \approx (W \cdot BM_L) / (12L)} \quad (3.10)$$

Ο τύπος (3.10) δίνει την διαμήκη ροπή η οποία πρέπει να εφαρμοσθεί στο πλοίο, ώστε να προκληθεί μεταβολή της διαγωγής του κατά 1 ίντσα.

$$\mathbf{C = M.C.T. 1 in}$$

Ευστάθεια σε μεγάλες γωνίες κλίσεως

Γενικά

Η γνώση της συμπεριφοράς του πλοίου από πλευράς ευστάθειας σε γωνίες εγκάρσιων κλίσεων μεγαλύτερων των 10°, είναι απαραίτητη.

Ο πλέον ικανοποιητικός τρόπος απεικόνισης της ευστάθειας του πλοίου είναι η παρουσίαση της ροπής επαναφοράς $\mathbf{W \cdot GZ}$ ή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς \mathbf{GZ} συναρτήσεως των γωνιών κλίσεως για κάθε εκτόπισμα υπό μορφή καμπυλών, η κάθε μια των οποίων καλείται καμπύλη στατικής ευστάθειας (σχήμα 3-6)

Από τις καμπύλες στατικής ευστάθειας, όπως θα αναπτυχθεί και στις επόμενες παραγράφους, μπορούν να προσδιοριστούν σημαντικά στοιχεία της ευστάθειας του πλοίου, μεταξύ των οποίων είναι τα παρακάτω:

α. Ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς \mathbf{GZ} σε κάθε γωνία εγκάρσιας κλίσεως

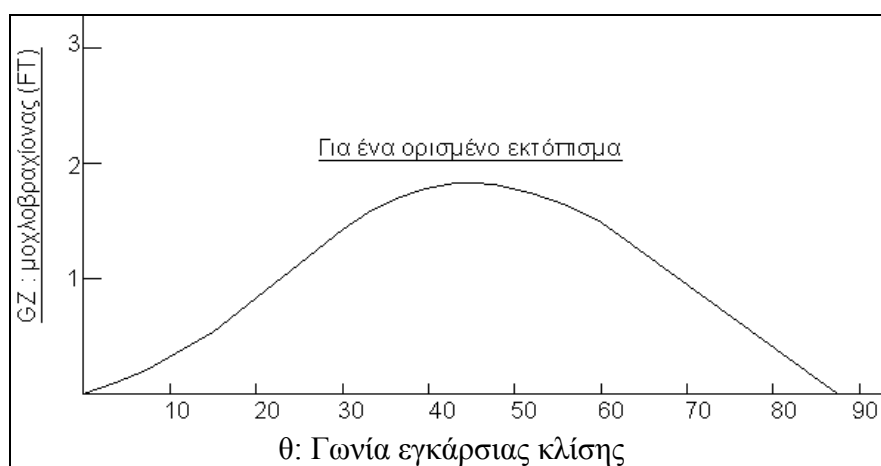
β. Το αρχικό μετακεντρικό ύψος \mathbf{GM} .

γ. Η γωνία στην οποία αντιστοιχεί η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα μεταφοράς.

δ. Η περιοχή ευστάθειας, δηλ. η περιοχή των γωνιών εγκάρσιας κλίσεως τις οποίες μπορεί να λάβει το πλοίο, ΔE ή AP , από την θέση ισορροπίας του, ενώ εξακολουθεί να παραμένει στατικώς ευσταθές.

Βασικές καμπύλες ευστάθειας

Πάντως, βάσει των αποτελεσμάτων των παραπάνω υπολογισμών συντάσσονται καμπύλες, η κάθε μία από τις οποίες δίνει την τιμή του μοχλοβραχίονα GZ δηλαδή την κάθετη απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους και της κατακόρυφου επί της οποίας ενεργεί η άντωση, συναρτήσεως του εκτοπίσματος για μια ορισμένη γωνία κλίσεως. Οι καμπύλες αυτές καλούνται Βασικές Καμπύλες Ευστάθειας (Cross Curves of Stability).

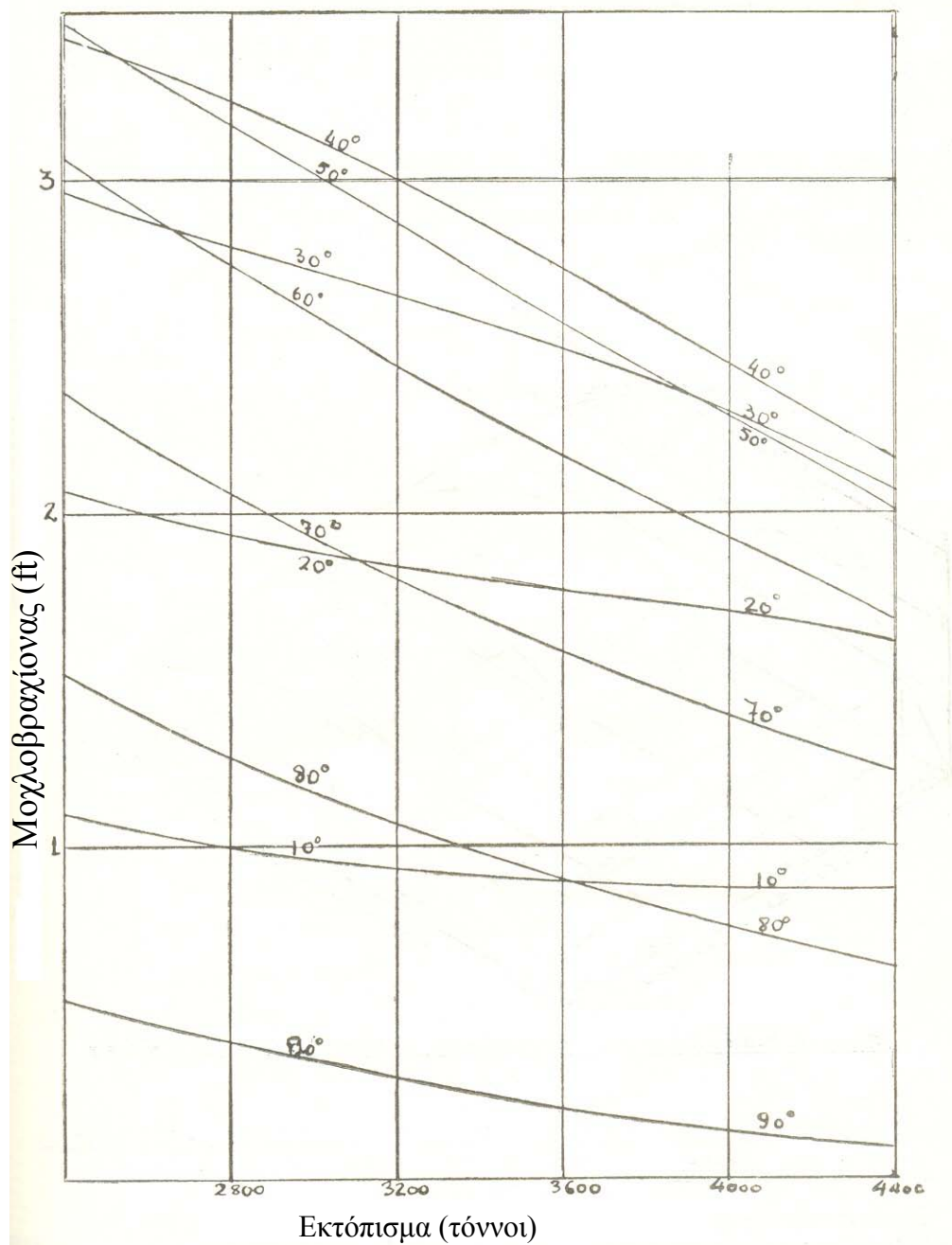


Σχήμα 3-6 Καμπύλη στατικής ευστάθειας

Οι βασικές καμπύλες ευστάθειας προσδιορίζονται κατά τα αρχικά στάδια υπολογισμού του πλοίου, διότι έχει πρωταρχική σημασία να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά στοιχεία ευστάθειας του πλοίου πριν αρχίσει η κατασκευή του, ώστε να μπορούν εγκαίρως τα στοιχεία αυτά να βελτιωθούν εφ' όσον υφίσταται ανάγκη.

Επειδή όμως στα αρχικά στάδια του υπολογισμού του πλοίου δεν είναι γνωστή η ακριβής θέση του κέντρου βάρους του πλοίου, κατά τον υπολογισμό των βασικών καμπυλών ευστάθειας η θέση του κέντρου βάρους λαμβάνεται κατά προσέγγιση και στη συνέχεια, όταν η θέση του κέντρου βάρους γίνει γνωστή με

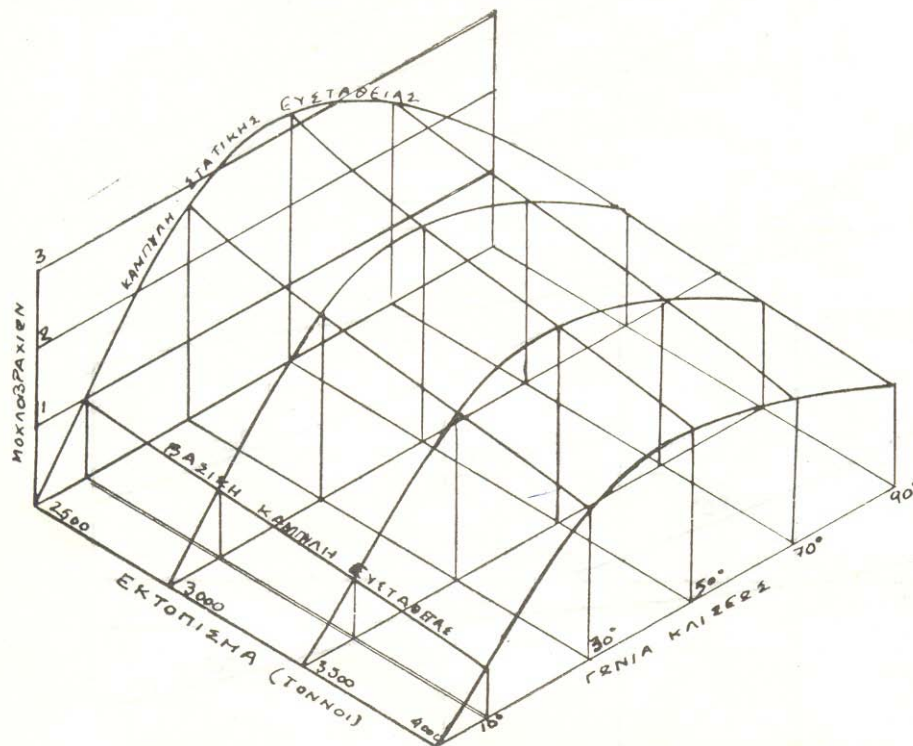
μεγαλύτερη ακρίβεια, γίνονται οι σχετικές διορθώσεις όπως εξηγείται στις παρακάτω παραγράφους.



Σχήμα 3-7 Βασικές καμπύλες ευσταθείας

Καμπύλες στατικής ευστάθειας

Αν οι βασικές καμπύλες ευστάθειας παρουσιαστούν σε 3 διαστάσεις με άξονες το εκτόπισμα, τους μοχλοβραχίονες επαναφοράς και τις γωνίες κλίσεως, θα σχηματισθεί το σχήμα 3-8



Σχήμα 3-8 Βασικές καμπύλες, καμπύλες ευστάθειας

α. Διόρθωση για την κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους

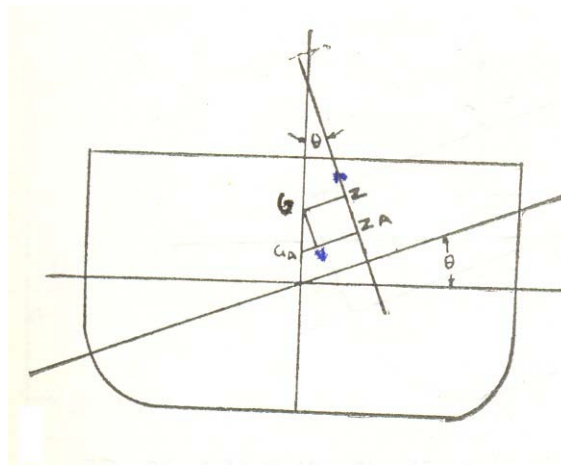
Μετά τον ακριβή προσδιορισμό της θέσεως του κέντρου βάρους για τις συνήθεις καταστάσεις φόρτου του πλοίου, ακολουθεί ο υπολογισμός των τελικών καμπυλών ευστάθειας για τις παραπάνω καταστάσεις φόρτου. Ο υπολογισμός αυτός προϋποθέτει μια διόρθωση των αρχικών καμπυλών ευστάθειας λόγω της αποστάσεως μεταξύ της πραγματικής και της υποτιθέμενης θέσεως του κέντρου βάρους.

Έτσι στο σχήμα 3-10, G_A είναι η υποτιθέμενη θέση και G η πραγματική θέση του κέντρου βάρους για μια ορισμένη κατάσταση φόρτου.



Σχήμα 3-9 Καμπύλη στατικής ευστάθειας

Η ευθεία GG_A είναι κατακόρυφος.

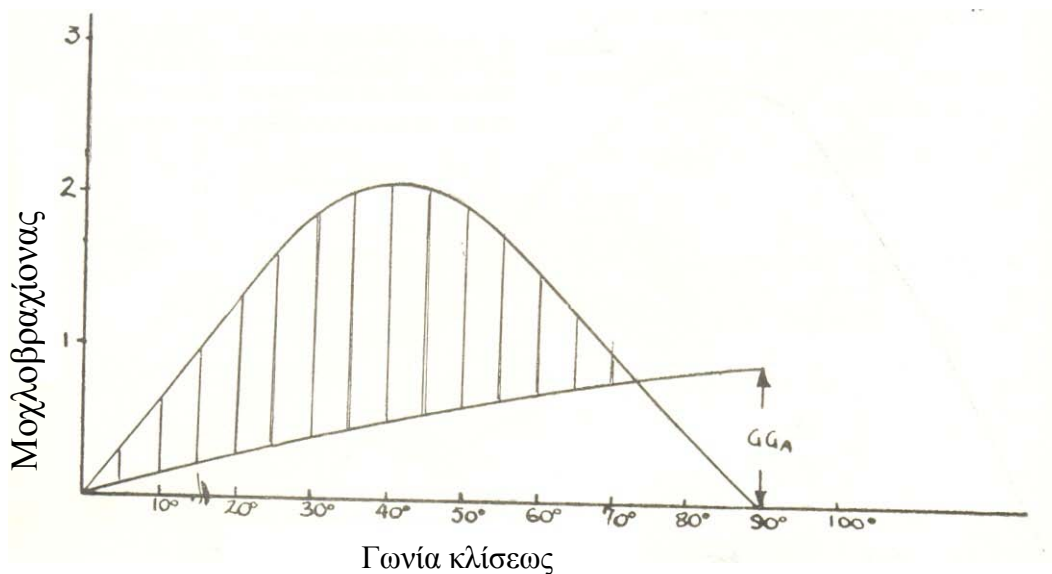


Σχήμα 3-10 Μετακίνηση του CG

Όταν το πλοίο υποστεί μια ορισμένη εγκάρσια κλίση κατά γωνία θ , ο πραγματικός μοχλοβραχίονας επαναφοράς θα είναι:

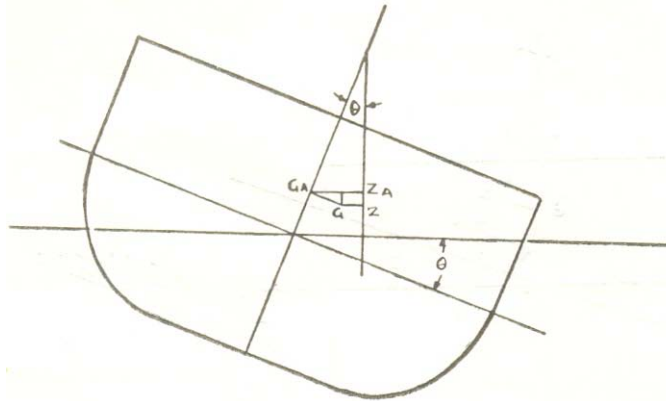
$$GZ = G_A \cdot Z_A - (G_A G) \cdot \sin\theta$$

Κατά παρόμοιο τρόπο, ο τυχόν μοχλοβραχίονας επαναφοράς της τελικής καμπύλης ευστάθειας (GZ) είναι ίσος με τον μοχλοβραχίονα της αρχικής ευστάθειας ($G_A Z_A$) ελαττούμενο κατά την απόσταση μεταξύ του υποτιθέμενου και του πραγματικού κέντρου βάρους, πολλαπλασιαζόμενη επί το ημίτονο της αντίστοιχης κλίσεως ($GG_A \cdot \sin\theta$).



Σχήμα 3-11 Διόρθωση λόγω μετακίνησης του CG

Αν η πραγματική θέση του κέντρου βάρους G είναι πιο κάτω από την υποτιθέμενη θέση G_A , η διόρθωση $GG_A \sin \theta$ είναι προσθετική.



Σχήμα 3-12 Οριζόντια μετακίνηση του CG

Η διόρθωση $GG_A \sin \theta$ μπορεί να χαραχθεί ως μια καμπύλη ημιτόνου στο διάγραμμα της αρχικής καμπύλης ευστάθειας υπό την ίδια κλίμακα (σχήμα 3-11)

Η διαφορά μεταξύ των τεταγμένων της αρχικής καμπύλης ευστάθειας και των τεταγμένων της ημιτονικής καμπύλης $GG_A \sin \theta$ δίνει τις τεταγμένες της τελικής καμπύλης ευστάθειας.

