

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ  
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ



Α΄ ΕΚΔΟΣΗ 2010  
ISBN: 978-960-337-091-8

Copyright © 2010 Ίδρυμα Ευγενίδου  
Απαγορεύεται η ολική ή μερική ανατύπωση του βιβλίου και των εικόνων με κάθε μέσο καθώς και η διασκευή, η προσαρμογή, η μετατροπή και η κυκλοφορία του (Άρθρο 3 του ν. 2121/1993).

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου», προείδε ενωρίτατα και οχημάτισε τη βαθιά πεποίθηση ότι αναγκαίο παράγοντα για την πρόοδο του έθνους αποτελεί η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας σε συνδυασμό προς την ηθική τους αγωγή.

Την πεποίθησή του αυτή την μετέτρεψε σε γενναία πράξη ενεργεσίας, όταν κληροδότησε σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, τον Φεβρουάριο του 1956 συνεστήθη το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου την διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Από τη στιγμή εκείνη άρχισαν πραγματοποιούμενοι οι σκοποί που οραματίστηκε ο Ευγένιος Ευγενίδης και συγχρόνως η εκπλήρωση μιας από τις βασικότερες ανάγκες του εθνικού μας βίου. Το έργο του Ιδρύματος συνέχισε από το 1981 μέχρι το 2000 ο Νικόλαος Βερνίκος-Ευγενίδης· έκτοτε συνεχίζει αυτό ο κ. Λεωνίδας Δημητριάδης-Ευγενίδης.

Κατά την κλιμάκωση των σκοπών του, το Ίδρυμα προέταξε την έκδοση τεχνικών βιβλίων τόσο για λόγους θεωρητικούς όσο και πρακτικούς. Διεπιστώθη πράγματι ότι αποτελεί πρωταρχική ανάγκη ο εφοδιασμός των μαθητών με σειρές από βιβλία, τα οποία θα έθιταν ορθά θεμέλια στην παιδεία τους και θα αποτελούσαν συγχρόνως πολύτιμη βιβλιοθήκη για κάθε τεχνικό.

Ειδικότερα, όσον αφορά στα εκπαιδευτικά βιβλία των σπουδαστών των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού, το Ίδρυμα ανέλαβε τότε την έκδοσή τους σε πλήρη και στενή συνεργασία με τη Διεύθυνση Ναυτικής Εκπαιδύσεως του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, υπό την εποπτεία του οποίου υπάγονται οι Σχολές αυτές. Η ανάθεση στο Ίδρυμα έγινε με την υπ' αριθ. 61228/5031, της 9ης Αυγούστου 1966, απόφαση του ΥΕΝ, οπότε και ανενεργήθη και η αρμόδια Επιτροπή Εκδόσεων.

Αποτέλεσμα της συνεργασίας αυτής ήταν η έκδοση της Σειράς Βιβλιοθήκη του Ναυτικού, όπου εξεδόθησαν: α) Για τους μαθητές των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού 30 τόμοι βιβλίων (1967 – 1979). β) Για τις ΑΔΣΕΝ (Ανώτερες Δημόσιες Σχολές Εμπορικού Ναυτικού) 54 τόμοι (1979 – 2001).

Κύριος σκοπός των εκδόσεων αυτών, των οποίων το περιεχόμενο είναι σύμφωνα με τα εκάστοτε ισχύοντα αναλυτικά προγράμματα του ΥΕΝ, ήταν η παροχή προς τους σπουδαστές των Ναυτικών Σχολών ΑΔΣΕΝ και Ναυτικών Λυκείων των αναγκαίων τότε εκπαιδευτικών κειμένων, τα οποία αντιστοιχούν προς τα μαθήματα που διδάσκονται στις Σχολές αυτές.

Επίσης ελήφθη ιδιαίτερη πρόνοια, ώστε τα βιβλία αυτά να είναι γενικότερα χρήσιμα για όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, που ασκούν το επάγγελμα ή εξελίσσονται στην ιεραρχία του κλάδου τους, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι επέρχεται μεταβολή στη σύσταση του περιεχομένου τους.

Με την υπ. αρ. Μ 2111. 1/2/99/28-05-1999 (ΦΕΚ 1168Β/14-6-99) υπουργική απόφαση, όπως τροποποιήθηκε με την Κ.Υ.Α. των υπουργών Οικονομίας και Οικονομικών και Εμπορικής Ναυτιλίας αρ. Μ 3611.2/05/05/16-12-2005 (ΦΕΚ 1942 Β/30-12-2005 και ΦΕΚ 169 Β/13-02-2006), το ΥΕΝ ανέθεσε στο Ίδρυμα Ευγενίδου την συγγραφή και έκδοση των διδακτικών εγχειριδίων των Ναυτικών Ακαδημιών· ήδη το ΥΠ.ΟΙ.Α.Ν.

προεκήρυξε την συγγραφή 27 βιβλίων προς κάλυψη των αναγκών των σπουδαστών βάσει των ισχυόντων αναλυτικών προγραμμάτων.

Οι συγγραφείς και η Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος καταβάλλουν κάθε προσπάθεια, ώστε τα βιβλία να είναι επιστημονικά άρτια αλλά και προσαρμοσμένα στις ανάγκες και τις δυνατότητες των σπουδαστών. Γι' αυτό έχουν προσεγμένη γλωσσική διατύπωση των κειμένων τους και η διαπραγμάτευση των θεμάτων είναι ανάλογη προς τη στάθμη της εκπαίδευσής, για την οποία προορίζονται.

Με την προσφορά στους καθηγητές, στους σπουδαστές των ΑΕΝ και σε όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού των εκδόσεών του, το Ίδρυμα συμβάλλει στην πραγματοποίηση του σκοπού του ιδρυτή του Ευγενίου Ευγενίδου.

#### ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

**Εμμανουήλ Δρης**, καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

**Ιωάννης Τεγόπουλος**, ομ. καθηγητής ΕΜΠ.

**Ιωάννης Τζαβάρας**, αντιναύαρχος Λ.Σ. (Ε.Α.).

**Ιάκωβος Σέργης**, πλοίαρχος Λ.Σ., Διευθ. Ναυτ. Εκπ. Υ.Θ.Υ.Ν.ΑΛ.

Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος **Κων. Αγγ. Μανάφης**, ομότιμος καθηγ. Φιλοσοφικής Σχολής Πανεπιστημίου Αθηνών.

Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Ανδρεάκος**.

Επιστημονικός Σύμβουλος για το βιβλίο «Ευστάθεια – Κοπώσεις» **Παναγιώτης Γ. Αλούρδας**, αρχιπλοίαρχος Π.Ν. (ε.α.), ναυπηγός μηχανολόγος μηχανικός.

#### Διατελέσαντα μέλη της Επιτροπής

*Γ. Κακριδής* (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, *Α. Καλογεράς* (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, *Α. Παπιάς* (1955-1983) καθηγητής ΕΜΠ, *Χ. Καβουνίδης* (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, *Μ. Αγγελόπουλος* (1970-2003) ομ. καθηγητής ΕΜΠ, *Σπ. Γουλιέλμος* (1958) Αντ/ρχος, *Ξ. Αντωνιάδης* (1959-1966) Αντ/ρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Γ. Τσακίρης* (1967-1969) Πλοίαρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ελλ. Σίδερης* (1967-1969) Υποναύαρχος, *Π. Φουσιέρης* (1969-1971) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Αλ. Μοσχονάς* (1971-1972) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ι. Χρυσανθακόπουλος* (1972-1974) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Αθαν. Σωτηρόπουλος* (1974-1977) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Γ. Σπαριώτης* (1977) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., προσωρινός Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Θ. Πουλάκης* (1977-1979) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Λυκούδης* (1979-1981) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Αναστ. Δημαράκης* (1981-1982) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Τσαντίλας* (1982-1984) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Α. Σιαυρόπουλος* ομ. καθηγητής Πειραιώς (-2008) *Ε. Τζαβέλας* (1984-1986) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Γ. Γρηγοράκος* (1986-1988) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Α. Μπαρκασιός* (1988-1989) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Παπαναστασίου* (1989) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Γ. Λάμπρου* (1989-1992) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Κοκορέτσας* (1992-1993) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Μαρκάκης* (1993-1994) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ι. Ζουμπούλης* (1994-1995) Πλοίαρχος Λ.Σ., *Φ. Ψαρράς* (1995-1996) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Γ. Καλαρώνης* (1996-1998) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Θ. Ρενιζεπέρης* (1998-2000) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ι. Στεφανάκης* (2000-2001) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Μαρίνος* (2001) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Εξαρχόπουλος* (2001-2003) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Μπριλάκης* (2003-2004) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ν. Θεμέλαρος* (2003-2004) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Κουβέλης* (2004-2005) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Δ. Βασιλάκης* (2005-2008) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Πειρόπουλος* (2008-2009) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Α. Μαισάγγος* (2009-20011) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ..

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

# ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ – ΚΟΠΩΣΕΙΣ

ΙΩΑΝΝΗ ΕΜ. ΚΟΛΛΙΝΙΑΤΗ  
Υποναυάρχου Π.Ν. (ε.α)  
Ναυπηγού-μηχ/γου (MIT)



ΑΘΗΝΑ  
2010



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Το περιεχόμενο και η έκταση αυτού του βιβλίου ανταποκρίνεται στα πλαίσια της διδακτέας ύλης του μαθήματος «Ευστάθεια-Κοπώσεις» των σπουδαστών, υποψήφιων Πλοιάρχων, των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού· επομένως κατά καμία έννοια δεν μπορεί να θεωρηθεί ως ολοκληρωμένη προσπάθεια σφαιρικής ανάπτυξης του αντικειμένου της θεωρίας πλοίου.

Στην παλαιότερη, αλλά και στην πιο πρόσφατη ιστορία της ναυτιλίας δεν υπήρξε περίοδος χωρίς ναυτικά ατυχήματα. Παρά την αλματώδη εξέλιξη της τεχνολογίας και τη συνεχή βελτίωση των κανονισμών που σχετίζονται με την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας, οι ανατροπές, βυθίσεις και επικαθίσεις πλοίων, ατυχήματα που δυστυχώς, σε αρκετές περιπτώσεις έχουν ως αποτέλεσμα και την οδυνηρή απώλεια ανθρώπινης ζωής, δεν έπαψαν να υπάρχουν.

Αναντίρρητο είναι το γεγονός ότι τα σύγχρονα πλοία είναι εξοπλισμένα με πολλαπλές διατάξεις ασφάλειας, αυτοματισμούς και νέες δυνατότητες βασισμένες στους υπολογιστές, που καθιστούν απλούστερη, πιο άνετη και πολύ πιο ασφαλή τη σταδιοδρομία στα πλοία, των αξιωματικών και των πληρωμάτων τους.

Όσα όμως και όποιας τελειότητας σύγχρονα συστήματα και αν βρίσκονται εγκατεστημένα στα πλοία, η κατανόηση των φυσικών φαινομένων που επηρεάζουν την ικανοποιητική και ασφαλή ανταπόκρισή τους, στο συχνά πολύ αφιλόξενο θαλάσσιο περιβάλλον, θα παραμείνει αδήριτη ανάγκη, απόλυτα συνυφασμένη με την ασφάλεια και την ίδια τη ζωή των πληρωμάτων τους. Προς αυτήν ακριβώς την κατεύθυνση στοχεύει η προσπάθεια αυτού του βιβλίου.

Εν τούτοις η σχετικά απλοποιημένη προσέγγιση του αντικειμένου και η ιδιαιτερότητα κατευθύνσεως των περιεχομένων του βιβλίου προς την ανάπτυξη των εξειδικευμένων για την ευστάθεια και τις κοπώσεις αρχών, όπως πρέπει να εφαρμόζονται στην πράξη πάνω στα πλοία, επιτρέπει στον συγγραφέα την αισιόδοξη πρόβλεψη ότι, εκτός από τους σπουδαστές για τους οποίους βασικά προορίζεται, ίσως προκαλέσει και το ενδιαφέρον και άλλων ομάδων της ναυπηγικής και ναυτιλιακής δράσης.

Ο συγγραφέας





### 1.1 Γενικά.

Η μορφή του πλοίου και ιδιαίτερα του τμήματός του που βρίσκεται μέσα στο νερό, οι διαστάσεις του και οι αναλογίες αυτών, επηρεάζουν πολύ σημαντικά τη συμπεριφορά και τις επιδόσεις του, όπως είναι η ταχύτητα και η ισχύς των μηχανών του, η μεταφορική του ικανότητα, η ευστάθεια και η συμπεριφορά του στη θαλασσοταραχή.

Σημαντικό ρόλο επίσης παίζουν οι θέσεις διαφόρων χαρακτηριστικών σημείων της γεωμετρίας του πλοίου όπως το κέντρο βάρους και άλλα σημεία για τα οποία θα μιλήσουμε σε επόμενα κεφάλαια.

Από τα παραπάνω καθίσταται προφανής η ανάγκη εξοικειώσεως με τον τρόπο περιγραφής της γεωμετρίας του πλοίου.

### 1.2 Άξονες και επίπεδα αναφοράς του πλοίου.

Για την περιγραφή της γεωμετρίας του πλοίου θεωρούμε σταθερά τοποθετημένο πάνω σ' αυτό ένα σύστημα ορθογωνίων συντεταγμένων (σχ. 1.2α).

Οι διευθύνσεις που ορίζουν οι άξονες  $x$ ,  $y$  και  $z$  χαρακτηρίζονται αντίστοιχα ως **διαμήκης** (longitudinal), **εγκάρσια** (transverse) και **κατακόρυφη** (vertical). Διαστάσεις, μήκη ή στοιχεία από τη μεταλλική κατασκευή του πλοίου χαρακτηρίζονται, από άποψη προσανατολισμού, με τα παραπάνω επίθετα, π.χ. διαμήκης φρακτί ή κατακόρυφη απόσταση. Με ανάλογες ονομασίες χαρακτηρίζονται και διάφορα επίπεδα παράλληλα προς εκείνα που ορίζουν ανά ζεύγη οι άξονες συντεταγμένων.

Έτσι:

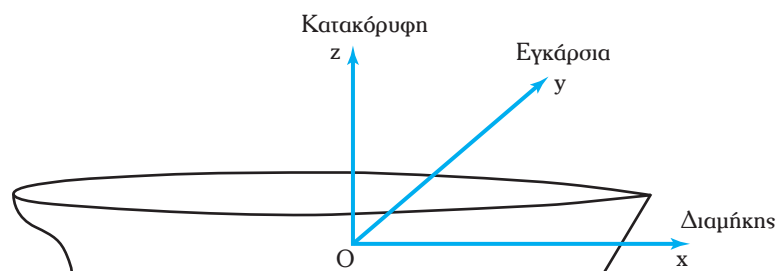
1) Επίπεδα παράλληλα προς εκείνο που ορίζουν οι άξονες  $x$ - $z$  ονομάζονται **διαμήκη επίπεδα** (longitudinal planes). Το ίδιο το επίπεδο που ορίζουν οι άξονες  $x$ - $z$  (για συμμετρικά πλοία) ονομάζεται **διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου** (longitudinal plane of symmetry).

2) Επίπεδα παράλληλα προς εκείνο που ορίζουν οι άξονες  $z$ - $y$  ονομάζονται **εγκάρσια επίπεδα** (transverse planes) ή **εγκάρσιες τομές**.

3) Επίπεδα παράλληλα προς εκείνο που ορίζουν οι άξονες  $x$ - $y$  ονομάζονται **οριζόντια επίπεδα** (horizontal planes) ή **ίσαλοι** (waterplanes) (σχ. 1.2β).

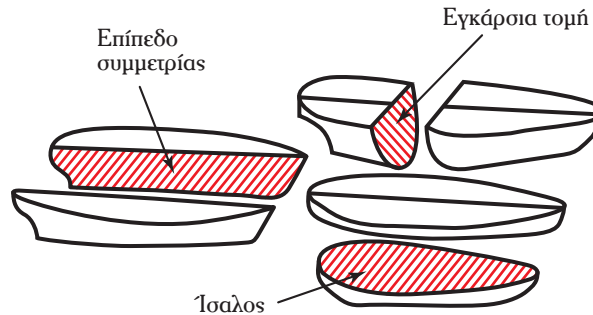
Οι χαρακτηρισμοί **δεξιά** ή **αριστερά** (π.χ. δεξιά πλευρά, δεξιά μηχανή) δίνονται πάντοτε **σε συνδυασμό με παρατήρηση του πλοίου από την πρόμνη**.

Ως προς τη θέση όπου είναι τοποθετημένη η αρχή των συντεταγμένων θα πρέπει να σημειώσουμε ότι:



Σχ. 1.2α.

Σύστημα συντεταγμένων πλοίου.



Σχ. 1.2β.

Χαρακτηριστικές τομές πλοίου.

1) Εφόσον η δεξιά και αριστερή πλευρά του περιβλήματος του πλοίου είναι συμμετρικές, η αρχή του συστήματος συντεταγμένων τοποθετείται πάνω στο επίπεδο συμμετρίας.

2) Κατά τη διαμήκη διεύθυνση η αρχή των συντεταγμένων είναι τοποθετημένη είτε στο **μέσο** του πλοίου, είτε πάνω στην **πρυμναία κάθετο** (παράγρ. 1.5).

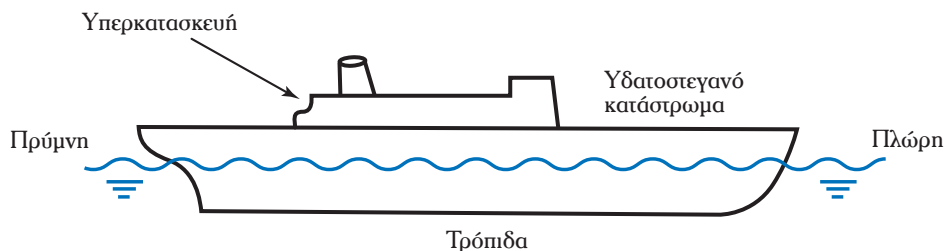
3) Κατά την κατακόρυφη διεύθυνση η αρχή των συντεταγμένων συχνά τοποθετείται πάνω στην **ίσαλο σχεδιάσεως** (παράγρ. 1.5).

Για τη μελέτη ειδικών θεμάτων της συμπεριφοράς του πλοίου (όπως κινήσεις πλοίου σε θαλασσοταραχή) μας εξυπηρετεί να τοποθετήσουμε την αρχή των συντεταγμένων πάνω από το **κέντρο βάρους του πλοίου**.

### 1.3 Απλοποιημένη μορφή πλοίου.

Στο σχήμα 1.3 εικονίζεται η απλοποιημένη μορφή ενός πλοίου. Το **κυρίως σκάφος** (hull) είναι εκείνο που περικλείεται από το **περίβλημα** (shell) και από το ανώτερο συνεχές υδατοστεγανό κατάστρωμα που βρίσκεται έξω από το νερό, σε κανονική ισορροπία του πλοίου σε ήρεμο νερό. Μερικές φορές το κυρίως σκάφος αποδίδεται και με το όνομα **γάστρα**, αν και συχνά η λέξη γάστρα χρησιμοποιείται για να εκφράσει τον όγκο του μέρους του πλοίου που βρίσκεται μέσα στο νερό. Ένα πλοίο μπορεί να έχει και άλλα **καταστρώματα** (decks), καθώς επίσης και **υπερκατασκευές** (superstructures), δηλαδή χρήσιμους κλειστούς χώρους πάνω από το ανώτερο συνεχές υδατοστεγανό κατάστρωμα. Το **περίβλημα του πλοίου**, που μπορεί να είναι μεταλλικό, ξύλινο ή πλαστικό, στηρίζεται, εσωτερικά, πάνω σ' ένα σκελετό. Τα εγκάρσια πλευρικά στοιχεία του σκελετού του πλοίου ονομάζονται **νομείς κατασκευής** (transverse frames).

Η **τρόπιδα** (keel) είναι το κατώτερο διάμηκες κατασκευαστικό στοιχείο του πλοίου. Στα ξύλινα πλοία αποτελείται κυρίως από μία δοκό, ενώ στα μεταλλικά είναι διαμορφωμένη από έλασμα αρκετού πάχους και λέγεται **επίπεδη τρόπιδα** (flat keel).



Σχ. 1.3.

Απλοποιημένη μορφή πλοίου.

#### 1.4 Επιφάνεια και διαστάσεις αναφοράς.

Η **επιφάνεια αναφοράς** (molded surface) ενός πλοίου μπορεί να είναι μια πραγματική ή ιδεατή επιφάνεια.

Στα συγκολλητά και καρφωτά μεταλλικά πλοία, ως επιφάνεια αναφοράς χρησιμοποιούμε εκείνη που ορίζεται από την εξωτερική όψη των νομέων κατασκευής. Επομένως τα ελάσματα του περιβλήματος, που είναι κατά κανόνα λεπτά, δεν περιλαμβάνονται στον όγκο που περικλείει η επιφάνεια αναφοράς.

Αντίθετα, στα ξύλινα πλοία, ως επιφάνεια αναφοράς χρησιμοποιούμε εκείνη που ορίζεται από την εξωτερική πλευρά της ξύλινης επενδύσεως.

Οι **διαστάσεις αναφοράς** (molded dimensions) είναι εκείνες που ορίζονται πάνω στην επιφάνεια αναφοράς. Έτσι, όπως θα δούμε παρακάτω, έχουμε **μήκος αναφοράς**, **πλάτος αναφοράς** κ.λπ..

#### 1.5 Ορισμοί βασικών διαστάσεων πλοίου.

Το σχήμα 1.5 αποτελεί μία απλοποιημένη μορφή σχεδίου της **πλάγιας όψεως** και της λεγόμενης **μέσης τομής** ενός πλοίου (που θα προσδιοριστεί παρακάτω) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ορισμό των βασικών διαστάσεών του. Αποτελεί συνήθη πρακτική η πλώρη του πλοίου να τοποθετείται στη δεξιά πλευρά αυτού του σχεδίου και η **ίσαλος σχεδιάσεως** (βλ. ορισμό παρακάτω) να παριστάνεται με μία οριζόντια ευθεία. Η **βασική γραμμή αναφοράς**, που επίσης αναφέρεται παρακάτω, είναι παράλληλη προς την ίσαλο σχεδιάσεως.

Στο πάνω μέρος του σχήματος 1.5 διακρίνουμε τον τρόπο ορισμού των **βασικών διαμήκων διαστάσεων** του πλοίου. Το περίγραμμα παριστάνει το επίπεδο συμμετρίας της επιφάνειας αναφοράς ενός πλοίου. Στο σχήμα αυτό ορίζονται τα παρακάτω μεγέθη:

1) **Κάθετοι** (perpendiculars). Κατακόρυφες γραμμές που φέρονται από συγκεκριμένα σημεία της πλώρης και της πρύμνης. Ειδικότερα, η κάθετος που περνά από το σημείο τομής της πλώρης και της ισάλου σχεδιάσεως ονομάζεται **πρωραία κάθετος** (forward perpendicular, FP). Η **πρυμναία κάθετος** (after perpendicular, AP) περνά από το σημείο τομής της ισάλου σχεδιάσεως και της πρυμναίας όψεως του άξονα του πηδαλίου. Σε ειδικές περιπτώσεις, όπως στα πολεμικά πλοία, η πρυμναία κάθετος περνά από το σημείο τομής της ισάλου σχεδιάσεως του περιγράμματος της πρύμνης.

2) **Ίσαλος σχεδιάσεως** (designed waterline, DWL). Η ίσαλος στην οποία, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις που γίνονται κατά τη σχεδίαση, θα πλέει το έμπορτο πλοίο.

3) **Μήκος μεταξύ καθέτων** (length between perpendiculars, LBP). Η διαμήκης απόσταση μεταξύ πρωραίας και πρυμναίας καθέτου σε m ή ft.

4) **Μήκος πάνω στην ίσαλο** (length on the water line, LWL). Το μήκος πάνω στην ίσαλο σχεδιάσεως του πλοίου σε m ή ft.

5) **Μήκος ολικό** (length overall, LOA). Το μήκος μεταξύ των ακραίων σημείων ενός πλοίου σε m ή ft.

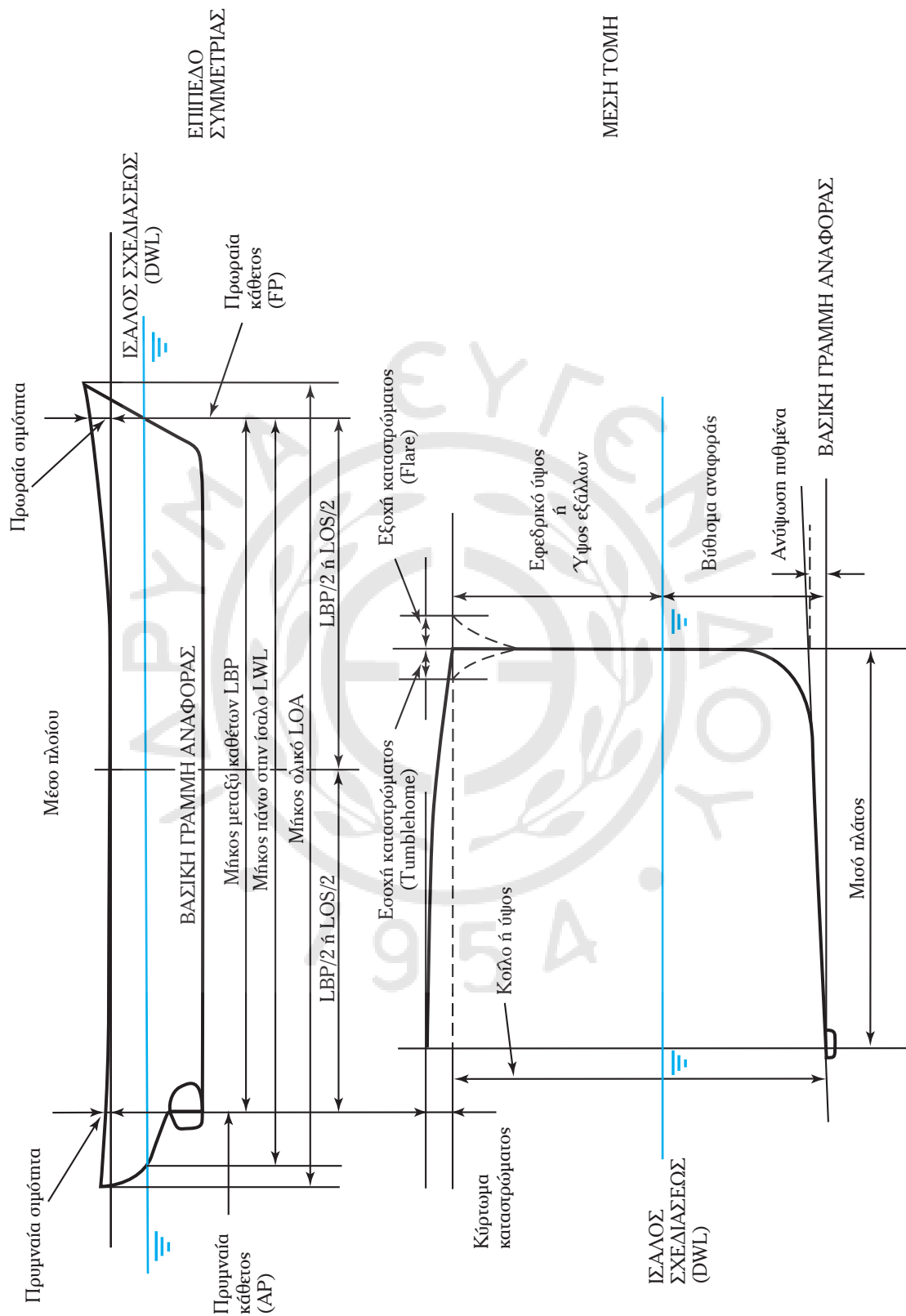
6) **Μέσο του πλοίου** (midship). Το μέσο του μήκους μεταξύ καθέτων. Η εγκάρσια τομή που αντιστοιχεί στο μέσο του πλοίου ονομάζεται **μέση τομή** (midship section). Το μέσο του πλοίου συμβολίζεται με το σύμβολο  $\boxtimes$ .

7) **Βασικό επίπεδο αναφοράς** (basic line). Επίπεδο αναφοράς για κατακόρυφες μετρήσεις, όπως το βύθισμα, που στις περισσότερες περιπτώσεις εφάπτεται στην πάνω όψη του ελάσματος της επίπεδης τρόπιδας. Η ευθεία που προκύπτει από την προβολή του βασικού επιπέδου αναφοράς πάνω στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας ή πάνω σε οποιοδήποτε εγκάρσιο επίπεδο ονομάζεται **βασική γραμμή αναφοράς** (base line).

8) **Σιμόπια καταστρώματος** (sheer). Μέγεθος που χρησιμοποιείται για να δείξει την ανύψωση στο πρωραίο και πρυμναίο άκρο ενός καταστρώματος κατά τη διαμήκη διεύθυνση. Εκφράζεται ως **πρωραία** και **πρυμναία** και μετρείται σε m ή ft.

Στο κάτω μέρος του σχήματος 1.5, που παριστάνει τη μέση τομή της επιφάνειας αναφοράς ενός πλοίου, βλέπουμε τον τρόπο ορισμού των παρακάτω **βασικών εγκαρσίων και κατακορύφων διαστάσεων**:

1) **Βύθισμα αναφοράς** (moulded draft).



Σκ. 1.5.

Ονοματολογία και διαστάσεις πλοίου.

2) **Βύθισμα** γενικά είναι η απόσταση μεταξύ του βασικού επιπέδου αναφοράς και μιας ισάλου. Βύθισμα αναφοράς είναι εκείνο που αντιστοιχεί στην ισάλο σχεδιάσεως.

3) **Κοίλο** ή **ύψος** (depth or height). Η απόσταση ανάμεσα στη βασική γραμμή και σε μία παράλληλη προς αυτήν, η οποία περνά από την πλευρά του ανώτερου συνεχούς υδατοστεγανού καταστρώματος στη μέση τομή.

4) **Κύρτωμα καταστρώματος** (camber). Μέγεθος που χρησιμοποιείται για να δείξει την καμπυλότητα που παρουσιάζει ένα κατάστρωμα κατά το εγκάρσιο. Είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ δύο παραλλήλων προς τη βασική γραμμή, που φέρονται από το μέσο και την πλευρά του καταστρώματος (στη μέση τομή). Συνήθως το κύρτωμα του καταστρώματος είναι ίσο με το 1/50 του πλάτους.

5) **Πλάτος** (beam or breadth). Το μέγιστο πλάτος μετρούμενο κάθετα προς το επίπεδο συμμετρίας πάνω στην επιφάνεια αναφοράς. Εκφράζεται σε m ή ft και εμφανίζεται συνήθως στη μέση τομή.

Στο σχήμα 1.5 διακρίνουμε επίσης την **ανύψωση του πυθμένα** (rise of floor), καθώς και τη διαμόρφωση της πλευράς του πλοίου με **εσοχή καταστρώματος** (tumblehome) ή **εξοχή καταστρώματος** (flare). Τα περισσότερα πλοία έχουν διαμόρφωση πλευράς χωρίς εσοχή ή εξοχή καταστρώματος.

Το πλοίο του σχήματος 1.5 έχει το ίδιο βύθισμα σε όλο του το μήκος. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το πλοίο είναι **ισοβύθιστο**. Στην πράξη, αυτό δεν συμβαίνει πάντοτε και γι' αυτό διακρίνουμε **πρωραίο βύθισμα** (forward draft), που μετρείται πάνω στην πρωραία κάθετο και **πρυμναίο βύθισμα** (after draft), που μετρείται πάνω στην πρυμναία κάθετο. Το **μέσο βύθισμα** (mean draft), μετρείται στο μέσο του πλοίου και, για ένα πλοίο που δεν έχει υποστεί κάμψη, είναι **ίσο με το μισό του αθροίσματος πρωραίου και πρυμναίου βυθίσματος**.

Η διαφορά μεταξύ πρωραίου και πρυμναίου βυθίσματος ονομάζεται **διαφορά διαγωγής** (trim). Όταν το πρυμναίο βύθισμα είναι μεγαλύτερο, λέμε ότι έχουμε **διαφορά διαγωγής προς πρύμνα** (trim by stern). Στην αντίθετη περίπτωση έχουμε **διαφορά διαγωγής προς πρόρα** (trim by bow).

Συχνά αντί του όρου **διαφορά διαγωγής** χρησιμοποιείται απλά ο όρος **διαγωγή** (π.χ. πρωραία διαγωγή, πρυμναία διαγωγή).

## 1.6 Βασική ονοματολογία.

Στην παράγραφο αυτή δίνονται αλφαβητικά όσα από τα στοιχεία της βασικής ονοματολογίας πλοίου δεν έχουν δοθεί.

1) **Άφορτο πλοίο** (light ship). Το βάρος του πλοίου όπως παραδίνεται από το ναυπηγείο με όλη την κατασκευή του συμπληρωμένη και με υγρά στην κανονική στάθμη λειτουργίας στους λέβητες, στις μηχανές και στα μηχανήματα, αλλά χωρίς πλήρωμα, εφόδια, πετρέλαιο, λάδι λιπάνσεως, πόσιμο και τροφοδοτικό νερό και φορτίο. Εκφράζεται σε μετρικούς τόνους (MT) ή αγγλικούς (LT).

2) **Άφορτη ισάλος** (light waterline, LWL). Η ισάλος στην οποία πλέει το άφορτο πλοίο.

3) **Βοηθητικοί χώροι** (auxiliary spaces). Χώροι του πλοίου που δεν είναι απόλυτα ζωτικοί για την εκπλήρωση της αποστολής του.

4) **Βρεχόμενη επιφάνεια** (wetted surface). Η επιφάνεια του τμήματος του πλοίου που βρίσκεται σε επαφή με το νερό (κατάσταση ηρεμίας). Εκφράζεται σε  $m^2$  ή  $ft^2$  και μεταβάλλεται όταν μεταβάλλονται τα βυθίσματα του πλοίου.

5) **Γραμμή φορτώσεως** (loadline). Χαράζεται στις πλευρές του πλοίου και δείχνει το μέγιστο σημείο που επιτρέπεται να φθάσει η ισάλος, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών.

6) **Δεξαμενές** (tanks). Χώροι του πλοίου που προορίζονται για την αποθήκευση υγρών (νερό, πετρέλαιο ή λάδι λιπάνσεως) και φέρουν τον ανάλογο εξοπλισμό.

7) **Δεξαμενές φορτίου** (cargo tanks). Δεξαμενές για τη μεταφορά φορτίου σε δεξαμενόπλοια (πετρέλαιοφόρα, υδροφόρες κ.λπ.).

8) **Δεξαμενές ζυγοσταθμίσεως** (ballast tanks). Δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση του μέσου βυθίσματος και της διαγωγής του πλοίου στις διάφορες καταστάσεις φορτώσεως. Για το σκοπό αυτό οι δεξαμενές αυτές άλλοτε γεμίζονται με θαλάσσιο νερό (υγρό έρμα) και άλλοτε είναι κενές.

9) **Διαστάσεις** (dimensions). Μεγέθη (μήκη) που χαρακτηρίζουν πολύ χονδρικά τη μορφή και το

μέγεθος του πλοίου. Η μέτρησή τους γίνεται με συγκεκριμένο τρόπο που ορίζεται στον ορισμό της κάθε διαστάσεως.

10) **Εκτόπισμα** (displacement). Είναι το βάρος του νερού (σε μετρικούς ή αγγλικούς τόνους) που εκτοπίζουν τα ύφαλα του πλοίου. Είναι ίσο με το βάρος του πλοίου.

11) **Εκτόπισμα άφορτο** (light ship displacement). Το εκτόπισμα του άφορτου πλοίου.

12) **Εκτόπισμα έμφορτο** (full load displacement). Το εκτόπισμα του πλοίου όταν πλέει στο μεγαλύτερο βύθισμα που επιτρέπεται.

13) **Ενδιαιτήματα** (living quarters). Χώροι του πλοίου που προορίζονται για τη διαμονή του πληρώματος. Στα επιβατικά πλοία έχομε και ενδιαιτήματα επιβατών.

14) **Έξαλα** (free board portion). Το μέρος του πλοίου που βρίσκεται έξω από το νερό.

15) **Ηλεκτροστάσιο** (generator room). Χώρος, μέσα στον οποίο είναι εγκατεστημένες οι γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. Μπορεί να είναι ανεξάρτητο διαμέρισμα, μερικές όμως φορές είναι και κοινό με το μηχανοστάσιο.

16) **Ισαλος ζώνη** (waterlinezone). Περιοχή στο περίβλημα του πλοίου που περιλαμβάνεται περίπου μεταξύ των ισάλων που αντιστοιχούν στο άφορτο και στο πλήρως έμφορτο πλοίο.

17) **Καταμέτρηση του πλοίου** (admeasurement). Μετρήσεις και υπολογισμοί για την εύρεση της χωρητικότητας του πλοίου (βλ. παρακάτω αριθ. 37).

18) **Κέντρο βάρους** (center of gravity). Το σημείο στο οποίο επενεργεί η συνισταμένη όλων των βαρών που συνθέτουν το πλοίο, καθώς και εκείνων που μεταφέρονται από αυτό.

19) **Κέντρο όγκου ή κέντρο ανώσεως** (center of volume ή center of buoyancy). Είναι το κέντρο όγκου των υφάλων του πλοίου. Ονομάζεται και κέντρο ανώσεως, γιατί εκεί επενεργεί η δύναμη της ανώσεως.

20) **Κλίμακες βυθισμάτων** (draft scales). Είναι κλίμακες χαραγμένες στην πλώρη και την πρύμνη (μερικές φορές και στο μέσο του πλοίου), πάνω στις οποίες διαβάζομε τα βυθίσματα. Οι κλίμακες βυθισμάτων χαράσσονται άλλοτε πάνω στην πρωραία και πρυμναία κάθετο και άλλοτε κοντά σ' αυτές.

21) **Κύτη** (holds). Χώροι που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά φορτίου (αμπάρια).

22) **Λεβητοστάσιο** (boiler room). Χώρος του πλοίου, στον οποίο είναι εγκατεστημένοι οι λέβητες.

23) **Μηχανοστάσιο** (engine room). Χώρος, μέσα στον οποίο είναι εγκατεστημένες οι προωσθήριες μηχανές του πλοίου.

24) **Όγκος εκτοπίσματος** (volume of displacement). Ο όγκος των υφάλων του πλοίου.

25) **Παράλληλο μέσο τμήμα** (parallel middle body). Τμήμα του πλοίου κοντά στο μέσο του, όπου η μορφή των εγκαρσίων τομών του παραμένει αμετάβλητη.

26) **Παραπέτο** (bulwark). Παραπέτασμα πάνω στο ανώτερο κατάστρωμα, για να εμποδίζει την είσοδο νερού από τα κύματα.

27) **Παρεία ή μάσκα**. Το τμήμα των πλευρών του πλοίου που βρίσκεται ανάμεσα στην πλώρη και το μέσο του.

28) **Ποδόστημα** (sternpost). Είναι η ακροπρυμναία κατασκευή του πλοίου.

29) **Στείρα** (stem post). Είναι η ακροπρωραία κατασκευή του πλοίου.

30) **Συντελεστές γάστρας** (form coefficients). Αδιάστατοι συντελεστές που προκύπτουν από συνδυασμούς των βασικών διαστάσεων με τον όγκο των υφάλων, την επιφάνεια της ισάλου και την επιφάνεια της μέσης τομής και δείχνουν προσεγγιστικά τη μορφή της γάστρας.

31) **Συντεταγμένες κέντρου βάρους** (coordinates of center of gravity). Οι αποστάσεις του κέντρου βάρους του πλοίου από τους άξονες ενός συστήματος συντεταγμένων, σταθερά προσαρμοσμένου πάνω στο πλοίο.

32) **Συντεταγμένες κέντρου όγκου** (coordinates of center of buoyancy). Οι αποστάσεις του κέντρου όγκου των υφάλων του πλοίου από τους άξονες ενός συστήματος συντεταγμένων, σταθερά προσαρμοσμένου πάνω στο πλοίο.

33) **Υπερκατασκευή** (superstructure). Κάθε κατασκευή πάνω από το ανώτερο συνεχές υδατοστεγανό κατάστρωμα που εκτείνεται σε όλο το πλάτος του, αλλά όχι σε όλο το μήκος.

34) **Υπεροτέγασμα** (deck erection). Κάθε κατασκευή πάνω από το ανώτερο συνεχές κατάστρωμα του

πλοίου που εκτείνεται σε μέρος του πλάτους του και μέρος του μήκους.

35) **Υφαλα** (underwaterbody). Το μέρος του πλοίου που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού.

36) **Φράκτες** (bulkheads). Διαφράγματα (μπουλμέδες) που χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό των διαμερισμάτων μεταξύ τους. Διακρίνονται σε στεγανές και μη στεγανές.

37) **Χωρητικότητα πλοίου** (tonnage). Αριθμός που εκφράζει το αποτέλεσμα της μετρήσεως του όγκου των στεγασμένων χώρων του πλοίου, με βάση ειδικούς κανονισμούς. Εκφράζεται σε κόρους (1 κόρος είναι ίσος με  $2,83 \text{ m}^3$ ) και διακρίνεται σε ολική και καθαρή.

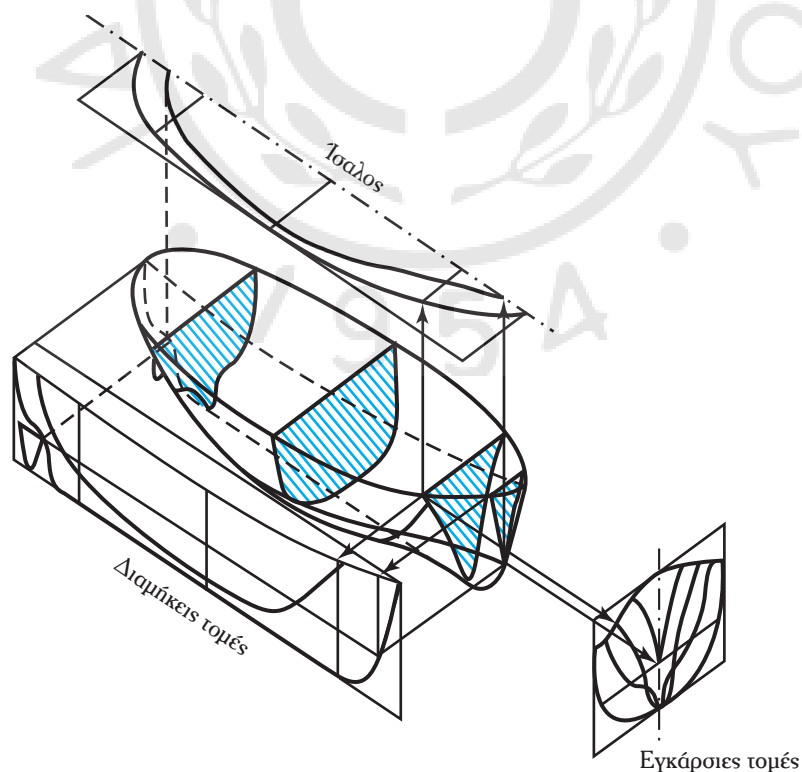
## 1.7 Σχέδιο γραμμών.

Το **σχέδιο γραμμών** (lines plan) περιγράφει με μεθόδους της παραστατικής γεωμετρίας τη μορφή της επιφάνειας αναφοράς κάθε πλοίου και αποτελεί τη βάση για την πραγματοποίηση των περισσότερων υπολογισμών και μελετών.

Όπως και στα μηχανολογικά σχέδια, η γραφική απεικόνιση του πλοίου γίνεται με διάφορες τομές στην πρόψη, πλάγια όψη και κάτοψη. Ειδικά όμως στο ναυπηγικό σχέδιο έχουν επικρατήσει οι παρακάτω ονομασίες:

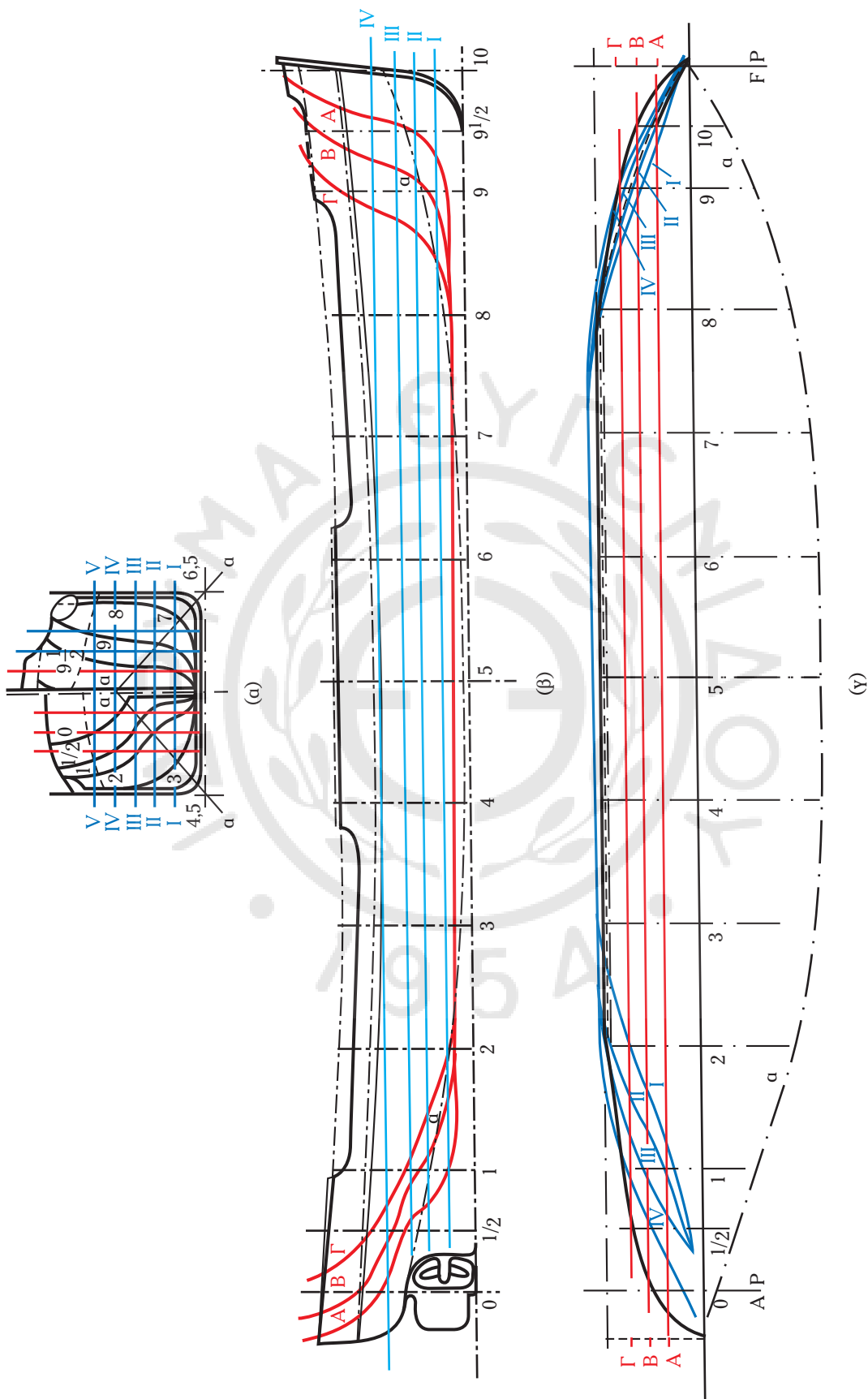
- 1) **Σχέδιο διαμηκών τομών** (sheer plan) που αντιστοιχεί στην πλάγια όψη.
- 2) **Σχέδιο ισάλων** (half breadth plan) που αντιστοιχεί στην κάτοψη.
- 3) **Σχέδιο εγκάρσιων τομών** (body plan) που αντιστοιχεί στην πρόψη.

Για τη σχεδίαση του σχεδίου γραμμών, η επιφάνεια αναφοράς του πλοίου θεωρείται ότι τέμνεται από έναν αριθμό εγκάρσιων, διαμηκών και οριζοντίων επιπέδων που βρίσκονται μεταξύ τους σε ισαποστάσεις, (σχ. 1.7α). Οι γραμμές που προκύπτουν από τις τομές της επιφάνειας αναφοράς με τα παραπάνω επίπεδα οδηγούν στη σχεδίαση των τριών όψεων του σχεδίου γραμμών.



**Σχ. 1.7α.**

Παραστατική μέθοδος χαράξεως γραμμών.



**Σχ. 1.7β.**

Πλήρες σχέδιο γραμμών ενός πλοίου. Οι διαμήκεις θέσεις των εγκαρσίων τομών ονομάζονται σταθμοί (stations). Στα άκρα του πλοίου, όπου οι αλλαγές του σχήματος του γίνονται πιο έντονες, χρησιμοποιούνται πρόσθετοι σταθμοί στο μισό της ισαποστάσεως ή και ακόμη πιο κοντά μεταξύ τους.



## 2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΓΡΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

### 2.1 Μάζα και βάρος.

Για την κατανόηση της έννοιας της μάζας ενός σώματος, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε μερικά απλά πειράματα. Στο σχήμα 2.1(α) βλέπουμε δύο μπάλες μπιλιάρδου της ίδιας διαμέτρου, η μία από τις οποίες είναι κατασκευασμένη από ξύλο και η άλλη από μολύβι. Αν δοκιμάσουμε να κτυπήσουμε τις δύο μπάλες με την ίδια δύναμη, παρατηρούμε ότι εκείνη που είναι κατασκευασμένη από μολύβι και που έχει μεγαλύτερη μάζα παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερη **αδράνεια**. Μπορεί επομένως εύκολα να διαπιστώσει κάποιος ότι η **μάζα ενός σώματος επηρεάζει πολύ σημαντικά την αδράνειά του**.

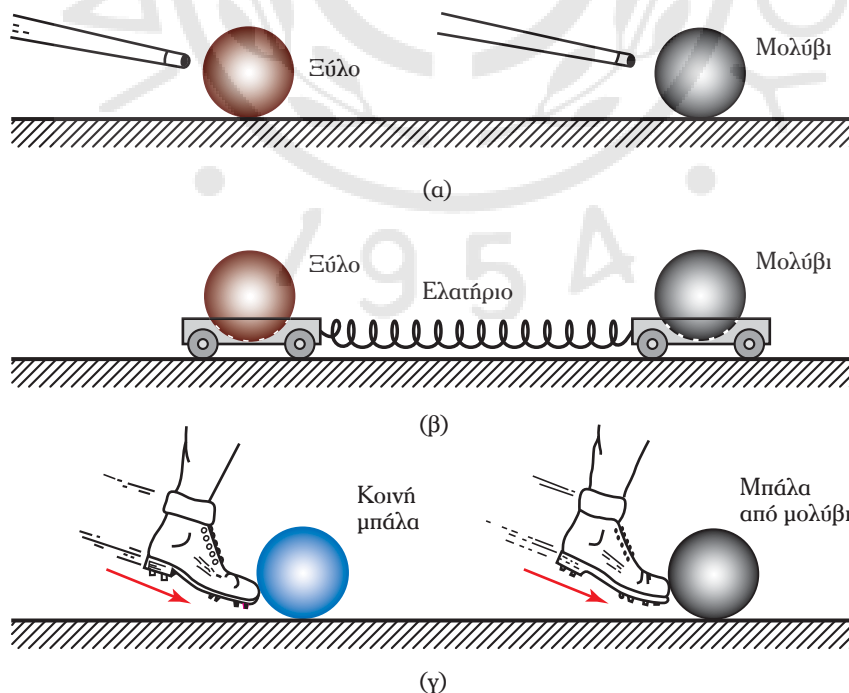
Στο πείραμα σχήμα 2.1(β) έχουμε πάλι δύο διαφορετικές μάζες, συνδεδεμένες μεταξύ τους μ' ένα ελατήριο. Αν τις απομακρύνουμε από τη θέση ισορροπίας και τις αφήσουμε ελεύθερες, η ξύλινη μάζα θα αποκτήσει πολύ μεγαλύτερη **επιτάχυνση**.

Ο συσχετισμός της μάζας και της επιτάχυνσης προκύπτει εύκολα από το **Δεύτερο Νόμο του Νεύτωνα**, σύμφωνα με τον οποίο έχουμε:

$$\text{Δύναμη} = (\text{Μάζα}) \times (\text{Επιτάχυνση}) \quad (1)$$

Από την παραπάνω σχέση βλέπουμε ότι **με επίδραση ίσων δυνάμεων, η επιτάχυνση είναι αντίστροφα ανάλογη προς τη μάζα**.

Η παραπάνω πρόταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το πείραμα του σχήματος 2.1(β)



**Σχ. 2.1.**  
Σύγκριση μαζών.

για να οδηγήσει στον ορισμό της μάζας ενός σώματος. Αν στη θέση της δεξιάς μπάλας χρησιμοποιήσουμε μια «τυποποιημένη μάζα»  $m_s$  και κατά την πραγματοποίηση του πειράματος μετρήσουμε τις επιταχύνσεις  $a$  και  $a_s$  για την αριστερή και δεξιά μπάλα αντίστοιχα, θα έχουμε για τη μάζα  $m$  της αριστερής μπάλας:

$$m = \left( \frac{a_s}{a} \right) m_s \quad (2)$$

Σαν τυποποιημένη μάζα χρησιμοποιείται το χιλιόγραμμα (kg) που είναι ίσο με τη μάζα ενός κυλίνδρου από πλατίνα και ιρίδιο, η οποία φυλάγεται στο Διεθνές Γραφείο Βαρών και Μετρήσεων (International Bureau of Weights and Measures) στο Παρίσι.

Πιο απλά, από τη σχέση (1) μπορούμε να πούμε ότι **μάζα ενός σώματος είναι το πηλίκον της δυνάμεως που επενεργεί πάνω σ' αυτό διά της επιταχύνσεως που δημιουργεί σ' αυτό.**

**Βάρος είναι η δύναμη που επενεργεί σ' ένα σώμα ως αποτέλεσμα της επιδράσεως του πεδίου βαρύτητας της γης.**

Η εφαρμογή της σχέσεως (1) στην περίπτωση του πεδίου βαρύτητας της γης δίνει:

$$\text{Βάρος} = (\text{Μάζα}) \times (\text{Επιτάχυνση βαρύτητας}) \quad (3)$$

Επειδή η επιτάχυνση της βαρύτητας μεταβάλλεται με το γεωγραφικό πλάτος και με το ύψος πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, **το βάρος ενός σώματος δεν είναι σταθερό.** Πρακτικά όμως θεωρούμε ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας έχει σταθερή τιμή που είναι ίση με  $9,81 \text{ m/sec}^2$  ή  $32,2 \text{ ft/sec}^2$ .

Με βάση την παραπάνω υπόθεση, η μάζα ενός σώματος είναι ανάλογη με το βάρος του. Έτσι δικαιολογείται η εύρεση της μάζας ενός σώματος με τον κοινό ζυγό (ζυγαριά), ο οποίος είναι ένα σύστημα που βασίζεται στην ισορροπία δυνάμεων (βαρών).

Το «κλώτσημα» μιας κοινής μπάλας και μιας μπάλας από μολύβι, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1 (γ) μπορεί εύκολα να μας οδηγήσει στην υποκειμενική διαπίστωση της διαφοράς μάζας μεταξύ δύο σωμάτων.

Στο αγγλικό σύστημα μονάδων ως μονάδα μάζας χρησιμοποιείται η **λίβρα** (lb), που ορίζεται ίση με το  $1/2,2046$  του kg.

Στην καθημερινή πρακτική και τους υπολογισμούς που σχετίζονται με το πλοίο χρησιμοποιούνται μονάδες του **πρακτικού μετρικού συστήματος**, του **πρακτικού αγγλικού συστήματος** ή του **συστήματος SI**. Οι πιο συνηθισμένες μονάδες βάρους στα παραπάνω συστήματα είναι:

1) **Μετρικό πρακτικό σύστημα** και **Διεθνές Σύστημα SI**. Βασική μονάδα βάρους στο σύστημα SI είναι το N (Newton) και στο μετρικό το kp (kilopond). Στους υπολογισμούς των πλοίων χρησιμοποιείται ο **μετρικός τόνος** (tf ή MT) που είναι ίσος με 1000 kp.

2) **Αγγλικό πρακτικό σύστημα**. Βασική μονάδα βάρους του συστήματος αυτού είναι η lbf (λίβρα δυνάμεως). Στους πρακτικούς υπολογισμούς των πλοίων χρησιμοποιείται ο **αγγλικός τόνος** (british long ton) που είναι ίσος με 1016 kp ή 2240 lbf και συμβολίζεται με british tf ή LT.

Η σχέση μεταξύ μετρικού και αγγλικού τόνου είναι:

$$1 \text{ αγγλικός τόνος} = 1,016 \text{ μετρικοί τόνοι}$$

Για λόγους απλότητας, στην αγγλική πρακτική χρησιμοποιείται συχνά και η **μονάδα british short ton** που είναι ίση με 2000 lbf.

Περισσότερα στοιχεία για τις μετατροπές των μονάδων δίνονται στο Παράρτημα 2, στο τέλος του βιβλίου.

## 2.2 Πυκνότητα και ειδικό βάρος.

Μία ενδιαφέρουσα ιδιότητα της ύλης είναι η **πυκνότητα**.

Για τα ρευστά (υγρά και αέρια) και τα στερεά ομοιογενή σώματα η **πυκνότητα ορίζεται ως η μάζα**

της μονάδας του όγκου, συμβολίζεται με  $\rho$  και εκφράζεται στο μετρικό σύστημα σε  $\text{kg/m}^3$  και στο αγγλικό σε  $\text{lb/ft}^3$ .

Το **ειδικό βάρος** ενός ρευστού ή ενός στερεού ομοιογενούς σώματος **ορίζεται ως το βάρος της μονάδας του όγκου** συμβολίζεται με  $\gamma$  και εκφράζεται στο SI σε  $\text{newton/m}^3$  (που συμβολίζονται με  $\text{N/m}^3$ ).

Σημειώνεται ότι το **newton** είναι η μονάδα δυνάμεως του συστήματος SI και **ορίζεται ως η δύναμη που προκαλεί επιτάχυνση ενός  $\text{m/sec}^2$  σε μάζα ενός  $\text{kg}$ .**

Στο πρακτικό μετρικό σύστημα το ειδικό βάρος εκφράζεται σε  $\text{kp/m}^3$  και έχει αριθμητική τιμή ίση (εκφράζεται με τον ίδιο αριθμό) με την πυκνότητα σε  $\text{kg/m}^3$ . Το ίδιο ισχύει και στο αγγλικό πρακτικό σύστημα, όπου το ειδικό βάρος σε  $\text{lb/ft}^3$  έχει την ίδια αριθμητική τιμή με την πυκνότητα σε  $\text{lb/ft}^3$ .

Σε εφαρμογές σε πλοία, για το ειδικό βάρος, συνηθέστερα χρησιμοποιούμε τις παρακάτω μονάδες:

1) **Μετρικό πρακτικό σύστημα.** Ως μονάδα χρησιμοποιείται ο **μετρικός τόνος ανά κυβικό μέτρο**, που συμβολίζεται με  $(\text{tf/m}^3)$  ή  $(\text{MT/m}^3)$ .

2) **Αγγλικό πρακτικό σύστημα.** Εδώ χρησιμοποιείται ο **αγγλικός «long» τόνος ανά κυβικό πόδι**, που συμβολίζεται με  $(\text{british tf/ft}^3)$  ή  $(\text{LT/ft}^3)$ .

Γενικά σε οποιοδήποτε σύστημα, αλλά πάντοτε με συνέπεια στις μονάδες, ισχύουν οι σχέσεις:

$$\text{Βάρος} = (\text{Όγκος}) \times (\text{Ειδικό βάρος}) \quad (4)$$

$$\text{Μάζα} = (\text{Όγκος}) \times (\text{Πυκνότητα}) \quad (5)$$

Ένας όρος που για λόγους απλουστεύσεως χρησιμοποιείται συχνά είναι η λεγόμενη **σχετική πυκνότητα** (relative density), που ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας ενός υλικού προς αυτήν του γλυκού νερού που είναι ίση με  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Με βάση αυτόν τον ορισμό η σχετική πυκνότητα του γλυκού νερού είναι ίση με  $1 \text{ MT/m}^3$ , ενώ θαλάσσιο νερό με πυκνότητα  $1025 \text{ kg/m}^3$  έχει τιμή σχετικής πυκνότητας  $1,025 \text{ MT/m}^3$ .

### Παράδειγμα 1.

Μία δεξαμενή πλοίου χωράει  $100 \text{ MT}$  γλυκού νερού όταν είναι τελείως γεμάτη. Να βρεθεί πόσους τόνους (MT) πετρέλαιο με σχετική πυκνότητα  $0,84$  χωράει αν μείνει κενή κατά  $2\%$  του όγκου της, προκειμένου το πετρέλαιο να μπορεί να διασταλεί λόγω αυξήσεως της θερμοκρασίας του.

Ο συνολικός όγκος της δεξαμενής θα είναι:

$$V_0 = (100 \text{ MT}) \times (1 \text{ m}^3/\text{MT}) = 100 \text{ m}^3$$

Ο όγκος της όταν γεμίσει κατά  $(100-2)\%$ , δηλαδή κατά  $98\%$ , περιορίζεται σε:

$$V_1 = 100 \times 0,98 = 98 \text{ m}^3$$

Επομένως το βάρος του πετρελαίου που περιέχει θα είναι:

$$W_1 = (98 \text{ m}^3) \times (0,84 \text{ MT/m}^3) = 82,32 \text{ MT}$$

### Παράδειγμα 2.

Μια δεξαμενή πλοίου χωράει  $120 \text{ MT}$  θαλάσσιο νερό όταν είναι τελείως γεμάτη. Να βρεθεί πόσο λάδι με σχετική πυκνότητα  $0,91$  χωράει, αν μείνει κενή κατά  $3\%$  του όγκου της, προκειμένου το λάδι να μπορεί να διασταλεί όταν αυξηθεί η θερμοκρασία του.

Ο συνολικός όγκος της δεξαμενής θα είναι:

$$V_0 = (120 \text{ MT}) / (1,025 \text{ MT/m}^3) = 117 \text{ m}^3$$

Ο όγκος της όταν γεμίσει κατά  $(100-3)\%$ , δηλαδή κατά  $97\%$ , περιορίζεται σε:

$$V_1 = 117 \times 0,97 = 113,49 \text{ m}^3$$

Επομένως το βάρος του λαδιού που περιέχει θα είναι:

$$W_1 = (113,49 \text{ m}^3) \times (0,91 \text{ MT/m}^3) = 103,27 \text{ MT}$$

### Παράδειγμα 3.

Ορθογωνική δεξαμενή με μήκος 6 m και πλάτος 4 m γεμίζεται με λάδι σχετικής πυκνότητας 0,89 μέχρι ύψος στάθμης 2,5 m. Να βρεθεί το βάρος του λαδιού.

Ο όγκος της όταν γεμίσει μέχρι η στάθμη της να φθάσει τα 2,5 m θα είναι:

$$V_1 = 6 \times 4 \times 2,5 = 60 \text{ m}^3$$

Επομένως το βάρος του λαδιού που περιέχει θα είναι:

$$W_1 = (60 \text{ m}^3) \times (0,89 \text{ MT/m}^3) = 53,4 \text{ MT}$$

#### 2.2.1 Διαπίστωση στάθμης υγρού σε δεξαμενή.

Η εύρεση της ποσότητας υγρών που υπάρχουν μέσα σε κάθε δεξαμενή του πλοίου γίνεται, έμμεσα, μετρώντας το ύψος ή το βάθος της στάθμης του υγρού μέσα σ' αυτήν. Η σχετική μέτρηση γίνεται είτε χειροκίνητα, είτε με ειδικά ηλεκτρονικά όργανα, μόνιμα εγκατεστημένα στις δεξαμενές.

Στα παρακάτω παραδείγματα, αλλά και γενικά στη διακίνηση υγρών στις δεξαμενές των πλοίων χρησιμοποιούνται οι παρακάτω όροι (σχ. 2.2):

1) **Καταμετρικός σωλήνας** (sounding tube). Σωλήνας με μικρή διάμετρο (συνήθως 37 mm) μέσα από τον οποίο, με τη βοήθεια ειδικής βαθμονομημένης ταινίας που φέρει μικρό βάρος στο άκρο της, διαπιστώνεται η στάθμη του υγρού μέσα σε μία δεξαμενή.

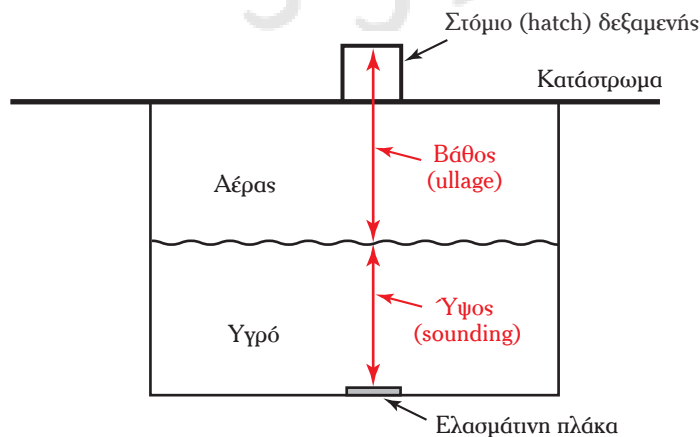
2) **Υψος στάθμης υγρού** (sounding). Είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ μιας ελασμάτινης πλάκας με διαστάσεις 150 × 150 mm και πάχος 12 mm, μόνιμα τοποθετημένης στον πυθμένα κάθε δεξαμενής (στην απόληξη του καταμετρικού σωλήνα) και της στάθμης του υγρού που βρίσκεται μέσα σ' αυτήν.

3) **Βάθος επιφάνειας υγρού** (ullage). Είναι η κατακόρυφη απόσταση από την πάνω όψη του καταμετρικού σωλήνα της δεξαμενής (ή της πάνω όψεως της αντίστοιχης τάπας), μέχρι τη στάθμη του υγρού μέσα σ' αυτήν.

Λεπτομέρειες των συγχρόνων οργάνων και του τρόπου διαπίστωσης της στάθμης υγρών στις δεξαμενές των πλοίων περιέχονται στο Παράρτημα 1.

#### 2.3 Συντελεστές στοιβασίας.

Για τους διάφορους υπολογισμούς φορτώσεως στα πλοία χρησιμοποιούμε το **συντελεστή στοιβασίας** (stowage factor-SF).



Σχ. 2.2.

Ορισμός ύψους και βάθους στάθμης σε δεξαμενή.

Για τα *υγρά* και τα *ομοιογενή στερεά ο συντελεστής στοιβασίας είναι ίσος με το αντίστροφο του ειδικού βάρους*.

Στα πλοία όμως φορτώνονται και διάφορα στερεά φορτία που δεν μπορούν να θεωρηθούν ως ομοιογενή. Όταν π.χ. έχουμε ένα φορτίο άνθρακα, είναι προφανές ότι μέσα στη μάζα του φορτίου υπάρχουν κομμάτια από άνθρακα (που μόνα τους θα μπορούσαν να θεωρηθούν ομοιογενή), καθώς επίσης και διάκενα αέρα. Για τη μελέτη των συνθηκών φορτώσεως του πλοίου δεν μας ενδιαφέρει ο συντελεστής στοιβασίας του αμιγούς άνθρακα, αλλά ολόκληρου του φορτίου, όπως είναι στην κατάσταση φορτώσεως (δηλ. μαζί με τα διάκενα του αέρα).

Έτσι, μπορούμε γενικότερα να πούμε ότι *ο συντελεστής στοιβασίας ενός είδους φορτίου βρίσκεται αν διαιρέσουμε τον όγκο που καταλαμβάνει διά του βάρους του*.

Ο συντελεστής στοιβασίας εκφράζεται στο πρακτικό μετρικό σύστημα σε ( $\text{m}^3/\text{MT}$ ) και στο αγγλικό πρακτικό σύστημα σε ( $\text{ft}^3/\text{LT}$ ).

Άρα αν συμβολίσουμε με SF (stowage factor) το συντελεστή στοιβασίας, έχουμε:

$$\text{Βάρος φορτίου} = (\text{Όγκος φορτίου})/\text{SF} \quad (6)$$

$$\text{Όγκος φορτίου} = (\text{Βάρος φορτίου}) \times \text{SF} \quad (7)$$

Η μετατροπή των συντελεστών στοιβασίας από το ένα σύστημα στο άλλο, η οποία συχνά χρειάζεται στην πράξη, μπορεί να γίνει από τη σχέση:

$$1 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{MT}} \right) = 35,88 \left( \frac{\text{ft}^3}{\text{LT}} \right) \quad (8)$$

Στον πίνακα 2.3.1 δίνονται τιμές της πυκνότητας και του συντελεστή στοιβασίας για μερικές περιπτώσεις φορτίων.

