

ΤΣΕΛΕΜΑΡΚΟΣ ΣΤΑΜΑΤΗΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΣ ΝΑΥΠΗΓΟΣ - ΜΗΧ/ΓΟΣ - ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΓΕΝΟΒΑΣ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΝΑΥΠΗΓΙΑΣ II
B' ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Ε.Ν.
B' ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟΣ.

ΑΘΗΝΑ 1/9/98

ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

1. Προσδιορισμός κέντρου βάρους.

Παρατηρούμε τα παρακάτω ομοιογενή σώματα



στην περίπτωση (α) το κέντρο βάρους βρίσκεται στην τομή των διαγωνίων, στην περίπτωση (β) βρίσκεται στο κέντρο του κύκλου και στην περίπτωση (γ) βρίσκεται στην τομή των διαμέσων.

2. Επίδραση στο κέντρο βάρους σώματος από αφαίρεση μάζας.

Έστω ότι έχουμε το ομογενές σώμα που βλέπουμε στο σχήμα

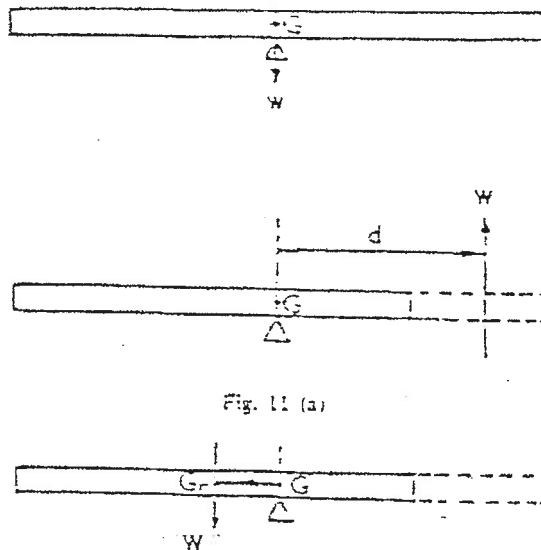
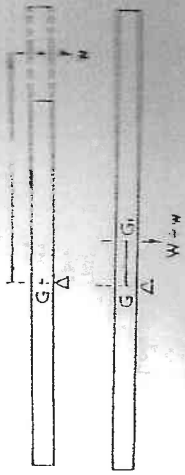


Fig. 11 (a)

την απόσταση μετατόπισης του κέντρου βάρους την βρίσκουμε από την σχέ- ση:

3. **Επίδραση στο κέντρο βάρους σώματος από πρόσθιση μάζας**
Έστω ότι έχουμε το ομοιογενές σώμα του σχήματος



το κέντρο βάρους μετακινείται από την θέση G στη θέση G'. Η απόσταση μετατόπισης του κέντρου βάρους δίνεται από τη σχέση:

$$GG' = \frac{wxh}{W+w}$$

4. **Επίδραση στο κέντρο βάρους από μετακίνηση βάρους**
Έστω ότι έχουμε ένα σώμα ομοιογενές και πάνω σε αυτό τοποθετούμε ένα μικρό βάρους (w). Μετακινώντας, το βάρους, γίνεται και απόλυτη μετακίνηση του κέντρου βάρους, του σώματος από τη θέση G στη θέση G'.

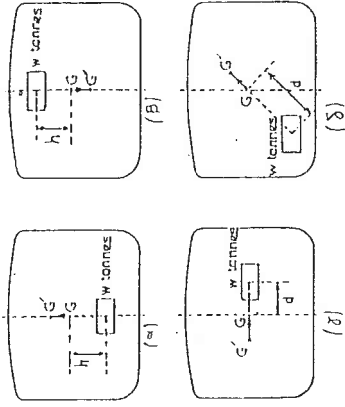


Η σχέση η οποία μας δίνει την μετατόπιση του κέντρου βάρους G είναι

$$GG' = \frac{wxh}{\Delta}$$

5. **Επίδραση κέντρου βάρους πλοίου και σημασία του σε θέματα ευστάθειας**
Σαν κέντρο βάρους του πλοίου μπορεί να καθορισθεί το σημείο όπου ενεργεί η συνισταμένη όλων των βαριών που βρίσκονται πάνω στο πλοίο συμπεριλαμβανόμενου και του σκάφους του. Το συμβολίζουμε με G από το gravity.
Αν έχουμε μια εγκάρσια τομή πλοίου όπου G το κέντρο βάρους του, τότε παρατηρούμε ότι αν αφαιρέσουμε ένα βάρος από χαμηλά σχήμα (α) το κέντρο βάρους του πλοίου ανεβαίνει στη θέση

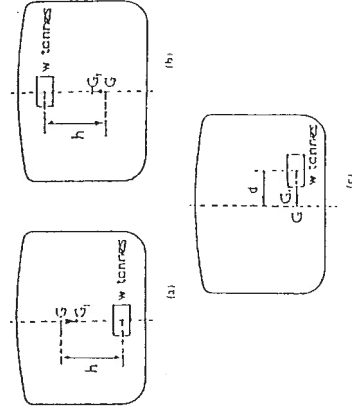
G', αν το αφαιρέσουμε από ψηλά σχήμα (β) το κέντρο βάρους κατεβαίνει στη θέση G', και αν το αφαιρέσουμε από χαμηλά αλλά έξω από το διαμήκες συμμετρικό επίπεδο του πλοίου, τότε και ανεβαίνει, αλλά και παίρνει εγκάρσια κλίση. Στις περιπτώσεις (α) και (β) η απόσταση μετακίνησης του κέντρου βάρους του πλοίου δίδεται από τη σχέση:



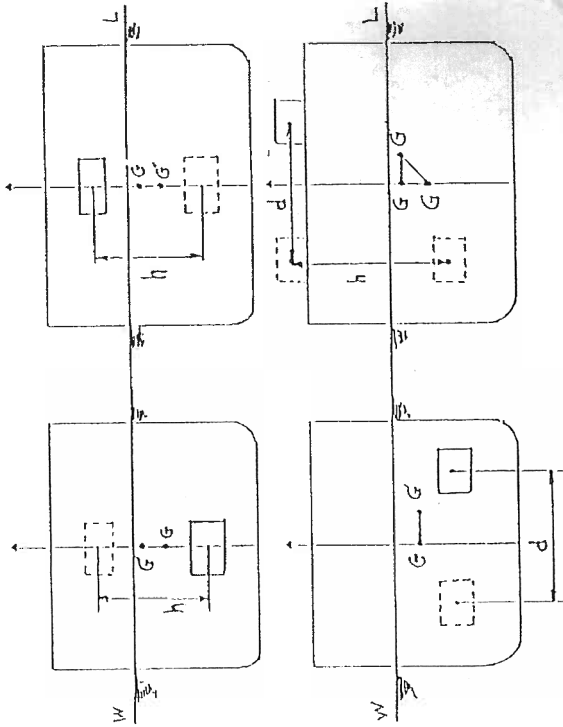
$$GG' = \frac{wxh}{\Delta-w} \text{ ενώ στην } (\gamma) \text{ περίπτωση από τη σχέση: } GG' = \frac{wxh}{\Delta+w}$$

Κάτι ανάλογο συμβαίνει με την πρόσθεση βάρους σε διάφορες θέσεις χαμηλά-ψηλά, δεξιά-αριστερά.

$$GG' = \frac{wxh}{\Delta+w}$$



Επίσης όταν μετακινείται ένα βάρος πάνω στο πλοίο, τότε το κέντρο βάρους του πλοίου μετακινείται στην νέα θέση ανάλογα, όπως βλέπουμε στα σχήματα.



$$GG' = \frac{wx d}{\Delta}$$

Όταν το κέντρο βάρους του πλοίου μετακινείται, έχει σοβαρές επιδράσεις πάνω στην ευστάθεια του πλοίου. Όταν δηλαδή προσθέσουμε χαμηλά ή αφαιρέσουμε από ψηλά, ή μετακινήσουμε από πάνω προς τα κάτω, τότε το κέντρο βάρους του πλοίου κατεβαίνει και είναι και θετικό για το πλοίο, διότι όπως θα δούμε αυξάνει η ευστάθεια του πλοίου. Αντίθετα αφαιρώντας από χαμηλά ή προσθέτοντας ψηλά η μετακινώντας από κάτω προς τα πάνω, τότε το κέντρο βάρους του πλοίου ανεβαίνει με αποτέλεσμα να μειώνεται η ευστάθεια του πλοίου.

ΠΛΕΥΣΤΟΤΗΤΑ *Τ είναι η δύναμη*

1. Πλευστότητα είναι η ικανότητα του πλοίου να αντιδράει στις διάφορες εξωτερικές δυνάμεις που προσπαθούν να το βυθίσουν. Για παράδειγμα τα κύματα όταν κατακλίζουν το κατώστρωμα. Η πλευστότητα του πλοίου εξασφαλίζεται από όλους τους κενούς χώρους που διαθέτει ένα πλοίο, όπως π.χ. διπλόθενα, δεξαμενές ζυγοστάθμισης, cofferdams, έξαλα, η καμπυλότητα και η κωτότητα του καταστρώματος κ.λ.π.
2. Αρχή του Αρχιμήδη. Κάθε σώμα που βυθίζεται σε ένα υγρό χάνει τόσο από το βάρος του όσο είναι και το βάρος του εκτοπιζόμενου υγρού.
3. Άντωση (S) είναι η συνισταμένη όλων των υδροστατικών δυνάμεων που ενεργούν στην βυθιζόμενη επιφάνεια του σώματος, έχει κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω και είναι ίση και αντίθετη με το βάρος (P) του σώματος.

$$\text{Βάρος (P)} = \text{Άντωση (S)}$$

4. Κέντρο άντωσης (B) είναι το κέντρο βάρους του βυθισμένου μέρους του σκάφους το οποίο είναι και το σημείο εφαρμογής της άντωσης.
5. Ολικό εκτόπισμα πλοίου (Δ). Το ολικό εκτόπισμα ενός πλοίου αποτελείται από το βάρος του πλοίου όταν αυτό είναι τελείως άδειο από υγρά καύσιμα και άλλα φορτία (Light ship weight) το οποίο ονομάζουμε με (Δ_1) και του νεκρού βάρους του πλοίου το οποίο συμβολίζουμε με DWT. Δηλαδή έχουμε:

$$\Delta = \Delta_1 + \text{DWT}$$

Το βάρος κενού σκάφους (Δ_1) συμπεριλαμβάνει το βάρος του σκάφους (Wh), το βάρος του εξοπλισμού (Wo), και το βάρος της κύριας μηχανής (Wm).

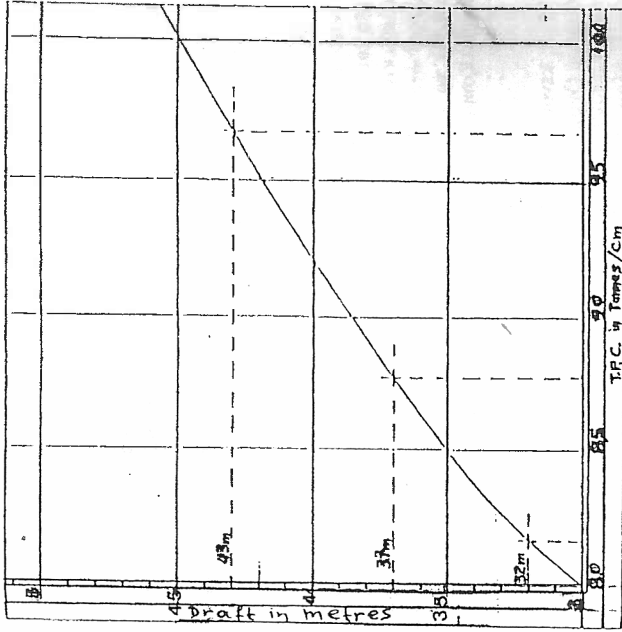
$$\text{Δηλαδή: } \Delta_1 = Wh + Wo + Wm$$

Το νεκρό βάρος του πλοίου DWT συμπεριλαμβάνει:

- Το βάρος καθαρού φορτίου.
- Το βάρος μόνιμου έρματος αν υπάρχει.
- Το βάρος υγρών καυσίμων.
- Το βάρος νερού (πόσιμο-λάτρης-ψύξης-κ.λ.π.)
- Το βάρος πληρωμάτων και εφοδίων αυτού.

Επίσης σποδήρατε άλλο βάρος που μπαίνει στο πλοίο φθάνοντας το DWT μέχρι μια μέγιστη τιμή.

3. ΤΡС είναι το βήρος σε μετρικούς τόνους που μεταβάλλει το μέσο βύθισμα κατά 1 cm.



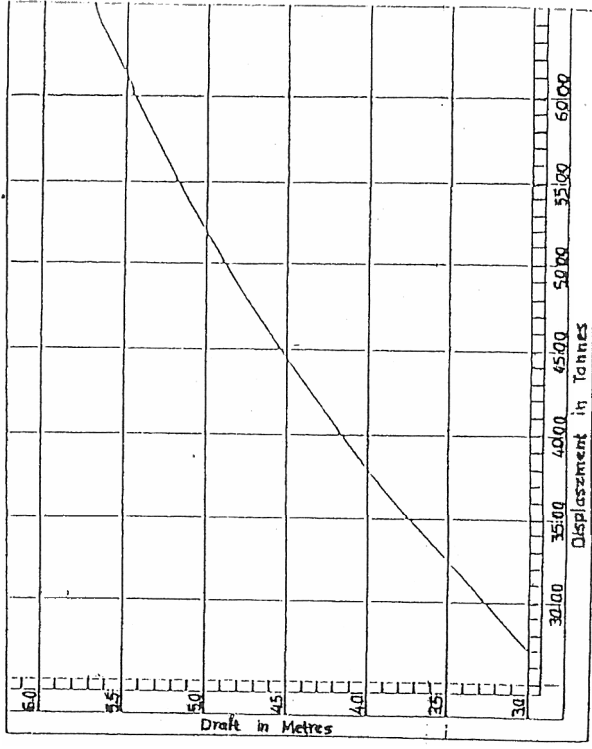
Η μεταβολή αυτή δίδεται από τη σχέση:

$$TPC = \frac{1,025A}{100} \text{ για θαλασσινό νερό}$$

$$TPC = \frac{1}{100} \times A \text{ για γλυκό νερό}$$

όπου Α είναι η επιφάνεια της ισάλου σε m²

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ

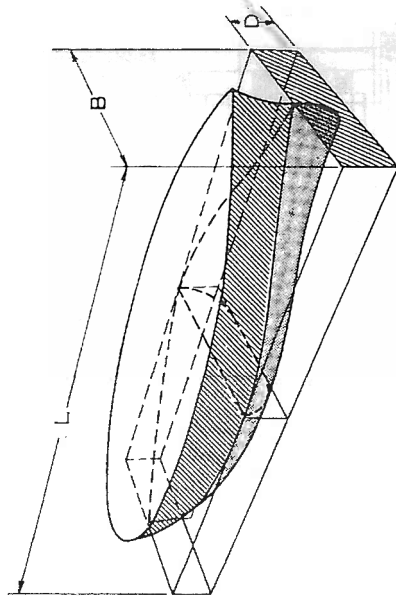


ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΡΦΗΣ

1. Συντελεστής γάστρας (Block Coefficient) C_b

Ο συντελεστής αυτός μας εκφράζει πόσο όγκο καταλαμβάνει ένα πλοίο από το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο που έχει μήκος το μήκος του πλοίου, πλάτος το μέγιστο πλάτος του πλοίου, και ύψος το μέγιστο βήθισμα του πλοίου.

$$C_b = \frac{V}{L \times B \times D}$$



Ταχύπλοα σκάφη (θαλαμηγοί-αντιτορπικά-καταδρομικά) έχουν συντελεστή που κυμαίνεται από 0,50 - 0,65.

Πλοία γενικού φορτίου (General Cargo) έχουν 0,65 - 0,75.

Bulk Carriers - Containers έχουν 0,68 - 0,78

Δεξαμενόπλοια (Tankers) 0,80 - 0,85

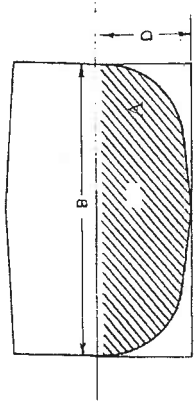
Η εκλογή του συντελεστή γάστρας εξαρτάται από την ταχύτητα του πλοίου και συνήθως είναι τέτοια ώστε η υπηρεσιακή ταχύτητα να βρίσκεται κάτω από την κριτική δηλαδή την ταχύτητα εκείνη πέραν της οποίας η αντίσταση πρόωσης αυξάνει.

Από πλευρής επίδρασης του συντελεστή γάστρας στο βάρος της κατασκευής, αυτό αυξάνει αυξανόμενου του συντελεστή. Επίσης μαζί με τη σχετική ταχύτητα επιδρά στο μήκος κύματος και το ύψος κύματος και επομένως στην αντίσταση πρόωσης.

1. Συντελεστής μέσης τομής (mid ship section coefficient) C_m .

Ο συντελεστής αυτός μας εκφράζει το εμβαδόν της μέσης τομής που βρίσκεται κάτω από την ισάλο επιφάνεια.

$$C_m = \frac{A}{B \times D}$$



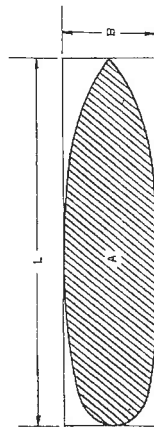
Ο συντελεστής αυτός σκεύει μόνο μικρή σήμαντη μπορούμε να πούμε επίδραση στην αντίσταση πρόωσης.

Μεγάλος συντελεστής C_m με μικρές ακτίνες καμπυλότητας γάστρας στην περιοχή του μέσου παράλληλου σώματος ευνοεί τις απορβέσεις των ταλαντώσεων.

3. Συντελεστής ισάλου (Water plane coefficient) C_w .

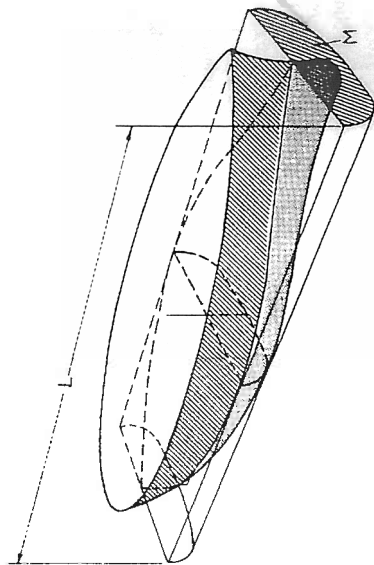
Είναι ο λόγος του εμβαδού της επιφάνειας της ισάλου (A) προς το εμβαδόν της επιφάνειας του ορθογωνίου που είναι περιγεγραμμένο στο σχήμα της ισάλου και έχει πλευρές ίσες με το πλάτος κατασκευής (B) της ισάλου και μήκος (L) το μήκος της ισάλου.

$$C_w = \frac{A}{B \times L}$$



4. Πρισματικός συντελεστής (Prismatic coefficient) C_p .
Είναι ο λόγος του όγκου εκτοπίσματος των υφάλων του πλοίου προς τον όγκο πρίσματος, που έχει βάση τη μέση τομή (L) και ύψος το μήκος της ισάλου.

$$C_p = \frac{V}{AxL}$$



μεγάλες τιμές του συντελεστού υποδηλώνουν ότι το εκτόπισμα συγκεντρώνεται στα άκρα, ενώ μικρές τιμές του πρισματικού υποδηλώνουν ότι το εκτόπισμα βρίσκεται συγκεντρωμένο γύρω από τη μέση του πλοίου. Η εκλογή του επηρεάζει τη θέση του συστήματος των κομμάτων που δημιουργούνται υπό το πλοίο και κατά συνέπεια η σχετική ενίσχυση ή απόσβεση αυτών.

Λεπτά σκάφη στα άκρα (μικρό C_p) είναι ευνοϊκότερα σε ταχύτερες κατώτερης της κριτικής. Για ταχύτερες πάνω από την κριτική είναι προτιμότερες μεγαλύτερες τιμές. Η αντίσταση τριβής R_f που είναι και η βασικότερη παραμένει σταθερή μεταβαλλόμενου του πρισματικού συντελεστή.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΒΥΘΙΣΜΑ ΚΑΙ ΤΟ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ

α) Υπολογισμός του βυθίσματος από αλλαγή της πυκνότητας όταν το εκτόπισμα παραμένει σταθερό.

Έχουμε λοιπόν ότι: Μάζα (M) = Όγκο (V) x πυκνότητα (ρ) δηλαδή όταν αυξάνει η πυκνότητα αυξάνει η μάζα, όταν παραμένει σταθερή δεν μεταβάλλεται και όταν μικραίνει ελαττώνεται. Αν έχω π.χ. μια δεξαμενή τότε:

Νέο εκτόπισμα = Παλιό εκτόπισμα

άρα: Νέος όγκος x νέα πυκνότητα = Παλιός όγκος x παλιά πυκνότητα



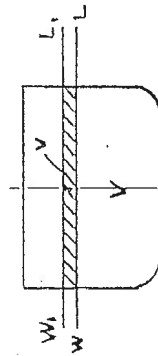
Αποτέλεσμα της μεταβολής της πυκνότητας του νερού για ένα πλοίο.

Για ένα πλοίο όμως τα πράγματα δεν είναι τα ίδια, διότι ο όγκος των υφάλων δεν είναι όπως της φορηγίδας που είχε σχήμα ορθογωνικό.

Για ένα πλοίο που περνάει από την θάλασσα σε γλυκό νερό έχουμε:

$$FWA = \frac{\text{Εκτόπισμα (ton.)}}{4xTPC} \text{ (mm)}$$

FWA (fresh water allowance in mm)



Παίρνουμε ένα πλοίο όπως στο σχήμα το οποίο να πλέει σε θαλασσινό νερό σε θερμή περίοδο (ισαλο WL) ο βυθιζόμενος όγκος είναι (V). Παίρνουμε την ισάλο (WLL1) όταν το πλοίο εκτοπίζει την μεγαλύτερη μάζα σε γλυκό νερό. Επίσης (v) είναι ο επιπλέον όγκος του εκτοπιζόμενου νερού σε γλυκό νερό άρα ο όγκος σε γλυκό νερό θα είναι:

$V+v$

εκτόπισμα = όγκος x πυκνότητα

εκτόπισμα σε θαλασσινό νερό ((SW) = $1,025 \times V$

εκτόπισμα σε γλυκό νερό (FW) = $1,000(V+v)$

αλλά το εκτόπισμα σε γλυκό νερό είναι ίσο με το εκτόπισμα σε θαλασσινό νερό δηλαδή έχουμε:

$$1,000(V+v) = 1,025V$$

$$1,025V + 1,000v = 1,025V$$

$$1,000v = 25V$$

$$v = V/40$$

αν (w) είναι η μάζα σε θαλασσινό νερό όγκου (v) και (Δ) είναι η μάζα σε θαλασσινό νερό όγκου (V) τότε:

$$w = \Delta/40$$

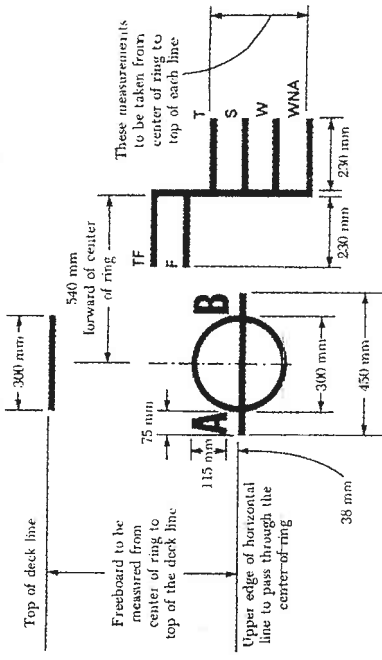
$$FWA = \frac{\Delta}{4 \times TPC} \text{ (mm)}$$

αλλά $\Delta = FWA \times 4 \times TPC$

$$w = \frac{FWA}{10} \times TPC$$

όπου Δ είναι το εκτόπισμα σε πλήρες φορτίο σε θαλασσινό νερό.