Έτσι το σκιασμένο τμήμα του σχήματος 3-11 παριστά την τελική καμπύλη ευστάθειας μετά την διόρθωση λόγω της θέσεως του κέντρου βάρους.

Κατά τον ίδιο τρόπο μπορεί να προσδιορισθεί η επίδραση οποιασδήποτε κατακόρυφης μετακίνησης του κέντρου βάρους του πλοίου επί της καμπύλης ευστάθειάς του.

β.- Διόρθωση για την οριζόντια θέση του κέντρου βάρους.

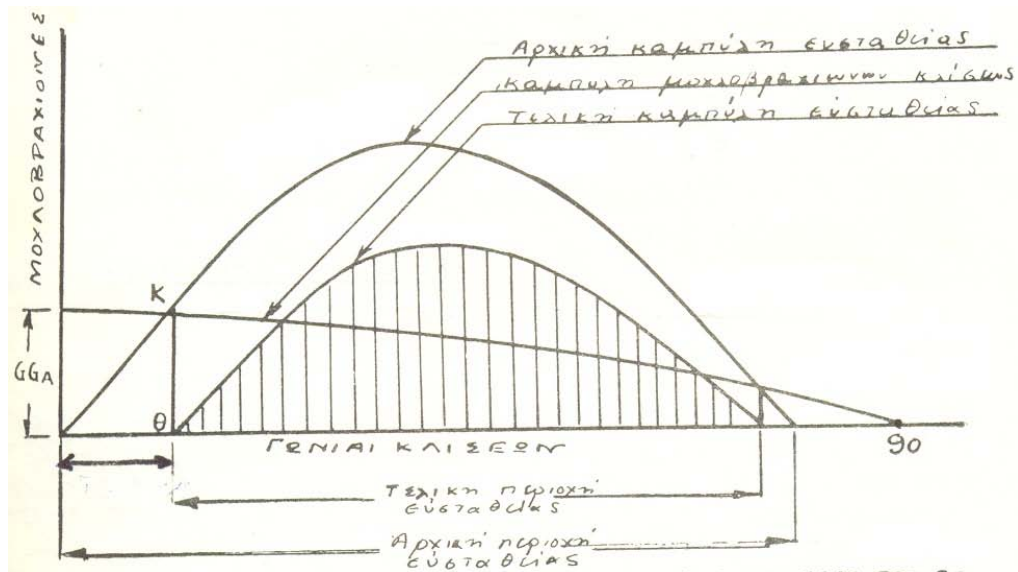
Παρομοίως εκτελείται και η διόρθωση των καμπυλών ευστάθειας λόγω οριζόντιας μετακίνησης του κέντρου βάρους, η οποία μπορεί να προκληθεί λόγω οριζόντιας μετακίνησης διαφόρων βαρών εντός του πλοίου.

Έτσι, στο σχήμα 3-12, G_A είναι η αρχική και G η τελική θέση του κέντρου βάρους.

Η ευθεία GG_A είναι κάθετος προς διάμηκες επίπεδο συμμετρίας.

Όταν το πλοίο υποστεί μια ορισμένη εγκάρσια κλίση κατά γωνία θ ο νέος μοχλοβραχίονας επαναφοράς θα είναι:

$$GZ = G_A \cdot Z_A - (GG_A) \cdot \cos \theta$$



Σχήμα 3-13 Διόρθωση λόγω οριζόντιας μετακίνησης του CG

Έτσι ο μοχλοβραχίονας (**GZ**) επαναφοράς της νέας καμπύλης ευθείας η οποία προκύπτει λόγω της οριζόντιας μετακινήσεως του κέντρου βάρους, ισούται με τον αντίστοιχο μοχλοβραχίονα $G_A Z_A$ της αρχικής καμπύλης ευστάθειας ελαττούμενον κατά την απόσταση μεταξύ της αρχικής και τελικής θέσεως του κέντρου βάρους πολλαπλασιαζόμενου επί το συνημίτονο της αντίστοιχης γωνίας κλίσεως ($GG_A \cos\theta$).

Η διόρθωση $GG_A \cos\theta$ μπορεί να χαραχθεί ως μια καμπύλη συνημίτονου στο διάγραμμα της αρχικής καμπύλης ευστάθειας και υπό την ίδια κλίμακα (σχήμα 3-13)

Η διαφορά μεταξύ των τεταγμένων της αρχικής καμπύλης και των τεταγμένων της συνημιτονικής καμπύλης $GG_A \cos\theta$ η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως καμπύλη μοχλοβραχιόνων εγκάρσιας κλίσεως, δίνει τις τεταγμένες της τελικής καμπύλης ευστάθειας.

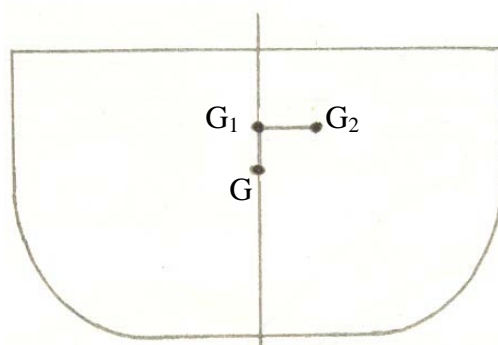
Από το σχήμα 3-13 παρατηρείται ότι στο σημείο **K** το οποίο αντιστοιχεί στην γωνία θ , η τεταγμένη της αρχικής καμπύλης ευστάθειας (δηλαδή το αντίστοιχο **GZ**) είναι ίση με την τεταγμένη της καμπύλης των μοχλοβραχιόνων εγκάρσιας κλίσεως ($GG_A \cos\theta$). Σε αυτή την γωνία κλίσεως, το πλοίο ισορροπεί καθ' ότι η ροπή επαναφοράς $W \cdot GZ$ είναι ίση με την ροπή κλίσεως $W \cdot GG_A \cdot \cos\theta$.

Έτσι, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3-13 παρατηρείται ότι στο σημείο **K** το οποίο αντιστοιχεί στην γωνία θ , η τεταγμένη της αρχικής καμπύλης ευστάθειας (δηλαδή το αντίστοιχο **GZ**) είναι ίση με την τεταγμένη της καμπύλης των μοχλοβραχιόνων επαναφοράς. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι οριζόντια μετακίνηση βαρών έχει δυσμενή μετάθεση στην ολική ευστάθεια του πλοίου.

γ.- Επιρροή τυχούσας μετακινήσεως του κέντρου βάρους επί των καμπυλών ευστάθειας.

Η οποιαδήποτε μετακίνηση του κέντρου βάρους ενός πλοίου μπορεί να θεωρηθεί ως μια κατακόρυφος και στη συνέχεια μια οριζόντια μετακίνηση του από την αρχική στην τελική θέση του.

Έτσι στο σχήμα 3-14, η μετακίνηση του κέντρου βάρους από την αρχική θέση G στην τελική θέση G_2 , θεωρείται ότι αποτελείται από την κατακόρυφη μετακίνηση GG_1 και από την οριζόντια μετακίνηση G_1G_2 .



Σχήμα 3-14 Μετακίνηση του GG

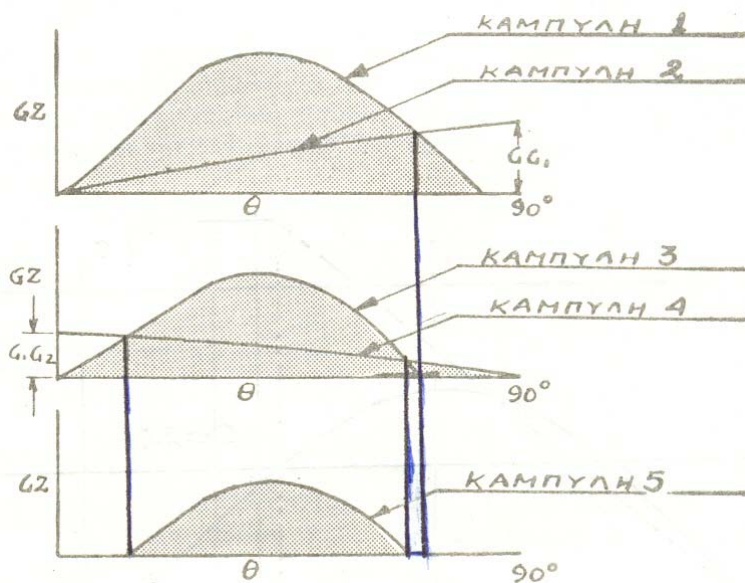
Βάσει των όσων ανεπτύχθησαν παραπάνω, η κατακόρυφη μετακίνηση GG_1 προξενεί μείωση (εφ' όσον το νέο κέντρο βάρους βρίσκεται σε υψηλότερη θέση αναφορικά με την τρόπιδα) των τεταγμένων των καμπυλών ευστάθειας (δηλαδή των μοχλοβραχιόνων επαναφοράς) κατά $GG_1 \sin \theta$.

Επιπλέον, οι τεταγμένες της νέας καμπύλης ευστάθειας η οποία προκύπτει από την αρχική κατόπιν αφαιρέσεως του $GG_1 \sin \theta$ λόγω της κατακόρυφου μετακινήσεως, μειώνονται κατά G_1G_2 λόγω της οριζόντιας μετακινήσεως του κέντρου βάρους.

Στο σχήμα 3-15 φαίνονται οι διαδοχικές φάσεις της μεταβολής των καμπυλών ευστάθειας λόγω της μετακινήσεως του κέντρου βάρους.

Καμπύλη 1: Αρχική καμπύλη ευστάθειας που αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο εκτόπισμα W και σε μια θέση του κέντρου βάρους G .

Καμπύλη 2: Ημιτονική καμπύλη διορθώσεως λόγω της κατακόρυφου μετακινήσεως του κέντρου βάρους από την θέση G στην θέση G_1 .



Σχήμα 3-15 Μετακίνηση του CG

Καμπύλη 3: Καμπύλη ευστάθειας αντιστοιχούσα στο ίδιο εκτόπισμα W όπως και η καμπύλη 1 αλλά στην θέση του κέντρου βάρους G_1 . Η καμπύλη 3 προκύπτει δι' αφαιρέσεως των τεταγμένων της καμπύλης 2 εκ των τεταγμένων της καμπύλης 1.

Καμπύλη 4: Συνημιτονική καμπύλη διορθώσεως λόγω της οριζόντιας μετακινήσεως του κέντρου βάρους από την θέση G_1 στην θέση G_2 .

Καμπύλη 5: Καμπύλη ευστάθειας η οποία αντιστοιχεί στο ίδιο εκτόπισμα W όπως και η καμπύλη 1 αλλά σε θέση του κέντρου βάρους G_2 . Η καμπύλη 5 προκύπτει δι' αφαιρέσεως των τεταγμένων της καμπύλης 4 εκ των τεταγμένων της καμπύλης 3.

Προσδιορισμός του αρχικού μετακεντρικού ύψους από τις καμπύλες ευστάθειας.

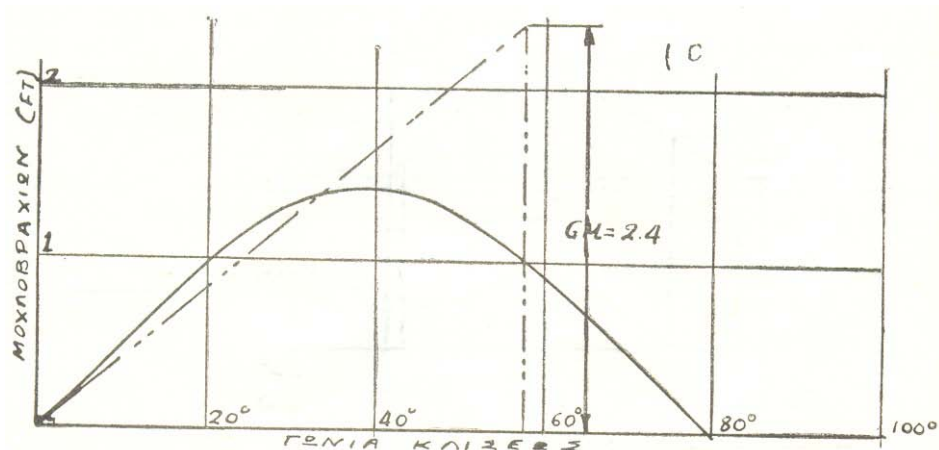
Προηγουμένως αναφέραμε ότι $GZ = GM \cdot \sin\theta$. Για μικρές γωνίες κλίσεως έχουμε ότι $\sin\theta \approx \theta$ και ως εκ τούτου η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\underline{GZ = ZM \cdot \theta \text{ ή } GZ/\theta = GM/I}$$

Η σχέση GZ/θ παριστά την κλίση της καμπύλης ευστάθειας και ως εκ τούτου αν στην γωνία $\theta = 57,3^\circ$ (1 ακτίνιο) φέρουμε κάθετο και στη συνέχεια φέρουμε την εφαπτομένη της καμπύλης ευστάθειας στην αρχή των αξόνων, το ύψος της τομής της καθέτου μετά της εφαπτομένης δίνει την τιμή του αρχικού μετακεντρικού ύψους μετρούμενο στην κλίμακα των μοχλοβραχιόνων μεταφοράς (σχήμα 3-16)

Όταν όμως το κέντρο βάρους του πλοίου δεν βρίσκεται επί του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας, το GM δεν μπορεί να βρεθεί από την κλίση της εφαπτομένης

στην αρχή των αξόνων της καμπύλης ευστάθειας η οποία έχει διορθωθεί λόγω της οριζόντιας μετακινήσεως του κέντρου βάρους. Στην περίπτωση αυτή, λόγω του γεγονότος ότι το **GM** παραμένει αμετάβλητο λόγω της οριζόντιας μετακινήσεως του κέντρου βάρους, ο γραφικός προσδιορισμός του **GM** μπορεί να γίνει από την καμπύλη ευστάθειας πριν την διόρθωση της λόγω της οριζόντιας μετακινήσεως του κέντρου βάρους.



Σχήμα 3-16 Προσδιορισμός του **GM**

Έτσι αν η καμπύλη 5 του σχήματος 3-15, είναι η καμπύλη ευστάθειας ενός πλοίου, το **GM** του πλοίου αυτού πρέπει να προσδιορισθεί γραφικώς όχι από την καμπύλη 5 αλλά από την καμπύλη 3.

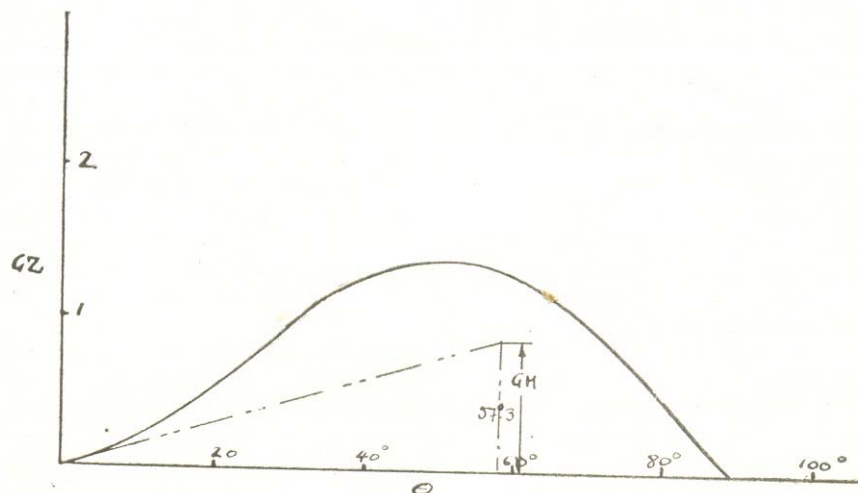
Εγκάρσια κλίση λόγω αρνητικού **GM**.

Το σχήμα 3-17 παριστά την καμπύλη ευστάθειας ενός πλοίου με μικρό **GM**.

Η εφαπτομένη της καμπύλης στην αρχή των αξόνων βρίσκεται κάτωθεν της καμπύλης ευστάθειας, ακριβώς λόγω του μικρού **GM**. Οι μοχλοβραχίονες επαναφοράς έχουν μικρή τιμή σε μικρές γωνίες κλίσεως ενώ αυξάνονται γρήγορα για μεγαλύτερες γωνίες κλίσεως.

Αν τώρα στο πλοίο λάβει χώρα κατακόρυφη μετακίνηση βαρών, το κέντρο βάρους θα μετακινηθεί κατακόρυφα κατ' απόσταση GG_1 οπότε η καμπύλη ευστάθειας θα πρέπει να διορθωθεί κατά $GG_1 \sin \theta$. Αν η καμπύλη ευστάθειας και η καμπύλη $GG_1 \sin \theta$ τμηθούν σε ένα σημείο **K** το οποίο αντιστοιχεί σε γωνία θ στην ΔE πλευρά, το πλοίο μπορεί να κλίνει στην γωνία αυτή (σχήμα 3-18). Παρομοίως, αν θεωρήσουμε το διάγραμμα ευσταθείας του πλοίου για την άλλη πλευρά του, αυτό λόγω συμμετρίας θα είναι παρόμοιο προς το προηγούμενο η δε καμπύλη $GG_1 \sin \theta$ θα τμήσει την καμπύλη ευσταθείας σε ένα σημείο **L** το οποίο αντιστοιχεί σε γωνία θ

στην **ΑΡ** πλευρά η οποία είναι ίση λόγω συμμετρίας με την γωνία θ της **ΔΕ** πλευράς. Το πλοίο είναι επομένως δυνατόν να κλίνει προς την γωνία αυτή.