### Παράδειγμα 1.

Μια δεξαμενή ενός πλοίου έχει όγκο  $75 \text{ m}^3$ . Πόσο είναι το βάρος πετρελαίου diesel που χωράει η δεξαμενή όταν είναι γεμάτη κατά 95%;

Ο συντελεστής στοιβασίας του φορτίου, από τον πίνακα 2.3.1, είναι ίσος με 1,19. Έτσι έχουμε:

$$\text{Βάρος πετρελαίου} = (0,95) \times (75 \text{ m}^3) \times \left( \frac{1}{1,19} \frac{\text{MT}}{\text{m}^3} \right) = 59,87 \text{ MT}$$

**Πίνακας 2.3.1**  
**Τιμές πυκνότητας και συντελεστή στοιβασίας.**

| Φορτίο                               | Πυκνότητα $\rho$       |                         | Συντελεστής στοιβασίας SF |                         |
|--------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
|                                      | $\text{kg}/\text{m}^3$ | $\text{lb}/\text{ft}^3$ | $\text{m}^3/\text{MT}$    | $\text{ft}^3/\text{LT}$ |
| Γλυκό νερό                           | 1000                   | 62,4                    | 1,0                       | 35,9                    |
| Θαλάσσιο νερό<br>(τυποποιημένη τιμή) | 1025                   | 64,0                    | 0,975                     | 35                      |
| Πετρέλαιο λεβήτων                    | 947                    | 59,1                    | 1,05                      | 37,8                    |
| Πετρέλαιο diesel                     | 841                    | 52,5                    | 1,19                      | 42,6                    |
| Χάλυβας (συμπαγής)                   | 7689                   | 480,0                   | 0,13                      | 4,7                     |
| Αέρας                                | 1,293                  | 0,0807                  | 774,775                   | 27800                   |

### Παράδειγμα 2.

Ένα ορθογωνικό κύτος πλοίου έχει μήκος 20 ft, πλάτος 10 ft και ύψος 12 ft. Το κύτος είναι πλήρες με σιδηρομετάλλευμα, το οποίο, στην κατάσταση φορτώσεως, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται κατ' όγκο από 80% συμπαγή χάλυβα και από 20% διάκενα αέρα. Πόσο είναι το βάρος του σιδηρομεταλλεύματος που υπάρχει στο κύτος;

Ένα  $\text{ft}^3$  του φορτίου αποτελείται από  $0,8 \text{ ft}^3$  χάλυβα και  $0,2 \text{ ft}^3$  αέρα. Έτσι το βάρος ενός  $\text{ft}^3$  του φορτίου είναι:

$$0,8 \text{ ft}^3 \times \frac{1}{4,7} \frac{\text{LT}}{\text{ft}^3} = 0,1702 \text{ LT}$$

Άρα ο συντελεστής στοιβασίας του φορτίου είναι:

$$\text{SF} = \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1702 \text{ LT}} = 5,8754 \frac{\text{ft}^3}{\text{LT}}$$

και επομένως το βάρος του φορτίου θα είναι:

$$\text{Βάρος φορτίου} = (\text{Όγκος})/\text{SF} = (20 \times 10 \times 12) \left( \frac{1}{5,8754} \right) = 408,482 \text{ LT}$$

### Παράδειγμα 3.

Μια δεξαμενή πλοίου χωράει, όταν είναι πλήρης, 45 MT πετρέλαιο λεβήτων. Ποιος είναι ο όγκος της δεξαμενής σε  $\text{ft}^3$ ;

Από τη σχέση (3) βρίσκουμε ότι:

$$\text{Βάρος πετρελαίου σε αγγλικούς τόνους} = \frac{45}{1,016} = 44,29 \text{ LT}$$

Ο συντελεστής στοιβασίας του πετρελαίου λεβήτων, από τον πίνακα 2.3.1 είναι  $37,8 \text{ ft}^3/\text{LT}$ .

Επομένως, από τη σχέση (7) βρίσκουμε ότι:

$$\text{Όγκος δεξαμενής} = (44,29 \text{ LT}) \times (37,8 \text{ ft}^3/\text{LT}) = 1674,16 \text{ ft}^3$$

## 2.4 Η πυκνότητα του νερού.

Οι υπολογισμοί για την εύρεση των υδροστατικών ιδιοτήτων του πλοίου, παρέχουν στοιχεία που το συνοδεύουν με τη μορφή διαγραμμάτων ή πινάκων και χρησιμοποιούνται, ως βάση για διάφορους άλλους υπολογισμούς που είναι απαραίτητοι στην εκμετάλλευσή του. Οι αρχικοί υπολογισμοί των υδροστατικών ιδιοτήτων γίνονται για τυποποιημένες πυκνότητες και συγκεκριμένα για πυκνότητα ίση με  $1000 \text{ kg/m}^3$  για το γλυκό νερό και  $1025 \text{ kg/m}^3$  για το θαλάσσιο.

Στην πραγματικότητα η πυκνότητα του νερού μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι πιο σημαντικοί από τους οποίους είναι η θερμοκρασία του και η αλατότητα. Στην περιοχή της Μεσογείου η πυκνότητα κυμαίνεται περίπου από  $1007$  έως  $1035 \text{ kg/m}^3$ .

Όταν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στους σχετικούς υπολογισμούς, όπως κατά την πραγματοποίηση πειράματος ευστάθειας η μέτρηση της πυκνότητας είναι απαραίτητη και πραγματοποιείται με ειδικό όργανο, το **πυκνόμετρο**. Για τη σωστή μέτρηση της πυκνότητας συνήθίζεται να παίρνομε δείγματα από τρία βάθη και συγκεκριμένα ένα στην επιφάνεια, ένα στο μέσο του βυθίσματος του πλοίου και ένα στο βάθος περίπου της τροπιδας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένας ειδικός κάδος που βυθίζεται κενός και μπορεί να ανοιχτεί και να γεμίσει με νερό στο επιθυμητό βάθος.

Η μέτρηση γίνεται στο μέσο περίπου του πλοίου και ως πυκνότητα λαμβάνεται ο μέσος όρος των τριών μετρήσεων.

**Παράδειγμα 1.**

Μία ορθογώνια δεξαμενή υγρού έρματος (σαβούρας) ενός πλοίου με συνολικό όγκο  $150 \text{ m}^3$  και ύψος  $5,5 \text{ m}$  γεμίζεται με θαλάσσιο νερό μέχρι η στάθμη του να φθάσει στα  $4 \text{ m}$ . Να βρεθεί το βάρος του νερού που περιέχει.

Από τον πίνακα 2.3.1 βλέπουμε ότι η πυκνότητα του θαλάσσιου νερού είναι ίση με  $1025 \text{ kg/m}^3$ .

Επομένως, αν η δεξαμενή ήταν τελείως γεμάτη το συνολικό βάρος του νερού που θα περιείχε θα ήταν:

$$\text{Συνολικό βάρος νερού} = (150 \text{ m}^3) \times (1025 \text{ kg/m}^3)/1000 = 153,75 \text{ tn}$$

Εφόσον η δεξαμενή είναι ορθογώνια, το βάρος του νερού που αντιστοιχεί σε στάθμη  $4 \text{ m}$  μπορεί να υπολογισθεί αναλογικά. Επομένως θα έχουμε:

$$\text{Βάρος νερού στα } 4 \text{ m} = (4/5,5) \times 153,75 = 118,82 \text{ tn}$$

**Παράδειγμα 2.**

Να βρεθεί πόσο ζυγίζει ένα δέμα ελασμάτων χάλυβα που έχει φορτωθεί στο κύτος ενός πλοίου και έχει διαστάσεις  $6 \times 1 \times 0,3 \text{ m}$ .

Έχομε:

$$\text{Όγκος του δέματος} = 6 \times 1 \times 0,3 = 1,8 \text{ m}^3$$

Από τον πίνακα 2.3.1 βλέπουμε ότι η πυκνότητα του χάλυβα σε σχέση με αυτήν του νερού είναι ίση με  $7689 \text{ kg/m}^3$  ή με  $7,689 \text{ tn/m}^3$ .

Επομένως θα έχουμε:

$$\text{Βάρος δέματος} = 1,8 \times 7,689 = 13,84 \text{ tn}$$

**Παράδειγμα 3.**

Μία ορθογώνια δεξαμενή ενός πλοίου με διαστάσεις  $20 \times 10 \times 5 \text{ ft}$  είναι γεμάτη με γλυκό νερό. Να βρεθεί το βάρος του σε LT και MT.

Ο συνολικός όγκος της δεξαμενής σε  $\text{ft}^3$  είναι:

$$\text{Όγκος} = 20 \times 10 \times 5 = 1000 \text{ ft}^3$$

Από τον πίνακα 2.3.1 βλέπουμε ότι ο συντελεστής στοιβασίας του γλυκού νερού είναι  $35,9 \text{ ft}^3/\text{LT}$ .

Επομένως θα έχουμε:

$$\text{Βάρος νερού} = 1000 \text{ ft}^3 \times (1/35,9 \text{ LT/ft}^3) = 27,85 \text{ LT}$$

και επειδή  $1 \text{ LT} = 1,016 \text{ MT}$  θα έχουμε επίσης:

$$\text{Βάρος νερού} = 27,85 \times 1,016 = 28,29 \text{ MT}$$

**Παράδειγμα 4.**

Να βρεθεί το βάρος του θαλασσιού νερού σχετικής πυκνότητας  $1,03$ , που χωράει η δεξαμενή του παραδείγματος 3.

Στο αγγλικό σύστημα θα έχουμε:

$$\text{Βάρος θαλασσιού νερού} = 27,85 \times 1,035 = 28,82 \text{ LT}$$

Στο μετρικό σύστημα θα έχομε:

$$\text{Βάρος θαλασσίου νερού} = 28,29 \times 1,035 = 29,28 \text{ MT}$$

**Ασκήσεις.**

1. Ορθογώνια δεξαμενή πλοίου έχει μήκος 8 m, πλάτος 22 m και συνολικό ύψος 8 m και περιέχει λιπαντικό λάδι με ειδικό βάρος  $0,84 \text{ MT/m}^3$ . Να βρεθεί το συνολικό βάρος του λαδιού που υπάρχει μέσα σ' αυτήν όταν το βάθος της στάθμης είναι 1,5 m.
2. Δεξαμενή πλοίου χωράει, όταν γεμίσει τελείως, 120 MT νερού. Να βρεθεί πόσους τόνους πετρελαίου με ειδικό βάρος  $0,88 \text{ MT/m}^3$  θα περιέχει όταν, για το ενδεχόμενο διαστολής του πετρελαίου λόγω ανυψώσεως της θερμοκρασίας τη γεμίσουμε μέχρι το 95% της χωρητικότητάς της.
3. Δεξαμενή πλοίου έχει μήκος 24 ft και πλάτος 20 ft. Να βρεθεί πόσους τόνους (σε LT) θαλάσσιο νερό περιέχει όταν το ύψος της στάθμης του νερού βρίσκεται 8 ft πάνω απ' τον πυθμένα της. Να βρεθεί επίσης το βάρος του νερού σε (MT) όταν το ύψος της στάθμης είναι 3 m.





### 3. ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ - ΚΕΝΤΡΑ ΒΑΡΟΥΣ

#### 3.1 Βασικοί ορισμοί.

Για την κατανόηση των θεμάτων που σχετίζονται με την ισορροπία στερεών σωμάτων είναι αναγκαίο να δοθούν οι παρακάτω ορισμοί:

- 1) **Στατική** είναι η μελέτη της ισορροπίας σωμάτων κάτω από την επίδραση δυνάμεων.
- 2) **Ισορροπία**. Ο όρος αυτός περιγράφει την κατάσταση ενός σώματος που δεν κινείται (ή κινείται με σταθερή ταχύτητα).
- 3) **Δύναμη** είναι το αίτιο μεταβολής της κινητικής κατάστασης ενός σώματος. Η **δύναμη** είναι **ανυσματικό μέγεθος**.
- 4) **Άνυσμα** ή **διάνυσμα** ονομάζεται ένα προσανατολισμένο ευθύγραμμο τμήμα. Κάθε άνυσμα χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω στοιχεία:
  - α) Αρχή και τέλος.
  - β) Διεύθυνση.
  - γ) Φορά, που ορίζεται από την αρχή προς το τέλος του διανύσματος.
  - δ) Μέτρο, που εκφράζει την αριθμητική τιμή του και τη μονάδα με την οποία μετρήθηκε.

Στο σχήμα 3.1 βλέπουμε ένα διάνυσμα  $\overline{AB}$  (σύμβολο  $\overline{AB}$ ) που παριστάνει την ταχύτητα ενός πλοίου. Έχει αρχή το A, τέλος το B, διεύθυνση την ευθεία E (που λέγεται **φορέας** του διανύσματος), φορά από το A προς το B και μέτρο τρεις κόμβους.

#### 3.2 Αξιώματα της στατικής.

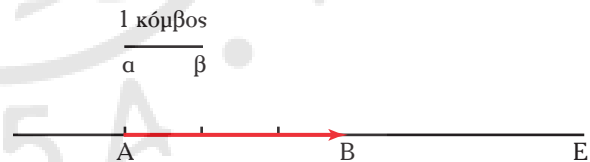
Για τη μελέτη των προβλημάτων της στατικής χρησιμοποιούνται τα παρακάτω πέντε αξιώματα:

1) **Η δράση κάθε δυνάμεως συνοδεύεται από μια ίση και αντίθετη αντίδραση**. Το αξίωμα αυτό είναι γνωστό και ως **Τρίτος Νόμος του Νεύτωνα**.

2) **Η κατάσταση ισορροπίας ενός σώματος δεν αλλάζει, όταν το σημείο επενέργειας μιας δυνάμεως που ενεργεί πάνω σ' αυτό μεταφερθεί οπουδήποτε πάνω στο φορέα της** (όταν η διεύθυνση, η φορά και το μέγεθος της δυνάμεως παραμείνουν αμετάβλητα).

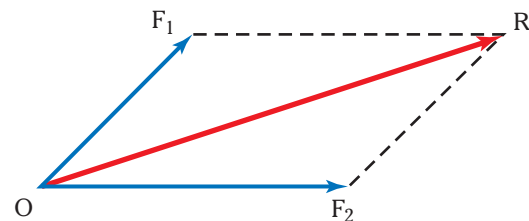
3) **Αν σ' ένα σώμα επενεργούν δύο δυνάμεις με φορείς που τέμνονται, η κατάσταση ισορροπίας του σώματος δεν αλλάζει, αν οι δύο δυνάμεις αντικατασταθούν με μία άλλη, της οποίας το διάνυσμα είναι ίσο με τη διαγώνιο του παραλληλογράμμου που σχηματίζουν οι αρχικές δυνάμεις**. Το αξίωμα αυτό ονομάζεται **αρχή του παραλληλογράμμου των δυνάμεων**. Χρησιμοποιείται για την πρόσθεση δυνάμεων με φορείς που τέμνονται και η εφαρμογή του φαίνεται στο σχήμα 3.2.

Οι δυνάμεις  $\overline{OF_1}$  και  $\overline{OF_2}$  που επενεργούν στο σώμα μπορούν να αντικατασταθούν χωρίς να μετα-



Σχ. 3.1.

Χαρακτηριστικά διανύσματος.



Σχ. 3.2.

Αρχή του παραλληλογράμμου.

βληθεί η ισορροπία του σώματος από τη δύναμη  $\vec{OR}$ . Η  $\vec{OR}$  ονομάζεται **συνισταμένη** των  $OF_1$  και  $OF_2$  (που με τη σειρά τους ονομάζονται **συνιστώσες** της  $OR$ ).

4) Ένα σώμα παραμένει σε ισορροπία, αν δεν επενεργούν σ' αυτό δυνάμεις.

5) Δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις που ενεργούν στον ίδιο φορέα αλληλοεξουδετερώνονται.

### 3.3 Συνισταμένη παραλλήλων δυνάμεων.

Με το τρίτο αξίωμα της στατικής, την αρχή του παραλληλογράμμου των δυνάμεων, μπορούμε να βρούμε τη συνισταμένη δύο δυνάμεων που τέμνονται.

Για την εύρεση της συνισταμένης παραλλήλων μεταξύ τους δυνάμεων, αρκεί να μπορέσουμε να βρούμε το άθροισμα δύο παραλλήλων δυνάμεων. Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις.

#### 1) Ομόρροπες δυνάμεις (σχ. 3.3α).

Εύκολα αποδεικνύεται ότι η συνισταμένη των  $\vec{F}_1$  και  $\vec{F}_2$  είναι μια δύναμη ( $\vec{R}$ ), παράλληλη προς αυτές, που έχει μέτρο ίσο με το άθροισμα των μέτρων των δύο αρχικών δυνάμεων.

Το σημείο εφαρμογής της  $OR$  μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{F_2}{F_1} \quad (9)$$

Αν  $l$  είναι η απόσταση μεταξύ των δυνάμεων, θα έχουμε επίσης:

$$\frac{\alpha}{l} = \frac{F_2}{F_1 + F_2} = \frac{F_2}{R} \quad (10)$$

#### 2) Αντίρροπες δυνάμεις (σχ. 3.3β).

Η συνισταμένη των  $\vec{F}_1$  και  $\vec{F}_2$  σ' αυτήν την περίπτωση είναι η δύναμη  $R$  που έχει μέτρο ίσο με τη διαφορά των μέτρων των αρχικών δυνάμεων. Το σημείο εφαρμογής της μπορεί να βρεθεί πάλι από τη σχέση (9) ή από τη σχέση:

$$\frac{b}{l} = \frac{F_1}{F_2 - F_1} = \frac{F_1}{R} \quad (11)$$

Το άθροισμα λοιπόν (ή η διαφορά) δύο δυνάμεων που βρίσκονται στον ίδιο φορέα έχει μέτρο ίσο με το άθροισμα (ή τη διαφορά) των μέτρων των δύο δυνάμεων και, φυσικά, είναι διάνυσμα που βρίσκεται πάνω στον ίδιο φορέα.

#### Παράδειγμα 1.

Δύο άνθρωποι σπρώχνουν ένα αντικείμενο προς την ίδια διεύθυνση. Ο ένας με δύναμη 100 N και ο άλλος με δύναμη 150 N. Ζητείται η συνολική δύναμη που ασκείται πάνω στο αντικείμενο.

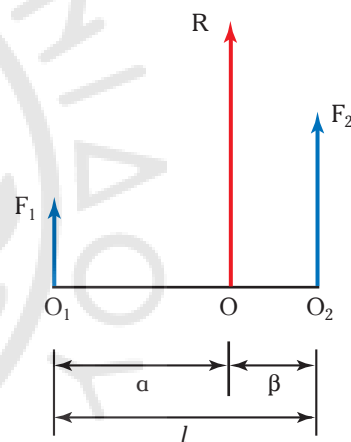
Εφόσον οι δύο δυνάμεις είναι ομόρροπες, η συνισταμένη τους είναι ίση με το άθροισμα των δύο δυνάμεων.

Επομένως:

$$\text{Συνισταμένη δύναμη} = 100 + 150 = 250 \text{ N}$$

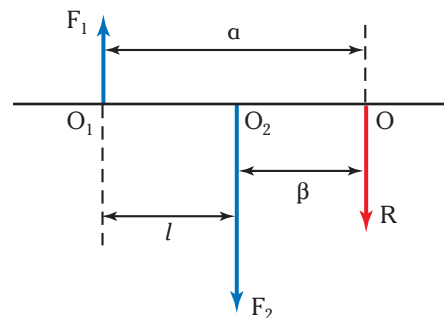
#### Παράδειγμα 2.

Οι ίδιοι άνθρωποι σπρώχνουν σώμα ο μὲν ένας προς τα δεξιά



Σχ. 3.3α.

Συνισταμένη ομόρροπων παραλλήλων δυνάμεων.



Σχ. 3.3β.

Συνισταμένη αντίρροπων παραλλήλων δυνάμεων.

με δύναμη 150 N, ο δε άλλος προς τα αριστερά με δύναμη 100 N. Ζητείται το μέγεθος και η διεύθυνση της δυνάμεως που ασκείται πάνω στο σώμα.

Στην περίπτωση αυτή οι δυνάμεις είναι αντίρροπες και η συνισταμένη είναι ίση με τη διαφορά τους. Επομένως:

$$\text{Συνισταμένη δύναμη} = 150 - 100 = 50 \text{ N προς τα δεξιά}$$

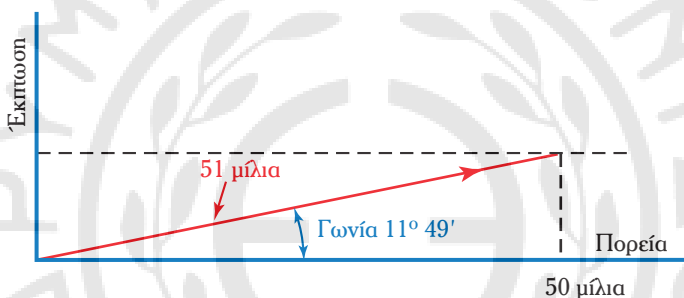
### Παράδειγμα 3.

Ένα πλοίο ταξιδεύει με ταχύτητα 10 κόμβων και ταυτόχρονα, λόγω ρεύματος, εκπίπτει (ξεπέφτει) κάθετα προς την πορεία του προς τα αριστερά 2 μίλια την ώρα. Ζητείται να βρεθεί σε ποιο σημείο θα βρίσκεται μετά από την παρέλευση 5 ωρών.

Εδώ θα πρέπει να θυμηθούμε ότι τόσο η ταχύτητα, όσο και το διάστημα είναι διανυσματικά μεγέθη. Το πλοίο θα έχει μετακινηθεί  $5 \times 10 = 50$  μίλια κατά την κατεύθυνση της πορείας του και ταυτόχρονα θα έχει ξεπέσει  $5 \times 2 = 10$  μίλια κάθετα προς αυτήν προς τα αριστερά.

Βλέπουμε λοιπόν ότι το πλοίο θα έχει μετακινηθεί κατά 51 μίλια προς μία κατεύθυνση που αποκλίνει 11 μοίρες και 49' από την επιθυμητή πορεία του.

Η συνισταμένη των δύο αυτών αποστάσεων μπορεί να υπολογιστεί με γνωστές μεθόδους της τριγωνομετρίας από το παραλληλόγραμμο του σχήματος 3.3γ.



Σχ. 3.3γ.

Εύρεση συνισταμένης δύο διανυσμάτων

### 3.4 Ανάλυση δυνάμεως σε συνιστώσες.

Συχνά σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. ανυψωτικά συστήματα πλοίου) χρειάζεται να αναλύσουμε μία δύναμη σε δύο άλλες με δεδομένες διευθύνσεις. Η ανάλυση αυτή μπορεί να γίνει με τη χρησιμοποίηση και πάλι της αρχής του παραλληλογράμμου (σχ. 3.4α). Η εύρεση του μέτρου των δύο συνιστωσών μπορεί να γίνει είτε γραφικά, είτε αναλυτικά με τη βοήθεια γνωστών μεθόδων της τριγωνομετρίας.

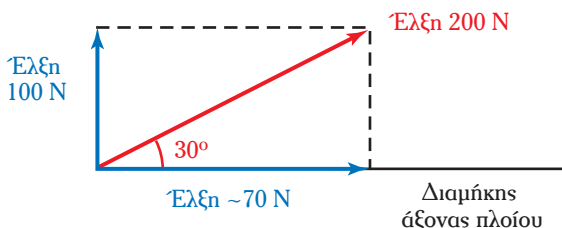
#### Παράδειγμα.

Ένας εργάτης ασκεί σε αντικείμενο ελκτική δύναμη ίση προς 200 N κατά διεύθυνση που σχηματίζει γωνία  $30^\circ$  με το διαμήκη άξονα ενός πλοίου. Ζητείται να βρεθεί τι μεγέθους δυνάμεις θα πρέπει να ασκήσουν δύο εργάτες, ο ένας κατά το διαμήκη άξονα του πλοίου και ο άλλος κατά τον εγκάρσιο, ώστε η συνισταμένη δύναμη να παραμείνει αμετάβλητη.

Στο σχήμα 3.4α φαίνεται το παραλληλόγραμμο για την ανάλυση της δυνάμεως των 200 N σε δύο συνιστώσες κατά τους επιθυμητούς άξονες.

Από το σχήμα προκύπτει ότι θα έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{Διαμήκης συνιστώσα} &= 200 \times (\text{συν}30) = \\ &= 200 \times 0,866 = 173,2 \text{ N} \end{aligned}$$



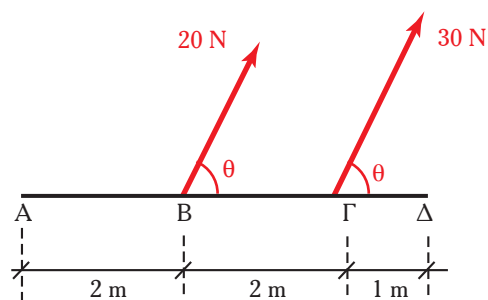
Σχ. 3.4α.

Ανάλυση δυνάμεως σε συνιστώσες.

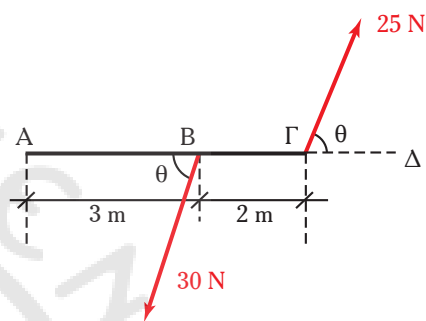
$$\text{Εγκάρσια συνιστώσα} = 200 \times (\eta\mu 30) = 200 \times 0,5 = 100 \text{ N}$$

### Ασκήσεις.

1. Δύο παράλληλες και ομόρροπες δυνάμεις 20 και 30 N αντίστοιχα, δρουν στα σημεία Β και Γ της ράβδου ΑΔ, υπό γωνία  $\theta$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4β. Να βρεθεί το μέγεθος της συνισταμένης τους, η φορά και η διεύθυνσή της και η απόσταση του σημείου εφαρμογής της από το σημείο Α.
2. Δύο παράλληλες και αντίρροπες δυνάμεις 25 και 30 N αντίστοιχα, δρουν στα σημεία Β και Γ της ράβδου ΑΔ, υπό γωνία  $\theta$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4γ. Να βρεθεί το μέγεθος της συνισταμένης τους, η φορά και διεύθυνσή της και η απόσταση του σημείου εφαρμογής της από το σημείο Α.
3. Πλοίο κινείται επί της πορείας του και ταυτόχρονα εκπίπτει (ξεπέφτει) προς την αριστερή πλευρά λόγω πλευρικού ρεύματος. Μετά από δύο ώρες διαπιστώνεται με το GPS ότι το στίγμα του βρίσκεται 6 μίλια από την αρχική θέση του και ότι η ευθεία που συνδέει μεταξύ τους τα δύο στίγματα σχηματίζει με την πορεία του πλοίου γωνία  $45^\circ$ . Πόση είναι η ταχύτητα του πλοίου, η ταχύτητα και η απόσταση κατά την οποία έχει εκπέσει;



Σχ. 3.4β.

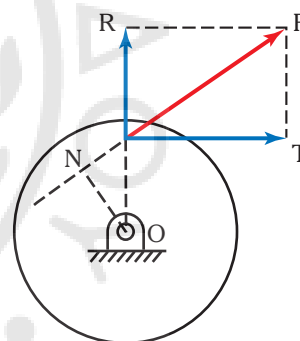


Σχ. 3.4γ.

### 3.5 Ροπή δυνάμεως ως προς άξονα.

Ο όρος **ροπή** χρησιμοποιείται στη Μηχανική για να δείξει τη **στρεπτική δράση** μιας δυνάμεως.

Στο σχήμα 3.5α έχουμε την περίπτωση ενός τροχού που μπορεί να στραφεί γύρω από έναν άξονα. Αν ο άξονας αυτός έχει σκουριάσει, είναι γνωστό ότι, για να επιτύχομε τη στροφή του δίσκου θα πρέπει να εφαρμόσουμε στον τροχό μία δύναμη όσο το δυνατό περισσότερο εφαπτομενική. Στο ίδιο σχήμα βλέπουμε ότι, αν εφαρμόσουμε μια δύναμη  $F$  και την αναλύσουμε σε δύο συνιστώσες, μια ακτινική ( $R$ ) και μια εφαπτομενική ( $T$ ), η ακτινική δύναμη δεν έχει επίδραση στην προσπάθεια στροφής του δίσκου.



Σχ. 3.5α.

Στροφή τροχού γύρω από άξονα.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να αντιληφθούμε τον παρακάτω ορισμό της ροπής.

**Η ροπή μιας δυνάμεως γύρω από έναν άξονα Ο είναι ίση με το γινόμενο του μέτρου της δυνάμεως επί την απόσταση ON του σημείου Ο από το φορέα της δυνάμεως.** Η ροπή μετρείται σε  $\text{kp/m}$  (ή σε  $\text{lbf/ft}$  στο αγγλικό σύστημα) και στο σύστημα SI σε  $\text{N/m}$ .

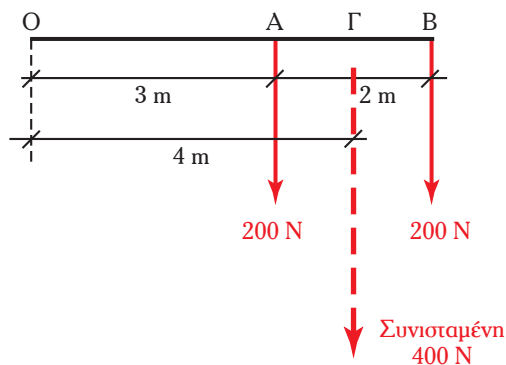
Από το σχήμα 3.5α συμπεραίνεται και η παρακάτω πρόταση γνωστή **ως θεώρημα του Varrignon:**

**Η ροπή μιας δυνάμεως ως προς άξονα είναι ίση με το άθροισμα των ροπών των συνιστωσών της δυνάμεως ως προς τον ίδιο άξονα.**

### Παράδειγμα.

Δύο άνθρωποι προσπαθούν να στρέψουν ένα βραχίονα γύρω από το σταθερό σημείο Ο, ασκώντας δυνάμεις 200 N και 200 N όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5β. Πόση είναι η συνολική ροπή γύρω από το σημείο Ο;

Η συνολική ροπή  $P$  θα βρεθεί ως άθροισμα των ροπών που ασκούν οι δύο άνθρωποι:



**Σχ. 3.5β.**  
Άθροιση ροπών.

$$P = 200 \times 3 + 200 \times 5 = 1600 \text{ N/m}$$

Εναλλακτικά μπορούμε να υπολογίσουμε τη ροπή της συνισταμένης των δύο δυνάμεων, η οποία έχει μέγεθος 400 N και σημείο εφαρμογής 4 m από το σημείο O και επομένως η ροπή της ως προς το O θα είναι:

$$P = 400 \times 4 = 1600 \text{ N/m}$$

### 3.6 Ζεύγος δυνάμεων.

Δύο ίσες και αντίρροπες δυνάμεις που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και που δεν ενεργούν στον ίδιο φορέα λέμε ότι σχηματίζουν ένα **ζεύγος δυνάμεων**.

Στην περίπτωση αυτή δεν είναι δυνατή η αντικατάσταση του ζεύγους των δύο δυνάμεων από μία [ο παρονομαστής στη σχέση (11) θα γινόταν ίσος με 0].

Ένα ζεύγος παριστάνεται μ' ένα διάνυσμα κάθετο πάνω στο επίπεδο, το οποίο ορίζουν οι δυνάμεις που το αποτελούν.

Το ζεύγος έχει μέγεθος ίσο με το γινόμενο της μίας δυνάμεως επί την απόσταση ανάμεσα στους φορείς των δύο δυνάμεων.

### 3.7 Ισορροπία δυνάμεων.

Όπως είδαμε, το σύνολο των δυνάμεων που επενεργούν σ' ένα επίπεδο ενός σώματος μπορούν, στην πιο γενική περίπτωση, να αθροιστούν και να αντικατασταθούν από μια δύναμη και ένα ζεύγος. Η δύναμη τείνει να επιταχύνει το σώμα και το ζεύγος να του δώσει κυκλική επιτάχυνση.

Εξειδικεύοντας τον όρο ισορροπία που έχουμε ήδη χρησιμοποιήσει και που περιλαμβάνει τόσο την έννοια της ακινησίας όσο και της κινήσεως ενός σώματος με σταθερή ταχύτητα, θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο **στατική ισορροπία για ένα σώμα ακίνητο**.

#### Θεώρημα.

**Αν και μόνο αν όλες οι δυνάμεις και οι ροπές που ενεργούν σε ένα σώμα έχουν άθροισμα μηδέν, τότε το σώμα αυτό, που αρχικά βρισκόταν σε στατική ισορροπία, θα παραμείνει σε στατική ισορροπία.**

Αν τώρα θεωρήσουμε μια γενικότερη περίπτωση ενός σώματος πάνω στο οποίο επενεργούν δυνάμεις με οποιοσδήποτε φορείς (όχι στο ίδιο επίπεδο), ισχύει η ακόλουθη πρόταση:

**Ένα σώμα παραμένει σε στατική ισορροπία, αν οι συνιστώσες κατά τους τρεις άξονες ενός συστήματος συντεταγμένων όλων των δυνάμεων που επενεργούν σ' αυτό και τα ζεύγη με διανύσματα κατά μήκος κάθε άξονα συντεταγμένων έχουν μηδενική τιμή.**

Σε ένα σύστημα ορθογωνίων συντεταγμένων, όπου με  $R_x, R_y, R_z$  παριστάνονται οι συνισταμένες των δυνάμεων κατά τους τρεις άξονες και με  $M_x, M_y, M_z$  οι ροπές που παριστάνονται με διανύσματα κατά τους τρεις άξονες, η παραπάνω πρόταση σημαίνει:

$$R_x = R_y = R_z = 0 \quad (12)$$

και

$$M_x = M_y = M_z = 0 \quad (13)$$

### 3.8 Εύρεση συνισταμένης παραλλήλων δυνάμεων.

Στο σχήμα 3.8 έχουμε ένα σώμα στο οποίο επενεργεί μια σειρά από παράλληλες δυνάμεις  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ , με φορείς πάνω στο ίδιο επίπεδο. Τα σημεία εφαρμογής τους απέχουν αντίστοιχα αποστάσεις  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  από τον άξονα  $Oy$ .

Εφαρμογή της σχέσεως (12) δίνει:

$$R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum_i F_i \quad (14)$$

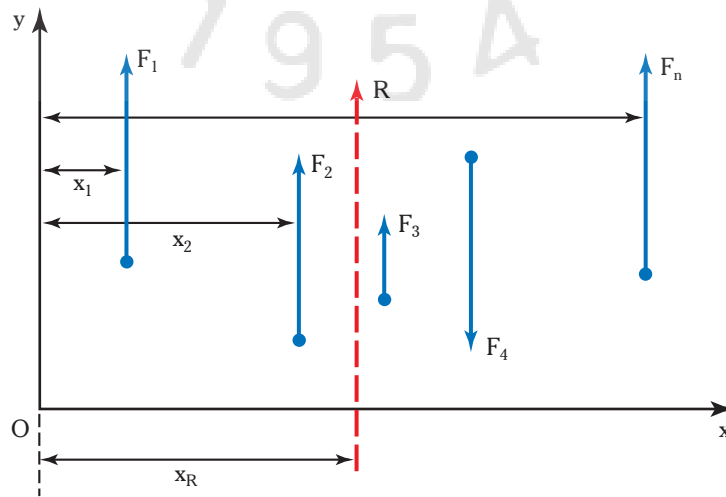
Παίρνοντας ροπές ως προς το σημείο  $O$  έχουμε:

$$R \times x_R = F_1 x_1 + F_2 x_2 + \dots + F_n x_n = \sum_i F_i x_i \quad (15)$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (14) και (15) βρίσκουμε:

$$x_R = \frac{\sum_i F_i x_i}{\sum_i F_i} = \frac{\text{Άθροισμα ροπών}}{\text{Άθροισμα δυνάμεων}} \quad (16)$$

Η σχέση (16) δείχνει ότι το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης μπορεί να βρεθεί αν διαιρέσουμε το άθροισμα των ροπών των δυνάμεων ως προς το  $O$  με το άθροισμα των δυνάμεων. Τα αθροίσματα θα πρέπει να ληφθούν αλγεβρικά (π.χ. θετικές δυνάμεις προς τα κάτω και αρνητικές προς τα πάνω και θετικές ροπές κατά τη φορά περιστροφής των δεικτών του ρολογιού και αρνητικές ανάποδα).



Σχ. 3.8.

Εύρεση συνισταμένης παραλλήλων δυνάμεων.

**Παράδειγμα.**

Να βρεθεί η συνισταμένη των δυνάμεων του σχήματος 3.8 και το σημείο εφαρμογής της αν οι δυνάμεις και τα αντίστοιχα σημεία εφαρμογής τους είναι αυτά που δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

|       | X(m) | F(N) |
|-------|------|------|
| $F_1$ | 1,0  | 50   |
| $F_2$ | 4,0  | 60   |
| $F_3$ | 5,0  | 20   |
| $F_4$ | 7,0  | -80  |
| $F_n$ | 10   | 90   |

Θα έχομε για τη συνισταμένη των δυνάμεων:

$$R = 50 + 60 + 20 - 80 + 90 = 140 \text{ N}$$

Η ροπή των δυνάμεων ως προς το σημείο O θα είναι:

$$\text{Ροπή} = (1,0) \times (50) + (4,0) \times (60) + (5,0) \times (20) - (7,0) \times (80) + (10,0) \times (90) = 730 \text{ N/m}$$

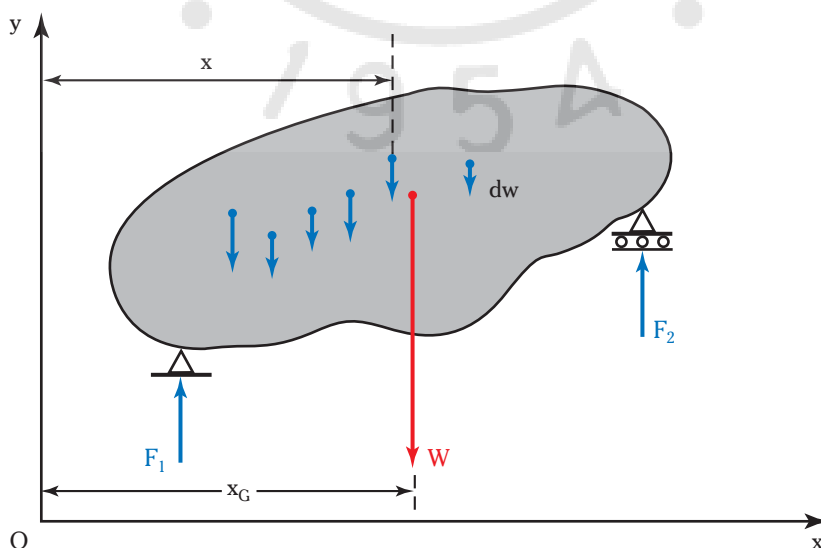
Η απόσταση του σημείου εφαρμογής της συνισταμένης από το σημείο O θα είναι:

$$x_R = (\text{Ροπή})/(\text{συνισταμένη}) = (730)/(140) = 5,21 \text{ m}$$

**3.9 Κέντρο βάρους σώματος.**

Οι πιο συχνά εμφανιζόμενες παράλληλες δυνάμεις είναι αυτές που οφείλονται στη βαρύτητα και δρουν στα διάφορα τμήματα ενός σώματος.

Σε μια τέτοια περίπτωση μπορεί να θεωρήσουμε ότι το σώμα υποδιαιρείται σε στοιχειώδη τμήματα, καθένα από τα οποία έχει βάρος  $dW$  (σχ. 3.9). Οι δυνάμεις αυτές μπορεί να ισορροπηθούν από τις αντιδράσεις  $F_1$  και  $F_2$  που ασκούν τα υποστηρίγματα στο σώμα.

**Σχ. 3.9.**

Κέντρο βάρους σιερεού σώματος.

Η συνισταμένη όλων των στοιχειωδών δυνάμεων βάρους είναι ίση με το βάρος του σώματος και **επενεργεί πάνω στο κέντρο βάρους του σώματος**. Η απόσταση του κέντρου βάρους του σώματος από τον άξονα  $Oy$  μπορεί να βρεθεί από τη σχέση (16).

Την ίδια διαδικασία μπορούμε να εφαρμόσουμε θεωρώντας ότι το σώμα έχει στραφεί κατά  $90^\circ$  και έτσι να βρούμε την απόσταση του κέντρου βάρους από τον άξονα  $Ox$ .

Η επανάληψη της ίδιας διαδικασίας κατά τους τρεις άξονες δίνει τρεις αποστάσεις,  $x_G$ ,  $y_G$  και  $z_G$ , που ορίζουν τις τρεις συντεταγμένες του κέντρου βάρους του σώματος.

### 3.10 Πρακτικοί τρόποι εύρεσης του κέντρου βάρους επιπέδων σχημάτων.

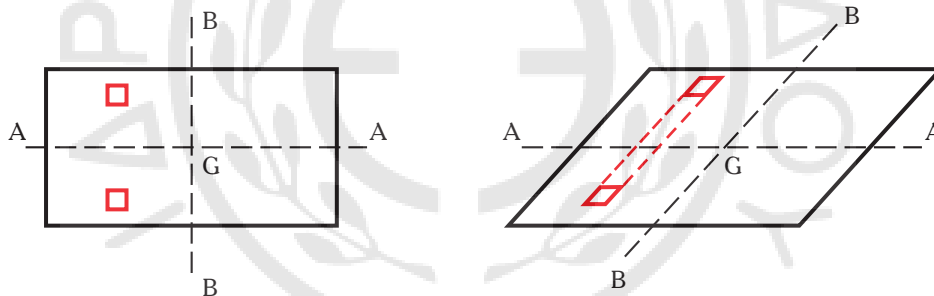
Μία ειδική περίπτωση σχετικά απλών σωμάτων είναι τα επίπεδα σχήματα (π.χ. ελάσματα).

Για την εύρεση του κέντρου βάρους τέτοιων σωμάτων ελέγχουμε κατ' αρχήν αν υπάρχουν άξονες ορθής ή πλάγιας συμμετρίας, γιατί το κέντρο βάρους βρίσκεται πάνω σ' αυτούς. Αν υπάρχουν δύο τέτοιοι άξονες, η τομή τους μας δίνει τη θέση του κέντρου βάρους. Δυο τέτοια παραδείγματα βλέπουμε στο σχήμα 3.10α.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα περίπτωση έχουμε όταν ένα επίπεδο σώμα μπορεί να χωρισθεί κατά τρόπο που να προκύπτουν σώματα με άξονες συμμετρίας. Σ' αυτήν την περίπτωση βρίσκουμε τα κέντρα βάρους των επί μέρους τμημάτων και τα συνδυάζουμε στη συνέχεια με βάση το θεώρημα των ροπών, θεωρώντας ότι τα βάρη των τμημάτων είναι ανάλογα με τις αντίστοιχες επιφάνειες.

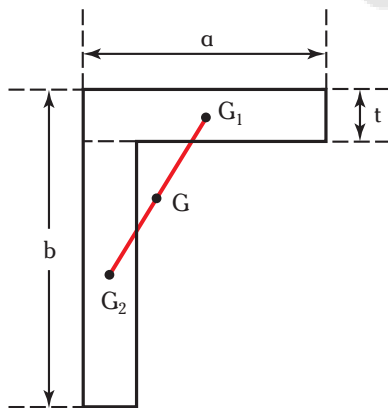
Ένα τέτοιο παράδειγμα έχουμε στο σχήμα 3.10β, όπου βλέπουμε την υποδιαίρεση ενός σχήματος σε δύο ορθογώνια, τα κέντρα βάρους των οποίων βρίσκονται στην τομή των αντιστοίχων αξόνων συμμετρίας.

Η θέση του κέντρου βάρους πάνω στον άξονα  $G_1G_2$  που συνδέει τα κέντρα βάρους των δύο ορθογώνων μπορεί να βρεθεί με χρήση του θεωρήματος των ροπών από τη σχέση:



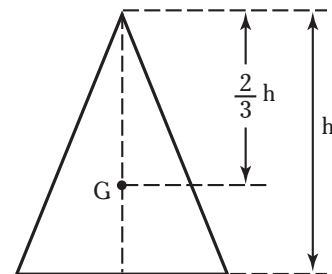
Σχ. 3.10α.

Εύρεση κέντρου βάρους σε επίπεδα σώματα με συμμετρία.



Σχ. 3.10β.

Εύρεση κέντρου βάρους με υποδιαίρεση σε δύο τμήματα.



Σχ. 3.10γ.

Εύρεση κέντρου βάρους ισοσκελούς τριγώνου.

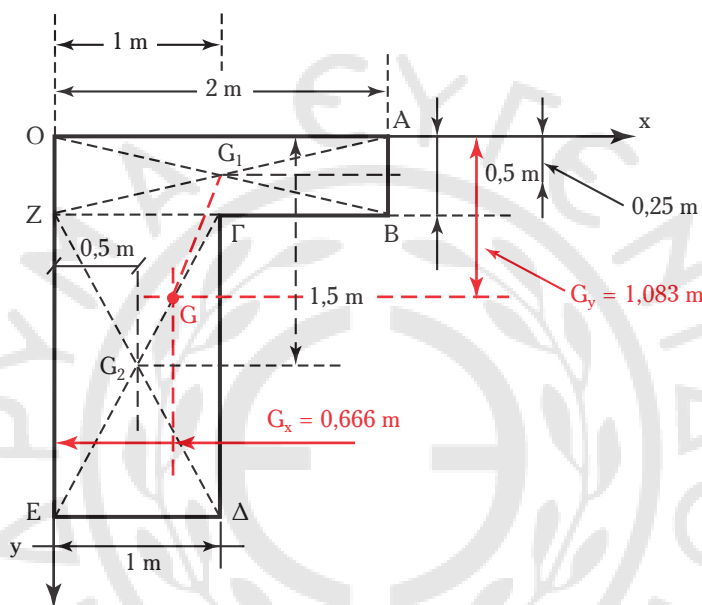


$$\frac{GG_2}{GG_1} = \frac{\text{Επιφάνεια ορθογώνιου 1}}{\text{Επιφάνεια ορθογώνιου 2}} = \frac{at}{(b-t)t} = \frac{a}{b-t}$$

Συχνά στη θεωρία πλοίου χρειάζεται η εύρεση του κέντρου βάρους τριγωνικών σχημάτων. Για το σκοπό αυτό είναι χρήσιμο να σημειώσουμε ότι το κέντρο βάρους ενός τριγώνου βρίσκεται πάνω στην τομή των υψών που τέμνονται στα  $2/3$  του μήκους τους από την αντίστοιχη κορυφή. Ένα τέτοιο παράδειγμα σε συνδυασμό με την ύπαρξη ενός άξονα συμμετρίας έχουμε στην περίπτωση του σχήματος 3.10γ.

### Παράδειγμα.

Να βρεθεί η θέση του κέντρου βάρους ενός επιπέδου ελάσματος (λαμαρίνας) που περιγράφεται με τα γράμματα ΟΑΒΓΔΕΟ και έχει τις διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα 3.10δ.



Σχ. 3.10δ.

Εύρεση κέντρου βάρους με υποδιαίρεση σε δύο τμήματα.

Για διευκόλυνση της διαδικασίας μπορούμε να συμπληρώσουμε το σχήμα με ένα σύστημα ορθογωνίων συντεταγμένων  $Oxy$  και να θεωρήσουμε ότι το έλασμα αποτελείται από δύο ορθογώνια παραλληλεπίπεδα και συγκεκριμένα από το τμήμα ΟΑΒΓΖ με επιφάνεια  $2 \times 0,5 = 1 \text{ m}^2$  και κέντρο βάρους το σημείο  $G_1$  που απέχει  $0,25 \text{ m}$  από τον άξονα  $Ox$  και  $1 \text{ m}$  από τον άξονα  $Oy$  και το τμήμα ΖΓΔΕ με επιφάνεια  $2 \times 1 = 2 \text{ m}^2$  και κέντρο βάρους το σημείο  $G_2$  που απέχει  $1,5 \text{ m}$  από τον άξονα  $Ox$  και  $0,5 \text{ m}$  από τον άξονα  $Oy$ .

Οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους  $G$  του συνδυασμένου σχήματος, με βάση τα θεωρήματα των ροπών που προαναφέρθηκαν μπορούν να βρεθούν από τις σχέσεις:

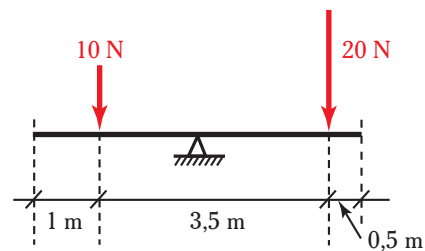
$$G_y = (\text{Άθροισμα ροπών των επιφανειών ως προς άξονα } Ox) / (\text{Άθροισμα των επιφανειών}) = \\ = (1 \times 0,25 + 2 \times 1,5) / (1 + 2) = 3,25/3 = 1,083 \text{ m}$$

και

$$G_x = (\text{Άθροισμα ροπών των επιφανειών ως προς άξονα } Oy) / \\ (\text{Άθροισμα των επιφανειών}) = \\ = (1 \times 1 + 2 \times 0,5) / (1 + 2) = 2/3 = 0,666 \text{ m}$$

### Ασκήσεις.

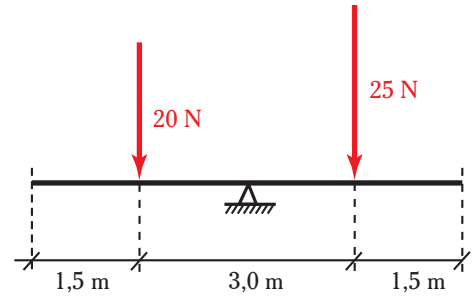
1. Ομοίμορφη (χωρίς ίδιο βάρος) ράβδος έχει μήκος  $5 \text{ m}$  και στηρίζεται όπως φαίνεται στο σχήμα 3.10ε στο μέσο του



Σχ. 3.10ε.

μήκους της. Τι μεγέθους ροπή εφαρμόζεται στη ράβδο αν πάνω της δράσουν δύο δυνάμεις;

2. Ομοιόμορφη (χωρίς ίδιο βάρος) ράβδος έχει μήκος 6 m και στηρίζεται όπως φαίνεται στο σχήμα 3.10στ στο μέσο του μήκους της. Στη ράβδο δρουν δύο δυνάμεις 20 και 25 N αντίστοιχα, στα σημεία που φαίνονται στο σχήμα. Πού πρέπει να εφαρμόσουμε βάρος 15 N, ώστε η ράβδος να μην περιστραφεί;



Σχ. 3.10στ.



## 4. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

### 4.1 Εισαγωγή.

Όπως θα δούμε σε πολλές περιπτώσεις παρακάτω, για τον υπολογισμό των παραμέτρων εκείνων, που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του πλοίου χρειάζεται να γνωρίζουμε διάφορες γεωμετρικές ποσότητες, οι οποίες σχετίζονται με αυτό (π.χ. την επιφάνεια και ροπή αδράνειας των ισάλων ή τον όγκο και τη θέση του κέντρου όγκου των υφάλων).

Τις παραπάνω ποσότητες σε κανονικά σχήματα, όπως το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, τα τρίγωνα ή το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε με μεθόδους της γεωμετρίας. Σχετικά εύκολα, επίσης, με μεθόδους όμως που ξεφεύγουν από τα όρια του βιβλίου αυτού, θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε ιδιότητες επιφανειών και όγκων που περικλείονται από γραμμές ή επιφάνειες, οι οποίες μπορούν να εκφραστούν μαθηματικά, δηλαδή με μαθηματικές εξισώσεις.

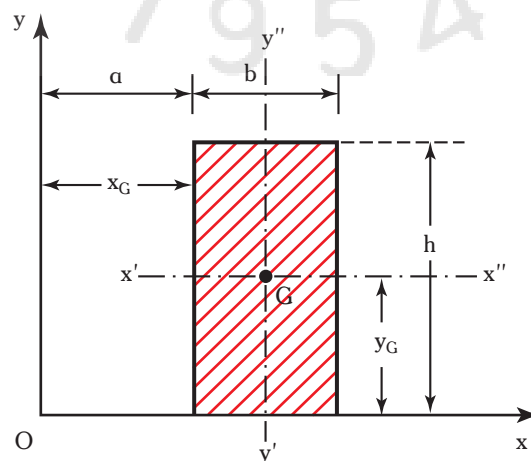
Οι γραμμές που περιβάλλουν επιφάνειες ή όγκους του πλοίου που μας ενδιαφέρουν δεν ανήκουν γενικά στις παραπάνω περιπτώσεις. Για τον υπολογισμό λοιπόν των απαραίτητων στοιχείων πρέπει να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι ενός κλάδου των μαθηματικών που είναι γνωστός ως **αριθμητική ολοκλήρωση**.

### 4.2 Γεωμετρικές ιδιότητες επίπεδης επιφάνειας.

Τα γεωμετρικά στοιχεία μιας επίπεδης επιφάνειας που μας ενδιαφέρουν στη μελέτη της στατικής του πλοίου είναι:

- 1) Το εμβαδόν της επιφάνειας.
- 2) Οι ροπές της επιφάνειας ως προς τους άξονες  $Ox$  και  $Oy$  ή τους παράλληλους προς αυτούς  $x'x''$  και  $y'y''$  (σχ. 4.2α).
- 3) Οι δεύτερες ροπές της επιφάνειας (**ροπές αδράνειας**) ως προς τους άξονες  $Ox$  και  $Oy$  ή τους παράλληλους προς αυτούς  $x'x''$  και  $y'y''$ .
- 4) Οι συντεταγμένες του κέντρου της επιφάνειας.

Τη βάση για τους παραπέρα υπολογισμούς αποτελούν οι ιδιότητες του απλού ορθογώνιου παραλληλο-



Σχ. 4.2α.

Εύρεση ιδιοτήτων ορθογώνιου παραλληλογράμιου.

γράμμου που δίνονται από τους παρακάτω τύπους (σχ. 4.2α):

$$\text{Εμβαδόν επιφάνειας} = A = (\text{Μήκος}) \times (\text{Ύψος}) = b \times h \quad (17)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή επιφάνειας} \\ \text{ως προς τον άξονα } O_x \end{array} \right\} = M_x = (\text{Επιφάνεια}) \times \frac{h}{2} = \frac{bh^2}{2} \quad (18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή επιφάνειας} \\ \text{ως προς τον άξονα } O_y \end{array} \right\} = M_y = (\text{Επιφάνεια}) \left( a + \frac{b}{2} \right) = bh \left( a + \frac{b}{2} \right) \quad (19)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Συντεταγμένες} \\ \text{κέντρου επιφάνειας} \end{array} \right\} \quad x_G = \frac{M_y}{A} = \frac{bh \left( a + \frac{b}{2} \right)}{bh} = a + \frac{b}{2} \quad (20)$$

$$y_G = \frac{M_x}{A} = \frac{bh \frac{h}{2}}{bh} = \frac{h}{2} \quad (21)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή αδράνειας} \\ \text{ως προς άξονα } O_x \end{array} \right\} = I_x = \frac{bh^3}{3} \quad (22)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή αδράνειας} \\ \text{ως προς άξονα } x'x'' \end{array} \right\} = I_{xx} = \frac{bh^3}{12} \quad (23)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή αδράνειας} \\ \text{ως προς άξονα } y'y'' \end{array} \right\} = I_{yy} = \frac{b^3 h}{12} \quad (24)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή αδράνειας} \\ \text{ως προς άξονα } O_y \end{array} \right\} = I_y = I_{yy} + Ax_G^2 \quad (25)$$

Η τελευταία σχέση είναι γνωστή και ως **θεώρημα του Steiner** και χρησιμοποιείται για την εύρεση της ροπής αδράνειας ως προς έναν άξονα, όταν γνωρίζουμε την αντίστοιχη ροπή αδράνειας ως προς άξονα παράλληλο που περνά από το κέντρο βάρους της επιφάνειας ή και αντίστροφα. [Η σχέση (25) και το πρώτο σκέλος των (20) και (21) ισχύουν για κάθε μορφής επιφάνεια και όχι μόνο για το ορθογώνιο].

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις για το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μπορούμε να βρούμε τις αντίστοιχες ιδιότητες μιας επιφάνειας που ορίζεται από μία καμπύλη, τον άξονα  $O_x$  και δύο κάθετες ευθείες πάνω σ' αυτόν στα σημεία  $x_1$  και  $x_2$  (σχ. 4.2β).

Έτσι, αν θεωρήσουμε το στοιχειώδες ορθογώνιο με την μπλε διαγράμμιση που έχει ύψος  $y$  και βάση  $dx$  (στοιχειώδες μήκος), θα έχουμε για τις ιδιότητες της στοιχειώδους επιφάνειας  $dA$ :

$$\text{Εμβαδόν} = dA = (y) dx \quad (26)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή επιφάνειας} \\ \text{ως προς } O_x \end{array} \right\} = dM_x = dA \times \frac{y}{2} = ydx \times \frac{y}{2} = \left( \frac{y^2}{2} \right) dx \quad (27)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή επιφάνειας} \\ \text{ως προς } O_y \end{array} \right\} = dM_y = dA \times x = ydx \times x = (yx) dx \quad (28)$$

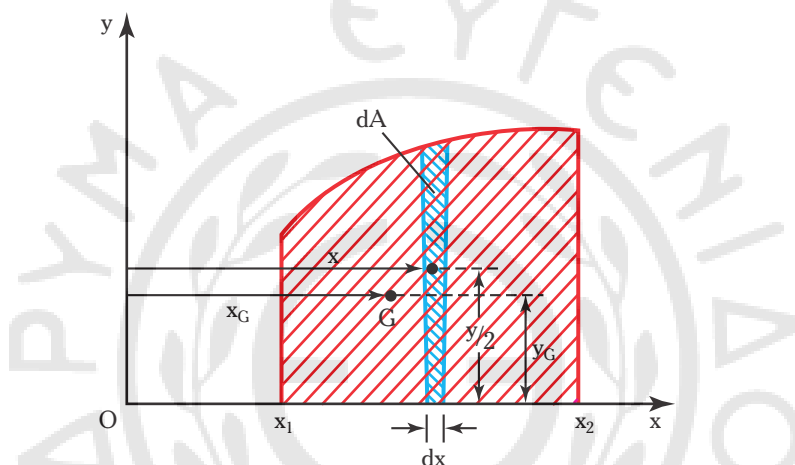
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή αδράνειας} \\ \text{ως προς } O_x \end{array} \right\} = dI_x = dx \times \frac{y^3}{3} = \left( \frac{y^3}{3} \right) dx \quad (29)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή αδράνειας} \\ \text{ως προς } O_y \end{array} \right\} = dI_y = (dA) x^2 = y dx \times x^2 = (yx^2) dx \quad (30)$$

Για την εύρεση των ιδιοτήτων ολόκληρης της επιφάνειας απαιτείται εφαρμογή μιας μαθηματικής διαδικασίας γνωστής με το όνομα **ολοκλήρωση**.

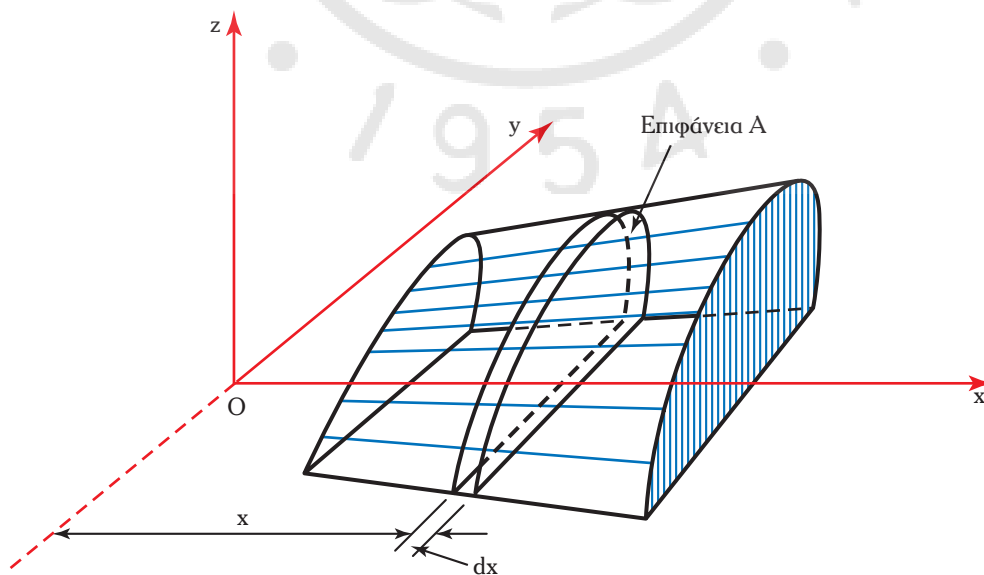
### 4.3 Γεωμετρικές ιδιότητες μη κανονικού (ακανόνιστου) όγκου.

Στο σχήμα 4.3 βλέπουμε έναν «ακανόνιστο» όγκο που προκύπτει από την τομή ενός ακανόνιστου σχήματος με το επίπεδο  $xOy$  και δύο επίπεδα παράλληλα προς το  $zOy$ .



Σχ. 4.2β.

Εύρεση ιδιοτήτων τυχαίας επιφάνειας.



Σχ. 4.3.

Γεωμετρία ακανόνιστου όγκου.

Σε συνάρτηση με τη μελέτη της γεωμετρίας του πλοίου, μας ενδιαφέρει η εύρεση του όγκου και των συντεταγμένων του κέντρου όγκου του σχήματος που προκύπτει.

Αν θεωρήσουμε δύο τομές του σώματος με επίπεδα παράλληλα προς το  $zOy$  που βρίσκονται σε αποστάσεις  $x$  και  $x + dx$  από αυτό και ονομάσουμε  $A$  την επιφάνεια κάθε μιας τομής, θα έχουμε για το στοιχειώδη όγκο που προκύπτει:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Στοιχειώδης} \\ \text{όγκος} \end{array} \right\} = d\bar{V} = A dx \quad (31)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή όγκου ως} \\ \text{προς επίπεδο } zOy \end{array} \right\} = dM_{zy} = x d\bar{V} = A x dx \quad (32)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Απόσταση κέντρου} \\ \text{όγκου από } zOy \end{array} \right\} = X_{\bar{V}} = \frac{M_{zy}}{\bar{V}} \quad (33)$$

Για την εύρεση ολόκληρου του όγκου και της ροπής, θα πρέπει και πάλι να εφαρμόσουμε τη διαδικασία της ολοκλήρωσης.

Για την εύρεση των αποστάσεων του κέντρου όγκου από τα άλλα δύο επίπεδα, θα πρέπει να θεωρήσουμε τομές του σώματος παράλληλες προς αυτά και να εφαρμόσουμε αντίστοιχες διαδικασίες.

#### 4.4 Τύποι και μεθοδολογία ευρέσεως γεωμετρικών ιδιοτήτων μη κανονικής επιφάνειας.

Η ακανόνιστη καμπύλη που ορίζει προς τα πάνω την επιφάνεια του σχήματος 4.2β εμποδίζει την εφαρμογή απλής ολοκλήρωσης στις σχέσεις (26) έως και (30). Έτσι, για την εύρεση των ιδιοτήτων μιας τέτοιας επιφάνειας χρησιμοποιούνται μέθοδοι της λεγόμενης **αριθμητικής ολοκλήρωσης**. Η ανάπτυξη αυτών των μεθόδων, που ξεφεύγει από τα όρια αυτού του βιβλίου, οδηγεί στους λεγόμενους κανόνες **αριθμητικής ολοκλήρωσης**, μερικοί από τους οποίους δίνονται αμέσως παρακάτω.

##### 1) Κανόνας του τραπεζοειδούς.

Ο κανόνας αυτός βασίζεται στην υποδιαίρεση του εμβαδού κάτω από μία καμπύλη με κάθετες ευθείες που βρίσκονται σε ισαποστάσεις μεταξύ τους. Έτσι, αν σημειώσουμε ότι το εμβαδόν του τραπεζοειδούς του σχήματος 4.4α δίνεται από τη σχέση:

$$A = \delta \frac{Y_1 + Y_2}{2} \quad (34)$$

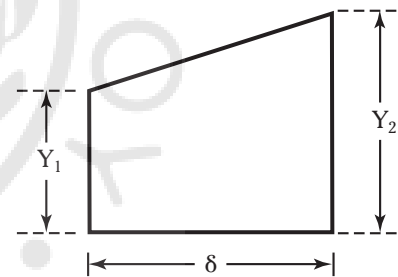
και αν θεωρήσουμε ότι τα τμήματα της καμπύλης  $\phi$  του σχήματος 4.4β μετά την υποδιαίρεση είναι σχεδόν ευθείες, έχουμε για το εμβαδόν αυτού του σχήματος:

$$A = \delta \left( \frac{Y_1}{2} + Y_2 + Y_3 + Y_4 + \frac{Y_5}{2} + \frac{Y_6}{2} \right) \quad (35)$$

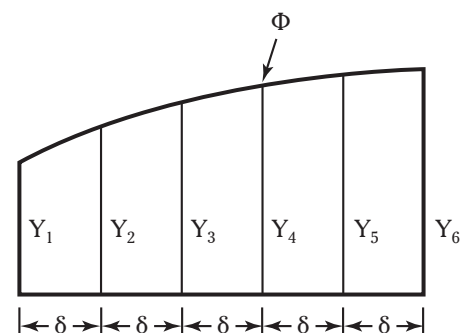
Είναι φανερό ότι όσο πιο πολλές κάθετες ευθείες πάρουμε, τόσο πιο μικρό είναι το λάθος που γίνεται.

##### Παράδειγμα 1.

Να εφαρμοσθεί ο κανόνας του τραπεζοειδούς στον υπολογι-



Σχ. 4.4α.  
Εύρεση εμβαδού τραπεζοειδούς.



Σχ. 4.4β.  
Εύρεση εμβαδού με τη μέθοδο του τραπεζοειδούς.

σμό της επιφάνειας ενός ορθογωνίου παραλληλογράμμου με βάση  $b$  και ύψος  $h$ .

Από τη γεωμετρία γνωρίζουμε ότι το ζητούμενο εμβαδόν είναι ίσο με  $b \times h$ .

Αν τώρα χωρίσουμε τη βάση του σχήματος σε δύο ίσα μέρη, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4γ και εφαρμόσουμε τη σχέση (35) για τρία σημεία, το  $\delta$  θα είναι ίσο με  $b/2$  και τα  $Y_1, Y_2$  και  $Y_3$  θα έχουν όλα την τιμή  $h$ .

Επομένως θα έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{Εμβαδόν} &= (b/2) \times (h/2 + h + h/2) = \\ &= (b/2) \times (2h) = b \times h \end{aligned}$$

Αν πάλι χωρίσουμε τη βάση σε τέσσερα ίσα τμήματα (σχ. 4.4δ) το  $\delta$  θα είναι ίσο με  $b/4$ .

Εφαρμογή της σχέσεως (35) θα μας δώσει πάλι:

$$\begin{aligned} \text{Εμβαδόν} &= (b/4) \times (h/2 + h + h + h + \\ &+ h/2) = (b/4) \times (4h) = b \times h \end{aligned}$$

### Παράδειγμα 2.

Να εφαρμοσθεί ο κανόνας του τραπεζοειδούς στον υπολογισμό της επιφάνειας ενός ορθογωνίου τριγώνου με βάση  $b$  και ύψος  $h$ .

Από τη γεωμετρία γνωρίζουμε τώρα ότι το ζητούμενο εμβαδόν είναι ίσο με  $b \times h/2$ .

Αν τώρα χωρίσουμε τη βάση του σχήματος σε δύο ίσα μέρη, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4ε και εφαρμόσουμε τη σχέση (35) για τρία σημεία, το  $\delta$  θα είναι ίσο με  $b/2$  και τα  $Y_1, Y_2$  και  $Y_3$  θα έχουν τιμές  $h, h/2$  και  $0$  αντίστοιχα.