ΚΥΚΛΟΙ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΕΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ



Thickness of all lines 35 mm

AB Αμερικανικός Νηργώνοντας

American Bureau of Shipping

TF Περιθώρια για τροπικά γλυκά νερά

Tropical fresh water allowance

F Περιθώρια για γλυκό νερό

Fresh water allowance

T Έμφορτος ίσαλος για τροπικές ζώνες

Load line in tropical zones

S Θερινή έμφορτος ίσαλος

Summer load line

W Χειμερινή έμφορτος ίσαλος

Winter load line

WNA Γραμμή φόρτωσης Βόρειου Ατλαντικού

Winter North Atlantic

Παραδείγματα

1. Από το διάγραμμα του TPC προσδιόρισε: α) το TPC στα βύθισμα 3,2μ-3,7μ-4,2μ. β) Αν το πλοίο έχει μέσο βύθισμα 4μ και προστεθούν 50 ton φορτίου, 10 ton γλυκού νερού και 25 ton άνθρακα και αφαιρεθούν 45 ton Σαβούρας να προσδιοριστεί το τελικό μέσο βύθισμα.

Λύση

- α) TPC στα 3,2μ=8,17ton.
 TPC στα 3,7μ=8,77ton.
 TPC στα 4,3μ=9,68ton.
- β) TPC στα 4μ =9,2ton.
 προστιθέμενο φορτίο =50 ton.
 Fresh water =10ton.
 Bunkers =25ton.
 Σύνολο =85ton.
- αφαρσμένη σαβούρα=45ton.
 καθαρό φορτίο =40ton.

Αύξηση βύθισματος=ΔTPC
 =40/9,2
 =4,35cm

Αύξηση βύθισματος=0,044μ
 Αρχικό βύθισμα =4,000μ
 Νέο βύθισμα =4,044μ

2. Αν το πλοίο έχει άφορτο βύθισμα 3μ και έφορτο 5,5μ

- α) Προσδιόρισε το Dwt
 β) Προσδιόρισε το βύθισμα του πλοίου αν υπάρχουν 500ton. άνθρακα και 50ton. γλυκού νερού και εφοδίων αυτού.
 γ) Αν στα 5,13μ του μέσου βύθισματος το πλοίο αφαιρεί 2,100ton. φορτίου και φορτώνει 250ton. άνθρακα, προσδιόρισε το νέο μέσο βύθισμα.
 δ) Προσδιόρισε κατά προσέγγιση το TPC στα 4,3μ μέσου βύθισματος.
 ε) Όταν το πλοίο έχει μέσο βύθισμα 5,2μ και το βύθισμα σε πλήρες φορτίο είναι 5,5μ προσδιόρισε πόσο επιπλέον φορτίο μπορεί να φορτώσει ακόμα.
 Δίδονται:

Βύθισμα	3	3,5	4	4,5	5	5,5	m
Εκτόπισμα	2700	3260	3800	4450	5180	6060	ton.

Λύση

α) Έφορτο βύθισμα 5,50μ εκτόπισμα =6060ton.
 Άφορτο βύθισμα 3,00μ εκτόπισμα =2700ton.
 Dwt =3360ton.

β) Άφορτο εκτόπισμα =2700ton.
 Άνθρακας = 500ton.
 Γλυκό νερό = 50ton.
 Νέο εκτόπισμα =3250ton.
 Βύθισμα =3,48μ

γ) Εκτόπισμα στα 5,13μ = 5380ton.
 Αφαρσούμενο βάρος = 2100ton.
 3280ton.

Φορτίο άνθρακα = 250ton.
 Νέο εκτόπισμα =3530ton.
 Νέο βύθισμα = 3,775μ

δ) Στα 4,5μ το εκτόπισμα είναι =4450ton.
 στα 4,3μ το εκτόπισμα είναι =4175ton.

Διαφορά μεταβολής βύθισματος 0,2μ στους 275ton.

Διαφορά μεταβολής βύθισματος 1cm $\frac{275\text{ton.}}{20} = 13,75\text{ton.}$

TPC=13,75ton.

ε) Βύθισμα σε πλήρες φορτίο 5,5μ εκτόπισμα =6060ton.
 Βύθισμα σε 5,2μ εκτόπισμα =5525ton.

Διαφορά = 535ton.

Φορτίο =535ton.

3. Ένα πλοίο πλέει με μέσο βύθισμα 2,1μ, σε δεξαμενή όπου το νερό έχει πυκνότητα 1,020 kg/m³. Να βρεθεί το νέο βύθισμα όταν το πλοίο θα πλέει στη θάλασσα.

Λύση

$$\frac{\text{Νέο βύθισμα}}{\text{Παλιό βύθισμα}} = \frac{\text{Παλιά πυκνότητα}}{\text{Νέα πυκνότητα}}$$

$$\frac{\text{Νέο βύθισμα}}{1020} = \frac{1025}{1025} \times 2,1\text{m} = 2,09\text{m}$$

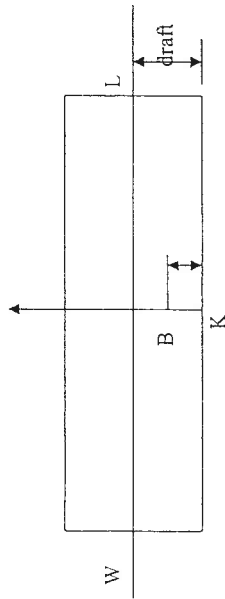
4. Μια δεξαμενή ορθογωνικής διατομής πλέει όρθια και ισοβύθιστη σε γλυκό νερό πυκνότητας $1,000 \text{ kg/m}^3$ και το κέντρο άντωσης απέχει 50 cm περίπου από την τρύπα, προσδιόρισε τη μεγαλύτερη ανύψωση του κέντρου άντωσης ούτως ώστε να μπορεί η δεξαμενή να πλέει σε θαλασσινό νερό πυκνότητας $1,025 \text{ kg/m}^3$.

Λύση

Το κέντρο άντωσης είναι το κέντρο βάρους του βυθισμένου μέρους της δεξαμενής και βρίσκεται στο μισό του βυθίσματος δηλαδή:

$$KB = 1/2d \text{ όπου } d \text{ βύθισμα.}$$

$$KB = 0,5\mu, d = KB \times 2 = 0,5 \times 2 = 1\text{m}$$

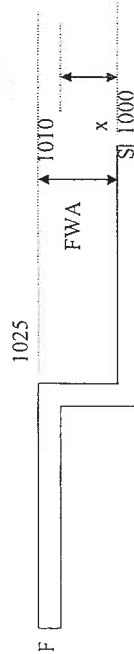


$$\frac{\text{Νεο βυθισμα}}{\text{Παλαιο βυθισμα}} = \frac{\text{Παλια πυκνοτητα}}{\text{Νεα πυκνοτητα}}$$

$$\text{Νεο βυθισμα} = \frac{\text{Παλια πυκνοτητα}}{\text{Νεα πυκνοτητα}} \times \text{παλαιο βυθισμα} = \frac{1000}{1025} \times 1 = 0,976\text{m}$$

$$\text{Νεο } KB = 0,976/2 = 0,488\mu$$

5. Ένα πλοίο βρίσκεται σε δεξαμενή της οποίας το νερό έχει πυκνότητα $1,010 \text{ kg/m}^3$, FWA=150 mm. Προσδιόρισε την αλλαγή του βυθίσματος όταν θα μπει στο θαλασσινό νερό.



Λύση

Αν x = με την αλλαγή του βυθίσματος σε mm τότε:

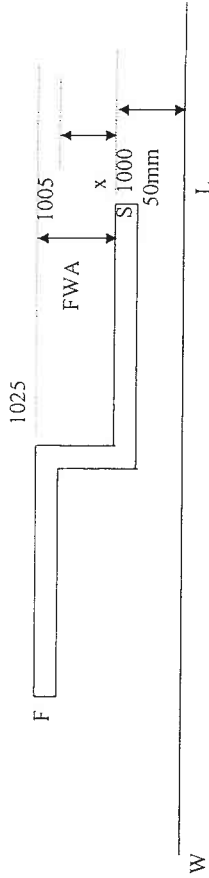
$$\frac{x}{FWA} = \frac{1025 - d}{1025 - 1000}$$

$$\frac{x}{FWA} = \frac{1025 - 1010}{25}$$

$$X = FWAX \frac{15}{25} = 90\text{mm}$$

6. Ένα πλοίο είναι φορτωμένο σε θερινή περίοδο και πλέει σε νερό δεξαμενής πυκνότητας $1,005 \text{ kg/m}^3$, FWA=62,5 mm, TPC=15ton. Το κατώτερο άκρο της θερινής γραμμής φόρτωσης είναι 5 cm πάνω από την ισάλο γραμμή της δεξιάς πλευράς του πλοίου. Προσδιόρισε πόσο φορτίο μπορεί να φορτώσει το πλοίο ώστε να πλέει με το σωστό βύθισμα σε θαλασσινό νερό.

Λύση



$$\frac{x}{FWA} = \frac{1025 - d}{1025 - 1000}$$

$$X = 62,5 \times \frac{1025 - 1005}{25} = 50\text{mm}$$

Έχοντας αύξηση βυθίσματος 50 mm τότε η ολική αύξηση θα είναι 100 mm ή 10 cm. Από τη σχέση:

$$\text{αύξηση βυθίσματος} = \text{αύξηση φορτίου/TPC}$$

$$\text{αύξηση βυθίσματος} = 10 \times 15 = 150\text{ton.}$$

7. Προσδιόρισε το νέο βύθισμα του πλοίου αν 42 ton φορτίου προστεθούν όταν το πλοίο πλέει με μέσο βύθισμα 4,2μ

Λύση

Από το διάγραμμα βρίσκουμε ότι σε βύθισμα 4,2μ αντιστοιχεί $TPC=9,55$ ton.
 αύξηση βύθισματος = $w/TPC = 42/9,55=0,044$ m
 Νέο βύθισμα=4,2+0,044=4,244μ.

8. Αν πλοίο πλέει με μέσο βύθισμα 5,2μ, να βρεθεί το εκτόπισμά του. Αν προστεθούν 850ton φορτίου και αφαιρεθούν 200ton φορτίου να βρεθεί το νέο μέσο βύθισμα του πλοίου.

Λύση

Από το διάγραμμα του εκτοπίσματος βρίσκουμε ότι σε 5,2μ αντιστοιχεί εκτόπισμα 5525ton.

προστιθέμενο βάρος 850ton.

αφαρμόμενο βάρος 200ton.

Διαφορά βάρους 650ton.

Ολικό εκτόπισμα=5525+650=6175ton.

Νέο μέσο βύθισμα=5,5μ

β) Επιδόραση της μεταβολής της πυκνότητας στο εκτόπισμα όταν το βύθισμα παραμένει σταθερό.

1. Ένα πλοίο έχει εκτόπισμα 7000ton. και πλέει σε γλυκό νερό. Προσδιόρισε το εκτόπισμα του πλοίου στο ανώτερο βύθισμα σε νερό πυκνότητας $1,015 \text{ kg/m}^3$.

Λύση

$$C_b = \frac{V}{L \cdot B \cdot d} \cdot L \cdot B \cdot d = \frac{V_N}{L \cdot B \cdot d} \cdot V_N = V_N \text{ εχοντας } \Delta = \gamma V$$

$$\frac{\Delta_N}{\Delta} = \frac{\rho_N}{\rho} \pi$$

$$\Delta_N = \frac{1015}{1000} \cdot 7000 = 7105 \text{ ton}$$

2. Ένα πλοίο με εκτόπισμα 6400 ton. πλέει σε θαλασσινό νερό. Το πλοίο αλλάζει το βύθισμά του όταν η πυκνότητα του νερού είναι $1,008 \text{ kg/m}^3$. Προσδιόρισε πόσο φορτίο πρέπει να αφαιρεθεί ώστε να διατηρηθεί το βύθισμα σε θαλασσινό νερό.

3. Ένα πλοίο έχει διαστάσεις μήκος $L=120\text{μ}$, πλάτος $B=17\text{μ}$, συντελεστή γάστρας $C_b=0,89$, και βύθισμα $d=7,2\text{μ}$ σε γλυκό νερό. Να προσδιοριστεί πόσο επιπλέον φορτίο μπορεί να φορτώσει ακόμα ώστε να παραμείνει το ίδιο βύθισμα σε θαλασσινό νερό.

Λύση

$$C_b = \frac{\Delta}{L \cdot B \cdot d \cdot \text{πυκνότητα}}$$

Παλιό εκτόπισμα $\Delta = L \cdot B \cdot d \cdot C_b \cdot \text{πυκνότητα}$

$$\Delta = 120 \times 17 \times 7,2 \times 0,89 \times 1000 \text{ ton} = 13.070 \text{ ton.}$$

νέο εκτόπισμα = νέο πυκνότητα

παλιό εκτόπισμα = παλιό πυκνότητα

$$\text{νέο εκτόπισμα} = \frac{\text{νέο πυκνότητα}}{\text{παλιό πυκνότητα}} \cdot \text{παλιό εκτόπισμα}$$

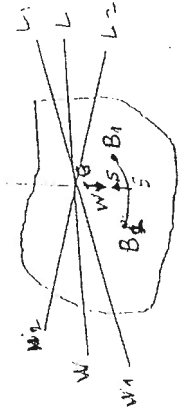
$$\text{νέο εκτόπισμα} = \frac{1,025}{1,008} \times 13.070 = 13.400 \text{ ton.}$$

$$\text{παλιό εκτόπισμα} = 13.070 \text{ ton.}$$

$$\text{άρα το επιπλέον φορτίο είναι} = 330 \text{ ton.}$$

ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ

Παίρνουμε ένα οποιοδήποτε σώμα που δύνανται να πλέει



παρατηρούμε ότι έχουμε το κέντρο βάρους (G) και το κέντρο άντωσης (B) με τις αντίστοιχες δυνάμεις βάρους (P) και άντωσης (S).

Το κέντρο βάρους δεν μεταβάλλεται, ενώ το κέντρο άντωσης αλλάζει θέση προς την μια ή την άλλη πλευρά ανάλογα με το προς τα που κλίνει το σώμα διαγράφοντας ένα τόξο κύκλου B₁BB₂.

Για να ισορροπεί το σώμα θα πρέπει το βάρος (P)=άντωση (S)

Οι δύο δυνάμεις θα πρέπει να ενεργούν πάνω στην ίδια κατακόρυφο και να είναι αντίθετες.

Το ίδιο ισχύει και για τα πλοία.

Το κέντρο βάρους (G) στα πλοία είναι το σημείο στο οποίο εφαρμόζεται η συνισταμένη δύναμη όλων των βαρών των ενρισκόμενων επί του πλοίου, αλλά και του ίδιου του σκάφους, και έχει κατεύθυνση προς τα κάτω.

Το κέντρο άντωσης (B) για πλοία με επίπεδο πυθμένα βρίσκεται στο μισό του ισοβυθισματος του πλοίου:

$$KB=d/2$$

Το κέντρο άντωσης του πλοίου μέχρι και για 10⁰ κλίση διαγράφει ένα τόξο κύκλου με κέντρο το σημείο (M) που λέγεται εγκάρσιο μετάκεντρο.

Το εγκάρσιο μετάκεντρο βρίσκεται από τη σχέση:

$$KM=KB+BM$$

$$BM=I/V$$

όπου I: ροπή αδράνειας της επιφάνειας της ισάλου ως προς τον διαμήκη άξονα του πλοίου σε (m⁴).

V: όγκος γάστρας σε (m³).

Η απόσταση (BM) λέγεται εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα.

Η απόσταση του κέντρου βάρους (G) από την άντωση (S) λέγεται μοχλοβραχίονας ευστάθειας (GZ).

Η απόσταση μεταξύ κέντρου βάρους (G) και μετάκεντρου (M) λέγεται μετακεντρικό ύψος. Από την απόσταση αυτή εξαρτάται η ευστάθεια του πλοίου, μεγάλες τιμές του (GM) μεγάλη ευστάθεια αλλά το πλοίο εκτελεί μικρούς και γρήγορους διατοιγισμούς. Μικρές τιμές του (GM) μικρή ευστάθεια και το πλοίο εκτελεί αργούς και μεγάλους διατοιγισμούς. Για τον λόγο λοιπόν αυτό ο IMO θέτει καλύτερα όρια.

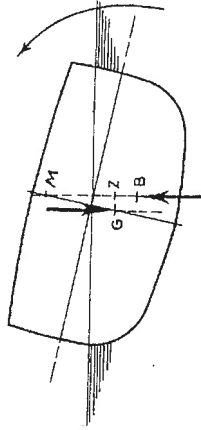
Σε ένα πλοίο και μέχρι 10 μοίρες εγκάρσια κλίση είπαμε ότι το κέντρο άντωσης διαγράφει τόξο κύκλου. Μέχρι αυτή την κλίση του (GM) μπορεί να μας διαβεβαιώσει για την ευστάθεια του πλοίου. Πέραν όμως από αυτή την κλίση το σημείο (B) παύει να διαγράφει τόξο κύκλου και αρχίζει να διαγράφει μια διαφορετική τροχιά, επίσης το σημείο (M) μετακινείται έξω από τον κατακόρυφο άξονα διαγράφοντας την δική του τροχιά. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι ότι σε αυτές τις περιπτώσεις δηλαδή για μεγάλες γωνίες εγκάρσιων κλίσεων άνω των 10 μοιρών, το μετακεντρικό ύψος από μόνο του δεν μπορεί να μας συμβουλευθεί για την ευστάθεια του πλοίου και απαιτούνται στην περίπτωση αυτή τα διαγράμματα ευστάθειας του πλοίου τα οποία και θα εξετάσουμε.

Είδη ευστάθειας πλοίου.

Έχουμε τρία είδη ευστάθειας:

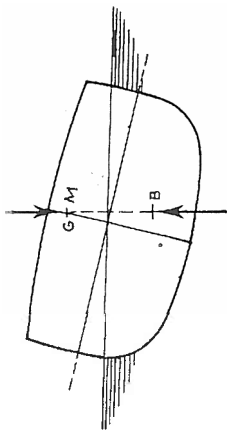
- α) Την θετική ευστάθεια όταν το κέντρο βάρους (G) βρίσκεται κάτω από το εγκάρσιο μετάκεντρο (M) δηλαδή έχουμε:

$$KM-KG=GM>0$$



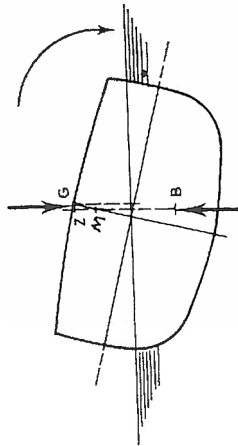
- β) Την ουδέτερη ευστάθεια όταν το κέντρο βάρους (G) συμπίπτει με το εγκάρσιο μετάκεντρο (M) δηλαδή έχουμε:

$$KM-KG=0$$



γ) Την αρνητική ευστάθεια όταν το κέντρο βάρους (G) βρίσκεται πάνω από το εγκάρσιο μετάνητρο (M) δηλαδή έχουμε:

$$KM-KG=GM<0$$



Για μικρές γωνίες εγκάρσιας κλίσης και κάτω των 10 μοιρών, ο μοχλοβραχίονας ευστάθειας (GZ) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$GZ=GM \times \eta\mu\theta$$

Η ροπή στατικής ευστάθειας (Ms) δηλαδή η ροπή που τείνει να επαναφέρει το πλοίο στην αρχική του θέση, δίδεται από την σχέση:

$$Ms=P \times GZ = P \times GM \times \eta\mu\theta$$

Τρόποι που ένα ασταθές πλοίο μπορεί να γίνει ευσταθές.

Είπαμε ότι η ευστάθεια του πλοίου εξαρτάται από το μέγεθος του μετακεντρικού ύψους (GM). Για να διορθώσουμε λοιπόν την ευστάθεια σε ένα πλοίο πρέπει να μετακινήσουμε το κέντρο βάρους του προς τα κάτω. Για να γίνει όμως αυτό θα πρέπει ή να προσθέσουμε βάρος κάτω από το κέντρο βάρους του πλοίου ή να αφαιρέσουμε βάρος από θέσεις πάνω από το κέντρο βάρους του πλοίου ή ακόμα και να μετακινήσουμε βάρος προς τα κάτω αν υπάρχει αυτή η δυνατότητα.

Επίσης θα πρέπει αν υπάρχουν ελεύθερες επιφάνειες σε δεξαμενές υγρών φορτίων να μηδενίζονται.

Κάνοντας λοιπόν μια από τις παραπάνω διαδικασίες θα έχουμε αύξηση του μετακεντρικού ύψους (GM) διότι θα κατεβεί το κέντρο βάρους του πλοίου και επομένως θα έχουμε αύξηση της ευστάθειας του.

Σε περίπτωση που το πλοίο έχει αρχικό μετακεντρικό ύψος αρνητικό, τότε το ζεύγος ευστάθειας που δημιουργείται είναι αρνητικό, δηλαδή αντί να επαναφέρει το πλοίο από την εγκάρσια κλίση το απομακρύνει περισσότερο.

Αν όμως η κλίση μεγαλώσει ακόμα περισσότερο, τότε η προέκταση της άνωσπης δεν περνάει πια από το αρχικό μετάνητρο αλλά μετακινείται περισσότερο προς το μέρος της κλίσης, διότι το κέντρο άνωσπης δεν γράφει τόσο κύκλο με κέντρο το μετάνητρο (M). Έτσι κάποτε η προέκταση της άνωσπης θα περάσει από το (G) και η κλίση του πλοίου πάλι να αυξάνεται, διότι ο μοχλοβραχίονας του ζεύγους μηδενίζεται όπως στο σχήμα (Angle of LOLL).