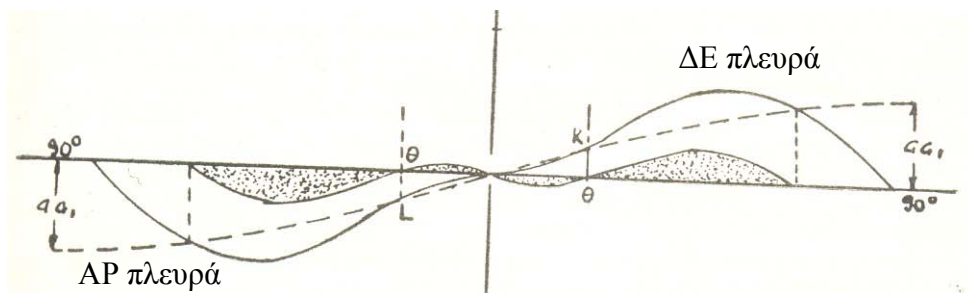


Σχήμα 3-17

Όταν το πλοίο βρεθεί σε τέτοια κατάσταση είναι ασταθές στην κατακόρυφη θέση του, λόγω του αρνητικού **GM** όπως φαίνεται και στο σχήμα 3-18 και ως εκ τούτου κλίνει αδιάφορα στην **ΔΕ** ή **ΑΡ** πλευρά του μέχρι της γωνίας θ η οποία και ονομάζεται γωνία αναπαύσεως.

Η προτίμηση του πλοίου για κλίση μέχρι την γωνία αναπαύσεως στην **ΔΕ** ή **ΑΡ** πλευρά εξαρτάται από την φορά της ροπής η οποία το εκτρέπει από την ασταθή κατακόρυφη θέση του, π.χ όταν το πλοίο έχει αρνητικό **GM** και διάγραμμα ευσταθείας παρόμοιο προς το σχήμα 3-18 είναι δυνατόν να κλίνει προς την **ΑΡ** πλευρά του όταν μικρός αριθμός ανδρών μετακινηθεί εγκαρσίως από την **ΔΕ** στην **ΑΡ** πλευρά, ή ακόμα λόγω του ανέμου εφ' όσον η **ΔΕ** πλευρά είναι η προσήνεμος πλευρά. Αυτή η κατάσταση ευστάθειας για ένα πολεμικό πλοίο είναι επικίνδυνη, καθώς όπως φαίνεται και από το σχήμα 3-18, το πλοίο όχι μόνο έχει αποκτήσει εγκάρσια κλίση, αλλά και οι μοχλοβραχίονες ευστάθειας και η περιοχή ευστάθειας έχουν μειωθεί σημαντικά.

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ληφθούν άμεσα και δραστικά μέτρα π.χ μετακίνηση βαρών με τρόπο ώστε το κέντρο βάρους να μετακινηθεί πλησιέστερα προς την τρόπιδα ή και ερματισμός του πλοίου.



Σχήμα 3-18 Κλίση λόγω αρνητικού GM

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι γενικά, εγκάρσια κλίση του πλοίου μπορεί να οφείλεται σε εγκάρσια μετακίνηση βαρών ή εφ' όσον αυτή η μετακίνηση δεν έχει λάβει χώρα, στην ύπαρξη αρνητικού **GM**.

Ανακεφαλαίωση

Η ευστάθεια ενός πλοίου καθορίζεται από το μέγεθος του αρχικού μετακεντρικού ύψους **GM** και του σχήματος του διαγράμματος της ευστάθειας.

Παρ' όλο του ότι οι δύο αυτοί παράγοντες είναι αλληλένδετοι, απλή θεώρηση μόνο του μετακεντρικού ύψους δεν επαρκεί για την μελέτη της ευστάθειας.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η ικανοποιητική ευστάθεια απαιτεί επαρκές μετακεντρικό ύψος σε συνδυασμό με ικανοποιητική τιμή του μέγιστου μοχλοβραχίονα επαναφοράς και με επαρκή περιοχή ευστάθειας.

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία της ευστάθειας ενός πλοίου προσδιορίζονται βασικά από το σχήμα του πλοίου και από την θέση του κέντρου βάρους και επομένως η ευστάθεια του πλοίου καθορίζεται κατά την μελέτη και τον υπολογισμό αυτού, οπότε λαμβανομένης υπ' όψιν της αποστολής του πλοίου καταβάλλεται κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε να συμβιβασθούν οι αλληλοσυγκρουόμενες απαιτήσεις.

Π.χ το μετακεντρικό ύψος δεν μπορεί να έχει υψηλή τιμή γιατί ακόμη και αν κάτι τέτοιο είναι ευνοϊκό για την ευστάθεια, είναι δυσμενές για την συμπεριφορά του πλοίου σε κυματισμό λόγω των βίαιων κινήσεων οι οποίες προκαλούνται λόγω της υψηλής τιμής του μετακεντρικού ύψους.

Επίσης, το μεγάλο πλάτος του πλοίου, ενώ είναι ευνοϊκό για την ευστάθεια είναι δυσμενές για την αντίσταση στην πρόωση, πράγμα το οποίο επηρεάζει αμέσως βασικούς παράγοντες όπως είναι η ταχύτητα και η ακτίνα ενέργειας.

Έτσι, αν δεχθούμε μεγάλο πλάτος για βελτίωση της ευστάθειας, η αντίσταση προώσεως του πλοίου θα αυξηθεί οπότε για την διατήρηση μιας ορισμένης

ταχύτητας, η εγκατάσταση προώσεως του πλοίου πρέπει να έχει μεγαλύτερη ισχύ και επομένως μεγαλύτερο βάρος και όγκο, πράγμα το οποίο σε τελευταία ανάλυση θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του οπλισμού τον οποίο μπορεί να φέρει το πλοίο.

Οι χειριστές των πλοίων βεβαίως δεν είναι αρμόδιοι για την επίλυση των γενικών αυτών θεμάτων ευστάθειας, εν τούτοις όμως είναι υπεύθυνοι για την τήρηση της ευστάθειας των πλοίων εντός των ορίων τα οποία οι κατασκευαστές θεωρούν ως ανεκτά.

Προς αυτό, είναι απαραίτητο για τον χειριστή του πλοίου να γνωρίζει με κάθε λεπτομέρεια τα αποτελέσματα τα οποία έχει επί της ευστάθειας η αυξομείωση των βαρών του πλοίου, για να μπορέσει να αντιμετωπίσει επιτυχώς την περίπτωση βλάβης η οποία έχει ως αποτέλεσμα την είσοδο υδάτων εντός του πλοίου.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι V Η ευστάθεια στην πράξη

Αποτελέσματα προσθαφαιρέσεως βαρών επί της ευστάθειας

Γενικά

Ο χειριστής του πλοίου πρέπει να γνωρίζει πάντοτε τα αποτελέσματα τα οποία έχει η προσθαφαίρεση βαρών στην ευστάθεια του πλοίου του.

Στα εμπορικά πλοία οι μεταβολές του φορτίου είναι κατ' ανάγκη μεγάλες εν τούτοις όμως το πρόβλημα της ευστάθειας δεν είναι τόσο κρίσιμο όσο στα πολεμικά πλοία, παρ' ότι στα τελευταία οι μεταβολές του φορτίου είναι σχετικά μικρές.

Πράγματι τα εμπορικά πλοία υπολογίζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι χώροι του φορτίου να περιορίζουν την μετακίνηση του κέντρου βάρους εντός ορισμένων ορίων. Εφ' όσον δεν γίνεται υπέρβαση των ορίων αυτών, το πλοίο έχει ικανοποιητική ευστάθεια για όλες τις συνήθεις καταστάσεις φορτίου του.

Αντιθέτως ένα πολεμικό πλοίο δεν μπορεί να μεταφέρει ούτε και έχει χώρο για επιπρόσθετα φορτία. Εν τούτοις κατά την διάρκεια της ζωής των πολεμικών πλοίων, οι μεταβολές του οπλισμού τους, η εξέλιξη των ηλεκτρονικών συσκευών και η διαφοροποίηση των επιχειρησιακών απαιτήσεων, οδηγούν στην ανάγκη εξευρέσεως χώρου για την εγκατάσταση του απαραίτητου επιπρόσθετου εξοπλισμού. Δεδομένου όμως ότι στο κύριο κατάστρωμα σπανίως υπάρχει διαθέσιμος χώρος, ο επιπρόσθετος εξοπλισμός εγκαθίσταται συνήθως άνωθεν του κυρίως καταστρώματος, με αποτέλεσμα την ανύψωση του κέντρου βάρους και την ελάττωση της ευστάθειας του πλοίου. Εξ' άλλου η αφαίρεση βαρών, παρ' ότι θεωρείται ότι έχει λιγότερο σοβαρά αποτελέσματα επί της ευστάθειας, πρέπει να παρακολουθείται με προσοχή.

Στα πολεμικά πλοία, η πλέον συνήθης περίπτωση αφαιρέσεως βαρών είναι η κατανάλωση καυσίμων.

Επειδή οι δεξαμενές καυσίμων βρίσκονται κάτω από το κέντρο βάρους η κατανάλωση καυσίμων έχει τα ίδια αποτελέσματα επί της ευστάθειας όπως και η πρόσθεση βαρών άνωθεν του κέντρου βάρους.

Συνδυασμός αφαιρέσεως βαρών κάτω από το κέντρο βάρους του πλοίου και προσθέσεως βαρών άνωθεν του κέντρου βάρους έχει αρκετή δυσμενή επιρροή επί της ευστάθειας ενός πολεμικού πλοίου.

Παρακάτω εξετάζονται λεπτομερώς τα αποτελέσματα της προσθέσεως και αφαιρέσεως βαρών επί της ευστάθειας.

Πρόσθεση Βάρους

Τα αποτελέσματα της προσθέσεως ενός βάρους επί όλων εκείνων των στοιχείων τα οποία επηρεάζουν την ευστάθεια του πλοίου έχουν διαδοχικά ως εξής:

(1). Αύξηση εκτόπισματος και μέσου βυθίσματος : Η πρόσθεση του βάρους επιφέρει την αύξηση του εκτόπισματος του πλοίου με τέτοιο τρόπο ώστε το τελικό εκτόπισμα να είναι ίσο με το αρχικό εκτόπισμα συν το προστιθέμενο βάρος.

Το νέο εκτόπισμα του πλοίου αντιστοιχεί και στο αυξημένο μέσο βύθισμα.

Η τιμή του νέου μέσου βυθίσματος μπορεί να προσδιορισθεί από το υδροστατικό διάγραμμα του πλοίου.

Το νέο μέσο βύθισμα μπορεί να υπολογισθεί και από την σχέση:

$$\mathbf{Dm}_1 = \mathbf{Dm} + \delta\mathbf{Dm} = \mathbf{Dm} + \frac{\omega}{\mathbf{T}} \quad (4.1)$$

όπου:

\mathbf{Dm} = αρχικό μέσο βύθισμα

\mathbf{Dm}_1 = τελικό μέσο βύθισμα

$\delta\mathbf{Dm}$ = αύξηση του νέου μέσου βυθίσματος λόγω της προσθέσεως βάρους

ω = πρόσθετο βάρος

\mathbf{T} = τόννοι ανά δάκτυλο βυθίσεως

(2). Κατακόρυφη μετακίνηση του κέντρου βάρους: Η νέα κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου μπορεί να υπολογισθεί από την σχέση:

$$\mathbf{W}_1 \cdot \mathbf{KG}_1 = \mathbf{W} \cdot \mathbf{KG} + \omega \cdot \mathbf{Kg} \quad (4.2)$$

όπου:

\mathbf{W} = αρχικό εκτόπισμα

ω = πρόσθετο βάρος

\mathbf{W}_1 = $\mathbf{W} + \omega$ = εκτόπισμα τελικό

\mathbf{G} = αρχική θέση του κέντρου βάρους

\mathbf{G}_1 = τελική θέση κέντρου βάρους

\mathbf{g} = θέση κέντρου βάρους του ω

\mathbf{K} = σημείο τομής της τρόπιδας και της κατακόρυφου η οποία διέρχεται από τα σημεία \mathbf{G} και \mathbf{G}_1 .

Η σχέση 4.2 αποδεικνύεται εύκολα λαμβάνοντας τις ροπές ως προς το σημείο \mathbf{K} .

(4). Κατακόρυφη μετακίνηση του μετακέντρου: Η νέα κατακόρυφη θέση του μετακέντρου μπορεί να βρεθεί από το υδροστατικό διάγραμμα βάσει του τελικού εκτοπίσματος ή του νέου μέσου βυθίσματος.

Η νέα θέση του μετακέντρου μπορεί να προσδιορισθεί και υπολογιστικά από την σχέση:

$$\mathbf{B}_1\mathbf{M}_1 = \frac{\mathbf{I}_1}{\mathbf{V} + \mathbf{U}} = \frac{\mathbf{I}_1}{\mathbf{V}_1} \quad (4.5)$$

Προ της προσθέσεως του βάρους η θέση του μετακέντρου δινόταν από την σχέση $\mathbf{BM} = \frac{\mathbf{I}}{\mathbf{V}}$.

Αν πρόκειται για μικρή πρόσθεση βάρους η νέα ίσαλος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι όμοια με την παλαιά και επομένως $\mathbf{I} = \mathbf{I}_1$ και επομένως η σχέση (4.5) γίνεται:

$$\mathbf{B}_1\mathbf{M}_1 = \mathbf{BM} \cdot \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{V}_1} = \mathbf{BM} \cdot \frac{\mathbf{W}}{\mathbf{W}_1} \quad (4.6)$$

όπου

\mathbf{B} και \mathbf{B}_1 όπως παραπάνω

\mathbf{I} = Ροπή αδρανείας αρχικής ισάλου

\mathbf{I}_1 = Ροπή αδρανείας τελικής ισάλου

\mathbf{M} = Αρχική θέση μετακέντρου

\mathbf{M}_1 = Τελική θέση μετακέντρου

\mathbf{V} = Αρχικός όγκος εκτοπίσματος

\mathbf{V}_1 = Τελικός όγκος εκτοπίσματος

\mathbf{u} = $\mathbf{V} - \mathbf{V}_1$

(5). Νέα τιμή του μετακεντρικού ύψους : από την σχέση:

$$\mathbf{G}_1\mathbf{M}_1 = \mathbf{KB}_1 + \mathbf{B}_1\mathbf{M}_1 - \mathbf{KG}_1 \quad (4.7)$$

(6). Μεταβολή των βυθισμάτων: Η μεταβολή των βυθισμάτων του πλοίου μπορεί να βρεθεί υπολογιστικά βάσει των δεδομένων του υδροστατικού διαγράμματος.

Προς κατανόηση των σχετικών υπολογισμών η πρόσθεση βάρους υποτίθεται ότι εκτελείται σε δύο φάσεις:

α. Το βάρος προστίθεται στο κέντρο πλευστότητας.

β. Στη συνέχεια το βάρος μετακινείται από το κέντρο πλευστότητας στην τελική του θέση.

Η πρόσθεση του βάρους στο κέντρο πλευστότητας στην τελική του θέση προκαλεί παράλληλη αύξηση των βυθισμάτων κατά $\delta D = \omega/T$, όπου δD , ω , T όπως στην σχέση (4.1).

Στη συνέχεια η μετακίνηση του βάρους από το κέντρο πλευστότητας στην τελική του θέση κατά απόσταση θα προκαλέσει διαγωγή η οποία δίνεται από την σχέση:

$$t = \frac{\omega \cdot l}{c}$$

όπου

t = η διαγωγή σε δάκτυλα

και C = η ροπή μεταβολής διαγωγής κατά 1 δάκτυλο από τον τύπο (3.10).