Επομένως θα έχουμε:

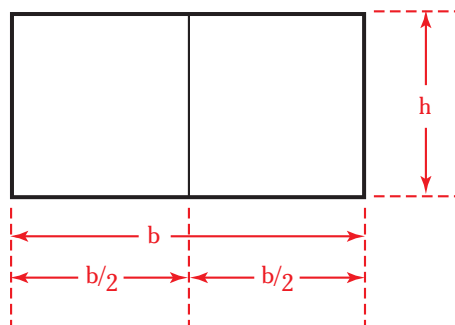
$$\begin{aligned} \text{Εμβαδόν} &= (b/2) \times (h/2 + h/2 + 0) = \\ &= (b/2) \times (h) = b \times h/2 \end{aligned}$$

### Παράδειγμα 3.

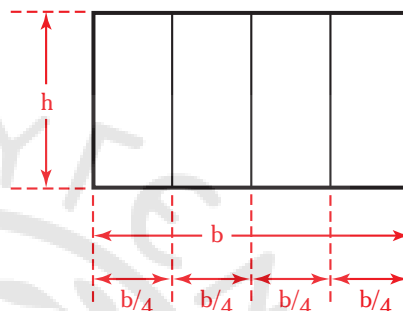
Να βρεθεί το εμβαδόν κάτω απ' την καμπύλη  $S$  του σχήματος 4.4στ, με εφαρμογή του κανόνα του τραπεζοειδούς.

Τα παραδείγματα 1 και 2 αφορούσαν σε περιπτώσεις απλών γεωμετρικών σχημάτων, των οποίων το εμβαδόν ήταν έτσι κι αλλιώς γνωστό από τη γεωμετρία.

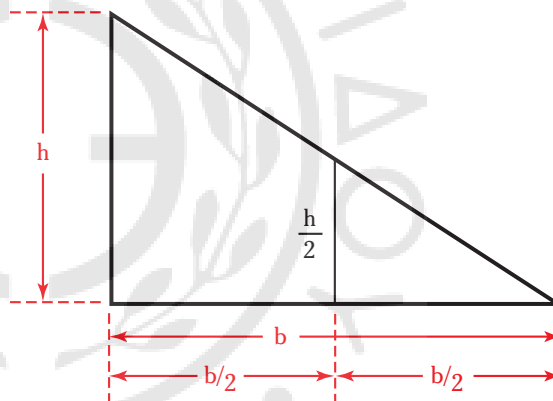
Το παράδειγμα 3 έχει ως στόχο να δείξει



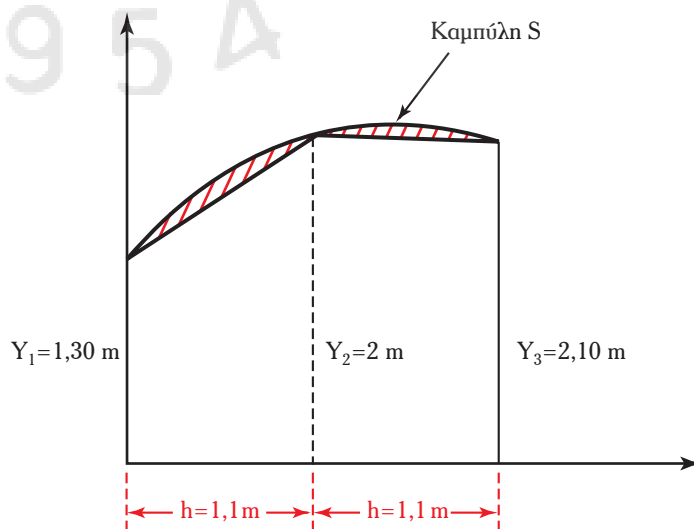
Σχ. 4.4γ.



Σχ. 4.4δ.



Σχ. 4.4ε.



Σχ. 4.4στ.

τη χρησιμοποίηση του κανόνα του τραπεζοειδούς εκεί που υπάρχει πραγματική ανάγκη, όπως για παράδειγμα συμβαίνει σε πολλές περιπτώσεις στα πλοία.

Μπορούμε πάλι να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση (35) σημειώνοντας ότι τώρα το  $Y_1$  έχει την τιμή 1,3 m, το  $Y_2$  την τιμή 2 m, το  $Y_3$  την τιμή 2,10 m και το  $\delta$  την τιμή 1,1 m.

Επομένως θα έχουμε:

$$\text{Εμβαδόν} = (\delta) \times (Y_{1/2} + Y_2 + Y_{3/2}) = 1,1 \times (1,30/2 + 2 + 2,1/2) = 1,1 \times 3,70 = 4,07 \text{ m}^2$$

Στο σχήμα 4.4στ παρατηρούμε ότι με την εφαρμογή του κανόνα του τραπεζοειδούς οι σκιασμένες (με κόκκινο χρώμα) επιφάνειες χάνονται. Επομένως το αποτέλεσμα που βρίσκομε είναι προσεγγιστικό.

Η ακρίβεια μπορεί να βελτιωθεί αν εφαρμόσουμε τον κανόνα με περισσότερα σημεία ή εφαρμόζοντας άλλους κανόνες που αναπτύσσονται αμέσως παρακάτω.

## 2) Πρώτος κανόνας του Simpson.

Στην πιο απλή μορφή του ο κανόνας αυτός απαιτεί υποδιαίρεση του εμβαδού σε δύο τμήματα με τη βοήθεια τριών καθέτων ευθειών που βρίσκονται μεταξύ τους σε ισαποστάσεις (σχ. 4.4ζ).

Το εμβαδόν βρίσκεται από τη σχέση:

$$A = \frac{\delta}{3} (Y_1 + 4Y_2 + Y_3) \quad (36)$$

Αν τώρα με περισσότερες κάθετες ευθείες χωρίσουμε το εμβαδόν σε περισσότερα από δύο τμήματα, εφαρμόσουμε διαδοχικά τη σχέση (36) που είναι γνωστή ως **πρώτος κανόνας του Simpson** και αθροίσουμε τα αποτελέσματα, έχουμε για το εμβαδόν του σχήματος 4.4η:

$$A = \frac{\delta}{3} (Y_1 + 4Y_2 + 2Y_3 + 4Y_4 + 2Y_5 + 4Y_6 + Y_7) \quad (37)$$

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι για την εφαρμογή του πρώτου κανόνα του Simpson απαιτείται η ύπαρξη περιττού αριθμού καθέτων ευθειών σε ισαποστάσεις. Για την εφαρμογή του κανόνα **πολλαπλασιάζουμε το πρώτο και τελευταίο ύψος με συντελεστή 1 και όλα τα ενδιάμεσα με τους συντελεστές 4 και 2 εναλλακτικά και διαδοχικά και αθροίζουμε τα αποτελέσματα. Το άθροισμα πολλαπλασιαζόμενο επί το ένα τρίτο της σταθερής ισαποστάσεως δίνει το εμβαδόν.** Το τελευταίο ύψος, όπως είπαμε ήδη, δεν πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή 2 αλλά με το συντελεστή 1.

### Παράδειγμα 4.

Να βρεθεί το εμβαδόν κάτω απ' την καμπύλη S του σχήματος 4.4στ με εφαρμογή του πρώτου κανόνα του Simpson.

Μπορούμε τώρα να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση (36) σημειώνοντας πάλι ότι το  $Y_1$  έχει την τιμή 1,3 m, το  $Y_2$  την τιμή 2 m, το  $Y_3$  την τιμή 2,10 m και το  $\delta$  την τιμή 1,1 m.

Επομένως θα έχουμε:

$$\text{Εμβαδόν} = (\delta/3) \times (Y_1 + 4 \times Y_2 + Y_3) = (1,1/3) \times (1,30 + 4 \times 2 + 2,1) = 0,366 \times 11,4 = 4,17 \text{ m}^2$$

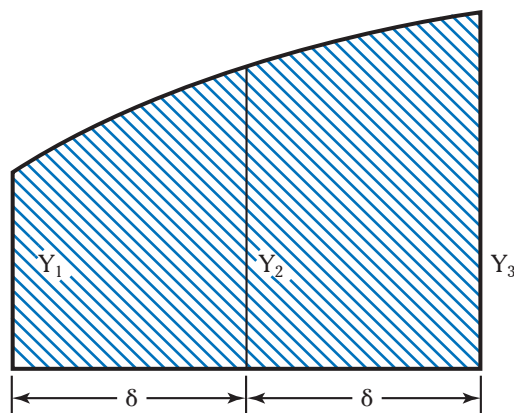
Παρατηρώντας το αποτέλεσμα βλέπουμε ότι η ακρίβεια του υπολογισμού βελτιώθηκε σε σχέση με το αποτέλεσμα που είχαμε βρει με τον κανόνα του τραπεζοειδούς.

## 3) Δεύτερος κανόνας του Simpson.

Ο κανόνας αυτός μπορεί να εφαρμοσθεί όταν έχουμε σε ισαποστάσεις τέσσερα ύψη ή γενικά  $3n + 1$  ύψη όπου το  $n = 1, 2, 3$  κ.λπ..

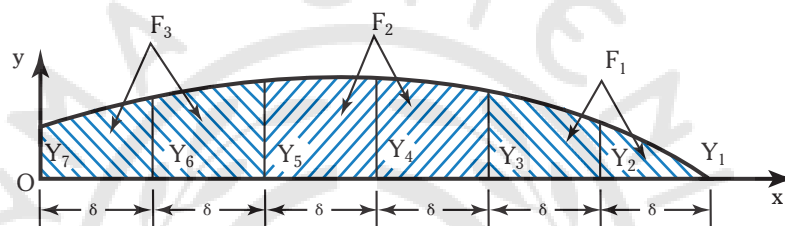
Έτσι, όταν  $n = 1$ , δηλαδή όταν έχουμε τέσσερα ύψη σε ισαποστάσεις, το εμβαδόν είναι:





Σχ. 4.4ζ.

Εύρεση εμβαδού με τον πρώτο κανόνα του Simpson για τρία σημεία.



Σχ. 4.4η.

Εύρεση εμβαδού με τον πρώτο κανόνα του Simpson για περισσότερα από τρία σημεία.

$$A = \frac{3}{8} \delta (Y_1 + 3Y_2 + 3Y_3 + Y_4) \quad (38)$$

Στην περίπτωση του σχήματος 4.4η έχουμε  $n = 2$  (7 ύψη) και ο κανόνας έχει τη μορφή:

$$A = \frac{3}{8} \delta (Y_1 + 3Y_2 + 3Y_3 + 2Y_4 + 3Y_5 + 3Y_6 + Y_7) \quad (39)$$

Μπορούμε γενικά να πούμε ότι **για την εφαρμογή του δεύτερου κανόνα του Simpson πολλαπλασιάζουμε το πρώτο και το τελευταίο ύψος με το συντελεστή 1 και όλα τα ενδιάμεσα με τους συντελεστές 3, 3, 2 εναλλακτικά και διαδοχικά και αθροίζουμε τα αποτελέσματα. Το άθροισμα πολλαπλασιαζόμενο επί τα 3/8 της σταθερής ισοποιήσεως δίνει το εμβαδόν.** Το τελευταίο ύψος, όπως είπαμε ήδη, δεν είναι πολλαπλασιασμένο επί 2 άλλα επί 1.

Αν παρατηρήσουμε τη σχέση (26) βλέπουμε ότι εφαρμόζοντας τις παραπάνω διαδικασίες βρίσκουμε το εμβαδόν, δηλαδή το ολοκλήρωμα του  $ydx$ .

Έτσι και κατ' επέκταση, αν αντί για τα ύψη  $Y$  χρησιμοποιήσουμε τις ποσότητες  $Y^2/2$  [σχέση (27)], μπορούμε να βρούμε τη ροπή της επιφάνειας ως προς τον άξονα  $Ox$ . Αντίστοιχα αν χρησιμοποιήσουμε την ποσότητα  $YX^2$  [σχέση (30)] βρίσκουμε τη ροπή αδράνειας της επιφάνειας ως προς τον άξονα  $Oy$ . Το ίδιο ισχύει για όλες τις περιπτώσεις των σχέσεων (26) έως και (30).

Με βάση λοιπόν το δεύτερο κανόνα του Simpson μπορούμε για παράδειγμα να βρούμε τη ροπή της επιφάνειας του σχήματος 4.4η ως προς  $Oy$  από τη σχέση:

$$M_y = \frac{3}{8} \delta [(X_1 Y_1) + 3(X_2 Y_2) + 3(X_3 Y_3) + 2(X_4 Y_4) + 3(X_5 Y_5) + 3(X_6 Y_6) + (X_7 Y_7)]$$

Τα  $X_1, X_2$  κ.λπ. είναι οι κατά τον άξονα  $x$  συντεταγμένες των σημείων, στα οποία αντιστοιχούν τα ύψη  $Y_1, Y_2$  κ.λπ. αντίστοιχα.

### Παράδειγμα 5.

Να βρεθεί το εμβαδόν μιας φρακτής (εγκάρσιου στεγανού διαχωρίσματος, μπουλμέ) του σχήματος 4.4θ με εφαρμογή του δεύτερου κανόνα του Simpson. (Λόγω συμμετρίας το σχήμα παριστάνει μόνο τη μισή φρακτή).

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση (39), σημειώνοντας ότι τα  $Y$  έχουν τις τιμές που φαίνονται στο σχήμα και το  $\delta$  την τιμή 1,0 m.

Επομένως θα έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{Εμβαδόν} &= (3\delta/8) \times (Y_1 + 3 \times Y_2 + 3 \times Y_3 + 2 \times Y_4 + 3 \times Y_5 + 3 \times Y_6 + Y_7) = \\ &= (3/8) \times (4 + 3 \times 4,4 + 3 \times 4,7 + 2 \times 5,0 + 3 \times 5,2 + 3 \times 5,6 + 6) = \\ &= (3/8) \times (79,7) = 29,88 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Στο σχήμα 4.4θ όπως είπαμε, φαίνεται η μισή φρακτή. Επομένως το συνολικό εμβαδόν θα είναι  $59,77 \text{ m}^2$ .

### Παράδειγμα 6.

Για την ίδια φρακτή ζητείται να βρεθεί η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους της επιφάνειάς της.

Θα χρειαστεί τώρα να υπολογίσουμε, όπως εξηγήσαμε παραπάνω, τη ροπή της επιφάνειας γύρω από τον άξονα  $Oy$ .

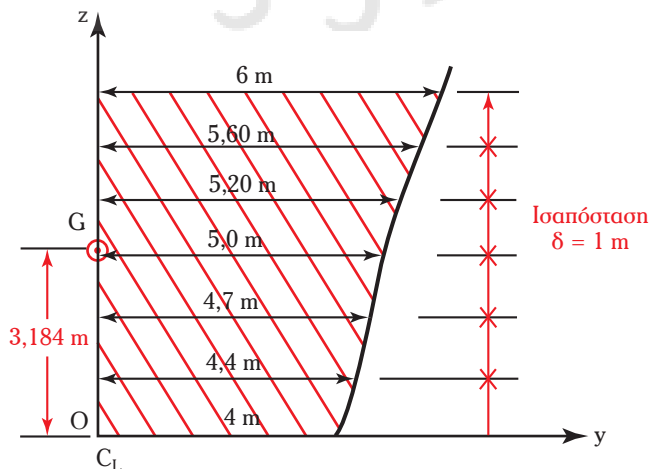
Η εργασία αυτή μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας το δεύτερο κανόνα του Simpson, με την παρατήρηση ότι αντί για τα ημιπλάτη της επιφάνειας θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το γινόμενο τους με τους αντίστοιχους βραχίονες που όπως φαίνεται από το σχήμα 4.4θ έχουν τιμές 0, 1, 2, 3, 4, 5 και 6 m.

Έτσι θα έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{Ροπή ως προς άξονα } Oy &= (3\delta/8) \times (0 \times Y_1 + 1 \times 3 \times Y_2 + 2 \times 3 \times Y_3 + 3 \times 2 \times Y_4 + 4 \times 3 \times \\ &\quad \times Y_5 + 5 \times 3 \times Y_6 + 6 \times Y_7) = (3/8) \times (0 + 1 \times 3 \times 4,4 + 2 \times 3 \times 4,7 + \\ &\quad + 3 \times 2 \times 5,0 + 4 \times 3 \times 5,2 + 5 \times 3 \times 5,6 + 6 \times 6) = (3/8) \times (253,8) = \\ &= 95,175 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Στο σχήμα 4.4θ όπως είπαμε, φαίνεται η μισή φρακτή. Επομένως, η συνολική ροπή θα είναι  $190,35 \text{ m}^3$  και αν συμβολίσουμε με  $G$  το κέντρο της επιφάνειας θα είναι:

$$OG = (190,35) / (59,77) = 3,184 \text{ m}$$



Σχ. 4.4θ.

### Σμείωση.

Στις περιπτώσεις πραγματικών υπολογισμών σε πλοία τα δεδομένα είναι πολύ περισσότερα και γι' αυτό, για λόγους απλουστεύσεως, οι σχετικοί υπολογισμοί, όπως θα δούμε γίνονται σε πίνακες.

#### 4.5 Τύποι και μεθοδολογία ευρέσεως γεωμετρικών ιδιοτήτων μη κανονικού όγκου.

Οι κανόνες αριθμητικής ολοκλήρωσεως της προηγούμενης παραγράφου μπορούν κατ' επέκταση να χρησιμοποιηθούν και για ολοκληρώσεις που δίνουν ιδιότητες του όγκου ακανονίστων σχημάτων [π.χ. των σχέσεων (31) και (32)]. Έτσι, αν στις θέσεις που έχουν μετρηθεί τα ύψη  $Y_1$ ,  $Y_2$  και  $Y_3$  του σχήματος 4.4ζ αντιστοιχούν οι επιφάνειες  $A_1$ ,  $A_2$  και  $A_3$ , θα έχουμε για τον όγκο σύμφωνα με τη σχέση (31):

$$\bar{V} = \frac{\delta}{3} [A_1 + 4A_2 + A_3]$$

και για τη ροπή του όγκου ως προς το επίπεδο zOy:

$$M_{zy} = \frac{\delta}{3} [A_1 X_1 + 4A_2 X_2 + A_3 X_3]$$

Είναι αυτονόητο ότι εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο δεύτερος κανόνας του Simpson.

#### 4.6 Μονάδες που χρησιμοποιούνται στη διεθνή ναυτιλιακή πρακτική.

Το Παράρτημα 2 στο τέλος του βιβλίου περιέχει βασικές πληροφορίες για τις μονάδες του μετρικού συστήματος, του αγγλικού τεχνικού συστήματος και του συστήματος SI, καθώς και συντελεστές για τη μετατροπή ποσοτήτων από ένα σύστημα σε κάποιο άλλο.

Ειδικότερα για τις ανάγκες αυτού του βιβλίου ισχύουν τα εξής:

##### 1) Μετρικό σύστημα.

Ως βασική μονάδα του μήκους χρησιμοποιείται το μέτρο (m) και οι υποδιαιρέσεις του σε εκατοστά (cm), της επιφάνειας το τετραγωνικό μέτρο ( $m^2$ ) και του όγκου το κυβικό μέτρο ( $m^3$ ). Οι ροπές των επιφανειών εκφράζονται σε ( $m^3$ ) και οι δεύτερες ροπές επιφάνειας ή/και οι ροπές όγκων σε ( $m^4$ ).

Για τις ταχύτητες χρησιμοποιείται ο **κόμβος** (knot) που είναι ίσος με 1852 m/hr.

Για το εκτόπισμα του πλοίου και τα βάρη γενικά χρησιμοποιείται ο **μετρικός τόνος** (MT).

Ο όρος **κόρος** (register ton) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της χωρητικότητας των πλοίων, μέγεθος που στην αγγλική γλώσσα ονομάζεται register tonnage ή απλά tonnage. Λόγω αυτής της αγγλικής ορολογίας συχνά δημιουργείται κάποια σύγχυση.

**Θα πρέπει λοιπόν εδώ να διευκρινίσουμε ότι ο κόρος είναι μονάδα μετρήσεως χωρητικότητας (όγκου) και είναι ίσος με  $100 \text{ ft}^3$ .**

##### 2) Αγγλικό τεχνικό σύστημα.

Αντίστοιχα, ως βασική μονάδα μετρήσεως του μήκους χρησιμοποιείται το πόδι (foot, ft) και οι υποδιαιρέσεις του σε ίντσες [(in), όπου  $1 \text{ ft} = 12 \text{ in}$ ], της επιφάνειας το τετραγωνικό πόδι ( $\text{ft}^2$ ) και του όγκου το κυβικό πόδι ( $\text{ft}^3$ ). Οι ροπές των επιφανειών εκφράζονται σε ( $\text{ft}^3$ ) και οι δεύτερες ροπές επιφάνειας ή/και οι ροπές όγκων σε ( $\text{ft}^4$ ).

Για τις ταχύτητες χρησιμοποιείται και εδώ ο **κόμβος**.

Για το εκτόπισμα του πλοίου και τα βάρη γενικά χρησιμοποιείται ο **αγγλικός όρος long ton** (LT).

### Ασκήσεις.

1. Τα ημιπλάτη της ισάλου ενός πλοίου, με μήκος 100 m, σε ισαποστάσεις, είναι σε m: 0,2, 7,0, 9,0, 10,2, 10,4, 10,2, 9,8, 8,6 και 0,2. Να βρεθεί, με χρησιμοποίηση του πρώτου κανόνα του Simpson το

- εμβαδόν της ισάλου και η διαμήκης απόσταση του κέντρου βάρους της από την πρυμναία κάθετο.
2. Τα εμβαδά των ισάλων επιφανειών της γάστρας ενός πλοίου σε ισαποστάσεις ενός μέτρου, σε  $m^2$ , απ' την τρόπιδα προς το κατάστρωμα, είναι: 100, 400, 800, 1400, 1700, 1900 και 2000. Να βρεθεί ο όγκος της γάστρας και η κατακόρυφη θέση του κέντρου του με χρησιμοποίηση του πρώτου και του δεύτερου κανόνα του Simpson.



## 5. ΕΥΡΕΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

### 5.1 Εισαγωγή.

Με βάση τους ορισμούς και τη μεθοδολογία των παραγράφων 4.4 και 4.5, οι υπολογισμοί για την εύρεση στοιχείων της γεωμετρίας του πλοίου είναι σχετικά απλοί. Οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν μπορούν να εφαρμοστούν τόσο για ολόκληρο το πλοίο, όσο και για συγκεκριμένους χώρους του, όπως για την εύρεση του όγκου και της θέσεως του κέντρου όγκου ενός κύτους ή του περιεχόμενου μιας δεξαμενής του.

**Για την περίπτωση ολόκληρου του πλοίου, η αρχή του συστήματος συντεταγμένων θα θεωρηθεί ότι είναι τοποθετημένη πάνω στην πρυμναία κάθετα. Η επιλογή αυτή δεν είναι η μοναδική, είναι όμως αρκετά συνηθισμένη, αν και πολλά ναυπηγεία στα σχέδια των πλοίων χρησιμοποιούν το μέσον του για την τοποθέτηση του συστήματος συντεταγμένων.**

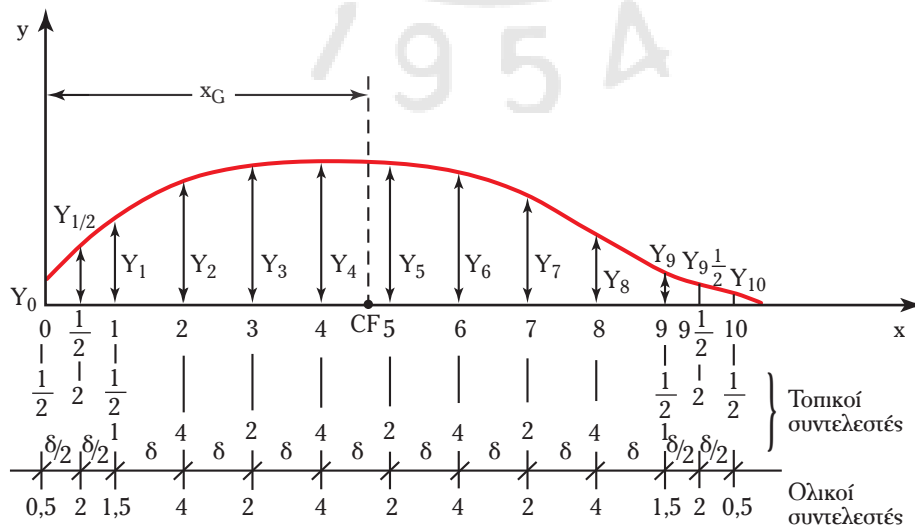
Όπως είδαμε, στο σχέδιο γραμμών χρησιμοποιούνται τομές σε ισαποστάσεις, ενώ στα άκρα του (πλώρη και πρύμνη) επειδή το σχήμα αλλάζει πολύ, έχουμε τομές και στο μισό των ισαποστάσεων. Σ' αυτήν την τελευταία περίπτωση, όπως θα δούμε και στο παράδειγμα της παραγράφου 5.2, για την ευκολότερη εφαρμογή των κανόνων Simpson, στους σχετικούς τύπους χρησιμοποιούμε μια σταθερή ισαπόσταση με κατάλληλη (αναλογική) όμως προσαρμογή των συντελεστών Simpson για τα σημεία εκείνα όπου έχουν ληφθεί μετρήσεις τιμών και απέχουν μεταξύ τους το μισό της ισαποστάσεως.

### 5.2 Εύρεση ιδιοτήτων ισάλων πλοίου.

Οι γεωμετρικές ιδιότητες των ισάλων του πλοίου, οι οποίες, όπως θα φανεί παρακάτω, είναι χρήσιμες για διάφορους υπολογισμούς, είναι:

- 1) Το εμβαδόν της ισάλου.
- 2) Η θέση του κέντρου της ισάλου κατά τη διαμήκη έννοια.
- 3) Οι ροπές αδράνειας (δεύτερες ροπές) της επιφάνειας της ισάλου ως προς διαμήκη και εγκάρσιο άξονα που περνούν από το κέντρο της.

Το σχήμα 5.2 παριστάνει την ισάλο ενός πλοίου με μετρήσεις του μισού πλάτους (ημιπλάτη) σε ισαπο-



Σχ. 5.2.

Ημεισαγμένες ισάλο επιφάνειας πλοίου.

στάσεις σε μεγάλο τμήμα του μήκους του και στο μισό των ισαποστάσεων στα άκρα του.

Κατά τη διαμήκη έννοια το σύστημα συντεταγμένων είναι τοποθετημένο στην πρυμναία κάθετο του πλοίου και οι τομές (και τα ημιπλάτη) είναι αριθμολογημένα από 0 έως 10. Στο κάτω μέρος του σχήματος φαίνονται οι αντίστοιχοι συντελεστές Simpson (τοπικοί συντελεστές), οι οποίοι στις άκρες, επειδή η ισαπόσταση είναι ίση με το μισό της κανονικής, έχουν τιμές ίσες με το μισό των κανονικών συντελεστών (αυτών δηλ. που εμφανίζονται στον πρώτο κανόνα όπως είδαμε στην παράγρ. 4.4). Οι ολικοί συντελεστές προκύπτουν από την άθροιση των τοπικών σε κάθε τομή.

Για ευκολότερη επεξεργασία οι σχετικοί υπολογισμοί διατάσσονται σε πίνακα. Για την εύρεση του αποτελέσματος των αντιστοίχων ολοκληρωμάτων είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των παρακάτω συντελεστών, ο ορισμός των οποίων είναι προφανής αν λάβομε υπόψη μας τις αντίστοιχες σχέσεις της παραγράφου 4.2 και το γεγονός ότι τα αποτελέσματα που ζητάμε αφορούν σε ολόκληρη και όχι στη μισή ίσαλο που φαίνεται στο σχήμα 5.2. Οι συντελεστές αυτοί είναι:

|  | Σχέση από την οποία προκύπτει | Ποσότητα για ολοκλήρωση | Συντελεστής ολοκληρώματος  |
|--|-------------------------------|-------------------------|--|
| Εμβαδόν (A)                                      | (26)                          | y                       | $S_1 = \frac{\delta}{3} \times 2 = \frac{2\delta}{3}$                    |
| Ροπή επιφάνειας ( $M_y$ ) ως προς $Oy$           | (28)                          | yx                      | $S_2 = \frac{\delta}{3} \times \delta \times 2 = \frac{2\delta^2}{3}$    |
| Ροπή αδράνειας επιφάνειας ως προς $Ox$ ( $I_x$ ) | (29)                          | $\frac{y^3}{3}$         | $S_3 = \frac{\delta}{3} \times \frac{1}{3} \times 2 = \frac{2\delta}{9}$ |
| Ροπή αδράνειας επιφάνειας ως προς $Oy$ ( $I_y$ ) | (30)                          | $yx^2$                  | $S_4 = \frac{\delta}{3} \times \delta^2 \times 2 = \frac{2\delta^3}{3}$  |

### Ενδιαφέρουσα σημείωση.

Οι συντελεστές ολοκληρώσεως  $S_i$  ( $S_1, S_2, \dots, S_n$ ) στον παραπάνω πίνακα προκύπτουν από τις σχέσεις της παραγράφου 4.2, ως γινόμενο του  $\delta/3$  που αφορά σε κάθε ολοκλήρωση με τον πρώτο κανόνα του Simpson και της προς ολοκλήρωση ποσότητας του x, αφού αντικαταστήσουμε το x με το  $\delta$  στην ίδια δύναμη και πολλαπλασιάσουμε επί 2 για να λάβομε υπόψη και τις δύο πλευρές του πλοίου.

Για παράδειγμα, για τη ροπή αδράνειας της επιφάνειας  $I_y$ , ο συντελεστής  $S_4$ , προκύπτει πολλαπλασιάζοντας το γνωστό πολλαπλασιαστή του πρώτου κανόνα του Simpson  $\delta/3$ , με το  $\delta^2$  (που αντιστοιχεί στο  $x^2$ ), καθώς επίσης και επί 2. Επομένως είναι:

$$S_4 = (\delta/3) \times \delta^2 \times 2$$

Αντίστοιχα στην περίπτωση της ροπής  $I_x$ , η ποσότητα προς ολοκλήρωση είναι  $1/3$  (χωρίς να υπάρχει καθόλου το x) και επομένως για το  $S_3$  θα έχουμε:

$$S_3 = (\delta/3) \times (1/3) \times 2$$

### Παράδειγμα.

Να βρεθούν οι γεωμετρικές ιδιότητες της ισάλου του σχήματος 5.2. Η σταθερή διαμήκης ισαπόσταση είναι 10,4 m και τα ημιπλάτη σε κάθε τομή δίνονται στη στήλη 2 του πίνακα 5.2.1 σε m. Το μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου είναι 104 m.

**Πίνακας 5.2.1**  
**Υπολογισμοί ιδιοτήτων ισάλου πλοίου.**

| στήλη 1         | στήλη 2       | στήλη 3                     | στήλη 4                                  | στήλη 5  | στήλη 6                           | στήλη 7  | στήλη 8  |
|-----------------|---------------|-----------------------------|--|--|-----------------------------------|--|--|
| Τομή            | Ημιπλάτη<br>Y | Συντε-<br>λεστές<br>Simpson | Γινόμενο για<br>επιφάνεια =<br>(2) × (3) | Γινόμενο για<br>ροπή ως προς<br>Oy = (4) × (1) | Y <sup>3</sup> = (2) <sup>3</sup> | Γινόμενο<br>για ροπή<br>I <sub>x</sub> = (3) × (6) | Γινόμενο<br>για ροπή<br>I <sub>y</sub> = (1) × (5) |
| 0               | 1,531         | 0,5                         | 0,765                                    | 0,000  | 3,588                             | 1,794  | 0,000  |
| ½ (0,5)         | 3,871         | 2,0                         | 7,742                                    | 3,871  | 58,005                            | 116,010  | 1,935  |
| 1               | 5,705         | 1,5                         | 8,557                                    | 8,557  | 185,680                           | 278,520  | 8,557  |
| 2               | 8,073         | 4,0                         | 32,292                                   | 64,584   | 526,144                           | 2104,576   | 129,168  |
| 3               | 9,280         | 2,0                         | 18,560                                   | 55,680   | 799,178                           | 1598,356   | 167,040  |
| 4               | 9,804         | 4,0                         | 39,216                                   | 156,864  | 942,345                           | 3769,380   | 627,456  |
| 5               | 9,839         | 2,0                         | 19,678                                   | 98,390   | 951,312                           | 1902,624   | 491,95   |
| 6               | 9,475         | 4,0                         | 37,900                                   | 227,400  | 850,624                           | 3405,496   | 1364,40  |
| 7               | 7,583         | 2,0                         | 15,166                                   | 106,162  | 436,036                           | 872,072  | 743,134  |
| 8               | 4,613         | 4,0                         | 18,452                                   | 147,616  | 98,163                            | 392,652  | 1180,928   |
| 9               | 1,963         | 1,5                         | 2,944                                    | 26,496   | 7,564                             | 11,346   | 238,464  |
| 9 ½ (9,5)       | 1,070         | 2,0                         | 2,140                                    | 20,330   | 1,225                             | 2,450  | 193,135  |
| 10              | 0,638         | 0,5                         | 0,319                                    | 3,190  | 0,259                             | 0,129  | 30,190   |
| <b>Άθροισμα</b> |               |                             | <b>Σ<sub>1</sub> = 203,731</b>           | <b>Σ<sub>2</sub> = 919,14</b>                  |                                   | <b>Σ<sub>3</sub> = 14,452,405</b>                  | <b>Σ<sub>4</sub> = 5176,357</b>                    |

Με τα ημιπλάτη της ισάλου που δίνονται στη στήλη 2 του πίνακα 5.2.1 συμπληρώνουμε τις υπόλοιπες στήλες του και βρίσκουμε τα αθροίσματα Σ<sub>1</sub>, Σ<sub>2</sub>, Σ<sub>3</sub> και Σ<sub>4</sub>. Στη συνέχεια υπολογίζουμε τις τιμές των συντελεστών:

$$S_1 = \frac{2}{3} \delta = \frac{2}{3} (10,4) = 6,933$$

$$S_2 = \frac{2}{3} \delta^2 = \frac{2}{3} (10,4)^2 = 72,106$$

$$S_3 = \frac{2}{9} \delta = \frac{2}{9} (10,4) = 2,311$$

$$S_4 = \frac{2\delta^3}{3} = \frac{2}{3} (10,4)^3 = 749,91$$

Οι επιθυμητές ιδιότητες της ισάλου μπορούν στη συνέχεια να βρεθούν από τις σχέσεις:

$$\text{Εμβαδόν} = A = S_1 \times \Sigma_1 = 6,933 \times 203,731 = 1412,467 \text{ m}^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή επιφάνειας} \\ \text{ως προς } O_y \end{array} \right\} = M_y = S_2 \times \Sigma_2 = 72,106 \times 919,14 = 66275,5 \text{ m}^3$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή αδράνειας} \\ \text{επιφάνειας ως προς } O_x \end{array} \right\} = I_y = S_3 \times \Sigma_3 = (2,311)(14452,405) = 33399 \text{ m}^4$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ροπή αδράνειας} \\ \text{επιφάνειας ως προς } O_y \end{array} \right\} = I_y = S_4 \times \Sigma_3 = (749,91)(5176,357) = 3881802 \text{ m}^4$$

Η διαμήκης θέση του κέντρου της ισάλου μπορεί να βρεθεί από τη σχέση (20):

$$x_G = \frac{M_y}{A} = \frac{66275,5}{1412,467} = 46,92 \text{ m}$$

Λόγω της συμμετρίας της ισάλου, το  $y_G$  έχει την τιμή μηδέν. Τέλος η ροπή αδράνειας της επιφάνειας της ισάλου ως προς εγκάρσιο άξονα που περνά από το κέντρο της μπορεί να βρεθεί από τη σχέση (25):

$$I_{yy} = I_y - A \times x_G^2 = 3881802 - (1412,467)(46,92)^2 = 772275 \text{ m}^4$$

Με το παραπάνω παράδειγμα γίνεται φανερό, πώς μπορούμε, όταν δοθούν τα ημιπλάτη της ισάλου ενός πλοίου, να βρούμε την επιφάνειά της, τις ροπές αδράνειάς της γύρω από τους κεντροβαρικούς άξονές της και τη διαμήκη θέση του κέντρου της επιφάνειας. **Το κέντρο της επιφάνειας της ισάλου ενός πλοίου είναι γνωστό με το όνομα κέντρο πλευσιότητας και συμβολίζεται ως CF** (center of flotation).

Στη μελέτη της γεωμετρίας του πλοίου παρόμοιοι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται για διάφορες ισάλους.

### 5.3 Εύρεση ιδιοτήτων εγκαρσίων τομών του πλοίου.

Με ανάλογο τρόπο μπορούν να βρεθούν και οι ιδιότητες οποιασδήποτε εγκάρσιας τομής του πλοίου. Οι πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν σ' αυτήν την περίπτωση είναι το εμβαδόν και η κατακόρυφη θέση του κέντρου της.

Τέτοιοι υπολογισμοί στη μελέτη της γεωμετρίας του πλοίου γίνονται για διάφορες ισάλους σε κάθε εγκάρσια τομή (station). Σχετικό παράδειγμα είδαμε στην περίπτωση του σχήματος 4.4θ.

### 5.4 Εύρεση ιδιοτήτων όγκου της γάστρας με διαμήκη ολοκλήρωση.

Η επιφάνεια των εγκαρσίων τομών μπορεί να ολοκληρωθεί κατά μήκος του πλοίου και, με βάση τις σχέσεις (31), (32) και (33), να μας δώσει τον όγκο και τη διαμήκη θέση του κέντρου όγκου των υφάλων.

Οι συντελεστές της ολοκλήρωσης μπορούν να βρεθούν όπως και στην παράγραφο 5.2.

Εφαρμογή της μεθόδου για το πλοίο του παραδείγματος της σελ. 46 φαίνεται παρακάτω:

| Στοιχείο υπολογισμού         | Σχέση από την οποία προκύπτει | Ποσότητα για ολοκλήρωση | Συντελεστής ολοκλήρωματος  |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| Όγκος ( $\bar{V}$ )          | (31)                          | A                       | $S_5 = \frac{1}{3} \delta$   |
| Ροπή όγκου ως προς zOy (Mzg) | (32)                          | A × x                   | $S_6 = \frac{1}{3} \times \delta \times \delta = \frac{1}{3} \delta^2$ |

### Παράδειγμα.

Να βρεθεί ο όγκος και η διαμήκης θέση του κέντρου όγκου ενός πλοίου όταν πλέει σε βύθισμα 5 m. Η σταθερή ισαπόσταση των σταθμών είναι 10,4 m και οι επιφάνειές τους σε m<sup>2</sup> δίνονται στη στήλη 2 του πίνακα 5.4.1. Το μήκος του πλοίου μεταξύ καθέτων είναι 104 m.

Με τη βοήθεια των επιφανειών που δίνονται στη στήλη 2 του πίνακα 5.4.1 συμπληρώνουμε τις υπόλοιπες στήλες και βρίσκουμε τα αθροίσματα  $\Sigma_5$  και  $\Sigma_6$ . Στη συνέχεια υπολογίζουμε τις τιμές των συντελεστών:



**Πίνακας 5.4.1**  
**Υπολογισμοί ιδιοτήτων όγκου πλοίου.**

| στίλη 1         | στίλη 2                         | στίλη 3                | στίλη 4                          | στίλη 5  |
|-----------------|---------------------------------|------------------------|----------------------------------|--|
| Τομή            | Επιφάνεια (A)<br>m <sup>2</sup> | Συντελεστής<br>Simpson | Γινόμενο για όγκο<br>= (2) × (3) | Γινόμενο για ροπή<br>M <sub>zy</sub> = (4) × (1) |
| 0               | 1,979                           | 0,5                    | 0,989                            | 0,000  |
| ½ (0,5)         | 11,948                          | 2,0                    | 23,896                           | 11,948   |
| 1               | 26,925                          | 115                    | 40,387                           | 40,438   |
| 2               | 53,847                          | 4,0                    | 215,388                          | 430,776  |
| 3               | 73,820                          | 2,0                    | 147,640                          | 442,920  |
| 4               | 87,142                          | 4,0                    | 348,568                          | 1394,272   |
| 5               | 90,895                          | 2,0                    | 181,790                          | 908,950  |
| 6               | 83,840                          | 4,0                    | 335,360                          | 2012,160   |
| 7               | 59,099                          | 2,0                    | 118,198                          | 827,386  |
| 8               | 30,485                          | 4,0                    | 121,940                          | 975,520  |
| 9               | 11,829                          | 1,5                    | 17,744                           | 159,691  |
| 9 ½ (9,5)       | 8,063                           | 2,0                    | 16,126                           | 153,197  |
| 10              | 5,892                           | 0,5                    | 2,946                            | 29,046   |
| <b>Άθροισμα</b> |                                 |                        | <b>Σ<sub>5</sub> = 1570,972</b>  | <b>Σ<sub>6</sub> = 7386,718</b>                  |

$$S_5 = \frac{1}{3} \delta = \frac{1}{3} (10,4) = 3,466$$

$$S_6 = \frac{1}{3} \delta^2 = \frac{1}{3} (10,4)^2 = 36,053$$

Οι ιδιότητες του όγκου μπορούν στη συνέχεια να βρεθούν από τις σχέσεις:

$$\text{Όγκος υφάλων} = \bar{V} = S_5 \times \Sigma_6 = (3,466)(1570,972) = 5445 \text{ m}^3$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ροπή όγκου} \\ \text{ως προς zOy} \end{array} \right\} = M_{zy} = S_6 \times \Sigma_6 = (36,053)(7386,18) = 266313 \text{ m}^4$$

Η διαμήκης θέση του κέντρου όγκου  $X_{\bar{V}}$  βρίσκεται από τη σχέση (33):

$$X_{\bar{V}} = \frac{266313}{5445} = 48,911 \text{ m}$$

Στη μελέτη της γεωμετρίας του πλοίου οι παραπάνω υπολογισμοί επαναλαμβάνονται για διάφορα βυθίσματα.

### 5.5 Εύρεση ιδιοτήτων όγκου με κατακόρυφη ολοκλήρωση.

Εναλλακτικά και ακολουθώντας αντίστοιχη διαδικασία είναι δυνατή η κατακόρυφη ολοκλήρωση των επιφανειών των ισάλων. Η ολοκλήρωση αυτή μας ξαναδίνει τον όγκο μέχρι κάποια ίσαλο (που μπορεί για έλεγχο της ακρίβειας να συγκριθεί με εκείνον που βρίσκεται από τη διαμήκη ολοκλήρωση για την ίδια ίσαλο) και την κατακόρυφη θέση του κέντρου όγκου των υφάλων του πλοίου.

## 5.6 Υδροστατικό διάγραμμα.

Κατά τη διάρκεια της ζωής ενός πλοίου η συνεχής μεταβολή του φορτίου του και μερικές φορές και του βάρους της σιδηροκατασκευής του, όπως συμβαίνει στην περίπτωση μετασκευής του, έχουν ως αποτέλεσμα τη συνεχή μεταβολή των συνθηκών πλεύσεώς του (εκτόπιση, βύθισμα και διαγωγή).

Οι υπολογισμοί των προηγούμενων παραγράφων του παρόντος κεφαλαίου έχουν ως στόχο να παρέχουν τις ιδιότητες των επιφανειών ή του όγκου των υφάλων ενός πλοίου, πληροφορίες που είναι απαραίτητες, όπως θα δούμε σε πολλές περιπτώσεις στα επόμενα κεφάλαια, για την πραγματοποίηση υπολογισμών σχετικά με την πλευστότητα και την ευστάθειά του σε διάφορες καταστάσεις φορτώσεως.

Επειδή, όπως είδαμε, οι υπολογισμοί των διαφόρων γεωμετρικών ιδιοτήτων των επιφανειών των ισάλων και του όγκου των υφάλων του πλοίου είναι αρκετά επίπονοι, συνήθως γίνονται μία φορά, στη φάση της σχεδιάσεώς του και τα σχετικά αποτελέσματα αποτυπώνονται με τη μορφή μιας δέσμης από καμπύλες, σ' ένα βασικό σχέδιο, γνωστό ως **υδροστατικό διάγραμμα** (hydrostatic sheet), ή **υδροστατικές καμπύλες** (hydrostatic curves).

Το υδροστατικό διάγραμμα μας δίνει, για κάθε μέσο βύθισμα ή πιο σωστά για το βύθισμα στο κέντρο πλευστότητας, τις γεωμετρικές ιδιότητες της επιφάνειας της ισάλου και αυτές του όγκου των υφάλων του κάτω απ' αυτήν. Επί πλέον, το υδροστατικό διάγραμμα παρέχει και άλλες πληροφορίες πολύ χρήσιμες για τους χειριστές των πλοίων, που μπορούν εύκολα να υπολογισθούν από τις γεωμετρικές ιδιότητες των επιφανειών των ισάλων και του όγκου των υφάλων του.

Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά οι πληροφορίες που περιέχει το υδροστατικό διάγραμμα και ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται. **Η ανάγκη για την ύπαρξη όλων αυτών των πληροφοριών και για τη χρήση τους, σε καθημερινή σχεδόν βάση, από τους χειριστές τους θα αναπτυχθεί σε επόμενα κεφάλαια.**

**1) Όγκος εκτόπισματος – Εκτόπιση σε γλυκό νερό** (volume of displacement – displacement in fresh water).

Προκύπτει με απ' ευθείας ολοκλήρωση, κατά μήκος των επιφανειών των εγκαρσίων τομών (σταθμών) ή καθ' ύψος των επιφανειών των παρισάλων. Ένα παράδειγμα αποτελούν οι υπολογισμοί του πίνακα 5.4.1.

Ο όγκος του εκτόπισματος συμβολίζεται με  $\bar{V}$  και το εκτόπιση σε γλυκό νερό με  $\Delta_{fw}$ . Ο όγκος εκφράζεται στο μετρικό σύστημα σε  $m^3$  και στο αγγλικό σε  $ft^3$ . Το εκτόπιση εκφράζεται σε MT και LT. Γενικά ισχύουν οι σχέσεις:

$$\Delta_{fw} (MT) = \bar{V} (m^3) \quad (40)$$

$$\Delta_{fw} (LT) = \bar{V} (ft^3)/36$$

$$\Delta (MT) = \Delta (LT) \times 1,016 \quad (41)$$

Διακρίνουμε **όγκο ή εκτόπιση αναφοράς** (molded volume, molded displacement) και **όγκο ή εκτόπιση ολικό** (volume overall, displacement overall) που αποτελούν μεγέθη, τα οποία περιλαμβάνουν και τον όγκο των ελασμάτων του περιβλήματος, αλλά και άλλων προεξοχών που βρίσκονται έξω από την κυρίως γάστρα, όπως είναι το πηδάλιο, τα σπρίγματα αξόνων κ.λπ..

**2) Εκτόπιση σε θάλασσα** (displacement in salt water).

Η πυκνότητα του θαλάσσιου νερού μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την περιοχή, τη θερμοκρασία, την αλατότητα και άλλα στοιχεία. Για τα πλοία επιφάνειας ο υπολογισμός του εκτόπισματος γίνεται σε μία μέση πυκνότητα που λαμβάνεται ίση με 1,025. Σε πλοία όπου ο υπολογισμός του βάρους πρέπει να είναι πολύ ακριβής (υποβρύχια ή πλοία επιφάνειας κατά τη διάρκεια του πειράματος ευστάθειας) λαμβάνεται υπόψη η ακριβής τιμή της πυκνότητας του θαλάσσιου νερού. Στο υδροστατικό διάγραμμα δίνεται το εκτόπιση του πλοίου σε θάλασσα ( $\Delta_{sw}$ ) για μέση πυκνότητα ίση με 1,025.

Γενικά ισχύουν οι σχέσεις:

$$\Delta_{sw} (MT) = (1,025) \times \bar{V} (m^3) \quad (42)$$

και

$$\Delta_{sw} (LT) = \bar{V} (ft^3)/35 \quad (43)$$

### 3) Διαμήκης θέση του κέντρου όγκου (longitudinal Center of Buoyancy–LCB).

Είναι η διαμήκης απόσταση του κέντρου όγκου του πλοίου (κέντρο ανώσεως) από τον άξονα αναφοράς για διαμήκεις μετρήσεις και μετρείται σε m ή ft. Παλαιότερα ως άξονα αναφοράς χρησιμοποιούσαν το μέσο του πλοίου. Σήμερα έχει επικρατήσει η μέτρηση να γίνεται από την πρυμναία κάθετο. Η διαμήκης θέση του κέντρου όγκου βρίσκεται με ολοκλήρωση κατά μήκος, των ροπών των επιφανειών των εγκαρσίων τομών και στη συνέχεια με διαίρεση του αποτελέσματος με τον όγκο (πίνακας 5.4.1).

### 4) Κατακόρυφη θέση του κέντρου όγκου (vertical center of buoyancy–VCB).

Είναι η κατακόρυφη απόσταση του κέντρου όγκου του πλοίου πάνω από το βασικό επίπεδο αναφοράς και μετρείται σε m ή ft. Υπολογίζεται με ολοκλήρωση καθ' ύψος, των ροπών των επιφανειών των παριστάλων και στη συνέχεια διαίρεση του αποτελέσματος με τον όγκο.

### 5) Ιδιότητες ισάλου.

Οι ιδιότητες ισάλου που μας είναι χρήσιμες στους υπολογισμούς είναι:

α) Το εμβαδόν επιφάνειας ισάλου, σε  $m^2$  ή  $ft^2$ .

β) Η ροπή αδράνειας επιφάνειας ισάλου ως προς το διαμήκη άξονα συμμετρίας, σε  $m^4$  ή  $ft^4$ .

γ) Η ροπή αδράνειας ισάλου ως προς εγκάρσιο άξονα που περνά από το κέντρο πλευστότητας, σε  $m^4$  ή  $ft^4$ .

δ) Η **διαμήκης θέση του κέντρου πλευστότητας** (longitudinal center of flotation, LCF) που εκφράζει την απόσταση του κέντρου πλευστότητας από τον άξονα αναφοράς για διαμήκεις μετρήσεις (μέσο του πλοίου ή πρυμναία κάθετο) σε m ή ft.

Η εύρεση όλων των παραπάνω στοιχείων φαίνεται στο παράδειγμα της παραγράφου 5.2 (σελ. 46).

### 6) Τόνοι ανά εκατοστό (tons per cm, TP1cm ή TPC) ή τόνοι ανά ίντσα (tons per inch, TP1in ή TPI) παράλληλης βυθίσεως.

Το μέγεθος αυτό δίνει την αύξηση του εκτοπίσματος του πλοίου σε θάλασσα (πυκνότητας 1,025), όταν αυτό βυθιστεί παράλληλα κατά ένα cm ή μία in αντίστοιχα (σε θάλασσα πυκνότητας 1,025).

Ισχύουν οι σχέσεις:

$$TP_{cm} = TPC = A(m^2) \times 1,025/100 \quad (44)$$

και

$$TP_{in} = TPI = A(ft^2) / (12 \times 35) = A(ft^2)/420 \quad (45)$$

όπου A είναι η επιφάνεια της ισάλου.

### 7) Κατακόρυφη θέση εγκάρσιου μετακέντρου ( $KM_T$ ).

Εκφράζει την κατακόρυφη απόσταση του εγκάρσιου μετακέντρου πάνω από το βασικό επίπεδο αναφοράς. Εκφράζεται σε m ή ft. (Ο ορισμός του εγκάρσιου μετακέντρου δίνεται στο όγδοο κεφάλαιο).

Ισχύουν οι σχέσεις:

$$BM_T = \text{Εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα} = \frac{I_{xx}}{V} \quad (46)$$

και

$$KM_T = KB + BM_T \quad (47)$$

### 8) Κατακόρυφη θέση διαμήκους μετακέντρου ( $KM_L$ ).

Εκφράζει την κατακόρυφη απόσταση του διαμήκους μετακέντρου πάνω από το βασικό επίπεδο αναφοράς. Εκφράζεται σε m ή ft. (Ο ορισμός του διαμήκους μετακέντρου δίνεται στο δωδέκατο κεφάλαιο).

Ισχύουν οι σχέσεις:

$$BM_L = \text{Διαμήκης μετακεντρική ακτίνα} = \frac{I_{yy}}{V} \quad (48)$$

και

$$KM_L = KB + BM_L \quad (49)$$

### 9) Ροπή μεταβολής διαγωγής κατά ένα cm ή μία in (moment to change trim 1 cm, MCT 1 cm) ή moment to change trim 1 inch (MCT 1 in).

Το μέγεθος αυτό δίνει τη ροπή που πρέπει να επενεργήσει στο πλοίο ώστε να αλλάξει η διαγωγή του κατά ένα cm ή μία in (σε θάλασσα πυκνότητας 1,025). Ισχύουν οι σχέσεις:

$$MCT1 \text{ cm} = \frac{\Delta_{sw} (MT) \times GM_L (m)}{100 \times L (m)} \left( \frac{MT - m}{\text{cm}} \right) \quad (50)$$

ή

$$MCT1 \text{ in} = \frac{\Delta_{sw} (LT) \times GM_L (ft)}{12 \times L (ft)} \left( \frac{LT - ft}{\text{in}} \right) \quad (51)$$

όπου:  $GM_L$  είναι η κατακόρυφη θέση του διαμήκους μετακέντρου πάνω από το κέντρο βάρους του πλοίου σε m ή ft και  $L$  το μήκος του πλοίου μεταξύ καθέτων σε m ή ft. Επειδή το  $GM_L$  δεν διαφέρει πολύ από το  $BM_L$ , οι παραπάνω σχέσεις μπορούν να πάρουν τη μορφή:

$$MCT1 \text{ cm} \approx \frac{\Delta_{sw} (MT) \times BM_L (m)}{100 \times L (m)} \left( \frac{MT - m}{\text{cm}} \right) \quad (52)$$

και

$$MCT1 \text{ in} \approx \frac{\Delta_{sw} (LT) \times BM_L (ft)}{12 \times L (ft)} \left( \frac{LT - ft}{\text{in}} \right) \quad (53)$$

### 10) Βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου (wetted surface).

Παριστάνει το εμβαδόν της βρεχόμενης επιφάνειας των υφάλων του πλοίου. Συμβολίζεται με  $S$  και μετρείται σε  $m^2$  ή  $ft^2$ . Βρίσκεται με ολοκλήρωση.

### 11) Αδιάστατοι συντελεστές μορφής γάστρας και ισάλου (form coefficients).

Περιγράφουν σε αδιάστατη μορφή τη γάστρα του πλοίου και των ισάλων του, για σύγκριση με άλλα, πλοία ή για άλλες χρήσεις. Αρκετά συχνή χρήση έχουν οι συντελεστές:

α) **Συντελεστής εκτοπίματος** ή **γάστρας** (block coefficient).

$$C_b = \frac{\bar{V}}{LBH} \quad (54)$$

β) **Πρισματικός συντελεστής** (prismatic coefficient).

$$C_p = \frac{\bar{V}}{LA_x} \quad (55)$$

γ) **Συντελεστής μέσης τομής** (midship section efficient).

$$C_x = \frac{A_x}{BH} \quad (56)$$

δ) **Συντελεστής ισάλου επιφάνειας** (waterplane coefficient).

$$C_w = \frac{A}{LB} \quad (57)$$

όπου: L είναι το μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου (m ή ft), B το πλάτος του πλοίου (m ή ft), H το **μέσο** βύθισμα (m ή ft),  $A_x$  η επιφάνεια της μέσης τομής ( $m^2$  ή  $ft^2$ ), A η επιφάνεια της ισάλου ( $m^2$  ή  $ft^2$ ) και V ο όγκος του εκτοπίσματος ( $m^3$  ή  $ft^3$ ).

Από τους ορισμούς των παραπάνω συντελεστών προκύπτει επίσης ότι ισχύει η σχέση:

$$C_p = C_b / C_x \quad (58)$$

Ένα τυπικό υδροστατικό διάγραμμα ενός πλοίου φαίνεται στο σχήμα 5.6. Διευκρινίζεται ότι η μορφή και οι πληροφορίες που παρέχονται στα διάφορα υδροστατικά διαγράμματα ποικίλλουν.

Στο σχήμα αυτό η κατακόρυφη κλίμακα δίνει **το βύθισμα του πλοίου στο κέντρο πλευστότητας** και οι οριζόντιες κλίμακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάγνωση όλων των άλλων χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν παραπάνω και δίνονται από τις αντίστοιχες καμπύλες. Η κλίμακα που βρίσκεται στην άνω αριστερή πλευρά του σχεδίου χρησιμεύει για την ανάγνωση της καμπύλης που δίνει το  $C_b$ . Η διαμήκης θέση του κέντρου όγκου και του κέντρου πλευστότητας (προς πλώρα ή προς την πρύμη) δίνονται στο υδροστατικό διάγραμμα του σχήματος 5.6 σε σχέση με το μέσο του πλοίου.

**Επαναλαμβάνεται ότι το υδροστατικό διάγραμμα δίνει σωστές πληροφορίες μόνο για το ισοβύθιστο πλοίο.**

### Παράδειγμα 1.

Το πλοίο που έχει το υδροστατικό διάγραμμα του σχήματος 5.6 έχει μήκος μεταξύ καθέτων 134,62 m. Να βρεθούν τα υδροστατικά του στοιχεία όταν πλέει, ισοβύθιστο και σε βύθισμα 7 m. Η διαμήκης θέση του κέντρου όγκου και του κέντρου πλευστότητας να δοθούν σε σχέση με την πρυμναία κάθετο.

Η εύρεση των ζητούμενων στοιχείων γίνεται όπως δείχνει η δέσμη από συνεχείς κόκκινες γραμμές.

Έτσι μπορούμε από το διάγραμμα να πραγματοποιήσουμε τις παρακάτω αναγνώσεις:

- Όγκος εκτοπίσματος αναφοράς  $12.400 \text{ m}^3$ .
- Όγκος εκτοπίσματος ολικός  $12.440 \text{ m}^3$ .
- Κατακόρυφη θέση κέντρου όγκου = KB = 3,8 m.
- Κατακόρυφη θέση εγκάρσιου μετακέντρου =  $KM_T = 7,84 \text{ m}$ .
- Τόνοι ανά εκατοστό παράλληλης βυθίσεως =  $TP_{cm} = 20,6 \text{ (MT/cm)}$ .
- Ροπή μεταβολής διαγωγής κατά 1 cm =  $MCT1cm = 163 \text{ (MT-m/cm)}$ .
- Επιφάνεια ισάλου =  $A = 2088 \text{ m}^2$ .
- Διαμήκης θέση κέντρου πλευστότητας = 1,54 m προς πρύμα του μέσου.
- Διαμήκης θέση κέντρου όγκου 0,34 m προς πλώρα του μέσου.
- Συντελεστής  $C_B = 0,705$ .

Αν σημειώσουμε ότι το μέσο του πλοίου βρίσκεται  $134,62/2$ , δηλαδή 67,31 m προς πλώρα της πρυμναίας καθέτου, έχουμε:

$$LCF = 67,31 - 1,59 = 65,72 \text{ (m)}$$

και

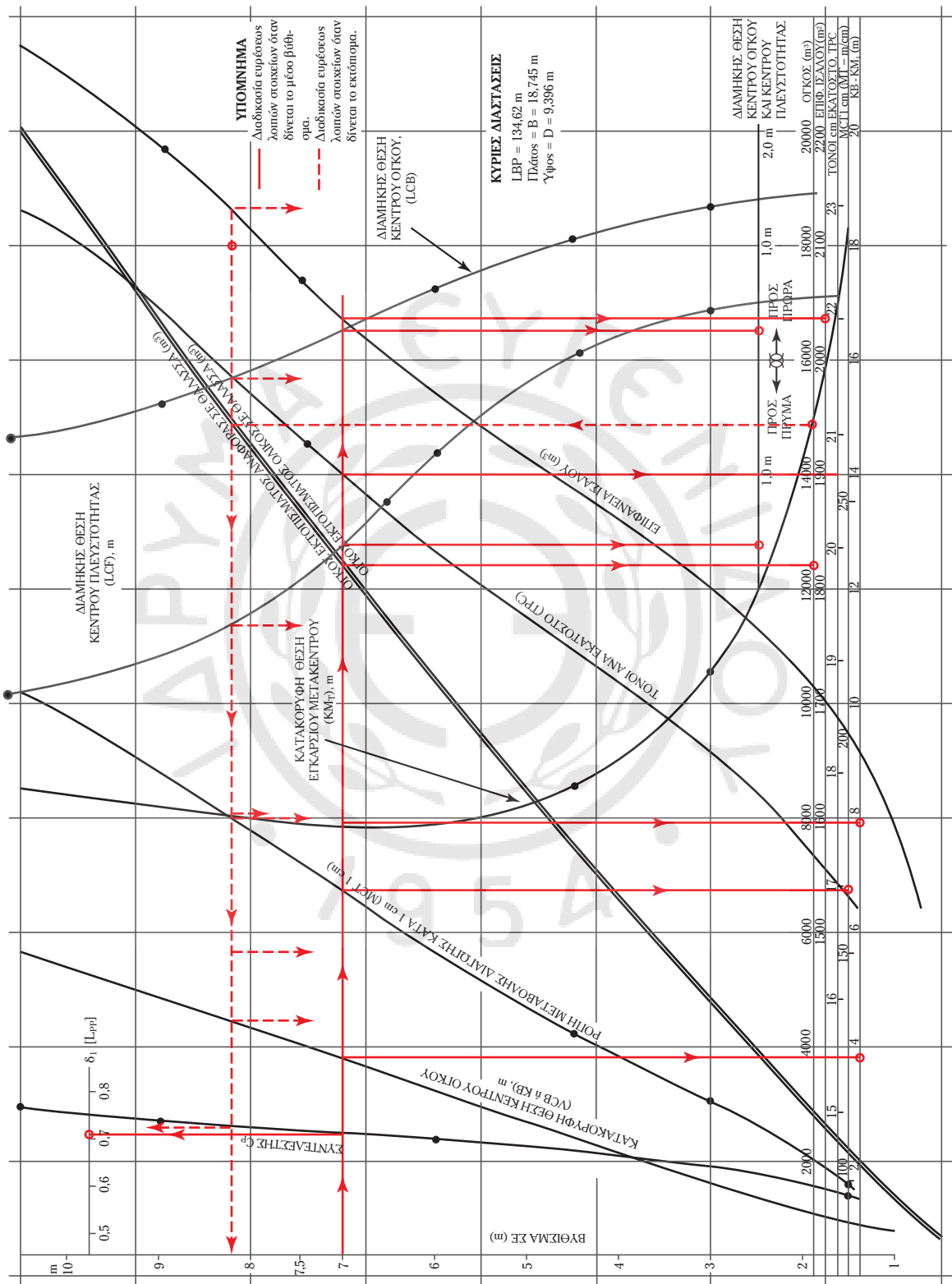
$$LCB = 67,31 + 0,32 = 67,63 \text{ m}$$

Το εκτόπισμα (ολικό) του πλοίου σε γλυκό νερό είναι 12,440 (MT) και το εκτόπισμα σε θάλασσα

$$\Delta_{sw} = 1,025 \times 12,440 = 12,751 \text{ (MT)}$$

### Παράδειγμα 2.

Να βρεθούν τα υδροστατικά στοιχεία του ισοβύθιστου πλοίου, του οποίου το υδροστατικό διάγραμμα



Σχ. 5.6. Υδροστατικό διάγραμμα.

φαίνεται στο σχήμα 5.6, όταν το ολικό του εκτόπισμα είναι 14,350 MT. Ο ολικός όγκος του εκτοπίσματος είναι:

$$\bar{V} = \frac{\Delta}{1,025} = \frac{14,350}{1,025} = 14,000 \text{ (m}^3\text{)}$$

Η δέσμη των διακεκομμένων καμπυλών στο σχήμα 5.6 δείχνει την εύρεση όλων των υπολοίπων στοιχείων.

Όπως φάνηκε από τα δύο προηγούμενα παραδείγματα, η ανάγνωση του υδροστατικού διαγράμματος, αν και γενικά απλή, μπορεί να παρουσιάσει κάποια δυσχέρεια για τον πλοίαρχο. Για το λόγο αυτό συνηθίζεται, εκτός από το υδροστατικό διάγραμμα, να υπάρχουν στα εμπορικά πλοία οι σχετικές πληροφορίες και με τη μορφή πίνακα.

Ο πίνακας 5.6.1 περιέχει τα υδροστατικά στοιχεία ενός φορτηγού πλοίου. Η χρήση του πίνακα είναι πολύ απλή, πρέπει δε να σημειωθεί ότι για ενδιάμεσες τιμές (που δεν υπάρχουν στον πίνακα), θα πρέπει να κάνουμε γραμμική παρεμβολή.

**Πίνακας 5.6.1**  
**Υδροστατικά στοιχεία πλοίου Α.**

| Βύθισμα (m) | Εκτόπισμα σε θαλάσσιο νερό (MT) | TPC (MT/cm) | MCT 1 cm (MT-m/cm) | LCB από πρυμναία κάθετο (m) | LCF από πρυμναία κάθετο (m) | KM <sub>T</sub> (m) |
|-------------|---------------------------------|-------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| 13,00       | 61245                           | 52,3        | 731,76             | 99,22                       | 94,70                       | 12,15               |
| 12,80       | 60198                           | 52,2        | 725,76             | 99,30                       | 94,74                       | 12,10               |
| 12,60       | 59151                           | 52,0        | 719,63             | 99,38                       | 94,78                       | 12,06               |
| 12,40       | 58104                           | 51,8        | 713,37             | 99,46                       | 94,83                       | 12,03               |
| 12,20       | 57067                           | 51,7        | 706,84             | 99,54                       | 94,89                       | 12,00               |
| 12,00       | 56038                           | 51,5        | 700,31             | 99,63                       | 94,96                       | 11,97               |
| 11,80       | 55002                           | 51,3        | 693,79             | 99,71                       | 95,05                       | 11,94               |
| 11,60       | 53979                           | 51,1        | 687,28             | 99,80                       | 95,15                       | 11,92               |
| 11,40       | 52954                           | 51,0        | 680,73             | 99,89                       | 95,26                       | 11,90               |
| 11,20       | 51933                           | 50,8        | 674,53             | 99,98                       | 95,38                       | 11,88               |
| 11,00       | 50914                           | 50,6        | 668,49             | 100,07                      | 95,51                       | 11,87               |
| 10,80       | 49912                           | 50,5        | 662,58             | 100,17                      | 95,65                       | 11,86               |
| 10,60       | 48910                           | 50,3        | 657,03             | 100,26                      | 95,80                       | 11,86               |
| 10,40       | 47908                           | 50,1        | 651,36             | 100,35                      | 95,95                       | 11,87               |
| 10,20       | 46906                           | 50,0        | 645,61             | 100,45                      | 96,11                       | 11,88               |
| 10,00       | 45905                           | 49,8        | 639,84             | 100,54                      | 96,28                       | 11,90               |
| 9,80        | 44917                           | 49,6        | 633,26             | 100,63                      | 96,47                       | 11,92               |
| 9,60        | 43931                           | 49,5        | 626,58             | 100,72                      | 96,67                       | 11,95               |
| 9,40        | 42945                           | 49,3        | 619,85             | 100,81                      | 96,89                       | 11,98               |
| 9,20        | 41960                           | 49,1        | 613,31             | 100,90                      | 97,13                       | 12,02               |
| 9,00        | 40980                           | 49,0        | 607,04             | 100,99                      | 97,39                       | 12,06               |
| 8,80        | 40002                           | 48,8        | 601,63             | 101,07                      | 97,68                       | 12,11               |
| 8,60        | 39027                           | 48,7        | 596,47             | 101,16                      | 97,85                       | 12,18               |
| 8,40        | 38053                           | 48,6        | 591,56             | 101,24                      | 98,03                       | 12,25               |
| 8,20        | 37085                           | 48,4        | 586,95             | 101,33                      | 98,20                       | 12,33               |
| 8,00        | 36116                           | 48,3        | 582,66             | 101,41                      | 98,36                       | 12,41               |
| 7,80        | 35150                           | 48,2        | 578,52             | 101,49                      | 98,54                       | 12,51               |
| 7,60        | 34185                           | 48,1        | 574,58             | 101,57                      | 98,71                       | 12,62               |

(συνεχίζεται)

| Βύθισμα (m) | Εκτόπισμα σε θαλάσσιο νερό (MT) | TPC (MT/cm) | MCT 1 cm (MT-m/cm) | LCB από πρυμναία κάθετο (m) | LCF από πρυμναία κάθετο (m) | KM <sub>T</sub> (m) |
|-------------|---------------------------------|-------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| 7,40        | 33228                           | 47,9        | 570,83             | 101,64                      | 98,88                       | 12,74               |
| 7,20        | 32262                           | 47,8        | 567,17             | 101,72                      | 99,05                       | 12,88               |
| 7,00        | 31305                           | 47,7        | 563,76             | 101,80                      | 99,21                       | 13,04               |
| 6,80        | 30348                           | 47,6        | 560,31             | 101,88                      | 99,38                       | 13,20               |
| 6,60        | 29391                           | 47,5        | 556,92             | 101,96                      | 99,54                       | 13,37               |
| 6,40        | 28432                           | 47,4        | 553,58             | 102,04                      | 99,71                       | 13,57               |
| 6,20        | 27480                           | 47,3        | 550,30             | 102,12                      | 99,87                       | 13,79               |
| 6,00        | 26535                           | 47,2        | 547,06             | 102,20                      | 100,03                      | 14,04               |
| 5,80        | 25576                           | 47,1        | 544,23             | 102,28                      | 100,19                      | 14,30               |
| 5,60        | 24628                           | 47,0        | 541,10             | 102,35                      | 100,36                      | 14,59               |
| 5,40        | 23689                           | 46,9        | 537,91             | 102,43                      | 100,52                      | 14,92               |
| 5,20        | 22755                           | 46,8        | 534,68             | 102,51                      | 100,69                      | 15,28               |
| 5,00        | 21827                           | 46,7        | 531,57             | 102,58                      | 100,85                      | 15,67               |
| 4,80        | 20892                           | 46,6        | 528,42             | 102,66                      | 101,01                      | 16,11               |
| 4,60        | 19951                           | 46,4        | 525,21             | 102,73                      | 101,17                      | 16,58               |
| 4,40        | 19023                           | 46,3        | 521,96             | 102,81                      | 101,32                      | 17,11               |
| 4,20        | 18192                           | 46,2        | 518,54             | 102,88                      | 101,47                      | 17,69               |
| 4,00        | 17204                           | 46,1        | 514,99             | 102,95                      | 101,62                      | 18,33               |
| 3,80        | 16268                           | 45,9        | 511,23             | 103,03                      | 101,77                      | 19,06               |
| 3,60        | 15349                           | 45,8        | 507,31             | 103,10                      | 101,92                      | 19,87               |
| 3,40        | 14457                           | 45,6        | 502,97             | 103,17                      | 102,06                      | 20,78               |
| 3,20        | 13565                           | 45,4        | 498,39             | 103,24                      | 102,21                      | 21,84               |
| 3,00        | 12664                           | 45,3        | 493,53             | 103,30                      | 102,35                      | 23,04               |
| 2,80        | 11758                           | 45,1        | 488,22             | 103,37                      | 102,49                      | 24,35               |
| 2,60        | 10851                           | 44,9        | 482,61             | 103,43                      | 102,63                      | 35,85               |
| 2,40        | 9959                            | 44,7        | 476,43             | 103,50                      | 102,77                      | 27,60               |
| 2,20        | 9084                            | 44,4        | 469,77             | 103,56                      | 102,91                      | 29,73               |
| 2,00        | 8206                            | 44,1        | 462,56             | 103,62                      | 103,05                      | 32,49               |

### 5.7 Υδροστατικά στοιχεία πλοίου με διαγωγή.

Τα συνηθισμένα υδροστατικά διαγράμματα των πλοίων είναι ακριβή, *όταν το πλοίο είναι ισοβύθιστο*.