Η γωνία στην οποία επέρχεται αυτή η ισορροπία μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$\epsilon\phi\theta=\sqrt{\frac{2GM}{BM}}$$

όπου: θ =γωνία εγκάρσιας κλίσης

GM=μετακεντρικό ύψος

BM=μετακεντρική ακτίνα=KM-KB

Αν το πλοίο πάρει γωνία LOLL, μπορεί ξαφνικά να κλίνει απότομα προς την αντίθετη πλευρά χωρίς καμιά μετακίνηση βάρους μέσα στο πλοίο. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μια ελαφρά πνοή ανέμου, σε απότομη στρέψη του πηδαλιού -ακόμα και μικρή- και σε οποιαδήποτε άλλη αιτία που θα προκαλέσει μια εγκάρσια ροπή.

Αν μια εξωτερική αιτία αναγκάσει το πλοίο να κλίνει περισσότερο από την γωνία LOLL θα δημιουργηθεί ένας ανορθωτικός μοχλοβραχίονας ευστάθειας (GZ) που μόλις πάψη να ενεργεί η αιτία θα επανέλθει το πλοίο στην γωνία LOLL.

Άρα ένας διατοιχισμός του πλοίου θα έχει σαν επίκεντρο όχι την κατακόρυφη θέση, αλλά την γωνία LOLL.

Μια γωνία LOLL δεν μπορεί να διορθωθεί με μετακίνηση αλλά ούτε και με ασύμμετρη φόρτωση βαρών, γιατί οφείλεται σε ασύμμετρη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου από κατασκευής. Για να διορθωθεί πρέπει να κατεβάσουμε το κέντρο βάρους του πλοίου προσθέτοντας βάρη χαμηλά κάτω από το κέντρο βάρους του πλοίου (G) ή αφαιρώντας βάρη από ψηλά πάνω από το (G) του πλοίου ή με μείωση των ελεύθερων επιφανειών των υγρών των δεξαμενών. Αν δεν υπάρχει κεντρική δεξαμενή ο ερμητισμός πρέπει να γίνει σε δεξαμενές που βρίσκονται από την πλευρά της κλίσης ώστε να αποφεύγουμε απότομη αλλαγή της πλευράς της κλίσης η οποία είναι πολύ επικίνδυνη. Πρώτα σαφηνώνουμε κατά τα 2/3 τις δεξαμενές διπυθμένου από την πλευρά της κλίσης μετά συμπληρώνουμε στις συμμετρικές αυτών κατά το ίδιο ποσοστό κ.ο.κ.

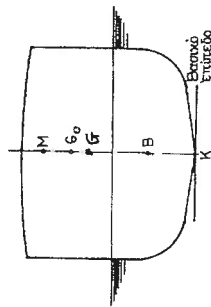
ΕΠΗΡΑΣΗ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

Οι ελεύθερες επιφάνειες των υγρών φορτίων των δεξαμενών δηλαδή δεξαμενές φορτίων ημιπλήρεις, έχουν επίδραση στην ευστάθεια του πλοίου, δηλαδή την μείωσιν διότι προκαλούν ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση του μετακεντρικού ύψους.

Όταν η δεξαμενή είναι τελείως γεμάτη δεν υπάρχει πρόβλημα διότι συμπεριφέρεται όπως οποιοδήποτε άλλο φορτίο και επίσης όταν είναι τελείως άδειες οι δεξαμενές διπυθμένων, έχουμε ανύψωση του κέντρου βάρους εξαρχής, το οποίο όμως δεν είναι απόλυτο διότι μπορεί να διορθωθεί εκ των προτέρων με την τοποθέτηση άλλων βαρών χαμηλά.

Επίσης όταν μεγάλες δεξαμενές όπως αμπάρια ή deep tanks όταν έχουν ελεύθερες επιφάνειες πέραν του ότι επιδρούν στην ευστάθεια, όταν κτυπούν στις πλευρές της δεξαμενής, μπορεί να προκαλέσουν και ανεπανόρθωτες βλάβες στην κατασκευή του πλοίου, κρακ στρεβλώσεις κατασκευαστικών μερών του πλοίου. Επίσης όταν ένας χώρος είναι τελείως άδειος επειδή δεν υπάρχουν στατικά φορτία ο χώρος ή οι χώροι αυτοί δέχονται μεγαλύτερες καταπονήσεις από τις εξωτερικές υδροστατικές πιέσεις της θάλασσας.

Υπολογισμός της πραγματικής απόλειας του μετακεντρικού ύψους (GM) που οφείλεται σε ελεύθερες επιφάνειες.



Η επίδραση των ελεύθερων επιφανειών είναι η GG0 η οποία μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$(1) \quad GG_0 = \frac{I \times \gamma}{\Delta}$$

όπου:

I = ροπή αδράνειας της επιφάνειας της δεξαμενής ως προς τον διαμήκη άξονα αυτής σε (m⁴).

γ = ειδικό βάρος υγρού φορτίου σε (ton/m³).

Δ = τελικό εκτόπισμα πλοίου σε (ton.).

Το πραγματικό μετακεντρικό ύψος του πλοίου GoM δίδεται από τη σχέση:

$$(2) \quad GoM = GM - GG_0$$

όπου:

$$(3) \quad GM = KM - KG \text{ αρχικό}$$

Από την πρώτη σχέση παρατηρούμε ότι στις ελεύθερες επιφάνειες δεν παίζει ρόλο η ποσότητα της υγρής μάζας (εκτός και αν είναι ελάχιστη ώστε και δεν λαμβάνεται υπόψη) ούτε η θέση της δεξαμενής στην οποία τοποθετείται, αλλά το μέγεθος της δεξαμενής και ειδικά το πλάτος αυτής, διότι υψώνεται εις τον κύβο στον υπολογισμό της ροπής αδράνειας, επίσης εξαρτάται από την πυκνότητα του φορτίου.

Παραδείγματα

1. Έχουμε ένα πλοίο με εκτόπισμα Δ=3500 ton. και αρχικό KM=9μ, KG=7,5μ. Το πλοίο διαθέτει μια δεξαμενή ορθογωνικής διατομής με F.O. πυκνότητας 0,95 ton/m³ ημιπλήρη με μήκος L=5μ και πλάτος B=2,5μ. Να υπολογιστεί η επίδραση της ελεύθερης επιφάνειας στην ευστάθεια του πλοίου.

Λύση

$$GoM = GM - GG_0$$

$$GM = KM - KG = 9 - 7,5 = 1,5m$$

$$GG_0 = \frac{I \times \gamma}{\Delta}$$

$$I = \frac{1}{12} B^3 L = \frac{1}{12} 2,5^3 \times 5 = 6,51m^4$$

$$GG_0 = \frac{6,51 \times 0,995}{3500} = 0,00176m$$

$$GG_0 = 1,5 - 0,0176 = 1,498m$$

Επίδραση στο GM (στην ευστάθεια) κατά την διάρκεια πλήρωσης μιας δεξαμενής διπυθμένου. Όταν ένα πλοίο έχει σταθερό φορτίο, ο μόνος τρόπος για την διόρθωση της ευστάθειας είναι η μετάγγιση, αφαίρεση ή πρόσθεση υγρού φορτίου σε κάποια ή κάποιες δεξαμενές.

Πριν από οποιαδήποτε ενέργεια θα πρέπει να γνωρίζουμε τις επιπτώσεις που θα έχουμε. Κάθε επέμβαση σε δεξαμενή ή σε δεξαμενές ενδεχομένως θα προκαλέσει μεταβολή της θέσης του κέντρου βάρους, δηλαδή θα υπάρχει επίδραση από ελεύθερες επιφάνειες.

Μεταβολές όμως στην ευστάθεια δεν έχουμε μόνο από την μετακίνηση του κέντρου βάρους αλλά και από την μεταβολή του εγκάρσιου μετακεντρου M το οποίο μεταβάλλεται με το εκτόπισμα και πιο συγκεκριμένα από τον βυθιζόμενο όγκο του πλοίου, δηλαδή από την σχέση:

$$BM = I/V$$

βλέπουμε ότι μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα του όγκου, άρα αυξανόμενου του όγκου και επομένως του βυθίσματος, το BM μικραίνει, συνεπώς το M κατεβαίνει και όταν μικραίνουν ανεβαίνει. Επίσης κατά την διάρκεια του γεμίματος ή αδειάματος μιας δεξαμενής, το κέντρο βάρους μπορεί να βρεθεί πάνω από την αρχική του θέση.

Επομένως όταν γίνονται χειρισμοί εν πλω καλά είναι να γίνονται πρώτα οι υπολογισμοί ώστε να γνωρίζουμε τις επιδράσεις στην ευστάθεια. Αν και για λόγους ασφάλειας εν πλω δεν

επιτρέπεται να γίνονται ενέργειες σαβουρώματος χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή όταν πρόκειται να διορθώσουμε αρνητικό GM. Στην περίπτωση αυτή ο ερματισμός πρέπει να αρχίζει να γίνεται από δεξαμενές διτυθμένων και από την πλευρά της κλίσης και ποτέ από την αντίθετη πλευρά.

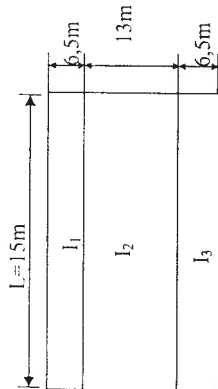
Σκοπός των διαμήκων υποδιαϊρέσεων των δεξαμενών.

Οι μεγάλες δεξαμενές πλοίων π.χ. σε ένα Tanker ρι δεξαμενές φορτίων δηλαδή τα αμπάρια έχουν πλευρικά διαμήκη διαφράγματα. Ο σκοπός της ύπαρξης αυτών είναι η μείωση του πλάτους διότι κατά τον υπολογισμό της ροπής αδράνειας της δεξαμενής υψώνεται στον κύβο, άρα όταν θα έχουμε τα διαφράγματα η επίδραση των ελεύθερων επιφανειών θα μειώνεται αισθητά και δεν θα αντιμετωπίσουμε θέμα ενστάθειας στο πλοίο.

Π.Χ. αν έχουμε ένα αμπάρι με μήκος $L=15m$ και πλάτος $B=26m$ τότε:

$$I = \frac{1}{12} \times B^3 \times L = \frac{1}{12} \times 26^3 \times 15 = 21970 m^4$$

αν όμως έχει διαμήκη διαφράγματα σε απόσταση π.χ. 6,5μ από τα πλευρικά τοιχώματα του πλοίου τότε:



$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

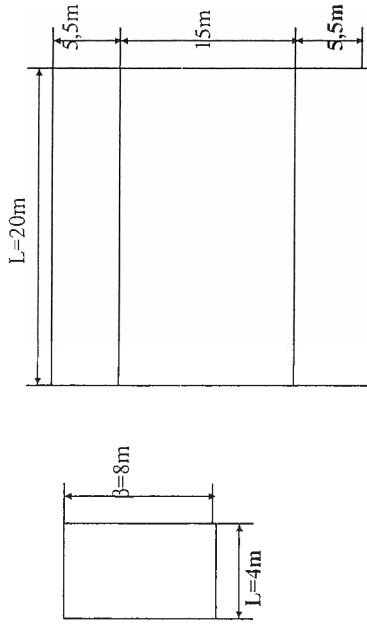
$$I_1 = 343,28 m^4$$

$$I_2 = 5120 m^4$$

$$I_3 = 343,28 m^4$$

$$I = 5806,56 m^4$$

2. Πλοίο με εκτόπισμα 12000τοπ. και με μετακεντρικό ύψος 1,85μ. παρουσιάζει ελεύθερες επιφάνειες σε δυο δεξαμενές υγρών φορτίων οι οποίες έχουν την διάταξη και τις διαστάσεις των σχημάτων. Η δεξαμενή(α) έχει F.O. με πυκνότητα 0,85 ton./m³ η (β) έχει D.O. με πυκνότητα 0,90 ton./m³. Να βρεθεί το πραγματικό μετακεντρικό ύψος του πλοίου GoM.



Λύση

(α) δεξαμενή

$$I = \frac{1}{12} B^3 \times L = \frac{1}{12} \times 8^3 \times 4 = 170,66 m^4$$

(β) δεξαμενή

$$I = \frac{1}{12} B^3 \times L = \frac{1}{12} (5,5^3 + 15^3 + 5,5^3) \times 20 = 6179,58 m^4$$

$$GG_0 = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \cdot \gamma_i}{\Delta} = \frac{I_1 \cdot \gamma_1 + I_2 \cdot \gamma_2}{\Delta}$$

$$GG_0 = \frac{170,66 \times 0,85 + 6179,58 \times 0,90}{12000} = 0,476 m$$

$$GoM = GM - GG_0$$

$$GoM = 1,85 - 0,476 = 1,374 m$$

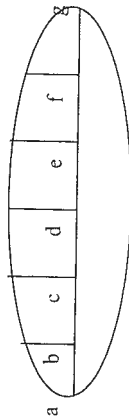
Διόρθωση μιας γωνίας κλίσης από αρνητικό GM
Αναφερθήκαμε στο κεφάλαιο για εγκάρσια στατική ευστάθεια.

Μέθοδος του Simpson υπολογισμός εμβαδών και όγκων

1. Υπολογισμός εμβαδών.



$$E = \frac{h}{3}(a + 4b + c)$$



$$E_1 = \frac{h}{3}(a + 4b + c)$$

$$E_2 = \frac{h}{3}(c + 4d + e)$$

$$E_3 = \frac{h}{3}(e + 4f + g)$$

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

$$E = \frac{h}{3}(a + 4b + 2c + 4d + 2e + 4f + g)$$

Παράδειγμα

Έχουμε ένα πλοίο μήκους 120μ και οι τεταγμένες της ισάλου ισαπέχουν κατά h μεταξύ τους. Αν το ημιπλάτος των τεταγμένων είναι:

0, 3.7, 7.6, 7.6, 7.5, 4.6, 0.1 μέτρα αντίστοιχα

να προσδιορίσετε το εμβαδόν της ισάλου και το TPC σε αυτό το βιθέσιμα.
Λύση

No	πλάτος (1/2 ord.)	Συντελεστής SM	Γινόμενα για εμβαδά Product for area
a	0	1	0
b	3.7	4	14.8
c	7.6	2	15.2
d	7.6	4	30.4
e	7.5	2	15.0
f	4.6	4	18.4
g	0.1	1	0.1
			93.9

$$h = \frac{120}{6} = 20m$$

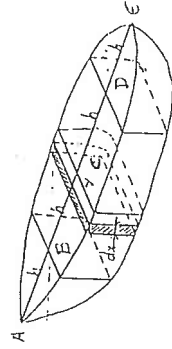
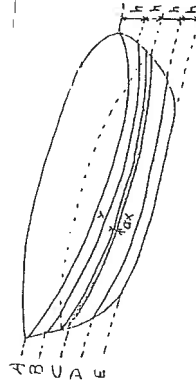
$$E = 2x \frac{h}{3} x (a + 4b + 2c + 4d + 2e + 4f + g)$$

$$E = 2x \frac{20}{3} x 93.9 = 1252m^2$$

$$TPC = \frac{1.025xA}{100} = \frac{1.025x1252}{100} = 12.83 ton.$$

2. Υπολογισμός όγκων

$$V = \frac{h}{3} x (A + 4B + 2C + 4D + E)$$



Παράδειγμα

Τα εμβαδά των ισάλων επιφανειών είναι:

Βυθίσματα	0	1	2	3	4
Εμβαδά	650	660	662	661	660

Να υπολογίσετε το εκτόπισμα του πλοίου όταν πλέει στη θάλασσα με βύθισμα 4μ. Επίσης όταν το πλοίο έχει βύθισμα 4μ να υπολογίσετε την αύξηση του βυθίσματος FWA.

Λύση

No	Εμβαδά Area	Συντελεστές SM	Γινόμενα για όγκο Product for volume
E	650	1	650
D	660	4	2640
C	662	2	1324
B	661	4	2644
A	660	1	660
			7918

$$V = \frac{h}{3} \times (A + 4B + 2C + 4D + E)$$

$$h = \frac{4}{4} = 1m$$

$$V = \frac{1}{3} \times 79.18 = 2639.333m^3$$

$$\Delta \gamma \times V = 1.025 \times 2639.333 = 2705.317ton.$$

$$FWA = \frac{\text{Εκτόπισμα}(\Delta)}{4 \times TPC} \text{ (mm)}$$

$$TPC = \frac{1.025 \times \text{Εμβαδο στα 4μ}}{100}$$

$$TPC = \frac{1.025 \times 660}{100} = 6.77ton.$$

$$FWA = \frac{2705.317}{4 \times 6.77} = 99.9mm$$

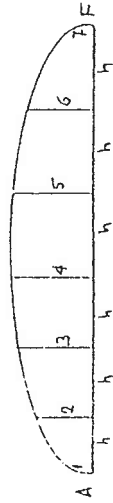
3. Προσδιορισμός κέντρου πλευστότητας Κ.Π. (centre of flotation C.F.) Παράδειγμα

Ένα πλοίο μήκους 150μ έχει ημιπλάτη τεταγμένων ισάλου τα εξής:

0, 5, 9, 9, 9, 7 και 0 αντίστοιχα

Προσδιορίστε την θέση του κέντρου πλευστότητας Κ.Π.

Λύση



No	Πλάτος (1/2 ord.)	Συντελεστές SM	Γινόμενα για εμβαδά product for area	Αποστάσεις από Α Lever from A	Γινόμενα για ροπές product for moment
1	0	1	0	0	0
2	5	4	20	h	20h
3	9	2	18	2h	36h
4	9	4	36	3h	108h
5	9	2	18	4h	72h
6	7	4	28	5h	140h
7	0	1	0	6h	0
			120		376h

$$E = 2x \frac{h}{3} \times 120m^2$$

$$\text{Ροπή ως προς F} = 2x \frac{h}{3} \times 376h$$

$$K.Π. = \frac{\text{ολική ροπή}}{\text{ολικός φορτός ΕΛΟΔΟ}} = \frac{2x \frac{h}{3} \times 376h}{2x \frac{h}{3} \times 120} = \frac{376h}{120}$$

$$h = \frac{150}{6} = 25m$$

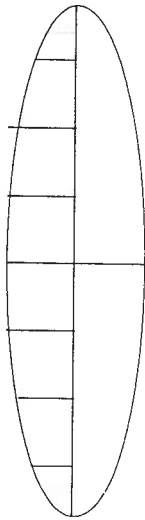
$$K.Π. = \frac{376h}{120} = \frac{376 \times 25}{120} = 78.33m$$

από το άκρο Α.

4. Ένα πλοίο μήκους 75μ έχει ημιπλάτη τεταγμένων σε πλήρες φορτίο όταν πλέει στη θάλασσα όπως ακολούθει:

0, 1, 2, 4, 5, 5, 4, 3, 2 και 0 μέτρα αντίστοιχα.

Το διάστημα μεταξύ των τριών πρώτων ημιτεταγμένων καθώς και των τριών τελευταίων είναι το ήμισυ των υπολοίπων κανονικών ημιτεταγμένων. Προσδιόρισε την θέση του Κ.Π. ως προς το μέσον του πλοίου.



Ημιπλάτη	SM	Γινόμενα για εμβαδά	Αποστάσεις από το μέσο του πλοίου	Γινόμενα για ροπές
0	1/2	0	4h	0
1	2	2	3 1/2h	7h
2	1 1/2	3	3h	9h
4	4	16	2h	32h
5	2	10	h	10h
5	4	20	0	58h forward
5	2	10	h	10h
4	4	16	2h	32h
3	1 1/2	4,5	3h	13,5h
2	2	4	3 1/2h	14h
0	1/2	0	4h	0
		85,5		69,5h Aft.
				58h Forward
				11,5h Aft

$$\text{Απόσταση του Κ.Π. από τη μέση} = \frac{11,5h}{85,5} - \frac{75}{8} \times \frac{11,5}{85,5} = 1,416m$$

Το Κ.Π. απέχει λοιπόν 1,416μ από τη μέση του πλοίου προς την πρόμνη.

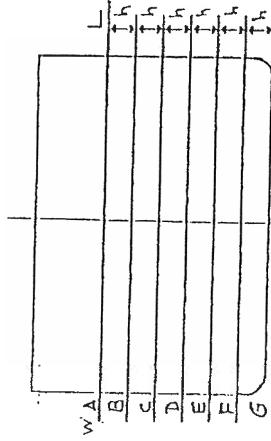
4. Προσδιορισμός ΚΒ

Παραδείγματα

1. Ένα πλοίο πλέει ισοβύθιστο με βύθισμα 6.0μ. Τα εμβαδά των επιφανειών των ισάλων είναι:

Βύθισμα (μ)	0	Γ	2	3	4	5	6
Εμβαδόν (μ ²)	5000	5600	6020	6025	6025	6020	6000

Προσδιόρισε το ΚΒ σ' αυτό το βύθισμα.



Λύση	No	Εμβαδό Area	Συντελεστής SM	Γινόμενα για όγκο Product for volume	Αποστάσεις από πυθμένα Levers from bottom	Γινόμενα για ροπές Product for moments
	A	6000	1	6000	6h	36000h
	B	6020	4	24080	5h	120400h
	C	6025	2	12050	4h	48200h
	D	6025	4	24100	3h	72300h
	E	6020	2	12040	2h	24080h
	F	5600	4	22400	h	22400h
	G	5000	1	5000	0	0
				105670		323380h

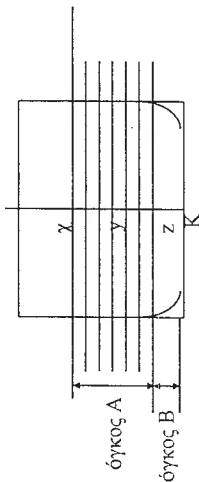
$$KB = \frac{\text{Ροπή ως προς τον πυθμένα}}{\text{όγκος εκτοπισματος}}$$

$$KB = \frac{323380h}{105670} = 3.06m$$

2. Ένα πλοίο πλέει όρθιο σε γλυκό νερό και ισοβύθιστο με ισοβύθισμα 7μ. Το TPC είναι ως ακολούθως:

Βύθισμα (m)	1	2	3	4	5	6	7
TPC (ton.)	60	60,3	60,5	60,4	60,4	60,2	60

ο όγκος του εξωτερικού πυθμένα και 1 μ βύθισμα είναι 3044 μ³, και το κέντρο βάρους στα 0,5μ περίπου από την πρόπδια. Προσδιόρισε το KB του πλοίου.



Στο σχήμα βλέπουμε την κατακόρυφη θέση (ΚΥ) του κέντρου βάρους του τμήματος (Α), την κατακόρυφη θέση (ΚΖ) του κέντρου βάρους του τμήματος (Β).