Από το σχήμα 4-2 φαίνεται ό t η διαγωγή θα επιφέρει αύξηση το υ ΠΡ βυθίσματος του πλοίου (εφ' όσον η τελική θέση του βάρους βρίσκεται ΠΡ του κέντρου πλευστότητας κατά:

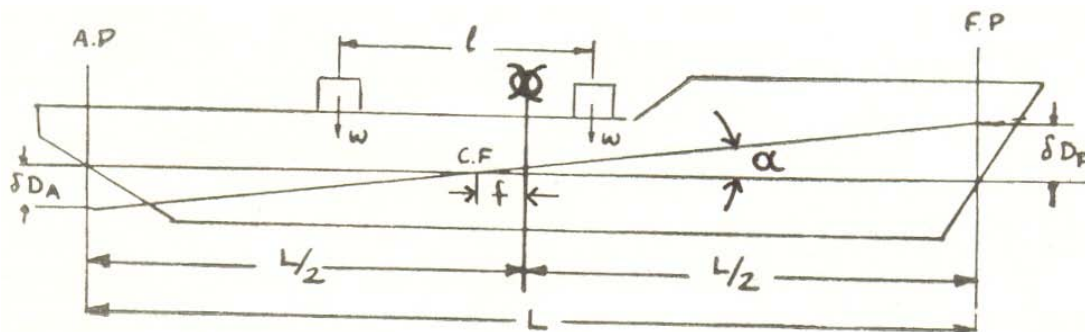
$$\delta D_f = \frac{\frac{L}{2} + f}{L} \cdot t = \left(\frac{L}{2} + \frac{f}{L} \right) \cdot \frac{\omega \cdot l}{c} \text{ σε δάκτυλα και ελάττωση του ΠΜ βυθίσματος}$$

κατά:

$$\delta D_a = \frac{\frac{L}{2} - f}{L} \cdot t = \left(\frac{L}{2} - \frac{f}{L} \right) \cdot \frac{\omega \cdot l}{c} \text{ σε δάκτυλα.}$$

Τελικά τα νέα βυθίσματα του πλοίου μετά την πρόσθεση του βάρους θα έχουν ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{Πρωαίο βύθισμα : } D_F &= D_F + \delta D_m + \delta D_f \\ &= D_f + \omega/T + [L/2 + f/L] \cdot (\omega l/c) \end{aligned}$$



Σχήμα 4-2 Μεταβολή βυθισμάτων

$$\begin{aligned} \text{Πρυμναίο βύθισμα : } D_A &= D_A + \delta D_m - \delta D_A \\ &= D_A + \omega/T - [L/2 + f/L] \cdot (\omega/c) \end{aligned}$$

όπου δD_F = η αύξηση του πρωραίου βυθίσματος

δD_A = η ελάττωση του πρυμναίου βυθίσματος

L = η απόσταση του κέντρου πλευστότητας από το επίπεδο της μέσης τομής

t = από τον τύπο (4.9)

(7). Εγκάρσια κλίση : Εφ' όσον η τοποθέτηση του βάρους δεν έγινε επί του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας, το πλοίο θα αποκτήσει εγκάρσια κλίση θ η οποία δίνεται από την σχέση:

$$\tan(\theta) = \frac{\omega \cdot d}{W_1 \cdot G_1 M_1}$$

όπου:

ω = το πρόσθετο βάρος

W_1 = τελικό εκτόπισμα

d = κάθετη απόσταση του κέντρου βάρους του ω από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας

$G_1 M_1$ = το μετακεντρικό ύψος της σχέσεως (4.7)

Η σχέση (4.12) αποδεικνύεται κατά τον ίδιο τρόπο όπως και η σχέση (3.6)

(8). Ευστάθεια σε μεγάλες γωνίες κλίσεων: Από τις βασικές καμπύλες ευστάθειας του πλοίου εκλέγεται η καμπύλη ευστάθειας η οποία αντιστοιχεί στο τελικό εκτόπισμα του πλοίου W . Στην καμπύλη αυτή εκτελείται διόρθωση λόγω της αποστάσεως μεταξύ της τελικής θέσεως του κέντρου βάρους του πλοίου η οποία δίνεται από την σχέση (4.2) και της υποτιθέμενης θέσεως του κέντρου βάρους για την οποία υπολογίστηκε αρχικά ως καμπύλη ευστάθειας.

Η νέα καμπύλη ευστάθειας η οποία προκύπτει από την διόρθωση λόγω της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους, τροποποιείται περαιτέρω λόγω της εγκάρσιας (οριζόντιας) μετακινήσεως του κέντρου βάρους.

Οι λεπτομέρειες των διαδοχικών υπολογισμών δόθηκαν στα προηγούμενα.

Αφαίρεση Βάρους

Τα αποτελέσματα της αφαιρέσεως βάρους, σε ότι αφορά την ελάττωση του εκτοπίσματος, την κατακόρυφη μετακίνηση του κέντρου βάρους, την κατακόρυφη μετακίνηση του κέντρου αντώσεως και του μετακέντρου και την μεταβολή των

βυθισμάτων του πλοίου, υπολογίζονται με την ίδια ακριβώς διαδικασία όπως στην περίπτωση προσθέσεως βαρών.

Προκειμένου όμως να προσδιορισθεί η εγκάρσια κλίση λόγω αφαιρέσεως βάρους είναι αναγκαίο να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αιτία της κλίσεως.

Αν υφίσταται εγκάρσια κλίση η οποία οφείλεται αποκλειστικά στο βάρος το οποίο πρόκειται να αφαιρεθεί, η αφαίρεση του βάρους μηδενίζει την εγκάρσια κλίση και επαναφέρει το κέντρο βάρους του πλοίου στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας.

Εν τούτοις στην πράξη, η αφαίρεση βάρους σπάνια προκαλεί την επαναφορά του πλοίου στην κατακόρυφή του θέση αλλά απλώς προκαλεί την μεταβολή της εγκάρσιας κλίσεώς του.

Στην περίπτωση αυτή η τελική εγκάρσια κλίση του πλοίου μετά την αφαίρεση δίνεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} \mathbf{W} \mathbf{GM} \tan\theta - \mathbf{W}_1 \mathbf{G}_1 \mathbf{M}_1 \tan\theta_1 &= \omega \mathbf{d} \quad \text{ή} \\ \tan\theta_1 &= \frac{\mathbf{W} \cdot \mathbf{GM} \cdot \tan\theta - \omega \cdot \mathbf{d}}{\mathbf{W}_1 \cdot \mathbf{G}_1 \mathbf{M}_1} \end{aligned} \quad (4.13)$$

όπου : \mathbf{W} = Αρχικό εκτόπισμα του πλοίου

ω = αφαιρούμενο βάρος

$\mathbf{W}_1 = \mathbf{W} - \omega$ = τελικό εκτόπισμα του πλοίου

\mathbf{GM} = αρχικό μετακεντρικό ύψος

$\mathbf{G}_1 \mathbf{M}_1$ = τελικό μετακεντρικό ύψος μετά την αφαίρεση του βάρους

θ = αρχική εγκάρσια κλίση

θ_1 = τελική εγκάρσια κλίση μετά την αφαίρεση του βάρους

\mathbf{d} = κάθετη απόσταση του κέντρου βάρους του ω εκ του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας

Η σχέση αληθεύει καθ' ότι η ροπή ($\omega \mathbf{d}$) της αφαιρέσεως του βάρους πρέπει να είναι ίση με την διαφορά μεταξύ της αρχικής ($\mathbf{W} \mathbf{GM} \tan\theta$) και της τελικής ($\mathbf{W}_1 \mathbf{GM}_1 \tan\theta_1$) ροπής επαναφοράς του πλοίου.

Η εφαρμογή της σχέσεως (4.13) είναι απεριόριστη με την προϋπόθεση ότι οι γωνίες εγκάρσιας κλίσεως είναι μικρότερες των 10° . Εφ' όσον ένα συγκεκριμένο πρόβλημα αφορά γωνίες εγκάρσιων κλίσεων μεγαλύτερες των 10° , για την λύση του προβλήματος πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι καμπύλες στατικής ευστάθειας ως εξής:

Από τις βασικές καμπύλες ευστάθειας εκλέγεται η καμπύλη η οποία αντιστοιχεί στο τελικό εκτόπισμα \mathbf{W}_1 . Στην καμπύλη αυτή εκτελείται διόρθωση λόγω της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους μετά την αφαίρεση βάρους. Στην

προκύπτουσα νέα καμπύλη ευστάθειας εκτελείται και νέα διόρθωση λόγω της εγκάρσιας μετακινήσεως του κέντρου βάρους κατά $\frac{\omega \cdot d}{W_1}$. Από την τελική καμπύλη ευστάθειας μετά την δεύτερη διόρθωση μπορεί να προσδιορισθούν η τελική εγκάρσια κλίση όπως και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά στοιχεία της ευστάθειας του πλοίου.

Προσάραξη και Δεξαμενισμός

Η προσάραξη ενός πλοίου, όπως και ο δεξαμενισμός του-ο οποίος μπορεί να θεωρηθεί ως μια επιμελώς εκτελούμενη και ελεγχόμενη προσάραξη-από πλευράς ευστάθειας παρουσιάζουν παρόμοια προβλήματα. Βεβαίως η τυχαία προσάραξη ενός πλοίου έχει στην πραγματικότητα τόσες παραλλαγές ώστε σπανίως δύο περιπτώσεις να εμφανίζουν κοινά χαρακτηριστικά.

Παρακάτω θα εξετασθεί η ευστάθεια του πλοίου κατά τον δεξαμενισμό ως μια απλούστερη και ευνοϊκότερη περίπτωση προσαράξεως καθ' ότι το πλοίο επικάθεται ομαλά καθ' όλο το μήκος της τρόπιδας επί στερεού πυθμένα χωρίς διαρροή ή άλλη βλάβη η οποία έχει ως συνέπεια είσοδο υδάτων εντός του πλοίου. Υπό αυτές τις προϋποθέσεις, η ευστάθεια του πλοίου κατά την προσάραξη ή τον δεξαμενισμό, μπορεί να υπολογισθεί όπως και στην περίπτωση αφαιρέσεως βάρους από το πλοίο.

Κατ' αρχήν εξετάζεται η εγκάρσια ευστάθεια του πλοίου κατά την προσάραξη ή τον δεξαμενισμό. Μετά την ελάττωση των βυθισμάτων λόγω πτώσεως της παλίρροιας, στην περίπτωση της προσαράξεως, ή λόγω ανυψώσεως ή εκκενώσεως της δεξαμενής στην περίπτωση του δεξαμενισμού, το πλοίο δεν είναι πλέον ένα ελεύθερα επιπλέον σώμα, καθ' όσον η άντωση ελαττώνεται λόγω μείωσης των βυθισμάτων ενώ το βάρος του πλοίου παραμένει το ίδιο.

Η διαφορά μεταξύ βάρους και αντώσεως είναι μια δύναμη η οποία εφαρμόζεται στην περιοχή της τρόπιδας του πλοίου επί του πυθμένα της θάλασσας ή επί των υποβάθρων της δεξαμενής. Η δύναμη αυτή, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ισοδύναμο βάρος το οποίο αφαιρείται από το πλοίο από το σημείο εφαρμογής της δυνάμεως, με αποτέλεσμα την φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου και την αλλαγή των υπολοίπων στοιχείων της ευστάθειας του όπως αναγράφεται στην σελίδα 54.

Εφ' όσον συνεχίζεται η μείωση των βυθισμάτων, συνεχίζεται και η φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου, οπότε θα έρθει μια στιγμή κατά την οποία το κέντρο βάρους G θα ταυτιστεί με το μετάκεντρο M . Την στιγμή

αυτή το μετακεντρικό ύψος είναι μηδέν και η αρχική ευστάθεια του πλοίου μηδενίζεται.

Στην περίπτωση του δεξαμενισμού, εκτελείται υποστήριξη του πλοίου πριν το μετακεντρικό ύψος του πλοίου μηδενιστεί.

Στην περίπτωση της προσαράξεως η ευστάθεια του πλοίου εξαρτάται από την μείωση των βυθισμάτων του. Αν η προσάραξη γίνει κατά την περίοδο της άμπωτης το πλοίο μπορεί να επιπλεύσει αφ' εαυτού κατά την πλημμυρίδα εφ' όσον δεν έχει υποστεί σοβαρή ζημιά υφάλων. Αν όμως η προσάραξη γίνει κατά την περίοδο της πλημμυρίδας, μπορεί το πλοίο να απολέσει την ευστάθειά του κατά την περίοδο της άμπωτης, οπότε θα κλίνει προς μια πλευρά με αποτέλεσμα την πιθανή κατάκλυση κατά την περίοδο της πλημμυρίδας πράγμα το οποίο μπορεί να δυσχεράνει σημαντικά τις εργασίες διασώσεώς του.

Όταν η προσάραξη του πλοίου γίνεται όχι καθ' όλο το μήκος της τρόπιδας, αλλά σε μια ορισμένη περιοχή των υφάλων (σχήμα 4-3) η δύναμη η οποία αναπτύσσεται μετά την μείωση των βυθισμάτων προκαλεί εγκάρσια κλίση και μεταβολή της διαγωγής του πλοίου. Στην περίπτωση αυτή οι υπολογισμοί είναι πλέον πολύπλοκοι και η λύση του προβλήματος επιτυγχάνεται με την βοήθεια παραδοχών και προσεγγίσεων.

Έστω : t = πτώση της παλίρροιας σε δακτύλους

p = δύναμη η οποία αναπτύσσεται στην περιοχή της προσαράξεως

T = τόννοι ανά δάκτυλο βυθίσεως

C = Ροπή μεταβολής διαγωγής κατά 1 δάκτυλον

L = Μήκος του πλοίου

W = Εκτόπισμα του πλοίου

I = απόσταση του σημείου της προσαράξεως από το επίπεδο το οποίο διέρχεται από το κέντρο πλευστότητας της ισάλου και είναι κάθετο προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας.

Η μείωση του βυθίσματος στο σημείο της προσαράξεως είναι t δάκτυλοι. Η μείωση αυτή αποτελείται από 3 συνιστώσες:

- (1) Μεταβολή μέσου βυθίσματος
- (2) Διαγωγή
- (3) Εγκάρσια κλίση

Η μεταβολή του μέσου βυθίσματος είναι : P/T

Η ολική μεταβολή διαγωγής είναι : $P \cdot l / C$

Η μεταβολή διαγωγής στο σημείο της προσαράξεως είναι:

$$\left(\frac{P \cdot l}{C}\right) \cdot \left(\frac{1}{L}\right) = \frac{P \cdot l}{C \cdot L}$$

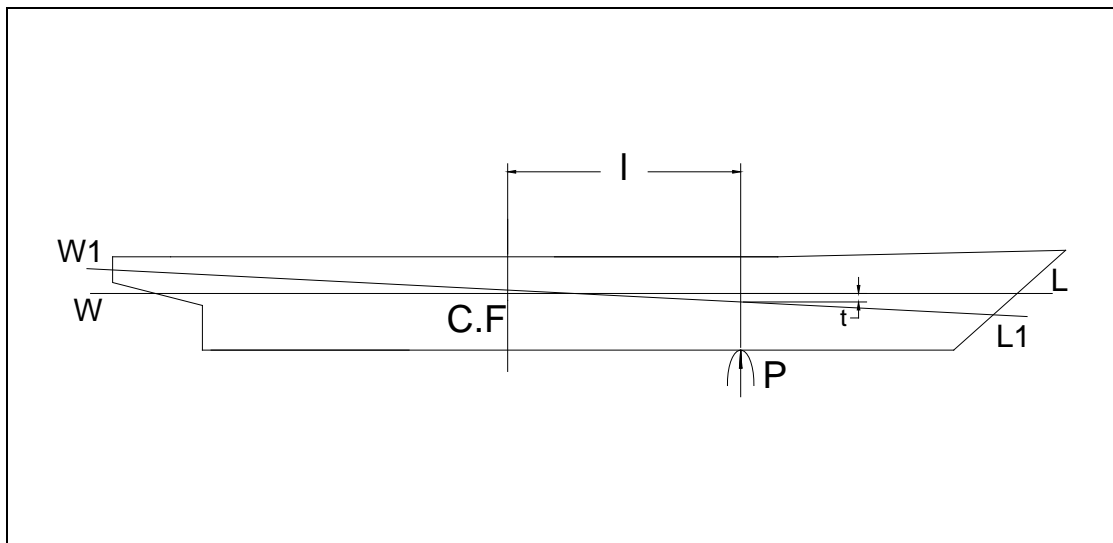
Η γωνία της εγκάρσιας κλίσεως θ είναι $\tan\theta = \frac{P \cdot d}{W \cdot GM}$

Η μεταβολή του βυθίσματος στο σημείο της προσαράξεως λόγω της εγκάρσιας κλίσεως είναι:

$$12 d \tan\theta = \frac{12P \cdot d^2}{W \cdot GM} \text{ δάκτυλοι}$$

επομένως : $t = \frac{P}{T} + \frac{P \cdot L^2}{C \cdot L} + \frac{12P \cdot d^2}{W \cdot GM}$

και $P = \frac{t}{\frac{1}{T} + \frac{L^2}{CL} + \frac{12d^2}{W \cdot GM}}$



Σχήμα 4-3 Προσάραξη

Μετά τον υπολογισμό της δύναμεις P η οποία αναπτύσσεται στο σημείο της προσαράξεως λόγω πτώσεως της παλίρροιας κατά δακτύλους, ακολουθούν οι ίδιοι υπολογισμοί ευστάθειας όπως αν γινόταν αφαίρεση βάρους P τόνων από την περιοχή του σημείου της προσαράξεως.

Αποτελέσματα βλαβών επί της ευστάθειας

Ελεύθερες επιφάνειες υγρών

Γενικά

Στα προηγούμενα κεφάλαια εξετάστηκε με λεπτομέρεια η στατική ευστάθεια των πλοίων όπως και η επιρροή της μετακινήσεως και προσθαιρέσεως βαρών επί της ευστάθειας. Κατά την εξέταση αυτή, υπετέθη ότι το κέντρο βάρους των μετακινούμενων ή προσθαιρούμενων βαρών, παρέμενε σταθερό ανεξαρτήτων των κινήσεων του πλοίου. Στην περίπτωση στερεών αντικειμένων αυτό είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί αν τα αντικείμενα είναι σταθερά προσαρτημένα στο πλοίο. Εφ' όσον όμως πρόκειται περί υγρών, το κέντρο βάρους τους μένει αμετάθετο κατά τις διάφορες κινήσεις του πλοίου, μόνο εφ' όσον τα υγρά πληρούν τελείως τις δεξαμενές τους.

Εφ' όσον η δεξαμενή ή το διαμέρισμα το οποίο περιέχει υγρό έχει μερικώς πληρωθεί, το υγρό έχει την τάση να μετακινείται λόγω των κινήσεων του πλοίου, διατηρούν την επιφάνειά του οριζόντια.

Στην περίπτωση αυτή, νερό εντός μερικώς πληρωθέντος διαμερίσματος λέγεται ελεύθερο νερό.