Όταν το πλοίο έχει διαγωγή, τα υδροστατικά του στοιχεία έχουν διαφορά από εκείνα του ισοβύθιστου πλοίου που έχει το ίδιο μέσο βύθισμα. Ιδιαίτερα σοβαρό είναι το σφάλμα στη διαμήκη θέση του κέντρου όγκου και στο εκτόπισμα.

Σε επόμενο κεφάλαιο (παράγρ. 12.13) θα περιγραφεί με παραδείγματα η μέθοδος, με την οποία πραγματοποιούμε τη σχετική διόρθωση. Για λόγους απλουστεύσεως σε σύγχρονα πλοία συνηθίζεται να υπάρχουν ειδικά νομογραφήματα, από τα οποία μπορεί να γίνει απ' ευθείας και χωρίς σφάλμα η ανάγνωση των βασικών πληροφοριών του υδροστατικού διαγράμματος, ακόμη και αν το πλοίο έχει διαφορά διαγωγής.

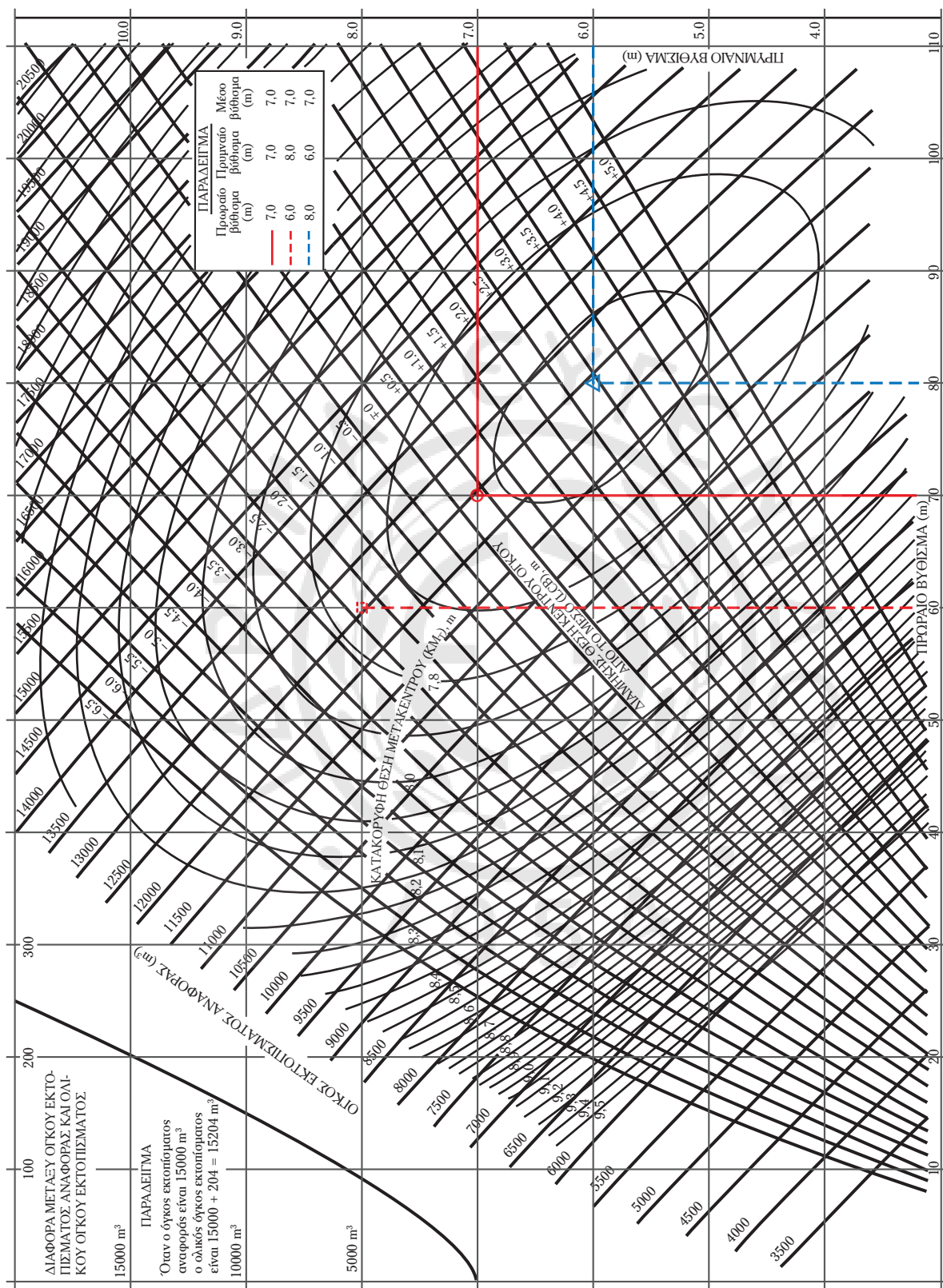
Ένα τέτοιο διάγραμμα φαίνεται στο σχήμα 5.7α, το οποίο δίνει το LCB, τον όγκο του εκτοπίσματος και την κατακόρυφη θέση του εγκάρσιου μετακέντρου.

#### **Παράδειγμα.**

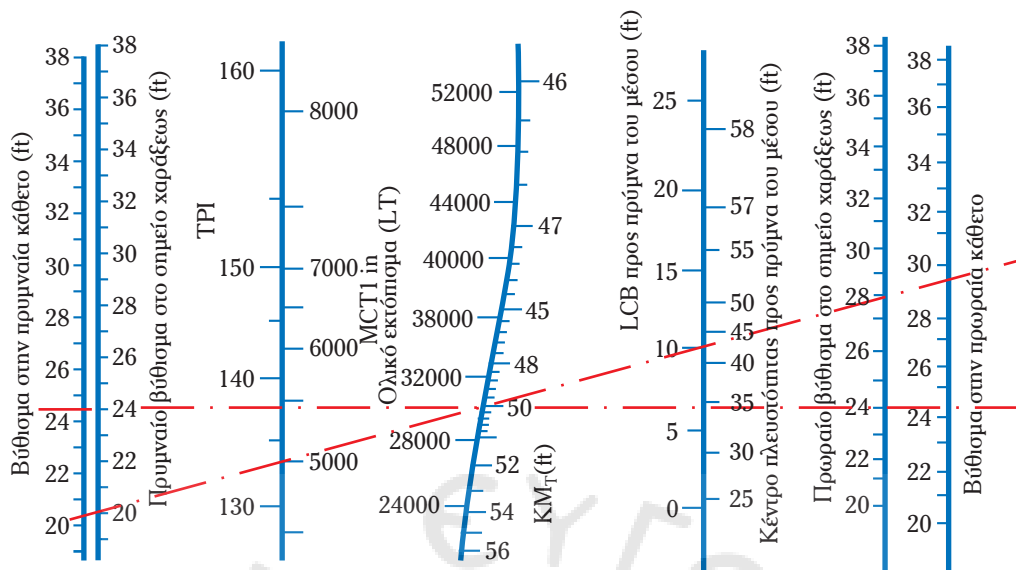
Να βρεθούν ο όγκος  $\bar{V}$ , το LCB και το KM<sub>T</sub> του πλοίου για το οποίο ισχύει το διάγραμμα του σχήματος 5.7α, όταν:

- Το πλοίο είναι ισοβύθιστο σε βύθισμα 7 m.





**Σχ. 5.7α.**  
 Εύρεση υδροστατικών στοιχείων πλοίου όταν υπάρχει διαφορά διαγωγής.



Σχ. 5.7β.

Υδροστατικά στοιχεία πλοίου με διαφορά διαγωγής.

- Το πρωραίο βύθισμα είναι 6 και το πρυμναίο 8 m.
- Το πρωραίο βύθισμα είναι 8 και το πρυμναίο 6 m.

Όπως βλέπουμε και στις τρεις περιπτώσεις, το μέσο βύθισμα είναι 7 m. Τα σημεία που αντιστοιχούν στις παραπάνω τρεις περιπτώσεις φαίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 5.7α. Από την ανάγνωση των στοιχείων των τριών σημείων έχουμε:

| Πρωραίο βύθισμα (m) | Πρυμναίο βύθισμα (m) | Μέσο βύθισμα (m) | Διαφορά διαγωγής (m) | $\bar{V}$ (m <sup>3</sup> ) | LCB (m)            | ΚΜ <sub>T</sub> (m) |
|---------------------|----------------------|------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|
| 7                   | 7                    | 7                | 0                    | 12.440                      | 0,4 (προς πλώρα)   | 7,81                |
| 6                   | 8                    | 7                | 2 (προς πρύμνα)      | 12.500                      | 2,25 (προς πρύμνα) | 7,88                |
| 8                   | 6                    | 7                | 2 (προς πλώρα)       | 12.400                      | 2,90 (προς πλώρα)  | 7,75                |

Από το παραπάνω παράδειγμα βλέπουμε ότι, ενώ για το ισοβύθιστο πλοίο το κέντρο όγκου βρίσκεται 0,4 m προς πλώρα του μέσου, στις άλλες δύο περιπτώσεις βρίσκεται σε απόσταση 2,25 m προς πρύμνα και 2,90 m προς πλώρα του μέσου αντίστοιχα.

Ένας άλλος τρόπος εμφάνισης ενός παρόμοιου διαγράμματος φαίνεται στο σχήμα 5.7β.

Στο σχήμα αυτό θα πρέπει να σημειώσουμε τη διαφορά μεταξύ των βυθισμάτων που είναι χαραγμένα πάνω στις αντίστοιχες κλίμακες του πλοίου (κλίμακες βυθισμάτων) και εκείνων στην πρυμναία και πρωραία κάθετο. Με τις δύο διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται δύο καταστάσεις του πλοίου με το ίδιο βύθισμα στο κέντρο πλευστότητας, πράγμα που σημαίνει, όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 12, ότι το εκτόπισμα είναι το ίδιο. Στη μία περίπτωση το πλοίο είναι ισοβύθιστο και στην άλλη έχει διαφορά διαγωγής προς πλώρα. Στο σχήμα αυτό βλέπουμε επίσης ότι για τις δύο αυτές καταστάσεις διαφέρουν μεταξύ τους όλα τα υπόλοιπα υδροστατικά στοιχεία.

## 5.8 Γεωμετρικές ιδιότητες χώρων του πλοίου.

Στους υπολογισμούς φορτώσεως του πλοίου είναι συχνά απαραίτητο να γνωρίζουμε τις γεωμετρικές ιδιότητες διαφόρων χώρων του.

Για τις δεξαμενές του πλοίου είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη διαμήκη, κατακόρυφη και εγκάρσια θέση του κέντρου βάρους τους, καθώς και τον όγκο και τη ροπή αδράνειας της ελεύθερης επιφάνειάς τους. Ανάλογες πληροφορίες μάς χρειάζονται και για τα κύττα (αμπάρια).

Οι παραπάνω πληροφορίες μπορούν να βρεθούν με υπολογισμούς ανάλογους με εκείνους που γίνονται για ολόκληρο το πλοίο, όπως τους έχομε περιγράψει σε προηγούμενα κεφάλαια. Οι σχετικές πληροφορίες είναι συγκεντρωμένες υπό μορφή πινάκων ή καμπυλών στο *εγχειρίδιο ζυγίσεως και ευστάθειας* (trim and stability manual) κάθε πλοίου και αποτελούν βασικό εφόδιο για την πραγματοποίηση υπολογισμών που σχετίζονται με τη φόρτωση.

Στον πίνακα 5.8.1 περιέχονται οι γεωμετρικές αυτές ιδιότητες για τις δεξαμενές ενός πλοίου (που θα ονομάζουμε τύπου Α). Ο πίνακας δίνει πληροφορίες για τις δεξαμενές όταν είναι τελείως γεμάτες (σε ποσοστό 100%) και για πλήρωση 98%. Οι πληροφορίες που περιλαμβάνονται στον πίνακα είναι η περιγραφή της δεξαμενής, οι νομείς ανάμεσα στους οποίους είναι τοποθετημένη, ο όγκος και το βάρος του υγρού μέσα στη δεξαμενή, η κατακόρυφη και διαμήκης θέση του κέντρου βάρους και η ροπή αδράνειας της ελεύθερης επιφάνειας της δεξαμενής. Διευκρινίζεται ότι όταν μία δεξαμενή είναι γεμάτη δεν έχει ελεύθερη επιφάνεια

**Πίνακας 5.8.1**  
**Στοιχεία δεξαμενών πλοίου τύπου Α.**

| Δεξαμενές πετρελαίου λεβήτων          |                |                         |  |  |                                      |  |
|---------------------------------------|----------------|-------------------------|--|--|--------------------------------------|--|
| Περιγραφή δεξαμενής                   | Πληρότητα 100% |                         | Πληρότητα 98%                              |  |                                      | Ροπή αδράνειας Ελεύθερη επιφ. m <sup>4</sup> |
|                                       | Νομείς         | Όγκος (m <sup>3</sup> ) | Βάρος (MT) για 1/SF 0,92 MT/m <sup>3</sup> | Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους VCg (m) | Διαμήκης θέση κέντρου βάρους LCg (m) |  |
| Προς ΠΡ της Deep tank, P              | 214-220        | 504                     | 454  | 10,52                                  | 180,23                               | 422  |
| Προς ΠΡ της Deep tank, S              | 214-220        | 612                     | 552  | 10,00                                  | 180,13                               | 534  |
| No 1 D.B προς ΠΡ της Deep tank, P + S | 202-214        | 467                     | 421  | 2,02                                   | 173,76                               | 1250   |
| Πλευρικές (wing) δεξαμενές P + S      | 39-46          | 657                     | 592  | 13,23                                  | 30,57                                | 720  |
| Δεξαμενή χρήσεως, P                   | 21-23          | 64                      | 58   | 13,36                                  | 14,93                                | 20   |
| Δεξαμενή χρήσεως, P                   | 19-21          | 60                      | 54   | 13,41                                  | 13,41                                | 18   |
| Κατακαθίσεως, P                       | 12-19          | 172                     | 155  | 13,51                                  | 10,15                                | 38   |
| Διπύθμενου μηχανοστασίου, P           | 29-40          | 33                      | 30   | 1,29                                   | 25,51                                | 30   |
| Διπύθμενου μηχανοστασίου, S           | 26-39          | 33                      | 30   | 1,03                                   | 24,32                                | 29   |
| Υπερχειλίσεων (κεντρική)              | 15-22          | 29                      | 26   | 1,22                                   | 12,59                                | 28   |
| <b>Σύνολο πετρελαίου λεβήτων</b>      |                |                         | <b>2372</b>                                | <b>9,56</b>                            | <b>116,99</b>                        | <b>3089</b>                                  |
| Δεξαμενές πετρελαίου diesel           |                |                         |  |  |                                      |  |
| Περιγραφή δεξαμενής                   | Πληρότητα 100% |                         | Πληρότητα 98%                              |  |                                      | Ροπή αδράνειας Ελεύθερη επιφ. m <sup>4</sup> |
|                                       | Νομείς         | Όγκος (m <sup>3</sup> ) | Βάρος (MT) για 1/SF 0,86 MT/m <sup>3</sup> | Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους VCg (m) | Διαμήκης θέση κέντρου βάρους LCg (m) |  |
| Χρήσεως, S                            | 21-23          | 39                      | 33   | 14,64                                  | 14,93                                | 19   |
| Αποθηκείσεως προωραία, S              | 18-23          | 112                     | 94   | 12,95                                  | 13,47                                | 57   |
| Αποθηκείσεως ρυμναία, S               | 12-18          | 144                     | 121  | 13,53                                  | 9,72                                 | 69   |
| <b>Σύνολο πετρελαίου diesel</b>       |                |                         | <b>248</b>                                 | <b>13,46</b>                           | <b>11,83</b>                         | <b>145</b>                                   |

(συνεχίζεται)

| Δεξαμενές λαδιού         |                |                         |  |  |                                      |  |
|--------------------------|----------------|-------------------------|--|--|--------------------------------------|--|
| Περιγραφή δεξαμενής      | Πληρότητα 100% |                         |  | Πληρότητα 98%                          |                                      |  |
|                          | Νομείς         | Όγκος (m <sup>3</sup> ) | Βάρος (MT) για 1/SF 0,86 MT/m <sup>3</sup> | Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους VCg (m) | Διαμήκης θέση κέντρου βάρους LCg (m) | Ροπή αδράνειας Ελεύθερη επιφ. m <sup>4</sup> |
| Ακάθαρτου λαδιού, P      | 3435           | 3                       | 3  | 14,94                                  | 24,47                                | 8  |
| Ακάθαρτου λαδιού, S      | 34,35          | 3                       | 9  | 13,68                                  | 24,47                                | 8  |
| Αποθηκείσεως, P          | 32½–34         | 11                      | 9  | 14,32                                  | 23,47                                | 5  |
| Αποθηκείσεως, P          | 30–32½         | 12                      | 10   | 14,08                                  | 21,84                                | 7  |
| Αποθηκείσεως, P          | 27½–30         | 12                      | 10   | 14,32                                  | 20,09                                | 5  |
| νούμερο 2 χρήσεως, S     | 34–36          | 11                      | 12   | 14,32                                  | 24,84                                | 7  |
| νούμερο 1 χρήσεως, S     | 32–34          | 13                      | 11   | 14,32                                  | 23,32                                | 6  |
| νούμερο 2 χρήσεως, P     | 28½–32         | 22                      | 18   | 14,32                                  | 21,15                                | 9  |
| νούμερο 2 χρήσεως, S     | 24–28½         | 22                      | 19   | 14,32                                  | 18,17                                | 7  |
| Υπερχειλίσεων (κεντρική) | 25–35          | 9                       | 8  | 1,58                                   | 21,40                                | 8  |
| <b>Σύνολο λαδιού</b>     |                | <b>121</b>              | <b>104</b>                                 |  |                                      | <b>70</b>                                    |

**Σημείωση:**  
P = Αριστερά, S = Δεξιά και P + S = Αριστερά + Δεξιά (αθροιστικά).

και επομένως η ροπή αδράνειάς της έχει μηδενική τιμή. Οι τιμές για τις ελεύθερες επιφάνειες που βλέπουμε στον πίνακα 5.8.1 είναι οι πιο δυσμενείς (οι μεγαλύτερες) που παρουσιάζονται κατά το γέμισμα (ή άδειασμα) της κάθε δεξαμενής.

Εκτός από τις γεωμετρικές ιδιότητες για τις τελείως (ή σχεδόν) γεμάτες δεξαμενές ή κύπη, συχνά χρειάζεται να γνωρίζουμε τις αντίστοιχες πληροφορίες όταν οι δεξαμενές ή τα κύπη περιέχουν υγρά ή φορτία αντίστοιχα σε ενδιάμεσες στάθμες. Για το λόγο αυτό οι απαραίτητες πληροφορίες δίνονται πάλι υπό μορφή πίνακα ή δέσμης από καμπύλες σε συνάρτηση με το *ύψος μετρήσεως* (ullage). Το ύψος μετρήσεως είναι η απόσταση από κάποιο συγκεκριμένο σημείο της οροφής της δεξαμενής ή του κύτους [που φαίνεται στο αντίστοιχο σχέδιο της δεξαμενής, (βλ. και σχ. 2.2)] μέχρι την ανώτερη στάθμη του υγρού ή φορτίου αντίστοιχα. Εύρεση του ύψους μετρήσεως γίνεται από τα *καταμετρικά*, η ακριβής θέση των οποίων φαίνεται επίσης στα σχέδια του κάθε πλοίου (βλ. και Παράρτημα 1).

Το σχήμα 5.8 παρουσιάζει δείχνει τη μεταβολή του όγκου και της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου όγκου μιας δεξαμενής ενός πλοίου στα διάφορα ύψη μετρήσεως.

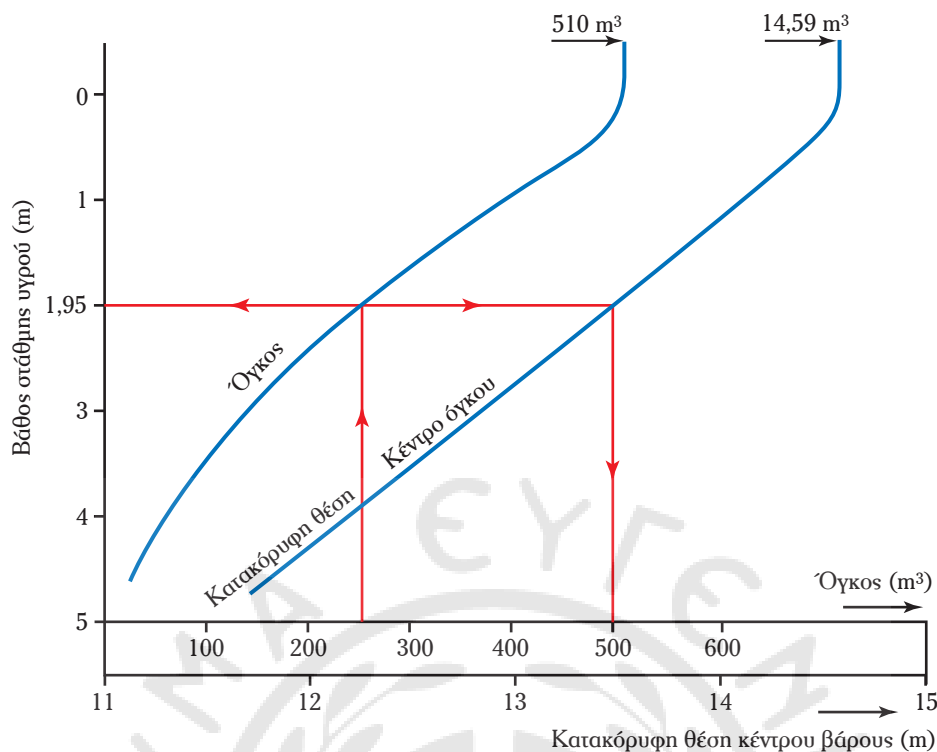
### Παράδειγμα.

Η δεξαμενή, στην οποία αντιστοιχεί το διάγραμμα του σχήματος 5.8 είναι γεμάτη με πετρέλαιο σε ποσοστό 50%. Να βρεθεί το βάρος του πετρελαίου, το ύψος μετρήσεως και η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους.

Ο συνολικός όγκος της δεξαμενής, όπως φαίνεται στο διάγραμμα, είναι 510 m<sup>3</sup>. Έτσι, όταν η δεξαμενή είναι κατά 50% γεμάτη, ο όγκος του πετρελαίου είναι 255 m<sup>3</sup>. Ο συντελεστής στοιβασίας του πετρελαίου λεβήτων από τον πίνακα 2.3.1 είναι 1,05 m<sup>3</sup>/MT.

Από τη σχέση (6) έχουμε:

$$\text{Βάρος φορτίου} = \frac{255}{1,05} = 242,85 \text{ MT}$$



Σχ. 5.8.

Όγκος και κατακόρυφη θέση κέντρου όγκου δεξαμενής (upper wing) πλοίου.

Η παραπέρα λύση του προβλήματος φαίνεται στο διάγραμμα με κόκκινες γραμμές. Έτσι βλέπουμε ότι το ύψος της στάθμης είναι 1,95 m και η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους 13,5 m πάνω από την τροπίδα.

### 5.9 Χωρητικότητα κυτών (cargo capacity).

Ο πραγματικά διαθέσιμος όγκος ενός κύτους για τη φόρτωση φορτίου εξαρτάται από τη μορφή του φορτίου.

Όταν το φορτίο φορτώνεται «χύδην» (δηλ. χύμα) μέσα στο κύτος, μπορεί να καταλάβει σχεδόν όλο τον όγκο του κύτους. Αντίθετα, όταν το φορτίο αποτελείται από μεγάλα τεμάχια (μηχανήματα, κιβώτια κ.λπ.), οι ενισχύσεις που υπάρχουν μέσα στο κύτος εμποδίζουν να χρησιμοποιηθεί όλος ο όγκος του κύτους. Έτσι διακρίνουμε:

#### 1) Χωρητικότητα του κύτους σε φορτία χύδην (grain or bulk capacity).

Είναι η χωρητικότητα του κύτους όταν οι διαστάσεις του μετρηθούν μέχρι το έλασμα, με μικρή διόρθωση για τον όγκο των ενισχύσεων που υπάρχουν σ' αυτό.

#### 2) Χωρητικότητα του κύτους σε πακέτα (bale capacity).

Είναι η χωρητικότητα του κύτους, όταν οι διαστάσεις του μετρηθούν στο εσωτερικό όλων των εσωτερικών προεξοχών (ενισχύσεων κ.λπ.) του.

Στον πίνακα 5.9.1 βλέπουμε τις γεωμετρικές ιδιότητες των κυτών του πλοίου Α. Για την ευκολότερη εύρεση του βάρους του φορτίου σε κάθε κύτος για διαφορετικούς συντελεστές στοιβασίας, συχνά περιέχεται στο εγχειρίδιο ζυγίσεως και ευστάθειας ένας πίνακας παρόμοιος με τον 5.9.2 που ισχύει για το πλοίο Α. Έτσι, για το πλοίο τύπου Α μπορούμε εύκολα από τον πίνακα 5.9.2 να δούμε ότι για συντελεστή στοιβασίας 39 cuft/ton, το κύτος No 2, όταν γεμίσει τελείως, χωράει 5655 ton, ενώ για συντελεστή στοιβασίας 1,158 tn/m<sup>3</sup> το κύτος No 3 χωράει 8046 tn.

**Πίνακας 5.9.1**  
**Γεωμετρικές ιδιότητες κυτών πλοίου Α.**

| Χώρος                                 | Είδος φορτίου |   |                |   |                                      |  |                |                 |   |   |                |
|---------------------------------------|---------------|---|----------------|---|--------------------------------------|--|----------------|-----------------|---|---|----------------|
|                                       | Νομείς        | Χωρητικότητα σε φορτίο χύδην (bulk cargo) |                | Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους (VCg), m | Διαμήκης θέση κέντρου βάρους (LCg) m | Χωρητικότητα φορτίου σε πακέτα (bale capacity) |                |                 | Μέσα από τους κοιτούς νομείς και κάτω από τα ζυγά | Μέσα από τους κοιτούς νομείς και κάτω από τα ζυγά |                |
|                                       |               | ft <sup>3</sup>                           | m <sup>3</sup> |   |                                      | ft <sup>3</sup>                                | m <sup>3</sup> | ft <sup>3</sup> |   |   | m <sup>3</sup> |
|                                       |               |   |                |   |                                      |  |                |                 |   |   |                |
| Κύτος No 1                            | 192-214       | 131301                                    | 3718           | 9,47                                    | 169,41                               | 122614   | 3472           | 124980          | 3539  |   |                |
| Κύτος No 2                            | 166-192       | 216834                                    | 6140           | 8,09                                    | 153,00                               | 202673   | 5739           | 205922          | 5831  |   |                |
| Κύτος No 3                            | 142-166       | 245360                                    | 6948           | 8,18                                    | 132,19                               | 229336   | 6494           | 232938          | 6596  |   |                |
| Κύτος No 4                            | 116-142       | 264297                                    | 7484           | 8,15                                    | 109,19                               | 250631   | 7097           | 254551          | 7208  |   |                |
| Κύτος No 5                            | 94-116        | 220719                                    | 6250           | 8,05                                    | 87,31                                | 206628   | 5851           | 209877          | 5943  |   |                |
| Κύτος No 6                            | 68-94         | 263838                                    | 7471           | 8,15                                    | 65,31                                | 250313   | 7088           | 254233          | 7199  |   |                |
| Κύτος No 7                            | 46-68         | 211678                                    | 5994           | 8,23                                    | 43,49                                | 201719   | 5712           | 204958          | 5804  |   |                |
|                                       |               | 1554036                                   | 44005          | 8,26                                    | 104,52                               | 1463914  | 41453          | 1487469         | 42120   |   |                |
| No 2 άνω πλευρική (wing) δεξαμενή P+S | 166-192       | 36024                                     | 1020           | 14,59                                   | 152,98                               |  |                |                 |   |   |                |
| No 3 άνω πλευρική (wing) δεξαμενή P+S | 142-166       | 39460                                     | 1116           | 14,58                                   | 131,98                               |  |                |                 |   |   |                |
| No 4 άνω πλευρική (wing) δεξαμενή P+S | 116-142       | 42748                                     | 1210           | 14,58                                   | 109,12                               |  |                |                 |   |   |                |
| No 5 άνω πλευρική (wing) δεξαμενή P+S | 94-116        | 36172                                     | 1022           | 14,58                                   | 87,17                                |  |                |                 |   |   |                |
| No 6 άνω πλευρική (wing) δεξαμενή P+S | 68-94         | 42748                                     | 1210           | 14,58                                   | 67,66                                |  |                |                 |   |   |                |
| No 7 άνω πλευρική (wing) δεξαμενή P+S | 46-68         | 35042                                     | 992            | 14,66                                   | 43,40                                |  |                |                 |   |   |                |
| Σύνολο πλευρικών δεξαμενών            |               | 232194                                    | 6570           | 14,59                                   | 98,84                                |  |                |                 |   |   |                |
| <b>Γενικό σύνολο</b>                  |               | <b>1786230</b>                            | <b>50575</b>   | <b>9,08</b>                             | <b>103,78</b>                        |  |                |                 |   |   |                |

Πίνακας 5.9.2

Μεταφορική ικανότητα κυτών και άνω πλευρικών δεξαμενών (wing tanks) πλοίου Α.

| ft <sup>3</sup> /LT | MT/m <sup>3</sup> | Κύτμ      |           |           |           |           |           |           |
|---------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                     |                   | No1<br>MT | No2<br>MT | No3<br>MT | No4<br>MT | No5<br>MT | No6<br>MT | No7<br>MT |
| 1                   | 35,901            | 133480    | 220432    | 249440    | 268683    | 224381    | 268216    | 215191    |
| 15                  | 2,393             | 8897      | 14693     | 16627     | 17909     | 14956     | 17878     | 14344     |
| 16                  | 2,244             | 8843      | 13778     | 15591     | 16794     | 14025     | 16764     | 13451     |
| 17                  | 2,112             | 7852      | 12968     | 14674     | 15806     | 13200     | 15779     | 12659     |
| 18                  | 1,994             | 7414      | 12243     | 13854     | 14923     | 12463     | 14897     | 11952     |
| 19                  | 1,890             | 7027      | 11605     | 13132     | 14145     | 11813     | 14120     | 11329     |
| 20                  | 1,795             | 6674      | 11021     | 12472     | 13434     | 11219     | 13410     | 10759     |
| 21                  | 1,709             | 6354      | 10493     | 11874     | 12790     | 10681     | 12768     | 10244     |
| 22                  | 1,632             | 6068      | 10020     | 11339     | 12214     | 10200     | 12193     | 9782      |
| 23                  | 1,561             | 5804      | 9885      | 10846     | 11683     | 9756      | 11662     | 9357      |
| 24                  | 1,496             | 5562      | 9185      | 10394     | 11196     | 9350      | 11177     | 8967      |
| 25                  | 1,436             | 5339      | 8817      | 9977      | 10747     | 8975      | 10728     | 8607      |
| 26                  | 1,381             | 5135      | 8479      | 9595      | 10335     | 8631      | 10317     | 8276      |
| 27                  | 1,330             | 4945      | 8166      | 9241      | 9954      | 8313      | 9935      | 7972      |
| 28                  | 1,282             | 4767      | 7871      | 8907      | 9594      | 8013      | 9578      | 7684      |
| 29                  | 1,238             | 4603      | 7601      | 8602      | 9265      | 7736      | 9249      | 7421      |
| 30                  | 1,197             | 4450      | 7350      | 8317      | 8958      | 7481      | 8943      | 7175      |
| 31                  | 1,158             | 4305      | 7110      | 8046      | 8685      | 7238      | 8651      | 6941      |
| 32                  | 1,122             | 4172      | 6889      | 7796      | 8397      | 7013      | 8382      | 6725      |
| 33                  | 1,088             | 4045      | 6680      | 7559      | 8143      | 6800      | 8128      | 6521      |
| 34                  | 1,058             | 3926      | 6484      | 7337      | 7903      | 6600      | 7888      | 6330      |
| 35                  | 1,026             | 3815      | 6300      | 7129      | 7679      | 6413      | 7665      | 6150      |
| 36                  | 0,997             | 3787      | 6122      | 6827      | 7462      | 6231      | 7449      | 5976      |
| 37                  | 0,970             | 3606      | 5955      | 6740      | 7259      | 6063      | 7247      | 5814      |
| 38                  | 0,945             | 3514      | 5802      | 6566      | 7072      | 5906      | 7060      | 5604      |
| 39                  | 0,921             | 3424      | 5655      | 6399      | 6893      | 5756      | 6881      | 5520      |
| 40                  | 0,898             | 3339      | 5514      | 6239      | 6721      | 5613      | 6709      | 5383      |
| 41                  | 0,875             | 3257      | 5379      | 6085      | 6556      | 5475      | 6545      | 5251      |
| 42                  | 0,855             | 3170      | 5250      | 5940      | 6399      | 5344      | 6388      | 5125      |
| 43                  | 0,835             | 3109      | 5127      | 5802      | 6249      | 5218      | 6238      | 5005      |
| 44                  | 0,816             | 3034      | 5010      | 5670      | 6107      | 5100      | 6095      | 4891      |
| 45                  | 0,799             | 2957      | 4900      | 5545      | 5972      | 4986      | 6062      | 4783      |
| 46                  | 0,780             | 2900      | 4789      | 5419      | 5838      | 4875      | 5827      | 4675      |
| 47                  | 0,754             | 2841      | 4691      | 5306      | 5718      | 4775      | 5709      | 4579      |
| 48                  | 0,748             | 2781      | 4593      | 5197      | 5598      | 4675      | 5588      | 4484      |
| 49                  | 0,733             | 2725      | 4501      | 5093      | 5486      | 4581      | 5478      | 4394      |
| 50                  | 0,718             | 2669      | 4409      | 4989      | 5374      | 4488      | 5364      | 4304      |
| 51                  | 0,704             | 2617      | 4323      | 4891      | 5269      | 4400      | 5260      | 4220      |
| 52                  | 0,690             | 2565      | 4237      | 4794      | 5164      | 4313      | 5155      | 4136      |
| 53                  | 0,677             | 2517      | 4157      | 4704      | 5067      | 4231      | 5058      | 4056      |
| 54                  | 0,665             | 2472      | 4083      | 4620      | 4977      | 4156      | 4968      | 3988      |
| 55                  | 0,653             | 2428      | 4009      | 4537      | 4887      | 4081      | 4879      | 3914      |
| 56                  | 0,641             | 2383      | 3936      | 4454      | 4797      | 4006      | 4789      | 3842      |
| 57                  | 0,630             | 2342      | 3868      | 4377      | 4715      | 3938      | 4707      | 3725      |
| 58                  | 0,619             | 2301      | 3601      | 4301      | 4633      | 3869      | 4625      | 3710      |
| 59                  | 0,609             | 2264      | 3739      | 4231      | 4558      | 3806      | 4550      | 3550      |
| 60                  | 0,596             | 2223      | 3672      | 4155      | 4475      | 3738      | 4468      | 3584      |
| 61                  | 0,588             | 2186      | 3610      | 4085      | 4401      | 3675      | 4393      | 3524      |
| 62                  | 0,579             | 2152      | 3555      | 4023      | 4333      | 3619      | 4326      | 3471      |
| 63                  | 0,570             | 2119      | 3500      | 3960      | 4266      | 3563      | 4258      | 3417      |
| 64                  | 0,561             | 2086      | 3445      | 3898      | 4199      | 3506      | 4191      | 3363      |
| 65                  | 0,552             | 2052      | 3389      | 3835      | 4131      | 3450      | 4124      | 3309      |

(ο πίνακας συνεχίζεται οριζοντίως)

| Σύνολο<br>κυτών | Άνω πλευρικές δεξαμενές |           |           |           |           |           | Γενικό<br>σύνολο |
|-----------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
|                 | No2<br>MT               | No3<br>MT | No4<br>MT | No5<br>MT | No6<br>MT | No7<br>MT |                  |
| 1579824         | 36600                   | 40091     | 43432     | 36751     | 43432     | 35603     | 1815732          |
| 105304          | 2440                    | 2673      | 2896      | 2451      | 2896      | 2373      | 121033           |
| 98746           | 2288                    | 2505      | 2715      | 2297      | 2715      | 2225      | 113491           |
| 92938           | 2153                    | 2358      | 2554      | 2152      | 2554      | 2094      | 106803           |
| 87746           | 2033                    | 2227      | 2413      | 2042      | 2413      | 1978      | 100852           |
| 83171           | 1926                    | 2110      | 2286      | 1934      | 2286      | 1874      | 95587            |
| 78989           | 1830                    | 2005      | 2171      | 1838      | 2171      | 1780      | 90784            |
| 75204           | 1742                    | 1909      | 2069      | 1751      | 2069      | 1696      | 86440            |
| 71816           | 1663                    | 1822      | 1974      | 1670      | 1974      | 1618      | 82537            |
| 68693           | 1591                    | 1743      | 1889      | 1598      | 1889      | 1548      | 78951            |
| 65831           | 1525                    | 1670      | 1809      | 1531      | 1809      | 1483      | 75658            |
| 63190           | 1464                    | 1603      | 1737      | 1470      | 1737      | 1424      | 72625            |
| 60770           | 1407                    | 1542      | 1670      | 1413      | 1670      | 1370      | 69842            |
| 58527           | 1355                    | 1485      | 1608      | 1361      | 1608      | 1319      | 67283            |
| 56414           | 1307                    | 1432      | 1551      | 1313      | 1551      | 1271      | 64839            |
| 54479           | 1262                    | 1383      | 1498      | 1267      | 1498      | 1227      | 62614            |
| 52674           | 1220                    | 1336      | 1448      | 1225      | 1448      | 1187      | 60538            |
| 50957           | 1181                    | 1293      | 1402      | 1186      | 1402      | 1148      | 58569            |
| 49374           | 1144                    | 1253      | 1357      | 1148      | 1357      | 1113      | 56749            |
| 47875           | 1109                    | 1215      | 1316      | 1114      | 1316      | 1078      | 55024            |
| 46469           | 1076                    | 1179      | 1277      | 1081      | 1277      | 1047      | 53406            |
| 45151           | 1045                    | 1145      | 1241      | 1050      | 1241      | 1017      | 51890            |
| 43874           | 1017                    | 1114      | 1207      | 1021      | 1207      | 989       | 50429            |
| 42685           | 990                     | 1085      | 1173      | 994       | 1173      | 962       | 49062            |
| 41584           | 963                     | 1056      | 1143      | 967       | 1143      | 937       | 47793            |
| 40528           | 939                     | 1028      | 1114      | 942       | 1114      | 912       | 46577            |
| 39518           | 915                     | 1003      | 1085      | 918       | 1085      | 890       | 45416            |
| 38540           | 893                     | 977       | 1060      | 895       | 1060      | 868       | 44303            |
| 37625           | 872                     | 955       | 1035      | 875       | 1035      | 847       | 43244            |
| 36745           | 851                     | 933       | 1010      | 854       | 1010      | 828       | 42231            |
| 35908           | 832                     | 911       | 986       | 835       | 986       | 810       | 41268            |
| 35117           | 813                     | 891       | 955       | 812       | 955       | 791       | 40359            |
| 34328           | 796                     | 872       | 944       | 799       | 944       | 774       | 39452            |
| 33621           | 779                     | 853       | 925       | 782       | 925       | 758       | 38643            |
| 32916           | 762                     | 835       | 904       | 765       | 904       | 742       | 37828            |
| 32256           | 747                     | 818       | 885       | 750       | 886       | 726       | 37069            |
| 31397           | 732                     | 802       | 869       | 735       | 869       | 712       | 36316            |
| 30980           | 717                     | 786       | 851       | 720       | 851       | 698       | 35603            |
| 30364           | 704                     | 771       | 835       | 707       | 835       | 685       | 34901            |
| 29792           | 691                     | 757       | 820       | 694       | 820       | 672       | 34246            |
| 29262           | 678                     | 743       | 805       | 681       | 805       | 659       | 33633            |
| 28735           | 665                     | 728       | 789       | 669       | 789       | 647       | 33022            |
| 28207           | 653                     | 716       | 775       | 656       | 775       | 636       | 32418            |
| 27723           | 642                     | 703       | 762       | 644       | 762       | 625       | 31861            |
| 27240           | 631                     | 691       | 749       | 634       | 749       | 614       | 31308            |
| 26793           | 621                     | 680       | 737       | 623       | 737       | 604       | 30800            |
| 26315           | 611                     | 669       | 724       | 613       | 724       | 593       | 30249            |
| 25874           | 599                     | 657       | 712       | 602       | 712       | 583       | 29739            |
| 25479           | 590                     | 646       | 701       | 592       | 701       | 574       | 29283            |
| 25083           | 581                     | 636       | 689       | 583       | 689       | 565       | 28826            |
| 24688           | 572                     | 627       | 679       | 574       | 679       | 557       | 28376            |
| 24290           | 563                     | 617       | 669       | 565       | 659       | 548       | 27921            |



## 6. ΕΥΡΕΣΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΣΕΩΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

### 6.1 Γενικά.

Η γνώση του βάρους και της θέσεως του κέντρου βάρους ενός πλοίου σε κάθε κατάσταση φορτώσεως, αποτελούν απόλυτα απαραίτητα προϋπόθεση για τον πλοίαρχο, τόσο για την εξασφάλιση της ασφάλειας του πλοίου, όσο και για την επιβεβαίωση της τηρήσεως κανονισμών που σχετίζονται μ' αυτήν και επηρεάζουν την εκμετάλλευσή του.

Το βάρος του **άφορτου πλοίου** (light ship) και η θέση του κέντρου βάρους του βρίσκονται με το **πείραμα ενστάθειας** (inclining experiment), (βλ. παραγρ. 8.5). Το πείραμα αυτό γίνεται από το ναυπηγείο όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή του (ή μετά από εκτεταμένη μετασκευή του) και τα στοιχεία που προκύπτουν από αυτό αποτελούν στοιχεία αναφοράς για όλη του τη ζωή.

Στην καθημερινή πρακτική αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς που είναι αναγκαίοι, προκειμένου να επιβεβαιώνεται, σε συνεχή βάση, η επάρκεια πλευστότητας και ευστάθειας, παράγοντες που, όπως θα δούμε στη συνέχεια, καθορίζονται από διάφορους κανονισμούς και εξασφαλίζουν τη χρησιμοποίησή του με ασφάλεια, στο δυσμενές θαλάσσιο περιβάλλον.

Για τις ανάγκες του παρόντος βιβλίου θεωρείται ότι το βάρος του πλοίου σε κάθε κατάσταση φορτώσεως, αποτελείται από εκείνο του άφορτου πλοίου και από εκείνο όλων των μεταβλητών φορτίων που μεταφέρονται απ' αυτό.

Τα παραπάνω μεταβλητά βάρη συνηθίζεται να κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- 1) Βάρος πληρώματος και εφοδίων.
- 2) Βάρος βαρέος πετρελαίου.
- 3) Βάρος πετρελαίου diesel.
- 4) Βάρος τροφοδοτικού νερού.
- 5) Βάρος πόσιμου νερού.
- 6) Βάρος λιπαντικού λαδιού.
- 7) Βάρος υγρού έρματος.
- 8) Βάρος μεταφερόμενου φορτίου.

### 6.2 Εύρεση βάρους και θέσεως κέντρου βάρους άφορτου πλοίου.

**Η εύρεση του βάρους του άφορτου πλοίου και της θέσεως του κέντρου βάρους του πραγματοποιούνται όπως είπαμε κατά τη διάρκεια του πειράματος ενστάθειας.** Το πείραμα αυτό εκτελείται μέσα στη θάλασσα μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του.

Κατά το πείραμα ευστάθειας βρίσκουμε το βάρος του άφορτου πλοίου που συμβολίζουμε με  $\Delta_0$  (light ship weight) και την αντίστοιχη θέση του κέντρου βάρους του, σημείο που συμβολίζουμε με  $G_0$ . Ειδικότερα η θέση του κέντρου βάρους περιγράφεται με τις εξής συντεταγμένες:

1)  **$LCG_0$**  (longitudinal center of gravity of light ship), που, για τις ανάγκες αυτού του βιβλίου ορίζεται ως η απόσταση σε m ή ft από την πρυμναία κάθετο ή από το μέσον του ως το σημείο  $G_0$  και μετρείται κατά τη διεύθυνση του άξονα των x (σχ. 1.2α).

2)  **$VCG_0$**  (vertical center of gravity of light ship), που ορίζεται ως η απόσταση σε m ή ft από το βασικό επίπεδο αναφοράς έως το σημείο  $G_0$ , η οποία μετρείται κατά τη διεύθυνση του άξονα των z. Επειδή το σημείο τομής της βασικής γραμμής αναφοράς και του επιπέδου συμμετρίας συμβολίζεται με το γράμμα K, το  $VCG_0$  συχνά συμβολίζεται και με  $KG_0$ .

Γενικά το άφορτο πλοίο επιδιώκεται να έχει το κέντρο βάρους του πάνω στο επίπεδο συμμετρίας. Όταν

αυτό δεν συμβαίνει, συμβολίζουμε με  $TCG_0$  (Transverse center of gravity of light ship) την απόσταση σε m ή ft από το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου έως το σημείο  $G_0$ , η οποία μετρείται κατά τη διεύθυνση του άξονα των y.

### 6.3 Εύρεση βάρους και θέσεως κέντρου βάρους του πλοίου μετά από προσθαφαίρεση βαρών.

Για να είμαστε σε θέση να βρούμε το εκτόπισμα του πλοίου και την αντίστοιχη θέση του κέντρου βάρους του, θα πρέπει να μελετήσουμε τον τρόπο, με τον οποίο επηρεάζονται αυτά τα στοιχεία, σε περίπτωση που προστεθούν ή αφαιρεθούν βάρη σε ή από διάφορες θέσεις του πλοίου.

Στο σχήμα 6.3α έχουμε ένα πλοίο με αρχικό βάρος  $\Delta_0$  και κέντρο βάρους στη θέση  $G_0$  που περιγράφεται με τη διαμήκη απόσταση  $LCG_0$ . Προσθέτουμε στο πλοίο διάφορα βάρη ( $w_1, w_2, w_4$  και  $w_5$  με κέντρα βάρους που περιγράφονται με τις διαμήκεις αποστάσεις  $LCg_1, LCg_2, LCg_4$  και  $LCg_5$  αντίστοιχα) και αφαιρούμε διάφορα άλλα ( $w_3$  και  $w_6$  με κέντρα βάρους που περιγράφονται με τις αποστάσεις  $LCg_3$  και  $LCg_6$  αντίστοιχα). Ζητάμε να βρούμε το νέο βάρος του πλοίου  $\Delta$  και τη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους του (LCG), μετά από την παραπάνω προσθαφαίρεση βαρών.

Η εύρεση των ζητούμενων στοιχείων μπορεί να γίνει πολύ εύκολα με χρησιμοποίηση των σχέσεων (14) και (16) του τρίτου κεφαλαίου, αν σημειώσουμε ότι για βάρη που προστίθενται έχουμε φορά δυνάμεων προς τα κάτω και για βάρη που αφαιρούνται φορά δυνάμεων προς τα πάνω.

Έτσι από τη σχέση (14) έχουμε:

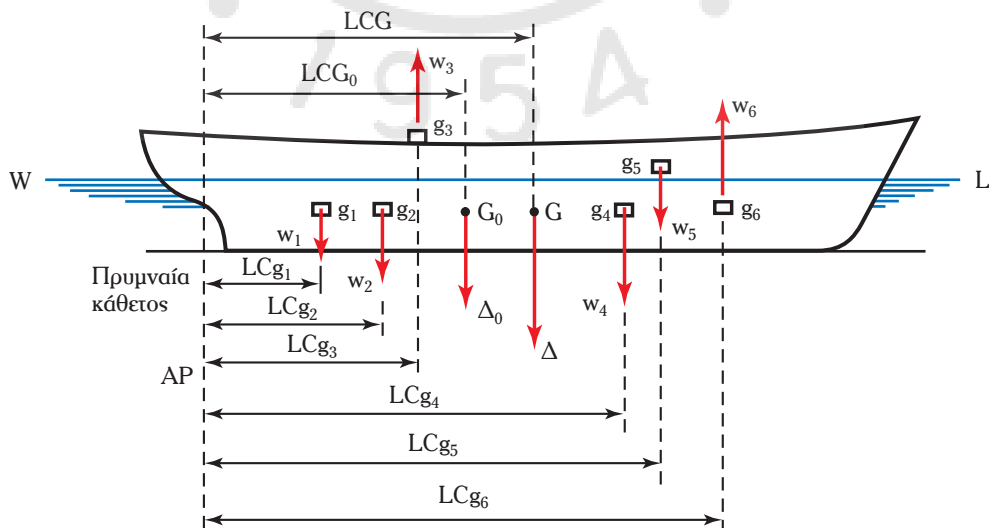
$$\Delta = \Delta_0 + w_1 + w_2 - w_3 + w_4 + w_5 - w_6 = \Delta_0 + \Sigma w_i \quad (59)$$

όπου  $\Sigma w_i$  παριστάνει το αλγεβρικό άθροισμα των βαρών που προσθαφαιρέθηκαν.

Επίσης από τη σχέση (16) θα έχουμε:

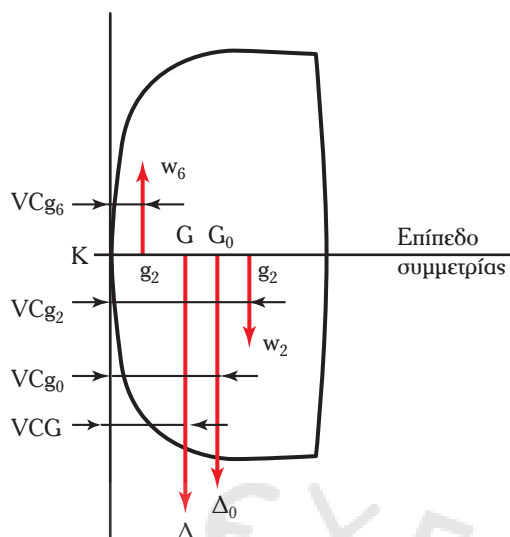
$$\begin{aligned} LCG &= \frac{\Delta_0 (LCG_0) + w_1 (LCg_1) + w_2 (LCg_2) - w_3 (LCg_3) + w_4 (LCg_4) + w_5 (LCg_5) - w_6 (LCg_6)}{\Delta_0 + \Sigma w_i} = \\ &= \frac{\Delta_0 (LCG_0) + \Sigma w_i (LCg_i)}{\Delta_0 + \Sigma w_i} = \frac{\Delta_0 (LCG_0) + \Sigma w_i (LCg_i)}{\Delta_0} \end{aligned} \quad (60)$$

Στις παραπάνω σχέσεις το  $\Sigma w_i (LCg_i)$  παριστάνει το αλγεβρικό άθροισμα των αντιστοίχων ροπών.



Σχ. 6.3α.

Προσθαφαίρεση βαρών (διαμήκης διεύθυνση).



Σχ. 6.3β.

Προσθαφαίρεση βαρών (κατακόρυφη διεύθυνση).

Στο σχήμα 6.3β βλέπουμε τα σημεία όπου προσθαφαιρούνται τα διάφορα βάρη κατά την έννοια του ύψους του πλοίου. Τα αντίστοιχα σημεία εκφράζονται με τις αποστάσεις  $VCg_6$ ,  $VCg_2$  κ.λπ.. Το σχήμα, για καλύτερη κατανόηση του θέματος, δείχνει το πλοίο να έχει στραφεί κατά γωνία  $90^\circ$  (με την πλευρά προς τα κάτω) και περιέχει για λόγους απλότητας ένα μέρος μόνο από τα βάρη που προσθαφαιρούνται.

Εφαρμογή της σχέσεως (16) σ' αυτήν την περίπτωση δίνει:

$$\begin{aligned}
 VCG &= \frac{\Delta_0 (VCG_0) + w_1 (VCg_1) + w_2 (VCg_2) - w_3 (VCg_3) + w_4 (VCg_4) + w_5 (VCg_5) - w_6 (VCg_6)}{\Delta_0 + \Sigma w_i} = \\
 &= \frac{\Delta_0 (VCG_0) + \Sigma w_i (VCg_i)}{\Delta_0 + \Sigma w_i} = \frac{\Delta_0 (VCG_0) + \Sigma w_i (VCg_i)}{\Delta_0} \quad (61)
 \end{aligned}$$

Στη σχέση (61) το  $\Sigma w_i (VCg_i)$  παριστάνει το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών των δυνάμεων που προσθαφαιρούνται.

Τέλος, σε περίπτωση που τα προσθαφαιρούμενα βάρη δεν βρίσκονται πάνω στο επίπεδο συμμετρίας θα πρέπει να εφαρμοσθεί μια αντίστοιχη διαδικασία, με προσοχή όμως στο ότι στο αλγεβρικό άθροισμα των ροπών το πρόσημο κάθε μίας από αυτές εξαρτάται από το αν το βάρος προστίθεται ή αφαιρείται και από το αν βρίσκεται προς τα δεξιά ή προς τ' αριστερά του επιπέδου συμμετρίας.

Σ' αυτήν την περίπτωση θα έχουμε:

$$TCG = \frac{\Delta_0 (TCG_0) + \Sigma w_i (TCg_i)}{\Delta} \quad (62)$$

Η εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων στην πράξη θα φανεί στην επόμενη παράγραφο.

#### 6.4 Εύρεση βάρους και θέσεως κέντρου βάρους πλοίου σε τυχούσα κατάσταση φορτώσεώς του.

Ο πλοίαρχος ενός πλοίου χρειάζεται να γνωρίζει το νέο εκτόπισμα και τη νέα θέση του κέντρου βάρους του πλοίου του στο τέλος κάθε φορτώσεως ή εκφορτώσεως (σε ειδικές περιπτώσεις και σε διάφορες φάσεις κατά τη διάρκειά τους). Οι σχετικοί υπολογισμοί πρέπει να γίνονται, λογιστικά, πριν από κάθε φόρτωση. Την κατάσταση αυτή του πλοίου ονομάζουμε **κατάσταση αναχωρήσεως** (departure). Επίσης, επειδή κατά τη διάρκεια του ταξιδιού καταναλώνονται πετρέλαιο, νερό, λιπαντικά και εφόδια είναι απαραίτητο

ο πλοίαρχος να εκτιμήσει τις αντίστοιχες πληροφορίες για την **κατάσταση αφίξεως** (arrival) στο λιμάνι προορισμού και σε μερικές περιπτώσεις και σε μία **ενδιάμεση κατάσταση** (intermediate) που αντιστοιχεί περίπου στο μέσο του ταξιδιού του.

Οι υπολογισμοί που γίνονται για την εύρεση των παραπάνω στοιχείων έχουν τη μορφή πίνακα και βασίζονται στην εφαρμογή των σχέσεων (59), (60) και (61). Σε κάποιες περιπτώσεις (όταν υπάρχουν καταναλώσεις ή φόρτωση σε σημεία που δεν έχουν κέντρο βάρους πάνω στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου), χρειάζεται και η χρησιμοποίηση της σχέσεως (62).

### **Παράδειγμα.**

Στον πίνακα 6.4.1 δίνεται μια τυπική καταγραφή των βαρών πετρελαίου λεβήτων, πετρελαίου diesel, λιπαντικού λαδιού και πόσιμου νερού σε κάποια κατάσταση αναχωρήσεως του πλοίου Α. Στον πίνακα καταγράφεται κατά σειρά η περιγραφή κάθε δεξαμενής, το περιεχόμενό της σε  $m^3$ , το ειδικό βάρος του αντίστοιχου υγρού, το βάρος του υγρού, η απόσταση του κέντρου βάρους του από την πρυμναία κάθετο και η αντίστοιχη ροπή, η απόσταση του κέντρου βάρους από την τροπίδα και η αντίστοιχη ροπή και η ροπή αδράνειας της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού, η χρήση της οποίας θα επεξηγηθεί στην ανάπτυξη θεμάτων εγκάρσιας ευστάθειας του πλοίου (κεφ. 8).

Στην κορυφή κάθε στήλης δίνονται πληροφορίες για την εύρεση του αντίστοιχου αριθμού από το συνδυασμό πληροφοριών που περιέχονται σε άλλες στήλες. Η ροπή 13157 MT-m της στήλης 6 π.χ. προκύπτει ως γινόμενο του βάρους (στήλη 4) επί το διαμήκη μοχλοβραχίονα (στήλη 5) και η ροπή 206 tn/m της στήλης 8 προκύπτει ως γινόμενο του βάρους (στήλη 4) επί τον κατακόρυφο μοχλοβραχίονα (στήλη 7).

Αντίστοιχοι πίνακες θα πρέπει να καταρτισθούν από τον πλοίαρχο και για την ενδιάμεση κατάσταση, καθώς και για την κατάσταση αφίξεως του συγκεκριμένου ταξιδιού. Εννοείται ότι σ' ένα άλλο ταξίδι με διαφορετική κατανομή υγρών στις δεξαμενές, οι παραπάνω πίνακες θα πρέπει να συμπληρωθούν από την αρχή.

Οι απαραίτητες πληροφορίες για τους όγκους, τα βάρη των υγρών και τα κέντρα βάρους των δεξαμενών έχουν ληφθεί για το πλοίο Α από τον πίνακα 5.8.1. Σε κάθε συγκεκριμένο πλοίο οι πληροφορίες αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται από το εγχειρίδιο ζυγίσεως και ευστάθειάς του.

Μία αντίστοιχη καταγραφή του φορτίου στα κύπη του πλοίου παρουσιάζεται στον πίνακα 6.4.2. Η διαμόρφωση του πίνακα αυτού είναι ανάλογη μ' εκείνη του πίνακα 6.4.1 και οι σχετικές πληροφορίες έχουν ληφθεί για το πλοίο τύπου Α από τον πίνακα 5.9.1.

Στον πίνακα 6.4.3 βλέπουμε πώς συνδυάζονται κατά τον ίδιο πάντα τρόπο οι πληροφορίες των προηγούμενων πινάκων για την εύρεση του βάρους και της θέσεως του κέντρου βάρους του πλοίου Α στη συγκεκριμένη κατάσταση φορτώσεως που εξετάζουμε. Συγκεκριμένα στον πίνακα αυτό:

- Οι πληροφορίες για το φορτίο έχουν μεταφερθεί από τον πίνακα 6.4.2.
- Οι πληροφορίες για τις δεξαμενές έχουν μεταφερθεί από τον πίνακα 6.4.1.
- Οι πληροφορίες για τα βάρη του πληρώματος και των εφοδίων έχουν μεταφερθεί από έναν αντίστοιχο με τους παραπάνω πίνακα που περιέχεται στο εγχειρίδιο ζυγίσεως και ευστάθειας κάθε πλοίου.
- Τα στοιχεία για το άφορτο πλοίο έχουν βρεθεί από το πείραμα ευστάθειας και περιέχονται στο εγχειρίδιο ζυγίσεως και ευστάθειας κάθε πλοίου.

Η διαδικασία των παραπάνω υπολογισμών δεν είναι τίποτε άλλο από μία επαναλαμβανόμενη χρησιμοποίηση των σχέσεων (59), (60) και (61) και οδηγεί, για το πλοίο Α, στο συμπέρασμα ότι κατά τη συγκεκριμένη φόρτωση στην κατάσταση αναχωρήσεως:

- Το βάρος του πλοίου είναι  $\Delta = 53232$  MT.
- Η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του πλοίου είναι  $LCG = 99,36$  προς πλώρα από την πρυμναία κάθετο.
- Η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου είναι  $VCG = 9,81$  m πάνω από το βασικό επίπεδο αναφοράς.

**Οι πλοίαρχοι και υποπλοίαρχοι των εμπορικών πλοίων θα πρέπει να είναι απόλυτα εξοικειωμένοι με τις παραπάνω μεθόδους, διότι τέτοιοι υπολογισμοί χρειάζεται να γίνονται από αυτούς πριν από κάθε ταξίδι.**

Πίνακας 6.4.1. Καταγραφή βαρών για φορτία δεξαμενών (κατάσταση αναχωρήσεως).

| στίλη 1                          | στίλη 2                 | στίλη 3                 | στίλη 4              | στίλη 5                     | στίλη 6                        | στίλη 7                  | στίλη 8                              | στίλη 9   |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| Δεξαμενή                         | Όγκος (m <sup>3</sup> ) | 1/S·F MT/m <sup>3</sup> | Βάρος = (2) × (3) MT | Βραχίονας από κάθετο ΠΜ (m) | Διαμήκης ροπή = (4) × (5) MT·m | Βραχίονας από τρόπια (m) | Κατακόρυφη ροπή = (4) × (7) (MT) · m | Ροπή αδράνειας ελεύθερης επιφάνειας (m <sup>4</sup> ) |
| <b>Πετρέλαιο λεβήτων</b>         |                         |                         |                      |                             |                                |                          |                                      |   |
| Προς ΠΡ ts Deep tank, P          | 79                      |                         | 73                   | 180,23                      | 13157                          | 2,82                     | 206                                  | 422   |
| Προς ΠΡ ts Deep tank, S          | 127                     |                         | 117                  | 180,13                      | 21075                          | 3,00                     | 351                                  | 534   |
| No 1 δεξαμενή D.B, P             | 229                     |                         | 211                  | 173,76                      | 36663                          | 2,02                     | 426                                  | 625   |
| No 1 δεξαμενή D.B, S             | 322                     |                         | 211                  | 173,76                      | 36663                          | 2,02                     | 426                                  | 625   |
| Πλευρική (wing), P               | 322                     |                         | 296                  | 30,57                       | 9049                           | 13,23                    | 3916                                 | 360   |
| Πλευρική (wing), S               | 29                      |                         | 296                  | 30,57                       | 9049                           | 13,23                    | 3916                                 | 360   |
| Χρήσεως, P                       | 59                      |                         | 27                   | 14,93                       | 403                            | 11,68                    | 315                                  | 20  |
| Χρήσεως, S                       | 169                     |                         | 54                   | 13,41                       | 724                            | 13,41                    | 724                                  | 18  |
| Κατακάθιστος, P                  | 33                      |                         | 155                  | 10,15                       | 1573                           | 13,51                    | 2094                                 | 38  |
| Μηχανοστασίου D.B, P             | 33                      | 0,92                    | 30                   | 25,51                       | 765                            | 1,29                     | 39                                   | 30  |
| Μηχανοστασίου D.B, S             |                         |                         | 30                   | 24,32                       | 729                            | 1,03                     | 31                                   | 29  |
| Υπερχείλισεων (κεντρική)         |                         |                         |                      |                             |                                |                          |                                      |   |
| <b>Σύνολο πετρελαίου λεβήτων</b> | <b>1631</b>             | <b>0,92</b>             | <b>1500</b>          | <b>86,57</b>                | <b>129850</b>                  | <b>8,30</b>              | <b>12444</b>                         | <b>3061</b>   |
| <b>Πετρέλαιο diesel</b>          |                         |                         |                      |                             |                                |                          |                                      |   |
| Χρήσεως, S                       | 21                      |                         | 18                   | 14,93                       | 268                            | 13,85                    | 249                                  | 19  |
| Αποθηκεύσεως ΠΡ, S               | 109                     |                         | 94                   | 13,47                       | 1266                           | 12,95                    | 1217                                 | 57  |
| Αποθηκεύσεως ΠΜ, S               | 141                     | 0,86                    | 121                  | 9,72                        | 1176                           | 9,72                     | 1176                                 | 69  |
| <b>Σύνολο πετρελαίου diesel</b>  | <b>271</b>              | <b>0,86</b>             | <b>233</b>           | <b>11,63</b>                | <b>2710</b>                    | <b>11,34</b>             | <b>2642</b>                          | <b>145</b>  |
| <b>Λάδι λιπάνσεως</b>            |                         |                         |                      |                             |                                |                          |                                      |   |
| Ακάθαρτου λαδιού, P              | 3                       |                         | 3                    | 24,47                       | 73                             | 14,94                    | 45                                   | 8   |
| Ακάθαρτου λαδιού, P              | 3                       |                         | 3                    | 24,47                       | 73                             | 13,66                    | 41                                   | 8   |
| Αποθηκεύσεως, P                  | 11                      |                         | 9                    | 23,47                       | 211                            | 14,32                    | 129                                  | 5   |
| Αποθηκεύσεως, P                  | 12                      |                         | 10                   | 21,94                       | 219                            | 14,08                    | 141                                  | 7   |
| Αποθηκεύσεως, P                  | 12                      |                         | 10                   | 20,09                       | 201                            | 14,14                    | 141                                  | 5   |
| No 2 χρήσεως, S                  | 14                      |                         | 12                   | 24,84                       | 298                            | 14,32                    | 172                                  | 7   |
| No 1 χρήσεως, S                  | 13                      |                         | 11                   | 23,32                       | 257                            | 14,32                    | 158                                  | 6   |
| No 2 χρήσεως, P                  | 22                      |                         | 19                   | 21,15                       | 402                            | 14,32                    | 272                                  | 9   |
| No 1 χρήσεως, P                  | 22                      |                         | 19                   | 18,17                       | 345                            | 14,32                    | 272                                  | 7   |
| Υπερχείλισεων (κεντρική)         | 9                       | 0,86                    | 8                    | 21,40                       | 171                            | 1,45                     | 12                                   | 6   |
| <b>Σύνολο λαδιού</b>             | <b>121</b>              | <b>0,86</b>             | <b>104</b>           | <b>21,64</b>                | <b>2250</b>                    | <b>13,30</b>             | <b>1383</b>                          | <b>68</b>   |
| <b>Πόσιμο νερό</b>               |                         |                         |                      |                             |                                |                          |                                      |   |
| Πλύσεως προωραία, P              | 77                      |                         | 77                   | 3,66                        | 282                            | 14,98                    | 1154                                 | 42  |
| Πλύσεως προωραία, S              | 77                      |                         | 77                   | 3,66                        | 282                            | 14,98                    | 1154                                 | 42  |
| Πόσιμου προωραία, P              | 27                      |                         | 27                   | 3,35                        | 91                             | 14,84                    | 401                                  | 1   |
| Πόσιμου προωραία, S              | 27                      |                         | 27                   | 3,35                        | 91                             | 14,84                    | 401                                  | 1   |
| Τροφοδοτικού S                   | 17                      |                         | 17                   | 29,84                       | 507                            | 1,22                     | 21                                   | 26  |
| Τροφοδοτικού S                   | 12                      | 1,00                    | 12                   | 30,17                       | 362                            | 1,22                     | 15                                   | 19  |
| <b>Σύνολο νερού</b>              | <b>237</b>              | <b>1,00</b>             | <b>237</b>           | <b>6,81</b>                 | <b>1615</b>                    | <b>13,24</b>             | <b>3146</b>                          | <b>132</b>  |

Σημείωση P = αριστερά, S = δεξιά, ΠΡ = προωραία και ΠΜ = πριμναία.