Το εμβαδόν κάθε ισάλου επιφάνειας δίδεται από τη σχέση: $TPC=1000A/100$ αν δηλαδή θέσουμε $x=100/1000$ τότε:

Βύθισμα	Εμβαδόν	SM	Γινόμενο για όγκο	Αποστάσεις από πυθμένα	Γινόμενα για ποτές
7	60,0x	1	60,0x	6h	360h.x
6	60,2x	4	240,8x	5h	1204h.x
5	60,4x	2	120,8x	4h	483,2h.x
4	60,4x	4	241,6x	3h	724,8h.x
3	60,5x	2	121,0x	2h	242h.x
2	60,3x	4	241,2x	h	241,2h.x
1	60,0x	1	60,0x	0	0
			1085,4x		3255,2h.x

$$\text{Όγκος } A = \frac{h}{3} \cdot 1085,4x = \frac{1}{3} \cdot 1085,4 \cdot \frac{100}{1025} = 35,297m^3$$

$$\begin{aligned} \text{Όγκος } A &= 35,297m^3 \\ \text{Όγκος } B &= 3,044 m^3 \\ \text{Ολικός όγκος} &= 38,341 m^3 \end{aligned}$$

$$XY = \frac{\text{Ροπή}}{\text{Όγκος } A} = \frac{h/3 \cdot 3257,2hx}{h/3 \cdot 1085,4x} = \frac{3255,2 \cdot 1}{1085,4} = 3m$$

$$XY = 3m$$

$$KY = 7m$$

$$KY = 4m$$

Όγκος	KG	Ροπή ως προς τον πυθμένα
35,297•5	4	141,190
3,044	0,5	1,522
38,341•5		142,712

$$KB = \frac{\text{Ολική ροπή}}{\text{Ολικός όγκος}} = \frac{142,712}{38,3415} = 3,72m$$

$$KB = 3,72m$$

Θέση μετάκεντρου και μετακεντρική ακτίνα

Υπολογισμός KB σε βορτηγίδα.

Όπως έχουμε αναφέρει το KB μας δείχνει την κατακόρυφη απόσταση του κέντρου άντωσης (center of buoyancy) από τον πυθμένα πλοίου και δίδεται από το μισό του ισοβυθίσματος της δεξιάμενης:

$$KB = \frac{\text{draft}}{2}$$

Το ίδιο ισχύει και για πλοία με επίπεδο πυθμένα. Αν στην φορτηγίδα ή το πλοίο υπάρχει διαγαγή, τότε αν Df είναι το προωαίο βύθισμα και Da το πρυμναίο βύθισμα τότε το ισοβύθισμα D θα είναι:

$$D = \frac{Df + Da}{2} \text{ επομένως } KB = \frac{D}{2}$$

Για τον υπολογισμό του KM και BM έχουμε:

$$KM = KB + BM$$

BM είναι η εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα όπως είδαμε σε προηγούμενα κεφάλαια και δίδεται από τη σχέση:

$$BM = \frac{I}{V}$$

όπου I είναι η ροπή αδράνειας της επιφάνειας της ισάλου ως προς τον διαμήκη άξονα του πλοίου και δίδεται σε m⁴ από την σχέση:

$$I = \frac{1}{12} B^3 \times L$$

όπου: B=πλάτος πλωτής δεξαμενής και L=μήκος αυτής
 όπου: V=όγκος γάστρας=Δγ (m³)

$$V = B \times L \times \text{Draft}$$

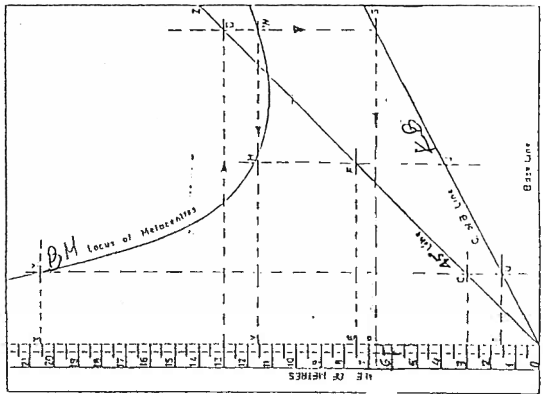
$$BM = \frac{B^3 \times L}{12 \times B \times L \times \text{Draft}} = \frac{B^2}{12 \times \text{Draft}}$$

Αν έχουμε τριγωνική διατομή τότε:

$$BM = \frac{B^2}{6 \times \text{Draft}}$$

Επομένως βλέπουμε ότι το BM μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το βύθισμα, ενώ μεταβάλλεται ανάλογα με το τετράγωνο του πλάτους.

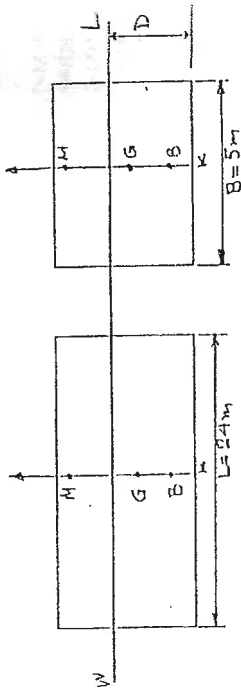
CALCULATING BM AND METACENTRIC DIACIAMS



Παραδείγματα

1. Έστω ότι έχουμε μια δεξαμενή διαστάσεων 24m x 5m x 5m και πλέει ισοβύθιστη με ισοβύθισμα 2μ και με KG=1,5μ. Να υπολογιστεί το αρχικό μετακεντρικό ύψος GM.

Λύση



- GM=KM-KG
- KM=KB+BM
- KB=D/2=2/2=1m
- BM=I/V
- BM=250/240=1,04m
- V=LxBxD=24x5x2=240m³
- I=1/12 x B³ x L=1/12 x 5³ x 24=250 m⁴
- KM=1+1,04=2,04m
- KG=1,50m
- GM=2,04-1,50=0,54m

2. Η ροπή αδράνειας της επιφάνειας της ισάλου ως προς τον διαμήκη άξονα αυτής είναι 20.000 m⁴. Το εκτόπισμα είναι Δ=7.000 ton. Το ειδικό βάρος του νερού δεξαμενής είναι γ=1008 kg/ m³. Το KB=1,9μ, KG=3,2μ. Να υπολογιστεί το αρχικό μετακεντρικό ύψος του πλοίου.

Λύση

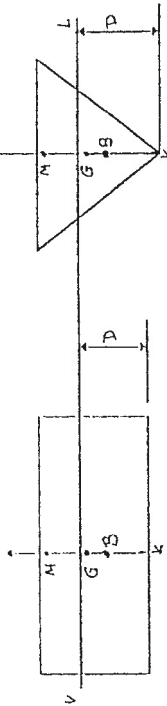
- GM=KM-KG
- V=Δ/γ=7.000/1,008=6944,44 m³.
- BM=I/V
- BM=20.000/6944,44=2,88m
- KB=1,90m
- KM=KB+BM
- KM=2,88+1,90=4,78m
- KG=3,20m
- GM=KM-KG=4,78-3,20=1,58m

3. Μια ορθογωνική δεξαμενή έχει μήκος $L=7,5\mu$, πλάτος $B=12\mu$, μέγιστο βύθισμα $D=7\mu$ και πλέει ισοβύθιστη με ισοβύθισμα $\delta\mu$. Να υπολογιστεί το KM .

Λύση

$$\begin{aligned} KM &= KB + BM \\ KB &= \Delta/2 = 6/2 = 3\mu \\ BM &= I/V \\ I &= 1/12 \times B^3 \times L = 1/12 \times 12^3 \times 7,5 = 10800 \text{ m}^4 \\ V &= L \times B \times D = 7,5 \times 12 \times 6 = 5400 \text{ m}^3 \\ BM &= 10800/5400 = 2\text{m} \\ KM &= 3 + 2 = 5\text{m} \end{aligned}$$

4. Σύγκρισε το αρχικό μετακεντρικό ύψος δύο φορηγίδων οι οποίες έχουν μήκος $L=60\text{m}$, πλάτος στην ίσαλο επιφάνεια $B=10\text{m}$ και μέγιστο βύθισμα $D=6\mu$. πλέουν όρθες και ισοβύθιστες με ισοβύθισμα 3μ , και έχουν $KG=3\mu$. Η μια από τις φορηγίδες έχει ορθογωνική διατομή και η άλλη έχει τριγωνική διατομή με την κορυφή προς τα κάτω.



Λύση

Για την φορηγίδα ορθογωνικής διατομής έχουμε:

$$\begin{aligned} GM &= KM - KG \\ KM &= KB + BM \\ KB &= D/2 = 3/2 = 1,5\text{m} \\ BM &= I/V \\ I &= 1/12 \times B^3 \times L = 1/12 \times 10^3 \times 60 = 5000 \text{ m}^4 \\ V &= L \times B \times D = 60 \times 10 \times 3 = 1800 \text{ m}^3 \\ BM &= 5000/1800 = 2,77\text{m} \\ KM &= 1,5 + 2,77 = 4,277\text{m} \\ GM &= 4,277 - 2,77 = 1,277\text{m} \end{aligned}$$

Για την φορηγίδα τριγωνικής διατομής έχουμε:

$$\begin{aligned} KB &= 2/3 \times D \text{raft} \\ KB &= 2/3 \times 3 = 2\text{m} \\ BM &= I/V \\ I &= 1/12 \times B^3 \times L = 1/12 \times 10^3 \times 60 = 5000 \text{ m}^4 \\ V &= 1/2L \times B \times D = 1/2 \times 60 \times 10 \times 3 = 900 \text{ m}^3 \\ BM &= 5000/900 = 5,555\text{m} \\ KM &= 2 + 5,555 = 7,555\text{m} \\ GM &= 7,555 - 3 = 4,555\text{m} \end{aligned}$$

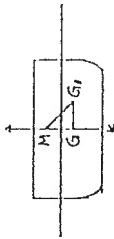
Παρατηρούμε ότι έχουμε μεγαλύτερη ευστάθεια αλλά θα υπόκειται εύκολα σε διατοιγισμούς.

Εγκάρσια κλίση πείραμα ευστάθειας

Ασκήσεις μετακίνησης βάρους

1. Πλοίο έχει εκτόπισμα $\Delta=6000$ τον., $KM=7,5\mu$, $KG=6\mu$. Αν βάρους $w=30$ τον. μετακινηθεί εγκάρσια πάνω στο κατάστρωμα σε απόσταση $d=10\mu$ να υπολογιστεί η εγκάρσια κλίση του πλοίου θ .

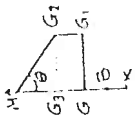
Λύση



$$\begin{aligned} \text{εφ}\theta &= \frac{GG_1}{GM} \\ GG_1 &= \frac{wxd}{\Delta} = \frac{30 \times 10}{6000} = 0,05\text{m} \\ GM &= KM - KG = 7,5 - 6 = 1,5\text{m} \\ \text{εφ}\theta &= \frac{0,05}{1,5} = 0,03333 \\ \theta &= 1^{\circ} 9' 09'' \\ \theta &= 1^{\circ} 54' \end{aligned}$$

2. Πλοίο έχει εκτόπισμα $\Delta=4500$ τον., $KM=8\mu$, $KG=6,5\mu$. Αν βάρους $w=45$ τον. μετακινηθεί εγκάρσια πάνω στο κατάστρωμα σε απόσταση $d=14\mu$, και κατακόρυφα προς τα πάνω σε απόσταση $h=5\mu$, να βρεθεί η γωνία εγκάρσιας κλίσης του πλοίου.

Λύση



$$\varepsilon\varphi\theta = \frac{G_2 \cdot G_3}{G_1 \cdot M}$$

$$G_2 \cdot G_3 = \frac{w \cdot x \cdot d}{\Delta} = \frac{45 \times 14}{4500} = 0,14 \mu$$

$$G_1 \cdot G_2 = \frac{w \cdot x \cdot h}{\Delta} = \frac{45 \times 5}{4500} = 0,05 \mu$$

$$G_3 \cdot M = GM - G_1 \cdot G_2 = 1,5 - 0,05 = 1,45 \mu$$

$$\varepsilon\varphi\theta = \frac{0,14}{1,45} = 0,09655172$$

$$\theta^0 = 5^0,515$$

$$\theta^0 = 5^0,30'$$

3. Πλοίο με εκτόπισμα $\Delta = 3500 \text{ton}$. έχει $KM = 6,8 \mu$, $KG = 5,2 \mu$. Αν βάρος $w = 35 \text{ton}$, μετακινηθεί κατακόρυφα προς τα πάνω σε απόσταση $h = 12 \mu$. Να βρεθούν το τελικό KG και το τελικό GM του πλοίου.

Λύση

$$KG_1 = KG + GG_1$$

$$G_1 \cdot M = KM - KG_1$$

$$GG_1 = \frac{w \cdot x \cdot h}{\Delta} = \frac{35 \times 12}{3500} = 0,12 \mu$$

$$KG_1 = 5,2 + 0,12 = 5,32 \mu$$

$$G_1 \cdot M = KM - KG_1 = 6,8 - 5,32 = 1,48 \mu$$

Ασκήσεις προσθαφαιρέσης βάρους

1. Πλοίο με εκτόπισμα 1800ton . έχει $KG = 3 \mu$ φορτώνει 3400ton . φορτίου με $KG = 2,5 \mu$ και 4000ton . άνθρακα με $KG = 5 \mu$. Να βρεθεί το τελικό KG του πλοίου.

Λύση			
	1800	x3	5400
	3400	x2,5	8500
	400	x5	2000
	5600ton.		15900tonxμ

$$KG = 15900/5600 = 2,84 \mu$$

2. Πλοίο πλέει με εκτόπισμα 3420ton . και $KG = 3,75 \mu$, κατά την διάρκεια τον ταξιδιού καταναλώνονται τα παρακάτω καύσιμα: δάιον. με $KG = 0,45 \mu$ και 64ton . με $KG = 2 \mu$. Να βρεθεί το τελικό KG .

Λύση

	3420	x3,75	= 12825
	-66	x0,45	= -29,7
	-64	x2	= -128
	3290ton.		12667,3tonxμ

$$KG = 12667,3/3290 = 3,85 \mu$$

3. Πλοίο έχει εκτόπισμα 3200ton . και $KG = 3 \mu$, $KM = 5,5 \mu$. Το πλοίο φορτώνει 5200ton . φορτίου με $KG = 5,2 \mu$. Να βρεθεί πόσο φορτίο μπορεί να φορτώσει ακόμα σε θέση που το $KG = 10 \mu$ ώστε το τελικό μετακεντρικό ύψος να είναι $GM \geq 0,3 \mu$.

Λύση

	3200	x3	= 9600
	5200	x5,2	= 27040
	w	x10	= 10w
	8400+w		36640+10w

$$KG_{\text{τελικό}} = KM - GM_{\text{τελικό}} = 5,5 - 0,3 = 5,20$$

$$\frac{36640 + 10w}{8400 + w} = 5,20$$

$$36640 + 10w = 5,20 \times 8400 + 5,20w$$

$$36640 + 10w = 43680 + 5,2w$$

$$10w - 5,2w = 43680 - 36640$$

$$4,8w = 7040$$

$$w = \frac{7040}{4,8} = 1466,66 \text{ ton.}$$

4. Πλοίο έχει άφορτο εκτόπισμα 2800ton. και $KM=6,7\text{m}$, φορτώνει 400ton. φορτίου με $KG=6\text{m}$, και 700ton. με $KG=4,5\text{m}$. Το KG μετά την φόρτωση είναι $5,3\text{m}$. Να βρεθεί το άφορτο μετακεντρικό ύψος του πλοίου GM .

Λύση					
	2800	x	KG	=	2800KG
	400	X	6	=	2400
	700	X	4,5	=	3150
	3900			=	5550+2800KG

$$\frac{5550 + 2800KG}{3900} = 5,3$$

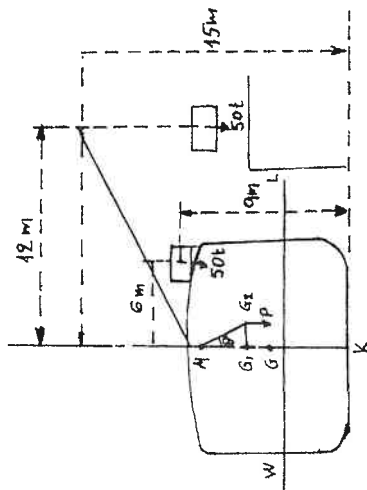
$$5550 + 2800KG = 5,3 \times 3900$$

$$2800KG = 20670 - 5550 = 15120$$

$$KG = \frac{15120}{2800} = 5,4\text{m}$$

$$GM = KM - KG = 6,7 - 5,4 = 1,3\text{m}$$

5. Ένα πλοίο με εκτόπισμα 9900ton. έχει $KM=7,3\text{m}$ και $KG=6,5\text{m}$. Φορτώνει στο κατώστρωμα ένα βάρος 50ton. με απόσταση του κέντρου βάρους του από τον πυθμένα του πλοίου 9μ, επίσης φορτώνει άλλο ένα βάρος 50ton. Θέλουμε να υπολογίσουμε την γωνία εγκάρσιας κλίσης που θα πάρει το πλοίο όταν το δεύτερο βάρος θα είναι ανακρεμμένο όπως φαίνεται στο σχήμα.



Ροπές ως προς τον πυθμένα

Βάρος	KG	Ροπή
9900	6,5	63,360
50	9,0	450
50	15,0	750
10000		64,560

$$\text{Τελικό } KG = 64,560 / 10000 = 6,456\text{m}$$

Ροπή ως προς το διάμηκες συμμετρικό επίπεδο του πλοίου

w	d	Ροπή κλίσης ως προς την:	
		Αριστερή πλευρά του πλοίου	Δεξιά πλευρά του πλοίου
50	12	-	600
50	6	-	300
			900

$$\text{Ροπή κλίσης} = 900 \text{ ton. - m}$$

$$G_1 G_2 = \frac{\rho \sigma \eta}{\text{Εκτόπισμα}} = \frac{900}{10000} = 0,09 m$$

απο το τρίγωνο έχουμε:

$$G_1 M = GM - GG_1$$

$$G_1 M = 0,8 - 0,056 = 0,744 m$$

$$\varepsilon \phi \theta = \frac{G_1 G_2}{G_1 M} = \frac{0,09}{0,744} = 0,1209677$$

$$\theta = 6^{\circ} 53'$$

Ασκησης περιβάματος ευστάθειας

1. Πλοίο εκτοπίσματος 8000ton. έχει $KM=7,3$ μ και $KG=6,1$ μ. Βάρος $w=25$ ton. μετακινείται εγκάρσια πάνω στο κατάστρωμα σε απόσταση $d=15$ μ. Να βρεθεί η απόκλιση (α) εκκρεμούς μήκους $\lambda=4$ μ.

Λύση

$$GM = \frac{wx d}{\Delta x \varepsilon \phi \theta}$$

$$\varepsilon \phi \theta = \frac{\alpha}{\lambda}$$

$$GM = \frac{wx d x \lambda}{\Delta x \alpha}$$

$$\alpha = \frac{wx d x \lambda}{\Delta x GM}$$

$$GM = KM - KG = 7,3 - 6,1 = 1,2 \mu$$

$$\alpha = \frac{25 \times 15 \times 4}{8000 \times 1,2} = 15,6 \text{ cm}$$

2. Πλοίο έχει $KM=6,1$ μ, και εκτόπισμα 3150ton. Όταν βάρος $w=25$ ton. τοποθετηθεί πάνω στο κατάστρωμα σε απόσταση $d=12$ μ από το διάμετρος συμμετρικό επίπεδο του πλοίου, προκαλεί απόκλιση $\alpha=0,25$ μ σε εκκρεμές μήκους $\lambda=8$ μ. Να υπολογιστεί το KG του πλοίου.

Λύση

$$GM = \frac{wx d}{(\Delta + w) x \varepsilon \phi \theta}$$

$$\varepsilon \phi \theta = \frac{\alpha}{\lambda}$$

$$GM = \frac{wx d x \lambda}{(\Delta + w) x \alpha} = \frac{25 \times 12 \times 8}{(3150 + 25) \times 0,25} = 3,024 m$$

$$KG = KM - GM = 6,1 - 3,024 = 3,076 m$$

ΡΟΠΕΣ ΑΠΟ ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

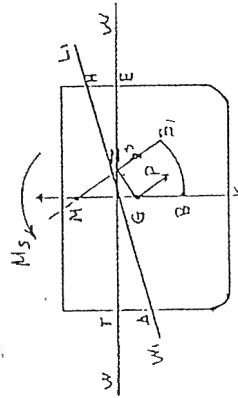
1. Ροπή στατικής ευστάθειας. Υπολογισμός ροπής στατικής ευστάθειας για μικρές γωνίες κλίσεις και πως επηρεάζεται από το εκτόπισμα και το GM .

Εάν κάποια εξωτερική αιτία προκαλέσει μια κλίση στο πλοίο τότε:

α. Το κέντρο βάρους δεν μετακινείται αν δεν έχουμε κάποια μετατόπιση φορτίου στο πλοίο.
β. Από την αντίθετη μεριά της κλίσης θα έχουμε μείωση της άντωσης κατά $\Gamma \Delta$ ενώ από την

πλευρά της κλίσης θα έχουμε αύξηση της άντωσης κατά EH .

γ. Θα έχουμε μια μετατόπιση του κέντρου άντωσης από την θέση B στην θέση B_1 διότι μεταβάλλεται η μορφή του βυθιζόμενου μέρους του σκάφους.



Το ζεύγος των δυνάμεων βάρους (P) και άντωση (S) δημιουργούν μια ροπή επαναφοράς Ms η οποία είναι ίση και αντίθετη με την ροπή που προκαλέσει την κλίση Mi και τείνει να επαναφέρει το πλοίο στην αρχική του ισορροπία, θα έχουμε λοιπόν για μικρές γωνίες εγκάρσιας κλίσης:

$$M_s = P \times GZ \quad (\text{ton.m})$$

για να δοσμε όμως πώς επηρεάζεται η ροπή επαναφοράς από το GM έχουμε ότι:

$$GZ = GM \times \eta\mu\theta$$

άρα: $M_s = P \times GM \times \eta\mu\theta$

άρα η ροπή επαναφοράς μεταβάλλεται ανάλογα του εκτοπίματος και του μετακεντρικού ύψους του, επίσης αυξάνει αυξανόμενης της γωνίας και αυτό διότι προκαλεί αύξηση του μοχλοβραχίονα ευστάθειας. Όπως θα δούμε όμως η αύξηση του μοχλοβραχίονα γίνεται μέχρι μια γωνία μεταξύ 40 και 45 μοιρών εγκάρσιας κλίσης μετά αρχίζει να μειώνεται.

Η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο για κλίσεις μέχρι ($8^\circ - 10^\circ$).