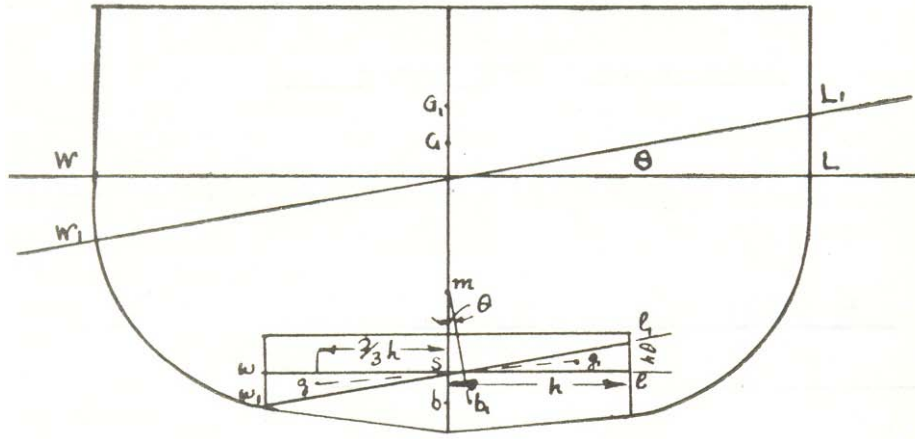
Ορισμένοι χώροι επί του πλοίου περιέχουν συνήθως ελεύθερο νερό ή άλλα υγρά όπως καύσιμα και λάδι λιπάνσεως. Επί πλέον ελεύθερο νερό μπορεί να εισαχθεί εντός του πλοίου κατόπιν βλάβης. Στην τελευταία περίπτωση η παρουσία ελεύθερου ύδατος εντός του πλοίου, όπως θα επεξηγηθεί στις επόμενες παραγράφους, έχει δυσμενή αποτελέσματα επί της ευστάθειάς του.

Ελεύθερες επιφάνειες.

Υγρό το οποίο πληρεί μερικώς ένα διαμέρισμα, παρουσιάζει ελεύθερη επιφάνεια η οποία τείνει να παραμείνει οριζόντια, με αποτέλεσμα την ροή του υγρού προς το μέρος της κλίσεως την οποία λαμβάνει το πλοίο.

Στην πραγματικότητα η ροή του υγρού είναι μια μετακίνηση βάρους το οποίο μετατοπίζεται ανάλογα της κλίσεως του πλοίου. Εν τούτοις, για τους υπολογισμούς ευστάθειας, είναι ευκόλο να θεωρήσουμε την ροή του υγρού ως μια κίνηση η οποία μεταβάλλει φαινομενικώς την θέση του κέντρου βάρους του πλοίου. Στο σχήμα 4-4 φαίνεται ένα διαμέρισμα το οποίο έχει μερικώς πληρωθεί με υγρό, ελεύθερης επιφάνειας **WL**. Όταν το πλοίο αποκτήσει μικρή εγκάρσια κλίση θ , τέτοια ώστε να

μην αποκαλυφθεί ο πυθμένας, ούτε και να καλυφθεί η οροφή της δεξαμενής, η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού λαμβάνει την θέση W_1L_1 παραμένοντας πάντα οριζόντια.



Σχήμα 4-4 Ελεύθερη επιφάνεια

Έστω : b = κέντρο βάρους του υγρού στην δεξαμενή όταν το πλοίο δεν έχει εγκάρσια κλίση

b_1 = κέντρο βάρους του υγρού στην δεξαμενή όταν το πλοίο έχει εγκάρσια κλίση θ .

g = γεωμετρικό κέντρο του τριγώνου $\omega s \omega_1$,

g_1 = γεωμετρικό κέντρο του τριγώνου $l s l_1$,

$2h$ = πλάτος της δεξαμενής

θ = γωνία της εγκάρσιας κλίσεως

z = διαμήκης διάσταση της δεξαμενής

u = όγκος του υγρού στην δεξαμενή

i = ροπή αδράνειας της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού όταν το πλοίο δεν έχει εγκάρσια κλίση, περί του διαμήκους άξονα ο οποίος διέρχεται από το γεωμετρικό κέντρο της επιφάνειας

m = μετάκεντρο του υγρού της δεξαμενής

δ_1 = ειδικό βάρος του υγρού

ω = βάρος του υγρού

V = όγκος εκτοπίσματος του πλοίου

δ_s = ειδικό βάρος της θάλασσας στην οποία επιπλέει το πλοίο

Όταν το πλοίο δεν έχει οριζόντια κλίση η ροπή του όγκου του υγρού της δεξαμενής ως προς το κατακόρυφο επίπεδο το οποίο διέρχεται από το κέντρο βάρους του υγρού, είναι μηδέν. Όταν το πλοίο αποκτήσει εγκάρσια κλίση θ , το μέρος του υγρού το οποίο κατελάμβανε τον χώρο ο οποίος έχει βάση το τρίγωνο $\omega s \omega_1$, μετακινείται στον χώρο $l s l_1$.

Η ροπή αυτής της μετακινήσεως είναι ίση με την ροπή του συνόλου του υγρού μετά την εγκάρσια κλίση του πλοίου.

$$\text{έτσι } u b b_1 = E g g_1 \int_0 dz$$

όπου E = επιφάνεια του τριγώνου $\omega s \omega_1 = l s l_1$

για μικρές γωνίες : $\sin \theta = \theta$

εξ' άλλου $g s = g_1 s = 2/3 h$

και $E = 1/2 h h \theta$

$$\text{Επομένως } E g g_1 \int_0 dz = 1/2 h h \theta 4/3 \int_0 dz = 2/3 h^2 \theta \int_0 dz$$

$$u b b_1 = u b m \sin \theta = u b m \theta = 2/3 h^2 \theta \int_0 dz$$

$$\text{αλλά } \int_0 2/3 h^3 dz = i$$

$$\text{Επομένως, } b m = \frac{i}{u}$$

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το κέντρο βάρους του υγρού περιστρέφεται περί το μετάκεντρο m με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι, φαινομενικά, το βάρος του υγρού είναι ανηρτημένο στο σημείο m .

Κατ' επέκταση, λόγω της φαινομενικής μετακινήσεως του κέντρου βάρους του ω κατακόρυφα από το b_i στο m , το κέντρο βάρους του πλοίου μετακινείται φαινομενικά από το σημείο G στο σημείο G_i ως εξής:

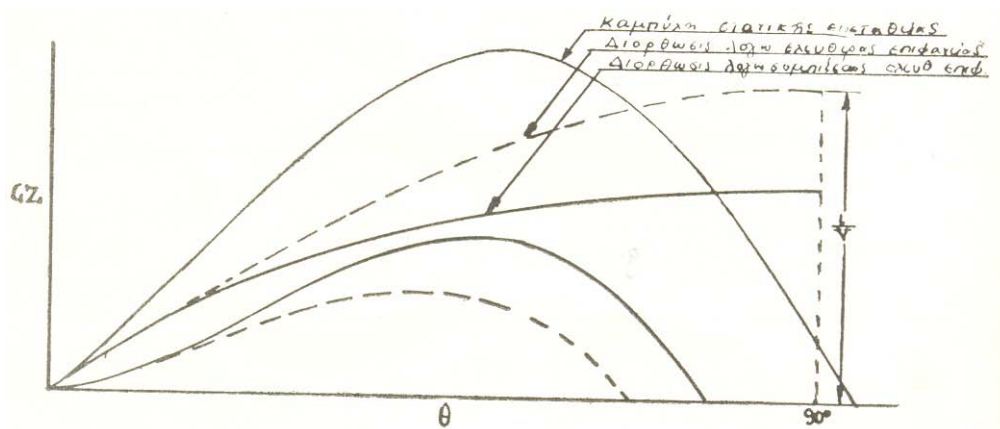
$$W \cdot G G_i = \omega \cdot b m$$

$$G G_i = (\omega/W) (i/u) = (\delta_i/\delta_s) (u/V) (i/u) = (\delta_i/\delta_s) (i/V) \quad (4.15)$$

(G είναι το κέντρο βάρους του πλοίου, αν υποτεθεί προς στιγμή ότι το υγρό έχει στερεοποιηθεί)

Η απόσταση $G G_i$ είναι η φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου και είναι το αποτέλεσμα της υπάρξεως ελεύθερης επιφάνειας.

Η σχέση (3.15) ισχύει, για οποιοδήποτε υγρό και οποιαδήποτε θέση της δεξαμενής η οποία περιέχει το υγρό.



Σχήμα 4-5 Επιρροή ελεύθερης επιφάνειας στην ευστάθεια μεγάλων γωνιών κλίσεως

Στην περίπτωση κατά την οποία η ελεύθερη επιφάνεια ανήκει σε θαλασσινό νερό (όπως π.χ. στην περίπτωση διαρροής ή κατακλύσεως λόγω βλάβης) η σχέση απλουστεύεται ως εξής:

$$GG_i = \frac{i}{V} \quad (4.16)$$

Η προηγούμενη ανάπτυξη του θέματος ισχύει σχολαστικά μόνο για μικρές γωνίες κλίσεως και ως εκ τούτου η σχέση (4.15 ή 4.16) μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο προς υπολογισμό της φαινομενικής μείωσης του αρχικού μετακεντρικού ύψους GM κατά GG_i .

Εν τούτοις η σχέση (4.15 ή 4.16) μπορεί να θεωρηθεί ότι δίνει πρακτικά ακριβή προσδιορισμό της φαινομενικής μετακινήσεως του κέντρου βάρους του πλοίου λόγω ελεύθερης επιφάνειας και για όλες τις συνήθεις γωνίες κλίσεως. Για τον λόγο αυτόν ως αποτέλεσμα της ελεύθερης επιφάνειας θεωρείται η ελάττωση της καμπύλης στατικής ευστάθειας του πλοίου $(i/V) \sin\theta$.

Η διόρθωση της καμπύλης ευστάθειας κατά $(i/V) \sin\theta$ εκτελείται κατά τον ίδιο τρόπο όπως και οποιαδήποτε διόρθωση λόγω κατακόρυφης μετακινήσεως του κέντρου βάρους του πλοίου. (σχήμα 4-5)

Στην περίπτωση κατά την οποία περισσότερα του ενός διαμερίσματα έχουν ελεύθερη επιφάνεια υγρών, υπολογίζεται η φαινομενική μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου λόγω της ελεύθερης επιφάνειας του πλοίου, για κάθε διαμέρισμα.

Συμπίεση Ελεύθερης Επιφάνειας.

Τα αποτελέσματα της ελεύθερης επιφάνειας στην ευστάθεια μεγάλων κλίσεων τροποποιούνται λόγω της λεγόμενης συμπίεσεως της ελεύθερης επιφάνειας. Η αποκάλυψη του πυθμένα ή η κάλυψη της οροφής της δεξαμενής ή του διαμερίσματος, η οποία λαμβάνει χώρα σε ορισμένη γωνία κλίσεως ελαττώνει γενικά το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας. Αυτό καλείται συμπίεση της ελεύθερης επιφάνειας. Η έκταση της συμπίεσεως της ελεύθερης επιφάνειας είναι δύσκολο να υπολογισθεί ακριβώς, διότι εξαρτάται από μεταβλητούς παράγοντες, όπως είναι η ποσότητα του υγρού η οποία περιέχεται στην δεξαμενή, η κλίση του πλοίου, το σχήμα της δεξαμενής κ.τ.λ.

Η συμπίεση της ελεύθερης επιφάνειας μειώνει τα δυσμενή αποτελέσματα της ελεύθερης επιφάνειας των υγρών, ιδίως στις μεγαλύτερες γωνίες κλίσεων (σχήμα 4-5) και ως εκ τούτου και αν ακόμα αγνοηθεί, εισάγεται ένας απροσδιόριστος συντελεστής ασφάλειας.

Π.χ. αν, κατά την καθιερωμένη τακτική οι δεξαμενές καυσίμων είναι κατά πολύ πλήρεις (ώστε να επιτρέπεται και η διαστολή της μάζας των καυσίμων), η ελεύθερη επιφάνεια συμπίεζεται ταχέως και έτσι ελαττώνεται η δυσμενής επιρροή της στην ευστάθεια του πλοίου κατά τις μεγάλες γωνίες κλίσεως.

Διαπερατότητα Επιφάνειας.

Τα διαμερίσματα του πλοίου περιέχουν συνήθως στερεά αντικείμενα τα οποία σε περίπτωση κατακλύσεως των διαμερισμάτων μειώνουν την ελεύθερη επιφάνεια του ύδατος εφ' όσον είναι στερεώς προσαρμοσμένα με το πλοίο ώστε να μην επιπλέουν και εφ' όσον, αυτά καθ' αυτά, δεν είναι διαπερατά από το νερό.

Η μείωση της ελεύθερης επιφάνειας λόγω της υπάρξεως στερεών αντικειμένων εξαρτάται από την στάθμη του ύδατος σε κάθε διαμέρισμα, από το σχήμα των αντικειμένων κ.τ.λ. και ως εκ τούτου δεν μπορεί να υπολογισθεί επακριβώς.

Συντελεστής διαπερατότητας επιφανείας μ_s , καλείται ο λόγος της ροπής αδράνειας της ελεύθερης επιφάνειας λαμβάνοντας υπ' όψιν την μείωσή της λόγω των στερεών αντικειμένων, προς στην ροπή αδράνειας χωρίς την μείωση της λόγω στερεών αντικειμένων.

Όπως και η συμπίεση της ελεύθερης επιφάνειας, έτσι και η διαπερατότητα επιφανείας δεν λαμβάνεται υπ' όψιν στους συνήθεις υπολογισμούς ευστάθειας, αλλά

εισάγονται στους σχετικούς υπολογισμούς με την μορφή ενός μικρού και απροσδιόριστου συντελεστή ασφάλειας.

Διαπερατότητα Όγκου

Η ύπαρξη των διαφόρων αντικειμένων εντός των διαμερισμάτων περιορίζει σε έναν βαθμό την έκταση της κατακλύσεως και επομένως το βάρος του ύδατος κατακλύσεως.

Συντελεστής διαπερατότητας όγκου, καλείται ο λόγος ή η εκατοστιαία αναλογία του κατακλύσιμου όγκου του διαμερίσματος προς τον γεωμετρικό όγκο του διαμερίσματος.

Εφ' όσον ο συντελεστής διαπερατότητας όγκου είναι γνωστός, ο όγκος του ύδατος κατακλύσεως βρίσκεται δια πολλαπλασιασμού του γεωμετρικού όγκου του διαμερίσματος επί τον παραπάνω συντελεστή.

Ευστάθεια κατόπιν βλάβης

Γενικά

Η ευστάθεια ενός πλοίου μπορεί γενικά να επηρεαστεί εξ' αιτίας μιας από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- α. Πρόσθεση, αφαίρεση ή μετακίνηση βαρών.
- β. Μεταβολή του σχήματος των υφάλων.
- γ. Ύπαρξη ελευθέρου ύδατος με ελεύθερη επιφάνεια.
- δ. Ύπαρξη ελευθέρου ύδατος έχοντας ελεύθερη επικοινωνία με την θάλασσα.

Οι παραπάνω καταστάσεις, πλην της (δ), μπορούν να παρουσιασθούν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, σε οποιοδήποτε πλοίο, υπό συνήθεις συνθήκες λειτουργίας. Τα αποτελέσματα όμως επί της ευστάθειας είναι σημαντικότερα και σοβαρότερα στην περίπτωση του πλοίου το οποίο έχει υποστεί βλάβη η οποία είχε ως συνέπεια την κατάκλυση ενός ή περισσότερων διαμερισμάτων. Γενικά η κατάκλυση ενός διαμερίσματος μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός των παρακάτω περιπτώσεων:

α. Έκταση της κατακλύσεως

(1) Πλήρης κατάκλυση δηλ η κατάκλυση ενός διαμερίσματος κατά την οποία το νερό έχει πληρώσει όλως το διαμέρισμα, όπως π.χ. διαρροή σε ένα διαμέρισμα του οποίου η οροφή βρίσκεται κάτω από την ίσαλο.

(2) Μερική κατάκλυση χωρίς ελεύθερη επικοινωνία με την θάλασσα.

(3) Μερική κατάκλυση με ελεύθερη επικοινωνία με την θάλασσα.

β. Ύψος της κατακλύσεως

(1) Το κέντρο βάρους του ύδατος κατακλύσεως είναι άνω του κέντρου βάρους του πλοίου **G**.

(2) Το κέντρο βάρους του ύδατος κατακλύσεως είναι κάτω του κέντρου βάρους του πλοίου **G**.

(3) Το κέντρο βάρους του πλοίου **G** ταυτίζεται με το κέντρο βάρους του ύδατος κατακλύσεως.

γ. Θέση της κατακλύσεως.

(1) Συμμετρική κατάκλυση, δηλ περίπτωση κατακλύσεως κεντρικού διαμερίσματος.

(2) Ασύμμετρη κατάκλυση, δηλ περίπτωση κατακλύσεως πλευρικού διαμερίσματος.

Π.χ η κατάκλυση ενός πλευρικού διπυθμένου έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

(1). Πλήρης κατάκλυση

(2). Το κέντρο βάρους του ύδατος κατακλύσεως είναι κάτω του **G**

(3). Ασύμμετρη κατάκλυση.

Ελεύθερη επικοινωνία με την θάλασσα.

Ένα διαμέρισμα έχει ελεύθερη επικοινωνία με την θάλασσα όταν η στάθμη του ύδατος το οποίο και εισήλθε εντός του διαμερίσματος λόγω βλάβης του εξωτερικού περιβλήματος του πλοίου, ταυτίζεται σε όλες τις περιπτώσεις με την επιφάνεια της θάλασσας.