**Πίνακας 6.4.2**  
**Καταγραφή βαρών και ροπών για φορτία κυτών.**

| στήλη 1  | στήλη 2                    | στήλη 3                      | στήλη 4                 | στήλη 5                              | στήλη 6                             | στήλη 7                        | στήλη 8                                 |
|--|----------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---|
| Χώρος  | Όγκος<br>(m <sup>3</sup> ) | 1/S × F<br>MT/m <sup>3</sup> | Βάρος =<br>(2) × (3) MT | Βραχίονας από<br>πρυμναία κάθετο (m) | Διαμήκης ροπή =<br>(4) × (5) MT – m | Βραχίονας<br>από τρόπδα<br>(m) | Κατακόρυφη ροπή =<br>(4) × (7) (MT) – m |
| No 1 κύτος   | 3715                       |                              | 2967                    | 169,41                               | 502639                              | 9,47                           | 28097                                   |
| No 2 κύτος   | 6140                       |                              | 4900                    | 153,00                               | 749700                              | 8,09                           | 39641                                   |
| No 3 κύτος   | 6948                       |                              | 5545                    | 135,19                               | 732994                              | 8,18                           | 45358                                   |
| No 4 κύτος   | 7484                       |                              | 5972                    | 109,19                               | 652083                              | 8,15                           | 48672                                   |
| No 5 κύτος   | 6250                       |                              | 4988                    | 87,31                                | 435502                              | 8,06                           | 40203                                   |
| No 6 κύτος   | 7471                       |                              | 5962                    | 65,31                                | 389378                              | 8,15                           | 48590                                   |
| No 7 κύτος   | 5994                       |                              | 4783                    | 43,49                                | 208013                              | 8,23                           | 39364                                   |
| No 1 άνω πλευρική δεξαμενή, P  |                            |                              |                         |                                      |                                     |                                |   |
| No 1 άνω πλευρική δεξαμενή, S  | 510                        |                              | 407                     | 152,98                               | 62263                               | 14,59                          | 5938                                    |
| No 2 άνω πλευρική δεξαμενή, P  | 510                        |                              | 407                     | 152,98                               | 62263                               | 14,59                          | 5938                                    |
| No 2 άνω πλευρική δεξαμενή, S  | 558                        |                              | 445                     | 131,98                               | 58731                               | 14,58                          | 6488                                    |
| No 3 άνω πλευρική δεξαμενή, P  | 558                        |                              | 445                     | 131,98                               | 58731                               | 14,58                          | 6488                                    |
| No 3 άνω πλευρική δεξαμενή, S  | 605                        |                              | 483                     | 109,12                               | 52705                               | 14,58                          | 7042                                    |
| No 4 άνω πλευρική δεξαμενή, P  | 605                        |                              | 483                     | 109,12                               | 52705                               | 14,58                          | 7042                                    |
| No 4 άνω πλευρική δεξαμενή, S  | 511                        |                              | 408                     | 87,17                                | 35565                               | 14,58                          | 5949                                    |
| No 5 άνω πλευρική δεξαμενή, P  | 511                        |                              | 408                     | 87,17                                | 35565                               | 14,58                          | 5949                                    |
| No 5 άνω πλευρική δεξαμενή, S  | 605                        |                              | 483                     | 67,66                                | 32680                               | 14,58                          | 7042                                    |
| No 6 άνω πλευρική δεξαμενή, P  | 605                        |                              | 483                     | 67,66                                | 32680                               | 14,58                          | 7042                                    |
| No 6 άνω πλευρική δεξαμενή, S  | 496                        |                              | 396                     | 43,40                                | 17186                               | 14,66                          | 5774                                    |
| No 7 άνω πλευρική δεξαμενή, P  | 496                        | 0,798                        | 396                     | 43,40                                | 17186                               | 14,66                          | 5774                                    |
| No 7 άνω πλευρική δεξαμενή, S  |                            |                              |                         |                                      |                                     |                                |   |
| <b>Σύνολο</b>  | <b>50575</b>               | <b>0,798</b>                 | <b>40361</b>            | <b>103,78</b>                        | <b>4188569</b>                      | <b>9,08</b>                    | <b>366391</b>                           |
| <p>Διαμήκης θέση κέντρου βάρους } = 4188569/40361 = 103,78 m<br/>         συνολικού φορτίου }</p> <p>Κατακόρυφη θέση κέντρου } = 366391/40361 = 9,08 m<br/>         βάρους συνολικού φορτίου }</p> |                            |                              |                         |                                      |                                     |                                |   |

**Πίνακας 6.4.3**  
**Καταγραφή βαρών και ροπών για ολόκληρο το πλοίο.**

| σύλη 1                         | σύλη 2                              | σύλη 3        | σύλη 4                    | σύλη 5  | σύλη 6                     | σύλη 7                                  | σύλη 8  |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------------------|---|----------------------------|---|---|
| Περιγραφή                      | $1/S \times F$<br>MT/m <sup>3</sup> | Βάρος<br>(MT) | Διαμήκης<br>βραχίονας (m) | Διαμήκης ροπή =<br>(3) × (4) MT – m                         | Κατακόρυφος<br>βραχίονας m | Κατακόρυφη ροπή =<br>(3) × (6) (MT) – m | Ροπή αδράνειας<br>ελεύθερης<br>επιφάνειας (m <sup>4</sup> ) |
| Φορτίο (πίν. 6.4.2)            | 0,798                               | 40361         | 103,78                    | 4188569   | 9,08                       | 366391                                  |   |
| Πετρέλαιο λεβήτων (πίν. 6.4.1) | 0,920                               | 150           | 12,29                     | 1844  | 12,22                      | 1833                                    | 7   |
| Πετρέλαιο diesel (πίν. 6.4.1)  | 0,860                               | 50            | 11,58                     | 579   | 12,08                      | 604                                     | 8   |
| Λάδι λιπάνσεως (πίν. 6.4.1)    | 0,860                               | 59            | 21,86                     | 1290  | 12,25                      | 723                                     | 6   |
| Πόσιμο νερό (πίν. 6.4.1)       | 1,000                               | 79            | 13,28                     | 1049  | 8,96                       | 708                                     | 13  |
| Υγρό έρμα                      | 1,025                               | –             | –                         | –   | –                          | –                                       | –   |
| Πλήρωμα και εφόδια             |                                     | 101           | 72,65                     | 7338  | 15,91                      | 1607                                    |   |
| Deadweight                     |                                     | 40800         | 102,96                    | 4200669   | 9,11                       | 371866                                  |   |
| Άφροτο πλοίο                   |                                     | 12432         | 87,57                     | 1088670   | 12,08                      | 150179                                  |   |
| <b>Σύνολο εκτοπίσματος</b>     |                                     | <b>53232</b>  | <b>99,36</b>              | <b>5289339</b>  | <b>9,91</b>                | <b>522045</b>                           | <b>34</b>   |
|                                |                                     |               |                           | Διαμήκης θέση<br>κέντρου βάρους } = 5289339/53232 = 99,36 m |                            |   |   |
|                                |                                     |               |                           | Κατακόρυφη θέση<br>κέντρου βάρους } = 522045/53232 = 9,81 m |                            |   |   |

### 6.5 Μη ομοιόμορφο φορτίο σε κύτος.

Στο παράδειγμα της προηγούμενης παραγράφου το φορτίο μέσα στα κύπη ήταν ομοιόμορφο «κύδην» και έτσι ήταν δυνατό να πάρουμε εύκολα, από στοιχεία που υπάρχουν στο εγχειρίδιο ζυγίσεως και ευστάθειάς του, τις σχετικές πληροφορίες (βάρη και κέντρα βάρους). Σε περιπτώσεις φορτώσεως μη ομοιόμορφου φορτίου στο κύτος ενός πλοίου, η εύρεση των σχετικών στοιχείων απαιτεί πρόσθετους υπολογισμούς. Μία συνηθισμένη τέτοια περίπτωση είναι π.χ. η φόρτωση γενικού φορτίου.

Για την εύρεση του βάρους και του κέντρου βάρους του φορτίου σε μία τέτοια περίπτωση, **το φορτίο θα πρέπει να υποδιαιρεθεί σε ομοιόμορφες παρτίδες και να εκτιμηθεί το κέντρο βάρους κάθε μιας**. Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τα θεωρήματα των ροπών για την εύρεση των απαραίτητων πληροφοριών, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα.

#### Παράδειγμα.

Το κύτος Νο 1 ενός πλοίου έχει μήκος 16 m, πλάτος 12 m και ύψος 6 m. Η πρυμναία φρακτή του κύτους απέχει 80 m από την πρυμναία κάθετο. Το κύτος περιέχει τριών ειδών φορτία, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5 και ειδικότερα:

- Φορτίο Α με ειδικό βάρος  $2,112 \text{ MT/m}^3$ .
- Φορτίο Β με ειδικό βάρος  $0,835 \text{ MT/m}^3$ .
- Φορτίο Γ με ειδικό βάρος  $0,57 \text{ MT/m}^3$ .

Θα έχομε λοιπόν:

#### Φορτίο Α.

$$u_1 = \text{Όγκος} = 16 \times 12 \times 4 = 768$$

$$w_1 = \text{Βάρος} = 768 \times 2,112 = 1622 \text{ MT}$$

$$\text{LCg}_1 = 80 + \frac{16}{2} = 88 \text{ m}$$

$$\text{VCg}_1 = \frac{4}{2} = 2 \text{ m}$$

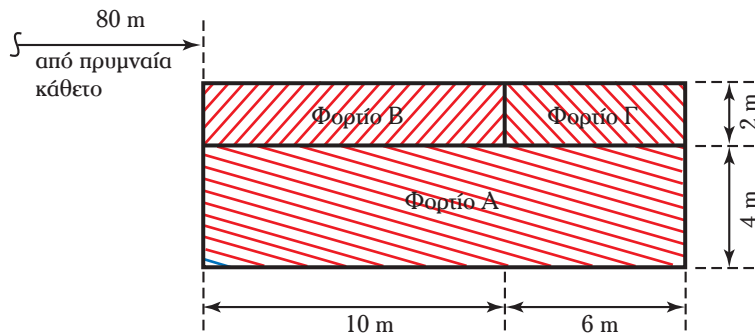
#### Φορτίο Β.

$$u_2 = \text{Όγκος} = 10 \times 12 \times 2 = 240 \text{ m}^3$$

$$w_2 = \text{Βάρος} = 240 \times 0,835 = 200 \text{ MT}$$

$$\text{LCg}_2 = 80 + \frac{10}{2} = 85 \text{ m}$$

$$\text{VCg}_2 = 4 + \frac{2}{2} = 5 \text{ m}$$



Σχ. 6.5.

Φορτίο σε παρτίδες (πλάγια όψη κύτους).



**Φορτίο Γ.**

$$u_3 = \text{Όγκος} = 6 \times 12 \times 2 = 144 \text{ m}^3$$

$$w_3 = \text{Βάρος} = 144 \times 0,57 = 82 \text{ MT}$$

$$LCg_3 = 80 + 10 + \frac{6}{2} = 93 \text{ m}$$

$$VCg_3 = 4 + \frac{2}{2} = 5 \text{ m}$$

Με τα στοιχεία αυτά καταρτίζουμε τον παρακάτω πίνακα:

| στήλη 1       | στήλη 2     | στήλη 3 | στήλη 4                            | στήλη 5 | στήλη 6                              |
|---------------|-------------|---------|------------------------------------|---------|--------------------------------------|
| Φορτίο        | Βάρος (MT)  | LCG (m) | Διαμήκης ροπή (MT - m) = (2) × (3) | VGg (m) | Κατακόρυφη ροπή (MT - m) = (2) × (5) |
| A             | 1622        | 88      | 142736                             | 2       | 3244                                 |
| B             | 200         | 85      | 17000                              | 5       | 1000                                 |
| Γ             | 82          | 53      | 7626                               | 5       | 410                                  |
| <b>Σύνολο</b> | <b>1904</b> |         | <b>167362</b>                      |         | <b>4654</b>                          |

Για ολόκληρο το φορτίο του κύτους θα έχουμε:

$$w = 1904 \text{ MT}$$

$$LCg = 167362/1904 = 87,90 \text{ m}$$

$$VCg = 4654/1904 = 2,44 \text{ m}$$

**6.6 Επίδραση μεταφοράς φορτίου στη θέση του κέντρου βάρους.**

Μεταφορές βαρών πραγματοποιούνται συνέχεια στα πλοία, για λειτουργικούς λόγους, όπως μεταφορά υγρών από δεξαμενή σε δεξαμενή ή φορτίου από ένα κύτος σε άλλο. Συχνά μεταφορά βαρών γίνεται για να αλλάξει η διαγωγή του πλοίου. **Κάθε μεταφορά βάρους συνεπάγεται μεταβολή της θέσεως του κέντρου βάρους του πλοίου.**

Για τη μελέτη της επιδράσεως της μετακινήσεως ενός βάρους στη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου, μπορούμε να υποθέσουμε ότι **μία τυχαία μετακίνηση ενός βάρους μπορεί να θεωρηθεί ότι πραγματοποιείται με τρεις επί μέρους μετακινήσεις** κατά τη διεύθυνση των τριών αξόνων του σχήματος 1.2α.

Η επίδραση κάθε μιας από τις παραπάνω μετακινήσεις μπορεί στη συνέχεια να εξετασθεί με βάση όσα έχουν ήδη ληχθεί για τις προσθαφαιρέσεις βαρών, αν υποθέσουμε ότι το βάρος αφαιρείται από την αρχική του και προστίθεται (το ίδιο βάρος) στη νέα του θέση.

Είναι αυτονόητο ότι μετακίνηση κατά το διαμήκη άξονα επηρεάζει μόνο τη διαμήκη, κατά τον κατακόρυφο μόνο την κατακόρυφη και κατά τον εγκάρσιο μόνο την εγκάρσια θέση του κέντρου βάρους του πλοίου.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια απλή μετακίνηση ενός βάρους  $w$  από μια αρχική θέση ( $LCg_1$ ) σε μία νέα ( $LCg_2$ ) από την πρύμνη προς την πλώρη κατά τη διεύθυνση του άξονα. Αν η αρχική θέση του κέντρου βάρους του πλοίου εκφράζεται με το μήκος  $LCG_1$ , για να βρούμε τη νέα θέση του κέντρου βάρους του πλοίου  $LCG_2$ , εργαζόμαστε όπως φαίνεται στον πίνακα 6.6.1.

Οι πληροφορίες στις στήλες 2 και 4 για τη νέα κατάσταση του πλοίου βρίσκονται με άθροιση όλων των ποσοτήτων στις αντίστοιχες στήλες. Η νέα διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του πλοίου θα είναι:

$$LCG_2 = \frac{\Delta(LCG_0) - w(LCg_1) + w(LCg_2)}{\Delta_0}$$

**Πίνακας 6.6.1**  
**Εύρεση διαμήκους θέσεως κέντρου βάρους.**

| στήλη 1                 | στήλη 2    | στήλη 3          | στήλη 4  |
|-------------------------|------------|------------------|--|
| Περιγραφή               | Βάρος (MT) | Βραχίονας (m)    | Ροπή = (2) × (3)   |
| Αρχική κατάσταση πλοίου | Δ          | LCG <sub>1</sub> | Δ (LCG <sub>1</sub> )  |
| Αφαίρεση βάρους         | - w        | LCg <sub>1</sub> | -w(LCg <sub>1</sub> )  |
| Πρόσθεση βάρους         | + w        | LCg <sub>2</sub> | + w(LCg <sub>2</sub> )   |
| Νέα κατάσταση πλοίου    | Δ          |                  | Δ(LCG <sub>1</sub> ) - w(LCg <sub>1</sub> ) + w(LCg <sub>2</sub> ) |

Από την παραπάνω σχέση έχομε διαδοχικά:

$$LCG_2 = LCG_1 - \frac{w}{\Delta} (LCg_1 - LCg_2)$$

$$LCG_2 - LCG_1 - \frac{w}{\Delta} (LCg_1 - LCg_2) = \frac{w}{\Delta} g_1 g_2 \quad (63)$$

όπου:  $g_1 g_2$  είναι η διαμήκης απόσταση μετακινήσεως του βάρους που μετακινήθηκε.

Γενικότερα, όταν έχομε μετακινήσεις πολλών βαρών κατά τη διαμήκη έννοια, η σχέση (63) μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$LCG_2 - LCG_1 = \frac{\sum w_i (g_1 g_2)_i}{\Delta} \quad (64)$$

όπου:  $(g_1 g_2)_i$  είναι η μετακίνηση του βάρους  $w_i$ ,  $(g_1 g_2)_2$  του  $w_2$  και γενικά  $(g_1 g_2)_i$  του βάρους  $W_i$ .

Για τη μεταβολή της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους, κατ' αναλογία, θα έχομε:

$$VCG_2 - VCG_1 = \frac{\sum w_i (g_1 g_2)_i}{\Delta} \quad (65)$$

όπου όμως τα  $g_1 g_2$  παριστούν τώρα κατακόρυφες μετακινήσεις.

Στην πράξη είναι πιο συνηθισμένο και πιο απλό να χρησιμοποιούμε τη διαδικασία του πίνακα 6.6.1, όπως θα φανεί και στο επόμενο παράδειγμα.

### **Παράδειγμα 1.**

Το πλοίο Α βρίσκεται στην κατάσταση ζυγίσεως που περιγράφεται στο πίνακα 6.4.3. Πραγματοποιούνται οι παρακάτω μετακινήσεις βαρών:

- 60 tn πετρέλαιο λεβήτων μεταφέρονται από την αριστερή Νο 1 δεξαμενή χρήσεως στην αριστερή δεξαμενή διπύθμενου μηχανοστασίου.
- 500 tn φορτίου μεταφέρονται από το κύτος Νο 3 στο κύτος Νο 5.

Ζητείται η νέα διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του πλοίου στη νέα κατάσταση φορτώσεως.

Στην αρχική κατάσταση του πλοίου έχομε από τον πίνακα 6.4.3:

$$\Delta = 53232 \text{ MT}$$

$$LCG_1 = 99,36 \text{ m}$$

Τις διαμήκεις θέσεις κέντρου βάρους των μετακινουμένων βαρών παίρνομε για τις δεξαμενές από τον πίνακα 5.8.1 και για τα κύτη από τον πίνακα 5.9.1. Στη συνέχεια καταρτίζομε τον πίνακα 6.6.2.

**Πίνακας 6.6.2**  
**Παράδειγμα διαμήκους μεταφοράς βάρους.**

| στήλη 1                     | στήλη 2    | στήλη 3       | στήλη 4                   |
|-----------------------------|------------|---------------|---------------------------|
| Περιγραφή                   | Βάρος (MT) | Βραχίονας (m) | Ροπή = (2) × (3) (MT - m) |
| Αρχική κατάσταση πλοίου     | 53232      | 99,36         | 5289339                   |
| Αφαίρεση πετρελαίου λεβήτων | -60        | 173,76        | -10426                    |
| Πρόσθεση πετρελαίου λεβήτων | +60        | 25,51         | +1530                     |
| Αφαίρεση φορτίου            | -500       | 132,19        | -66095                    |
| Πρόσθεση φορτίου            | +500       | 87,31         | +43655                    |
| Νέα κατάσταση πλοίου        | 53232      |               | 5258003                   |

Η νέα διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του πλοίου θα είναι:

$$LCG_2 = 5258003/53232 = 98,77 \text{ m}$$

### Παράδειγμα 2.

Το πλοίο Α βρίσκεται στην κατάσταση ζυγίσεως που περιγράφεται στον πίνακα 6.4.3. Πραγματοποιούνται οι παρακάτω μετακινήσεις βαρών.

– 300 tn μεταφέρονται σε απόσταση 10 m από πάνω προς τα κάτω.

– 100 tn μεταφέρονται σε απόσταση 5 m από κάτω προς τα πάνω.

Ζητείται η νέα κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου.

Στο παράδειγμα αυτό, επειδή δεν δίνονται οι αρχικές και τελικές θέσεις των βαρών (αλλά μόνο οι μετακινήσεις), θα χρησιμοποιήσουμε τη σχέση (65). Αν θεωρήσουμε τις προς τα πάνω μετακινήσεις θετικές και τις προς τα κάτω αρνητικές, θα έχουμε:

| Βάρος (KT) | (g <sub>1</sub> g <sub>2</sub> ) (m) |
|------------|--------------------------------------|
| 300        | -10                                  |
| 100        | +5                                   |

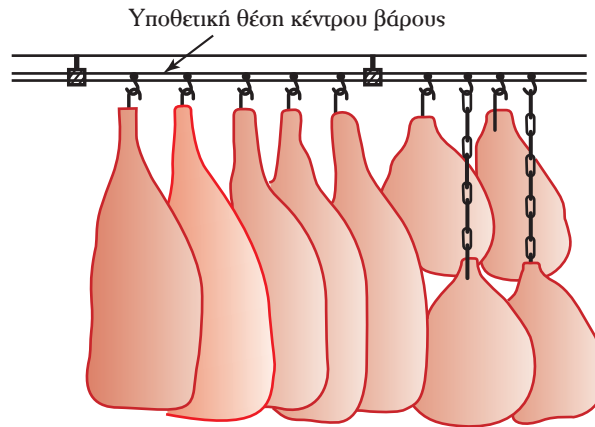
$$\begin{aligned} VCG_2 - VCG_1 &= \frac{\sum w_i (g_1 g_2)_i}{\Delta} = \frac{(300) \times (-10) + (100) \times (5)}{53232} = \\ &= \frac{-3000 + 500}{53232} = \frac{-2500}{53232} = -0,047 \end{aligned}$$

και, επειδή το  $VCG_1$  από τον πίνακα 6.4.3 είναι 9,81 m, θα έχουμε:

$$VCG_2 = VCG_1 - 0,047 = 9,81 - 0,047 = 9,763 \text{ m}$$

### 6.7 Αναρτημένα βάρη.

Το κέντρο βάρους αναρτημένων βαρών που μπορούν να αιωρηθούν γύρω από κάποιο σημείο, για



**Σχ. 6.7.**

*Αναρτημένο φορτίο κρέατος.*

τους υπολογισμούς στατικής του πλοίου δεν λαμβάνεται στην πραγματική του θέση, αλλά θεωρείται ότι βρίσκεται στο σημείο αναρτήσεως. Βασική προϋπόθεση προκειμένου να ισχύουν τα παραπάνω είναι να μην εμποδίζεται η ελεύθερη αιώρηση του βάρους.

Ένα παράδειγμα αναρτημένου βάρους είναι οι βάρκες του πλοίου, όταν κρέμονται ελεύθερες στα καπόνια του. Έτσι, όταν οι βάρκες μπορούν να αιωρηθούν, θεωρούμε ότι το κέντρο βάρους τους βρίσκεται στο σημείο από το οποίο είναι κρεμασμένες. Αντίθετα, όταν είναι στερεωμένες ώστε να εμποδίζεται η αιώρηση, παίρνουμε για τους υπολογισμούς στατικής ως κέντρο βάρους το πραγματικό κέντρο βάρους τους.

Ένα άλλο παράδειγμα αναρτημένου φορτίου είναι το φορτίο κρέατος (σχ. 6.7).

### 7.1 Ορισμός του εκτοπίσματος – Αρχή του Αρχιμήδη.

Στη στατική θεώρηση του πλοίου, στη μελέτη δηλαδή της ισορροπίας του πάνω στην επιφάνεια του νερού όταν δεν υπάρχουν δυνάμεις μεταβαλλόμενες με το χρόνο, όπως είναι το κύμα ή ο άνεμος, επενεργούν σ' αυτό το βάρος του και οι δυνάμεις υδροστατικής προελεύσεως.

Η δύναμη που τείνει να μετακινήσει το πλοίο προς τα κάτω είναι η συνισταμένη του συνόλου των βαρών, μονίμων ή μεταβλητών, που συνθέτουν το πλοίο. Στο σύνολο των βαρών συμπεριλαμβάνεται και το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου. Το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης δυνάμεως του βάρους έχομε ονομάσει **κέντρο βάρους** του πλοίου.

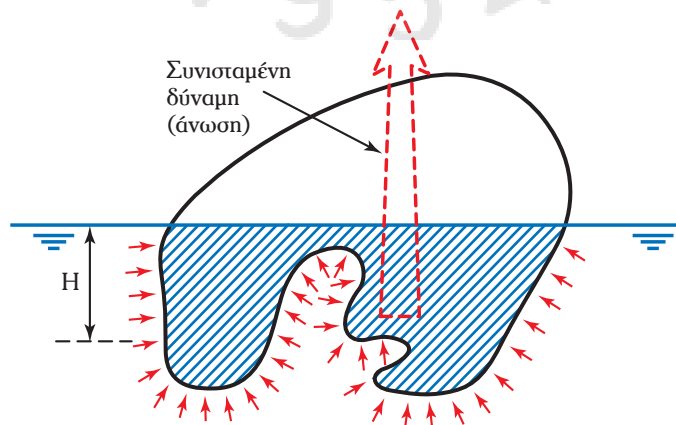
Τη δύναμη του βάρους θα πρέπει να ισορροπήσει η κατακόρυφη συνιστώσα του συνόλου των υδροστατικών πιέσεων που ενεργούν στα ύφαλα του πλοίου.

Στο σχήμα 7.1 βλέπουμε ένα σώμα μ' ένα τμήμα του βυθισμένο σε υγρό. Πάνω στα διάφορα στοιχεία (απειροστές επιφάνειες) του τμήματος του σώματος που βρέχεται από το υγρό (βρεχόμενη επιφάνεια) επενεργεί η ατμοσφαιρική πίεση αλλά και άλλες, υδροστατικής προελεύσεως πιέσεις, το μέγεθος των οποίων είναι ανάλογο με την πυκνότητα του υγρού και με την κατακόρυφη απόσταση του στοιχείου από την επιφάνεια. Οι πιέσεις αυτές μπορούν να βρεθούν από τη σχέση:

$$P = \rho gH + P_{atm} = \gamma H + P_{atm} \quad (66)$$

όπου:  $P$  η πίεση που εφαρμόζεται σε ένα στοιχείο της επιφάνειας,  $\rho$  η πυκνότητα του υγρού,  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας,  $H$  η απόσταση του στοιχείου από την επιφάνεια,  $\gamma$  το ειδικό βάρος του υγρού και  $P_{atm}$  η ατμοσφαιρική πίεση.

Όπως εύκολα μπορεί κάποιος να διαπιστώσει από το σχήμα 7.1, οι οριζόντιες συνιστώσες των δυνάμεων που οφείλονται στις παραπάνω πιέσεις αλληλοεξουδετερώνονται, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο και με τις κατακόρυφες (εκτός από εκείνες που οφείλονται στην ατμοσφαιρική πίεση, οι οποίες έχουν το ίδιο μέγεθος σε όλη την επιφάνεια του σώματος). Τη συνισταμένη όλων των παραπάνω κατακορύφων στοιχειωδών δυνάμεων ονομάζουμε **άνωση** (buoyancy) και είναι μία δύναμη που επενεργεί αντίθετα από το βάρος. Μεγαλύτερη βύθιση του σώματος μέσα στο νερό συνεπάγεται αύξηση της ανώσεως γιατί και η βρεχόμενη



**Σχ. 7.1.**

*Κατανομή υδροστατικών πιέσεων στο βυθισμένο μέρος ενός σώματος.*

επιφάνεια αυξάνεται και τα στοιχεία της μεταφέρονται σε μεγαλύτερο βάθος από την επιφάνεια.

Στην περίπτωση του πλοίου, αφού το βάρος του και η άνωση είναι οι μόνες δυνάμεις που ενεργούν σ' αυτό για την εξασφάλιση στατικής ισορροπίας, θα πρέπει:

- 1) **Το βάρος και η άνωση να έχουν το ίδιο μέγεθος, αλλά αντίθετη φορά.**
- 2) **Οι φορείς, δηλαδή οι κατακόρυφες ευθείες, πάνω στις οποίες επενεργούν οι δύο δυνάμεις (βάρος και άνωση) να συμπίπτουν.**

Από την τελευταία απαίτηση, επειδή οι δύο δυνάμεις είναι κατακόρυφες (άρα και παράλληλες) προκύπτει ότι **σε κάθε κατάσταση ισορροπίας, τα σημεία εφαρμογής βάρους και ανώσεως θα πρέπει να βρίσκονται πάνω στην ίδια κατακόρυφη ευθεία.**

Όταν η πυκνότητα του νερού γύρω απ' το σώμα είναι σταθερή, όπως θεωρούμε ότι συμβαίνει με το νερό, αποδεικνύεται με ολοκλήρωση ότι για κάθε πλοίο που επιπλέει ή βρίσκεται σε στατική ισορροπία σε κατάδυση:

- 1) **Η δύναμη της ανώσεως είναι ίση με το βάρος του νερού που έχει όγκο ίσο μ' εκείνο που καταλαμβάνουν τα υφάλια του πλοίου (η πρόταση αυτή είναι γνωστή με το όνομα Αρχή του Αρχιμήδη).**
- 2) **Το σημείο στο οποίο επενεργεί η δύναμη της ανώσεως (κέντρο ανώσεως) συμπίπτει με το γεωμετρικό κέντρο (κέντρο όγκου) των υφάλων.**

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Βάρος} \\ \text{πλοίου} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Βάρος εκτοπιζό-} \\ \text{μένου νερού} \end{array} \right\} = \text{Όγκος υφάλων} \times \text{Ειδικό βάρος νερού} \quad (67)$$

Η σχέση (67) χρησιμοποιείται για την εύρεση του βάρους του πλοίου, με υπολογισμό του όγκου των υφάλων του με τις μεθόδους που έχουν ήδη εξηγηθεί σε προηγούμενα κεφάλαια. Επειδή το βάρος του πλοίου είναι ίσο με το βάρος του εκτοπιζόμενου νερού, ο όρος **εκτόπισμα** (displacement) χρησιμοποιείται εναλλακτικά για το βάρος του πλοίου (έμφορτο και άφορτο εκτόπισμα). [Επίσης με βάση τη σχέση (67) εξηγούνται και οι σχέσεις (40), (41), (42) και (43) που είχαν δοθεί χωρίς εξήγηση στην παράγραφο 5.6].

Τόσο στην ελληνική όσο και στη διεθνή ναυτική πρακτική ο όρος **εκτόπισμα** χρησιμοποιείται για το βάρος του εκτοπιζόμενου νερού από το πλοίο, το οποίο ζυγίζει, όσο και το πλοίο, όπως φαίνεται και από τη σχέση (67). Έτσι ο όρος «εκτόπισμα» θα χρησιμοποιείται σ' αυτό το βιβλίο ως ταυτόσημος του βάρους του πλοίου.

## 7.2 Προσδιορισμός της πυκνότητας του θαλάσσιου νερού – Όργανα μετρήσεώς της.

Η πυκνότητα του θαλάσσιου νερού δεν είναι παντού η ίδια. Μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή, ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού και με την ποσότητα του αλατιού που περιέχει (**αλατότητα**). Είναι γνωστό για παράδειγμα, ότι κοντά σε εκβολές μεγάλων ποταμών, η πυκνότητα του θαλάσσιου νερού έχει τιμή που βρίσκεται κοντά σε εκείνη του γλυκού νερού.

Για λόγους απλουστεύσεως συνηθίζεται να χρησιμοποιούμε τον όρο **σχετική πυκνότητα**, μέγεθος που εκφράζει το λόγο της τιμής της πυκνότητας κάποιου υγρού προς εκείνη του γλυκού νερού.

Μ' αυτόν τον ορισμό το γλυκό νερό έχει σχετική πυκνότητα 1,0, ενώ το θαλάσσιο σχετική πυκνότητα που κυμαίνεται από 1,007 ως 1,035, ανάλογα με την περιοχή.

Σε σχετικά μεγαλύτερα βάθη η πυκνότητα μεταβάλλεται και κατά την κατακόρυφη έννοια κάτω απ' το πλοίο, αλλά για τα πλοία επιφάνειας (εμπορικά ή πολεμικά) η μεταβολή αυτή δεν λαμβάνεται υπόψη στους σχετικούς υπολογισμούς. Αντίθετα αυτή η μεταβολή έχει πολύ μεγάλη σημασία στους υπολογισμούς ισορροπίας και ζυγίσεως των υποβρυχίων σε συνθήκες καταδύσεως.

Γενικά έχει επικρατήσει, οι αρχικοί υπολογισμοί των πλοίων στη φάση της σχεδίασεως και κατασκευής τους (που παρέχουν στοιχεία που συνοδεύουν τα πλοία ώστε να χρησιμοποιούνται από τους χειριστές τους), να γίνονται για μια μέση σχετική πυκνότητα θαλάσσιου νερού που έχει την τιμή 1,025. Σε ειδικές

συνθήκες όπως θα δούμε, οι χειριστές των πλοίων χρειάζεται να κάνουν υπολογισμούς και για άλλες τιμές της σχετικής πυκνότητας.

Μία περίπτωση κατά την οποία χρειάζεται η ακριβής γνώση της ειδικής πυκνότητας είναι κατά την πραγματοποίηση του πειράματος ευστάθειας. Εκεί, όπως θα δούμε, χρειάζεται να γίνει πραγματική μέτρηση της πυκνότητας του νερού που περιβάλλει το πλοίο.

Η πυκνότητα του νερού μετρείται με απλά φορητά όργανα διαφόρων τύπων που υπάρχουν στα πλοία, τα γνωστά **πυκνόμετρα**. Σε πολύ σύγχρονα πλοία υπάρχουν και μόνιμα εγκατεστημένοι αισθητήρες στον πυθμένα τους που μετράνε την πυκνότητα του νερού κάτω απ' αυτά χωρίς να χρειάζεται δειγματοληψία.

### 7.3 Συσχετισμός εκτοπιζόμενου όγκου υγρού με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου.

Όπως είδαμε παραπάνω ο όγκος του υγρού που εκτοπίζουν τα ύφαλα ενός πλοίου είναι ένα απολύτως σημαντικό στοιχείο, αφού μ' αυτό μπορεί κάποιος, με βάση τη σχέση (67), να προσδιορίσει το βάρος ή αλλιώς το εκτόπισμά του.

Αν το σχήμα των υφάλων είναι απλό, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση μίας ορθογώνιας τομής φορηγίδας, ο υπολογισμός του όγκου των υφάλων είναι απλός. Αρκεί να πολλαπλασιάσει κάποιος το μήκος επί το πλάτος επί το βύθισμα για να υπολογίσει τον όγκο των υφάλων και κατ' επέκταση, από τη σχέση (67), το εκτόπισμα του πλοίου.

Στην πράξη, πλωτά ναυπηγήματα με τέτοια απλά σχήματα υφάλων είναι πολύ λίγα. Αντίθετα, η πλειονότητα των συνηθισμένων πλοίων έχουν περίπλοκα σχήματα που δεν παρέχουν τη δυνατότητα τέτοιων απλοποιημένων υπολογισμών του όγκου των υφάλων.

Σ' αυτές τις περιπτώσεις, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 4, αναγκαία είναι η πραγματοποίηση πολυπλόκων υπολογισμών. Για να τους αποφύγουν, οι χειριστές των πλοίων είναι υποχρεωμένοι να καταφεύγουν, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 5, στο υδροστατικό διάγραμμα ή στους υδροστατικούς πίνακες.

Χρήσιμη είναι επίσης η χρησιμοποίηση της σχέσεως (54), που όμως προϋποθέτει τη γνώση της τιμής του συντελεστή εκτοπίσματος  $C_b$ , στοιχείο που επίσης θα πρέπει να αναζητηθεί στο υδροστατικό διάγραμμα ή να εκτιμηθεί πολύ προσεγγιστικά, με βάση γενικότερες γνώσεις και εμπειρία.

### 7.4 Επίδραση της πυκνότητας στα βυθίσματα του πλοίου.

Με βάση όσα έχουν ήδη προαναφερθεί η επίδραση της πυκνότητας στα βυθίσματα του πλοίου είναι απόλυτα προφανής.

Αν για παράδειγμα πάρουμε μια βάρκα που πλέει σε κάποιο βύθισμα ή σε θαλάσσιο νερό και τη μεταφέρουμε σε μια λίμνη με γλυκό νερό, όπως είναι προφανές, το βάρος της δεν θα αλλάξει. Για να εξασφαλισθεί όμως ισορροπία, δηλαδή για να παραμείνει η άνωση ίση με το (αμετάβλητο όπως είπαμε) βάρος, παραμένοντας σταθερή, αφού η σχετική πυκνότητα του νερού θα είναι τώρα μικρότερη, θα πρέπει να αυξηθεί ο όγκος του βυθισμένου τμήματός της. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο με μεγαλύτερη βύθιση της βάρκας στο νερό, δηλαδή με αύξηση των βυθισμάτων της. Το αντίθετο φυσικά θα συμβεί αν η βάρκα μετακινηθεί από γλυκό νερό σε θαλάσσιο.

Το γεγονός αυτό έχει μεγάλη σημασία και για τα πλοία, ιδιαίτερα όταν από τη θάλασσα μπαίνουν σε ποτάμια και αντίστροφα ή όταν από μία περιοχή πλέουν σε μία άλλη, που έχει σημαντικά διαφορετική σχετική πυκνότητα νερού.

Με μεθόδους που θα αναπτυχθούν παρακάτω (παράγρ. 7.6) οι χειριστές των πλοίων μπορούν να υπολογίσουν αυτές τις αλλαγές του βυθίσματος.

### 7.5 Πλευστότητα – Εφεδρική πλευστότητα – Ύψος εξάλων – Μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα.

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι, για δεδομένο βάρος, το πλοίο θα πρέπει να βυθισθεί στο νερό τόσο, ώστε η άνωσή του να γίνει ίση με το βάρος του. Αυτή είναι η **αρχή της πλευστότητας** και συνεπάγεται ότι:

- 1) **Το πλοίο θα πλεύσει στην επιφάνεια του νερού αν είναι δυνατό να εκτοπίσει βάρος υγρού**

**ίσο με το βάρος του**, δηλαδή όταν το **μέσο ειδικό βάρος του** είναι μικρότερο από εκείνο του νερού. Ως **μέσο ειδικό βάρος του πλοίου** ορίζεται το πηλίκον του βάρους του διά του όγκου που περικλείεται από το περίβλημά του μέχρι το ανώτερο υδατοστεγανό κατάστρωμα.

2) Όταν το μέσο ειδικό βάρος του πλοίου είναι μεγαλύτερο από εκείνο του νερού, δεν είναι δυνατό να εκποισθεί νερό ίσο με το βάρος του πλοίου, ακόμη και αν η στάθμη του νερού καλύψει το ανώτερο υδατοστεγανό κατάστρωμα. Αυτό όμως θα έχει ως αποτέλεσμα εισροή νερού μέσα στο πλοίο (από διάφορα ανοίγματα) και επομένως επί πλέον αύξηση του μέσου ειδικού βάρους του, γεγονός που θα αναγκάσει το πλοίο να κινηθεί προς τον πυθμένα.

Λέμε ότι ένα πλοίο έχει **θετική πλευσιότητα**, όταν πλέει πάνω στην επιφάνεια του νερού, **αρνητική** όταν βυθίζεται προς τον πυθμένα της θάλασσας και **ουδέτερη** όταν αιωρείται κάτω απ' την επιφάνεια του νερού. **Τα πλοία επιφάνειας έχουν θετική πλευσιότητα**. Τα υποβρύχια, σε κατάδυση, έχουν συνήθως ουδέτερη πλευσιότητα.

Όταν σ' ένα πλοίο προστεθεί βάρος ή όταν σ' ένα στεγανό διαμέρισμά του εισχωρήσει νερό, έχουμε **αύξηση του μέσου ειδικού βάρους του** και, για την επίτευξη ισορροπίας, το πλοίο θα βυθισθεί περισσότερο μέσα στο νερό. Αν τα έξαλα του πλοίου επιτρέψουν να πλεύσει σε μεγαλύτερο βύθισμα χωρίς να προκληθεί εισροή νερού στο εσωτερικό του από διάφορα ανοίγματα πάνω από το κατάστρωμα στεγανής υποδιαιρέσεως, το πλοίο δεν θα βυθισθεί τελείως.

Βλέπουμε λοιπόν ότι ο στεγανός χώρος του πλοίου ανάμεσα στην ίσαλο που πλέει και σ' εκείνη που θα δημιουργήσει εισροή νερού μέσα σ' αυτό από ανοίγματα που βρίσκονται πάνω από το ανώτερο υδατοστεγανό κατάστρωμα, είναι ένα μέγεθος **ενδεικτικό της δυνατότητας του να παραμείνει στην επιφάνεια μετά από εσφαλμένη ή ανεπιθύμητα ανεξέλεγκτη προσθήκη βάρους ή εισροή νερού**. Ο όγκος αυτός ονομάζεται **εφεδρική πλευσιότητα** (reserve buoyancy).

Διάφοροι κανονισμοί θεσπισμένοι για την εξασφάλιση της ασφάλειας των πλοίων που θα αναπτυχθούν στη συνέχεια και με τους οποίους είναι υποχρεωμένοι να συμμορφώνονται οι χειριστές τους, καθορίζουν το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα, με το οποίο επιτρέπεται να ταξιδεύει κάθε πλοίο. Αυτό το βύθισμα μάλλον σημαίνεται με την ύπαρξη ειδικής ανάγλυφης γραμμής εξωτερικά στο μέσο του πλοίου και στις δύο πλευρές του (της συνήθως λεγόμενης **μπάλας**).

Ο όρος **ύψος εξάλων** (freeboard) χρησιμοποιείται προκειμένου να εκφράσουμε την κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της ισάλου, που αντιστοιχεί στο μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα, και ενός παράλληλου προς αυτήν νοτιού επιπέδου που περνάει από το κατάστρωμα στεγανής υποδιαιρέσεως στην πλευρά του πλοίου.

## 7.6 Ορισμός και χρήση της ανοχής γλυκού νερού (Fresh Water Allowance–FWA).

Ας υποθέσουμε ότι ένα πλοίο πλέει στη ίσαλο WL στη θάλασσα, στις εκβολές ενός ποταμού και αμέσως μετά μπαίνει στο ποτάμι (γλυκό νερό). Λόγω της μεταβολής της πυκνότητας του νερού το πλοίο θα αναγκαστεί να βυθιστεί μέσα στο νερό μεγαλύτερο μέρος των υφάλων του έτσι, ώστε η τιμή της ανώσεως να παραμείνει σταθερή και ίση με το βάρος του πλοίου.

Αν είναι:  $V_0$  όγκος των υφάλων στη θάλασσα με  $\gamma = 1,025 \text{ MT/m}^3$ ,  $W$  μάζα που αντιστοιχεί στο  $V$  (ίσο με το εκτόπισμα  $\Delta$  του πλοίου σε θάλασσα),  $V+v$  ο όγκος των υφάλων στο γλυκό νερό με  $\gamma = 1,000 \text{ MT/m}^3$ ,  $v$  ο όγκος των υφάλων που προστέθηκε και  $w$  η αντίστοιχη στο  $v$  μάζα τότε:

FWA είναι το μέγεθος σε mm που θα αυξηθεί το βύθισμα του πλοίου όταν από τη θάλασσα μπει στο γλυκό νερό θα έχουμε:

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

$$v = 0,025 \times V = V/40 \text{ και } w = W/40$$

Αλλά  $w = [(FWA)/10] \times \text{TPC1 cm}$  και επομένως εξισώνοντας:

$$[(FWA)/10] \times \text{TPC1 cm} = W/40 \text{ και}$$

$$\text{FWA (σε mm)} = W / (4 \times \text{TPC1cm})$$



$$\hat{n} \text{ FWA (σε mm)} = \Delta / (4 \times \text{TPC1cm})$$

### **Παράδειγμα.**

Το πλοίο Α πλέει στη θάλασσα ισοβύθιστο σε βύθισμα 13 m. Να βρεθεί πόσο θα αυξηθεί το βύθισμά του όταν εισέλθει σε ποτάμι ( $\gamma = 1,000$ ).

Από τον υδροστατικό πίνακα 5.6.1 έχουμε για βύθισμα 13 m:

$$\Delta = 61245 \text{ MT} \quad \text{TP1cm} = 52,3 \text{ MT/cm}$$

Επομένως θα έχουμε:

$$\text{FWA (σε mm)} = \Delta / (4 \times \text{TPC1}) = 61245 / (4 \times 52,3) = 293 \text{ mm}$$

### **7.7 Ορισμός και χρήση της ανοχής υφάλμυρου νερού (Dock Water Allowance–DWA).**

Με **ανοχή υφάλμυρου νερού** συμβολίζουμε, σε mm, πόσο μεγαλύτερο (από αυτό που επιτρέπεται από τον κανονισμό περί γραμμής φορτώσεως) πρέπει να είναι το βύθισμα του πλοίου, ολοκληρώνοντας τη φόρτωσή του στο λιμάνι με νερό ειδικού βάρους  $\gamma_{\text{DW}}$ , ώστε όταν στη συνέχεια πλεύσει στη θάλασσα με ειδικό βάρος νερού  $\gamma = 1,025$  να πλεύσει στο κανονικά επιτρεπόμενο βύθισμά του (βλ. και παράγραφο 13.21).

Εύκολα αποδεικνύεται ότι:

$$\text{DWA} = \text{FWA} \times (1025 - 1000 \times \gamma_{\text{DW}}) / 25$$

### **Παράδειγμα.**

Να υπολογισθεί η ανοχή υφάλμυρου νερού για το πλοίο του παραδείγματος Α όταν ολοκληρώνει τη φόρτωσή του σε λιμάνι, όπου η πυκνότητα του νερού βρέθηκε με μέτρηση ότι έχει την τιμή  $\gamma = 1,018$ .

Έχουμε ήδη υπολογίσει ότι  $\text{FWA (σε mm)} = 293 \text{ mm}$ .

Επομένως:

$$\text{DWA} = \text{FWA} \times (1025 - 1000 \times \gamma_{\text{DW}}) / 25 = 293 \times (1025 - 1018) / 25 = 82 \text{ mm}$$

### **7.8 Εύρεση εκτοπίσματος (βάρους) ισοβύθιστου πλοίου που δεν έχει υποσθεί κάμψη.**

Τα εμπορικά πλοία, με ελάχιστες εξαιρέσεις (αλιευτικά ή ρυμουλκά), έχουν σχέδια γραμμών βασισμένα στη μη ύπαρξη διαγωγής. Στην περίπτωση αυτή οι υπολογισμοί της γεωμετρίας του πλοίου, οι οποίοι γίνονται όπως έχει ήδη επεξηγηθεί, αντιστοιχούν σε ισάλους παράλληλες προς το επίπεδο αναφοράς, αντιστοιχούν δηλαδή σε ίσα για κάθε περίπτωση βυθίσματα του πλοίου στην πλώρη και στην πρύμνη. **Όταν το πλοίο δεν έχει υποσθεί κάμψη και είναι ισοβύθιστο, όλα τα βυθίσματά του είναι μεταξύ τους ίσα.**

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι γι' αυτήν την περίπτωση το μέσο βύθισμα του πλοίου είναι αρκετό για να περιγράψει επακριβώς τη θέση ισορροπίας του πάνω στην επιφάνεια του νερού, γιατί όλα τα βυθίσματά του είναι ίσα μ' αυτό.

Εξάλλου, από τις επεξηγήσεις που έχουν μέχρι τώρα δοθεί για τον τρόπο υπολογισμού των στοιχείων της γεωμετρίας του πλοίου, προκύπτει ότι **τα στοιχεία του υδροστατικού διαγράμματος είναι σωστά μόνο για την περίπτωση που δεν υπάρχει διαγωγή και κάμψη του πλοίου.**

Σήμερα, με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών μπορούμε να πραγματοποιούμε υπολογισμούς της γεωμετρίας του πλοίου και σε ισάλους που δεν είναι παράλληλες προς το επίπεδο αναφοράς.

Με τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών είναι δυνατό να χαράσσονται νομογραφήματα, όπως εκείνο του σχήματος 5.7α, από τα οποία μπορούν με ακρίβεια να ληφθούν στοιχεία ακόμα και στις περιπτώσεις όπου υπάρχει διαφορά διαγωγής, αλλά όχι κάμψη του πλοίου.

Επειδή όμως τέτοια νομογραφήματα είτε δεν υπάρχουν σε παλαιότερα πλοία είτε και όταν υπάρχουν είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν από τον πλοίαρχο, διευκρινίζεται ότι τα στοιχεία του υδροστατικού διαγράμματος (για το ισοβύθιστο πλοίο) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις περιπτώσεις που έχουμε διαφορά διαγωγής, με αρκετή για τις πρακτικές εφαρμογές ακρίβεια, **εκτός από το εκτόπισμα, τη διαμήκη θέση του κέντρου όγκου και τη διαμήκη θέση του κέντρου της επιφάνειας της ισάλου, όπου το σφάλμα που προκύπτει είναι σημαντικό.**

Το εκτόπισμα λοιπόν του ισοβύθιστου χωρίς κάμψη πλοίου μπορεί να βρεθεί με ακρίβεια από το υδροστατικό του διάγραμμα, θα είναι όμως σωστό, μόνο αν η σχετική πυκνότητα του νερού είναι ίση με  $1,025 \text{ MT/m}^3$ .

Όταν η πυκνότητα του νερού έχει άλλη τιμή, το εκτόπισμα του πλοίου μπορεί να βρεθεί από τη σχέση (67).

### Παράδειγμα.

Να βρεθεί το εκτόπισμα του ισοβύθιστου πλοίου για το οποίο ισχύει το υδροστατικό διάγραμμα του σχήματος 5.6, για πυκνότητα νερού  $1,025$  και  $1,015$ , όταν το μέσο βύθισμά του είναι  $7 \text{ m}$ .

Όπως φαίνεται και στο παράδειγμα της παραγράφου 5.6, για μέσο βύθισμα  $7 \text{ m}$ , μπορούμε από το υδροστατικό διάγραμμα του σχήματος 5.6 να βρούμε τον όγκο του εκτοπίσματος, που είναι:

$$\bar{V} = 12440 \text{ m}^3$$

Έτσι για ειδικό βάρος  $1,025$  έχουμε εκτόπισμα:

$$\Delta = (1,025) \times (12440) = 12751 \text{ MT}$$

και για ειδικό βάρος  $1,015$

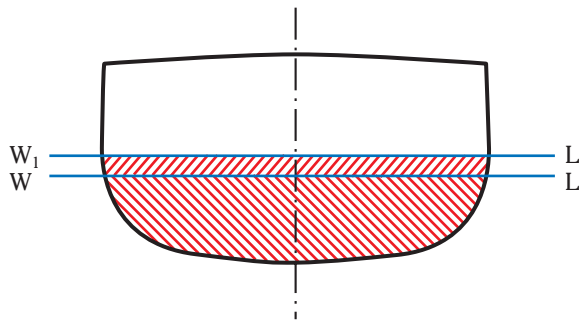
$$\Delta = (1,015) \times (12440) = 12627 \text{ MT}$$

### 7.9 Τόννοι ανά cm ή ανά in βυθίσεως.

Ας υποθέσουμε ότι το πλοίο του σχήματος 7.9 πλέει αρχικά στην ίσαλο WL και ότι η προσθήκη κάποιου βάρους σε κάποια θέση επιφέρει παράλληλη βύθισή του κατά  $1 \text{ cm}$ , η οποία το αναγκάζει να πλέει στην ίσαλο  $W_1 L_1$ .

Η παράλληλη βύθιση του πλοίου που προαναφέραμε προσθέτει στο βυθισμένο όγκο των υφάλων του πλοίου ένα τμήμα που έχει σχεδόν πρισματικό σχήμα, με επιφάνεια βάσεως την επιφάνεια της ισάλου και με ύψος  $1 \text{ cm}$ . Έτσι, αν θεωρήσουμε ότι οι επιφάνειες των ισάλων WL και  $W_1 L_1$  είναι ίσες ή περίπου ίσες μεταξύ τους με τιμή  $A \text{ (m}^2\text{)}$ , ο όγκος που βυθίζεται μέσα στο νερό είναι:

$$\text{Βυθιζόμενος όγκος} = (1 \text{ cm}) \times \frac{1}{100} \times A \text{ (m}^2\text{)}$$



Σχ. 7.9.

Εύρεση του TPC ή TPI.

Έτσι, για πυκνότητα νερού ίση με 1,025, η πρόσθετη άνωση που δημιουργεί η παραπάνω βύθιση είναι:

$$\text{Πρόσθετη άνωση} = \frac{A(\text{m}^2) \times 1,025}{100}$$

Η παραπάνω πρόσθετη άνωση είναι ίση με το βάρος που προστέθηκε και δημιούργησε την παράλληλη βύθιση 1 cm (τόνοι ανά cm παράλληλης βυθίσεως, TPC). Έχομε λοιπόν:

$$\text{TPC} = \frac{A(\text{m}^2) \times 1,025}{100} \quad (\text{MT} / \text{cm}) \quad (68)$$

Αντίστοιχα στο αγγλικό σύστημα μονάδων θα έχουμε:

$$\text{TPI} = \frac{A(\text{ft}^2)}{12 \times 35} = \frac{A(\text{ft}^2)}{420} \quad (\text{LT} / \text{in}) \quad (69)$$

Τα μεγέθη TPC και TPI όπως είδαμε περιέχονται στο υδροστατικό διάγραμμα και στους υδροστατικούς πίνακες κάθε πλοίου και είναι πολύ χρήσιμα για την εύκολη εκτέλεση διαφόρων υπολογισμών, όπως θα φανεί σε επόμενα κεφάλαια.

### **Παράδειγμα 1.**

Το πλοίο με τα υδροστατικά στοιχεία του πίνακα 5.6.1 πλέει ισοβύθιστο σε βύθισμα 8 m. Πάνω στο κατάστρωμά του προστίθεται ένα βάρος 500 MT σε τέτοιο σημείο κατά το διάμκη και εγκάρσιο, ώστε να προκαλεί παράλληλη βύθιση του πλοίου μόνο. Να βρεθεί το νέο βύθισμα.

Από τον πίνακα 5.6.1 για βύθισμα 8 m έχουμε:

$$\text{TPC} = 48,3 \text{ MT/cm}$$

Οπότε:

$$\text{Παράλληλη βύθιση} = (500)/(48,3) = 10,35 \text{ cm}$$

$$\text{Νέο βύθισμα} = 8 + (10,35)/(100) = 8,1035 \text{ m}$$

### **Παράδειγμα 2.**

Μία ορθογωνική φορτηγίδα μήκους 100 ft και πλάτους 35 ft πλέει ισοβύθιστη σε μέσο βύθισμα 10 ft. Πόσο βάρος πρέπει να προστεθεί στη φορτηγίδα, για να βυθισθεί παράλληλα κατά 0,25 ft;

Η επιφάνεια της ισάλου είναι:

$$A(\text{ft}^2) = 100 \times 35 = 3500 \text{ (ft}^2\text{)}$$

Από τη σχέση (69):

$$\text{TPI} = \frac{A(\text{ft}^2)}{420} = \frac{3500}{420} = 8,33 \text{ (LT / in)}$$

Για να δημιουργηθεί παράλληλη βύθιση 0,25 ft (3"), θα πρέπει να προστεθεί βάρος:

$$w = (\text{παράλληλη βύθιση}) \times \text{TPI} = 3 \times 8,33 = 25 \text{ LT}$$

Η προσθήκη του βάρους, για να έχουμε παράλληλη βύθιση, θα πρέπει να γίνει στο επίπεδο συμμετρίας και στο μέσο της φορτηγίδας.

### **Παράδειγμα 3.**

Ένα πλοίο έχει μήκος 100 m, πλάτος 11 m και συντελεστή ισάλου επιφάνειας  $C_w = 0,83$ . Να βρεθεί το TPC.

Από τη σχέση (57) έχουμε:

$$C_w = \frac{A}{LB} \quad \text{ή} \quad A = C_w LB = (0,83) \times (100) \times (11) = 913 \text{ m}^2$$

Από τη σχέση (68):

$$TPC = \frac{913 \times 1,025}{100} = 9,36 \text{ MT (cm)}$$

### 7.10 Παράγοντες που επηρεάζουν το TPC και την ακρίβεια της χρήσεώς του.

Όπως προκύπτει από τη σχέση (68) η τιμή του TPC επηρεάζεται από την ειδική πυκνότητα του νερού στο οποίο πλέει το πλοίο και από την επιφάνεια της ισάλου του σε κάθε βύθισμα. Για το λόγο αυτό το TPC περιέχεται στο υδροστατικό διάγραμμα του κάθε πλοίου ως συνάρτηση του βυθίσματος.

Σε ό,τι αφορά στην ειδική πυκνότητα θα πρέπει εδώ να υπενθυμίσουμε ότι όλες οι παράμετροι που δίνονται σ' αυτά και επηρεάζονται από την πυκνότητα του νερού δίνονται για την τιμή 1,025.

Αν λοιπόν χρησιμοποιήσουμε την τιμή του TPC που θα πάρουμε από το υδροστατικό διάγραμμα ή αυτήν που θα υπολογίσουμε από τη σχέση (68) (χωρίς διόρθωση για την πυκνότητα) σε κάποια περίπτωση που η σχετική πυκνότητα έχει διαφορετική τιμή, π.χ. 1,015, η μεταβολή του βυθίσματος που θα υπολογισθεί θα έχει μικρό σφάλμα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το σφάλμα στην παράλληλη βύθιση που θα βρεθεί θα είναι της τάξεως του 1%.

Στο σημείο αυτό είναι επίσης αναγκαίο να τονίσουμε ότι **η χρήση του TPC παρέχει αρκετή ακρίβεια, μόνο όταν χρησιμοποιείται για την προσθήκη ή την αφαίρεση μικρών, σε σχέση με το εκτόπισμα, βαρών που προσθέτονται ή αφαιρούνται από σημεία που βρίσκονται κατά το διάμκες πάνω ή πολύ κοντά στο κέντρο βάρους ή έστω στο κέντρο πλευσιότητας του πλοίου.**

Για την περίπτωση που αυτό δεν συμβαίνει θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε άλλες πιο περίπλοκες μεθόδους υπολογισμού που θα αναπτυχθούν στο κεφάλαιο 12.

### 7.11 Εκτίμηση της μεταβολής του βυθίσματος με χρήση του TPC.

Στην παράγραφο 7.4 είδαμε πως η πυκνότητα του νερού στο οποίο πλέει ένα πλοίο επηρεάζει τα βυθίσματά του.

Μεταβολές του μέσου βυθίσματος από τέτοιες αιτίες μπορούν εύκολα να υπολογισθούν με τη χρήση του TPC.

#### **Παράδειγμα 1.**

Να βρεθεί η μεταβολή του μέσου βυθίσματος ενός ισοβύθιστου πλοίου, όταν μετακινηθεί από θαλάσσιο νερό σε γλυκό (π.χ. σε ένα ποτάμι).

Αν παραστήσουμε με  $\gamma_{sw}$  και  $\gamma_{fw}$  το ειδικό βάρος του θαλάσσιου και του γλυκού νερού αντίστοιχα, με  $\Delta$  το εκτόπισμα και  $V$  τον αρχικό όγκο των υφάλων του πλοίου (στη θάλασσα), θα έχουμε:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Απώλεια ανώσεως λόγω} \\ \text{μεταβολών πυκνότητας} \end{array} \right\} = \bar{V}\gamma_{sw} - \bar{V}\gamma_{fw}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Κέρδος ανώσεως λόγω} \\ \text{παράλληλης βυθίσεως} \end{array} \right\} = A\delta H\gamma_{fw}$$

όπου:  $\delta H$  είναι η παράλληλη βύθιση σε m και  $A$  η επιφάνεια της ισάλου σε  $\text{m}^2$ .

Οι δύο παραπάνω ποσότητες θα πρέπει να είναι ίσες. Επομένως:

$$\bar{V}(\gamma_{sw} - \gamma_{fw}) = A\delta H\gamma_{fw}$$

ή

$$\delta H = \frac{\bar{V}}{A} \left( \frac{\gamma_{sw}}{\gamma_{fw}} - 1 \right) \quad (70)$$

### Παράδειγμα 2.

Το πλοίο με τα υδροστατικά χαρακτηριστικά του πίνακα 5.6.1 πλέει αρχικά σε θάλασσα, ισοβύθιστο, σε βύθισμα 8 m. Να βρεθεί το βύθισμά του σε γλυκό νερό.

Σε μέσο βύθισμα 8 m, το εκτόπισμα (από τον πίνακα 5.6.1) είναι 36116 MT και το TPC = 48,3 MT/cm. Θα έχουμε:

$$\bar{V} = \frac{36116}{1,025} = 35235 \text{ m}^3$$

Από τη σχέση (68):

$$A = \frac{100}{1,025} \times \text{TPC} = \frac{100}{1,025} \times (48,3) = 4712 \text{ m}^3$$

Από τη σχέση (74):

$$\delta H = \frac{\bar{V}}{A} \left( \frac{\gamma_{sw}}{\gamma_{fw}} - 1 \right) = \frac{35235}{4712} \times \left( \frac{1,025}{1,0} - 1,0 \right) = \frac{35235}{4712} \times 0,025 = 0,187 \text{ m}$$

### 7.12 Κλίμακα φορτώσεως.

Τα πιο σημαντικά από τα υδροστατικά στοιχεία του πλοίου, εκτός από το υδροστατικό διάγραμμα και τον πίνακα υδροστατικών στοιχείων, δίνονται και με τη μορφή της **κλίμακας φορτώσεως** (deadweight scale).

Η κλίμακα φορτώσεως είναι μία γραφική απεικόνιση ορισμένων υδροστατικών στοιχείων του πλοίου, η χρήση της οποίας από τους χειριστές των πλοίων είναι συχνή και σχετικά εύκολη. Την κλίμακα φορτώσεως ενός πλοίου βλέπουμε στο σχήμα 7.12. Οι πληροφορίες που δίνονται στο σχήμα αυτό είναι το ύψος εξάλων, το deadweight σε θάλασσα και γλυκό νερό σε MT, το βύθισμα σε ft και m, το εκτόπισμα σε θάλασσα και γλυκό νερό σε MT, το TPC σε θάλασσα και γλυκό νερό και το MCT1cm σε (MT-m/cm).

Η ανάγνωση της κλίμακας φορτώσεως είναι πολύ εύκολη, όπως θα φανεί στο παρακάτω παράδειγμα. Το σχέδιο δείχνει επίσης τις διάφορες γραμμές φορτώσεως.

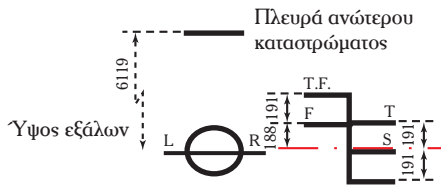
Ο ορισμός του deadweight και επεξηγήσεις σχετικά με τις διάφορες γραμμές φορτώσεως θα δοθούν κεφάλαιο 15.

### Παράδειγμα.

Να βρεθούν τα υδροστατικά στοιχεία του πλοίου που έχει κλίμακα φορτώσεως αυτή του σχήματος 7.12, όταν το μέσο βύθισμά του είναι 7 m.

Τα ζητούμενα στοιχεία βρίσκονται, αν φέρομε μια οριζόντια ευθεία από το μέσο βύθισμα 7 m, όπως φαίνεται στο σχήμα και διαβάσουμε σωστά τις αντίστοιχες κλίμακες. Θα έχουμε λοιπόν:

|                          |             |
|--------------------------|-------------|
| Ύψος εξάλων              | 8,28 m      |
| Deadweight σε θάλασσα    | 10400 MT    |
| Deadweight σε γλυκό νερό | 10000 MT    |
| Βύθισμα                  | 23 ft       |
| Εκτόπισμα σε θάλασσα     | 17320 MT    |
| Εκτόπισμα σε γλυκό νερό  | 16880 MT    |
| TPC σε θάλασσα           | 29,16 MT/cm |
| TPC σε γλυκό νερό        | 28,48 MT/cm |
| MCT1 cm                  | 225 MT-m/cm |



|   | Deadweight (MT) |       | Βύθισμα (m) |   | Εκρόσμο (MT) |       | TPC MT/cm |    | MCT1 cm |
|---|-----------------|-------|-------------|---|--------------|-------|-----------|----|---------|
|   | SW              | fW    | ft          | m | SW           | fW    | SW        | fW |         |
| 6 | 18000           | 17000 | 31          |   | 25000        | 24000 | 32        | 31 | 280     |
|   | 17000           | 16000 | 30          | 9 | 24000        | 23000 |           |    | 270     |
|   | 16000           | 15000 | 29          |   | 23000        | 22000 | 31        |    | 260     |
|   | 15000           | 14000 | 28          |   | 22000        | 21000 |           | 30 | 250     |
| 7 | 14000           | 13000 | 27          |   | 21000        | 20000 |           |    | 240     |
|   | 13000           | 12000 | 26          | 8 | 20000        | 19000 | 30        |    | 230     |
|   | 12000           | 11000 | 25          |   | 19000        | 18000 |           | 29 | 220     |
| 6 | 11000           | 10000 | 24          |   | 18000        | 17000 |           |    | 210     |
|   | 10000           | 9000  | 23          | 7 | 17000        | 16000 | 29        |    | 200     |
|   | 9000            | 8000  | 22          |   | 16000        | 15000 |           | 28 | 190     |
| 5 | 8000            | 7000  | 21          |   | 15000        | 14000 |           |    | 180     |
|   | 7000            | 6000  | 20          |   | 14000        | 13000 | 28        |    | 170     |
|   | 6000            | 5000  | 19          |   | 13000        | 12000 |           | 27 | 160     |
| 4 | 5000            | 4000  | 18          |   | 12000        | 11000 |           |    | 150     |
|   | 4000            | 3000  | 17          | 5 | 11000        | 10000 | 27        |    | 140     |
|   | 3000            | 2000  | 16          |   | 10000        | 9000  |           | 26 | 130     |
| 3 | 2000            | 1000  | 15          |   | 9000         | 8000  |           |    | 120     |
|   | 1000            | 0     | 14          | 4 | 8000         | 7000  | 26        |    | 110     |
|   | 0               | 0     | 13          |   | 7000         | 6000  |           | 25 | 100     |
| 2 |                 |       | 12          |   | 6000         |       |           |    | 90      |
|   |                 |       | 11          | 3 |              |       |           |    | 80      |
|   |                 |       | 10          |   |              |       |           |    | 70      |
|   |                 |       | 9           | 2 |              |       |           |    | 60      |

Σχ. 7.12.

Κλίμακα φορτώσεως (deadweight scale).

### 8.1 Γενικά. Σκοπός μελέτης της ευστάθειας.

Με τον όρο **κινήσεις πλοίου** δεν εννοούμε μόνο τη μετακίνησή του κατά μήκος της πορείας του ή την έκπτωσή του κάθετα προς αυτήν, αλλά και διάφορες ταλαντώσεις του που εμφανίζονται σε ήρεμο νερό ή σε κυματισμό.

Στην πράξη οι κινήσεις που πραγματοποιεί ένα πλοίο σε θαλασσοταραχή έχουν μεγάλη σημασία. Επειδή όμως η μελέτη αυτών των κινήσεων είναι εξαιρετικά δύσκολη, έχει επικρατήσει, όπως και στη μελέτη άλλων φυσικών φαινομένων, να προσεγγίζουμε το πρόβλημα προοδευτικά, κάνοντας κάποιες επιβοηθητικές απλουστεύσεις. Μία τέτοια απλούστευση είναι η μελέτη των κινήσεων των πλοίων σε ήρεμο νερό.

Κατά τη ναυσιπλοΐα για να καθορίσουμε τη θέση και την πορεία ενός πλοίου μάς χρειάζεται ένα σύστημα ορθογωνίων συντεταγμένων,  $OXYZ$ , σταθερά προσαρμοσμένο πάνω στη γη και το χάρτη της περιοχής.

Αντίθετα για την περιγραφή των πιθανών κινήσεων ενός πλοίου σε ήρεμο νερό ή σε θαλασσοταραχή, είναι απαραίτητο να θεωρήσουμε σταθερά τοποθετημένο πάνω σ' αυτό ένα άλλο σύστημα συντεταγμένων,  $Gxyz$  (σχ. 8.1). Το σύστημα αυτό έχει ως αρχή των συντεταγμένων το κέντρο βάρους του πλοίου και θεωρείται ότι κινείται μαζί με το πλοίο.