Ευστάθεια για μεγάλες γωνίες κλίσης

Όταν το πλοίο πάρει μια μεγάλη γωνία εγκάρσιας κλίσης τότε η παραπάνω σχέση που δίνει την ροπή Ms δεν ισχύει, για τον απλούστατο λόγο ότι τόσο το κέντρο άντωσης το οποίο παύει να διαγράφει τόξο κύκλου, αλλά και το μέτακεντρο M το οποίο μετακινείται έξω από τον κατακόρυφο άξονα διαγράφοντας τροχιά στην οποία η άντωση θα πρέπει να είναι πάντοτε εφαιπόμενη δεν επιτρέπουν στο GM να μας δώσει στοιχεία για την ευστάθεια, αν δηλαδή θα ισορροπήσει εκεί ή αν θα ανατραπεί ή αν θα επιστρέψει στην αρχική του θέση. Δεν μπορούμε όμως να υπολογίσουμε την ευστάθεια με την χρήση απλών εμπειρικών σχέσεων, γι' αυτό κάνουμε χρήση των διασταυρούμενων καμπυλών ευστάθειας (cross curves of stability) από τις οποίες μπορούμε να υπολογίσουμε τον μοχλοβραχίονα ευστάθειας από 15° έως και 90° . Δηλαδή οι διασταυρούμενες καμπύλες ευστάθειας είναι οι καμπύλες με τις οποίες μπορούμε να κάνουμε διόρθωση της καμπύλης των μοχλοβραχίωνων ευστάθειας πάνω από 10° .

Π.χ. αν θ είναι η γωνία εγκάρσιας κλίσης, KG το πραγματικό (actual KG), KG' το υποθετικό (assumed KG'), GZ' ανορθωτικός μοχλοβραχίονας για το υποθετικό KG', GZ ανορθωτικός μοχλοβραχίονας για οιοδήποτε KG.

Τότε: $GZ = G'Z + (KG' - KG)\eta\mu\theta$

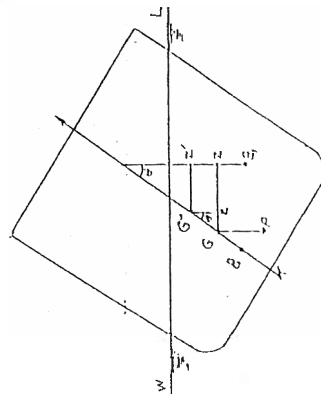
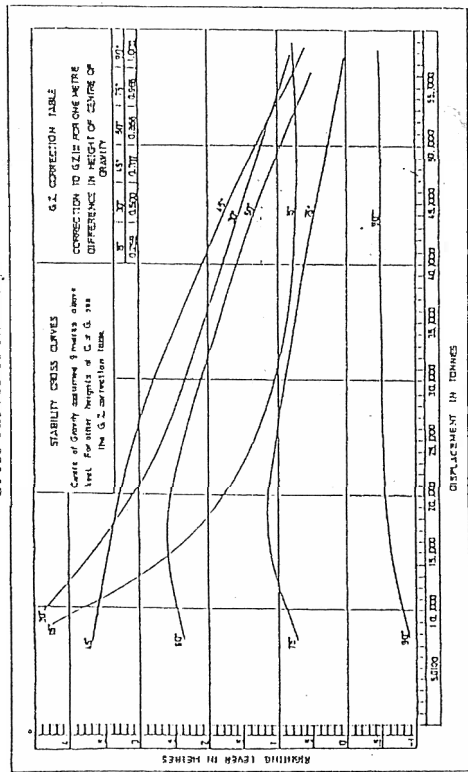
Παράδειγμα

Χρησιμοποιώντας τις διασταυρούμενες καμπύλες ευστάθειας για ένα Tanker προσδιόρισε τον ανορθωτικό μοχλοβραχίονα ευστάθειας για διαστήματα κλίσεων ανά 15° , μεταξύ 0° και 90° όταν το εκτόπισμα του πλοίου είναι 38.000ton. και το KG=8,5m. Υποθετικό KG'=9m.

Λύση

Κλίση	GZ από πίνακες (για KG'=9m)	διόρθωση (KG'-KG)ημθ	διορθωμένος GZ
0°	0	$0,5 \times 0 = 0$	$0 + 0 = 0$
15°	0,81	$0,5 \times 0,259 = 0,129$	$0,81 + 0,13 = 0,94$
30°	1,90	$0,5 \times 0,5 = 0,250$	$1,90 + 0,25 = 2,15$
45°	2,24	$0,5 \times 0,707 = 0,353$	$2,24 + 0,35 = 2,59$
60°	1,70	$0,5 \times 0,866 = 0,433$	$1,70 + 0,43 = 2,13$
75°	0,68	$0,5 \times 0,966 = 0,483$	$0,68 + 0,48 = 1,16$
90°	-0,49	$0,5 \times 1,000 = 0,50$	$-0,49 + 0,50 = 0,01$

Διασταυρούμενες καμπύλες ευστάθειας
Cross curves of stability



Έστω $KG' = \text{assumed}$ τότε $G'Z'$ θα είναι ο ανορθωτικός μοχλοβραχίονας από το διάγραμμα των καμπυλών και ο GZ ο μοχλοβραχίονας που αντιστοιχεί στο Actual KG . Χαρτάσσουμε την $G'L$ κάθετη στην GZ οπότε έχουμε:

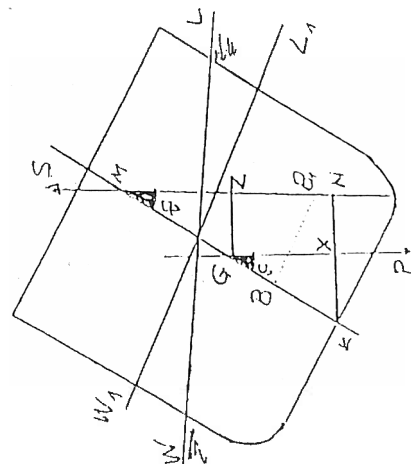
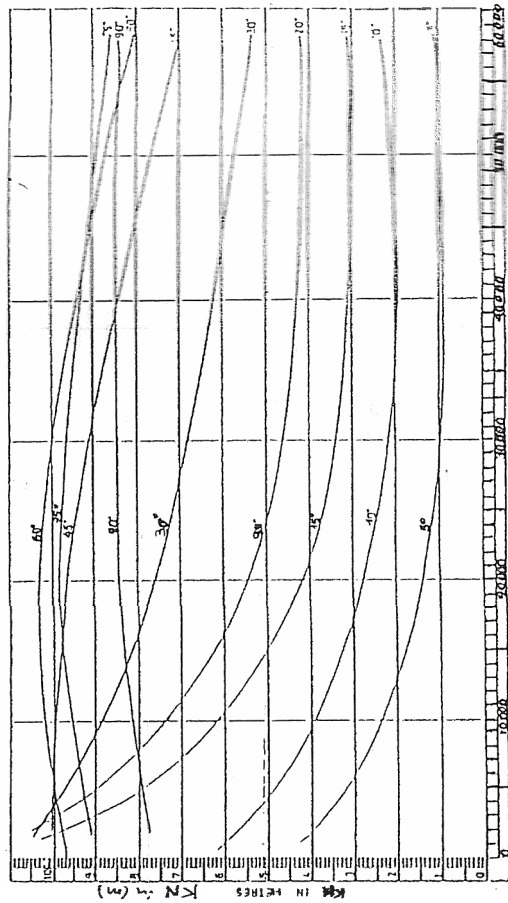
$$GZ = GL + LZ$$

έχουμε όμως: $LZ = G'Z'$ αλλά $GL = GG' + G'Z'$ και
 άρα: $GZ = GG' + G'Z' + G'Z'$ και
 $GZ = (KG' - KG) \eta \mu \theta + G'Z'$

Καμπύλες KN

Ένας Ναυπηγός κατά τον υπολογισμό των διασταυρούμενων καμπυλών μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε Assumed KG' επομένως και $KG' = 0$.

Σε αυτή την περίπτωση ο μοχλοβραχίονας συμβολίζεται με KN και η τιμή του μοχλοβραχίονα που λαμβάνεται από τους πίνακες πρέπει πάντοτε να αφαιρείται και είναι ίση με: $KG \times \eta \mu \theta$ δηλαδή έχουμε: $GZ = KN - KG \eta \mu \theta$. Μερικές φορές μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μεταβλητό Assumed KG' ίσο με το KM που αντιστοιχεί σε κάθε βόθισμα.



$GZ = XN = KN \cdot KX$ ή $GZ = KN \cdot KG \cdot \eta \mu \theta$

Παράδειγμα

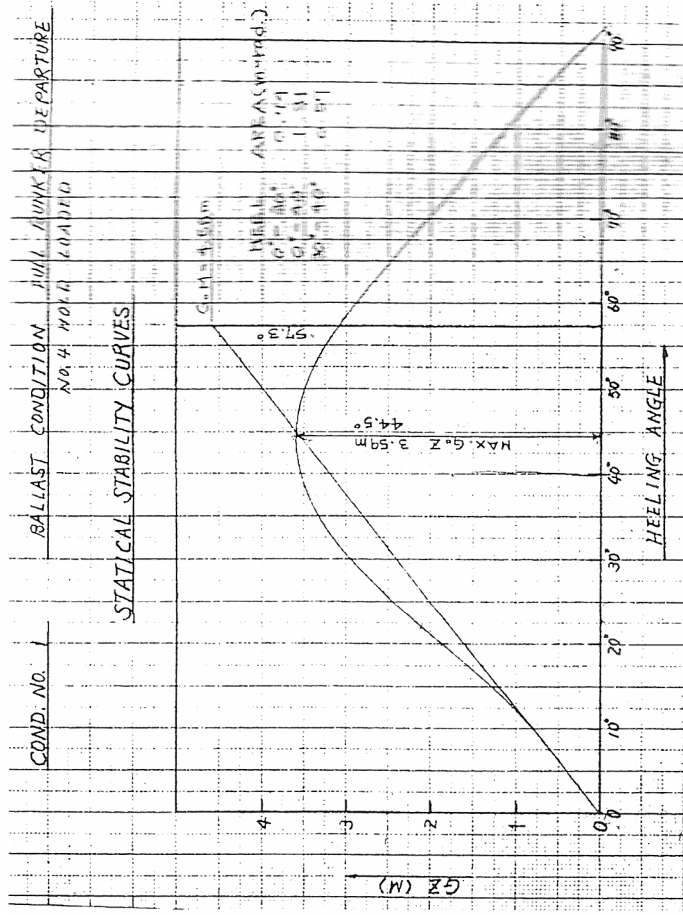
Προσδιόρισε τον ανορθωτικό μοχλοβραχίονα ευστάθειας ενός Cargo - Carrier όταν το εκτόπισμα είναι 40.000ton. και το KG=10m.

Λύση

Κλίση θ	KN	ημθ	KG x ημθ	GZ=KN·KG x ημθ
5°	0,90	0,087	0,87	0,03
10°	1,92	0,174	1,74	0,18
15°	3,11	0,259	2,59	0,52
20°	4,25	0,342	3,42	0,83
30°	6,30	0,500	5,00	1,30
45°	8,44	0,707	7,07	1,37
60°	9,39	0,866	8,66	0,73
75°	9,29	0,966	9,66	-0,37
90°	8,50	1,000	10,00	-1,50

Τυπικές καμπύλες στατικής ευστάθειας για ένα πλοίο με αρχικό μετακεντρικό ύψος θετικό και με αρχικό μετακεντρικό ύψος αρνητικό.

1. Καμπύλη στατικής ευστάθειας με αρχικό μετακεντρικό ύψος θετικό (C.M > 0)



όπου: GZ= ανορθωτικός μοχλοβραχίονας
θ= γωνία εγκάρσιας κλίσης

Όπως έχουμε προαναφέρει σε προηγούμενες παραγράφους, όταν έχουμε να κάνουμε με μεγάλες γωνίες εγκάρσιων κλίσεων άνω των 10° τότε για να προσδιορίσουμε την ευστάθεια του πλοίου είναι αναγκαίο να κάνουμε χρήση των διαγραμμάτων ευστάθειας των πλοίων (curves of stability).

Ένα τέτοιο διάγραμμα στατικής ευστάθειας (curves of static stability) μας δίνει την γωνία ανατροπής θc στατικής φύσεως, την γωνία όπου αντιστοιχεί ο μέγιστος μοχλοβραχίονας

ευστάθειας του πλοίου. Παρατηρούμε όμως ότι ο μοχλοβραχίονας αυξάνει μέχρι μια γωνία και μετά μειώνεται μέχρι που μηδενίζεται.

Ένα τέτοιο διάγραμμα λοιπόν υπάρχει για κάθε πλοίο, αλλά και για κάθε φόρτωση. Η γωνία θ_c δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 60° .

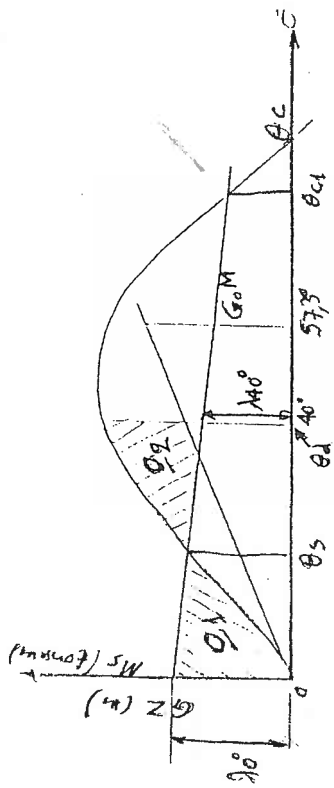
Η γωνία στην οποία αντιστοιχεί η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα ευστάθειας δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 30° .

Το G_0M είναι το διορθωμένο από ελεύθερες επιφάνειες μετακεντρικό ύψος του πλοίου.

Ένα τέτοιο διάγραμμα μπορεί να εκφράσει και την ροπή στατικής ευστάθειας (ροπή επαναφοράς).

Σε περίπτωση που επιδράσει μια οποιαδήποτε εξωτερική αιτία όπως απότομη στρέψη του πηδαλίου, άνεμος με σταθερή ένταση, μετατόπιση βάρους κ.λ.π. τότε ο κατασκευαστής δίνει δύο σχέσεις υπολογισμού του μοχλοβραχίονα GZ στις 0° και στις 40° και συμβολίζονται με λ_0 και λ_{40} αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα αυτό διακρίνουμε την ευθεία AB η οποία λέγεται καμπύλη των συνημίτονων, και η οποία μπορεί επίσης να παριστάνει την ροπή κλίσεως M_i ,



ενώ η καμπύλη των μοχλοβραχίωνων ευστάθειας μπορεί να παριστάνει την στατική ροπή M_s .

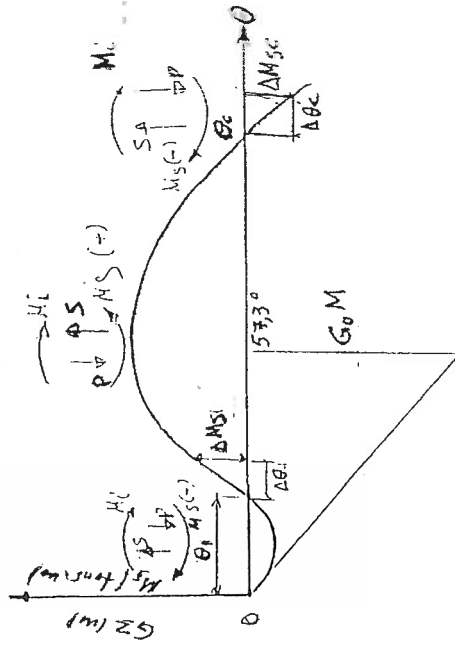
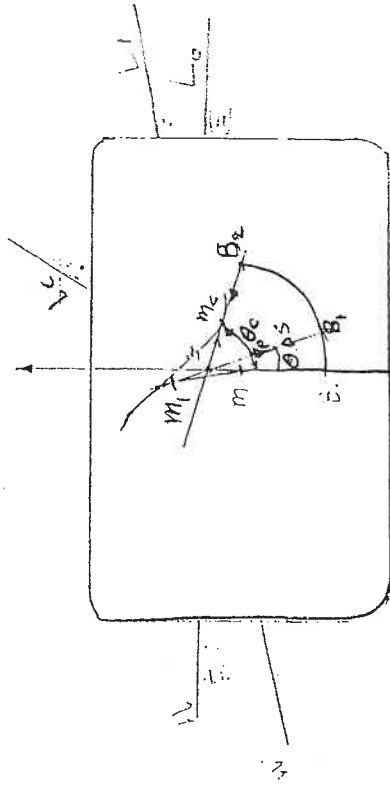
Διακρίνουμε την γωνία θ_s η οποία είναι η γωνία ισορροπίας του πλοίου και επίσης την γωνία θ_{c1} που είναι η πραγματική γωνία ανατροπής του πλοίου.

Όταν το πλοίο απομακρύνεται για πρώτη φορά από την θέση ισορροπίας φθάνει σε μια γωνία θ_d η οποία λέγεται γωνία δυναμικής ευστάθειας πλοίου, οπότε και επιστρέφει και πάλι συνεχίζοντας τους διατοχικούς γύρο από την γωνία θ_s , οπότε και θα σταματήσει κάποια στιγμή εκεί.

Οι επιφάνειες $\Omega 1$ και $\Omega 2$ είναι ίσες, πράγμα που σημαίνει ότι το έργο της ροπής κλίσεως είναι ίσο με το έργο που παράγει η ροπή επαναφοράς.

Όσο περισσότερο απέχουν μεταξύ τους οι γωνίες θ_d και θ_{c1} τόσο καλύτερα είναι για το πλοίο.

2. Διάγραμμα στατικής ευστάθειας με αρχικό μετακεντρικό ύψος αρνητικό.



Παρατηρώντας το σχήμα βλέπουμε ότι το κέντρο βάρους (G) είναι πάνω από το μετακεντρικό (m).

Αρχικά σημείο (B) η ισορροπία είναι ασταθής διότι $G_0M < 0$. Το πλοίο κτάται από μια οποιαδήποτε εξωτερική αιτία κλίσεως αφήνει την αρχική θέση ισορροπίας και αφήνει την κλίση ($\theta 1$).

Όπως γνωρίζουμε το διαγράμμα ευστάθειας αρχίζει από την αρχή των αξόνων (0) όπου η φεατομένη στην καμπύλη των μοχλοβραχιόνων ευστάθειας είναι αρνητική. Στο σημείο (θ1) έχουμε ότι η στατική ροπή (Ms=0) δηλαδή βάρους (P) και άντωση (S) ισορροπούν στο (B1). Βρισκόμαστε λοιπόν σε θετική ισορροπία διότι το κέντρο βάρους (G) είναι κάτω από το μετάνητρο (m1). Αν αυξήσουμε κατά (Δθ1) την κλίση τότε δημιουργείται μια στατική ροπή (ΔMs), η οποία αντιστέκεται στην ροπή κλίσεως. Επομένως το πλοίο περνάει από την ασταθή στην ευσταθή ισορροπία. Στην γωνία (θc) έχουμε και πάλι (Ms=0) δηλαδή (P=S) αλλά βρισκόμαστε σε ασταθή ισορροπία διότι το κέντρο βάρους (G) είναι πάνω από το μετάνητρο (mc). Αν το πλοίο κλίνει κατά (Δθc) η ροπή επαναφοράς (ΔMsc) που προκύπτει δεν αντισταθεί στην κλίση αλλά τείνει να απομακρύνει το πλοίο ακόμα περισσότερο για να το ανατρέψει.

Στο διάγραμμα ευστάθειας λοιπόν έχουμε τρία σημεία με μηδενική ροπή:

- α. Όταν $\theta=0$ έχουμε ασταθή ισορροπία διότι (G) είναι πάνω από το (m).
- β. Όταν $\theta=\theta_1$ έχουμε ευσταθή ισορροπία διότι (G) είναι κάτω από το (m1).
- γ. Όταν $\theta=\theta_c$ έχουμε ασταθή ισορροπία διότι (G) είναι πάνω από το (mc).

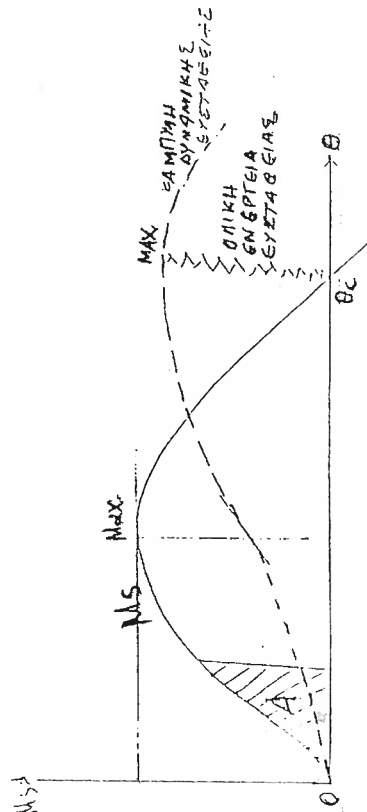
Η γωνία θ_c είναι η γωνία ανατροπής του πλοίου.
 Η γωνία θ_1 δεν πρέπει να ξεπερνάει τις 18°.
 Αν η εξωτερική αιτία είναι τέτοια που η γωνία (θ) να είναι μικρότερη από την (θc) το πλοίο θα ξαναπάρει την αρχική του θέση μόλις παύσει να ενεργεί η εξωτερική αιτία, αν όμως είναι μεγάλη τέτοια που (θ>θc) τότε το πλοίο θα ανατραπεί.

Δυναμική ευστάθεια πλοίου.

Όταν ένα πλοίο περνάει από μια θέση ισορροπίας σε μια άλλη, φθάνει στη νέα θέση με μια ορισμένη κινητική ενέργεια την οποία πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη.

Επομένως μαζί με το διάγραμμα στατικής ευστάθειας θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη και το διάγραμμα της δυναμικής ευστάθειας του πλοίου.

Επομένως μπορούμε να ορίσουμε σαν δυναμική ευστάθεια το έργο που χρειάζεται να παράγει ένα πλοίο σαν δυναμική ενέργεια σε βάρος της ροπής κλίσεως για να μην αφήσει το πλοίο να κλίνει εγκάρσια.



Όπου: A έργο δυναμικής ευστάθειας

Αποτέλεσμα της μεταβολής του ύψους των εξάλων στην ευστάθεια.

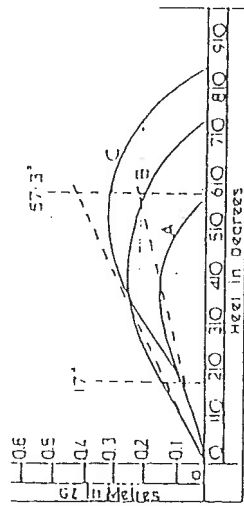
Είναι αναγκαίο το πλάτος και τα εξάλια να λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της ευστάθειας του πλοίου.

Η καμπύλη A του σχήματος είναι η καμπύλη ευστάθειας ενός πλωτού μέσου το οποίο μπορεί να κλίνει μέχρι 17°.

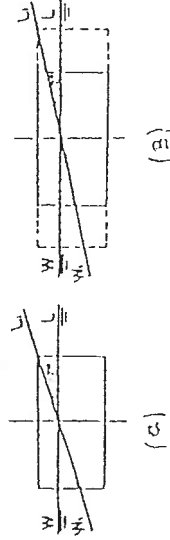
Έστω ότι βύθισμα, εξάλια και KG παραμένουν αμετάβλητα, αλλά αυξάνεται το πλάτος. Θέλουμε να δούμε τι επίδραση έχει στην ευστάθεια.