Όταν παρουσιασθεί η παραπάνω κατάσταση, το μετακεντρικό ύψος **GM** και ο μοχλοβραχίονας **GZ** αυξάνουν λόγω της κατακόρυφου προς τα κάτω μετακινήσεως του κέντρου βάρους του πλοίου **G** εξ' αιτίας του προστιθέμενου βάρους του ύδατος κατακλύσεως. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η κατάκλυση γίνεται κάτω από την ίσαλο του πλοίου και επομένως το βάρος του ύδατος κατακλύσεως προστίθεται κάτω από το κέντρο βάρους του πλοίου το οποίο συνήθως βρίσκεται πάνω από την ίσαλο.

Αφ' ετέρου όμως, τα **GM** και **GZ** ελαττώνονται λόγω της φαινομενικής ανύψωσης του κέντρου βάρους του πλοίου εξ' αιτίας της δημιουργούμενης ελεύθερης επιφάνειας και τελικώς ελαττώνονται ακόμα περισσότερο λόγω της περαιτέρω φαινομενικής ανυψώσεως του κέντρου βάρους **G** λόγω της ελεύθερης επικοινωνίας του κατακλυσθέντος διαμερίσματος με την θάλασσα όπως θα εξηγηθεί αργότερα. Η

φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους λόγω της ελεύθερης επικοινωνίας του κατακλυσθέντος διαμερίσματος μετά της θάλασσας, συμβαίνει μόνο εφ' όσον το διαμέρισμα είναι πλευρικό, δηλ. όταν η κατάκλυση είναι ασύμμετρη όπως π.χ. στην περίπτωση του σχήματος 4-6

Στο σχήμα 4-6 φαίνεται ότι ένα πλευρικό διαμέρισμα έχει υποστεί κατάκλυση λόγω βλάβης στο εξωτερικό περίβλημα του πλοίου. (Σημειώνεται ότι υπάρχει ελεύθερη διαφυγή αέρα από το διαμέρισμα)

Κατ' αρχήν λόγω του προστιθέμενου βάρους του ύδατος κατακλύσεως, το πλοίο θα βυθισθεί μέχρι της νέας ισάλου W_1L_1 με αποτέλεσμα την μεταβολή των θέσεων του G και M . Έτσι το πλοίο θα αποκτήσει αρχικά και εγκάρσια κλίση καθ' ότι το κατακλυσθέν διαμέρισμα είναι πλευρικό. Η εγκάρσια κλίση θα είναι μεγαλύτερη εκείνης η οποία θα προκαλείτο λόγω του παράκεντρου βάρους του ύδατος κατακλύσεως, εξ' αιτίας της ύπαρξης ελεύθερης επιφάνειας στο νερό αυτό. Τώρα όμως λόγω της αρχικής εγκάρσιας κλίσεως, εισρέει επιπρόσθετο ύδωρ εντός του διαμερίσματος με τέτοιον τρόπο ώστε, τελικά, η στάθμη του ύδατος να ταυτισθεί με την επιφάνεια της θάλασσας. Με αυτόν τον τρόπο η αρχική εγκάρσια κλίση του πλοίου αυξάνει μέχρι το πλοίο να αποκτήσει την τελική εγκάρσια κλίση του η οποία αντιστοιχεί στην ίσαλο W_2L_2 . Η αύξηση της εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου, πέραν εκείνης η οποία προκαλείται λόγω του παράκεντρου βάρους του ύδατος κατακλύσεως και της ελεύθερης επιφάνειάς του, είναι το αποτέλεσμα της ελεύθερης επικοινωνίας του διαμερίσματος με την θάλασσα και οφείλεται στην επιπρόσθετη ποσότητα του ελεύθερου ύδατος το οποίο εισρέει στο διαμέρισμα λόγω της εγκάρσιας κατακλύσεως του πλοίου.

Συνέπεια του αποτελέσματος της ελεύθερης επικοινωνίας είναι η περαιτέρω επιδείνωση της καταστάσεως από πλευράς ευστάθειας η οποία είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι προκαλείται από μια φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου.

Ο ακριβής υπολογισμός των αποτελεσμάτων της ελεύθερης επικοινωνίας είναι αρκετά μακρόχρονος και δυσχερής και γι' αυτό τον λόγο ακολουθούνται συνήθως προσεγγίζουσες μέθοδοι για την επίλυση αυτών των προβλημάτων.

Παρακάτω αναπτύσσονται τα διαδοχικά στάδια του υπολογισμού για την εύρεση των αποτελεσμάτων της κατακλύσεως ενός διαμερίσματος το οποίο έχει ελεύθερη επικοινωνία με την θάλασσα, επί της αρχικής ευστάθειας και της ευστάθειας μεγάλων κλίσεων (σχήμα 4-6).

α. Λόγω της βλάβης στο υπ' όψιν διαμέρισμα, εισρέει στο πλοίο μια ποσότητα ύδατος η οποία προκαλεί την παράλληλη βύθισή του από την αρχική ίσαλο **WL** στην τελική ίσαλο **W₁L₁**. Η ποσότητα του ύδατος (ω) προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\omega = \frac{v + a \cdot \delta D}{35} = \delta D \cdot T \quad (4.17)$$

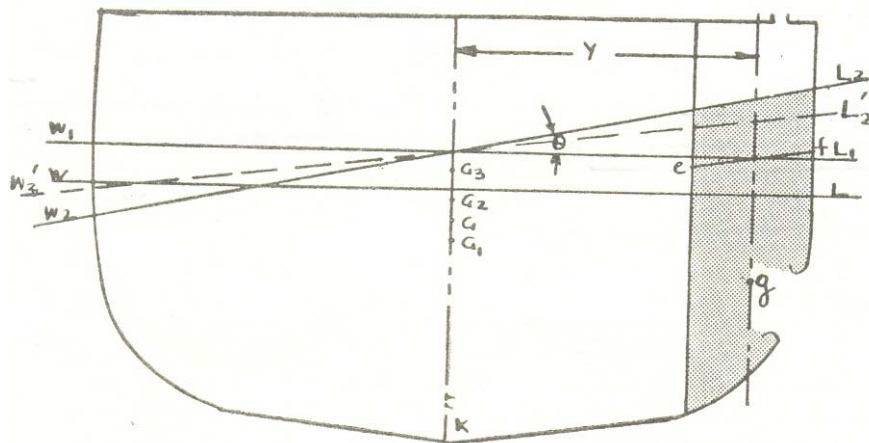
όπου ω = ποσότητα ύδατος η οποία εισάγεται εντός του διαμερίσματος μέχρι την ίσαλο **W₁L₁**.

a = επιφάνεια του διαμερίσματος

δD = διαφορά μέσου βυθίσματος το οποίο αντιστοιχεί στις ισάλους **W₁L₁** και **WL**.

v = όγκος κατακλυσθέντος διαμερίσματος μέχρι της ισάλου **WL**.

T = τόννοι ανά δάκτυλο βυθίσματος αντιστοιχούντες στην ίσαλο **WL**.



Σχήμα 4-6 Κατάκλυση με ελεύθερη επικοινωνία

Από την τελευταία εξίσωση της σχέσεως (4.17) μπορεί να υπολογισθεί το δD καθ' ότι τα v , a , και T είναι γνωστά. Μετά τον υπολογισμό του δD μπορεί να προσδιορισθεί η νέα ίσαλος **W₁L₁** όπως και το βάρος του ύδατος κατακλύσεως ω .

β. Το βάρος του ύδατος κατακλύσεως ω , προκαλεί μια κατακόρυφη μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου (συνήθως προς τα κάτω) από την αρχική θέση **G** στην τελική θέση **G₁**, η οποία δίνεται από την σχέση:

$$KG_1 = \frac{W \cdot KG + \omega \cdot kg}{W_1} \quad (4.18)$$

όπου

W = αρχικό εκτόπισμα του πλοίου το οποίο αντιστοιχεί στην ίσαλο WL .

ω = βάρος του ύδατος κατακλύσεως μέχρι την ίσαλο W_1L_1 .

$W_1 = W + \omega$ = εκτόπισμα του πλοίου το οποίο αντιστοιχεί στην ίσαλο W_1L_1

KG = αρχικό κατακόρυφο ύψος του κέντρου βάρους του πλοίου, όταν το εκτόπισμα του είναι W_1 , άνωθεν της τρόπιδας.

KG_1 = τόννοι ανά δάκτυλο βυθίσματος αντιστοιχούντες στην ίσαλο WL .

Kg = κατακόρυφο ύψος του κέντρου βάρους του ύδατος κατακλύσεως ω , άνωθεν της τρόπιδας.

γ. Η ελεύθερη επιφάνεια του ύδατος κατακλύσεως προκαλεί μια φαινομενική κατακόρυφη ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου από το σημείο G_1 στο σημείο G_2 κατά:

$$G_1G_2 = \frac{i}{V_1}$$

όπου

V_1 = ο όγκος του εκτοπίσματος μέχρι την ίσαλο W_1L_1 .

i = ροπή αδράνειας της ελεύθερης επιφάνειας του ύδατος κατακλύσεως περί του διαμήκους άξονα ο οποίος διέρχεται από το γεωμετρικό κέντρο αυτής.

δ. Το πλοίο αποκτά εγκάρσια κλίση λόγω του παράκεντρου βάρους ω το οποίο στη συνέχεια προκαλεί την εισροή επιπρόσθετης ποσότητας ύδατος. Αν δεν υπήρχε ελεύθερη επικοινωνία μετά της θάλασσας, το πλοίο θα έκλινε μέχρι την ίσαλο $W_2'L_2'$. Λόγω όμως της ελεύθερης επικοινωνίας προκαλείται εισροή επιπρόσθετης ποσότητας ύδατος ω_1 . Τα αποτελέσματα της εισροής του ύδατος βάρους ω_1 έχουν ως εξής : Πριν την είσοδο του επιπρόσθετου βάρους ω_1 η εγκάρσια ροπή ανορθώσεως ήταν $W_1 \cdot G_2M_1 \cdot \tan\theta$

όπου M_1 η θέση του μετακέντρου η οποία αντιστοιχεί στην ίσαλο W_1L_1 και θ η εγκάρσια κλίση λόγω του παράκεντρου βάρους ω . Μετά την εισροή του επιπρόσθετου βάρους ω_1 δημιουργείται μια επιπρόσθετη εγκάρσια ροπή $\omega_1 Y_1$ όπου Y η κάθετη απόσταση του κέντρου βάρους του ύδατος κατακλύσεως από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου. Επίσης προκαλείται μια κατακόρυφη ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου από το G_2 στο G_3 δηλ κατά απόσταση G_2G_3 , η οποία και θα υπολογισθεί στην συνέχεια. Λόγω της επιπρόσθετης ροπής $\omega_1 Y_1$ η εγκάρσια κλίση του πλοίου γίνεται θ_1 οπότε η νέα ροπή ανορθώσεως στην γωνία αυτή είναι

$$(W_1 + \omega_1) \cdot G_3M_1 \cdot \tan\theta_1$$

Η διαφορά των εγκαρσίων ροπών ανορθώσεως οι οποίες αντιστοιχούν σε γωνίες θ και θ_1 , οφείλεται προφανώς στην ροπή $\omega_1 \cdot Y$. Επομένως:

$$W_1 \cdot G_2 M \cdot \tan\theta - (W_1 + \omega_1) \cdot G_3 M_1 \cdot \tan\theta_1 = \omega_1 \cdot Y$$

Επειδή το ω_1 είναι μικρό σε σχέση με το W , η γωνία θ_1 λαμβάνεται κατά προσέγγιση ίση με την γωνία θ οπότε η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$\tan\theta \cdot W_1 \cdot (G_2 M_1 - G_3 M_1) = \omega_1 \cdot Y$$

Επομένως:

$$W_1 \cdot G_2 G_3 \cdot \tan\theta = \omega_1 \cdot Y$$

Αλλά από το σχήμα 4-6 έχουμε ότι:

$$\omega_1 = \frac{\alpha \cdot Y \cdot \tan\theta}{35} \quad (\text{για θαλασσινό νερό})$$

ώστε:

$$W_1 \cdot G_2 G_3 \cdot \tan\theta = \frac{\alpha \cdot Y^2 \cdot \tan\theta}{35}$$

επομένως:

$$G_2 G_3 = \frac{\alpha \cdot Y^2}{35 W_1} = \frac{\alpha \cdot Y^2}{V_1} \quad (4.19)$$

Η σχέση (4.19) δίνει την φαινομενική κατακόρυφη ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου λόγω της ελεύθερης επικοινωνίας ενός κατακλυσθέντος διαμερίσματος μετά της θάλασσας. Όπως και η ελεύθερη επιφάνεια, έτσι και η ελεύθερη επικοινωνία, έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση του αρχικού μετακεντρικού ύψους κατά $G_2 G_3$ όπως και την ελάττωση των μοχλοβραχιόνων ευστάθειας σε όλες τις γωνίες κλίσεως του πλοίου κατά $G_2 G_3 \sin\theta$.

ε. Τελικά η καμπύλη στατικής ευστάθειας του πλοίου μετά την κατάκλυση ενός διαμερίσματος πρέπει να διορθωθεί ως εξής:

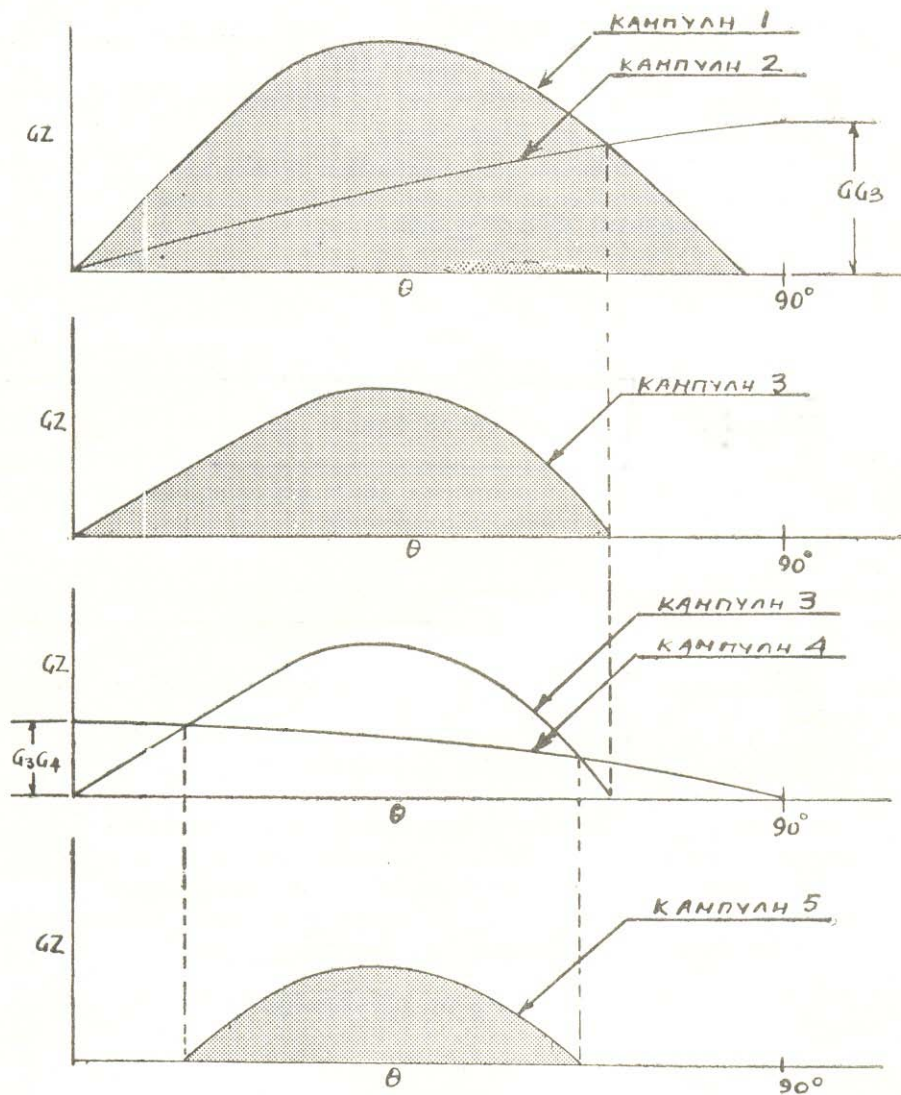
(1).-Κατά $G G_1 \cdot \sin\theta$ λόγω του πρόσθετου βάρους ω .

(2). Κατά $G_1 G_2 = \frac{i}{V_1} \cdot \sin\theta$ λόγω της ελεύθερης επιφάνειας

(3). Κατά $G_2 G_3 = \frac{\alpha \cdot Y^2}{V_1} \cdot \sin\theta$ λόγω της ελεύθερης επικοινωνίας.

Προς απλοποίηση των διορθώσεων της στατικής καμπύλης ευστάθειας, μπορεί να εκτελεσθεί μία μόνο διόρθωση της καμπύλης κατά

$$G G_3 \cdot \sin\theta = \left(G G_1 \frac{i}{V_1} + \frac{\alpha \cdot Y^2}{V_1} \right) \cdot \sin\theta$$



Σχήμα 4-7 Επιρροή ελεύθερης επικοινωνίας στην ευστάθεια μεγάλων κλίσεων

Μετά την διόρθωση της καμπύλης ευστάθειας λόγω της συνολικής κατακόρυφης μετακινήσεως του κέντρου βάρους κατά G_3G_4 ακολουθεί και νέα διόρθωση λόγω της οριζόντιας μετακινήσεως του κέντρου βάρους του πλοίου η οποία προκαλείται λόγω του αρχικού παράκεντρου βάρους ω . Η διόρθωση αυτή δίνεται από την σχέση:

$$G_3G_4 \cdot \cos\theta = \frac{\omega \cdot Y}{W_1} \cdot \cos\theta$$

Τα διαδοχικά στάδια των διορθώσεων της καμπύλης στατιστικής ευστάθειας φαίνονται στο σχήμα 4-7.