Οι κινήσεις που μπορεί γενικά να **πραγματοποιήσει** ένα πλοίο, μπορούν να καταταγούν σε:

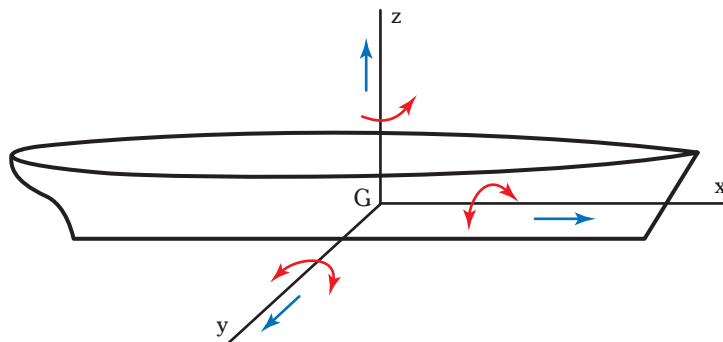
- 1) Κινήσεις μεταφοράς κατά τη διεύθυνση των τριών αξόνων και
- 2) κινήσεις περιστροφής γύρω από τους τρεις άξονες του συστήματος συντεταγμένων  $Gxyz$ .

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι κάθε πλοίο μπορεί γενικά να πραγματοποιήσει έξι (6) κινήσεις, δηλαδή έχει, όπως συνηθίζεται να λέμε, **έξι βαθμούς ελευθερίας**. Θεωρητικά καθεμιά από τις παραπάνω κινήσεις μπορεί να είναι είτε σταθερή σε συνάρτηση με το χρόνο, όπως είναι η κίνηση του πλοίου πρόσω σε κατάσταση απόλυτης γαλήνης είτε μεταβαλλόμενη σε συνάρτηση με το χρόνο, όπως είναι οι κινήσεις του πλοίου σε θαλασσοταραχή.

Στη στατική θεώρηση του πλοίου εξετάζουμε:

- 1) Τη γραμμική μετακίνησή του κατά τον άξονα  $z$ , δηλαδή την **παράλληλη βύθιση** ή **αποβύθισή του**.
- 2) Την περιστροφή του γύρω από τον άξονα  $x$ , που ονομάζουμε **εγκάρσια κλίση** (heel).
- 3) Την περιστροφή του γύρω από τον άξονα  $y$ , που έχουμε ονομάσει **διαγωγή** (trim).

Στη μελέτη της πρόωσης του πλοίου μάς ενδιαφέρει η σταθερή, σε συνάρτηση με το χρόνο κίνησή του κατά τον άξονα  $x$ , που ονομάζουμε **κίνηση πρόσω** ή **κίνηση ανάποδα**.



Σχ. 8.1.

Κινούμενο σύστημα συντεταγμένων πλοίου.

Στη μελέτη της στροφής του πλοίου εξετάζεται η κίνησή του γύρω από τον άξονα  $z$  που ονομάζεται **στροφή** ή **αλλαγή πορείας** και συνοδεύεται πάντοτε και από μία κίνηση κατά τη διεύθυνση του άξονα  $y$ , που ονομάζουμε **έκπτωση**.

Οι μεταβαλλόμενες σε συνάρτηση με το χρόνο κινήσεις του πλοίου σε θαλασσοταραχή (ταλαντώσεις) είναι οι:

- 1) Διαμήκης ταλάντωση κατά τον άξονα  $x$  (surge).
- 2) Εγκάρσια ταλάντωση κατά τον άξονα  $y$  (sway).
- 3) Κατακόρυφη ταλάντωση κατά τον άξονα  $z$  ή **ταλάντωση εμβαπίσεως** (heave).
- 4) Στροφική ταλάντωση γύρω από τον άξονα  $x$  ή **διατοιχισμός** (roll).
- 5) Στροφική ταλάντωση γύρω από τον άξονα  $y$  ή **προνευτασμός** (pitch).
- 6) Στροφική ταλάντωση γύρω από τον άξονα  $z$  (yaw).

Σε καταστάσεις κυματισμού σπάνια μία από τις παραπάνω κινήσεις εμφανίζεται μόνη. Συνήθως συνυπάρχουν όλες σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τις εγκάρσιες κλίσεις των πλοίων και τους παράγοντες που σχετίζονται μ' αυτές.

Λέμε ότι ένα πλοίο βρίσκεται σε **άθικτη κατάσταση** (intact condition), όταν κανένα από τα στεγανά διαμερίσματά του δεν έχει εσωτερική επαφή με το νερό που το περιβάλλει εξωτερικά. Αντίθετα, αν ένα ή περισσότερα διαμερίσματά του βρίσκονται σε επικοινωνία με τη θάλασσα (π.χ. στην περίπτωση ενός ρήγματος στα ύφαλα του πλοίου), λέμε ότι το πλοίο βρίσκεται σε **κατάσταση βλάβης** (damaged condition).

Πιθανή απώλεια ενός πλοίου, είτε αυτό βρίσκεται στην άθικτη κατάσταση είτε σε κατάσταση βλάβης (και μαζί με αυτό απώλεια ανθρώπινων ζώων), είναι δυνατό να συμβεί κατά δύο τρόπους:

1) Είτε με τη βύθισή του, από ανεπάρκεια πλευστότητας.

2) Είτε με ανατροπή του, που θα οφείλεται όπως θα εξηγηθεί παρακάτω σε έλλειψη εγκάρσιας ευστάθειας.

Ο δεύτερος αυτός τρόπος απώλειας των πλοίων είναι πολύ δυσμενέστερος από τον πρώτο γιατί η ανατροπή πραγματοποιείται σε πολύ σύντομο χρόνο, οπότε δεν παρέχεται καν η δυνατότητα να λάβει κάποιος διορθωτικά μέτρα για να την αποφύγει, αλλά ούτε έχει το χρόνο να προβεί στις αναγκαίες ενέργειες για τη διάσωση του πληρώματος και των επιβατών (κινητοποίηση, σωσίβια, καθέλκυση λέμβων κ.λπ.).

**Από τα παραπάνω προκύπτει η μεγάλη σημασία που έχει για την ασφάλεια ενός πλοίου η ικανοποιητική του ευστάθεια, καθώς και οι λόγοι για τους οποίους οι φορείς που ασχολούνται με αυτό, κρατικοί και μη, έχουν θεσπίσει πολύ αυστηρές σχετικές απαιτήσεις.**

Με τον όρο **ευστάθεια** εννοούμε γενικά την τάση που έχει ή όχι ένα πλοίο (ένα σώμα γενικότερα) να επανέλθει στην αρχική θέση ισορροπίας του, όταν παύσει να επιδρά σ' αυτό μια διεγέρση που το έχει απομακρύνει απ' αυτήν. Τέτοιες διεγέρσεις, για το πλοίο, μπορεί να οφείλονται σε δραστηριότητες που πραγματοποιούνται μέσα σ' αυτό το ίδιο, όπως η μετακίνηση βαρών ή και σε εξωτερικά αίτια, όπως είναι ο άνεμος. Την ευστάθεια του πλοίου διακρίνουμε σε **εγκάρσια** (transverse stability), όταν αφορά σε διεγέρσεις που τείνουν να δημιουργήσουν κλίσεις γύρω από τον άξονα  $x$  (σχ. 8.1) και σε **διαμήκη** (longitudinal stability) όταν εξετάζονται κλίσεις γύρω από τον άξονα  $y$ .

Αναφορικά με την κατάσταση στην οποία θεωρείται ότι βρίσκεται το πλοίο, όταν εξετάζουμε την ευστάθειά του, διακρίνουμε **εγκάρσια ευστάθεια στην άθικτη κατάσταση** (intact stability) ή **σε κατάσταση βλάβης** (damaged stability).

Μια άλλη διάκριση της εγκάρσιας ευστάθειας προκύπτει από τη μεθοδολογία που εφαρμόζεται κατά τη μελέτη των σχετικών θεμάτων. Για μικρές γωνίες εγκάρσιας κλίσεως, όπως μπορούν για τα συνηθισμένα εμπορικά πλοία να θεωρηθούν οι γωνίες μέχρι  $10^\circ$ , είναι δυνατό να εφαρμοσθεί μια σχετικά απλοποιημένη μεθοδολογία. Έτσι διακρίνουμε μελέτη της **ευστάθειας μικρών γωνιών εγκάρσιας κλίσεως**, η οποία ονομάζεται και **αρχική ευστάθεια** (initial stability) και μελέτη της **ευστάθειας μεγάλων γωνιών κλίσεως** (stability at large angles).

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την εγκάρσια αρχική ευστάθεια του πλοίου στην άθικτη κατάσταση.



## 8.2 Ροπή υδροστατικής προελεύσεως. Η έννοια του εγκάρσιου μετακέντρου.

Από τα προηγούμενα έχουμε ήδη αντιληφθεί ότι:

1) Κατά τη στατική θεώρηση του πλοίου, οι δυνάμεις που ενεργούν σ' αυτό είναι το βάρος και η άνωση.  
2) Οι δύο αυτές δυνάμεις όταν το πλοίο βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση (με τον ιστό του κατακόρυφο), είναι ίσες και αντίθετες και δρουν πάνω στον ίδιο φορέα.

3) Η δύναμη της ανώσεως είναι ανάλογη με τον όγκο του πλοίου που βρίσκεται μέσα στο νερό και το σημείο εφαρμογής της (κέντρο ανώσεως) συμπίπτει με το κέντρο όγκου του παραπάνω όγκου.

Αν τώρα υποθέσουμε ότι για κάποιο λόγο δημιουργηθεί στο πλοίο μικρή εγκάρσια κλίση (π.χ. με το τράβηγμα κάποιου κάβου από την ξηρά) και, στη συνέχεια, το πλοίο αφεθεί ελεύθερο (δηλ. το αίτιο που δημιούργησε την κλίση, όπως ο κάβος που προαναφέραμε, σταματήσει να υπάρχει) εύκολα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι από τη χρονική στιγμή που αφήνουμε το πλοίο ελεύθερο:

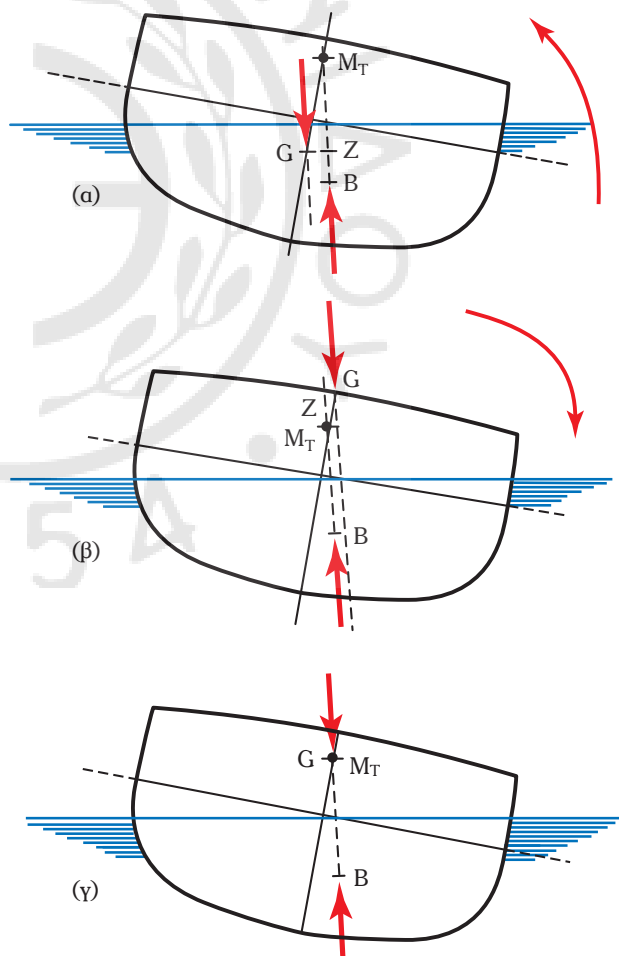
1) Η δύναμη του βάρους παραμένει σταθερή, δηλαδή ίση με το εκτόπισμα του πλοίου  $\Delta$  και κατακόρυφη (κάθετη δηλ. πάνω στην ίσαλο που δείχνεται ως κεκλιμένη στο σχ. 8.2α). Το σημείο εφαρμογής της παραμένει πάντοτε το κέντρο βάρους  $G$  του πλοίου.

2) Το ίδιο συμβαίνει και με τη δύναμη της ανώσεως, που όπως έχουμε ήδη αναφέρει έχει και αυτή μέγεθος  $\Delta$  και διεύθυνση κατακόρυφη.

Στο σχήμα 8.2α, βλέπουμε επίσης ότι, ενώ ο συνολικά βυθισμένος μέσα στο νερό όγκος παραμένει σταθερός, η κατανομή του έχει αλλάξει. Συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι μια τριγωνική σφήνα από τα ύφαλα του πλοίου στην αριστερή πλευρά αποβυθίζεται (ξενερίζει) και μια άλλη, στη δεξιά πλευρά, βυθίζεται μέσα στο νερό. Προφανές αποτέλεσμα αυτής της νέας κατανομής του βυθισμένου όγκου της γάστρας είναι ότι το κέντρο όγκου δεν βρίσκεται πια πάνω στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, αλλά δεξιότερα (για κλίση του πλοίου προς τα δεξιά) και ψηλότερα στη θέση  $B$ . Στην κατάσταση αυτή, η θέση των δύο δυνάμεων είναι τέτοια που το πλοίο δεν βρίσκεται πια σε ισορροπία, αλλά κάτω από την επενέργεια ενός ζεύγους δυνάμεων (βάρος – άνωση) που τείνει να το περιστρέψει γύρω από τον άξονα  $x$ .

Σ' ένα πλοίο που έχει εγκάρσια κλίση, οι δυνάμεις βάρους και ανώσεως μπορεί να βρίσκονται σε μια από τις τρεις σχετικές θέσεις που φαίνονται στο σχήμα 8.2α και συγκεκριμένα: α) να σχηματίζουν ζεύγος δυνάμεων, που τείνει να επαναφέρει το πλοίο στην αρχική του θέση, β) να σχηματίζουν ζεύγος δυνάμεων, που τείνει να απομακρύνει το πλοίο από την αρχική του θέση και γ) να μην σχηματίζουν ζεύγος δυνάμεων.

Μπορεί να αποδειχθεί ότι, **για μικρές γωνίες κλίσεως, ο φορέας της ανώσεως τέμνει το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου σ' ένα σταθερό σημείο**, δηλαδή η θέση αυτού του σημείου είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος της μικρής γωνίας εγκάρσιας κλίσεως. Το σημείο αυτό ονομάζουμε **εγκάρσιο μετάκεντρο** (transverse metacenter) και το συμβολίζουμε με  $M_T$ .



Σχ. 8.2α.

Πιθανές καταστάσεις εγκάρσιας ευστάθειας: α) Ευσταθής ισορροπία. β) Ασταθής ισορροπία. γ) Ουδέτερη ισορροπία.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 8.2α(α), η ροπή επαναφοράς μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$\text{Ροπή επαναφοράς} = \Delta \times GZ \quad (71)$$

όπου:  $\Delta$  είναι το βάρος (εκτόπισμα) του πλοίου και  $GZ$  το μήκος που φαίνεται στο σχήμα και ονομάζεται **μοχλοβραχίονας επαναφοράς**.

Για μικρές γωνίες εγκάρσιας κλίσεως (όπου έχει εφαρμογή ο ορισμός του μετακέντρου) μπορούμε επίσης να εκφράσουμε τη ροπή επαναφοράς με τη σχέση:

$$\text{Ροπή επαναφοράς} = \Delta \times GM_T \times \eta\mu\phi \quad (72)$$

όπου:  $\phi$  είναι η γωνία εγκάρσιας κλίσεως και  $GM_T$  η απόσταση μεταξύ των σημείων  $G$  και  $M_T$ .

**Η σχετική θέση του εγκάρσιου μετακέντρου, ως προς το κέντρο βάρους του πλοίου, είναι ενδεικτική του είδους της ευστάθειας που έχει το πλοίο.** Συγκεκριμένα:

1) Αν το μετάκεντρο βρίσκεται πάνω από το κέντρο βάρους, η ροπή που σχηματίζεται είναι **ροπή επαναφοράς**, δηλαδή τείνει να επαναφέρει το πλοίο στην αρχική του θέση. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι έχουμε **ευσταθή ισορροπία του πλοίου** [σχ. 8.2α(α)].

2) Αν το μετάκεντρο βρίσκεται κάτω από το κέντρο βάρους, η ροπή που σχηματίζεται είναι **ροπή ανατροπής**, δηλαδή τείνει να απομακρύνει το πλοίο από την αρχική του θέση. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι έχουμε **ασταθή ισορροπία** [σχ. 8.2α(β)].

Όπως θα δούμε στην παράγραφ. 10.10 ένα πλοίο σε ασταθή ισορροπία δεν μπορεί να παραμείνει σε κατακόρυφη θέση, αλλά ισορροπεί με κάποια εγκάρσια κλίση είτε προς τη δεξιά είτε προς την αριστερή πλευρά του. Σ' αυτήν τη θέση το πλοίο παρουσιάζει ευσταθή ισορροπία προς τη μία διεύθυνση και ασταθή προς την άλλη.

Αν για παράδειγμα ένα ασταθές πλοίο έχει ισορροπήσει σε γωνία  $3^\circ$  προς τα δεξιά και κάποια εξωτερική διέγερση του δημιουργήσει στιγμιαία πρόσθετη εγκάρσια κλίση  $2^\circ$  επί πλέον προς τα δεξιά, όταν πάψει να υπάρχει η διέγερση το πλοίο θα επανέλθει στην αρχική θέση ισορροπίας του με κλίση  $3^\circ$  προς τα δεξιά. Αν όμως η στιγμιαία διέγερση είναι τέτοια που να έχει αντίθετη τάση δημιουργίας, δηλαδή μικρής κλίσεως προς τα αριστερά, όταν πάψει να υπάρχει, το πλοίο δεν θα ισορροπήσει πια σε γωνία  $3^\circ$  προς τα δεξιά αλλά  $3^\circ$  προς τα αριστερά.

**Μια τέτοια συμπεριφορά πλοίου, δηλαδή άλλοτε να ισορροπεί με κάποια μικρή γωνία προς τη μία πλευρά του και άλλοτε σε ίση γωνία προς την άλλη, χωρίς την παραμικρή μετακίνηση βαρών, είναι απόλυτη ένδειξη ασταθούς ισορροπίας και αποτελεί γεγονός, το οποίο πρέπει να προβληματίζει τους χειριστές του.**

3) Αν τώρα η θέση του μετακέντρου συμπίπτει με το κέντρο βάρους του πλοίου, η ροπή, δηλαδή το ζεύγος των δυνάμεων βάρους και ανώσεως έχει μηδενική τιμή και σ' αυτήν την περίπτωση λέμε ότι έχουμε **ουδέτερη ευστάθεια** [σχ. 8.2α(γ)].

Το μήκος  $GM_T$  ονομάζεται **εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος** ή απλά **μετακεντρικό ύψος**. Αν συμφωνήσουμε να λέμε ότι το μετακεντρικό ύψος είναι θετικό όταν το μετάκεντρο είναι ψηλότερα από το κέντρο βάρους, τότε:

- 1)  $CM_T$  θετικό σημαίνει ευσταθή ισορροπία.
- 2)  $GM_T$  αρνητικό σημαίνει ασταθή ισορροπία και
- 3)  $GM_T$  μηδέν σημαίνει ουδέτερη ισορροπία.

Ακόμη, από το σχήμα 8.2α(α) προκύπτει ότι για ορισμένο εκτόπισμα και γωνία εγκάρσιας κλίσεως το μετακεντρικό ύψος χαρακτηρίζει και το μέγεθος της ροπής επαναφοράς.

### **Συμπέρασμα.**

**Για μικρές γωνίες εγκάρσιας κλίσεως το μετακεντρικό ύψος χαρακτηρίζει πλήρως την ευστάθεια ενός πλοίου.**

Αντίθετα σε μεγάλες γωνίες κλίσεως το μετάκεντρο δεν είναι ένα σταθερό σημείο και επομένως η ροπή επαναφοράς δεν μπορεί να εκφραστεί με τη σχέση (72). Στις περιπτώσεις αυτές, η ευστάθεια εξετάζεται

διαφορετικά (βλ. κεφ. 10).

Στο σχήμα 8.2β έχουμε τα σημεία Κ, Β, G και  $M_T$  τοποθετημένα πάνω στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου. Από τη γεωμετρία του σχήματος αυτού προκύπτει ότι:

$$KB + BM_T = KG + GM_T$$

ή

$$GM_T = KB + BM_T - KG = KM_T - KG \quad (73)$$

όπου: KB είναι η κατακόρυφη θέση του κέντρου

όγκου του πλοίου, η οποία βρίσκεται με ολοκλήρωση (στοιχείο 4 της παραγρ. 5.6),  $BM_T$  είναι η εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα, η οποία βρίσκεται από τη σχέση (46) (στοιχείο 7 της παραγρ. 5.6) και KG είναι η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου, η οποία βρίσκεται σε κάθε κατάσταση φορτώσεως του πλοίου με τη διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 6.4.

Στα περισσότερα υδροστατικά διαγράμματα ή υδροστατικούς πίνακες, για λόγους ευκολίας, δίνεται συνήθως το άθροισμα  $KB + BM_T = KM_T$ .

### Παράδειγμα 1.

Να βρεθεί το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος του πλοίου A, υδροστατικά στοιχεία για το οποίο δίνονται στον πίνακα 5.6.1, για την κατάσταση φορτώσεως που περιγράφεται στον πίνακα 6.4.3.

Από τον πίνακα 6.4.3 έχουμε:  $\Delta = 53232$  MT και  $KG = 9,81$  m. Με γραμμική παρεμβολή στα βυθίσματα του πίνακα 5.6.1, το αντίστοιχο μέσο βύθισμα (για το εκτόπισμα 53232 MT) είναι:

$$\begin{aligned} H_m &= 11,40 + 0,20 \times \frac{53232 - 52954}{53979 - 52954} = 11,40 + 0,20 \times \frac{278}{1025} = \\ &= 11,40 + 0,20 \times 0,271 = 11,40 + 0,0542 = 11,4542 \text{ m} \end{aligned}$$

Με αντίστοιχη γραμμική παρεμβολή, το αντίστοιχο  $KM_T$  είναι:

$$\begin{aligned} KM_T &= 11,90 + (11,92 - 11,90) \times \frac{53232 - 52954}{53979 - 52954} = \\ &= 11,90 + 0,02 \times 0,271 = 11,905 \text{ m} \end{aligned}$$

Από τη σχέση (73):

$$GM_T = KM_T - KG = 11,905 - 9,81 = 2,095 \text{ m}$$

### Παράδειγμα 2.

Πόση είναι η ροπή επαναφοράς του παραπάνω πλοίου όταν έχει εγκάρσια κλίση  $7^\circ$ ;

Η ροπή επαναφοράς μπορεί να βρεθεί από τη σχέση (71), αν σημειώσουμε ότι  $\eta\mu 7^\circ = 0,12187$ .

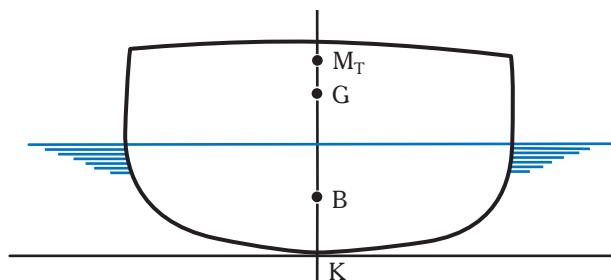
$$\text{Ροπή επαναφοράς} = \Delta \times GM_T \times \eta\mu\phi = (53232) \times (2,095) \times (0,12187) = 13591 \text{ MT} - \text{m}$$

### Συμπέρασμα.

Για μικρές γωνίες κλίσεως, οι σχετικοί υπολογισμοί μπορούν να απλοποιηθούν, αν σημειώσουμε ότι:

$$\eta\mu\phi \approx \epsilon\phi \quad \phi \approx \phi \text{ ακτίνα} = \frac{\Phi}{57,3}$$

Στο παραπάνω παράδειγμα θα είχαμε:



Σχ. 8.2β.

Εύρεση μετακεντρον.

$$\eta\mu\phi = \frac{\Phi}{57,3} = \frac{7}{57,3} = 0,1221$$

και

$$\text{Ροπή επαναφοράς} = (53232) (2,095) (0,1221) = 13316 \text{ MT} - \text{m}$$

### Παράδειγμα 3.

Ορθογωνική φορτηγίδα μήκους 100 ft, πλάτους 35 ft και ύψους 20 ft πλέει σε βύθισμα 10 ft. Πόσο πάνω από την τρόπιδα πρέπει να βρίσκεται το κέντρο βάρους της φορτηγίδας για να έχουμε ουδέτερη ισορροπία;

Η ίσαλος επιφάνεια έχει μορφή ορθογωνίου παραλληλογράμμου μήκους 100 ft και πλάτους 35 ft. Από τη σχέση (23):

$$I_{xx} = \frac{bh^3}{12} = \frac{100 \times 35^3}{12} = 357291,6 \text{ ft}^4$$

Από τη σχέση (46):

$$BM_T = \frac{I_{xx}}{V} = \frac{357291,6}{100 \times 35 \times 10} = \frac{357291,6}{35000} = 10,208 \text{ ft}$$

Επειδή τα ύφαλα έχουν πρισματικό ορθογωνικό σχήμα, το κέντρο όγκου θα βρίσκεται στο μισό του βυθίσματος. Επομένως:

$$KB = \frac{10}{2} = 5 \text{ ft}$$

$$KM_T = KB + BM_T = 5 + 10,208 = 15,208 \text{ ft}$$

Για ουδέτερη ευστάθεια  $GM = 0 = KM_T - KG$

Επομένως:

$$KM_T - KG = 0$$

ή

$$KG = KM_T = 15,208 \text{ ft}$$

### 8.3 Αιτίες δημιουργίας εγκάρσιων κλίσεων. Σημασία του εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους.

Όπως είδαμε προηγουμένως, η **εγκάρσια κλίση ενός πλοίου δημιουργεί μία ροπή (επαναφοράς ή ανατροπής), το μέγεθος της οποίας για μικρές γωνίες εγκάρσιας κλίσεως είναι ανάλογο με το εκτόπισμα του πλοίου, με το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος και με το ημίτονο της γωνίας εγκάρσιας κλίσεως.**

Στην παράγραφο αυτή θα δούμε ποιες είναι οι αιτίες που δημιουργούν συνήθως εγκάρσιες κλίσεις στα πλοία.

Αν εξετάσουμε ένα πλοίο σε περιβάλλον ήρεμου νερού (χωρίς κυματισμό) διαπιστώνουμε ότι οι πιο συνηθισμένες αιτίες που μπορούν να δημιουργήσουν εγκάρσιες κλίσεις είναι:

1) **Η ασυμμετρία της κατανομής των βαρών σε σχέση με το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου.** Γενικά μπορούμε να πούμε ότι στην κατασκευή και χρησιμοποίηση του πλοίου καταβάλλεται προσπάθεια, ώστε το κέντρο βάρους του να βρίσκεται πάνω στο επίπεδο συμμετρίας. Αυτό όμως δεν είναι πάντοτε δυνατό, γιατί, κατά τη χρησιμοποίηση του πλοίου, υπάρχουν πολλοί λόγοι που μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση του κέντρου βάρους του σε θέση εκτός του επιπέδου συμμετρίας, όπως η κατανάλωση του πετρελαίου μιας δεξιάς ή αριστερής δεξαμενής ή η ανεξέλεγκτη μετακίνηση φορτίου (π.χ. επιβατών ή φορτίου σιτηρών).

2) **Η επίδραση του ανέμου.** Η επίδραση του ανέμου πάνω στα έξαλα του πλοίου είναι άλλος ένας

λόγος δημιουργίας εγκάρσιας κλίσεως. Ο τρόπος δημιουργίας της σχετικής ροπής φαίνεται στο σχήμα 8.3α, για πνοή του ανέμου από την πλευρά του πλοίου.

3) **Η ροπή της έλικας** στα μονέλικά πλοία, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.3β, η οποία μπορεί να δημιουργήσει κλίση γύρω στη  $1^\circ$  ή και μεγαλύτερη στα μικρότερα σκάφη.

4) **Η φυγόκεντρη δύναμη κατά τη στροφή του πλοίου**, ο τρόπος δημιουργίας της οποίας φαίνεται στο σχήμα 8.3γ. Στο σχήμα φαίνεται η περίπτωση ενός συνηθισμένου πλοίου, ενώ τα μικρά ταχύπλοα, επειδή η γάστρα τους έχει ειδικό σχήμα, παίρνουν αντίθετη κλίση (προς τα μέσα της στροφής).

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις εφαρμόζεται στο πλοίο μια ροπή  $Q$ . Υπό την επίδραση αυτής της ροπής το πλοίο θα πάρει τέτοια εγκάρσια κλίση, ώστε η ροπή υδροστατικής προελεύσεως όπως δίνεται από τη σχέση (72) να είναι ίση και αντίθετη με την  $Q$ .

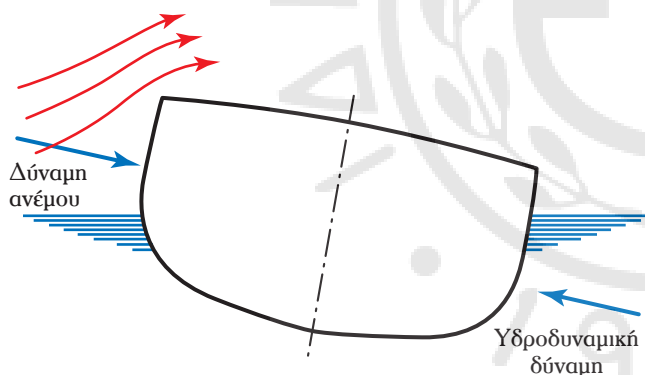
Έτσι, για δεδομένο εκτόπισμα του πλοίου, η γωνία εγκάρσιας κλίσεως θα είναι τόσο μικρότερη όσο μεγαλύτερο είναι το μετακεντρικό ύψος, όπως προκύπτει από τη σχέση (72).

Με βάση τα παραπάνω, θα μπορούσε κάποιος να πει ότι είναι επιθυμητό να έχουμε όσο το δυνατό μεγαλύτερο μετακεντρικό ύψος, γιατί έτσι οι σχετικές εγκάρσιες κλίσεις θα ήταν μικρότερες. Αυτό όμως δεν συμβαίνει, αν λάβουμε υπόψη και τις εγκάρσιες ταλαντώσεις του πλοίου σε διατοιχισμό. Η συχνότητα του διατοιχισμού και οι δυναμικές καταπονήσεις που οφείλονται σ' αυτόν αυξάνονται όσο αυξάνεται το μετακεντρικό ύψος, με συνέπεια την επιδείνωση του επιπέδου ανέσεως του πλοίου και τη δημιουργία μεγάλων επιταχύνσεων.

Από τα παραπάνω καθίσταται κατανοητό για ποιους λόγους, με διάφορους σχεδιαστικούς και χειριστικούς τρόπους, **φροντίζουμε να έχει το πλοίο μετακεντρικό ύψος λίγο μεγαλύτερο από όσο είναι απαραίτητο για την κάλυψη των απαιτήσεων ασφάλειας, όπως αυτές καθορίζονται από τους σχετικούς κανονισμούς.**

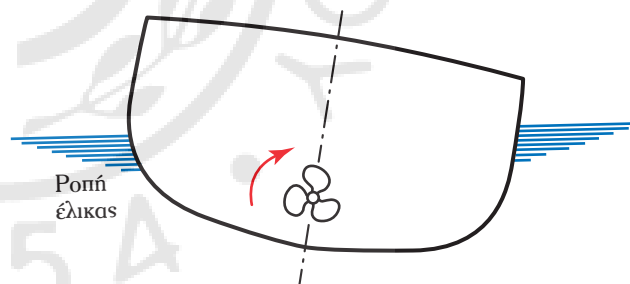
Ειδικά στα επιβατικά πλοία το μετακεντρικό ύψος θα πρέπει να είναι επαρκές ώστε:

1) Να αποφεύγεται η δημιουργία σημαντικής εγκάρσιας κλίσεως, όταν λόγω κάποιου ρήγματος στα



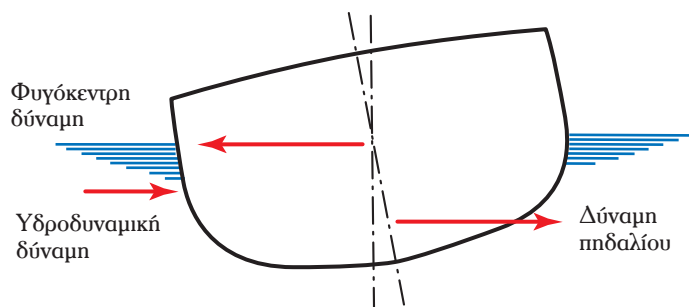
Σχ. 8.3α.

Εγκάρσια κλίση λόγω επιδράσεως ανέμου.



Σχ. 8.3β.

Εγκάρσια κλίση λόγω ροπής της έλικας.



Σχ. 8.3γ.

Εγκάρσια κλίση κατά τη στροφή του πλοίου.

ύφαλα, κατακλυσθεί κάποιο ασύμμετρο διαμέρισμα του πλοίου.

2) Να αποφεύγεται η δημιουργία σημαντικής εγκάρσιας κλίσεως, στην περίπτωση που συγκεντρωθεί μεγάλος αριθμός επιβατών στη μια πλευρά του πλοίου και μάλιστα στα ψηλότερα καταστρώματά του.

3) Να αποφεύγεται η δημιουργία σημαντικής εγκάρσιας κλίσεως όταν πνέει ισχυρός άνεμος από την πλευρά ή όταν το πλοίο πραγματοποιεί στροφή με τη μέγιστη ταχύτητα.

Οι απαιτήσεις των κανονισμών για το μετακεντρικό ύψος που είναι απαραίτητο να υπάρχει σε κάθε περίπτωση και ο τρόπος με τον οποίο εξασφαλίζεται η ικανοποίησή τους, θα δοθούν στο κεφάλαιο 13.

Παρακάτω δίνονται ενδεικτικές τιμές του μετακεντρικού ύψους, σε κατάσταση πλήρους φόρτου, για μερικούς τύπους πλοίων:

- 1) Πετρελαιοφόρα απλής γάστρας (tankers) 0,50–2,00 m.
- 2) Πετρελαιοφόρα διπλής γάστρας (double hull tankers) 2,00–5,00 m.
- 3) Πλοία γενικού φορτίου (general cargo ships) 0,30–0,50 m.
- 4) Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (container ships) 1,50–2,50 m.
- 5) Πλοία φορτίου χύμα (bulk ore carriers) 2,00–3,00 m.
- 6) Πλοία Ro-Ro 1,40–1,60 m.

Σε γενικές γραμμές επειδή το  $KM_T$  σε μικρότερα βυθίσματα τείνει να έχει μεγαλύτερες τιμές (βλ. σخ. 5.6), το ίδιο συμβαίνει και με το μετακεντρικό ύψος. Αυτό όμως δεν αποτελεί γενικό κανόνα.

Σε κάθε περίπτωση από τους κανονισμούς δεν επιτρέπεται, σε καμμία κατάσταση φορτώσεως, το  $GM_T$  να έχει τιμή μικρότερη από 0,15 m.

#### 8.4 Προσδιορισμός του μετακεντρικού ύψους.

Η γνώση του μετακεντρικού ύψους και των υπολοίπων στοιχείων ευστάθειας του πλοίου σε κάθε κατάσταση φορτώσεώς του, όπως θα επεξηγηθεί, αποτελεί ουσιαστική, αλλά και νομική υποχρέωση του πλοιάρχου. Με τη επιβεβαίωση ικανοποιήσεως των σχετικών απαιτήσεων των κανονισμών, εξασφαλίζεται η απαραίτητη ασφάλεια.

Από τη σχέση (73) προκύπτει ότι η εύρεση του μετακεντρικού ύψους οποιουδήποτε πλοίου, ανάγεται στην εύρεση του  $KM_T$  και του KG. Όπως γνωρίζουμε ήδη το  $KM_T$  μπορεί εύκολα να βρεθεί από το υδροστατικό διάγραμμα ή από τον υδροστατικό πίνακα, ενώ για την εύρεση του KG είναι αναγκαία μια σειρά από υπολογισμούς βαρών και ροπών όπως αυτών που περιέχονται στους πίνακες 6.4.1, 6.4.2 και 6.4.3.

Όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην κατάρτιση των παραπάνω πινάκων έχουν προκύψει από γεωμετρικούς υπολογισμούς που ήδη μάθαμε και είναι συγκεντρωμένα σε σχέδια ή πίνακες που υπάρχουν στο πλοίο.

Η ακριβής όμως εύρεση των ιδιοτήτων του άφορτου πλοίου (βάρος και θέση κέντρου βάρους), απαραίτητη για τον προσδιορισμό του μετακεντρικού του ύψους σε κάθε κατάσταση φορτώσεως, μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την πραγματοποίηση ενός πειράματος, γνωστού με το όνομα **πείραμα ευστάθειας** (inclining experiment).

#### 8.5 Εύρεση στοιχείων άφορτου πλοίου. Το πείραμα ευστάθειας.

##### 8.5.1 Μέθοδος ευρέσεως στοιχείων του άφορτου πλοίου.

Εκτίμηση των στοιχείων του άφορτου πλοίου και συγκεκριμένα του βάρους και της θέσεως του κέντρου βάρους του, στη φάση της σχεδιάσεως και της κατασκευής του, πραγματοποιείται **λογιστικά** από το ναυπηγείο κατασκευής.

Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι απαραίτητο να καταγράψουμε καθ' ένα στοιχειώδες βάρος από εκείνα που συνθέτουν το άφορτο πλοίο, καθώς και τις αποστάσεις του κέντρου βάρους του από ένα σύστημα συντεταγμένων και να εφαρμόσουμε στη συνέχεια μια διαδικασία ανάλογη μ' εκείνη του πίνακα 6.4.1. Η μέθοδος αυτή, αναγκαία σε κάθε περίπτωση για το ναυπηγείο κατασκευής, παρουσιάζει τις παρακάτω δυσκολίες:

1) Προϋποθέτει την υποδιαίρεση της κατασκευής του πλοίου σε πολλά στοιχειώδη τμήματα, ώστε να είναι δυνατό να ληφθούν από τα σχέδια πληροφορίες ως προς το βάρος και τη θέση του κέντρου βάρους τους. Για το λόγο αυτό, το μέγεθος των υπολογισμών είναι πολύ μεγάλο.

2) Η ακρίβεια της μεθόδου είναι περιορισμένη, είτε επειδή γίνονται διάφορες παραδοχές ως προς τα στοιχεία των επί μέρους βαρών που αποτελούν το άφορτο πλοίο, είτε γιατί πολλά τμήματα της κατασκευής πραγματοποιούνται στην πράξη κατά τρόπο διαφορετικό από εκείνο που φαίνεται στα σχέδια.

Για τους παραπάνω λόγους, ο λογιστικός τρόπος ευρέσεως του βάρους και του κέντρου βάρους του άφορτου πλοίου εφαρμόζεται κυρίως στη φάση της σχεδίασεως μόνο.

Ειδικά σε μερικούς τύπους πολεμικών πλοίων που οι επιδόσεις τους παρουσιάζουν μεγάλη εξάρτηση από το βάρος τους (π.χ. ικανότητα καταδύσεως υποβρυχίων, ταχύτητα ταχυπλόων περιπολικών) είναι αναγκαίο να παρακολουθείται το βάρος και η θέση του κέντρου βάρους συνέχεια στις διάφορες φάσεις της κατασκευής τους, ώστε αν κριθεί αναγκαίο να υπάρξουν έγκαιρα διορθωτικές ενέργειες.

Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται σπάνια στα συνηθισμένα εμπορικά πλοία.

**Σε κάθε περίπτωση τόσο στα εμπορικά όσο και στα πολεμικά πλοία ακριβής εύρεση των στοιχείων του άφορτου πλοίου πραγματοποιείται με το πείραμα ευστάθειας** (inclining experiment) και με το Draft Survey (ακριβής μέτρηση βυθισμάτων).

### 8.5.2 Θεωρία του πειράματος ευστάθειας.

As θεωρήσουμε ότι το πλοίο του σχήματος 8.5α πλέει με τον ιστό κατακόρυφο στην ίσαλο WL όταν το βάρος  $W$  βρίσκεται στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου. Αν στη συνέχεια μεταφέρομε το βάρος στη δεξιά πλευρά του καταστρώματος μετακινώντας το κατά απόσταση  $d$ , τότε:

1) Το πλοίο θα πλεύσει στην ίσαλο  $W_1L_1$  που σχηματίζει γωνία  $\varphi$  με την WL.

2) Το κέντρο βάρους του πλοίου θα μετακινηθεί από τη θέση  $G$  στη θέση  $G'$ , όπου η  $GG'$  είναι παράλληλη στην ευθεία που συνδέει το κέντρο βάρους του  $W$  στην αρχική και τελική του θέση.

3) Για την εξασφάλιση ισορροπίας στη νέα θέση, το κέντρο όγκου των υφάλων του πλοίου θα μετακινηθεί από τη θέση  $B$  στη θέση  $B'$ . Το  $B'$  βρίσκεται πάνω στην κατακόρυφο που περνά από το  $G'$ , αλλά η  $BB'$  δεν είναι παράλληλη προς την  $GG'$ .

Θα έχουμε λοιπόν:

Ροπή μετακινήσεως βάρους =  $w d$ .

Ροπή βάρους πλοίου =  $\Delta G C'$ .

Στη θέση ισορροπίας οι δύο παραπάνω ροπές θα πρέπει να είναι ίσες. Επομένως:

$$\Delta G C' = w d$$

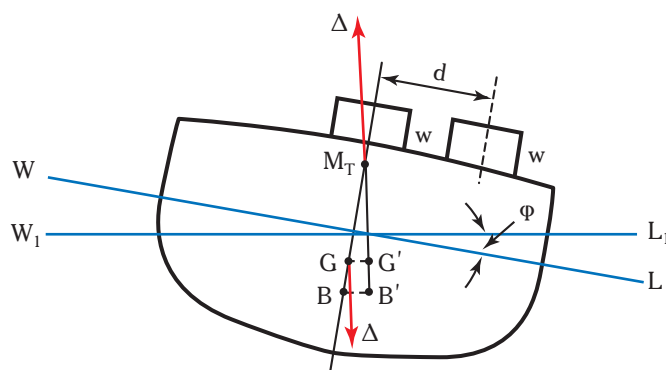
αλλά από το τρίγωνο που σχηματίζεται έχουμε ότι  $G C' = G M_T \epsilon \varphi$ . Επομένως:

$$\Delta G M_T \epsilon \varphi = w d$$

ή

$$G M_T = \frac{w d}{\Delta \epsilon \varphi} \quad (74)$$

Αν το παραπάνω πείραμα γίνει με γνωστά εκ των προτέρων τα  $w$  και  $d$ , λάβομε υπόψη μας ότι το  $\Delta$  μπορεί να βρεθεί από το υδροστατικό διάγραμμα του πλοίου, με τα βυθίσματα και την πυκνότητα που έχει το νερό τη στιγμή της εκτελέσεως του πειράματος και με κάποιον τρόπο μετρήσομε με ακρίβεια τη γωνία  $\varphi$ , εφόσον όλα είναι γνωστά, είναι δυνατό από τη σχέση (74) να υπολογισθεί το μετακεντρικό ύψος στην κατάσταση του πειράματος.



Σχ. 8.5α.

Διαδικασία πειράματος ευστάθειας.

Στη συνέχεια, από τη σχέση (75) με το ΚΜ<sub>T</sub> γνωστό από το υδροστατικό διάγραμμα, είναι δυνατή η εύρεση του ΚG του πλοίου στην κατάσταση του πειράματος.

Αυτή είναι κατά βάση η αρχή, πάνω στην οποία βασίζεται η πραγματοποίηση του πειράματος ευστάθειας που οδηγεί στην εύρεση, με ακρίβεια, της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους του άφορτου πλοίου.

Για τη μέτρηση της γωνίας φ μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα εκκρεμές με μήκος  $l$ . Αν  $\delta$  είναι η απόκλιση του εκκρεμούς, όπως τη μετρούμε πάνω στην κλίμακα (σχ. 8.5β), από το ορθογώνιο τρίγωνο που σχηματίζεται, θα έχουμε:

$$\epsilon\phi\phi = \frac{\delta}{l} \quad (75)$$

### 8.5.3 Προετοιμασία για την πραγματοποίηση του πειράματος ευστάθειας.

Όπως είδαμε προηγουμένως, η θεωρία του πειράματος είναι πολύ απλή. Το πείραμα μπορεί να ολοκληρωθεί σε σύντομο σχετικά χρόνο, αν γίνει σωστά όλη η απαραίτητη προετοιμασία.

Πρώτα απ' όλα, επειδή το εκτόπισμα θα βρεθεί από το υδροστατικό διάγραμμα με βάση τα βυθίσματα, είναι απαραίτητο να έχει επιβεβαιωθεί η ακρίβεια των βυθισμάτων, κατά τη διάρκεια του δεξαμενισμού του πλοίου (πριν από το πείραμα ευστάθειας) ή πριν από την κατέλκυση, αν πρόκειται για νέο πλοίο.

Επίσης, καλό θα είναι, εφόσον είναι δυνατό, να υπάρχει και κλίμακα βυθισμάτων στο μέσο του πλοίου, ώστε να μπορεί να βρεθεί με ακρίβεια το εκτόπισμά του, αν το πλοίο έχει κάμψη σαν **δοκός** (hogging ή sagging). Η σχετική διαδικασία υπολογισμού του εκτοπίσματος με ακρίβεια σε μία τέτοια περίπτωση θα επεξηγηθεί στην παράγραφο 12.22.2.

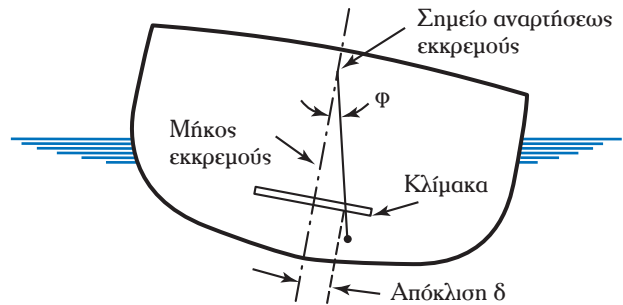
Όλα τα κινητά βάρη που βρίσκονται στο πλοίο θα πρέπει να αφαιρεθούν. Όσα από αυτά δεν είναι δυνατό να αφαιρεθούν, θα πρέπει, για λόγους μελλοντικής αναφοράς στην κατάσταση του πλοίου, να καταγραφούν με λεπτομέρειες ώστε να περιληφθούν στη λεγόμενη **αναφορά του πειράματος ευστάθειας** (inclining experiment report).

Με σκοπό να καθορισθούν τα απαραίτητα για το πείραμα βάρη, θα πρέπει να γίνει μια πρώτη εκτίμηση του μετακεντρικού ύψους λογιστικά. Αν και υπάρχει διαδικασία πραγματοποίησης πειράματος ευστάθειας σε πλοίο με αρνητικό μετακεντρικό ύψος, στην πράξη το πείραμα γίνεται πάντοτε με θετικό μετακεντρικό ύψος και μάλιστα μεγαλύτερο από 30 cm. Για την επιλογή των βαρών λαμβάνεται υπόψη ότι τα αποτελέσματα του πειράματος είναι αρκετά ακριβή, όταν η γωνία εγκάρσιας κλίσεως (που θα προκληθεί με τη μετακίνηση των βαρών) είναι μεταξύ 1½ έως 2°.

Για τη μέτρηση της γωνίας με ακρίβεια πρέπει να χρησιμοποιηθούν εκκρεμή με όσο το δυνατό μεγαλύτερο μήκος. Για το σκοπό αυτό η τοποθέτησή τους γίνεται κυρίως μέσα στα κύπη ή στο μηχανοστάσιο, όπου υπάρχει συνήθως η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν εκκρεμή με μεγάλο ύψος (μήκος). Επειδή τα εκκρεμή με μεγάλο μήκος παρουσιάζουν σοβαρή ταλάντωση, η οποία εμποδίζει την πραγματοποίηση της μετρήσεως, συνηθίζεται το άκρο τους να βυθίζεται σ' ένα δοχείο με νερό ή λάδι, ώστε να εξασφαλίζεται η απόσβεση της ταλαντώσεως.

Όπως θα δούμε το μετακεντρικό ύψος του πλοίου επηρεάζεται πολύ σημαντικά από την ύπαρξη ελευθέρων επιφανειών υγρών μέσα στις δεξαμενές ή στα διαμερίσματα του πλοίου. Έτσι, για να είναι ακριβές το πείραμα, οι δεξαμενές του πλοίου θα πρέπει να είναι **είτε απολύτως κενές είτε απολύτως γεμάτες**.

Αν όμως αυτό δεν είναι δυνατό, τότε καλό θα είναι οι αντίστοιχες δεξαμενές να βρίσκονται στη μέση περίπου της μέγιστης στάθμης τους. Στην περίπτωση βέβαια αυτή οι επιδράσεις των δεξαμενών κατά το



Σχ. 8.5β.  
Μέτρηση γωνίας φ.



πείραμα θα πρέπει να υπολογισθούν λογιστικά. Επίσης δεν θα πρέπει να υπάρχουν καθόλου υγρά στις σεντίνες του πλοίου.

Κατά την έναρξη του πειράματος το πλοίο θα πρέπει να είναι απόλυτα κατακόρυφο και να έχει όσο το δυνατό μικρότερη διαγωγή. Θα πρέπει επίσης να εξασφαλισθεί ότι κατά την πραγματοποίηση των εγκαρσίων κλίσεων το πλοίο δεν εφάπτεται με το βυθό ή με το κρηπίδωμα ή δεν παρεμποδίζεται η ελεύθερη κίνηση του από κάβους ή άλλα εμπόδια, στοιχεία που θα οδηγούσαν σε ανακριβή αποτελέσματα.

Τέλος, από τις πιο ουσιώδεις προετοιμασίες είναι η σωστή πληροφόρηση του πληρώματος του πλοίου ή των τεχνιτών του ναυπηγείου γύρω από τις λεπτομέρειες του πειράματος και τα καθήκοντά τους κατά τη διάρκειά του.

#### 8.5.4 Εκτέλεση του πειράματος ευστάθειας.

Η εκτέλεση του πειράματος πραγματοποιείται με το πλοίο να επιπλέει μέσα σε μόνιμη δεξαμενή ή σε μικρό προστατευμένο λιμενίσκο, ώστε να μην επηρεάζεται καθόλου από άνεμο, κύμα ή ρεύμα. Προετοιμάζονται δύο ή περισσότερα εκκρεμή και μετρείται η θερμοκρασία και η πυκνότητα του νερού που περιβάλλει το πλοίο από δείγματα νερού που λαμβάνονται στην πλώρη, το μέσο και την πρύμη και σε διάφορα βάθη, όπως έχει ήδη επεξηγηθεί στην παράγραφο 2.3.

Το προσωπικό του πλοίου, που δεν είναι απαραίτητο για την εκτέλεση του πειράματος αποβιβάζεται.

Αφού το προσωπικό που θα κάνει τις αναγνώσεις των εκκρεμών καταλάβει τη θέση του και αποκαταστήσει επικοινωνία (με τηλέφωνο) με τον επικεφαλής της εκτέλεσης του πειράματος, χαλαρώνονται οι κάβοι προσδέσεως του πλοίου και αρχίζουν οι μετακινήσεις των βαρών. Τα βάρη που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως ογκόλιθοι από σκυρόδεμα ή χυτοσιδηρά βάρη που έχουν προηγουμένως ζυγισθεί και υποδιαιρούνται σε τέσσερις ομάδες (Α, Β, Γ και Δ στο σχ. 8.5γ).

Πραγματοποιούνται οι παρακάτω κινήσεις:

- 1) Το βάρος Α φέρεται σε θέση πάνω από το Γ.
- 2) Το βάρος Β φέρεται σε θέση πάνω από το Δ.
- 3) Τα βάρη Α και Β επαναφέρονται στην αρχική τους θέση.
- 4) Το βάρος Γ φέρεται σε θέση πάνω από το Α.
- 5) Το βάρος Δ φέρεται σε θέση πάνω από το Β.
- 6) Τα βάρη Γ και Δ επαναφέρονται στην αρχική τους θέση.

Συχνά τα βάρη λαμβάνονται ίσα μεταξύ τους. Σε κάθε θέση, το προσωπικό που βρίσκεται στα εκκρεμή μετρά τις αποκλίσεις οι οποίες, σε συσχετισμό με την αρχική ένδειξη (δηλ. πριν πραγματοποιηθεί η πρώτη μετακίνηση), οδηγούν στην εύρεση της εφαιπομένης της γωνίας εγκάρσιας κλίσεως.

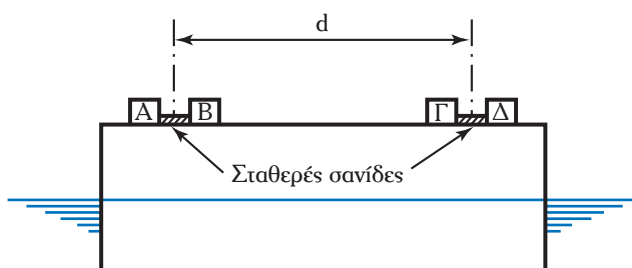
#### 8.5.5 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του πειράματος ευστάθειας.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του πειράματος ευστάθειας γίνεται με διάφορους τρόπους, οι οποίοι ανάγονται στις γνώσεις του ναυπηγού. Ένας από τους πιο συνηθισμένους τρόπους φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα.

#### Παράδειγμα.

Από τα βυθίσματα ενός πλοίου, στο οποίο πραγματοποιείται πείραμα ευστάθειας σύμφωνα με τη διαδικασία της παραγράφου 8.5.4, βρέθηκε ότι το εκτόπισμά του είναι 6000 MT και  $KM_T = 8,32$  m.

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν 4 βάρη, το καθένα από τα οποία ζύγιζε 10 MT. Η μετακίνηση κάθε βάρους ήταν ίση με 10 m. Με ένα εκκρεμές μήκους 7 m μετρήθηκαν αποκλίσεις 31,



Σχ. 8.5γ.

Κινήσεις βαρών σε πείραμα ευστάθειας.

63, 1, -30, -62 και 0 cm. Να βρεθεί η κατακόρυφη θέση (KG) του πλοίου στην παραπάνω κατάσταση.

Με τα στοιχεία των μετρήσεων καταρτίζουμε τον πίνακα 8.5.1.

**Πίνακας 8.5.1.**  
**Ανάλυση αποτελεσμάτων πειράματος ευστάθειας.**

| στήλη 1                         | στήλη 2            | στήλη 3                                       | στήλη 4                      | στήλη 5  | στήλη 6                                       |
|---------------------------------|--------------------|---|------------------------------|--|---|
| Κίνηση βαρών                    | Ροπή βάρους (MT-m) | Αλλαγή ροπής από προηγούμενη κατάσταση (MT-m) | Απόκλιση όπως μετρήθηκε (cm) | Αλλαγή αποκλίσεως από προηγούμενη κατάσταση cm | Αλλαγή αποκλίσεως ανά 100 (MT-m) αλλαγής ροπή |
| Από το Α στο Γ                  | 100                | $100 - 0 = 100$                               | 31                           | $31 - 0 = 31$                                  | 31  |
| Από το Β στο Δ                  | 200                | $200 - 100 = 100$                             | 63                           | $63 - 31 = 32$                                 | 32  |
| Επαναφορά Α, Β στην αρχική θέση | 0                  | $0 - 200 = -200$                              | 1                            | $1 - 63 = -62$                                 | 31  |
| Από το Γ στο Α                  | -100               | $-100 - 0 = -100$                             | -30                          | $-30 - 1 = -31$                                | 31  |
| Από το Δ στο Β                  | -200               | $-200 - (-100) = -100$                        | -62                          | $-62 - (-30) = -32$                            | 32  |
| Επαναφορά Γ, Δ στην αρχική θέση | 0                  | $0 - (-200) = 200$                            | 0                            | $0 - (-62) = 62$                               | 31  |
| <b>Σύνολο</b>                   |                    |   |                              |  | <b>188</b>                                    |

### 8.5.6 Αναφορά πειράματος ευστάθειας.

Τα στοιχεία του πλοίου κατά την πραγματοποίηση του πειράματος ευστάθειας και τα αντίστοιχα αποτελέσματα καταγράφονται στην **αναφορά του πειράματος ευστάθειας** (inclining experiment report), η οποία συνοπτικά περιλαμβάνει:

- 1) Τα στοιχεία, τη θέση και τις αποκλίσεις των εκκρεμών.
- 2) Τη θέση και τα βάρη που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα.
- 3) Τα βυθίσματα του πλοίου με λεπτομέρειες και τη θερμοκρασία και πυκνότητα του νερού.
- 4) Τα κινητά βάρη που υπήρχαν πάνω στο πλοίο και τις συντεταγμένες τους.

Μέσος όρος αποκλίσεων  $\delta = 188/6 = 31,33$  cm. Από τη σχέση (75):

$$\epsilon\phi\phi = \frac{\delta}{l} = \frac{31,33/100}{7} = 0,00447$$

Από τη σχέση (74):

$$GM_T = \frac{wd}{\Delta\epsilon\phi\phi} = \frac{100}{(6000) \times (0,00447)} = 0,372 \text{ m}$$

Από τη σχέση (73):

$$KG = KM_T - GM_T = 8,32 - 0,372 = 7,928$$

Διευκρινίζεται ότι όταν υπάρχουν περισσότερα από ένα εκκρεμή, στη στήλη 4 του πίνακα 8.5.1 γράφεται ο μέσος όρος των ενδείξεών τους σε κάθε κίνηση και εφαρμόζεται στη συνέχεια η ίδια διαδικασία.

5) Τον υπολογισμό του εκτοπίσματος κατά το πείραμα και τους υπολογισμούς ευρέσεως του άφορτου εκτοπίσματος.

6) Τον υπολογισμό της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους του πλοίου.

7) Την ποσότητα και το είδος των υγρών που περιέχει κάθε δεξαμενή.

Η αναφορά του πειράματος ευστάθειας είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία του πλοίου και πρέπει

να φυλάσσεται για όλη τη ζωή του, γιατί αποτελεί βασικό στοιχείο για πάρα πολλούς υπολογισμούς που ανάγονται στη χρησιμοποίησή του. Στο πείραμα ευστάθειας των εμπορικών πλοίων παρευρίσκονται και εκπρόσωποι της Κρατικής Αρχής (για την Ελλάδα η Επιθεώρηση Εμπορικών Πλοίων του ΥΠΟΙΑΝ) και του νπογνώμονα, οι οποίοι υπογράφουν την αναφορά του πειράματος καθιστώντας την έτσι αποδεκτή διεθνώς.

### 8.5.7 Συχνότητα πραγματοποίησως του πειράματος.

Το πείραμα ευστάθειας πραγματοποιείται στο (σχεδόν) άφορτο πλοίο όταν ο εξοπλισμός του έχει συμπληρωθεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό, δηλαδή λίγο πριν από τις δοκιμές παραλαβής του. Κανονικά, και εφόσον το πλοίο δεν μετασκευασθεί σε μεγάλη έκταση, δεν είναι απαραίτητη η επανάληψή του.

Η Κρατική Αρχή που ελέγχει το πλοίο αποφασίζει σε ποιες περιπτώσεις μετασκευής του είναι απαραίτητη η επανάληψη του πειράματος.

### 8.5.8 Πρόχειρο πείραμα ευστάθειας.

Σε περίπτωση που υπάρχει σοβαρή ανησυχία ως προς το μετακεντρικό ύψος ενός πλοίου σε κάποια κατάσταση φορτώσεως, ο πλοίαρχος μπορεί να προβεί στην εκτέλεση ενός πρόχειρου πειράματος ευστάθειας.

Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να προσπαθήσει να φέρει το πλοίο σε κατάσταση που να προσεγγίζει όσο το δυνατό περισσότερο τις συνθήκες του κανονικού πειράματος. Οι εγκάρσιες κλίσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με το να αφηθεί να ακουμπήσει μια «σαμπανιά» φορτίου με γνωστό βάρος στις πλευρές του καταστρώματος. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να γίνει με χρησιμοποίηση της θεωρίας του πειράματος που έχει προαναφερθεί. Ένα τέτοιο πείραμα αποσκοπεί μάλλον στην εύρεση του μετακεντρικού ύψους του πλοίου στην κατάσταση που βρίσκεται, παρά στην εύρεση της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους του για μελλοντική χρήση. Διευκρινίζεται πάντως ότι τέτοια πειράματα δεν γίνονται συχνά.

### 8.5.9 Πείραμα ευστάθειας με μηδενικό ή αρνητικό μετακεντρικό ύψος.

Αν και υπάρχει τρόπος να γίνει πείραμα ευστάθειας με μηδενικό ή αρνητικό μετακεντρικό ύψος, στην πράξη το αποφεύγουμε γιατί είναι δύσκολο και τα αποτελέσματά του θεωρούνται αναξιόπιστα. Γενικά επιδιώκεται τα πειράματα ευστάθειας να γίνονται με σημαντικό θετικό μετακεντρικό ύψος.

Ένδειξη υπάρξεως αρνητικού μετακεντρικού ύψους, όπως θα εξηγήσουμε, είναι η τάση του πλοίου να παίρνει μικρή κλίση άλλοτε προς τα δεξιά και άλλοτε προς τα αριστερά, χωρίς να υπάρχει εξωτερική αιτία.

## 8.6 Προσδιορισμός μετακεντρικού ύψους από την περίοδο διατοιχισμού.

Αποδεικνύεται, αλλά ξεφεύγει απ' τα όρια αυτού του βιβλίου ότι η περίοδος διατοιχισμού, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται για να κάνει ένα πλοίο μια πλήρη ταλάντωση γύρω από τον άξονα  $x$  (μπότζι), σχετίζεται με το εγκάρσιο μετακεντρικό του ύψος, όπως φαίνεται στη σχέση (76) που μπορεί να μετασχηματισθεί και στη σχέση (77).

$$T_{\phi} \approx \frac{2K_{xx}}{\sqrt{GM_T}} \quad (\text{μετρικό σύστημα μονάδων}) \quad (76)$$

ή

$$T_{\phi} \approx \frac{1,108K_{xx}}{\sqrt{GM_T}} \quad (\text{αγγλικό σύστημα μονάδων}) \quad (77)$$

όπου:  $T_{\phi}$  είναι η περίοδος διατοιχισμού του πλοίου σε sec,  $GM_T$  το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος σε m ή ft και  $K_{xx}$  η ακτίνα αδράνειας της μάζας του πλοίου γύρω από διαμήκη άξονα που περνά από το κέντρο βάρους του πλοίου σε m ή ft.

Ένας απλός τρόπος να εκτιμήσει κάποιος την τιμή της ακτίνας αδράνειας  $K_{xx}$ , ο ακριβής υπολογισμός της οποίας είναι αρκετά δύσκολος, προκειμένου να γίνει δυνατή η εκτίμηση της τιμής του εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους με βάση τη σχέση (78) είναι η χρησιμοποίηση της προσεγγιστικής σχέσεως:

$$K_{xx} = CB \quad (78)$$

όπου:  $B$  το πλάτος του πλοίου σε  $m$  ή  $ft$  και  $C$  σταθερός συντελεστής με τιμή

$$\begin{aligned} \text{για επιβατικά και φορτηγά:} & C = 0,42 \\ \text{για ρυμουλκά:} & C = 0,35 \\ \text{για πολεμικά:} & C = 0,38 \text{ έως } 0,40 \end{aligned}$$

Από τις σχέσεις (76-78) προκύπτει ότι, αν γνωρίζουμε την περίοδο διατοιχισμού ενός πλοίου, εύκολα μπορούμε να προβούμε σε κάποια **εκτίμηση** του μετακεντρικού του ύψους. Η ιδέα αυτή έχει οδηγήσει στην εκτέλεση ενός πειράματος γνωστού ως **sallying experiment**. Στο πείραμα αυτό θέτομε το πλοίο τεχνητά σε ταλάντωση και μετρούμε την περίοδο του διατοιχισμού του σε ήρεμο νερό. Σε μικρά πλοία η ταλάντωση μπορεί να δημιουργηθεί με τη μετακίνηση του πληρώματος από τη μια πλευρά του καταστρώματος στην άλλη.

Στη συνέχεια το πλήρωμα έρχεται στο μέσο του καταστρώματος και με ένα χρονόμετρο μετρείται ο χρόνος 2 ή 3 περιόδων, ώστε να μπορέσουμε να βρούμε το μέσο όρο της περιόδου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούμε ταλάντωση στα πολεμικά πλοία που συνήθως έχουν μικρό μέγεθος. Στα εμπορικά η ταλάντωση δημιουργείται με άλλες μεθόδους, η πιο συνηθισμένη από τις οποίες είναι το απότομο μαϊνάρισμα μιας σχετικά μεγάλης παρίδας φορτίου στο κρηπίδωμα. Για να έχει κάποια ακρίβεια το πείραμα, η πρόσδεση του πλοίου στην ξηρά θα πρέπει να είναι χαλαρή.

Η παραπάνω μέθοδος χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του μετακεντρικού ύψους πλοίων με φορτία στο κατάστρωμα, όπως ξυλεία, σε αρκετά λιμάνια του Καναδά και της Βόρειας Ευρώπης.

Κάποια εκτίμηση της περιόδου του διατοιχισμού μπορεί επίσης να γίνει όταν το πλοίο ταξιδεύει είτε με τη βοήθεια των κινήσεων που πραγματοποιεί μόνο του λόγω μικρού κυματισμού, είτε με στροφή του πηδαλιού πότε δεξιά και πότε αριστερά (zig-zag maneuver), όταν δεν υπάρχει κυματισμός. Τα πειράματα βέβαια αυτά δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια ως προς τα αποτελέσματά τους.

### Παράδειγμα.

Το πλοίο Α πλέει σε βύθισμα 11 m. Το πλάτος του είναι 28,95 m. Σε τρεις μετρήσεις της περιόδου διατοιχισμού (χρόνος για μια πλήρη ταλάντωση από αριστερά δεξιά και πάλι αριστερά) μετρήθηκαν χρόνοι 15,8, 16,0 και 16,9 sec. Να εκτιμηθεί το μετακεντρικό ύψος του πλοίου στην κατάσταση του πειράματος.

Ο μέσος όρος της περιόδου διατοιχισμού είναι:

$$T_{\phi} = \frac{15,8 + 16,0 + 16,9}{3} = 16,23 \text{ sec}$$

Από τη σχέση (78):

$$K_{xx} = CB = (0,42) \times (28,95) = 12,159 \text{ m}$$

Από τη σχέση (76):

$$GM_T = 4 \frac{K_{xx}^2}{T_{\phi}^2} = 4 \frac{(12,159)^2}{(16,23)^2} = 2,245 \text{ m}$$

Η παραπάνω μέθοδος περιγράφεται με λεπτομέρειες σε κανονισμούς σχετικά με την ευστάθεια πλοίων με μήκος κάτω από 100 m, που έχει εκδώσει ο IMO (International Maritime Organization). Οι κανονισμοί περιέχουν και πιο ακριβείς για κάθε περίπτωση τιμές του συντελεστή  $C$ .

## 8.7 Διαγράμματα περιόδου διατοιχισμού – μετακεντρικού ύψους.

Σε μερικά σύγχρονα πλοία υπάρχουν διαγράμματα που συσχετίζουν το μετακεντρικό ύψος με την περί-

οδο διατοιχισμού και με το μέσο βύθισμα του πλοίου. Τα διαγράμματα αυτά προκύπτουν από λεπτομερείς υπολογισμούς της ροπής αδράνειας  $K_{xx}$ .

Η παρακάτω εμπειρική σχέση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή τέτοιων διαγραμμάτων για οποιοδήποτε πλοίο:

$$\left(\frac{K_{xx}}{B}\right)^2 \approx F \times \left[ C_B \times C_x + 1,10 \times C_x \times (1 - C_B) \times \left(\frac{D_1}{H} - 2,2\right) + \frac{D_1^2}{B^2} \right] \quad (79)$$

όπου:  $C_B$  είναι ο συντελεστής γάστρας σε κάθε βύθισμα  $H$ ,  $C_x$  ο συντελεστής ισάλου επιφάνειας,  $H$  το μέσο βύθισμα του πλοίου σε m ή ft,  $D_1 = D + \frac{A}{L}$  σε m ή ft,  $A$  η εγκάρσια προβολή των υπερκατασκευών και υπερτεγασμάτων του πλοίου σε  $m^2$  ή  $ft^2$ ,  $D$  το κοίλο του πλοίου σε m ή ft,  $B$  το πλάτος του πλοίου σε m ή ft,  $K_{xx}$  η ακτίνα αδράνειας της μάζας του πλοίου σε m ή ft και  $F$  συντελεστής με τιμές: 0,125 για επιβατικά και φορτηγά και 0,133 για πετρελαιοφόρα.