Γνωρίζουμε ότι $BM=I/V$, αλλά για μια π.χ. δεξαμενή ορθογωνικής διατομής $BM=I^2/12h$, όπου αυξανόμενου του πλάτους αυξάνεται η εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα, επομένως αυξάνεται το GM διότι αυξάνει και ο μοχλοβραχίονας ευστάθειας του πλοίου. Επομένως έχουμε αύξηση της ευστάθειας του πλοίου.

Η καμπύλη B είναι η νέα καμπύλη στατικής ευστάθειας.



Αν παρατηρήσουμε τα σχήματα βλέπουμε ότι όταν αυξάνουμε μόνο το πλάτος και μην έχουμε αύξηση της ευστάθειας, αλλά έχουμε μικρότερες γωνίες κατάκλισης.



ΔΙΑΓΩΓΗ

Διαγωγή (Trim) εννοούμε την διαφορά βυθισμάτων πλώρης και πρύμνης:

$$Trim = D_f - D_A$$

Όταν είναι ισοβητιστο (Even keel) έχουμε: $D_f = D_A$

Για να πούμε ότι ένα πλοίο είναι έμπυρο ή έμπυρο ή ισοβητιστο, θα πρέπει να γνωρίζουμε την ακριβή θέση του ζεύγους βάρους (P) και άντωσης (S) είτε ως προς την μέση του πλοίου, είτε ως προς την προμναία κάθετο του πλοίου. Έτσι λοιπόν αν το κέντρο βάρους απέχει περισσότερο από το κέντρο άντωσης από την προμναία κάθετο του πλοίου τότε το πλοίο είναι έμπυρο, αν απέχει λιγότερο είναι έμπυρο και αν απέχουν το ίδιο είναι ισοβητιστο.

Κέντρο πλευστότητας (center of flotation) είναι το κέντρο βάρους της ισάλου και συμβολίζεται με (F). Η απόστασή του από την προμναία κάθετο συμβολίζεται με (L_F) ή από την μέση του πλοίου και συμβολίζεται με (L_F).

Η μεταβολή που δέχεται στα διάφορα βυθίσματα λαμβάνεται από το ύψος του κέντρου άντωσης που θα δούμε αργότερα. Στην έμφορτη κατάσταση βρίσκεται πολύ κοντά στη μέση του πλοίου και πίσω από αυτή. Στην άφορτη κατάσταση μετατοπίζεται συνήθως προς την πλώρη.

Όταν γίνονται διάφορες ρυθμίσεις της διαγωγής το πλοίο περιστρέφεται γύρω από ένα εφάρμο άξονα που περνάει από το (F). Στην πράξη θεωρούμε ότι σε κάθε μετακίνηση (κρούση, ή μείωση του βυθίσματος που ενός άκρου ισούται με την αύξηση του βυθίσματος του άλλου άκρου και ότι το μέσο βυθίσμα παραμένει σταθερό.

Διαμηκής μετακεντρική ακτίνα είναι η απόσταση BM_L και δίδεται από την σχέση:

$$BM_L = \frac{I_L}{V} = \frac{I_L}{12V} = \frac{BL^3}{12 \times L \times B \times d} = \frac{L^2}{12d}$$

όπου I_L ροπή αδράνειας της επιφάνειας της ισάλου ως προς τον εγκάρσιο άξονα αυτής.
V όγκος γάστρας.

Η διαμηκή μετακεντρική ακτίνα στους υπολογισμούς αν δεν υπάρχει μπορεί να λαμβάνεται ίση με το μήκος του πλοίου.

Το διάμηκες μετακεντρικό ύψος είναι:

$$GM_L = KB + BM_L - KG$$

Βλέπε και Στοιχεία Ναυπηγίας σελ. 56 παράγραφος 6.1, 6.2, 6.3.

Ροπή μεταβολής διαγωγής ανά εκατοστό (MCT1cm).

Η ροπή μεταβολής της διαγωγής ανά εκατοστό (MCT1cm) είναι η ανάγλυφη ροπή που χρειάζεται να αλλάξει την διαγωγή κατά 1cm και δίδεται από τη σχέση:

$$MCT1cm = \frac{\Delta x GM_L}{100L}$$

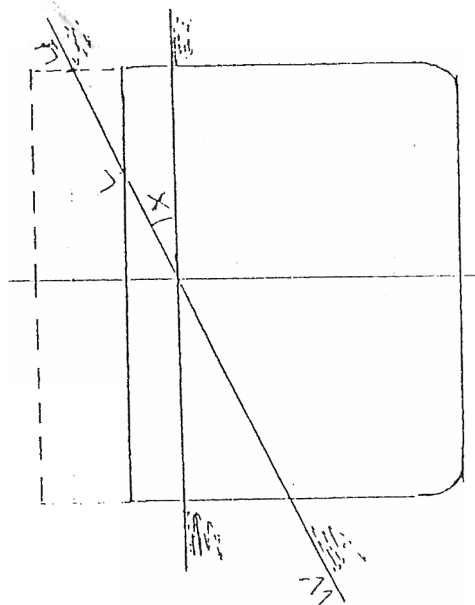
Δx = εκτόπισμα πλοίου σε (ton.)

GM_L = διάμηκες μετακεντρικό ύψος σε (m)

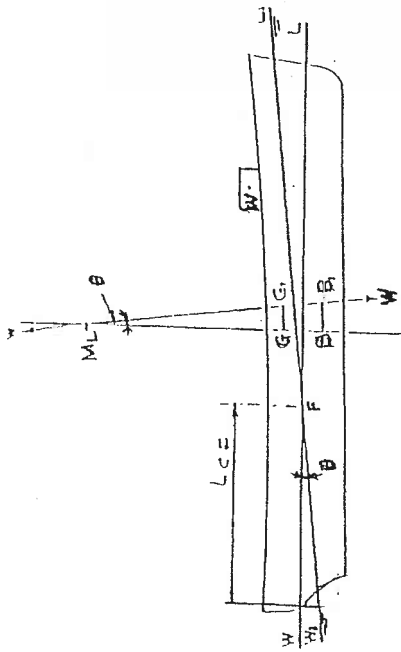
Έστω τώρα ότι παραμένουν σταθερά το βύθισμα, το KG και το πλάτος, αλλά αυξάνουμε τα έξαλα, καμπύλιση C του διαγράμματος ευστάθειας.

Παρατηρούμε ότι όταν το πλοίο έχει μια κλίση X πριν την αύξηση των εξάλων η ισάλος εμφανεία γίνεται WL. Όταν όμως αυξάνουμε τα έξαλα αλλά διατηρούμε την ίδια γωνία X η ισάλος του μοχλοβραχίονα ευστάθειας μέχρι την γωνία κλίσεως η οποία αντιστοιχεί στη βύθιση της πλευράς του αρχικού καταστρώματος, πέραν όμως από αυτή την γωνία επιτυγχάνεται συνήθως σημαντική αύξηση του μοχλοβραχίονα ευστάθειας ιδίως όταν έχουμε αρχικό ύψος εξάλων χαμηλό. Πράγματι σε όλες τις γωνίες μέχρι την παραπάνω, οι μοχλοβραχίονες ευστάθειας μικραίνουν αυξανόμενου του πλευρικού ύψους συνεπεία ανόδου του κέντρου βάρους λόγω του προστιθέμενου βάρους και της ανώψωσης του καταστρώματος και όλων των βαριών πάνω σε αυτό. Με άλλα λόγια αυξάνοντας το πλευρικό ύψος, έχουμε μείωση των μοχλοβραχίωνων ευστάθειας μέχρι τη γωνία βύθισης του καταστρώματος και σημαντική αύξηση πέραν από αυτή τη γωνία.

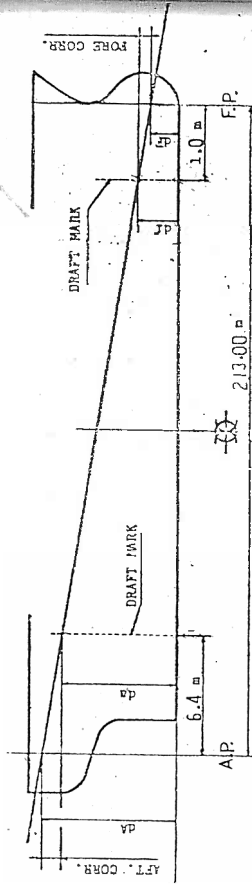
Επομένως με την αύξηση του πλευρικού ύψους δεν πρέπει να επιδιώκουμε αύξηση της ευστάθειας, εκτός αν είναι δυνατό να γίνει δεκτή μείωση της ευστάθειας σε μικρότερες γωνίες ή αν η ανώψωση του κέντρου βάρους αντισταθμίζεται με άλλα μέσα όπως η αύξηση του πλάτους ή με την προσθήκη έρματος.



L=μήκος πλοίου σε (m)



Έστω ότι έχουμε το πλοίο του σχήματος όπου οι κλίμακες φόρτωσης δεν είναι πάνω στις αντίστοιχες καθέτους.



- A.P. = προμνάια κάθετος.
- F.P. = πωραία κάθετος.
- df=πρωαίο βύθισμα σε (m).
- da =πρωναίο βύθισμα σε (m).
- df_s=πρωναίο μη πραγματικό βύθισμα για διόρθωση.
- df_f=πρωαίο μη πραγματικό βύθισμα για διόρθωση.

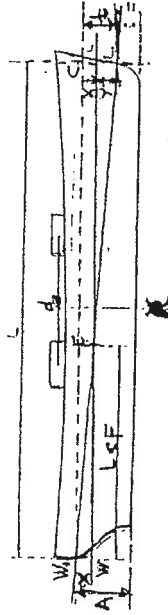
Έστω ότι έχουμε :
 df=12,00m
 da=13,50m
 Trim=da-df=13,50-12=1,50m

FORE & AFT CORRECTION (UNIT: mm)
 TRIM BY THE STERN

APPARENT TRIM	0.0m	0.1m	0.2m	0.3m	0.4m	0.5m	0.6m	0.7m	0.8m	0.9m
FORE	0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8
AFT	0	3	6	9	12	16	19	22	25	28
FORE	-5	-5	-6	-6	-7	-7	-8	-8	-9	-9
AFT	31	34	37	40	44	47	50	53	56	59
FORE	-10	-10	-11	-11	-12	-12	-13	-13	-14	-14
AFT	62	65	68	72	75	78	81	84	87	90
FORE	-15	-15	-16	-16	-17	-17	-18	-18	-18	-19
AFT	93	96	100	103	106	109	112	115	118	121
FORE	-19	-20	-20	-21	-21	-22	-22	-23	-23	-24
AFT	125	128	131	134	137	140	143	146	149	152
FORE	-24	-25	-25	-26	-26	-27	-27	-28	-28	-29
AFT	156	159	162	165	168	171	174	177	181	184

Από τον πίνακα παίρνουμε για το 1,50m:
 Για την προμνάια διόρθωση=-7mm (-0,007m)
 Για την πωραία διόρθωση =47mm (0,047m)
 Άρα το df =12,00-0,007=11,993m και da=13,50+0,047=13,547m

Έστω ότι έχουμε ένα πλοίο όπως το βλέπουμε στο σχήμα. Για να δούμε πως θα μεταβληθούν τα βυθίσματα αν μετακινήσουμε το βάρος π.χ. προς την πρόμνη σε απόσταση (d).



- Όπου:
- L= μήκος πλοίου σε (m)
- L_{CF}= απόσταση Κ.Π. από την προμνάια κάθετο
- x= μεταβολή του βυθίσματος πρόμνης
- y= μεταβολή του βυθίσματος πλώρης
- da= νέο πρωναίο βύθισμα
- df= νέο προωαίο βύθισμα
- Trim=da-df

Αν χαράξουμε μια παράλληλο προς τον πυθμένα ή προς την αρχική ίσαλο WL την W1C και πάρουμε τα όμοια τρίγωνα W1WF1 και W1L1C τότε θα έχουμε:

$$\frac{x}{L_{CF}} = \frac{t}{L}$$

$$x = \frac{L_{CF}}{L} \cdot t \text{ (cm)}$$

Δηλαδή (x) είναι η αλλαγή του πρηνιαιού βυθίσματος σε cm.

Ενώ η αλλαγή του πρηνιαιού βυθίσματος (y)=αλλαγή διαγωγής- αλλαγή βυθίσματος πρηνιαιού (x).

Παραδείγματα

1. Ένα πλοίο έχει μήκος 126μ και πλέει με βυθίσματα dF=5,5μ, dA=6,5μ. Το κέντρο πλευστότητας F απέχει 3μ από την μέση. MCT1cm=240 ton.-m, εκτόπιση Δ=6,000 ton. Προσδιόρισε τα νέα βυθίσματα, αν βάρος 120 ton. ευρισκόμενο επί του πλοίου μετακινηθεί προς την πλώρη σε απόσταση 45μ.

Λύση

Ροπή διαγωγής (trimming moment) = w x l = 120x45=5400 ton.-m

Αλλαγή διαγωγής = Trimming moment/MCT1cm=5400/240=22,5cm

Αλλαγή βυθίσματος πρηνιαιού (x):

$$x = \frac{L_{CF}}{L} \cdot \text{αλλαγή διαγωγής} = \frac{60}{126} \cdot 22,5 = 10,7 \text{ cm}$$

Αλλαγή βυθίσματος πλώρης (y):

$$y = \text{αλλαγή διαγωγής} - x = 22,5 - 10,7 = 11,8 \text{ cm}$$

Αρχικό βυθίσμα	5,5 m F	6,5 m A
Αλλαγή διαγωγής	+0,118m	-0,107 m
Νέα βυθίσματα	5,618 m F	6,393 m A

2. Μια δεξαμενή 90m x 10m x 6m πλέει στη θάλασσα ισοβύθιστη με βυθίσμα 4m. Προσδιορίστε τα νέα βυθίσματα αν βάρος 64 ton. Ευρισκόμενο επί της δεξαμενής μετακινηθεί σε απόσταση 40μ προς τα πίσω.

Λύση

$$\text{Ροπή διαγωγής} = w \cdot l = 64 \cdot 40 = 2560 \text{ ton.}$$

$$\text{Αλλαγή διαγωγής} = \frac{\text{ροπή διαγωγής}}{\text{MCT1cm}}$$

$$\text{MCT1cm} = \frac{\Delta \cdot \text{GM}_L}{100L} \text{ επειδή } \text{GM}_L - \text{BG} \text{ και BG είναι πάντα πολύ μικρότερο}$$

$$\text{παιρνουμε } \text{GM}_L = \text{BM}_L$$

$$\text{BM}_L = \frac{L^2}{12d} = \frac{90^2}{12 \cdot 3} = 225 \text{ cm}$$

$$\Delta = L \cdot B \cdot d \cdot 1,025 = 90 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 1,025 = 2767,5 \text{ ton.}$$

$$\text{MCT1cm} = \frac{2767,5 \cdot 225}{100 \cdot 90} = 69,19 \text{ ton.-m}$$

$$\text{Αλλαγή διαγωγής} = \frac{w \cdot x l}{\text{MCT1cm}} = \frac{64 \cdot 40}{69,19} = 37 \text{ cm}$$

Αλλαγή βυθίσματος πρηνιαιού (x) = $\frac{L_{CF}}{L}$ αλλαγή διαγωγής

$$x = \frac{45}{90} \cdot 37 = 18,5 \text{ cm}$$

Αλλαγή βυθίσματος πλώρης (y) = 18,5cm

Αρχικό βυθίσμα	3,000 m F	3,000 m A
Αλλαγή βυθίσματος	-0,185 m	+0,185 m
Νέα βυθίσματα	2,815 m	3,185 m

3. Ένα πλοίο 90μ μήκους πλέει με βυθίσματα dF=4,5m, dA=5,0m. Το κέντρο πλευστότητας (Κ.Π.) είναι 1,5μ πρηνιαιού της μέσης. TPC=10 ton.-m, MCT1cm=120 ton.-m. Προσδιορίστε τα νέα βυθίσματα αν βάρος 450 ton. φορτωθεί σε μια θέση που να απέχει 14μ από την μέση και απευθύνει την πλώρη.

Λύση

Αλλαγή βυθίσματος= $w/TPC=450/10=45\text{cm}$ Αλλαγή διαγωγής = ροπή διαγωγής/ $MCTI\text{cm}=450 \times 15.5/120=58,12\text{ cm}$

$$x = \frac{L_{CF}}{L} \text{ αλλαγή διαγωγής}$$

$$x = \frac{43,5}{90} \times 58,12 = 28,09\text{cm}$$

Αλλαγή βυθίσματος πλοορης (y)=αλλαγή διαγωγής-x

$$y=58,12-28,09=30,03\text{cm}$$

Αρχικό βύθισμα	4,5 m F	5,000 m A
Αλλαγή βυθίσματος	+0,450 m	+0,450 m
Αλλαγή διαγωγής	4,950 m	5,450 m
Νέο βύθισμα	+0,300	-0,281
	5,250 m F	5,169 m A

4. Ένα πλοίο 100 μ φθάνει στο λιμάνι με βυθίσματα $dF=3\text{m}$, $dA=4,3\text{m}$, $TPC=10\text{ ton}$, $MCTI\text{cm}=120\text{ ton}\cdot\text{m}$. Το κέντρο πλευστότητας είναι 3μ πρυμνηθεν της μέσης του πλοίου. Αν βάρος 80 ton. φορτωθεί σε απόσταση 24μ πρύραθεν της μέσης και αφαιρεθούν 40 ton. από απόσταση 12μ πρυμνηθεν της μέσης, προσδιόρισε τα νέα βυθίσματα.

Λύση

Προστιθέμενο βάρος 80 ton.

Αφαιρούμενο βάρος 40 ton.

Καθαρό φορτίο 40 ton.

Αλλαγή βυθίσματος= $w/TPC=40/10=4\text{cm}$

Για να προσδιορίσουμε την αλλαγή της διαγωγής, πρέπει να πάρουμε ροπές ως προς το Κ.Π.

Βάρος	Απόσταση από Κ.Π.	Ροπή αλλαγής διαγωγής από: πλώρη	Ροπή αλλαγής διαγωγής από: πρύμνη
80	27	2160	-
40	9	360	-
		2520	-

αλλαγή διαγωγής = ροπή διαγωγής/ $MCTI\text{cm}=2520/120=21\text{ cm}$

αλλαγή βυθίσματος πρύμνης (x)

$$x = \frac{L_{CF}}{L} \text{ αλλαγή διαγωγής} = \frac{47}{100} \times 21 = 9,87\text{cm}$$

αλλαγή βυθίσματος πλοορης (y)=αλλαγή διαγωγής-x

$$y=21-9,87=11,13\text{cm}$$

Αρχικό βύθισμα	3,000 m F	4,300 m A
Αλλαγή βυθίσματος	0,040 m	0,040 m
Αλλαγή διαγωγής	3,04 m	4,34 m
Νέα βυθίσματα	+0,111 m	-0,099 m
	3,151 m F	4,241 m A

5. Ένα πλοίο εκτοπίσματος 6.000 ton. έχει βυθίσματα $dF=7\text{m}$, $dA=8\text{m}$, $MCTI\text{cm}=100\text{ ton}\cdot\text{m}$, $TPC=20\text{ ton}$. το Κ.Π. βρίσκεται στη μέση του πλοίου, και ξεφορτώνει 500 ton. φορτίου από κάθε ένα από τα 4 αμπάρια του τα οποία απέχουν από την μέση του πλοίου ως εξής:

No 1 hold κέντρο βάρους 40 μ πρύραθεν της μέσης

No 2 hold κέντρο βάρους 25 μ πρύραθεν της μέσης

No 3 hold κέντρο βάρους 20 μ πρυμνηθεν της μέσης

No 4 hold κέντρο βάρους 50 μ πρυμνηθεν της μέσης

Επίσης φορτώνει 150 ton. κάρβουνο σε απόσταση 12 μ πρύραθεν της μέσης και 50 ton. σε απόσταση 15 μ πρυμνηθεν της μέσης. Προσδιόρισε τα νέα βυθίσματα.

Λύση

Ολικό αφαιρούμενο φορτίο=2000ton.

Προστιθέμενο φορτίο άνθρακα=200 ton.

Νέο αφαιρούμενο φορτίο=1800 ton.

Αλλαγή βυθίσματος= $w/TPC=1800/20=90\text{cm}$

Βάρος	Απόσταση από F	Ροπή αλλαγής διαγωγής από: πλώρη	Ροπή αλλαγής διαγωγής από: πρύμνη
500	40	-	20000
500	25	-	12500
500	20	10000	-
500	50	25000	-
150	12	1800	-
50	15	-	750
		36800	33250
		-33250	
		3550	

Ολική ροπή ως προς την πλώρη $= 3550 \text{ ton} \cdot \text{m}$
 Αλλαγή διαγωγής $= \text{ροπή διαγωγής} / \text{MCT1cm} = 3550 / 100 = 35,5 \text{ cm}$
 Λαμβάνουμε υπόψη ότι το Κ.Π. βρίσκεται στο μέσο του πλοίου

άρα: αλλαγή διαγωγής πρύμνης (x)

$$x = \frac{L_{CF}}{L} \text{ αλλαγή διαγωγής}$$

$$x = \frac{1}{2} \times 35,5 = 17,75 \text{ cm}$$

Αρχικό βύθισμα	7,000 m F	8,000 m A
Αλλαγή βύθισματος	-0,900 m	-0,900 m
	6,100 m	7,100 m
Αλλαγή διαγωγής	+0,180 m	-0,180 m
Νέα βύθισματα	6,280 m F	6,920 m A

6. Μια δεξαμενή μήκους 60 μ, πλάτους 10 μ, ύψους κατασκευής 6μ, πλέει στη θάλασσα με βυθίσματα $dF = 4\text{m}$, $dA = 4,4\text{m}$. Προσδιορίσε πόσο μπροστά από τη μέση της δεξαμενής πρέπει να προσθέσουμε ένα βάρος ώστε το πριμαντίο βύθισμα να παραμείνει 4,4μ.

Λύση

Η απόσταση στην οποία πρέπει να μετακινήθει το βάρος βρισκείται από τη σχέση:

$$d = \frac{L \times \text{MCT1cm}}{L_{CF} \times \text{TPC}}$$

$$\text{TPC} = \frac{1,025 A}{100} = \frac{1,025 \times 60 \times 10}{100} = 6,15 \text{ ton.}$$

$$\text{MCT1cm} = \frac{\Delta \times \text{BM}_L}{100L}$$

$$\Delta = L \times B \times d \times 1,025 = 60 \times 10 \times \frac{4,4+4}{2} \times 1,025 = 2583 \text{ ton.}$$

$$\text{BM}_L = \frac{L^2}{12 \times d} = \frac{60^2}{12 \times 4,2} = 71,428 \text{ m}$$

$$\text{MCT1cm} = \frac{2583 \times 71,428}{100 \times 60} = 30,75 \text{ ton.} - \text{ m}$$

Υποθέτουμε ότι το κέντρο πλευστότητας είναι στη μέση της δεξαμενής άρα, η απόσταση στην οποία πρέπει να μετακινήθει το βάρος είναι:

$$d = \frac{60 \times 30,75}{30 \times 6,15} = 10 \text{ m}$$

Πρέπει λοιπόν να φορτωθεί σε απόσταση 10μ από την μέση πρύμνη την δεξαμενή ώστε να διατηρηθεί το βύθισμα της πρύμνης 4,4μ.