1. Καμπύλη στατικής ευστάθειας η οποία αντιστοιχεί σε εκτόπισμα W_1 και σε θέση του κέντρου βάρους G .

2. Καμπύλη διορθώσεως της κατακορύφου μετακινήσεως του κέντρου βάρους κατά:

$$\mathbf{GG}_3 = \pm \mathbf{GG}_1 + \frac{\mathbf{i}}{\mathbf{V}_1} + \frac{\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{Y}}{\mathbf{W}_1}$$

3. Καμπύλη στατικής ευστάθειας μετά την διόρθωση της 1 λόγω της 2.

4. Καμπύλη διορθώσεως λόγω οριζόντιας μετακινήσεως του κέντρου βάρους κατά:

$$\mathbf{G}_3\mathbf{G}_4 = \frac{\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{Y}}{\mathbf{W}_1}$$

5. Τελική καμπύλη ευστάθειας του πλοίου μετά την διόρθωση της 3 λόγω της 4.

Τρόποι επίλυσεως προβλημάτων ευστάθειας μετά από κατάκλυση-
Μέθοδοι πρόσθετου βάρους και χαμένης άντωσης.

Κατά την μέχρι τώρα επίλυση των προβλημάτων ευστάθειας τα οποία δημιουργούνται κατόπιν κατακλύσεως, υπετέθη ότι το εκτόπισμα του πλοίου αυξήθηκε κατά το βάρος του ύδατος κατακλύσεως.

Η μέθοδος αυτή επίλυσεως παρόμοιων προβλημάτων ευστάθειας καλείται Μέθοδος Προσθέτου Βάρους.

Αυτά τα προβλήματα θα μπορούσαν να επιλυθούν με την παραδοχή ότι το νερό κατακλύσεως (εφ' όσον υφίσταται ελεύθερη επικοινωνία με την θάλασσα) παραμένει μέρος της θάλασσας και επομένως το τμήμα των υφάλων το οποίο έχει κατακλυσθεί δεν προσφέρει πλέον άντωση στο πλοίο. Η τελευταία μέθοδος επίλυσης προβλημάτων ευστάθειας καλείται Μέθοδος Χαμένης Άντωσης.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής κάθε μίας από τις παραπάνω μεθόδους έχουν ως εξής:

α. Μέθοδος Προσθέτου Βάρους

- (1). Μεταβολή του βάρους του πλοίου.
- (2). Μεταβολή του όγκου εκτοπίσματος.
- (3). Μεταβολή των βυθισμάτων.
- (4). Μεταβολή της θέσεως του κέντρου βάρους.
- (5). Μεταβολή της θέσεως του κέντρου αντώσεως.
- (6). Μεταβολή της θέσεως του εγκαρσίου και διαμήκους μετακέντρου.

β. Μέθοδος Χαμένης Αντώσεως

- (1). Βάρος του πλοίου παραμένει αμετάβλητο.
- (2). Το σχήμα του όγκου εκτοπίσματος μεταβάλλεται αλλά το μέγεθος του όγκου παραμένει αμετάβλητο.

- (3). Μεταβολή βυθισμάτων.
- (4). Κέντρο βάρους παραμένει αμετάβλητο.
- (5). Μεταβολή του κέντρου αντώσεως.
- (6). Μεταβολή της θέσεως του εγκαρσίου και διαμήκους μετακέντρου.

Προς σύγκριση του τρόπου εφαρμογής των δύο μεθόδων, το παρακάτω πρόβλημα επιλύεται για κάθε μία ξεχωριστά από αυτές:

«Μια φορτηγίδα σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου διαιρείται εγκαρσίως σε τρία ίσα διαμερίσματα. Οι διαστάσεις της φορτηγίδας είναι $90' \times 30' \times 6'$. Η φορτηγίδα επιπλέει σε θαλασσινό νερό με βύθισμα $2'$ όταν το κεντρικό διαμέρισμα της υφίσταται διαρροή λόγω βλάβης. Υπάρχει ελεύθερη διαφυγή του αέρα από το βεβλαμένο διαμέρισμα. Να εξετασθεί η ευστάθεια της φορτηγίδας μετά την βλάβη αν το κέντρο βάρους αυτής βρίσκεται $3'$ άνωθεν της τρύπιδας».

Κατ' αρχήν υπολογίζεται το νέο βύθισμα της φορτηγίδας μετά την κατάκλυση.

α. Μέθοδος Χαμένης Αντώσεως

Τελικός όγκος εκτοπίσματος = Αρχικός όγκος εκτοπίσματος

Επομένως:

$$2 \times 30 \times 30 \times d = 30 \times 90 \times 2 = 5400$$

Οπότε το νέο βύθισμα είναι $d=3'$.

β. Μέθοδος προσθέτου βάρους

Βάρος ύδατος κατακλύσεως = Βάρος του ύδατος το οποίο αντιστοιχεί στον επί πλέον όγκο εκτοπίσματος

Επομένως:

$$\frac{30 \times 30 \times d}{35} = \frac{90 \times 30 \times (d - 2)}{35}$$

Οπότε το νέο βύθισμα είναι $d=3'$.

$$V_1 = 3' \times 90' \times 3d = 8100 \text{ FT}^3$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται η αρχική ευστάθεια της φορτηγίδας.

α. Μέθοδος χαμένης αντώσεως

$$KB_1 = \frac{3'}{2} = 1,5 \text{ FT}$$

$$KG = KG_1 = 3 \text{ FT}$$

$$B_1M_1 = \frac{I_1}{V_1} = \frac{2 \times 30^3 \times 30}{5400 \times 12} = 25 \text{ FT}$$

$$\mathbf{KM}_1 = 25\text{FT} + 1,5\text{FT} = 26,5\text{F}$$

$$\mathbf{GM}_1 = 26,5\text{FT} - 3' = 23,5\text{FT}$$

β. Μέθοδος πρόσθετου βάρους

$$\mathbf{KB}_1 = \frac{3'}{2} = 1,5 \text{ FT}$$

$$\mathbf{B}_1\mathbf{M}_1 = \frac{\mathbf{I}_1}{\mathbf{V}_1} = \frac{30^3 \times 90}{8100 \times 12} = 25\text{FT}$$

$$\mathbf{KM}_1 = 25 + 1,5 = 26,5\text{FT}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{KG}_1 &= \frac{\mathbf{KG} \cdot \mathbf{W} + \mathbf{Kg} \cdot \omega}{\mathbf{W}_1} = \frac{3 \cdot \frac{5460}{35} + 1,5 \cdot \frac{30 \times 30 \times 3}{35}}{\frac{8100}{35}} \\ &= 2' + 0,5' = 2,5\text{FT} \end{aligned}$$

Η φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους λόγω της ελεύθερης επιφάνειας είναι:

$$\mathbf{G}_1\mathbf{G}_3 = \frac{\mathbf{i}}{\mathbf{V}_1} = \frac{30 \times 30^3}{12 \times 8100} = 8,33\text{FT}$$

$$\mathbf{KG}_3 = 2,5' + 8,33' = 10,83\text{FT}$$

$$\mathbf{G}_2\mathbf{M}_1 = 26,5' - 10,83' = 15,67\text{FT}$$

Εκ πρώτης όψεως, η ασυμφωνία μεταξύ των υπολογισθέντων τιμών του **GM** από τις δύο μεθόδους, μπορεί να αποδοθεί σε εσφαλμένη εκλογή των παραδοχών επί των οποίων βασίζονται οι δύο μέθοδοι. Αυτό όμως δεν αληθεύει, διότι το **GM** είναι το μέτρο της αρχικής ευστάθειας για ορισμένο εκτόπισμα. Στην προκειμένη περίπτωση το πλοίο δεν έχει το ίδιο εκτόπισμα, διότι κατά την μία μέθοδο η κατάκλυση θεωρείται ότι προσθέτει βάρος στο πλοίο, ενώ κατά την άλλη θεωρείται ότι αφαιρεί άντωση. Επειδή όμως πρόκειται για το ίδιο πλοίο, το σκάφος πρέπει να έχει τα ίδια βασικά χαρακτηριστικά ευστάθειας, δηλαδή την ίδια ροπή ανορθώσεως $\mathbf{W} \cdot \mathbf{GM} \cdot \sin\theta$.

Για να έχω με ό φως την ίδια ροπή ανορθώσεως, ανεξαρτήτως της ακολουθούμενης μεθόδου, πρέπει να υπάρχουν διαφορετικά GM, διότι όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το εκτόπισμα δεν είναι το ίδιο και για τις δύο μεθόδους.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση του προβλήματος, το εκτόπισμα της φορτηγίδας υπολογιζόμενο βάσει της μεθόδου της Χαμένης Αντώσεως είναι:

$$\frac{(30 \times 30 \times 3) \times 2}{35} = 154,2 \text{ τόννοι}$$

Επομένως η ροπή ανορθώσεως είναι:

$$154,2 \times 23,5 \cdot \sin\theta = 3625 \cdot \sin\theta \text{ TON} \cdot \text{FT}$$

Από την άλλη το εκτόπισμα της φορτηγίδας υπολογιζόμενο βάσει της μεθόδου του πρόσθετου βάρους είναι:

$$\frac{(30 \times 90 \times 3)}{35} = 231,2 \text{ τόννοι}$$

και η ροπή ανορθώσεως: $231,2 \times 15,67 \cdot \sin\theta = 3625 \cdot \sin\theta \text{ TON} \cdot \text{FT}$

Έτσι η ροπή ανορθώσεως είναι η ίδια ανεξάρτητα από την ακολουθούμενη μέθοδο.

Λεπτομερής ανάπτυξη της Μεθόδου Χαμένης Αντώσεως.

Παρακάτω εξετάζεται λεπτομερώς η εφαρμογή της μεθόδου της Χαμένης Αντώσεως για την εύρεση των στοιχείων ευστάθειας, δηλαδή της εγκάρσιας ροπής ευστάθειας $W \cdot GM$ μετά την κατάκλυση ενός διαμερίσματος το οποίο έχει ελεύθερη επικοινωνία με την θάλασσα.

Για αυτό αρκεί ο υπολογισμός του **GM** και ειδικότερα η εύρεση του **M** καθότι βάσει των αρχών της μεθόδου Χαμένης Αντώσεως, η θέση του **G** παραμένει αμετάβλητη. Η θέση του **M** προσδιορίζεται από την θέση του **B** και από το μήκος της μετακεντρικής ακτίνας **BM**.

Οι μεταβολές της θέσεως του **B** και του **M** ακολουθούν τους παρακάτω κανόνες:

α. Το μέγεθος της δύναμεις της αντώσεως παραμένει το ίδιο και μετά την κατάκλυση, μεταβάλλεται όμως το σημείο εφαρμογής της δύναμεις το οποίο είναι το κέντρο αντώσεως **B**.

β. Το βύθισμα του πλοίου αυξάνει, με τρόπο τέτοιο ώστε ο επιπλέον όγκος του νέου εκτοπίσματος να ισούται με τον απολεσθέντα όγκο υφάλων ο οποίος αντιστοιχεί στο κατακλυσθέν διαμέρισμα.

γ. Η επιφάνεια της ισάλου μεταβάλλεται και επομένως μεταβάλλεται και το **BM**.

$$\text{Έτσι : } KM=KB+BM$$

$$KM_1=KM+\delta KM=KB+\delta KB+BM+\Delta\beta\mu$$

όπου: δKM , δKB και δBM οι μεταβολές των KM , KB και BM

επομένως: $\delta KM=\delta KB+\delta BM$

Με εφαρμογή του θεωρήματος των ροπών, η απόσταση μεταξύ της νέας και της παλαιάς θέσεως του κέντρου αντώσεως πολλαπλασιαζόμενη επί τον όγκο του εκτοπίσματος του πλοίου ισούται με την απόσταση μεταξύ γεωμετρικού κέντρου του απολεσθέντος λόγω της κατακλύσεως όγκου υφάλων και του γεωμετρικού κέντρου του επιπρόσθετου όγκου εκτοπίσματος, πολλαπλασιαζόμενη επί τον απολεσθέντα όγκο υφάλων.

$$\text{Έτσι: } \delta KB \cdot V = v \cdot \left(\frac{D-N}{2} + \frac{\delta D}{2} \right) = v \cdot \left(\frac{D+\delta D-N}{2} \right)$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει με την προϋπόθεση ότι το γεωμετρικό μέτρο του απολεσθέντος όγκου βρίσκεται στο μισό της αποστάσεως μεταξύ του πυθμένα του διαμερίσματος και της αρχικής ισάλου του πλοίου (σχήμα 4-8)

$$\text{Επομένως : } \delta KB = \frac{U}{2V} \cdot (D + \delta D - N)$$

Όπου V = όγκος εκτοπίσματος του πλοίου

v =όγκος χαμένης αντώσεως

D =αρχικό βύθισμα

N =απόσταση του πυθμένα του κατακλυσθέντος διαμερίσματος από την τρύπιδα

Αρχικά η μετακεντρική ακτίνα ήταν $BM = \frac{I}{V}$

Μετά την κατάκλυση η μετακεντρική ακτίνα είναι: $B_1M_1 = \frac{I_1}{V_1}$

Αλλά $V_1=V$

$$\text{επομένως } B_1M_1 = \frac{I_1}{V}$$

Αν οι πλευρές του πλοίου, στην περιοχή του βυθίσματος D μπορούν να θεωρηθούν παράλληλοι έχουμε:

$$I_1 = I - (i + a \cdot Y_1^3) - (A - a) \cdot d^3$$

όπου I_1 =εγκάρσια ροπή αδράνειας της νέας ισάλου περί τον διαμήκη άξονα ο οποίος διέρχεται από το γεωμετρικό κέντρο της.

d =απόσταση μεταξύ του γεωμετρικού κέντρου της νέας ισάλου από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου

a =Εμβαδόν της επιφανείας ισάλου η οποία αντιστοιχεί στο κατακλυσθέν διαμέρισμα.

Y =Κάθετη απόσταση του γεωμετρικού κέντρου της a από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου

i =Εγκάρσια ροπή αδράνειας της a

Έτσι έχουμε ότι:

$$d = \frac{a \cdot Y}{A - a}$$

Άρα

$$I_1 = I - i - a \cdot Y^2 - \frac{a^3 \cdot Y^3}{A - a}$$

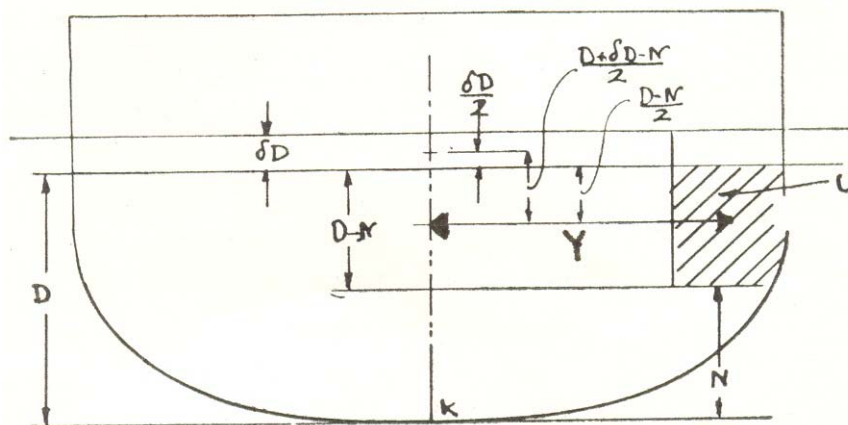
$$\text{και } \delta BM = \frac{I_1 - I}{V} = -\frac{i}{V} - \frac{A \cdot a \cdot Y^3}{V \cdot (A - a)}$$

$$\text{Επομένως } \delta KM = \delta KB + \delta BM = \frac{U}{2V} \cdot (D + \delta D - N) - \frac{i}{V} - \frac{Y^3 \cdot A \cdot a}{V \cdot (A - a)}$$

$$\text{και } GM_1 = GM + \frac{U}{2V} \cdot (D + \delta D - N) - \frac{i}{V} - \frac{Y^3 \cdot A \cdot a}{V \cdot (A - a)}$$

Σύγκριση των δύο μεθόδων

Η μέθοδος χαμένης άντωσης είναι ο πλέον ακριβής τρόπος για την εκτίμηση της αρχικής ευστάθειας σε περίπτωση κατακλύσεως ενός διαμερίσματος μετά ελεύθερης επικοινωνίας με την θάλασσα.



Σχήμα 4-8 Κατάκλυση με ελεύθερη επικοινωνία (Μέθοδος χαμένης άντωσης)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο κατά τους αρχικούς υπολογισμούς των πλοίων παρά στην πράξη, όπου η ταχύτητα εκτιμήσεως μιας κατάστασης έχει μεγαλύτερη σημασία από την ακρίβεια των σχετικών υπολογισμών.

Στην τελευταία περίπτωση, δηλαδή στην πράξη, χρησιμοποιείται η λιγότερο ακριβής μέθοδος του προσθέτου βάρους λόγω της σχετικής ευκολίας με την οποία μπορεί να προσαρμοσθεί στα διάφορα παρουσιαζόμενα προβλήματα κατακλύσεως.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο V Δυναμική Ευστάθεια*Γενικά*

Η δυναμική κατάσταση ενός συστήματος αναφέρεται στην ενέργεια αυτού και στις δυνάμεις εκείνες οι οποίες επηρεάζουν το σύστημα επιβάλλοντας κίνηση, αντίθετη προς την στατική κατάσταση η οποία καθορίζεται από τις δυνάμεις ισορροπίας.