Όπως θα δούμε στο ακόλουθο παράδειγμα, για τη χρησιμοποίηση της σχέσεως (79) χρειάζονται μόνο στοιχεία του πλοίου που υπάρχουν στο υδροστατικό του διάγραμμα.

### Παράδειγμα 1.

Να καταρτισθεί διάγραμμα μέσου βυθίσματος – περιόδου διατοιχισμού – μετακεντρικού ύψους για το πλοίο Α με χρησιμοποίηση των υδροστατικών στοιχείων του που περιέχονται στον πίνακα 5.6.1.

Τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου είναι:

- Μήκος μεταξύ καθέτων  $L = 192$  m
- Πλάτος  $B = 28,95$  m
- Κοίλο  $D = 16,306$  m
- Επιφάνεια εγκάρσιας προβολής υπερκατασκευής  $A = 700$  m<sup>2</sup>

$$D_1 = D + \frac{A}{L} = 16,306 + \frac{700}{192} = 19,951 \text{ m}$$

Η εφαρμογή της σχέσεως (79) για διάφορα βυθίσματα γίνεται στον πίνακα 8.7.1, στη στήλη 9 του οποί-

**Πίνακας 8.7.1**  
**Υπολογισμός ροπής αδράνειας  $K_{xx}$  για το πλοίο Α.**

| στήλη 1               | στήλη 2  | στήλη 3  | στήλη 4                     | στήλη 5                         | στήλη 6                                 | στήλη 7   | στήλη 8                       | στήλη 9                        |
|-----------------------|--|--|-----------------------------|---------------------------------|---|---|-------------------------------|--------------------------------|
| Βύθισμα<br>$H$<br>(m) | Εκτόπισμα<br>$\Delta$<br>(από πίνακα 5.6.1,<br>ΜΤ) | Όγκος<br>εκτοπίσματος<br>$\bar{V} = (2)/1,025$ | $C_B = \frac{\bar{V}}{LBH}$ | TPC<br>(από<br>πίνακα<br>5.6.1) | $C_x = \frac{TPC \times 100}{1,025 LB}$ | $\left(\frac{K_{xx}}{B}\right)^2$<br>[από σχέση (81)] | $\frac{K_{xx}}{B} = \sqrt{7}$ | $K_{xx} = B \times (8)$<br>(m) |
| 5,0                   | 21827  | 21294  | 0,766                       | 46,7                            | 0,819                                   | 0,184   | 0,429                         | 12,419                         |
| 6,0                   | 26535  | 25887  | 0,776                       | 47,2                            | 0,828                                   | 0,168   | 0,410                         | 11,869                         |
| 7,0                   | 31305  | 30541  | 0,785                       | 47,7                            | 0,837                                   | 0,157   | 0,397                         | 11,493                         |
| 8,0                   | 36116  | 35235  | 0,792                       | 48,3                            | 0,848                                   | 0,150   | 0,387                         | 11,203                         |
| 9,0                   | 40980  | 39980  | 0,799                       | 49,0                            | 0,860                                   | 0,145   | 0,381                         | 11,030                         |
| 10,0                  | 45905  | 44785  | 0,805                       | 49,8                            | 0,874                                   | 0,142   | 0,377                         | 10,914                         |
| 11,0                  | 50914  | 49672  | 0,812                       | 50,6                            | 0,888                                   | 0,141   | 0,375                         | 10,856                         |
| 12,0                  | 56038  | 54671  | 0,819                       | 51,5                            | 0,904                                   | 0,140   | 0,374                         | 10,827                         |
| 13,0                  | 61245  | 59751  | 0,827                       | 52,3                            | 0,918                                   | 0,139   | 0,374                         | 10,827                         |

ου δίνονται οι τιμές της ροπής αδράνειας  $K_{xx}$ . Στη συνέχεια για διάφορες αυθαίρετες τιμές της περιόδου διατοιχισμού, οι οποίες στο παράδειγμα κυμαίνονται από 26 έως 12 sec, υπολογίζαμε από τη σχέση (76) το μετακεντρικό ύψος, όπως φαίνεται με λεπτομέρειες στον πίνακα 8.7.2.

Τα αποτελέσματα έχουν απεικονισθεί στο σχήμα 8.7, το οποίο αποτελεί και ένα παράδειγμα διαγράμματος περιόδου διατοιχισμού – μετακεντρικού ύψους.

### Παράδειγμα 2.

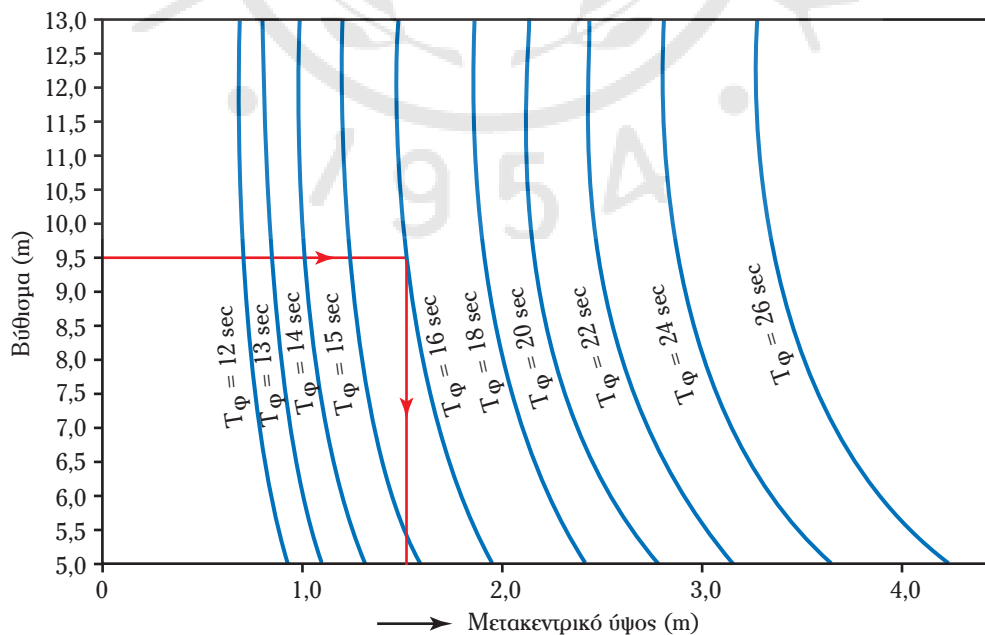
Σε πείραμα sallying του πλοίου Α όταν πλέει με μέσο βύθισμα 9,5 m, μετρήθηκε περίοδος διατοιχισμού 16 sec. Να εκτιμηθεί το μετακεντρικό ύψος του πλοίου στην κατάσταση του πειράματος.

Η λύση του προβλήματος φαίνεται με κόκκινη γραμμή στο διάγραμμα του σχήματος 8.7. Από την ανά-

**Πίνακας 8.7.2**

**Τιμές του μετακεντρικού ύψους για διάφορα βυθίσματα και περιόδους διατοιχισμού του πλοίου Α.**

| Βύθισμα<br>H<br>(m) | $K_{xx}$ = (από<br>πίνακα<br>8.7.1) | (Από σχέση (78) για κάθε $T_\phi$ και $K_{xx}$ ) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                     |                                     | Περίοδος διατοιχισμού, $T_\phi$ (sec)            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                     |                                     | 26   | 24    | 22    | 20    | 18    | 16    | 15    | 14    | 13    | 12    |
| 5,0                 | 12,419                              | 0,912  | 1,071 | 1,274 | 1,542 | 1,904 | 2,377 | 2,741 | 3,147 | 3,649 | 4,283 |
| 6,0                 | 11,869                              | 0,833  | 0,977 | 1,163 | 1,408 | 1,739 | 2,200 | 2,503 | 2,873 | 3,332 | 3,911 |
| 7,0                 | 11,493                              | 0,781  | 0,917 | 1,093 | 1,321 | 1,631 | 2,064 | 2,348 | 2,695 | 3,126 | 3,669 |
| 8,0                 | 11,203                              | 0,742  | 0,871 | 1,037 | 1,255 | 1,549 | 1,961 | 2,231 | 2,561 | 2,970 | 3,486 |
| 9,0                 | 11,030                              | 0,719  | 0,844 | 1,004 | 1,216 | 1,502 | 1,900 | 2,161 | 2,481 | 2,878 | 3,377 |
| 10,0                | 10,914                              | 0,704  | 0,827 | 0,984 | 1,191 | 1,471 | 1,861 | 2,117 | 2,430 | 2,818 | 3,308 |
| 11,0                | 10,856                              | 0,697  | 0,818 | 0,973 | 1,178 | 1,455 | 1,841 | 2,094 | 2,404 | 2,788 | 3,272 |
| 12,0                | 10,827                              | 0,693  | 0,814 | 0,968 | 1,172 | 1,447 | 1,831 | 2,083 | 2,391 | 2,774 | 3,255 |
| 13,0                | 10,827                              | 0,693  | 0,814 | 0,968 | 1,172 | 1,447 | 1,831 | 2,083 | 2,391 | 2,774 | 3,255 |



**Σχ. 8.7.**

Διάγραμμα μετακεντρικού ύψους – βυθίσματος – περιόδου διατοιχισμού του πλοίου Α.

γνωση του διαγράμματος γίνεται φανερό ότι το μετακεντρικό ύψος είναι 1,5 m.

Με το παράδειγμα αυτό φαίνεται πόσο απλοποιείται η εκτίμηση του μετακεντρικού ύψους, όταν υπάρχει στο πλοίο έτοιμο το σχετικό διάγραμμα.

### 8.8 Εγκάρσια κλίση λόγω ασυμμετρίας στην εγκάρσια κατανομή βαρών. Μέθοδος διορθώσεως.

Η σχέση (76) μπορεί εύκολα να μετασχηματισθεί, ώστε να πάρει τη μορφή:

$$\epsilon\phi \times \phi = (w \times d)/GM_T = (\text{Εγκάρσια ροπή}) / (GM_T \times \Delta) \quad (80)$$

Γενικά στα πλοία επιδιώκομε η κατανομή των μεταβλητών βαρών (φορτίο, πετρέλαιο, νερό, εφόδια κλπ.) να είναι τέτοια, ώστε η τελική εγκάρσια θέση του κέντρου βάρους του πλοίου να βρίσκεται πάνω στο επίπεδο συμμετρίας του. Σ' αυτήν την περίπτωση, όπως εύκολα διαπιστώνει κάποιος και από το σχήμα 8.5α, οι δυνάμεις του βάρους και της ανώσεως είναι ίσες και αντίθετες και δρουν πάνω στον ίδιο φορέα. Επομένως δεν υπάρχει κανένας λόγος το πλοίο να πάρει οποιαδήποτε εγκάρσια κλίση.

Στην πραγματικότητα όμως πολύ συχνά χειριστικοί λόγοι μας αναγκάζουν να αποκλίνουμε από μια τέτοια ιδανική κατάσταση. Μια πολύ συνηθισμένη περίπτωση είναι η κατανάλωση νερού ή καυσίμου από δεξαμενή που βρίσκεται είτε στη μία είτε στην άλλη πλευρά του πλοίου (μη κεντρική). Μια άλλη επίσης αρκετά συνηθισμένη περίπτωση είναι η ασύμμετρη φόρτωση ή εκφόρτωση κάποιων φορτίων που επιβάλλεται από χειριστικούς ή άλλους λόγους. Στις περιπτώσεις αυτές, σε συνέπεια των όσων έχουν λεχθεί παραπάνω, το πλοίο θα αποκτήσει εγκάρσια κλίση που **εφόσον δεν είναι πολύ μεγάλη** μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση (80).

Η χρήση αυτής της σχέσεως θα φανεί στα ακόλουθα παραδείγματα.

#### Παράδειγμα 1.

Το εκτόπισμα ενός πλοίου, που αρχικά βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση, είναι 5000 MT. Καταναλώνονται 50 MT πετρέλαιο από μία πλευρική ορθογώνια δεξαμενή που έχει το κέντρο βάρους της 5 προς τα αριστερά του επιπέδου συμμετρίας του πλοίου (TCG = -5).

Στη νέα αυτή κατάσταση των 5000-50 = 4950 MT η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου βρίσκεται στα 5,0 m και από το υδροστατικό του διάγραμμα βρίσκομε ότι η τιμή του  $KM_T$  είναι ίση με 6 m (σχ. 8.8α). Να βρεθεί πόση εγκάρσια κλίση θα αποκτήσει το πλοίο.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 8.8α η κατανάλωση του πετρελαίου ισοδυναμεί με την αφαίρεση βάρους 50 MT από ένα σημείο που απέχει 5,0 m από το επίπεδο συμμετρίας του.

Επομένως η ροπή που θα δημιουργηθεί θα είναι:

$$\text{Ροπή} = (-50) \times (-5) = 250 \text{ MT-m}$$

Εξάλλου θα έχομε:

$$GM_T = KM_T - KG = 6 - 5 = 1 \text{ m}$$

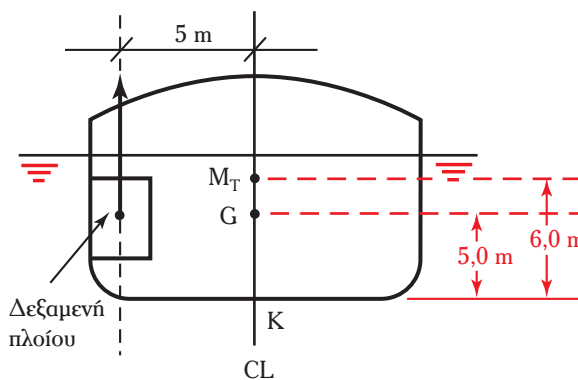
και από την (80):

$$\begin{aligned} \epsilon\phi \times \phi &= (\text{Εγκάρσια ροπή}) / (GM_T \times \Delta) = \\ &= (250) / (4950 \times 1) = 0,0505 \end{aligned}$$

και  $\phi = 2,9^\circ$  ή  $2^\circ$  και  $54'$  προς τα δεξιά.

#### Παράδειγμα 2.

Στο ίδιο πλοίο να βρεθεί πόσο νερό πρέπει να μεταφερθεί από μία κεντρική δεξαμενή υγρού έρματος προς μία ορθογώνια πλευρική δεξαμενή με κέντρο βάρους 2 m προς τα αριστερά (TCG = -2), ώστε το



Σχ. 8.8α.

πλοίο να ξαναβρεθεί σε κατακόρυφη θέση, αν υποθεθεί ότι αυτή η μεταφορά δεν προκαλεί μεταβολή της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους του.

Από τα δεδομένα του προβλήματος προκύπτει ότι το  $KG$  παραμένει αμετάβλητο. Αλλά ούτε και το  $KM_T$  θα μεταβληθεί αφού πρόκειται απλά για μεταφορά βάρους και όχι για προσθαφαίρεση.

Επομένως για την εξουδετέρωση της εγκάρσιας κλίσεως πρέπει να εφαρμοσθεί ίση ροπή μ' αυτήν που τη δημιουργήσει. Δηλαδή:

$$\begin{aligned} & (\text{Βάρος νερού}) \times (\text{Απόσταση μεταφοράς νερού}) = \\ & = (\text{Βάρος πετρελαίου}) \times (\text{Απόσταση μεταφοράς πετρελαίου}) \end{aligned}$$

και επομένως:

$$\text{Βάρος νερού} = (50) \times (5)/(2) = 125 \text{ MT}$$

### Παράδειγμα 3.

Το πλοίο Α, για το οποίο ισχύουν τα υδροστατικά στοιχεία του πίνακα 5.6.1 πλέει ισοβύθιστο και κατακόρυφο σε βύθισμα 6 m και το κέντρο βάρους του βρίσκεται 10,4 m πάνω από το βασικό επίπεδο της τρόπιδας.

Πραγματοποιούνται οι ακόλουθες μεταφορές υγρών (σχ. 8.8β):

- Πεντακόσιοι τόνοι πετρελαίου μεταφέρονται από μία κεντρική δεξαμενή πετρελαίου σε μία άλλη που έχει το κέντρο βάρους της 5 m προς τα δεξιά του επιπέδου συμμετρίας ( $TCCG = 5$ ).
- Πενήντα τόνοι υγρού έρματος μεταφέρονται από μία δεξαμενή με κέντρο βάρους 4 m προς τα δεξιά ( $TCCG = 4$ ) σε μία άλλη που έχει κέντρο βάρους 3 m προς τα αριστερά του επιπέδου συμμετρίας ( $TCCG = -3$ ).

Αν υποθέσουμε ότι οι παραπάνω μετακινήσεις δεν προκαλούν μεταβολή της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους του πλοίου, ζητείται να βρεθεί προς ποια πλευρά θα αποκτήσει κλίση το πλοίο και πόσες μοίρες.

Από τον πίνακα 5.6.1 θα έχομε:

$$\begin{aligned} \Delta &= 26535 \text{ MT} \\ KM_T &= 14,04 \text{ m} \end{aligned}$$

Επομένως θα έχομε επίσης:  $GM_T = KM_T - KG = 14,04 - 10,4 = 3,64 \text{ m}$

Με τα δεδομένα του προβλήματος όλα τα παραπάνω στοιχεία παραμένουν αμετάβλητα με τις μετακινήσεις των υγρών.

Η μετακίνηση του πετρελαίου προκαλεί ροπή  $500 \times 5 = 2500 \text{ MT-m}$  προς τα δεξιά, ενώ η μετακίνηση του νερού  $(50) \times (4+3) = 350 \text{ MT-m}$  προς τα αριστερά.

Επομένως το άθροισμα των ροπών θα είναι ίσο με  $2500 - 350 = 2150 \text{ MT-m}$  προς τα δεξιά.

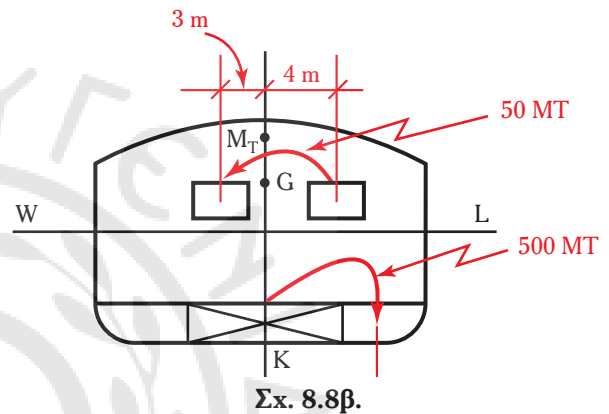
Από την (80):

$$\epsilon\phi \times \phi = (\text{Εγκάρσια ροπή}) / (GM_T \times \Delta) = (2150) / (3,64 \times 26535) = 0,0222$$

και  $\phi = 1,266^\circ$  ή  $1^\circ$  και  $16'$  προς τα δεξιά.

### 8.9 Υπολογισμός εγκάρσιας κλίσεως κατά τη διάρκεια της φορτώσεως και από τη χρήση γερανών.

Στα παραδείγματα 2 και 3 της προηγούμενης παραγράφου εξετάσαμε εγκάρσιες μεταφορές βαρών, όπου το εκτόπισμα του πλοίου ήταν αμετάβλητο. Επί πλέον, οι υποθέσεις των παραδειγμάτων εξασφάλιζαν ότι θα υπήρχε μόνο εγκάρσια (και όχι κατακόρυφη) μεταβολή της θέσεως του κέντρου βάρους του πλοίου.





Σε μια πιο γενική περίπτωση αυτό δεν συμβαίνει. Για παράδειγμα μεταγγίσεις υγρών από μία δεξαμενή σε άλλη που βρίσκεται ψηλότερα ή χαμηλότερα θα προκαλέσει και μεταβολή της τιμής του  $KG$  του πλοίου και επομένως και μεταβολή του  $GM_T$ . Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και κατά τις προσθέσεις και αφαιρέσεις βαρών στο πλοίο όπως, για παράδειγμα, συμβαίνει στη φόρτωση και εκφόρτωση φορτίων ή στην παραλαβή ή παράδοση πετρελαίου ή νερού.

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, για τη σωστή εύρεση της εγκάρσιας κλίσεως, είναι αναγκαίο να υπολογίζουμε, όπως θα δείξουμε στα παραδείγματα αυτής της παραγράφου, τόσο την εγκάρσια, όσο και την κατακόρυφη μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επαναλάβουμε ότι **η διεύθυνση της μετακινήσεως του κέντρου βάρους ενός πλοίου είναι πάντοτε παράλληλη προς τη διεύθυνση μετακινήσεως κάθε μετακινούμενου σ' αυτό βάρους.**

**Σε περιπτώσεις φορτώσεως ή φορτοεκφορτώσεως η διαδικασία απλοποιείται αν θεωρήσουμε ότι τα βάρη τοποθετούνται (ή αφαιρούνται) στο αρχικό κέντρο βάρους του πλοίου και στη συνέχεια μεταφέρονται εγκάρσια και κατακόρυφα στην επιθυμητή θέση.**

### Παράδειγμα 1.

Σ' ένα πλοίο που πλέει σε κατακόρυφη θέση, με εκτόπισμα 5000 MT,  $KM_T = 7,0$  m και  $KG = 6$  m, μεταφέρομε, προς τη δεξιά πλευρά του, βάρος 100 MT κατά εγκάρσια απόσταση 5 m ( $TCG = 5$ ). Να βρεθεί η εγκάρσια κλίση που θα δημιουργηθεί.

Στο σχήμα 8.9α βλέπουμε το πλοίο στην αρχική του κατάσταση να πλέει στην ίσαλο WL και στο σχήμα 8.9β όταν θα πάρει εγκάρσια κλίση  $\varphi$  και θα πλεύσει στην ίσαλο  $W_1L_1$ .

Η μετακίνηση  $GG_1$ , παράλληλη προς την ίσαλο WL (αφού η μετακίνηση του βάρους είναι εγκάρσια) βρίσκεται από τη σχέση:

$$GG_1 = (w \times d) / \Delta = (100 \times 5) / 5000 = 0,1 \text{ m}$$

Επίσης θα έχουμε:

$$GM_T = KM_T - KG = 7 - 6 = 1 \text{ m}$$

Από το ορθογώνιο τρίγωνο  $GG_1MT$  θα είναι:

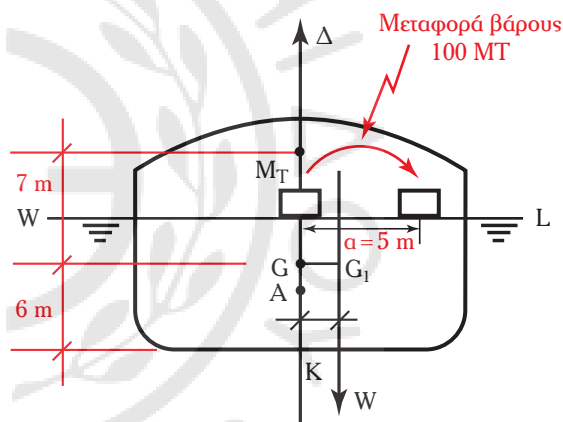
$$\epsilon\varphi(\varphi) = GG_1 / GM_T = 0,1 / 1,0 = 0,1$$

και  $\varphi = 5,683^\circ = 5^\circ$  και  $41'$  προς τα δεξιά.

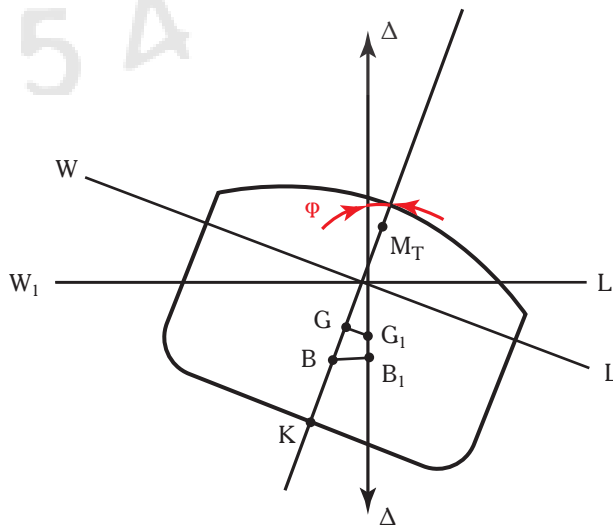
### Παράδειγμα 2.

Στο πλοίο του παραδείγματος 1 γίνονται οι ακόλουθες φορτώσεις και εκφορτώσεις:

- Φορτώνονται 50 MT φορτίου με κέντρο βάρους 5 m πάνω από το βασικό επίπεδο της τρόπιδας και 3 m προς τα δεξιά του επιπέδου συμμετρίας.
- Φορτώνονται 100 MT φορτίου με κέντρο βάρους 3 m πάνω από το βασικό επίπεδο της τρόπιδας και 5 m προς τα αριστερά του επιπέδου συμμετρίας.
- Εκφορτώνονται 40 MT πετρελαίου φορτίου με κέντρο βάρους 0,5 m πάνω από το βασικό επίπεδο της τρόπιδας και 2 m προς τα αριστε-



Σχ. 8.9α.



Σχ. 8.9β.

ρά του επιπέδου συμμετρίας.

Όταν οι προσθαφαιρέσεις είναι πολλές, οι υπολογισμοί συνιστάται να γίνονται με τη μορφή πίνακα. Έτσι θα έχουμε:

**Ροπές ως προς το βασικό επίπεδο της τρόπιδας**

| Βάρος | KG  | Ροπή  |
|-------|-----|-------|
| 5000  | 6,0 | 30000 |
| 50    | 5,0 | 250   |
| 100   | 3,0 | 100   |
| 5150  |     | 30350 |
| -40   | 0,5 | -20   |
| 5110  |     | 30330 |

Τελικό KG = (Τελική ροπή)/(Τελικό εκτόπισμα) = 30330/5110 = 5,93 m.

Τελικό GM<sub>T</sub> = KM<sub>T</sub> - KG = 7,8 - 5,93 = 1,87 m.

**Ροπές ως προς το επίπεδο συμμετρίας**

| Βάρος | d    | Ροπή                  |
|-------|------|-----------------------|
| 5000  | 0,0  | 0                     |
| 50    | 3,0  | 150                   |
| 5050  |      | 150 προς τα δεξιά     |
| 100   | -0,5 | -500                  |
| -40   | -2,0 | 80                    |
| 5110  |      | -270 προς τα αριστερά |

Τελικό GG<sub>1</sub> = (Τελική ροπή)/(Τελικό εκτόπισμα) = -270/5110 = -0,052 m.

εφ (φ) = GG<sub>1</sub>/GMT = -0,052/1,87 = -0,027 (προς τα αριστερά).

και φ = 1,55° = 1° και 33' (προς τα αριστερά).

**Παράδειγμα 3.**

Το πλοίο Α, για το οποίο ισχύουν τα υδροστατικά στοιχεία του πίνακα 5.6.1 πλέει στη θάλασσα ισοβύθιστο και κατακόρυφο σε βύθισμα 6 m και το κέντρο βάρους του βρίσκεται 10,4 m πάνω από το βασικό επίπεδο της τρόπιδας.

Πραγματοποιούνται οι ακόλουθες φορτώσεις υγρών:

- Γεμίζονται με πληρότητα 98% με πετρέλαιο (0,92 MT/m<sup>3</sup>) η δεξιά δεξαμενή διπύθμενου του μηχανοστασίου (T<sub>cg</sub> = 6,1 m) και η αριστερή προς πλώρα της deep tank που ήταν τελείως κενές (T<sub>cg</sub> = -3,8 m).

- Πενήντα τόνοι υγρού έρματος με κέντρο βάρους 4 m προς τα δεξιά και kg = 4,0 m μεταφέρονται από μία δεξαμενή σε μία άλλη, σε θέση που έχει κέντρο βάρους 3 m προς τα αριστερά του επιπέδου συμμετρίας και kg = 4,0 m.

Να βρεθεί προς ποια πλευρά θα αποκτήσει κλίση το πλοίο και πόσες μοίρες.

Από τον πίνακα 5.6.1 θα έχουμε (για το πλοίο Α):

$$\Delta = 26535 \text{ MT}$$

$$KM_T = 14,04 \text{ m}$$

Επομένως θα έχουμε: GM<sub>T</sub> = KM<sub>T</sub> - KG = 14,04 - 10,4 = 3,64 m.



να ανυψώνει από το κρηπίδωμα και άλλο ένα βάρος που ζυγίζει 70 MT.

Ζητείται να υπολογισθεί η εγκάρσια κλίση που θα πάρει η φορτηγίδα.

Είναι προφανές ότι στο παράδειγμα αυτό έχομε ένα συνδυασμό ασύμμετρης φορτώσεως και ανυψώσεως ενός αναρτημένου φορτίου που όπως έχομε ήδη εξηγήσει θα πρέπει να θεωρήσομε ότι έχει το κέντρο βάρους του στο σημείο της αναρτήσεως. Είναι επίσης προφανές ότι η μέγιστη εγκάρσια κλίση θα δημιουργηθεί μόλις το προς μεταφορά βάρος θα πάψει να ακουμπάει στο κρηπίδωμα.

Το αρχικό εκτόπισμα της φορτηγίδας θα είναι:

$$\Delta = 200 \times 15 \times 4 \times 1,025 = 12300 \text{ MT}$$

Όταν προστεθούν και τα δύο βάρη των 100 και 70 MT, το εκτόπισμα θα γίνει 12470 MT.

Αν θεωρήσομε τη φορτηγίδα χωρίς εγκάρσια κλίση στο νέο αυτό εκτόπισμα αντιστοιχεί νέο βύθισμα που μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$H = (12470 / (1,025 \times 200 \times 15)) = 4,055 \text{ m}$$

και επομένως λόγω σχήματος θα έχομε  $KB = 4,055/2 = 2,027$ .

Ο όγκος του εκτοπίσματος σ' αυτήν την κατάσταση θα είναι  $V = 12470/1,025 = 12166 \text{ m}^3$ .

Η ροπή αδράνειας της επιφάνειας της ισάλου θα είναι:

$$I_{xx} = (200 \times 15^3)/12 = 56250 \text{ m}^4$$

και επομένως  $KM_T = (56250)/(12166) = 4,62 \text{ m}$ .

#### **Ροπές ως προς το βασικό επίπεδο τροπίδας**

| Βάρος | KG   | Ροπή  |
|-------|------|-------|
| 12300 | 1,5  | 18450 |
| 100   | 10,5 | 1050  |
| 70    | 16,0 | 1120  |
| 12470 |      | 20620 |

Τελικό εκτόπισμα = 12470 MT.

Τελικό KG = (Τελική ροπή)/(Τελικό εκτόπισμα) = 20620/12470 = 1,65 m.

Τελικό  $GM_T = KM_T - KG = 4,62 - 1,65 = 2,97 \text{ m}$ .

#### **Ροπές ως προς το επίπεδο συμμετρίας**

| Βάρος | d    | Ροπή               |
|-------|------|--------------------|
| 12300 | 0,0  | 0                  |
| 100   | 7,0  | 700                |
| 70    | 11,0 | 770                |
| 12470 |      | 1470 προς τα δεξιά |

Τελικό  $GG_1 = (\text{Τελική ροπή})/(\text{Τελικό εκτόπισμα}) = -1470/12470 = 0,117 \text{ m}$ .

$\epsilon\phi (\phi) = GG_1/GM_T = 0,117/2,97 = 0,0396$  (προς τα δεξιά).

και  $\phi = 2,266^\circ = 2^\circ 16'$  (προς τα δεξιά).

## 9. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΥΓΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

### 9.1 Γενικά για τις ελεύθερες επιφάνειες υγρών.

Για να καλύπτονται οι λειτουργικές απαιτήσεις κάθε πλοίου, είναι απαραίτητο να υπάρχουν σ' αυτό δεξαμενές για την αποθήκευση διαφόρων υγρών, όπως για πόσιμο ή τροφοδοτικό νερό, πετρέλαιο λεβήτων ή diesel, λάδι λιπάνσεως και υγρό έρμα. Στις διάφορες καταστάσεις φορτώσεως του πλοίου, άλλες από τις δεξαμενές αυτές είναι τελείως γεμάτες, άλλες τελείως κενές και μερικές είναι μισογεμάτες.

Ο όρος **ελεύθερη επιφάνεια** (free surface) χρησιμοποιείται προκειμένου να περιγράψουμε την επιφάνεια του υγρού σε οποιαδήποτε δεξαμενή του πλοίου που δεν είναι τελείως γεμάτη ούτε τελείως άδεια, αλλά η στάθμη του υγρού μέσα σ' αυτήν βρίσκεται σε κάποιο ενδιάμεσο επίπεδο.

Ο λόγος, για τον οποίο παρακολουθούμε τις ελεύθερες επιφάνειες κάθε πλοίου είναι γιατί, κυρίως, όπως θα δούμε παρακάτω, αυτές επηρεάζουν σημαντικά την εγκάρσια ευστάθειά του. Οι ελεύθερες επιφάνειες, μπορούν επίσης να δημιουργήσουν και τοπικά προβλήματα αντοχής στη μεταλλική κατασκευή που αποτελεί τα όρια μιας δεξαμενής.

Ελεύθερες επιφάνειες δεν υπάρχουν μόνο μέσα στις δεξαμενές του πλοίου, αλλά και σε οποιοδήποτε άλλο χώρο που μπορούν να συγκεντρωθούν ποσότητες υγρών, όπως οι σεντίνες. Στην περίπτωση μάλιστα αυτή το πρόβλημα μπορεί να είναι ακόμα πιο σοβαρό, γιατί συχνά η προσοχή του πληρώματος ως προς το να αποφεύγεται η δημιουργία και ύπαρξη τέτοιων ελευθέρων επιφανειών στο πλοίο είναι πιο χαλαρή για τους παραπάνω χώρους απ' ό,τι για τις δεξαμενές.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε την επίδραση που έχουν οι ελεύθερες επιφάνειες στην εγκάρσια αρχική ευστάθεια του πλοίου και θα αναφέρουμε ορισμένα στοιχεία σχετικά με την αντοχή της μεταλλικής κατασκευής, η οποία περιβάλλει δεξαμενές που περιέχουν υγρά με ελεύθερες επιφάνειες. Η επίδραση των ελευθέρων επιφανειών στη διαμήκη ευστάθεια του πλοίου είναι πολύ μικρή και γι' αυτό δεν εξετάζεται.

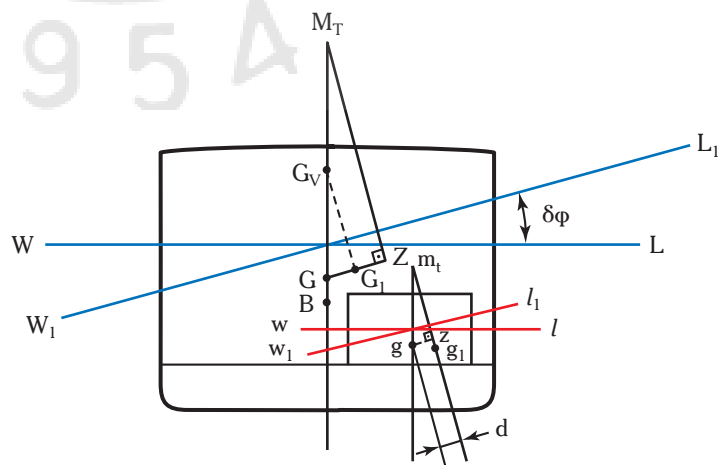
### 9.2 Επίδραση ελευθέρων επιφανειών υγρών στην ευστάθεια.

Το πλοίο του σχήματος 9.2 πλέει αρχικά στην ίσαλο WL και έχει μια δεξαμενή με ελεύθερη επιφάνεια που συμβολίζουμε με  $w_1$ . Οποιαδήποτε πολύ μικρή (απειροστή) εγκάρσια κλίση,  $\delta\phi$ , αναγκάζει το πλοίο να πλεύσει στην ίσαλο  $W_1L_1$ , ενώ η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής παίρνει τη θέση  $w_1l_1t$ .

Στο σχήμα και στην ανάλυση που ακολουθεί, χρησιμοποιούμε τους παρακάτω συμβολισμούς:

1) B το κέντρο όγκου των υφάλων του πλοίου όταν βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση,

2) G το κέντρο βάρους του πλοίου στην κατακόρυφη θέση,



Σχ. 9.2.

Επίδραση ελεύθερης επιφάνειας.

- 3)  $M_T$  το εγκάρσιο μετάκεντρο,
- 4)  $G_1$  η θέση του κέντρου όγκου του πλοίου όταν έχει κλίση  $\delta\phi$ ,
- 5)  $g$  το κέντρο βάρους του υγρού της δεξαμενής όταν το πλοίο βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση,
- 6)  $g_1$ , το κέντρο βάρους του υγρού της δεξαμενής όταν το πλοίο έχει εγκάρσια κλίση  $\delta\phi$ ,
- 7)  $\gamma_t$ , το ειδικό βάρος του υγρού που βρίσκεται μέσα στη δεξαμενή,
- 8)  $\gamma_w$  το ειδικό βάρος του νερού που περιβάλλει το πλοίο.
- 9)  $G_v$  φαινομενικό κέντρο βάρους (λόγω ελεύθερης επιφάνειας).

Η μετακίνηση της σφήνας του υγρού που αρχικά βρισκόταν στην αριστερή πλευρά της δεξαμενής προς τα δεξιά, λόγω της κλίσεως, έχει ως αποτέλεσμα να μεταφερθεί το κέντρο βάρους του υγρού από το  $g$  στο  $g_1$ . Η απόσταση  $d$  από το ορθογώνιο τρίγωνο που σχηματίζεται είναι ίση με  $(gm_t) \times \eta\mu(\delta\phi)$ .

Σε αναλογία τώρα με ολόκληρο το πλοίο (στοιχείο 7 της παραγράφου 5.6), επειδή το  $g$  είναι και κέντρο βάρους αλλά, ταυτόχρονα και κέντρο όγκου του υγρού της δεξαμενής, θα έχουμε:

$$gm_t = \frac{i}{u} \quad (81)$$

όπου:  $i$  είναι η ροπή αδράνειας της επιφάνειας του υγρού ως προς διαμήκη άξονα που περνάει από το κέντρο της ( $m^4$  ή  $ft^4$ ) και  $u$  ο όγκος του υγρού της δεξαμενής σε  $m^3$  ή  $ft^3$ .

Η παραπάνω μετακίνηση του κέντρου βάρους του υγρού της δεξαμενής (που συμπεριφέρεται σαν αναρτημένο από το σημείο  $mt$  βάρος) δημιουργεί μία αντίστοιχη συνιστώσα μετακινήσεως του κέντρου βάρους του πλοίου, την  $GG_1$  που είναι παράλληλη προς την ίσαλο  $W_1L_1$  και, με βάση το θεώρημα των ροπών, μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$\Delta \times GG_1 = w \times d \quad (82)$$

όπου:  $w$  είναι το βάρος του υγρού μέσα στη δεξαμενή.

Αν λάβουμε υπόψη ότι:

$$\Delta = V \times \gamma_w, \quad w = u \times \gamma_t, \quad d = (gm_t) \times \eta\mu(\delta\phi)$$

και ότι  $gm_t = i/u$ , έχουμε από τη σχέση (82):

$$V \times \gamma_w \times GG_1 = u \times \gamma_t \left( \frac{i}{u} \right) \times \eta\mu(\delta\phi) \quad (83)$$

ή ως αποτέλεσμα της υπάρξεως της ελεύθερης επιφάνειας, μια **φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου**, ίση με:

$$GG_1 = (\gamma_t/\gamma_w) \times (i/V) \times \eta\mu(\delta\phi) \quad (84)$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι **η μετακίνηση  $GG_1$  λόγω της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού στη δεξαμενή είναι ανεξάρτητη από την ποσότητα του υγρού μέσα σ' αυτήν, είναι όμως ανάλογη με τη ροπή αδράνειας της επιφάνειας της ελεύθερης επιφάνειας.**

Αν η δεξαμενή ήταν τελείως γεμάτη, η εγκάρσια κλίση του πλοίου δεν θα δημιουργούσε καμμία μεταβολή στη θέση κέντρου βάρους του πλοίου και επομένως ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς θα ήταν ίσος με  $GZ$ , που, για μικρές γωνίες κλίσεως, είναι επίσης ίσος με  $GM \eta\mu\delta\phi$ . Με την ύπαρξη όμως της ελεύθερης επιφάνειας, δημιουργείται κάποια **φαινομενική**, όπως λέμε, μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου που είναι ίση με  $GG_1$  και δίνεται από τη σχέση (84). Έτσι, σ' αυτήν την περίπτωση, ο βραχίονας επαναφοράς είναι:

$$G_1Z = GZ - GG_1 = GZ - (\gamma_t/\gamma_w) \times (i/V) \times \eta\mu(\delta\phi) \quad (85)$$

Από το σχήμα 9.2 φαίνεται ότι αν το κέντρο βάρους του πλοίου βρισκόταν στο σημείο  $G_v$  και όχι στο  $G$ , θα είχαμε βραχίονα επαναφοράς ίσο μ' αυτόν που δίνει η σχέση (85).

Από το ορθογώνιο τρίγωνο  $GG_1G_v$  έχουμε:

$$GG_V = \frac{GG_1}{\eta\mu\delta\phi} = \frac{\frac{\gamma_t}{\gamma_w} \times \frac{i}{V} \eta\mu\delta\phi}{\eta\mu\delta\phi} = \frac{\gamma_t}{\gamma_w} \times \frac{i}{V} \quad (86)$$

Αν περιορισθούμε στην εξέταση της αρχικής εγκάρσιας ευστάθειας, βλέπομε ότι **το αποτέλεσμα της ελεύθερης επιφάνειας μπορεί να ληφθεί υπόψη αν θεωρήσομε ότι το κέντρο βάρους του πλοίου βρίσκεται κατακόρυφα στη θέση  $G_V$  και επομένως το μετακεντρικό ύψος είναι  $G_V M_T$  και όχι  $GM_T$ .**

Το μέγεθος  $G_V M_T$  το ονομάζομε **φαινομενικό μετακεντρικό ύψος** (virtual metacentric height).

Πιο απλά, τα παραπάνω σημαίνουν ότι **κάθε ελεύθερη επιφάνεια δεξαμενής στο πλοίο συνεπάγεται μια φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους του, η οποία έχει ως επακόλουθο την ελάττωση του μετακεντρικού του ύψους, του μοχλοβραχίονα επαναφοράς και της ροπής επαναφοράς, όταν υπάρξει εγκάρσια κλίση.**

Όταν στο πλοίο υπάρχουν περισσότερες από μια ελεύθερες επιφάνειες, το αποτέλεσμά τους αθροίζεται και επομένως η σχέση (86) παίρνει τη μορφή:

$$GG_V = \sum \frac{\gamma_t}{\gamma_w} \times \frac{i}{V} \quad (87)$$

όπου: το  $\Sigma$  υποδηλώνει άθροισμα των επιρροών όλων των ελευθέρων επιφανειών.

### 9.3 Τρόποι υπολογισμού ελευθέρων επιφανειών.

Από τη σχέση (87) παρατηρούμε ότι το μόνο στοιχείο από τη γεωμετρία της δεξαμενής που επηρεάζει τους σχετικούς υπολογισμούς, είναι η ροπή αδράνειας της ελεύθερης επιφάνειάς της.

Όταν η επιφάνεια της δεξαμενής έχει ορθογωνικό σχήμα, η ροπή αδράνειας μπορεί να βρεθεί από τη σχέση (23). Όταν το σχήμα της δεξαμενής είναι περισσότερο πολύπλοκο, χρειάζονται υπολογισμοί που βασίζονται στους κανόνες προσεγγιστικής ολοκλήρωσης, όπως εκείνοι που έχουν ήδη επεξηγηθεί με λεπτομέρειες, στο πέμπτο κεφάλαιο, για ολόκληρο το πλοίο.

**Προκειμένου να αποφεύγονται περίπλοκοι υπολογισμοί από τους χειριστές των πλοίων, στα σχέδιά του ή στο εγχειρίδιο ευστάθειας και ζυγίσεως δίνονται έτοιμες οι ροπές των επιφανειών των δεξαμενών του, στις πιο δυσμενείς στάθμες τους.**

Ένα παράδειγμα τέτοιων πληροφοριών βλέπομε για το πλοίο Α στον πίνακα 5.8.1, όπου οι ροπές αδράνειας των δεξαμενών δίνονται σε  $m^4$ .

Διευκρινίζεται εδώ ότι η ροπή αδράνειας μιας δεξαμενής που δεν έχει το σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου, έχει διαφορετική τιμή σε κάθε διαφορετική στάθμη του υγρού μέσα σ' αυτήν. Γι' αυτόν το λόγο, κανονικά θα χρειαζόμαστε μία καμπύλη, η οποία να δίνει για κάθε δεξαμενή, τη σχετική μεταβολή (είναι όπως οι καμπύλες του σχ. 5.8). Τέτοιες καμπύλες υπάρχουν σε αρκετά πλοία, αν και συνήθίζεται για λόγους απλουστεύσεως, στους σχετικούς υπολογισμούς, να χρησιμοποιούμε τη μέγιστη τιμή της ροπής αδράνειας, ανεξάρτητα από το πού βρίσκεται η στάθμη του υγρού μέσα σε κάθε δεξαμενή. Αυτή η απλουστευτική διαδικασία οδηγεί σε κάποια ανακρίβεια τους υπολογισμούς, οδηγεί όμως σε αποτελέσματα πιο ασφαλή για το πλοίο. Οι τιμές που δίνονται στον πίνακα 5.8.1 είναι οι μέγιστες για κάθε μία από τις αντίστοιχες δεξαμενές.

#### Παράδειγμα 1.

Μία ορθογωνίου σχήματος φορτηγίδα έχει μήκος 100 ft πλάτος 35 ft και πλέει ισοβύθιστη στη θάλασσα, σε βύθισμα 10 ft. Η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους της είναι 14' πάνω από την τρόπιδα. Να βρεθεί το μετακεντρικό ύψος και το φαινομενικό μετακεντρικό ύψος της, όταν υπάρχει σ' αυτήν μία δεξαμενή που περιέχει πετρέλαιο (ειδικό βάρος 0,84) με ελεύθερη επιφάνεια μήκους 20 ft και πλάτους 14 ft.

Ο όγκος του εκποπίσματος της φορτηγίδας είναι:

$$\bar{V} = L \times B \times H = 100 \times 35 \times 10 = 35000 \text{ ft}^3$$

και το εκτόπισμά της:

$$\Delta = \frac{\bar{V}}{35} = \frac{35000}{35} = 1000 \text{ LT}$$

Η μετακεντρική ακτίνα  $BM_T$  θα είναι:

$$BM_T = \frac{I_{xx}}{\bar{V}} = \frac{100 \times 35^3}{35000} = 10,208 \text{ ft}$$

Επειδή η φορτηγίδα έχει ορθογώνιο σχήμα:

$$KB = \frac{H}{2} = \frac{10}{2} = 5$$

Από τη σχέση (73):

$$GM_T = KB + BM_T - KG = 5 + 10,208 - 14 = 1,208 \text{ ft}$$

Από τη σχέση (86):

$$GG_V = \frac{\gamma_t}{\gamma_w} \times \frac{i}{\bar{V}} = \frac{0,84}{1,025} \times \frac{20 \times 14^3}{35000} = \frac{0,84}{1,025} \times \frac{4573}{35000} = 0,107 \text{ ft}$$

Το φαινομενικό μετακεντρικό ύψος θα είναι:

$$G_V M_T = KB + BM_T - (KG + GG_V) = 5 + 10,208 - (14 + 0,107) = 1,101 \text{ ft}$$

## Παράδειγμα 2.

Το πλοίο Α, στην κατάσταση ζυγίσσεως του παραδείγματος 1 της παραγράφου 8.2, έχει ελεύθερες επιφάνειες στις παρακάτω δεξαμενές του:

- Νο 1 D.B προς πλώρα της deep tank με πετρέλαιο λεβήτων (P + S).
- Πλευρικές δεξαμενές (wing tanks) με πετρέλαιο λεβήτων (P + S).
- Χρήσεως diesel με πετρέλαιο diesel.
- Υπερχειλίσσεως λαδιού λιπάνσεως με λάδι λιπάνσεως.

Να βρεθεί το φαινομενικό μετακεντρικό ύψος.

Στο παράδειγμα 1 της παραγράφου 8.2 υπολογίσαμε το μετακεντρικό ύψος του πλοίου, που βρέθηκε να είναι ίσο με 2,095 m.

Η επίδραση των ελευθέρων επιφανειών μπορεί να εξετασθεί με διάταξη των σχετικών υπολογισμών, όπως φαίνεται στον πίνακα 9.3.1.

Από το παράδειγμα 1 της παραγράφου 8.2:

$$\bar{V} = \frac{\Delta}{1,025} = \frac{53232}{1,025} = 51933,6 \text{ m}^3$$

και  $GM_T = 2,095 \text{ m}$ .

Από τη σχέση (87):

$$GG_V = \frac{1237,9}{51933,6} = 0,023$$

και επομένως:

$$G_V M_T = GM_T - GG_V = 2,095 - 0,023 = 2,072 \text{ m}$$

Μερικές φορές, σε παλαιότερα πλοία, τα στοιχεία που χρειάζονται για τον υπολογισμό των ελευθέρων επιφανειών συμβαίνει να δίνονται σε ποικίλες μονάδες. Για παράδειγμα, σε πολλά παλιά πλοία οι τιμές για



**Πίνακας 9.3.1**  
**Υπολογισμοί ελεύθερης επιφάνειας.**

| στήλη 1                                   | στήλη 2           | στήλη 3            | στήλη 4                                 | στήλη 5       |
|---|-------------------|--------------------|---|---------------|
| Δεξαμενή                                  | Είδος υγρού       | Ειδικό βάρος υγρού | Ροπή αδράνειας (από πίνακα 5.8.1) $n^4$ | (3) x (4)     |
| No 1 D.B προς πρόρα της deep tank (P + S) | Πετρέλαιο λεβήτων | 0,92               | 1250                                    | 1150          |
| Πλευρικές δεξαμενές (wing tanks)          | Πετρέλαιο λεβήτων | 0,92               | 720                                     | 66,3          |
| Δεξαμενή χρήσεως diesel                   | Πετρέλαιο diesel  | 0,86               | 19                                      | 16,4          |
| Δεξαμενή υπερχειλίσεως λαδιού λιπάνσεως   | Λάδι λιπάνσεως    | 0,86               | 6                                       | 5,2           |
| <b>Σύνολο</b>                             |                   |                    |   | <b>1237,9</b> |

τις ελεύθερες επιφάνειες δίνονται σε  $L \times T - m$  ή  $M \times T - m$  και, μερικές φορές, για τα υγρά στις δεξαμενές, τυχαίνει να γνωρίζουμε το συντελεστή στοιβασίας αντί για το ειδικό βάρος ή την πυκνότητα. **Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η σχέση (87) θα πρέπει να χρησιμοποιείται με απόλυτη συνέπεια στις μονάδες**, όπως θα φανεί στο επόμενο παράδειγμα.

### Παράδειγμα 3.

Το εκτόπισμα ενός πλοίου είναι 20.000 LT και το μετακεντρικό του ύψος, όταν δεν υπάρχουν ελεύθερες επιφάνειες στις δεξαμενές του, έχει υπολογισθεί ότι είναι ίσο με 1 ft. Πραγματοποιείται κατανάλωση πετρελαίου με συντελεστή στοιβασίας  $37,8 \text{ ft}^3/\text{LT}$ , που έχει ως συνέπεια να δημιουργηθεί σ' αυτήν ελεύθερη επιφάνεια 2500 LT-ft. Ζητείται το φαινομενικό μετακεντρικό ύψος του πλοίου.

Στα δεδομένα αυτού του παραδείγματος έχουμε ασυνέπεια στις μονάδες.

Αν, για παράδειγμα, αποφασίσουμε να εργασθούμε στο αγγλικό πρακτικό σύστημα μονάδων, μπορούμε να μετατρέψουμε την ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής ως εξής:

$$i = 2500 \text{ LT-ft} \times 35 \text{ ft}^3/\text{LT} = 87500 \text{ ft}^4$$

Σημειώνουμε επίσης ότι:

$$\frac{\gamma_t}{\gamma_w} = \frac{1}{\frac{1}{\gamma_t}} = \frac{(SF)_w}{(SF)_t}$$

όπου:  $(SF)_w$ , είναι ο συντελεστής στοιβασίας του νερού που περιβάλλει το πλοίο και  $(SF)_t$ , ο συντελεστής στοιβασίας του νερού μέσα στη δεξαμενή. Επομένως:

$$\frac{\gamma_t}{\gamma_w} = \frac{(SF)_w}{(SF)_t} = \frac{35}{37,8} = 0,926$$

Ο όγκος του εκτοπίσματος είναι:

$$\bar{V} = 35 \times \Delta = (35) \times (20000) = 700000 \text{ ft}^3$$

Από τη σχέση (86):

$$GG_V = \frac{\gamma_t}{\gamma_w} \times \frac{i}{\bar{V}} = (0,926) \times \frac{87500}{700000} = 0,115 \text{ ft}$$

$$G_V M_T = GM_T - GG_V = 1 - 0,115 = 0,885 \text{ ft}$$

#### 9.4 Προφυλάξεις και αντιμετώπιση του κινδύνου ελευθέρων επιφανειών.

Η ύπαρξη ελευθέρων επιφανειών, όπως έχομε διαπιστώσει ήδη, έχει πάντοτε ως αποτέλεσμα την ελάττωση του μετακεντρικού ύψους και γενικά την επιδείνωση της ευστάθειας κάθε πλοίου.

**Η δημιουργία πολλών και μεγάλου μεγέθους ελευθέρων επιφανειών μπορεί ακόμη και κάποιο μικρό, αρχικά, θετικό μετακεντρικό ύψος κάποιου πλοίου, να το κάνει αρνητικό.**

Από την άλλη πλευρά, σ' ένα «ζωντανό» πλοίο, η δημιουργία ελευθέρων επιφανειών είναι αναπόφευκτη και συνεχής, αφού από τις διάφορες δεξαμενές του καταναλίσκονται προοδευτικά διάφορα υγρά, γεγονός που δημιουργεί ελεύθερες επιφάνειες, ενώ ταυτόχρονα, διάφορα υγρά, για λειτουργικούς αλλά και για άλλους λόγους, καταλήγουν στις σεντίνες του πλοίου (εξυδατώσεις μηχανημάτων, υπερχειλίσεις δεξαμενών κ.λπ.).

Από την αρχική ακόμη σχεδίαση του πλοίου, επιδιώκεται οι ελεύθερες επιφάνειες των δεξαμενών του να είναι όσο το δυνατό μικρότερες. Η πιο αποτελεσματική μέθοδος για το σκοπό αυτό είναι η υποδιαίρεση των δεξαμενών του πλοίου, με διαμήκεις στεγανές φρακτές, σε δεξιές και αριστερές ή σε δεξιές, αριστερές και μεσαίες ή ακόμη και σε περισσότερα τμήματα.

Οι σεντίνες των πλοίων εξάλλου, διαχωρίζονται με διαμήκη ελάσματα μικρού ύψους, τα οποία, μαζί με τις έδρες των νομέων, δημιουργούν πολλούς χώρους με μικρή όμως αθροιστικά ελεύθερη επιφάνεια. Για να είναι δυνατή η απάντησή τους, οι χώροι αυτοί (κούτσες) επικοινωνούν μεταξύ τους με πολύ μικρές τρύπες που λέγονται **μαξοί**.

Για την ελαχιστοποίηση των ελευθέρων επιφανειών σε ανοικτούς χώρους από τα νερά της βροχής ή του κύματος, διαμορφώνεται ένα σύστημα αποχετεύσεως, στα ανοιχτά καταστρώματα, που οδηγεί τα νερά πολύ γρήγορα στη θάλασσα. Το εσωτερικό σύστημα αποχετεύσεως οδηγεί τα νερά, που για οποιοδήποτε λόγο θα εμφανισθούν στα ενδιάμεσα καταστρώματα, είτε έξω από το πλοίο είτε στις σεντίνες, από όπου μπορούν να απαντηθούν με τις αντλίες του πλοίου.

Διευκρινίζεται ότι **όλες οι νομοθετημένες απαιτήσεις ευστάθειας προϋποθέτουν ότι στους υπολογισμούς (για την απόδειξη της ικανοποίησεως των σχετικών κριτηρίων) λαμβάνονται υπόψη και οι επιδράσεις των ελευθέρων επιφανειών.**

Οι χειριστές των πλοίων θα πρέπει να παίρνουν όλα τα αναγκαία μέτρα, ώστε να εξασφαλίζεται ότι οι επιδράσεις των ελευθέρων επιφανειών είναι οι ελάχιστες δυνατές. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει:

1) Οι σεντίνες να παρακολουθούνται συνεχώς και να απαντλούνται τα νερά, ώστε να είναι κατά το δυνατόν στεγνές.

2) Η απάντηση των κάθε είδους δεξαμενών να γίνεται προοδευτικά και πλήρως, δηλαδή πρώτα να απαντείται τελείως μία δεξαμενή νερού ή πετρελαίου και μετά να αρχίζει η απάντηση της επόμενης.

3) Όλα τα συστήματα αποχετεύσεως των πάνω καταστρωμάτων να βρίσκεται σε καλή κατάσταση, ώστε να είναι δυνατή η ταχεία απομάκρυνση του νερού της βροχής ή του κύματος είτε στη θάλασσα είτε στις σεντίνες, απ' όπου, στη συνέχεια, μπορούν να απαντηθούν.

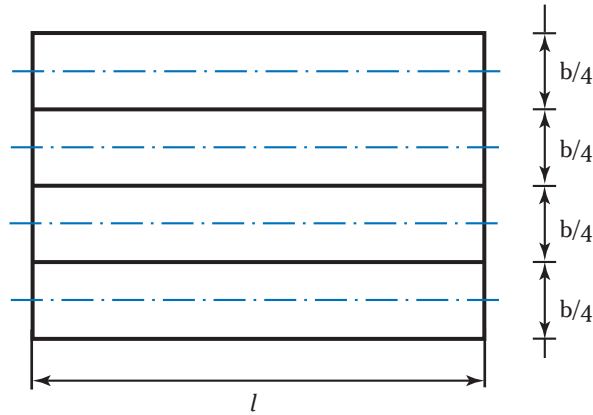
**Γενικότερα ο πλοίαρχος κάθε πλοίου θα πρέπει συνεχώς να είναι ενήμερος της καταστάσεως ευστάθειας του πλοίου του και να μην παραμελεί τον έλεγχο κανενός από τους παράγοντες που την επηρεάζουν.** Ένας από τους σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν δυσμενώς την ευστάθεια των πλοίων και αρκετές φορές παραμελείται, είναι και οι ελεύθερες επιφάνειες στις δεξαμενές και τις σεντίνες τους.

#### **Παράδειγμα.**

Μία δεξαμενή ενός πλοίου έχει μήκος  $l$  και πλάτος  $b$ . Πόσο μειώνεται η επίδραση της ελεύθερης επιφάνειας της δεξαμενής, αν αυτή χωρισθεί σε τέσσερα τμήματα με τρεις διαμήκεις φρακτές;

Όταν η δεξαμενή είναι ενιαία η ροπή αδράνειάς της είναι:

$$i = \frac{b^3 l}{12}$$



Σχ. 9.4.

Υποδιαίρεση δεξαμενής για ελάττωση της ελεύθερης επιφάνειάς της.

Όταν όμως η δεξαμενή χωριστεί όπως φαίνεται στο σχήμα 9.4 και έχουμε ελεύθερη επιφάνεια και στις τέσσερις επί μέρους δεξαμενές, η ροπή αδράνειάς τους θα πρέπει να ληφθεί ως προς τους άξονες που φαίνονται στο σχήμα. Σ' αυτή την περίπτωση η συνολική ροπή αδράνειας θα είναι:

$$i = 4 \frac{\left(\frac{b}{4}\right)^3 l}{12} = \frac{b^3 l}{192} = \frac{1}{16} \frac{b^3 l}{12}$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι, στην περίπτωση διαμήκους υποδιαιρέσεως μιας δεξαμενής όπως, στο σχήμα 9.4, η ροπή αδράνειας και επομένως η επίδραση της ελεύθερης επιφάνειας μειώνεται στο  $1/16$ .

**Εύκολα διαπιστώνει κάποιος ότι αυτό δεν θα ίσχυε αν ο διαχωρισμός της δεξαμενής γινόταν με εγκάρσια διαχωρίσματα.**

### 9.5 Νομογράφημα για τον υπολογισμό της επιδράσεως ελευθέρων επιφανειών.

Όταν δεν υπάρχουν στοιχεία, όπως συμβαίνει αρκετές φορές σε παλιά πλοία, μία γρήγορη εκτίμηση της επιδράσεως της ελεύθερης επιφάνειας μιας δεξαμενής στο μετακεντρικό ύψος ενός πλοίου μπορεί να γίνει, αν θεωρήσουμε ότι η επιφάνεια της δεξαμενής έχει ορθογώνιο σχήμα, έστω και αν η υπόθεση αυτή δεν είναι απόλυτα ακριβής.

Το νομογράφημα του σχήματος 8.8γ μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της φαινομενικής ανυψώσεως του κέντρου βάρους.

Το νομογράφημα αυτό ισχύει στο αγγλικό πρακτικό σύστημα μονάδων, αλλά είναι εύκολη η κατασκευή ομοίων νομογραφημάτων που ισχύουν στο μετρικό σύστημα.

#### **Παράδειγμα.**

Ένα πλοίο έχει εκτόπιση 20.000 LT. Μια δεξαμενή του έχει μήκος 50 ft, πλάτος 35 ft και περιέχει υγρό με ειδικό βάρος 0,8.

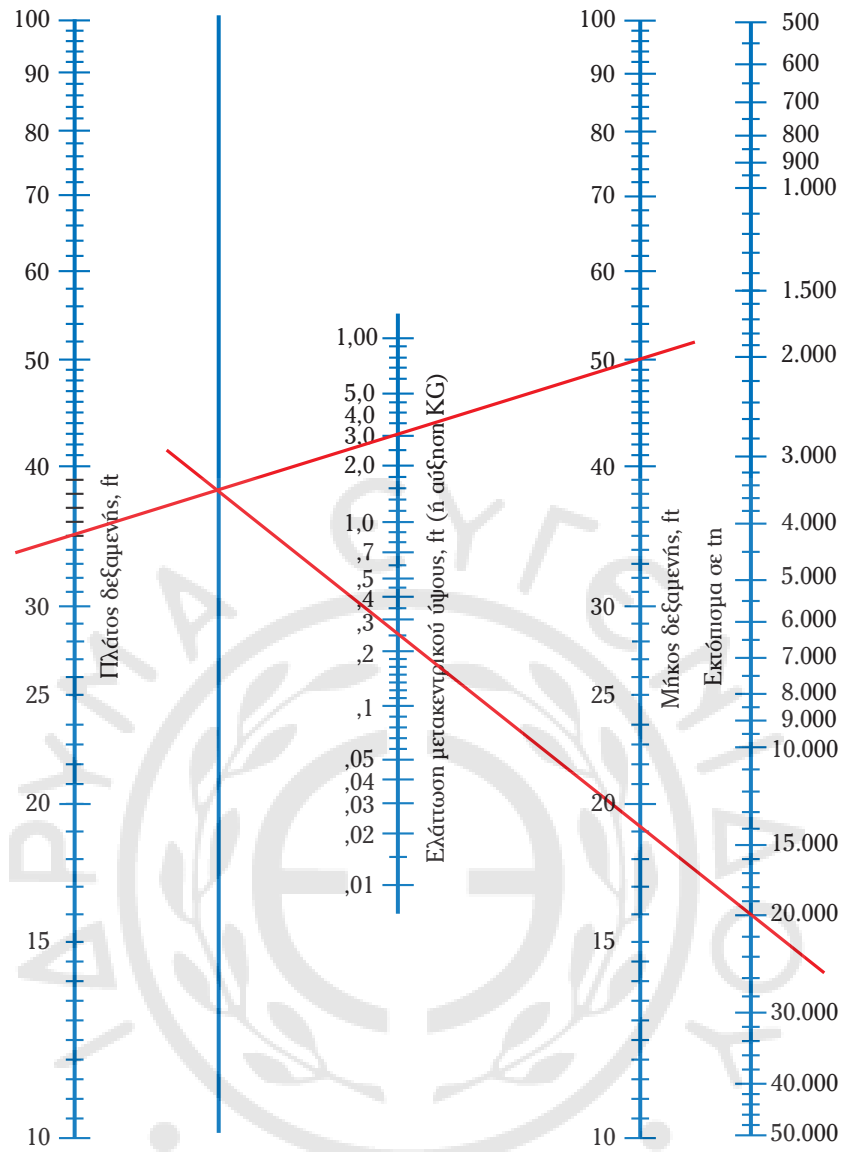
Στο σχήμα 9.5 συνδέουμε με μια ευθεία στους αντίστοιχους άξονες τα σημεία που αντιστοιχούν στις τιμές του πλάτους και του μήκους της δεξαμενής.

Το σημείο τομής της παραπάνω ευθείας με την ευθεία περιστροφής συνδέουμε με το σημείο στην ευθεία του εκτοπίσματος, που αντιστοιχεί στους 20.000 LT.

Στην ευθεία ελαττώσεως του  $GM_T$  διαβάζουμε 0,25 ft, που είναι η μείωση στο  $GM_T$ , αν η δεξαμενή περιείχε θαλάσσιο νερό.

Έτσι για την περίπτωση υγρού με ειδικό βάρος 0,8, θα έχουμε:

$$\text{Μείωση του } GM = \frac{0,8}{1,025} (0,25) = 0,195 \text{ ft}$$



**Σημείωση:** Το διάγραμμα ισχύει για δεξαμενή γεμάτη με νερό με ειδικό βάρος 1,025

**Σχ. 9.5.**



## 10. ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΚΛΙΣΕΩΣ

### 10.1 Εισαγωγή.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε την ευστάθεια του πλοίου σε μικρές γωνίες κλίσεως. Η σωστή όμως και ασφαλής χρησιμοποίηση του πλοίου προϋποθέτει και γνώση της συμπεριφοράς του, από άποψη ευστάθειας, και σε μεγάλες γωνίες κλίσεως. Φυσικά και σ' αυτήν την περίπτωση, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της εγκάρσιας ευστάθειας, αφού οι γωνίες διαμήκους κλίσεως του πλοίου είναι γενικά μικρές.

Πολλοί διεθνείς κανονισμοί με τους οποίους τα πλοία, ανάλογα με τον τύπο τους, είναι υποχρεωμένα να συμμορφώνονται, θέτουν ποσοτικά στοιχεία απαιτήσεων που αφορούν στην εγκάρσια ευστάθεια σε μεγάλες γωνίες.

Το βασικό μέγεθος για την ύπαρξη ή όχι επαρκούς εγκάρσιας ευστάθειας κάθε πλοίου είναι η **ροπή επαναφοράς**, δηλαδή η εγκάρσια ροπή που αναπτύσσεται και τείνει να επαναφέρει το πλοίο στην αρχική του θέση, όταν, για κάποιο λόγο, δημιουργηθεί σ' αυτό κάποια εγκάρσια κλίση. Η ροπή αυτή, όπως έχομε ήδη εξηγήσει, είναι ίση με το γινόμενο του εκτοπίσματος του πλοίου επί το μοχλοβραχίονα επαναφοράς. Επειδή το εκτόπισμα του πλοίου σε κάθε κατάσταση φορτώσεως είναι σταθερό, **ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς είναι ένα μέγεθος απολύτως ενδεικτικό του μεγέθους της ευστάθειας κάθε πλοίου σε κάθε κατάσταση φορτώσεως.**

Η υπόθεση ότι το εγκάρσιο μετακέντρο ενός πλοίου είναι ένα σταθερό σημείο (σωστή για γωνίες εγκάρσιας κλίσεως μέχρι  $10^\circ$  περίπου), έχει ως επακόλουθο ότι το μετακεντρικό ύψος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα στοιχείο ενδεικτικό του μεγέθους της ευστάθειας για μικρές γωνίες κλίσεως.

Με βάση αυτήν την υπόθεση μπορούσαμε, σε προηγούμενα κεφάλαια, να εξετάσουμε σχετικά εύκολα την αρχική ευστάθεια των πλοίων, αλλά και τα θέματα που σχετίζονται μ' αυτήν, όπως είναι η δημιουργία μικρών κλίσεων από μεταφορές ή προσθαφαιρέσεις βαρών. Συγκεκριμένα, για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου, είναι αρκετό, να γνωρίζομε μόνο την κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους και του εγκάρσιου μετακέντρου του πλοίου. Τη θέση του μετακέντρου, όπως ήδη γνωρίζομε, μπορούμε να βρούμε από το υδροστατικό διάγραμμα κάθε πλοίου.