Υπολογισμός υγρού μιας δεξαμενής από ογκομετρικούς πίνακες όταν το πλοίο έχει διαγωγή.

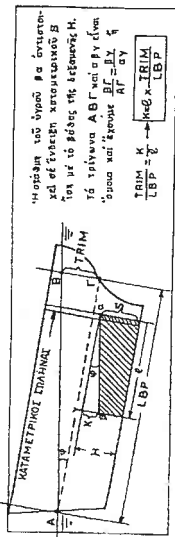
Σύμφωνα με τη διαγωγή θα πρέπει να γνωρίζουμε με ακρίβεια την ποσότητα των υγρών στις διάφορες δεξαμενές. Για τον σκοπό αυτό όταν το πλοίο δεν είναι ισοβάθιστο πρέπει να μετρήσουμε από τους μετρικούς σωλήνες των δεξαμενών να τις διορθώνουμε ανάλογα με την διαγωγή. Αν οι διορθώσεις αυτές δεν δίνονται από το εγχειρίδιο φορτώσεων του πλοίου, πρέπει να υπολογίζονται.

Η σχέση της διορθωσης δεν είναι πάντοτε η ίδια, αλλά έχει τρεις διαφορετικές μορφές ανάλογα με τη στάθμη του υγρού σε σχέση με ένα συντελεστή (k) που υπολογίζεται από τη σχέση

$$k = \frac{\text{TRIM}}{L_{BP}}$$

όπου: l = μήκος δεξαμενής, L_{BP} μήκος πλοίου μεταξύ καθέτων.

$K = \lambda \times \frac{TRIM}{LBP}$ όπου: λ = μήκος δεξαμενής



Στη συνέχεια υπολογίζουμε το ύψος στάθμης h , που δά μετρούσαμε στον καταμετρικό σωλήνα αν το πλοίο ήταν ισοβάθιστο, με έναν από τους παρακάτω τύπους.

ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΓΙΑ ΕΜΠΡΩΤΟ ΠΛΟΙΟ

1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
 Στάθμη επιπέδου σωλήνα S εσωτερικού από το h και K
 $(S < h)$

2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
 Στάθμη καταμετρικού σωλήνα S μεταξύ h και H
 $(K < S < H)$

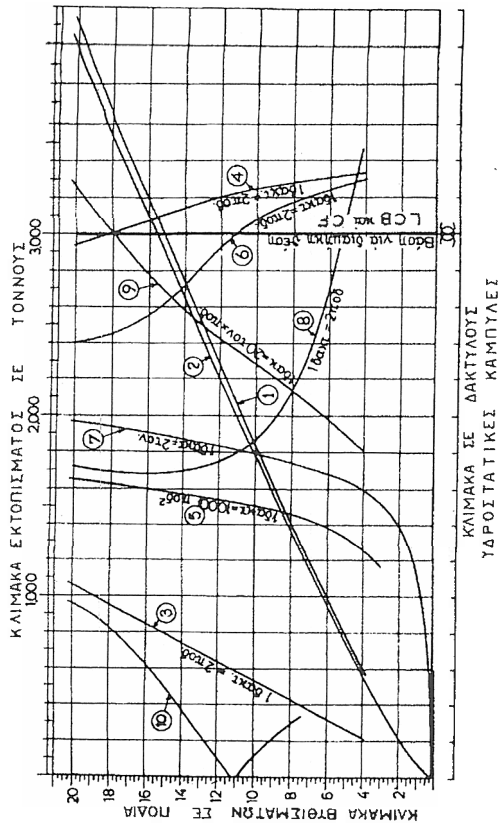
3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
 Στάθμη επιπέδου σωλήνα S μεταξύ H και h και K
 $(H < S < h + K)$

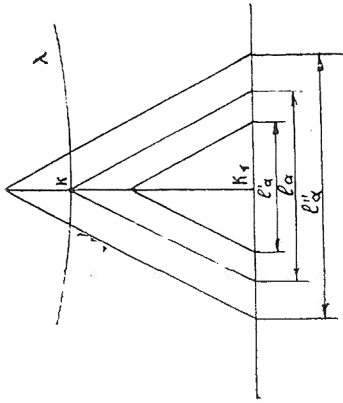
Όπου h : Στοιχείο εισόδου στο CALIBRATION TABLE, $S = H + K - S$, H : Βάθος δεξαμενής

Εχτικό παράδειγμα βλέπε στη σελίδα 30 του παραρτήματος.

Διάγραμμα υδροστατικών καμπυλών
 Hydrostatic curves

Η χάραξη όλων των καμπυλών γίνεται σε ένα ενιαίο σχέδιο που ονομάζεται «Διάγραμμα υδροστατικών καμπυλών» το οποίο έχει τεταγμένη το βύθισμα του πλοίου και τεταγμένη με κλίμακα για κάθε καμπύλη. Πάνω σε κάθε κλίμακα χαράσσεται το μέγεθος που παριστάνει κάθε καμπύλη και τι αντιστοιχία υπάρχει σε κάθε (cm). Όταν λάμε βύθισμα εννοούμε το ισοβάθισμα του πλοίου.





τότε ο όγκος της θάλασσας που θα περνούσε σε κάποιο χώρο, θα αντιστοιχούσε σε μια ίσαλο που θα ξεπερνούσε την οριική γραμμή και επομένως το πλοίο θα βυθιζότανε. Αν εκλέξουμε μήκος (l') τότε ο όγκος νερού της θάλασσας που θα περάσει θα είναι μικρός και επομένως η ίσαλος επιφάνεια θα είναι πιο κάτω από την οριική γραμμή επομένως το πλοίο θα πλέει με μεγαλύτερη ασφάλεια. Άρα ούτε το μήκος (l') αλλά ούτε και το μήκος (l_a) είναι επιθυμητά.

Αν λοιπόν εκλέξουμε για πολλά σημεία σε όλο το μήκος του πλοίου μικρότερους όγκους από αυτούς που αντιστοιχούν στην καμπύλη κατακλυσμένων μηκών του σχήματος που είδαμε στην προηγούμενη σελίδα τότε μπορούμε να σχηματίσουμε ένα άλλο σχήμα αυτό που ακολουθεί και το οποίο χωρίζεται σε τρία μέρη ($λ_1$ - $λ_2$ - $λ_3$) και επίσης έχει τρεις διαφορετικές τιμές του συντελεστή διαχωρητικότητας ($μ$), ($μ_1$ - $μ_2$ - $μ_3$) ο οποίος δίδεται από τη σχέση:

$$\mu = \frac{\text{διαθεσιμος ογκος χωρου}}{\text{ολικος ογκος χωρου}}$$

Ο συντελεστής αυτός μας λέει πόσος όγκος επί τοις % μπορεί να μπει μέσα σε κάποιο διαμέρισμα.

Οι διάφοροι Νηργνώμονες προσδιορίζουν τις διάφορες τιμές που πρέπει να έχει ο συντελεστής ($μ$).

Έτσι λοιπόν ένα πλοίο που κατακλύζεται από τα κύματα ή παθαίνει μια αβερεία μπορούμε να πούμε ότι πλέει με μεγαλύτερη ασφάλεια.

Υπάρχει όμως και ένας συντελεστής (F) ο οποίος λέγεται συντελεστής υποδιαίρεσης και δίδεται από τη σχέση:

$$F = \frac{l'}{l_a}$$

Όταν $F < 1$ το πλοίο έχει την δυνατότητα να πλέει με ένα κατακλυσμένο χώρο, όταν $F = 0.5$ το πλοίο έχει την δυνατότητα να πλέει με δύο κατακλυσιμένους χώρους, όταν $F = 0.33$ με τρεις κατακλυσιμένους χώρους κ.ο.κ.

Όταν κατακλυστεί ένας χώρος από τη θάλασσα εκτός από την πρόσθεση βάρους που έχουμε να αντιμετωπίσουμε, έχουμε και το πρόβλημα της επίδρασης των ελεύθερων επιφανειών οι οποίες όπως γνωρίζουμε μειώνουν την ευστάθεια και μάλιστα επικίνδυνα όταν οι χώροι είναι μεγάλοι.

Όταν έχουμε ασύμμετρη κατάκλυση δηλαδή όταν ένας κατακλύσιμος χώρος δεν εκτείνεται από την μια πλευρά του πλοίου στην άλλη λόγω ύπαρξης κεντρικής διαμήκους στεγανής φρακτής (όπως συμβαίνει στα δεξαμενόπλοια), τότε το πρόσθετο βάρος δημιουργεί ροπή ανατροπής, η οποία θα προκαλέσει και εγκάρσια κλίση στο πλοίο.

Άρα η κατάκλυση ενός διαμερισματος του πλοίου επιφέρει:

- Μείωση της εφεδρικής πλευστότητας.
- Μείωση του αρχικού μετακεντρικού ύψους GM.
- κλίση και αλλεγή διαγωγής του πλοίου.

Μέτρα που λαμβάνονται είναι:

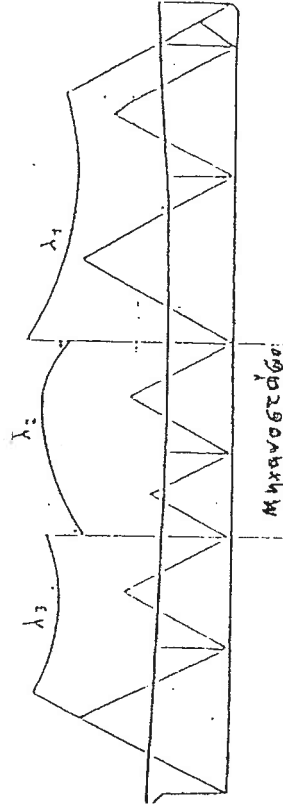
1. Πριν από τη βλάβη

Υπάρξει επαρκούς εφεδρικής πλευστότητας και εγκάρσιας ευστάθειας.

Βλέπε Στοιχεία Ναυπηγίας σελίδα 222 μέρος Β' υποδιαίρεση και ευστάθεια και σελίδα 234 παράγραφος 21.2 Νέοι κανονισμοί για την υποδιαίρεση και την ευστάθεια των επιβατηγών πλοίων.

2. Μετά τη βλάβη

- Προσπάθεια να σταματήσει η διαρροή και απάντληση των νερών του κατακλύσιμου χώρου.
- Προσπάθεια να αυξηθεί η εφεδρική πλευστότητα με απόρριψη φορτίων και υγρών.
- Προσπάθεια να βελτιωθεί η ευστάθεια με απόρριψη φορτίων που βρίσκονται ψηλά καθώς και ερματισμού.
- Προσπάθεια να μειωθούν οι υπόλοιπες ελεύθερες επιφάνειες με την απάντληση των κυτών και το γέμισμα ή άδειασμα των μισογεμάτων δεξαμενών.

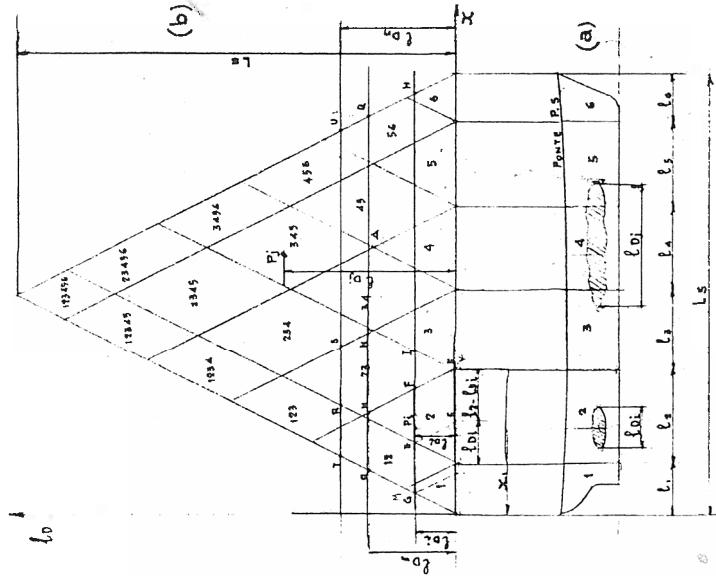


Γνωρίζοντας την θέση των στεγανών φρακτών μπορούμε να χαράξουμε τα ισοσκελή τρίγωνα (1-6) με ύψος ίσο με την υψότητα μεταξύ των φρακτών. Γι' αυτή την κατανομή των στεγανών θα πρέπει να προσδιορίσουμε την πιθανότητα που έχει ένα άνοιγμα στο σκάφος μήκους l_0 να πλημμυρίσει ένα ή περισσότερα διαμερίσματα μεταξύ των στεγανών φρακτών. Για τον σκοπό

αυτό ο WENDEL σκέφτηκε να τελειοποιήσει το σχέδιο της φινιγούρας συναρτήσει του μήκους των κατακλύσιμων μηκών. Ελεγκτήνοντας τις πλευρές των τριγώνων μέχρι να συμπληρώσει το πλέγμα. Ένας κατακλύσιμος χώρος μήκους l_b , στον χώρο 2 του σχήματος θα δεικνύετε ομοιόμορφα από ένα σημείο P₁, περιεχόμενο στο τρίγωνο 2 με κέντρο ανοιγμάτων σε απόσταση Χ₁ από την προμνάια κάθετο του πλοίου. Ανάλογα ένα σημείο P_j μέσα στο παραλληλόγραμμο ABCD παρουσιάζει ένα άνοιγμα μήκους l_b που κατακλύζει τους χώρους 3-4-5 μαζί. Έτσι συνεχίζοντας είναι ευνόητο πως η αριθμηση μέσα στα τρίγωνα και στα παραλληλόγραμμα μπορεί να υποδείξει τους κατακλύσιμους χώρους μήκους που δίδεται από την απόσταση ενός εσωτερικού σημείου. Για να κλείνουμε την παράγραφο μπορούμε να πούμε ότι η πιθανότητα να πλημμυρίσουν ένας, δύο ή και περισσότεροι χώροι από ένα άνοιγμα στο σκάφος μήκους l_b , δίδεται από τη σχέση: π.χ. με ένα άνοιγμα μήκους l_b , η πιθανότητα P_w της κατακλύσεως μόνο του χώρου 2 δίδεται από:

$$P_w = EF/GH \text{ όπου } EF = l_2 \cdot l_b, \text{ και } GH = L \cdot l_b.$$

Επομένως $P_w = l_2 \cdot l_b / L \cdot l_b$, αυτή η σχέση ισχύει μόνο για ένα χώρο, για περισσότερους χώρους εργαζόμαστε κατ' ανάλογο τρόπο.

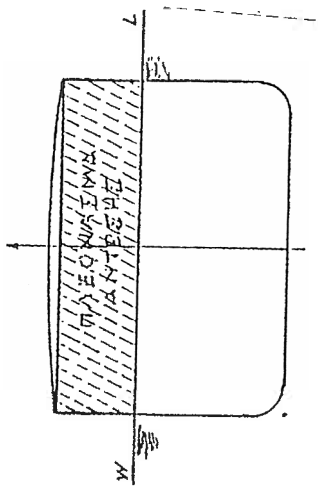


ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΨΟΥΣ ΕΞΕΛΛΩΝ

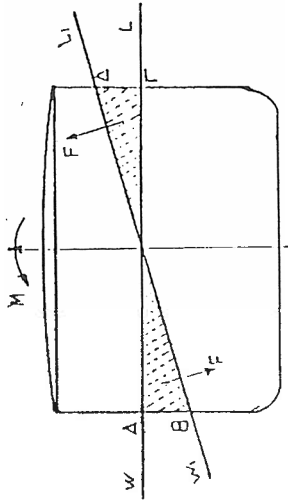
Το ύψος εξέλλων καθορίζονται από τους ισχύοντες Κανονισμούς περί «Γραμμής Φόρτωσης» 1966 σκοπός της οποίας είναι η εξασφάλιση ελαχίστων ορίων ασφάλειας του σκάφους με υποχρεωτική επιβολή μιας ελάχιστης εφεδρικής πλευστότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με τον καθορισμό ενός ελάχιστου ύψους εξέλλων το οποίο σε συνδυασμό προς το αντίστοιχο υψηλό πλευρικό ύψος παρέχει με τη περίπτωση άντωσης την ευχέρεια μεγαλύτερων κατακλύσιμων μηκών.

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ο πλοιοκτήτης προδιαγράφει για λειτουργικούς λόγους μακρά κύπη, δηλαδή μεγάλη απόσταση φρακτών, η αύξηση του ύψους εξέλλων είναι ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος για να επιτευχθούν οι απαιτήσεις. Από το ύψος εξέλλων στο πρωραίο ιδίως μέρος του σκάφους, εξορτάται επίσης η αντιμετώπιση του επερχόμενου κύματος και η αποφυγή μεγάλων ποσοτήτων νερού επί του καταστρώματος κατά την πορεία του σκάφους σε θαλασσοταραχή.

Το ύψος εξέλλων των πλοίων είναι μεταξύ άλλων ένα μέτρο του επιπέδου ασφάλειας διότι καθορίζει ένα απόθεμα πλευστότητας. Δηλαδή όταν το πλοίο ανεβοκατεβαίνει κατακόρυφα και κατακλύζεται από τα κύματα, πολύ εύκολα μπορεί να επανέλθει στην επιφάνεια, έχουμε μπορούμε να πούμε ένα πλεόνασμα άντωσης.



Επίσης τα εξέλλα προσφέρουν ένα απόθεμα στην ευστάθεια, δηλαδή όταν το πλοίο κλίνει δεξιά και αριστερά μπορεί εύκολα να επανέλθει στην αρχική του θέση διότι δημιουργείται μια ροπή ζεύγους όπως φαίνεται στο σχήμα. Έχουμε δηλαδή από την μια πλευρά μείωση της άντωσης τμήμα (AB), και από την άλλη πλευρά μια αύξηση της άντωσης τμήμα (ΓΔ).



Η μείωση του επιπέδου ασφαλείας που διαπιστώθηκε από ατυχήματα στις περιπτώσεις τηρήσεως μικρού ύψους εξάλων από υπερφόρτωση, υπογράωσε τις κυβερνητικές αρχές να καθορίσουν για τα πλοία το ελάχιστο ύψος εξάλων και επομένως και το μέγιστο βύθισμα. Μετά από σειρά ατυχημάτων, τα οποία αποδόθηκαν σε υπερφορτώσεις των πλοίων, έγινε υποχρεωτική η χάραξη των γραμμών φόρτωσης οι οποίες κατά περίπτωση δείχνουν το ελάχιστο ύψος εξάλων που επιτρέπει και το ανώτερο βύθισμα που αντιστοιχεί. Έτσι λοιπόν όπως αναφέραμε ο διεθνής οργανισμός IMO (International Maritime Organization) εφάρμοσε τον κανονισμό περί γραμμών φόρτωσης τον 1966 ο οποίος ισχύει και σήμερα.

Η σύμβαση αυτή εφαρμόζεται σε πλοία που εκτελούν διεθνής πλόες, δηλαδή για πλόες από χώρες στις οποίες αυτή εφαρμόζεται, σε λιμάνια εκτός της χώρας ή αντιστρόφως.

Από τις χώρες που έχουν προσυπογράψει τη σύμβαση εφαρμόζονται γενικά οι κανονισμοί της σύμβασης και για πλόες μέσα στα χωρικά ύδατα.

Η σύμβαση δεν εφαρμόζεται σε:

- α) Πολεμικά πλοία.
 - β) Πλοία μήκους μικρότερα από 24μ.
 - γ) Θαλαμηγούς αναψυχής.
 - δ) Αλιευτικά.
 - ε) Σε πλοία χωρητικότητας μικρότερης από 150 κόρους.
- Για κάθε πλοίο εκδίδεται μετά από επιθεώρηση Διεθνές πιστοποιητικό γραμμών φόρτωσης που ισχύει μέχρι 5 χρόνια. Στο οποίο φαίνεται το κατά περίπτωση ύψος εξάλων που αντιστοιχεί προς το ύψος εξάλων που χαραχθηκε πάνω στο πλοίο.

Κάθε χρόνο γίνεται επιθεώρηση κατά την οποία:

- α) Εξακριβώνεται ότι δεν έγιναν μετασκευές που επηρεάζουν το ύψος εξάλων.
- β) Επαβεβαιώνεται τα κτηκλιδώματα, οι θυρίδες εκροής, τα μέσα προσπέλασης χώρων διαμονής, η προστασία γενικά των ανοιγμάτων του σκάφους και κυρίως η στεγανότητα των μέσων κλεισίματος των ανοιγμάτων του κύριου καταστρώματος και ελέγχεται η διατήρηση της ακριβούς θέσεως της γραμμής Pimsoil.

Συνθήκες προσδιορισμού ύψους εξάλων.

Είναι ζωτικής σημασίας να υπάρχουν αποτελεσματικά μέσα προστασίας και στεγανότητας των ανοιγμάτων του σκάφους και των υπερκατασκευών, προστασίας του πληρώματος και γρήγορης απαγωγής των νερών από τα ακάλυπτα καταστρώματα. Οι κανονισμοί της σύμβασης που καλύπτουν το θέμα αυτό έχουν ενσωματωθεί στο κεφάλαιο II με την επωνυμία «Συνθήκες Προσδιορισμού Ύψους Εξάλων».

Οι συνθήκες αυτές δεν πρέπει να εφαρμόζονται μια και μόνη φορά κατά τον αρχικό καθορισμό του ύψους εξάλων, αλλά να υπάρχει συνεχής επαγρύπνηση για την διατήρησή τους σε ικανοποιητική κατάσταση.

Οι σχετικοί κανονισμοί προβλέπουν λεπτομέρειες κατασκευής και στεγανότητας για τα παρακάτω:

1. Στόμια κυτών και καλύμματα αυτών.
2. Πόρτες και ανοίγματα προς τους χώρους των μηχανών, υπερκατασκευές και ακάλυπτα καταστρώματα.
3. Αεραγωγούς σε ελεύθερα καταστρώματα.
4. Εξαεριστικά σε ελεύθερα καταστρώματα.
5. Φορτοθυρίδες περιβλήματος και παραφωτίδες.
6. Μπουνα, εισαγωγής και εξαγωγής θάλασσας.
7. Θυρίδες εκροής.

8. Μέσα προστασίας πληρώματος, όπως είναι η αντοχή των υπερκατασκευών, τα κτηκλιδώματα και δρύφακτα, οι προσπελάσεις και τα συρματόσχοινα ασφαλείας (Life Lines).