Στην περίπτωση των πλοίων, ως δυναμική ευστάθεια αυτών θεωρείται η διαθέσιμη ενέργεια λόγω της εγκάρσιας ροπής ανορθώσεως η οποία αντιστέκεται στην ενέργεια οποιασδήποτε εξωτερικής ροπής εγκάρσιας κλίσεως από την θέση ισορροπίας μέχρι την τυχούσα γωνία κλίσεως.

Κατ' επέκταση, ολική δύναμη ευστάθειας ενός πλοίου είναι η ολική διαθέσιμη ενέργεια προς αντίσταση εξωτερικής ενέργειας κλίσεως καθ' όλη την περιοχή ευστάθειας του πλοίου.

Δεδομένου ότι η ενέργεια είναι το αποτέλεσμα του μηχανικού έργου, η δυναμική ευστάθεια ενός πλοίου σε τυχούσα γωνία θ_t μπορεί να βρεθεί από το έργο το οποίο απαιτείται για να επιτευχθεί η κλίση το θ_t από την θέση της ισορροπίας του μέχρι την γωνία θ_t . Το έργο αυτό δίνεται από την σχέση:

$$E_t = \int_0^{\theta_t} M_\theta d\theta$$

όπου E_{θ_1} = Απαιτούμενο έργο κλίσεως του πλοίου στην γωνία θ_1

M_θ = Ροπή ανορθώσεως του πλοίου σε οποιαδήποτε γωνία κλίσεως θ

Επειδή όμως $M_\theta = W \cdot GZ$, η προηγούμενη σχέση γίνεται:

$$E_{\theta_1} = \int_0^{\theta_1} W \cdot GZ d\theta$$

$$E_{\theta_1} = W \int_0^{\theta_1} GZ d\theta \quad (5.1)$$

καθ' ότι το εκτόπισμα W είναι σταθερό.

Επομένως η δυναμική ευστάθεια ενός πλοίου μέχρι μιας τυχούσας γωνίας κλίσεως, μπορεί να βρεθεί με ολοκλήρωση της στατικής καμπύλης ευστάθειας μέχρι την γωνία αυτή. Το ολοκλήρωμα όμως της στατικής καμπύλης ευστάθειας, όπως φαίνεται από την σχέση (5.1) είναι το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη στατικής ευστάθειας. Η καμπύλη λοιπόν η οποία παριστά το ολοκλήρωμα της στατικής

καμπύλης ευστάθειας (δηλαδή το εμβαδόν κάτωθεν της καμπύλης αυτής) λέγεται καμπύλη δυναμικής ευστάθειας (Σχήμα 5-1).

Δυναμική ροπή εγκάρσιας κλίσεως.

Υπάρχει απειρία καταστάσεων οι οποίες δημιουργούν αιτίες εξωτερικών εγκαρσίων κλίσεων για το πλοίο και επομένως οι προκύπτουσες ροπές κλίσεων είναι άπειρες τόσο στην φύση όσο και στο μέγεθός τους.

Βασικά, όπως και στην ευστάθεια, διακρίνουμε στατικές και δυναμικές ροπές εγκαρσίων κλίσεων.

Οι ροπές οι οποίες θα εξετασθούν στη συνέχεια συναρτήσει της δυναμικής ευστάθειας των πλοίων, προκαλούνται από δύναμη ή δυνάμεις εκείνες οι οποίες εφαρμόζονται ακαριαία στο πλοίο. Κάθε δύναμη θεωρείται ότι είναι σταθερή και ότι εξακολουθεί να εφαρμόζεται και μετά την πάροδο της δυναμικής ενέργειάς της.

Παραδείγματα τέτοιων ροπών είναι η πτώση ενός βάρους στην πλώρα του καταστρώματος ή η ταχεία κατάκλυση ενός παράκεντρου διαμερίσματος προκαλούμενη από αιφνίδια βλάβη των υφάλων η οποία επιτρέπει την είσοδο μεγάλων ποσοτήτων ύδατος εντός του διαμερίσματος.



Σχήμα 5-1 Στατική και δυναμική ευστάθεια

Αν η δύναμη η οποία προκαλεί δυναμική ροπή εφαρμόζεται σταδιακά, το πλοίο θα λαμβάνει σταδιακά εγκάρσια κλίση, τέτοια ώστε στην τελική γωνία κλίσεως η ροπή ανορθώσεως να είναι ίση με την ροπή κλίσεως. Έτσι στα παραπάνω παραδείγματα, αν το βάρος τοποθετηθεί προσεκτικά επί του καταστρώματος ή αν η κατάκλυση του διαμερίσματος ήταν αποτέλεσμα μικρής διαρροής, δεν θα προκαλούνταν δυναμικά φαινόμενα, ενώ το πλοίο θα αποκτούσε αργά εγκάρσια κλίση, μέχρι την γωνία αποκατάστασης της στατικής ισορροπίας του.

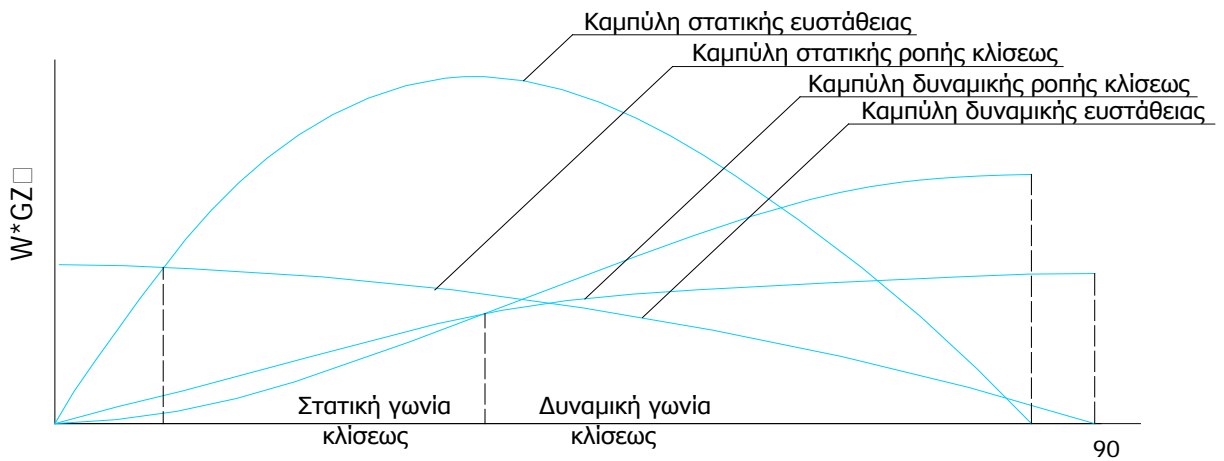
Ως γνωστόν, η καμπύλη της εγκάρσιας στατικής ροπής κλίσεως παρίσταται στο διάγραμμα της στατικής ευστάθειας ως καμπύλη του γινομένου της δυνάμεως η οποία προκαλεί την ροπή επί τον μοχλοβραχίονά της πολλαπλασιαζόμενο επί το συνημίτονο της γωνίας κλίσεως.

Η ίδια ροπή, εφαρμοζόμενη ακαριαία στο πλοίο αποκτά την φύση της δυναμικής ροπής οπότε για την εύρεση του έργου της αρκεί να ολοκληρώσουμε την καμπύλη της στατικής ροπής, όπως ακριβώς για την εύρεση της δυναμικής ευστάθειας έγινε ολοκλήρωση της καμπύλης στατικής ευστάθειας. Δεδομένου ότι

$\int_0^{\theta_1} \cos\theta \, d\theta = \sin\theta + C$ το έργο της στατικής ροπής ευστάθειας, παριστάμενο στο

διάγραμμα ευστάθειας είναι μια καμπύλη ημιτόνου η οποία έχει το ίδιο εύρος με την καμπύλη της στατικής ροπής.

Η τεταγμένη της καμπύλης της δυναμικής ροπής (όπως λέγεται η καμπύλη του έργου της στατικής ροπής) δίνει το έργο κλίσεως το οποίο εδόθη στο πλοίο (Σχήμα 5-2)



Σχήμα 5-2: Καμπύλες ευστάθειας και ροπών κλίσεως

Στο σημείο τομής της καμπύλης δυναμικής ευστάθειας με την καμπύλη δυναμικής ροπής, το έργο κλίσεως το οποίο δόθηκε στο πλοίο είναι ίσο με το έργο ανορθώσεως το οποίο αναπτύχθηκε υπό του πλοίου και επομένως η γωνία η οποία αντιστοιχεί στο σημείο της τομής, είναι η γωνία της μεγαλύτερης κλίσεως την οποία μπορεί να λάβει το πλοίο υπό την επήρεια της δυναμικής ροπής. Όπως όμως φαίνεται από το σχήμα 5-2, στην γωνία της μέγιστης στιγμιαίας κλίσεως, η στατική ροπή ανορθώσεως είναι μεγαλύτερη από την στατική ροπή κλίσεως, επομένως δεν υπάρχει στατική ισορροπία στην γωνία αυτή και επομένως το πλοίο λόγω της ανισότητας των στατικών ροπών επανέρχεται στην αρχική του θέση οπότε όμως αναπτύσσεται παρόμοια αλλά αντίθετης φοράς ανισότητα στατικών ροπών η οποία προκαλεί ταλάντωση του πλοίου περί την γωνία στην οποία η στατική ροπή κλίσεως είναι ίση με την στατική ροπή ανορθώσεως, δηλαδή περί την γωνία της στατικής κλίσεως του πλοίου.

Αν η ροπή κλίσεως είναι τέτοια ώστε η καμπύλη της δυναμικής ροπής να βρίσκεται πάντοτε πάνω από την καμπύλη δυναμικής ευστάθειας, τότε δεν υπάρχει σημείο της τομής των δύο καμπυλών και συνεπώς, το πλοίο υπό την εφαρμογή τέτοιας δυναμικής ροπής μπορεί να ανατραπεί.

Γραφική μέθοδος επιλύσεως προβλημάτων ευστάθειας.

Τα προβλήματα της δυναμικής ευστάθειας των πλοίων μπορούν να επιλυθούν και γραφικά με την χρησιμοποίηση των καμπυλών της στατικής ευστάθειας και της στατικής ροπής κλίσεων.

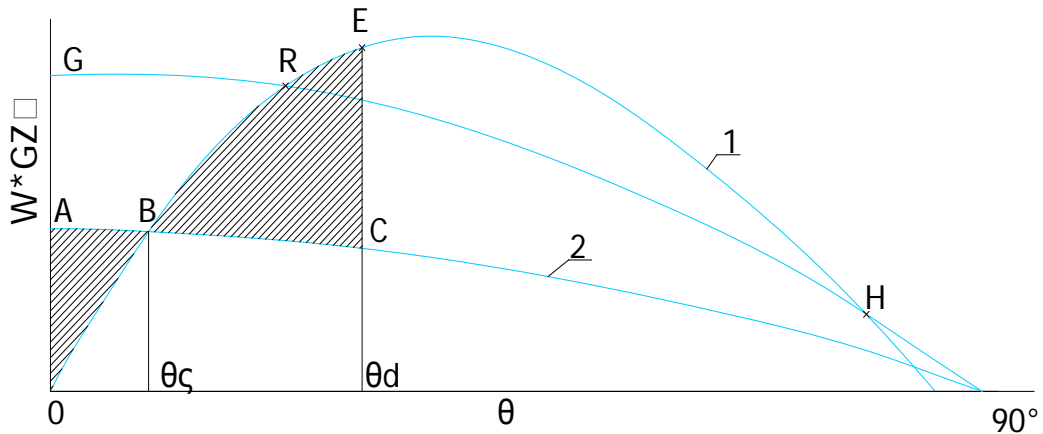
Έτσι στο σχήμα 5-3 η καμπύλη $\underline{1}$ είναι η καμπύλη της στατικής ευστάθειας και το εμβαδόν κάτωθεν της καμπύλης, βάσει της σχέσεως (5.1) παριστά την δυναμική ευστάθεια του πλοίου. Η καμπύλη $\underline{2}$ είναι η καμπύλη της στατικής ροπής κλίσεως.

Υποτίθεται ότι η ροπή κλίσεως εφαρμόζεται ακαριαία στο πλοίο, όταν αυτό έχει εγκάρσια κλίση θ° . Στην γωνία της στατικής εγκάρσιας κλίσεως Θ_ζ η οποία αντιστοιχεί στην τομή **B** των καμπυλών $\underline{1}$ και $\underline{2}$, η ενέργεια κλίσεως παρίσταται από το εμβαδόν κάτωθεν της καμπύλης $\underline{2}$, **AB Θ_ζ O**. Η ενέργεια ανορθώσεως, δηλαδή η δυναμική ευστάθεια του πλοίου στην γωνία Θ_ζ , παρίσταται από το εμβαδόν κάτωθεν της καμπύλης $\underline{1}$, **OB Θ_ζ** . Από την σύγκριση των δύο εμβαδών, φαίνεται ότι στην γωνία της στατικής εγκάρσιας κλίσεως η ενέργεια κλίσεως είναι μεγαλύτερη της ενέργειας ανορθώσεως κατά το εμβαδόν **OAB**. Επομένως το πλοίο υπό την επήρεια της υπεροχής της ενέργειας κλίσεως θα εξακολουθήσει να κλίνει μέχρι την γωνία δυναμικής εγκάρσιας κλίσεως Θ_d , όπου η ενέργεια κλίσεως θα είναι ίση με την ενέργεια ανορθώσεως. Η γωνία προσδιορίζεται από την ταυτότητα των εμβαδών **OAC Θ_d** και **OE Θ_d** ή από την ισότητα των εμβαδών **OAB** και **BEC**. Στην γωνία Θ_d η στατική ροπή ανορθώσεως είναι μεγαλύτερη από την στατική ροπή κλίσεως και επομένως το πλοίο θα ταλαντεύεται περί την γωνία Θ_ζ μέχρι να ισοροπήσει στην γωνία αυτή.

Αν η ροπή κλίσεως είχε μεγαλύτερη τιμή, όπως π.χ **OG** στο σχήμα 5-3, δεν θα υπήρχαν ικανά περιθώρια δυναμικής ευστάθειας για να ισοροπήσουν την δυναμική εφαρμογή της ροπής, καθ' ότι το εμβαδόν **OGR** είναι μεγαλύτερο του εμβαδού **REH** και επομένως το πλοίο το οποίο θα υφίσταται την συγκεκριμένη κατάσταση, θα εξακολουθήσει να κλίνει πέραν της στατικής γωνίας εγκάρσιας κλίσεως μέχρι την ανατροπή του.

Στις πρακτικές εφαρμογές της γραφικής μεθόδου επιλύσεως προβλημάτων δυναμικής ευστάθειας και για μικρές γωνίες κλίσεων, η μικρή καμπυλότητα των καμπυλών στατικής ευστάθειας και ροπής κλίσεως, μπορεί να θεωρηθεί ως αμελητέα, ώστε οι επιφάνειες κάτωθεν των καμπυλών αυτών λαμβάνονται ως τρίγωνα ή τραπέζια, οπότε ο υπολογισμός των αντίστοιχων εμβαδών είναι απλούστατος.

Βάσει της παραπάνω παραδοχής μπορεί να αποδειχθεί ότι στην περιοχή γωνιών κλίσεως μέχρι 30° περίπου, η γωνία της εγκάρσιας κλίσεως είναι διπλάσια από τις γωνίες της στατικής εγκάρσιας κλίσεως.



Σχήμα 5-3 Γραφική επίλυση προβλημάτων δυναμικής ευστάθειας

Έτσι το πρόβλημα της δυναμικής ευστάθειας των πλοίων όπως παρουσιάζεται στις συνήθεις εφαρμογές του, έχει άμεση αντιστοιχία με παρόμοια γραμμικά δυναμικά προβλήματα της μηχανικής όπως π.χ με την επιμήκυνση ενός ελατηρίου το οποίο συγκρατεί ένα βάρος το οποίο κατ' αρχήν υποστηρίζεται και στη συνέχεια αφήνεται αιφνιδίως ελεύθερο ή ακόμη με την συμπεριφορά μιας δοκού η οποία δέχεται αιφνίδια εφαρμογή του φορτίου της.

Ανακεφαλαίωση

Από τις προηγούμενες παραγράφους, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω γενικά συμπεράσματα σε ότι αφορά την δυναμική συμπεριφορά του πλοίου από πλευράς ευστάθειας.

α. Η δυναμική εφαρμογή μιας ροπής κλίσεως, προσδίδει στο πλοίο μια γωνία κλίσεως η οποία προσδιορίζεται από την ισότητα των ενεργειών κλίσεως και ανορθώσεως. Η γωνία κλίσεως λόγω δυναμικής εφαρμογής της ροπής είναι μεγαλύτερη από την γωνία κλίσεως η οποία αντιστοιχεί στην στατική εφαρμογή της ροπής στην οποία και ισορροπεί τελικά το πλοίο.

β. Αν η ενέργεια λόγω της δυναμικής εφαρμογής της ροπής κλίσεως είναι μεγαλύτερη από την δυναμική ευστάθεια το πλοίο θα ανατραπεί έστω και αν η στατική ροπή ανορθώσεως είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την στατική ροπή κλίσεως.