Οι σχετικοί κανονισμοί προβλέπουν επίσης τον εφοδιασμό του πλοίου με στοιχεία ευστάθειας και άλλα στοιχεία, τα οποία δίνουν στον πλοίαρχο την ικανότητα να ρυθμίσει τη φόρτωση και τον ερματισμό του πλοίου κατά τρόπο, ώστε να μη δημιουργούνται απαράδεκτα μεγάλες τάσεις στο σκάφος.

Επιβατηγά πλοία

Επιβατηγά πλοία είναι τα πλοία που μεταφέρουν πάνω από 12 επιβάτες. Σε αυτά το ύψος εξάλων εξαρτάται από τους υπολογισμούς και τους συναφείς κανονισμούς υποδιαίρεσης και ευστάθειας, όπως αναφέραμε ήδη στην στεγανή υποδιαίρεση πλοίου.

Φορτηγά πλοία

Για τον υπολογισμό του Υ.Ε. τα πλοία χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- α) Τα δεξαμενόπλοια, τα οποία κατασκευάστηκαν για τη μεταφορά υγρών φορτίων και ονομάζονται τύπου Α.
 - β) Όλα τα άλλα πλοία είναι τύπου Β.
- Σε ιδιαιτερούς πίνακες καθορίζεται το βασικό Υ.Ε. για καθένα από τους δύο τύπους, ανάλογα με το μήκος του πλοίου.

Το βασικό Υ.Ε. των δεξαμενόπλοιων είναι μικρότερο από το Υ.Ε. που αντιστοιχεί σε κοινό φορτηγό πλοίο του ίδιου του μήκους Υ.Ε. γιατί:

- α) Εξασφαλίζεται καλύτερα η στεγανότητα του ανοικτού καταστρώματος τα ανοίγματα που προβλέπονται σε αυτό είναι μικρών διαστάσεων στεγανοί κάθοδοι.
- β) Παρέχεται υψηλός βαθμός ασφάλειας όσον αφορά την κατάκλιση, λόγω της ύπαρξης μεγάλου αριθμού στεγανών διαμερισμάτων καιτης μικρής διαχωρητικότητάς του, λαμβάνοντας υπόψη ότι η κατάκλιση νε νερό ενός χώρου που είναι ήδη γεμάτος π.χ. με πετράλλιο, αλλάζει τις συνθήκες πλευστότητας του πλοίου.

Πλοία που μεταφέρουν ξυλεία

Ξυλεία που στοιβάζεται σε ανοικτά καταστρώματα θεωρείται ότι προσφέρει πρόσθετη εφεδρική άντωση και προστασία από δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Γι' αυτό με ορισμένες προϋποθέσεις παρέχεται η δυνατότητα μείωσης του εξ' υπολογισμού Υ.Ε. για τα πλοία που μεταφέρουν ξυλεία σε εκτιθέμενα κατάστρώματα.

ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ	
Βυθίσματα	
Όταν το εκτόπισμα παραμείνει σταθερό $\Delta_{\text{νέο}} = \Delta_{\text{παλιό}}$	
Όταν το βυθίσμα παραμείνει σταθερό $V_{\text{νέο}} = V_{\text{παλιό}}$	$KB = \frac{d}{2}$
$TPC = \frac{1,025A}{100}$	Διαμηκη ευσταθεία $BM_L = \frac{I_L}{V}$ $I_L = \frac{L^3 x B}{12}$
$FWE = \frac{\Delta}{4xTPC}$	$BM_L = \frac{L^2}{12d}$ $BM_L = \frac{L^2}{6d}$
TRIM	Εγκάρσια κλίση $T \text{ Έλικο } KG = \frac{\text{τελική ροπή}}{\text{τελικό εκτόπισμα}}$
$MCT1cm = \frac{\Delta x GM_L}{100L}$	$GG_e = \frac{wx d}{\Delta}$ $GG_k = \frac{wx h}{\Delta}$
$f = \frac{MCT1cm}{wx l}$	$εφθ = \frac{GG_e}{GM}$ $εφθ = \frac{GM}{GM}$
$x = \frac{L^{ct}}{L} x l$	Επίδραση ελκυστηρών επιφανειών $GG_o = \frac{\sum_{i=1}^n I_{i, x' y' i}}{\Delta}$
$y = l - x$	$G_o M = GM - GG_o$
$d = \frac{\Delta x MCT1cm}{l x TPC}$	Προέβση βάρους $GG_e = \frac{wx d}{\Delta + w}$
Κανονες Simson	$GG_L = \frac{wx l}{\Delta + w}$
$E = \frac{h}{3} x (a + 4b + c)$	Πείραμα ευσταθείας $GM = \frac{wx d}{\Delta x εφθ}$ $εφθ = \frac{a}{1}$
$V = \frac{h}{3} x (a + 4b + c)$	
Κ.Π. = $\frac{\text{ολική ροπή}}{\text{ολικό εμβαδό}}$	
Εγκάρσια Ευσταθεία	
$I = \frac{1}{12} B^3 x L$	
$I = \frac{1}{12} B x l^3$	
$C_b = \frac{V}{L \cdot B \cdot d} = \frac{\Delta}{L \cdot B \cdot d \cdot \rho}$	

Πλοίο. Λέγεται και καρίβη. Είναι το πλοίο συνκεκλιωμένο μέσο, το σκάφος, με το οποίο πλεύουμε στη θάλασσα. Δεν θεωρούνται πλοία οι βάρκες (λέμβοι) και τα μικρά πλοία μέσα (φορτηγίδες ή μαρινές), που δεν έχουν την ικανότητα να πλεύουν στη θάλασσα με δικιά τους μέσα και με σκοπό τη ναυτιλία, δηλ. τα ταξίδια ή της μεταφορές.

Υπήρχε μια πανάργαλα επιλογή στην ιστορία του ανθρώπου, που η θάλασσα και γενικά κάθε εκτεταμένη υδάτινη επιφάνεια ήταν απροσπέλαστη και μεγάλο εμπόδιο στις συγκοινωνίες. Δεν χρειάστηκε παρά η εφεύρεση του πλοίου και τότε ο άνθρωπος κατόρθωσε να διαμείσει το υδάτινο στοιχείο.

Ίσως ένα δέντρο, που παρασύρθηκε ξερνιγμένο από τα νερά του ποταμού κι επέπλεε στο γυαλό, έδωσε την πρώτη αφορμή στο ανθρώπινο μυαλό να συλλάβει το μακρινό πρόβλημα του πλοίου. Κορμός δέντρου, πελεκημένος στις δύο τους άκρες, που τον καθάρισε και επέπλεε επάνω στα νερά ήταν το πρώτο πλοιάρι μέσο το κειμήλιο από χέρια ανθρώπου. Έτσι μονόξυλο της νεολιθικής εποχής βρέθηκαν μέσα σε λίμνες τη Ελβετίας και στην Ιρλανδία. Από τα χέρια του, που τα κινούσε σπρωχόμενος τα νερά για να μετακινείται, όταν κολυμπούσε, παρακινήθηκε να κατασκευάσει για το πρώτο του εκείνο πλεύσιμο ξύλινα "χέρια", δηλ. τα κουπιά. Το πρώτο βήμα για το πλεύσιμο του νερού είχε γίνει. Τα άλλα ήταν ευκολότερα. Με κλάδιά η κορμούς δέντρων δεμένους μαζί έφτιαξε σε λίγο σχεδίες, που χωρούσαν όχι ένα ή δυο αλλά πολλά άτομα. Με τη φουριά ή με τοσκονο έμαθε σε λίγο να κολιάνει τους κορμούς, ώστε να κέθεται μέσα χωρίς να βρέγεται και να κοπιάσει με ευκολία. Σε μέρη όπου το κολούσαν οι συνθήκες του περιβάλλοντος (έλλειψη ξυλείας), κατασκευάστηκαν πλοία μέσα από δέρματα ζώων, που προσαρμόζονταν τετραγώνια πάνω σε συναρμολογημένο σκελετό ξύλινο ή από καλάμια. Κάποιο τυχαίο ίσως γεγονός έδωσε αφορμή στον άνθρωπο να καταλάβει την αξία των ιστίων (πανιών) στο χοντροκομμένο εκείνο πλεύσιμο.

Κοντό στα κουπιά, που τα κινούσε με τα χέρια του κι έσπρωχνε προς την κεντροβύθιση από πίσω το πλεύσιμο του, είχε τώρα και τα πανιά, που τα φούσκωνε ο άνεμος και το έκανε να πλεύσει επάνω στην επιφάνεια των νερών. Στο στενό του Μεγρέλάνου στα νησιά του Ινδιανικού ωκεανού στην Κεντρική Αφρική διασάθηκαν μερικά δείγματα των μακρινών προγόνων του πλοίου, πρώτογονες βάρκες (ακάτια) από δοναμένα κομμάτια ξύλα (αυτίλια) με πρόσδεση προσαρμολογμένα και συνδεδεμένα με σχοινιά ή λουριά. Στην Πολωνία, στα Μπλάν, με ένα είδη Βόρεια θάλασσα βρέθηκαν πλοία για που έχουν το σχήμα της σημερινής Μίρκας. Η θάλασσα ήταν προσαρμολογμένα στα "στραβόξυλα" με ξύλινα καρφιά ή με λουριά, που διασυνέχοντο από ανοιχτές τρύπες.

Από τα πλοία αυτά της νεολιθικής εποχής γεννιούνται τα εξελιγμένα και ολοκληρωμένα πλοία των κατοπιών χρόνων. Οι Αιγύπτιοι φανταίνεται πως ήταν οι πρώτοι, που νοηματολόγησαν με γυαλά και τέλεια πλοία. Αυτοί έμαθαν να σπρωίζουν τα πανιά σ' έναν ιστό που τον έσπρωχναν από ξύλα, που άρχιζαν από τη βάση του πλοίου χωριστά κι έβγαζαν στην κορυφή. Αυτοί οι πλοιοποιοί

και την πηδαιολογηση του πλοίου. Εφεύραν το πρώτο πηδάλιο, που δεν ήταν αλλο από ένα κουπί τοποθετημένο στην προέκταση της πρύμνης. Σε αιγυπτιακούς τάφους της 3^{ης} και 2^{ης} π.Χ. χλιεπιδούς βρέθηκαν ζωγραφιές μεγάλων και πολύ ορατών πλοίων. Είχαν 20 και περαπάνω κωπηλάτες τοποθετημένους στα πλευρά του πλοίου. Οι θοίνικες που κυριάρχησαν για πολλούς αιώνες στη Μεσόγειο, δημιούργησαν μεγάλους στόλους, χωρίς όμως να τελειοποιήσουν σημαντικά τα πλοία. Μεγάλη ναυτική δύναμη την αρχαία εκείνη εποχή ανέπτυξαν οι Κρήτες και γενικά οι Αιγύπιοι. Αξίζει ιδιαίτερα να παρατηρήσουμε, ότι την εποχή αυτή ακμίζουν οι παράλιες και νησιωτικές περιοχές. Εκεί, χάρη στις συγκοινωνίες που εξασφαλίζουν τα πλοία, αναπτύσσεται υψηλός πολιτισμός ενώ σε ελάχιστες μεσογείες πόλεις κατορθώθηκε αυτό.

Το πρώτο γνωστό μάς κωπηλάτη είναι η μυθολογική «Αργώ» και οι «νήες» του Ομήρου. Η ελληνική ναυτιλία διαθέτει αυτή την εποχή καράβια δίχως κατάστρωμα και με μια σειρά κωπηλάτες («μνήρης ναύς»). Αργότερα προστέθηκε δεύτερη σειρά κωπηλατών («δήρης ναύς») και τρίτη («τρήρης ναύς»). Οι σειρές ήταν η μια πάνω από την άλλη κι οι κωπηλάτες ήταν 30 ή 50 ή 100 («τριάκοντορος ναύς ή «πεντηκόντορος» ή εκατόντορος»). Κωπηλάτες ήταν οι ίδιοι οι πολεμιστές ή στα «μπορικό καράβια δούλοι. Ονομαστό για την ομορφιά του, τον πλευτό, τις ανέσεις, την ασφάλεια και το μέγεθος της ήταν η περίφημη «Δυρακοσία ναύς» που ναυπήγησε ο Αρχιμήδης για τον τύραννο των Δυρακοσών τον Ιέρωνα. Είχε τρία πατώματα, 15 κλίνες, γυμναστήριο και ήταν οπλισμένο με θαυμάσιες πολεμικές μηχανές («λιθοβόλους», «κόρακες» κλπ.). Τα σκάφη των Ρωμαίων είχαν μήκος ως 24 μ. και πλάτος 6-8μ. Μπορούσε το καθένα να φέρει βάρος ως 240 σημερινών τόνων και είχε πλήρωμα εκατό και διακόσιους ανθρώπων.

Η τελειοποίηση των πλοίων προχωρεί ακόμα περισσότερο στα Βυζαντινά χρόνια. Οι Βυζαντινοί ανέπτυξαν μεγάλο ναυτικό. Τα νεότερα χρόνια πραγματοποιείται τελειοποίηση σε τρία σημεία: 1) Στο πηδάλιο, που εφαρμοσμένο πλέον με πολλή τέχνη στην πρύμη κατευθύνει το πλοίο με μεγάλη ασφάλεια. 2) Στο κύριο του, δηλ. στην τακτοποίηση των χώρων, ώστε να είναι πιο βολικοί (κατάστρωμα, διαμερίσματα του κύτους κλπ. και 3) Στα πανιά. Οι Άραβες εισήγουν το λατίνι, το τριγωνικό ιστίο (πανι). Τα λατίνια προσαρμοσμένα κατάλληλα στους ιστούς (κατάρτια) έδωσαν στα πλοία τη δυνατότητα να πλέονν, με «βόλτες», ακόμα κι ενάντια στην πνοή του ανέμου.

Το 1500 προστέτουν στα πλοία και δεύτερο κατάστρωμα, ενώ η ποικιλία εφαρμογής των πανιών και η αρχιτεκτονική γενικά δημιουργεί αμέτρητες ποικιλίες (ακάτια, καρφέλες, φρεγάτες, βρίκια, πάρινες, δρόμιωνες, γαλέρες κλπ.). Αλλά τη μεγαλύτερη ώθηση στη ναυσιπλοία και στην τελειοποίηση των σκαφών δίνει η εφεύρεση της ναυτικής πωξίδας και ο εξοπλισμός τους με πυροβόλα. Ένα περίφημο για την εποχή αυτή είναι το γαλλικό πλοίο « Ερρίκος Ελέω Θεού» που μπορούσε να φέρει βάρος 1000 τόνους και ήταν εξοπλισμένο με 231 πυροβόλα, ικανά να ρίχνουν οβίδες που ζύγιζαν ως 60 λίτρες.

Η εφεύρεση της ατμομηχανής από τον Γουάι έδωσε τη δυνατότητα να κατασκευαστούν τα ατμόπλοια. Στα τέλος του 18^{ου} αιώνα έγιναν οι πρώτες δοκιμές. Το 18^ο αιώνα έγιναν οι πρώτες δοκιμές. Το 1807 ο Φούλτον κατασκεύασε το πρώτο ατμόπλοιο, το « Κλεμριοντ». Δύο τεράστιες ρόδες με πετρήνια κινούνταν έξω από τα πλευρά του πλοίου μέσα στο νερό και ωθούσαν τον σκάφος προς τα εμπρός. Δώδεκα χρόνια αργότερα (1819) το ατμόπλοιο «Σαβάννα» διέσχισε τον Ατλαντικό. Μεγάλο όμιος εμπόδιο σ' αυτά ήταν οι πλερινιοί τροχοί. Από το 1836 ο Άγγλος Σιμθ και ο Αμερικανός Έρικσον εφευρίσκουν, ο καθένας χωριστά, τον έλικα και τον εφαρμόζουν

πρακτικά στα πλοία. Πρόκειται για ένα νέο μεγάλο βήμα στη ναυπήγηση πλοίων και στη ναυσιπλοία. Τα ιστία πλέον εγκαταλείπονται. Μόνο στα καΐκια (ιστιοφόρα) τα συναντάμε. Τώρα πιά η ναυπηγική, δηλ. η τέχνη και η επιστήμη της κατασκευής πλοίων, προχωρεί από τη μια τελειοποίηση στην άλλη.

Το 1857 ναυπηγείται στην Αγγλία ένα τεράστιο ατμόπλοιο, ο «Μέγας Ανατολικός», που είχε μήκος 205 μ., και εκτόπισμα 27.384 τόνους. Το 1856 απέκτησε και η Ελλάδα τρία επιβατικά ατμόπλοια («Βασιλίσα της Ελλάδας»), «Υδρα», «Πανελλήνιον», που είχαν βάση τους τη Σύρο. Από τότε η ελληνική ναυτιλία προοδεύει συνεχώς. Το ελληνικό εμπορικό ναυτικό διασχίζει όλες τις θάλασσες της υδρογειοί και για λογαριασμό των μεγαλύτερων εμπορικών οίκων του κόσμου εκτελεί μεταφορές ανάμεσα σ' όλες τις ηπείρους. Τα σπουδαιότερα μέρη ενός σύγχρονου πλοίου είναι τα εξής:

1. Ο εσωτερικός σκελετός, που είναι μετάλλινος κι επάνω του προσαρμόζεται το εξωτερικό περιβλήμα, που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι κι αυτό μετάλλιο.
2. Το κατάστρωμα, που απλώνεται ορίζοντα από το ένα άκρο του πλοίου ως το άλλο.

3. Τα υποστρώματα, που βρίσκονται κάτω από το κατάστρωμα. Τα τρία αυτά μέρη λέγονται και εξάλλα, γιατί βρίσκονται πάνω από τα νερά.

4. Τα ύδαλα, που είναι το τμήμα που βυθίζεται στα νερά και χωρίζεται από τα εξάλλα με την ισάλο γραμμή.

5. Η πρόρα, δηλ. το εμπρόσθιο μέρος του πλοίου, που είναι μπιτερή, για να διασχίζει τη μάζα του νερού.

6. Η πρύμη, δηλ. το οπίσθιο μέρος.

7. Η μηχανή, που δίνει στο σκάφος την κίνηση και βρίσκεται στο καλύτερο υποστρωμα, στο κύτος του πλοίου. 8. Η έλικα που βρίσκεται στην πρύμη και κινείται με τη δύναμη που της δίνει η μηχανή.

8. Τα μηχανήματα, που εξασφαλίζουν τη διακυβέρνηση του σκάφους, ήτοι το πηδάλιο, που είναι τοποθετημένο στην πρύμη και ο χειρισμό του γίνεται από τη γέφυρα του πλοίου με το οιακοστρόφιο (ρόδα τιμονιού), που με ύλυσίδες τραβιάει τον οίακα και μετακινεί το πηδάλιο για τη διακυβέρνηση του σκάφους και η πωξίδα. 10. Τα μηχανήματα τηλεπικοινωνίας (ασύρματος, ραντάρ) και 11. Οι άγκυρες, που με το βάρος τους, όταν κατεβάζονται στο βυθό με τις ειδικές ύλυσίδες συγκρατούν το πλοίο στη θέση που πρέπει.

Η κατασκευή ενός πλοίου ονομάζεται ναυπήγηση και γίνεται σι ειδικά εργαστήρια που λέγονται ναυπηγεία. Η ναυπηγική είναι σπουδαίος κλάδος της μηχανικής και απασχολεί τους ειδικούς ναυπηγούς, που ετοιμάζουν τα σχέδια με πολύ προσοχή και με εκτίμηση όλων των στοιχείων, που θα βοηθήσουν για να βγει ένα σκάφος, στερεό, γρήγορο, ευέλικτο, ευσταθές, ικανό να παίρνει αρκετό φορτίο, και άνετο για τους επιβάτες. Βάση για τη ναυπήγηση πλοίων αποτελούσε παλαιότερα το ξύλο από δρυ ή πεύκο.

Αργότερα αντικαταστάθηκε από το σίδερο και τα τελευταία χρόνια βάση είναι ο μαλακός χάλυβας, που έχει μεγάλη αντοχή κι είναι και φθηνός.

Ανάλογα με τον προορισμό τους διακρίνουμε κυρίως δύο ειδών πλοία: τα εμπορικά, που αποτελούν την εμπορική ναυτιλία, και τα πολεμικά, που αποτελούν το πολεμικό ναυτικό. Τα εμπορικά είναι: *επιβατηγά*, όταν είναι προορισμένα για τη μεταφορά ανθρώπων και διακρίνονται σε μεγάλα υπερωκεάνια και ακτοπλοϊκά, *θαλιμηγά*, προορίζονται για ταξίδια των ιδίων των πλοιοκτητών, *πλωτά νοσοκομεία*, *ρμιονικά* και *ναυαγσωστικά*, *παγοθραυστικά*, *ποταμόπλοια*. Πολλά εμπορικά φέρουν ακόμα ιστία (πανιά), έχουν όμως και μηχανές εσωτερικής καύσεως. Τα *πολεμικά* πλοία διακρίνονται σε: φρεγάτα, που είναι πολύ γερά εξοπλισμένα με πολλά πυροβόλα κι έχουν γερή θωράκιση, δηλ. χοντρό μετάλλιο εξωτερικό περιβλήμα, εύδρομα, που διακρίνονται για τη μεγάλη τους ταχύτητα, αντιτορπιλικά, τορπίλλοβόλα, δηλ. αυτά που εξακοντίζουν τορπίλες, κανονιοφόρους, αεροπλανοφόρα, υποβρύχια, που με ειδικούς μηχανισμούς κατορθώνουν να μειώνουν ή να μεγάλωνουν το ειδικό βάρος τους και ανάλογα με το σκοπό τους, να πλέουν, επάνω στην επιφάνεια ή να καταδύονται και να κινούνται βυθισμένα μέσα στην υδάτινη μάζα. Τα κύρια στοιχεία που προσδιορίζουν ένα σκάφος είναι το μήκος, το πλάτος και το βάθος, η χωρητικότητα για τα εμπορικά σκάφη, και το εκτόπισμα για τα πολεμικά που υπολογίζονται σε τόνους.

Για την εκτέλεση των πολυσύνθετων υπηρεσιών που απαιτεί ένα πλοίο, όταν ταξιδεύει, υπηρετούν σ' αυτό ειδικευμένα άτομα που αποτελούν το *πλήρωμα* δηλ. οι ναύτες κλπ. Επικεφαλής του πληρώματος και υπεύθυνος για το σκάφος είναι ο *πλοίαρχος ή κυβερνήτης*, που λέγεται και *καπετάνιος ή καραβοκύρης*. Οι πλοίαρχοι των εμπορικών πλοίων προέρχονται συνήθως από ειδικές σχολές, όπως η Σχολή Εμποροπλοιάρχων Υδρας, και οι πλοίαρχοι του πολεμικού ναυτικού προέρχονται από τους αξιωματικούς του ναυτικού με προηγμένη. Για την κατάρτιση των αξιωματικών του ναυτικού λειτουργεί η Σχολή Ναυτικών Δοκίμων. Κατώτερες ναυτικές σχολές λειτουργούν πολλές καθώς και ναυτικά γυμνάσια.