**Για μεγαλύτερες γωνίες, η υπόθεση ότι το μετακέντρο είναι ένα σταθερό σημείο δεν είναι ακριβής.** Έτσι, για τον υπολογισμό του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, χρειάζεται να ακολουθήσομε διαφορετική μεθοδολογία. Για το λόγο αυτό, η ευστάθεια, όπως λέμε, μεγάλων γωνιών κλίσεως, εξετάζεται διαφορετικά από ό,τι στις μικρές γωνίες.

Διευκρινίζεται πάντως ότι είτε για μικρές γωνίες μιλάμε είτε για μεγάλες, στην πραγματικότητα εξετάζομε το ίδιο φυσικό φαινόμενο. **Οι μέθοδοι εξέτασεως που εφαρμόζομε για μεγάλες γωνίες κλίσεως, θεωρητικά δίνουν σωστά αποτελέσματα τόσο για μεγάλες, όσο και για μικρές γωνίες. Αντίθετα, η μέθοδος που εφαρμόζεται για μικρές γωνίες είναι προσεγγιστική. Χρησιμοποιείται όμως, επειδή, σε σχέση με τη μέθοδο μεγάλων γωνιών, η εφαρμογή της είναι απλούστερη.**

### 10.2 Μέθοδοι υπολογισμού των μοχλοβραχιόνων επαναφοράς.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να υπολογίσομε τους μοχλοβραχίονες επαναφοράς ενός πλοίου, τις τιμές των οποίων είναι αναγκαίο, όπως θα δούμε, να γνωρίζομε για διάφορες γωνίες εγκάρσιας κλίσεως και για διάφορες τιμές του εκτοπίσματος κάθε πλοίου. Παρακάτω θα δοθούν στοιχεία για τον τρόπο εφαρμογής των πιο συνηθισμένων απ' αυτές.

### 10.2.1 Μέθοδος Atwood.

Στο σχήμα 10.2 έχουμε ένα πλοίο που αρχικά πλέει στην ίσαλο WL. Στην κατάσταση αυτή το κέντρο όγκου των υφάλων του βρίσκεται στο σημείο B και το κέντρο βάρους του στο σημείο G.

Αν για κάποιο λόγο το πλοίο πάρει κάποια εγκάρσια κλίση, την οποία παριστάνομε με  $\varphi$ , θα πλεύσει σε μία νέα ίσαλο, την  $W_1L_1$ . Το κέντρο όγκου του πλοίου μετακινείται τώρα στο σημείο  $B_1$ . Όπως και στην περίπτωση μικρών γωνιών κλίσεως, στο πλοίο επενεργούν:

1) Η δύναμη του βάρους, ίση με το εκτόπισμα  $\Delta$ , με διεύθυνση κάθετη στην  $W_1L_1$  και με φορά που περνά από το κέντρο βάρους του πλοίου G.

2) Η δύναμη της ανώσεως, ίση επίσης με  $\Delta$ , με διεύθυνση πάλι κάθετη στην  $W_1L_1$  και με φορά που περνά από τη νέα θέση του κέντρου όγκου  $B_1$ .

Η ροπή επαναφοράς, όπως είδαμε και στην περίπτωση των μικρών γωνιών κλίσεως θα είναι και πάλι ίση με  $\Delta \times GZ$ , όπου GZ είναι ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς που φαίνεται στο σχήμα, δηλαδή η κάθετη απόσταση ανάμεσα στους, παράλληλους μεταξύ τους, φορείς του βάρους και της ανώσεως.

Επειδή δεν υπάρχει κανένας λόγος να αλλάξει το εκτόπισμα όταν το πλοίο πλέει στην ίσαλο WL ή την  $W_1L_1$ , οι δύο σφήνες όγκου που φαίνονται διαγραμμισμένες στο σχήμα θα πρέπει να είναι μεταξύ τους ίσες.

Παριστάνομε με:  $\delta$  την άνωση, η οποία αντιστοιχεί στον όγκο της σφήνας της γάστρας του πλοίου που βυθίζεται ή ξενερίζει,  $b_1, b_2$  τα κέντρα όγκου των δύο σφηνών,  $h_1, h_2$  τα σημεία όπου τέμνουν την  $W_1L_1$  δύο κάθετες πάνω σ' αυτήν, οι οποίες φέρονται από τα  $b_1$  και  $b_2$ , BR την κάθετη από το B στο φορέα της ανώσεως του πλοίου, όταν έχει εγκάρσια κλίση  $\varphi$ .

Από το θεώρημα των ροπών θα έχουμε:

$$\Delta \times BR = \delta \times h_1 h_2$$

Επειδή:

$$GZ = BR - BD \text{ και}$$

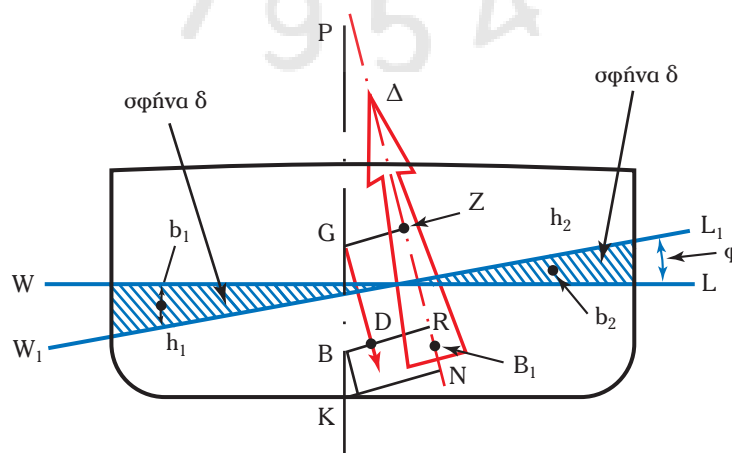
$$BD = BG \times \eta\mu\varphi$$

θα είναι:

$$\Delta \times GZ = \Delta(BR - BD) = \Delta(BR - BG \eta\mu\varphi) = \Delta \left( \frac{\delta \times h_1 h_2}{\Delta} - BG \eta\mu\varphi \right)$$

ή

$$GZ = \frac{\delta \times h_1 h_2}{\Delta} - BG \eta\mu\varphi \quad (88)$$



Σχ. 10.2.

Εύρεση μοχλοβραχίονα επαναφοράς.

Η σχέση (88) είναι γνωστή ως **σχέση του Atwood** και επιτρέπει τον υπολογισμό των μοχλοβραχιόνων επαναφοράς για κάθε εκτόπισμα και κάθε γωνία εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου.

Στα προηγούμενα κεφάλαια έχει ήδη γίνει φανερό ότι το κέντρο βάρους του πλοίου είναι ένα σημείο που συνεχώς μεταβάλλεται. Για να γίνουν λοιπόν οι σχετικοί υπολογισμοί με βάση τη σχέση (88), θα πρέπει να υποθέσουμε κάποια θέση του κέντρου βάρους του πλοίου και να διορθώνουμε, σε κάθε εφαρμογή, τα αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου. Έχει επικρατήσει, ως υποθετική θέση του κέντρου βάρους, να λαμβάνουμε το σημείο K στην τρύπδα. Η υπόθεση αυτή βέβαια είναι τελείως ανακριβής, ως μέθοδος όμως διευκολύνει αρκετά στις εφαρμογές και, μετά τη σχετική διόρθωση, τα αποτελέσματα είναι απόλυτα σωστά.

Με την παραπάνω υπόθεση ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς που τώρα συμβολίζεται ως KN, μπορεί, όπως προκύπτει από το σχήμα 10.2, να βρεθεί από τη σχέση:

$$KN = KE + EN = KE + BR = KB \eta\mu\phi + \frac{\delta \times h_1 h_2}{\Delta} \quad (89)$$

Η εύρεση του GZ για κάθε πραγματική θέση G του κέντρου βάρους μπορεί να επιτευχθεί με χρησιμοποίηση της σχέσεως:

$$GZ = KN - KG\eta\mu\phi \quad (90)$$

Για να εφαρμοσθεί η παραπάνω μέθοδος είναι αναγκαίο να γίνουν (ευτυχώς σήμερα με τον υπολογιστή) εκτεταμένοι υπολογισμοί, για μια σειρά από ισάλους και μια σειρά από γωνίες, του όγκου και του κέντρου όγκου των σφηνών που βυθίζονται και ξεγενρίζουν.

### 10.2.2 Μέθοδος *Scribanti*.

Σ' ένα **πλοίο που έχει κάθετες πλευρές** (wall sided ship) σε κάποια περιοχή των βυθισμάτων του σε όλο το μήκος του οι δυο τριγωνικές σφήνες που φαίνονται στο σχήμα 10.2 θα είναι μεταξύ τους ίσες, και επομένως οι ίσαλοι WL και  $W_1L_1$  θα τέμνονται πάνω στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, σε αντίθεση με ό,τι φαίνεται στο σχήμα, το οποίο βασίζεται σ' ένα πλοίο χωρίς κάθετες πλευρές.

Στην περίπτωση αυτή (του πλοίου δηλ. με κάθετες πλευρές) αποδεικνύεται εύκολα, αλλά η απόδειξη βρίσκεται έξω από τα όρια αυτού του βιβλίου, ότι ισχύει ο παρακάτω τύπος, γνωστός ως **τύπος Scribanti**.

$$GZ = \eta\mu\phi \left[ GM_T + \frac{BM_T}{2} \epsilon\phi^2 \phi \right] \quad (91)$$

Το πλεονέκτημα του τύπου αυτού, σε σχέση με τον τύπο του Atwood, είναι ότι επιτρέπει τον υπολογισμό του GZ, αν είναι γνωστά το κέντρο βάρους και στοιχεία που υπάρχουν στο υδροστατικό διάγραμμα.

**Ο παραπάνω τύπος έχει μεγάλη ανακρίβεια και γι' αυτό δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για μεγάλες γωνίες και μεγάλα ή μικρά βυθίσματα, όπου οι ίσαλοι με κλίση τέμνουν το κατάστρωμα ή τον πυθμένα του πλοίου.**

### 10.2.3 Άλλες μέθοδοι υπολογισμού.

Εκτός από τις δύο μεθόδους που προαναφέρθηκαν, υπάρχουν και άλλες, η περιγραφή των οποίων ξεφεύγει από τα όρια του βιβλίου αυτού. Μία από τις πιο ενδιαφέρουσες είναι η **μέθοδος του Prohaska**. Για τον υπολογισμό του μοχλοβραχίονα επαναφοράς με τη μέθοδο αυτή, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$GZ = GM_T \eta\mu\phi + M_T P \eta\mu\phi \quad (92)$$

όπου:  $M_T P$  είναι η απόσταση ανάμεσα στο εγκάρσιο μετάκεντρο και στο σημείο P (σχ. 10.2), όπου ο φορέας της ανώσεως τέμνει το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου (το σημείο P είναι διαφορετικό από το  $M_T$  για μεγάλες γωνίες κλίσεως). Το ενδιαφέρον στοιχείο της μεθόδου Prohaska είναι ότι επιτρέπει τον υπολογισμό του μεγέθους  $(M_T P)\eta\mu\phi$  όταν δεν υπάρχουν οι γραμμές του πλοίου, αλλά μόνο ορισμένα στοιχεία

από τη γεωμετρία του. Έτσι η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παλιά πλοία των οποίων δεν έχουμε τις γραμμές. **Πάντως θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος αυτή είναι προσεγγιστική και τα αποτελέσματά της δεν είναι αποδεκτά απ' όλους τους οργανισμούς ή τις αρχές που ασχολούνται με την ασφάλεια του πλοίου.**

### 10.3 Παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας.

Από τις μεθόδους ευρέσεως του μοχλοβραχίονα επαναφοράς διαπιστώνουμε ότι γενικά:

$$GZ = f(\Delta, \varphi, KG) \quad (93)$$

δηλαδή ότι **για κάθε πλοίο ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς είναι μία συνάρτηση του εκτόπισματος, της γωνίας εγκάρσιας κλίσεως και της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους.**

Η παραπάνω διαπίστωση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, αν υποθέσουμε κάποια κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους, είναι δυνατό να παραστήσουμε τη συνάρτηση (93) γραφικά.

Το σχέδιο που παριστάνει τη μεταβολή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς ενός πλοίου με το εκτόπισμα για διάφορες γωνίες εγκάρσιας κλίσεως και για κάποια υποθετική κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους, είναι γνωστό ως **σχέδιο παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας** (cross curves of stability), εκπονείται από το ναυπηγείο κατασκευής ή το ναυπηγό μελετητή και υπάρχει σε όλα τα πλοία.

Η αξία του σχεδίου αυτού είναι μεγάλη, γιατί είναι δυνατό, όταν είναι γνωστό το εκτόπισμα και η γωνία εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου, να βρεθεί ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς με απλή ανάγνωση. Το ότι το σχέδιο είναι βασισμένο σε κάποια υποθετική θέση του κέντρου βάρους δεν έχει μεγάλη σημασία, γιατί εύκολα, όπως θα δούμε στη συνέχεια, μπορεί να γίνει η απαραίτητη διόρθωση.

Η μέθοδος, με την οποία βρίσκονται τα στοιχεία για τη χάραξη των παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας δεν ενδιαφέρει τους χειριστές των πλοίων. Εκείνο που τους ενδιαφέρει άμεσα είναι ο τρόπος χρησιμοποίησής τους στους διάφορους υπολογισμούς ευστάθειας.

Ως υποθετικό κέντρο βάρους του πλοίου παίρνουμε συνήθως την τρόπιδα. Στην περίπτωση αυτή οι παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας δίνουν τη μεταβολή του μήκους KN (σχ. 10.2).

Στο σχήμα 10.3 εικονίζονται οι παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας του πλοίου Α, στοιχεία του οποίου έχουν δοθεί ήδη. Οι καμπύλες δίνουν το μοχλοβραχίονα επαναφοράς Κ'Ν', που αντιστοιχεί σε υποθετική θέση του κέντρου βάρους του πλοίου 10,57 m πάνω από την τρόπιδα. Ο οριζόντιος άξονας δίνει τη μεταβολή του εκτόπισματος και ο κατακόρυφος την τιμή του Κ'Ν'. Καμπύλες (στην περίπτωση του σχήματος 10.3) υπάρχουν για γωνίες εγκάρσιας κλίσεως 15°, 30°, 45°, 60°, 75° και 90°.

Ο τρόπος που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις καμπύλες για οποιαδήποτε κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου, θα επεξηγηθεί στην παράγραφο 10.5.

### 10.4 Διεθνείς απαιτήσεις για τους υπολογισμούς των παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας.

Ο τρόπος υπολογισμού και χάραξης των παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας του πλοίου μπορεί ιδιαίτερα να συντελέσει στην ακρίβεια όλων των υπολογισμών που σχετίζονται μ' αυτές. Για το λόγο αυτό οι σχετικοί κανονισμοί καθορίζουν τόσο τον τρόπο υπολογισμού, όσο και τις λεπτομέρειες χάραξης των παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας.

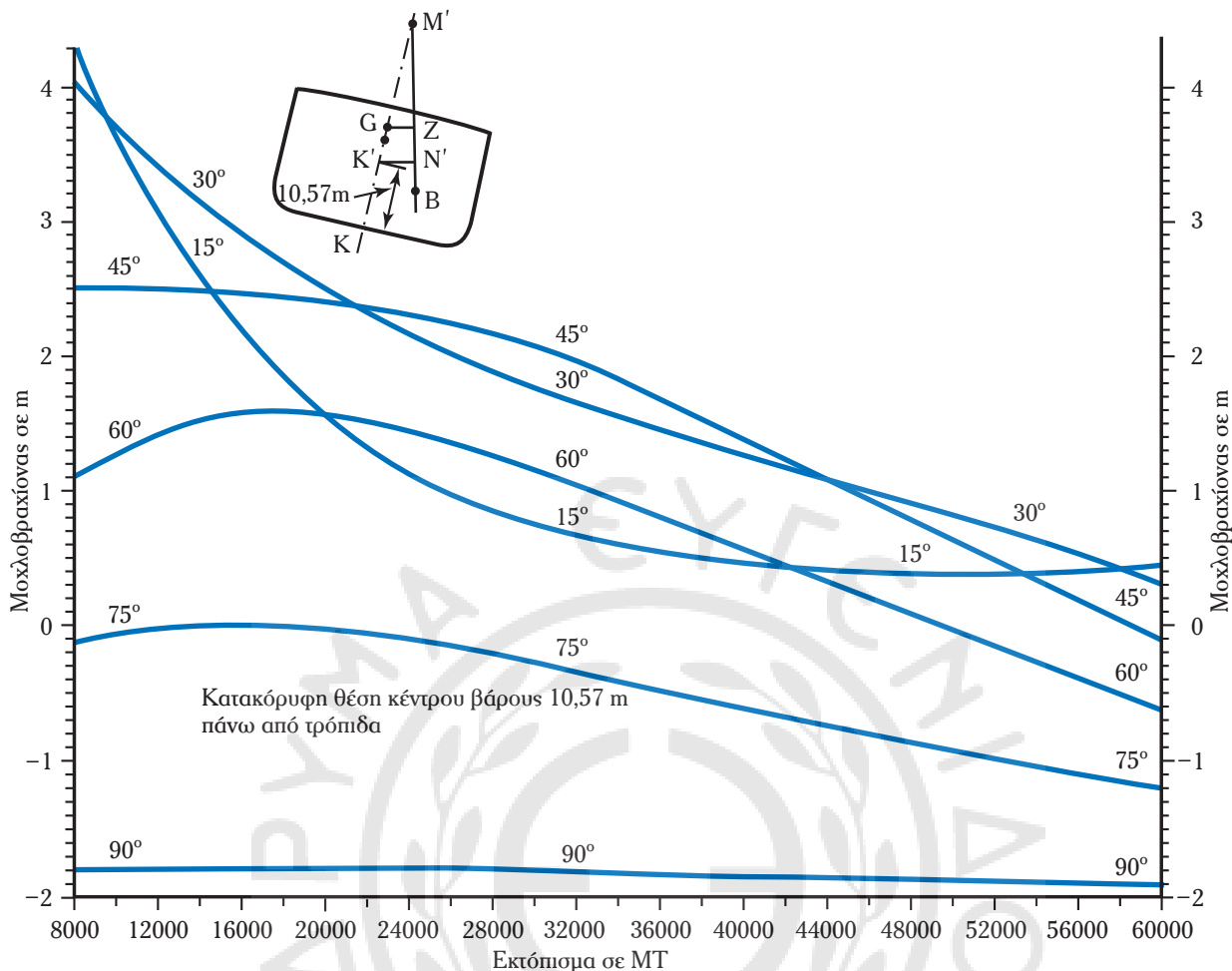
Συνοπτικά οι σχετικοί κανονισμοί καθορίζουν:

1) Τον τρόπο με τον οποίο ορίζεται το υδατοστεγανό περίβλημα του πλοίου, για τον υπολογισμό των παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας, (π.χ. ποιες υπερκατασκευές και υπερστεγάσματα πρέπει να περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς των μοχλοβραχιόνων επαναφοράς).

2) Την αποδεκτή μεθοδολογία των σχετικών υπολογισμών.

3) Τις γωνίες εγκάρσιας κλίσεως για τις οποίες είναι απαραίτητο να γίνουν υπολογισμοί (π.χ. κατά τους κανονισμούς της SOLAS 1974 για τη φόρτωση σιτηρών, οι μοχλοβραχίονες επαναφοράς θα πρέπει να προκύπτουν από επαρκείς σε αριθμό παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας που να περιλαμβάνουν όμως





Σχ. 10.3.

Παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας πλοίου Α.

οποσδήποτε καμπύλες για τις 12° και τις 40°).

### 10.5 Πίνακες μοχλοβραχιόνων επαναφοράς.

Για να είναι δυνατή η εύκολη χρησιμοποίηση των στοιχείων ευστάθειας του πλοίου από τους χειριστές του, όταν πρόκειται να πραγματοποιήσουν μερικούς απλούς υπολογισμούς, συχνά τα στοιχεία των μοχλοβραχιόνων επαναφοράς δίνονται όχι μόνο με τη μορφή του σχήματος 10.3, αλλά και με τη μορφή πίνακα, που είναι γνωστός ως **πίνακας μοχλοβραχιόνων επαναφοράς**.

Για μια συγκεκριμένη κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου, μπορούμε να βρούμε από τον πίνακα το μοχλοβραχίονα επαναφοράς που αντιστοιχεί σε κάποιο εκτόπισμα (ή βύθισμα) και κάποια γωνία εγκάρσιας κλίσεως. Φυσικά, επειδή ο πίνακας (αντίθετα με τις καμπύλες) περιέχει πληροφορίες για ορισμένες μόνο τιμές του εκτοπίσματος, συχνά δημιουργείται η ανάγκη οι σχετικές πληροφορίες να βρεθούν με παρεμβολή.

Ο πίνακας 10.5.1 δίνει τους μοχλοβραχίονες επαναφοράς του πλοίου Α για θέση του κέντρου βάρους 10,57 m πάνω από την τρύπιδα.

#### Παράδειγμα.

Να βρεθεί ο βραχίονας GZ για το πλοίο Α σε γωνία 60°, όταν το εκτόπισμά του είναι 45000 MT και το KG = 10,67 m.

**Πίνακας 10.5.1**  
**Μοχλοβραχίονες επαναφοράς (KN) πλοίου Α.**

| Εκτόπισμα (MT) | Βύθισμα (m) | Μοχλοβραχίονας επαναφοράς (KN)<br>σε m για KG = 0 στις αντίστοιχες γωνίες |      |      |      |       |       |       |
|----------------|-------------|---|------|------|------|-------|-------|-------|
|                |             | 0°  | 15°  | 30°  | 45°  | 60°   | 75°   | 90°   |
| 12000          | 2,85        | 0,000   | 3,03 | 3,36 | 2,48 | 1,40  | -0,04 | -1,79 |
| 16000          | 3,74        | 0,000   | 2,15 | 2,87 | 2,45 | 1,55  | -0,02 | -1,80 |
| 20000          | 4,61        | 0,000   | 1,54 | 2,47 | 2,38 | 1,54  | -0,05 | -1,81 |
| 24000          | 5,47        | 0,000   | 1,10 | 2,14 | 2,28 | 1,40  | -0,11 | -1,81 |
| 28000          | 6,31        | 0,000   | 0,82 | 1,87 | 2,11 | 1,21  | -0,22 | -1,82 |
| 32000          | 7,15        | 0,000   | 0,62 | 1,64 | 1,90 | 1,00  | -0,36 | -1,82 |
| 36000          | 7,98        | 0,000   | 0,50 | 1,45 | 1,66 | 0,88  | -0,49 | -1,84 |
| 40000          | 8,80        | 0,000   | 0,43 | 1,27 | 1,39 | 0,56  | -0,63 | -1,86 |
| 44000          | 9,61        | 0,000   | 0,39 | 1,08 | 1,11 | 0,33  | -0,75 | -1,87 |
| 48000          | 10,42       | 0,000   | 0,38 | 0,90 | 0,81 | 0,10  | -0,88 | -1,88 |
| 52000          | 11,21       | 0,000   | 0,39 | 0,70 | 0,49 | -0,14 | -1,00 | -1,90 |
| 56000          | 11,99       | 0,000   | 0,40 | 0,50 | 0,18 | -0,38 | -1,10 | -1,91 |

Με παρεμβολή στα στοιχεία του πίνακα 10.5.1 ανάμεσα στα εκτόπισματα 44000 και 48000 για τη γωνία 60°, έχομε:

$$GZ = 0,33 + (0,10 - 0,33) \frac{45000 - 44000}{48000 - 44000} = 0,2725 \text{ m}$$

### 10.6 Καμπύλες ευστάθειας.

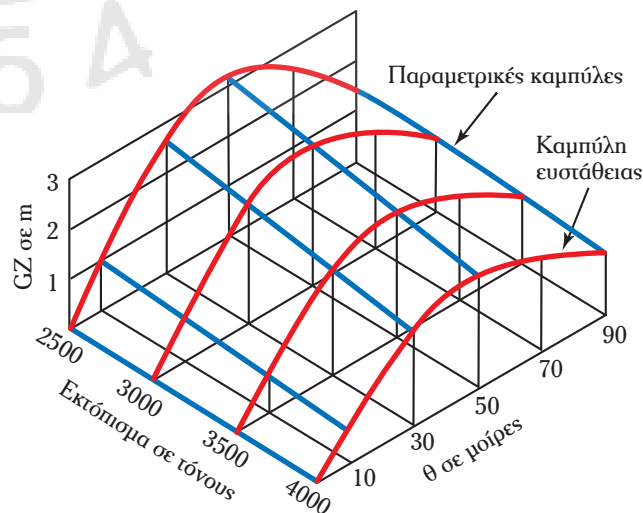
Οι παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας, με στοιχεία που προκύπτουν από τους υπολογισμούς και χαράσσονται στο σχετικό διάγραμμα (σχ. 10.3) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ως έχουν, για τη λύση συγκεκριμένων προβλημάτων. Στα συνηθισμένα προβλήματα ευστάθειας που αντιμετωπίζομε στην πράξη εξετάζεται η συμπεριφορά του πλοίου σε κάποια κατάσταση φορτώσεως, δηλαδή σε συγκεκριμένο εκτόπισμα και σε συγκεκριμένη κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους.

Για τη μελέτη τέτοιων προβλημάτων χρειάζομαστε μια καμπύλη που να δείχνει τη μεταβολή της ροπής επαναφοράς ή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς σε συνάρτηση με τη γωνία εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου.

**Μια καμπύλη ευστάθειας (stability curve) περιγράφει γραφικά τη μεταβολή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς του πλοίου σε συνάρτηση με τη γωνία εγκάρσιας κλίσεως για συγκεκριμένο εκτόπισμα και κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους.**

Επειδή οι πιθανοί συνδυασμοί εκτόπισματος και κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους κάθε πλοίου είναι άπειροι, δεν είναι δυνατό να χαραχθούν μια φορά όλες οι αντίστοιχες καμπύλες. Αντίθετα, με στοιχεία από τις παραμετρικές καμπύλες και με το εκτόπισμα του πλοίου και την κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του, μπορούμε κάθε φορά να χαράξομε την αντίστοιχη καμπύλη ευστάθειας.

Ο συσχετισμός παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας και καμπυλών ευστάθειας παρουσιάζεται στο σχήμα 10.6. Στο σχήμα αυτό με μπλε χρώμα παρι-



**Σχ. 10.6.**

Συσχετισμός παραμετρικών και καμπυλών ευστάθειας.

σπάνονται οι παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας και με κόκκινο οι καμπύλες ευστάθειας. Το σχήμα αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου.

### 10.7 Εύρεση στοιχείων της καμπύλης ευστάθειας από τις παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας.

Στην παράγραφο αυτή θα εξηγήσουμε πώς είναι δυνατό, για ένα συγκεκριμένο εκτόπισμα κάποιου πλοίου και μια συγκεκριμένη κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του, να βρούμε από τις παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας στοιχεία για τη χάραξη της αντίστοιχης καμπύλης ευστάθειας.

Στην περίπτωση που έχουμε παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας που αντιστοιχούν σε κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους του πλοίου ίδια με τη συγκεκριμένη που μας απασχολεί, η διαδικασία ευρέσεως των σχετικών στοιχείων είναι πολύ εύκολη. Στο διάγραμμα των παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας θα πρέπει να φέρομε μία κατακόρυφη ευθεία στο σημείο που αντιστοιχεί στο εκτόπισμα του πλοίου και να διαβάσουμε στις καμπύλες που αντιστοιχούν σε κάθε γωνία τον αντίστοιχο μοχλοβραχίονα επαναφοράς.

Αν όμως το κέντρο βάρους του πλοίου διαφέρει από εκείνο για το οποίο έχουν χαραχθεί οι παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας, τα στοιχεία που θα διαβάσουμε απ' αυτές θα πρέπει να διορθωθούν με βάση μία σχέση αντίστοιχη με την (90) που έχει τη μορφή:

$$GZ = (GZ)_1 + (KG_1 - KG) \eta \mu \varphi \quad (94)$$

όπου:  $GZ$  ο μοχλοβραχίονας που αντιστοιχεί στην πραγματική θέση του κέντρου βάρους του πλοίου,  $KG$  η πραγματική κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους,  $KG_1$ , η θέση του κέντρου βάρους του πλοίου στο οποίο έχουν βασισθεί οι παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας,  $(GZ)_1$ , ο μοχλοβραχίονας που αντιστοιχεί στο  $KG_1$  και  $\varphi$  η γωνία εγκάρσιας κλίσεως.

Αν πάλι οι παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας δίνουν τιμές του βραχίονα  $KN$ , τότε είναι απαραίτητη η διόρθωση, όπως θα φανεί στο παρακάτω παράδειγμα, με χρησιμοποίηση της σχέσεως (90).

#### Παράδειγμα 1.

Να βρεθεί η καμπύλη στατικής ευστάθειας του πλοίου Α, όταν το εκτόπισμά του είναι 12432 (MT) και το μετακεντρικό ύψος του 11,27 m.

Από τον πίνακα 5.6.1, με παρεμβολή στα εκτοπίσματα 11758 και 12664, έχουμε:

$$\begin{aligned} KM_T &= 24,35 + (23,04 - 24,25) \times \frac{12432 - 11758}{12664 - 11758} = \\ &= 24,35 - (1,31) \times (0,744) = 23,37 \text{ m} \end{aligned}$$

Επομένως:

$$KG = KM_T - GM_T = 23,37 - 11,37 = 12,0 \text{ m}$$

$$KG_1 - KG = 10,57 - 12,0 = -1,43 \text{ m}$$

Στη συνέχεια φέρνουμε μία κατακόρυφη στο σχήμα 10.3 σε σημείο που αντιστοιχεί στο εκτόπισμα 12432 (MT) και διαβάζουμε σε κάθε γωνία την τιμή του  $KN$ . Η παραπέρα διόρθωση φαίνεται με λεπτομέρειες στον πίνακα 10.7.1.

Με τα αποτελέσματα της στήλης 5 του πίνακα 10.7.1 χαράσσεται στο σχήμα 10.7 η καμπύλη ευστάθειας, που αντιστοιχεί σε εκτόπισμα 12432  $GM_T = 11,37 \text{ m}$  και  $KG = 12,0 \text{ m}$ .

#### Παράδειγμα 2.

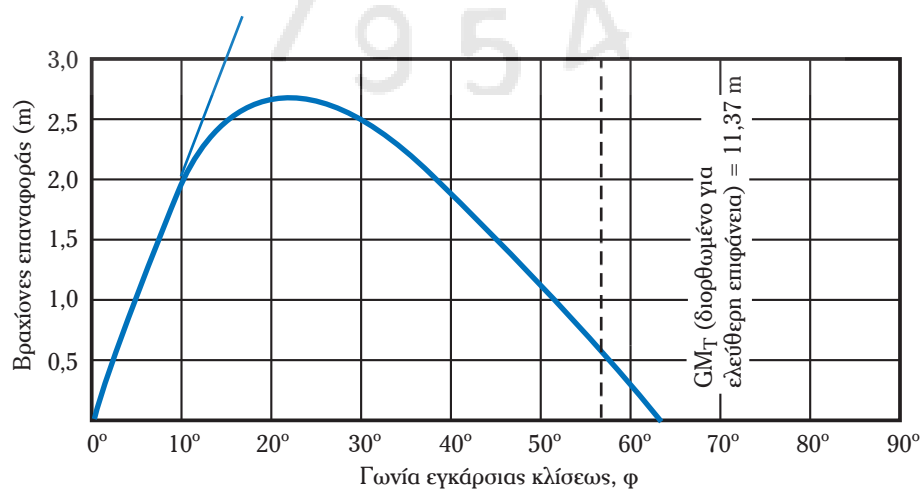
Το πλοίο Α σε κάποια έμφορτη κατάσταση έχει εκτόπισμα 54988 MT και κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους  $KG = 9,85 \text{ m}$  πάνω από την τρόπιδα. Αν στη στήλη 2 του πίνακα 10.7.2 δίνονται οι μοχλοβραχίονες επαναφοράς  $KN$  του πλοίου Α, να βρεθούν στοιχεία για τη χάραξη της καμπύλης ροπών επαναφοράς του πλοίου σε συνάρτηση με τη γωνία εγκάρσιας κλίσεως.

**Πίνακας 10.7.1****Υπολογισμός μοχλοβραχιόνων ευστάθειας του πλοίου Α στην άφορη κατάσταση.**

| στήλη 1          | στήλη 2               | στήλη 3 | στήλη 4                                 | στήλη 5              |
|------------------|-----------------------|---------|---|----------------------|
| Γωνία φ (μοίρες) | (GZ), m (από σχ. 9.3) | ημφ     | $(KG_1 - KG) \etaμφ = -1,43 \etaμφ$ (m) | $GZ = (2) + (4)$ (m) |
| 0                | 0,00                  | 0,0000  | 0,000                                   | 0,000                |
| 15               | 2,98                  | 0,2588  | -0,370                                  | 2,610                |
| 30               | 3,27                  | 0,5000  | -0,715                                  | 2,555                |
| 45               | 2,47                  | 0,7071  | -1,011                                  | 1,459                |
| 60               | 1,43                  | 0,8660  | -1,238                                  | 0,192                |
| 75               | -0,04                 | 0,9659  | -1,381                                  | -1,421               |
| 90               | -1,81                 | 1,0000  | -1,430                                  | -3,240               |

**Πίνακας 10.7.2****Υπολογισμός μοχλοβραχιόνων ευστάθειας του πλοίου Α στην άφορη κατάσταση.**

| στήλη 1          | στήλη 2 | στήλη 3 | στήλη 4                      | στήλη 5                              | στήλη 6  |
|------------------|---------|---------|------------------------------|--------------------------------------|--|
| Γωνία φ (μοίρες) | KN (m)  | ημφ     | $KG\etaμφ = 9,85 \etaμφ$ (m) | $GZ = KN - KG\etaμφ = (2) - (4)$ (m) | Ροπή επαναφοράς = $\Delta \times GZ = (54988) \times (5)$ (MT - m) |
| 0                | 0,000   | 0,000   | 0,00                         | 0,000                                | 0  |
| 15               | 3,161   | 0,2588  | 2,549                        | 0,612                                | 33652  |
| 30               | 5,885   | 0,5000  | 4,925                        | 0,960                                | 52788  |
| 45               | 7,804   | 0,7071  | 6,964                        | 0,840                                | 46189  |
| 60               | 8,930   | 0,8660  | 8,530                        | 0,400                                | 21995  |
| 75               | 9,236   | 0,9659  | 9,514                        | -0,278                               | -15286   |
| 90               | 8,770   | 1,000   | 9,850                        | -1,08                                | -59387   |

**Σχ. 10.7.**

Καμπύλη ευστάθειας πλοίου Α.

Η λύση του προβλήματος βασίζεται σ' αυτήν την περίπτωση στη χρησιμοποίηση της σχέσεως (90) και φαίνεται στον πίνακα 10.7.2. Οι ροπές που σημειώνονται με μαύρα όρθια είναι ροπές ανατροπής.

### 10.8 Ιδιότητες της καμπύλης ευστάθειας.

Στο σχήμα 10.8 βλέπουμε την καμπύλη ευστάθειας του πλοίου Α για την κατάσταση του προηγούμενου παραδείγματος. Εκτός από τη γενική σημασία της καμπύλης που συσχετίζει το μοχλοβραχίονα επαναφοράς με τη γωνία εγκάρσιας κλίσεως, τα παρακάτω ειδικά χαρακτηριστικά της έχουν ιδιαίτερη σημασία.

#### 1) Η εφαπτομένη της καμπύλης σε μηδενική γωνία.

Αν σχεδιάσουμε αυτήν την εφαπτομένη όπως φαίνεται στο σχήμα 10.8, το ύψος που μετρούμε σε γωνία  $57,3^\circ$  (ίση με ένα ακτίνιο) είναι ίση με το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος  $GM_T$  του πλοίου. Η ιδιότητα αυτή χρησιμοποιείται για να περιγραφεί πιο σωστά η καμπύλη ευστάθειας στην περιοχή των μικρών γωνιών κλίσεως. Συγκεκριμένα, γνωρίζοντας το  $GM_T$  εκ των προτέρων, σχεδιάζουμε την εφαπτομένη και στη συνέχεια την καμπύλη.

#### 2) Εύρος ευστάθειας ( $\varphi_{max}$ ).

Είναι η γωνία μετά την οποία ο βραχίονας είναι αρνητικός, δηλαδή έχουμε ροπή ανατροπής.

#### 3) Μέγιστος βραχίονας επαναφοράς ( $GZ_{max}$ ).

Είναι ο βραχίονας επαναφοράς στο σημείο όπου η εφαπτομένη της καμπύλης ευστάθειας γίνεται οριζόντια.

#### 4) Γωνία μέγιστου βραχίονα ( $\varphi_0$ ).

Είναι η γωνία που αντιστοιχεί στο μέγιστο βραχίονα επαναφοράς.

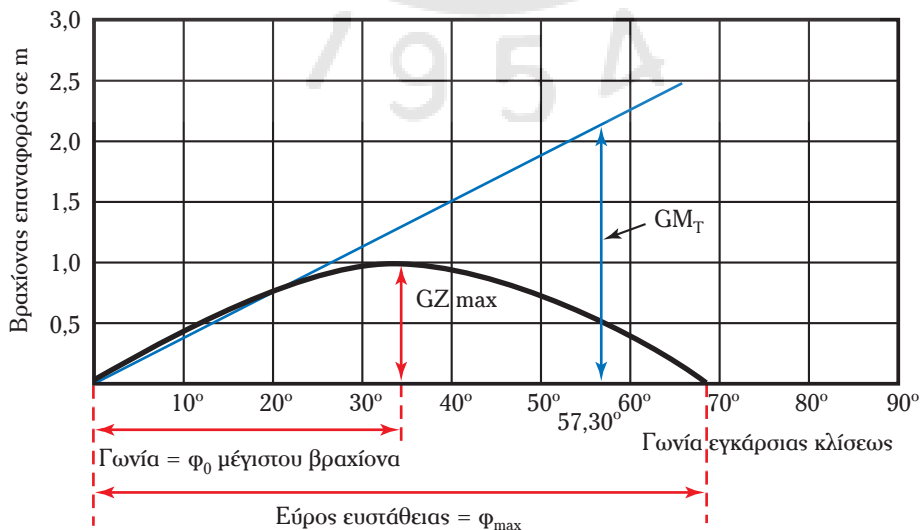
#### 5) Δυναμική ευστάθεια (dynamical stability).

Είναι το εμβαδόν που περικλείεται από την καμπύλη ευστάθειας και τον οριζόντιο άξονα.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζουν ενδιαφέρον, γιατί όλες οι απαιτήσεις ευστάθειας που επιβάλλονται από διάφορους κανονισμούς αναφέρονται σ' αυτά.

Για την περίπτωση του σχήματος 10.8 έχουμε:

- Μετακεντρικό ύψος = 2,09 m.
- Μέγιστο μοχλοβραχίονα = 1,00 m.
- Γωνία μέγιστου βραχίονα =  $33^\circ$ .
- Εύρος ευστάθειας =  $68^\circ$ .



Σχ. 10.8.

Στοιχεία που χαρακτηρίζουν την καμπύλη ευστάθειας.

Εκτός από το εκτόπισμα και την κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου που επηρεάζουν πολύ σημαντικά τη μορφή της καμπύλης ευστάθειας η μορφή της γενικά επηρεάζεται και από:

- α) Τη διαφορά διαγωγής του πλοίου.
- β) Τις γραμμές του πλοίου και τις διαστάσεις του.
- γ) Το εφεδρικό ύψος.
- δ) Τους χώρους που είναι στεγανοί πάνω από το κατάστρωμα.

### 10.9 Διορθώσεις καμπυλών ευστάθειας.

Οι καμπύλες ευστάθειας πριν χρησιμοποιηθούν πρέπει να διορθωθούν με βάση την πραγματική κατακόρυφη και εγκάρσια θέση του κέντρου βάρους του πλοίου, όπως θα εξηγηθεί αμέσως παρακάτω.

#### 1) Γενικά. Καμπύλες ημιτόνου και συνημιτόνου.

Στα προηγούμενα κεφάλαια και ιδιαίτερα στην παράγραφο 10.7, για την εύρεση της καμπύλης ευστάθειας ενός πλοίου με στοιχεία που λαμβάνομε από τις παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας, είδαμε ότι η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους επηρεάζει πολύ σημαντικά τους μοχλοβραχίονες επαναφοράς.

Γενικά η καμπύλη ευστάθειας ενός πλοίου που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο εκτόπισμα και σε συγκεκριμένη κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους θα μεταβληθεί όταν:

- α) Μετακινηθεί το κέντρο βάρους του πλοίου κατά την κατακόρυφη διεύθυνση.
- β) Μετακινηθεί το κέντρο βάρους εγκάρσια, δηλαδή σε θέση εκτός του επιπέδου συμμετρίας του πλοίου.
- γ) Υπάρχουν σε δεξαμενές ή χώρους του πλοίου ελεύθερες επιφάνειες.
- δ) Μεταβληθεί η διαγωγή του πλοίου (η επιρροή αυτή συχνά στους υπολογισμούς θεωρείται αμελητέα).

Επειδή, όπως θα δούμε παρακάτω, οι σχετικές διορθώσεις γίνονται με βάση γνωστές σχέσεις της τριγωνομετρίας, θα δοθούν εδώ μερικά στοιχεία για την ημιτονοειδή και συνημιτονοειδή καμπύλη.

Στον πίνακα 10.9.1 δίνονται οι τιμές του ημιτόνου και συνημιτόνου που αντιστοιχούν σε μερικές γωνίες.

Σε γραφική μορφή, τα στοιχεία του πίνακα 10.9.1 φαίνονται, για το ημίτονο, στο σχήμα 10.9α και για το συνημίτονο στο σχήμα 10.9β. Σε κάθε σχέση της μορφής  $A\eta\mu\phi$  ή  $A\sigma\upsilon\eta\mu\phi$  αντιστοιχεί μία ανάλογη γραφική παράσταση.

Μερικές φορές, σε πρακτικούς υπολογισμούς ευστάθειας των πλοίων, οι κανονισμοί επιτρέπουν ένα τμήμα της καμπύλης του συνημιτόνου να αντικαθίσταται προσεγγιστικά με ένα τμήμα ευθείας. Αυτό γίνεται για λόγους απλοστεύσεως των σχετικών υπολογισμών. Για παράδειγμα, στους **υπολογισμούς φορτώσεως σιτηρών** (βλ. κεφ. 16), οι κανονισμοί επιτρέπουν να προσεγγίζουμε την καμπύλη του συνημιτόνου στην περιοχή από  $0^\circ$  έως  $40^\circ$  με ένα τμήμα ευθείας, όπως φαίνεται με μπλε γραμμή στο σχήμα 10.9β.

#### 2) Διόρθωση καμπύλης ευστάθειας λόγω κατακόρυφης μετακινήσεως του κέντρου βάρους του πλοίου.

Στο πλοίο του σχήματος 10.9γ το κέντρο βάρους βρίσκεται στη θέση  $G$  όταν το βάρος  $w$  βρίσκεται στην κάτω θέση. Μετακίνηση του βάρους  $w$  στην πάνω θέση δημιουργεί ανύψωση του κέντρου βάρους στη θέση  $G_1$ . Το μήκος  $GG_1$ , που είναι ίσο με  $VCG_2 - VCG_1$  μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση (65).

Από το σχήμα 10.9γ εύκολα προκύπτει ότι ο νέος μοχλοβραχίονας επαναφοράς  $G_1Z_1$  μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

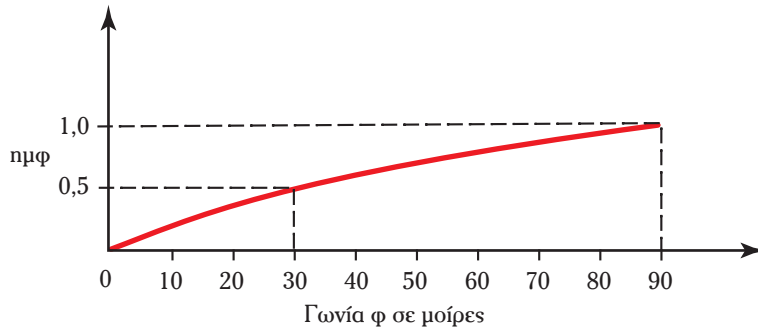
$$G_1Z_1 = GZ - GG_1\eta\mu\phi \quad (95)$$

Στο σχήμα 10.9δ φαίνεται γραφικά η διόρθωση  $GG_1\eta\mu\phi$ , όταν η ανύψωση  $GG_1$  είναι ίση με 2 ft.

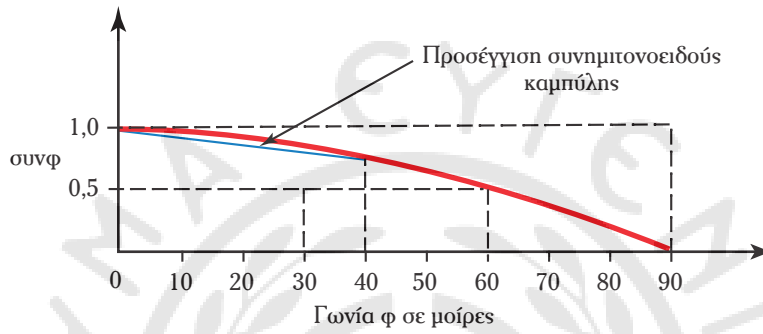
**Πίνακας 10.9.1**

**Ημίτονα και συνημίτονα γωνιών.**

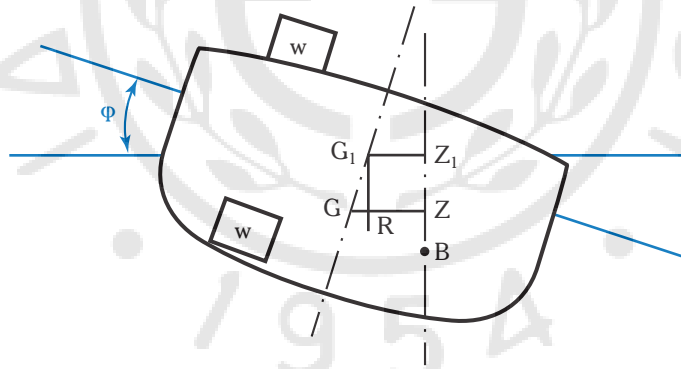
| Γωνία     | Ημίτονο | Συνημίτονο |
|-----------|---------|------------|
| $0^\circ$ | 0,000   | 1,000      |
| 10        | 0,174   | 0,985      |
| 20        | 0,342   | 0,940      |
| 30        | 0,500   | 0,866      |
| 40        | 0,643   | 0,766      |
| 50        | 0,766   | 0,643      |
| 60        | 0,866   | 0,500      |
| 70        | 0,940   | 0,342      |
| 80        | 0,985   | 0,174      |
| 90        | 1,000   | 0,000      |



**Σχ. 10.9α.**  
Καμπύλη ημιτόνου.

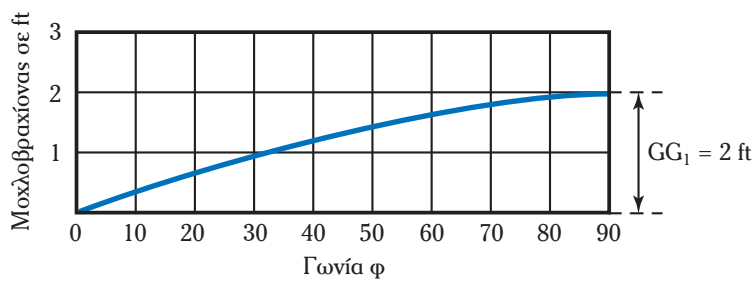


**Σχ. 10.9β.**  
Καμπύλη συνημιτόνου.



**Σχ. 10.9γ.**

Επίδραση κατακόρυφης μετακινήσεως βάρους στο μοχλοβραχίονα επαναφοράς.



**Σχ. 10.9δ.**

Μεταβολή μοχλοβραχίονα για κατακόρυφη μετακίνηση του κέντρου βάρους.

Στο σχήμα 10.9ε βλέπουμε πώς συνδυάζεται η αρχική καμπύλη ευστάθειας με την καμπύλη διορθώσεως ώστε να βρεθεί η νέα καμπύλη ευστάθειας. Συγκεκριμένα με μαύρο χρώμα φαίνεται η αρχική καμπύλη ευστάθειας και με κόκκινο η καμπύλη διορθώσεως που φαίνεται και στο σχήμα 10.9δ. Η τελική καμπύλη ευστάθειας (κόκκινη) προκύπτει με αφαίρεση σε κάθε γωνία των τεταγμένων της μπλε καμπύλης από τη μαύρη ( $AB = A\Delta - A\Gamma$  σε κάθε γωνία).

**Αν το κέντρο βάρους είχε κινηθεί από πάνω προς τα κάτω, η διόρθωση θα ήταν προσθετική, δηλαδή η νέα καμπύλη θα βρισκόταν ψηλότερα από την αρχική** (αύξηση των μοχλοβραχιόνων στις αντίστοιχες γωνίες). Η ίδια εργασία μπορεί να γίνει και με τη βοήθεια πίνακα, όπως ο 10.7.1.

### 3) Διόρθωση καμπύλης ευστάθειας λόγω εγκάρσιας μετακινήσεως του κέντρου βάρους του πλοίου.

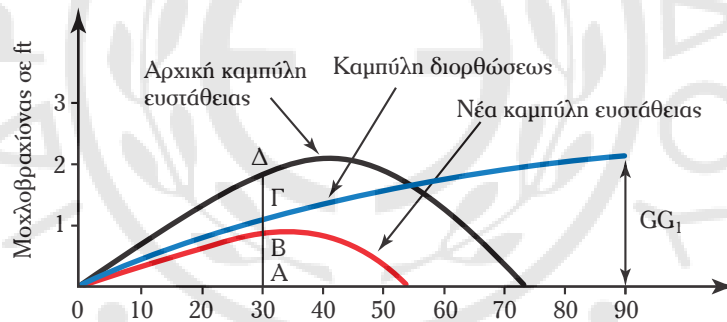
Στο πλοίο του σχήματος 10.9στ έχουμε αρχικά το βάρος  $w$  στο επίπεδο συμμετρίας, το οποίο μετακινούμε στη συνέχεια εγκάρσια στην πλευρά, δηλαδή κατά απόσταση  $d$  προς τα δεξιά του επιπέδου συμμετρίας. Αυτό δημιουργεί μία μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου από τη θέση  $G$  στη θέση  $G_2$ , όπου:

$$GG_2 = \frac{wd}{\Delta}$$

Όπως μπορεί να διαπιστωθεί από το σχήμα 10.9στ, θα έχουμε:

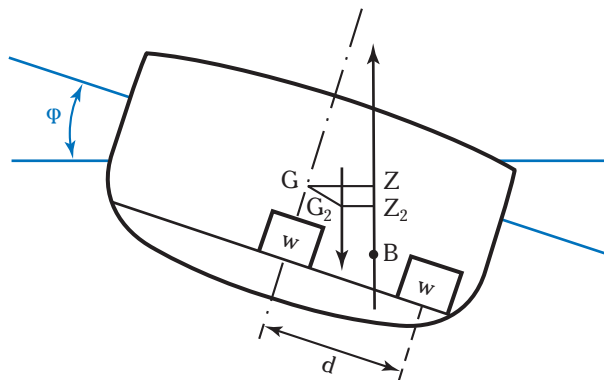
$$G_2Z_2 = GZ - GG_2 \text{ συν}\phi \quad (96)$$

Το σχήμα 10.9ζ δίνει γραφικά τη διόρθωση  $GG_2 \text{ συν}\phi$ , όταν η εγκάρσια μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου  $GG_2$  είναι ίση με 1 ft.



Σχ. 10.9ε.

Διόρθωση καμπύλης ευστάθειας λόγω καιακόρυφης μετακινήσεως του κέντρου βάρους πλοίου.



Σχ. 10.9στ.

Επίδραση εγκάρσιας οριζόντιας μετακινήσεως βάρους στο μοχλοβραχίονα επαναφοράς.



Στο σχήμα 10.9η φαίνεται πώς συνδυάζεται η αρχική καμπύλη ευστάθειας με την καμπύλη διορθώσεως, ώστε να βρεθεί η νέα καμπύλη ευστάθειας (με μαύρο χρώμα η αρχική καμπύλη ευστάθειας και με μπλε η καμπύλη διορθώσεως που φαίνεται και στο σχήμα 10.9ζ). Η τελική καμπύλη ευστάθειας (κόκκινη) προκύπτει με αφαίρεση των τεταγμένων της μπλε καμπύλης από τη μαύρη ( $AB = A\Delta - A\Gamma$  σε κάθε γωνία) και σ' αυτήν την περίπτωση η εργασία μπορεί να γίνει και με υπολογισμούς σε μορφή πίνακα.

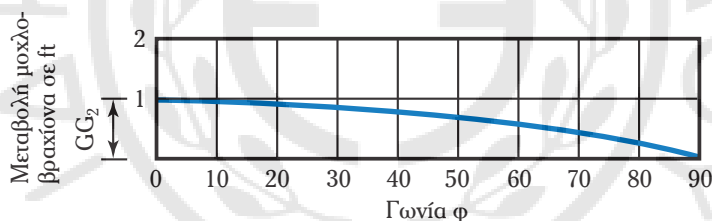
Στο σχήμα 10.9η παρατηρούμε ότι η διόρθωση έχει σ' αυτήν την περίπτωση ως αποτέλεσμα ένα κομμάτι της νέας καμπύλης να βρίσκεται κάτω από τον άξονα. Στο τμήμα αυτό της καμπύλης ο βραχίονας είναι αρνητικός. Έχομε δηλαδή στην περιοχή αυτή ροπή ανατροπής. Έτσι, για την περίπτωση του σχήματος 10.9η, το πλοίο θα ισορροπήσει με γωνία εγκάρσια κλίσεως  $20^\circ$  (προς τα δεξιά), όπου η κόκκινη καμπύλη τέμνει τον οριζόντιο άξονα.

**4) Τυχαία μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου.**

Στο σχήμα 10.9θ εικονίζεται μία περίπτωση τυχαίας μετακινήσεως ενός βάρους  $w$  από τη θέση Α στη θέση Γ. Η μετακίνηση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι πραγματοποιείται σε δύο φάσεις:

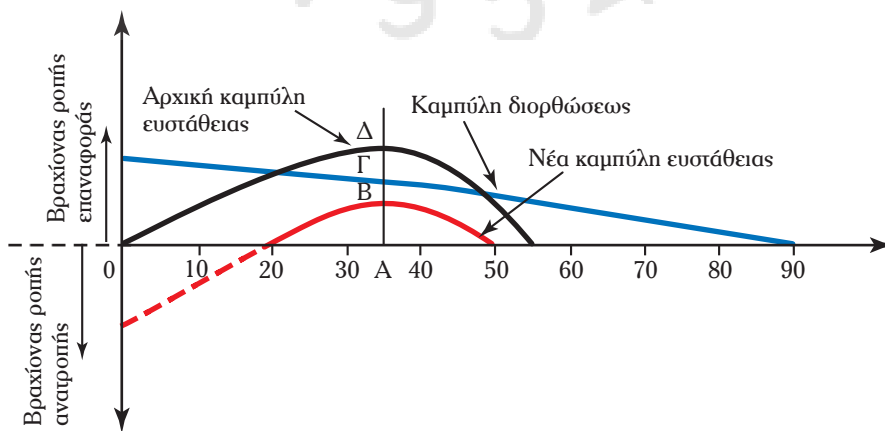
α) Στην αρχή μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το βάρος μετακινείται κατακόρυφα από το σημείο Α στο σημείο Β [σχ. 10.9θ(α)]. Αποτέλεσμα αυτής της κινήσεως είναι ότι το κέντρο βάρους του πλοίου μετακινείται από το σημείο G στο σημείο  $G_1$ . Η σχετική διόρθωση της καμπύλης ευστάθειας γίνεται με βάση μία ημιτονοειδή διόρθωση, όπως έχομε εξηγήσει στα προηγούμενα [σχ. 10.9θ(β)] και οδηγεί στην κόκκινη καμπύλη.

β) Στη συνέχεια θεωρούμε ότι το βάρος μετακινείται εγκάρσια από τη θέση Β στη θέση Γ, με επακόλουθο τη μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου από το  $G_1$  στο  $G_2$  [σχ. 10.9θ(γ)]. Ξεκινώντας τώρα από την κόκκινη καμπύλη του σχήματος 10.9θ(β) σαν αρχική, κάνομε μία συνημιτονοειδή διόρθωση. Η τελική καμπύλη ευστάθειας του πλοίου φαίνεται με κόκκινο χρώμα στο σχήμα 10.9θ(δ).



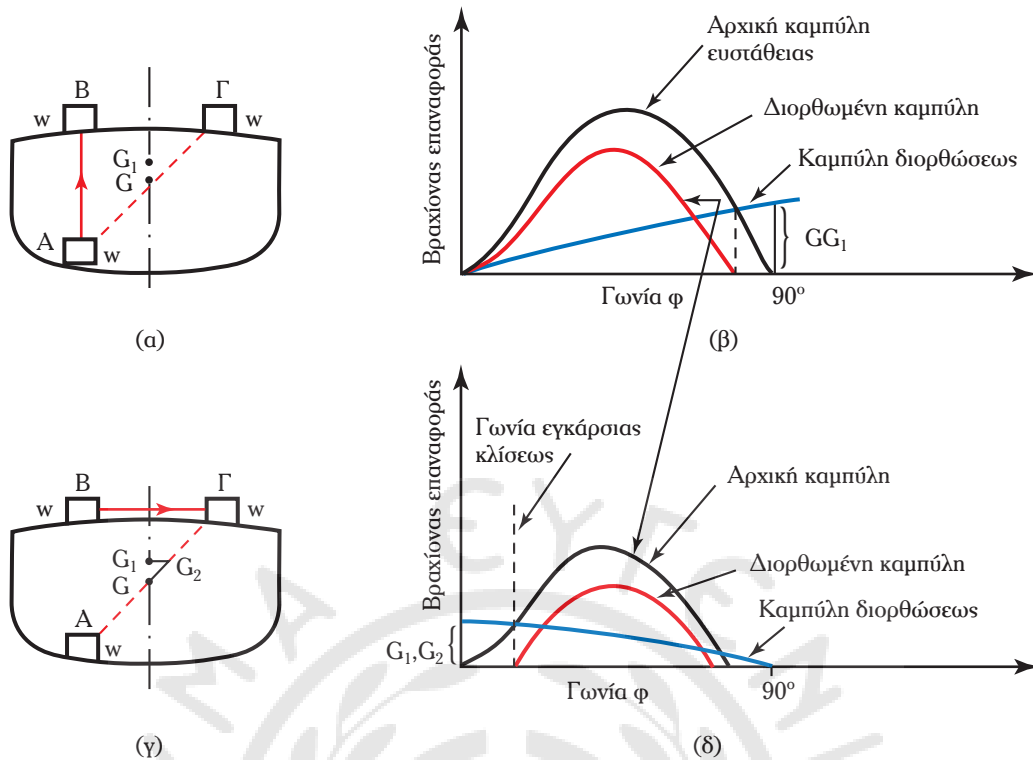
Σχ. 10.9ζ.

Μεταβολή μοχλοβραχίονα για εγκάρσια μετακίνηση του κέντρου βάρους.



Σχ. 10.9η.

Διόρθωση καμπύλης ευστάθειας λόγω εγκάρσιας μετακινήσεως κέντρου βάρους.



Σχ. 10.90.

Διόρθωση καμπύλης ευστάθειας μετά από τυχαία μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου. α) Μεταφορά βάρους καιακόρυφα. β) Διόρθωση καμπύλης ευστάθειας λόγω καιακόρυφης μεταφοράς βάρους. γ) Εγκάρσια μετακίνηση βάρους. δ) Διόρθωση λόγω εγκάρσιας μετακινήσεως βάρους.

### 5) Διόρθωση καμπύλης ευστάθειας λόγω ελεύθερης επιφάνειας.

Από τη σχέση (85) καθίσταται φανερό ότι η διόρθωση της καμπύλης ευστάθειας λόγω υπάρξεως ελεύθερης επιφάνειας σε δεξαμενές υγρών είναι μια ημιτονοειδής αφαιρετική ποσότητα. Έτσι, η σχετική διόρθωση στην καμπύλη ευστάθειας μπορεί να γίνει ακριβώς όπως περιγράφηκε παραπάνω (βλ. εδάφ. 2).

Πιο απλά, **μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το κέντρο βάρους του πλοίου βρίσκεται στη φαινομενική θέση που υπολογίζεται με βάση τη σχέση (86). Με τον τρόπο αυτό, εφαρμογή της διαδικασίας του εδαφίου 2 αυτής της παραγράφου, περιλαμβάνει και τη διόρθωση ελεύθερης επιφάνειας.**

Η παραπάνω διόρθωση είναι θεωρητικά σωστή όταν η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού στη δεξαμενή δεν βρίσκεται πολύ χαμηλά ή πολύ ψηλά. Σε τέτοιες περιπτώσεις (χαμηλή ή υψηλή στάθμη) η ελεύθερη επιφάνεια παίρνει τις θέσεις που παρουσιάζονται στο σχήμα 10.91. Έτσι, το μέγεθος της ελεύθερης επιφάνειας και επομένως και η φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους ελαττώνονται. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως **pocketing**.

Στο σχήμα 10.91α η μπλε συνεχής καμπύλη δίνει γραφικά τη διόρθωση λόγω ελεύθερης επιφάνειας όταν δεν υπάρχει rocketing ( $i/\bar{V} \eta \mu \phi$ ). Λαμβάνοντας υπόψη και το φαινόμενο rocketing, η καμπύλη της διορθώσεως από κάποια γωνία και πέρα γίνεται πιο οριζόντια από την ημιτονοειδή, όπως φαίνεται με διακεκομμένη μπλε γραμμή στο σχήμα. Η τελική καμπύλη ευστάθειας παρουσιάζεται με συνεχή κόκκινη γραμμή, όταν δεν λάβουμε υπόψη το φαινόμενο rocketing και με διακεκομμένη στην αντίθετη περίπτωση.

Στην πράξη, επειδή οι σχετικοί υπολογισμοί είναι πολύπλοκοι, δεν λαμβάνεται υπόψη το φαινόμενο rocketing. Έτσι οι σχετικοί υπολογισμοί είναι ασφαλέστεροι για το πλοίο.

### 6) Ασύμμετρο διαμέρισμα με ελεύθερη επικοινωνία.

Όταν ένα ασύμμετρο διαμέρισμα του πλοίου κατά την εγκάρσια έννοια βρίσκεται σε ελεύθερη επικοινωνία

νωνία με τη θάλασσα λόγω κάποιου ρήγματος γύρω στην ίσαλο, ποσότητα νερού εισέρχεται και εξέρχεται από το διαμέρισμα όταν το πλοίο παίρνει εγκάρσιες κλίσεις.

Αποδεικνύεται ότι η διόρθωση της καμπύλης ευστάθειας, σ' αυτήν την περίπτωση, είναι ανάλογη μ' εκείνη που εφαρμόζεται όταν υπάρχουν ελεύθερες επιφάνειες. **Η μόνη διαφορά είναι ότι τώρα η ροπή αδράνειας της ελεύθερης επιφάνειας θα πρέπει να ληφθεί όχι γύρω από τον κεντροβαρικό άξονα της δεξαμενής (όπως γίνεται για τις ελεύθερες επιφάνειες), αλλά γύρω από τον άξονα συμμετρίας του πλοίου.** Αυτή η ροπή αδράνειας μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$i' = i + Ay^2 \quad (97)$$

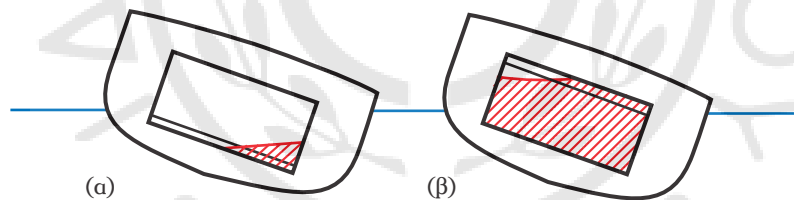
όπου:  $i$  είναι η ροπή αδράνειας της δεξαμενής γύρω από το διαμήκη κεντροβαρικό της άξονα σε  $m^4$  ή  $ft^4$ ,  $i'$  η ροπή αδράνειας της δεξαμενής γύρω από το διαμήκη άξονα συμμετρίας του πλοίου σε  $m^4$  ή  $ft^4$ ,  $A$  η επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής σε  $m^2$  ή  $ft^2$  και  $y$  η εγκάρσια απόσταση μεταξύ του διαμήκους κεντροβαρικού άξονα της δεξαμενής και του άξονα συμμετρίας του πλοίου σε  $m$  ή  $ft$ .

### Παράδειγμα 1.

Το πλοίο Α βρίσκεται στην κατάσταση του παραδείγματος 1 της παραγράφου 10.7 ( $\Delta = 12432$  MT,  $KG = 12,1$  m, καμπύλη ευστάθειας όπως στο σχ. 10.7). Στην κατάσταση αυτή είναι κενές οι δεξαμενές πετρελαίου λεβήτων αριστερής πλευράς μεταξύ των νομέων 214–220 (δεξαμενή Α) και πετρελαίου diesel χρήσεως αριστερής πλευράς μεταξύ των νομέων 19–21 (δεξαμενή Β).

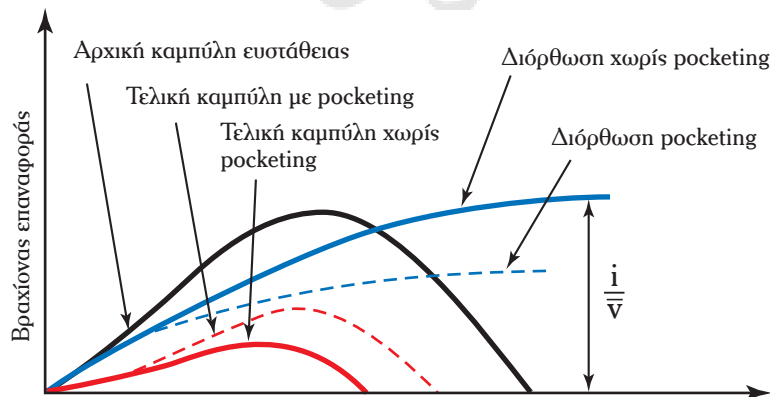
Πραγματοποιούνται οι παρακάτω μεταγίσεις πετρελαίου:

- Το πετρέλαιο λεβήτων της δεξιάς δεξαμενής διπυθμένου του μηχανοστασίου που βρίσκεται μεταξύ των νομέων 26 και 39 (δεξαμενή Γ), η οποία είναι αρχικά γεμάτη, μεταφέρεται στη δεξαμενή Α. Στη νέα αυτή θέση το κέντρο βάρους του πετρελαίου βρίσκεται 9 m πάνω από την τροπίδα και 5 m προς τα αριστερά του επιπέδου συμμετρίας του πλοίου. Το κέντρο όγκου της δεξαμενής Γ βρίσκεται 4 m προς τα δεξιά του επιπέδου συμμετρίας του πλοίου.



Σχ. 10.9ι.

Pocketing σε δεξαμενή. α) Χαμηλή σιάθμη. β) Υψηλή σιάθμη.



Σχ. 10.9ια.

Διόρθωση ελεύθερης επιφάνειας με και χωρίς pocketing.

– Το πετρέλαιο diesel της δεξιάς δεξαμενής διπυθμένου του μηχανοστασίου που βρίσκεται μεταξύ των νομέων 26–39 (δεξαμενή Δ), η οποία είναι αρχικά γεμάτη, μεταφέρεται στη δεξαμενή Β. Στη θέση αυτή το κέντρο βάρους του πετρελαίου βρίσκεται 10,5 m πάνω από την τρόπιδα και 5,3 m προς τα αριστερά του επιπέδου συμμετρίας του πλοίου. Το κέντρο όγκου της δεξαμενής Δ βρίσκεται 3,8 m προς τα δεξιά του επιπέδου συμμετρίας του πλοίου.

Το πλοίο αρχικά δεν έχει εγκάρσια κλίση.

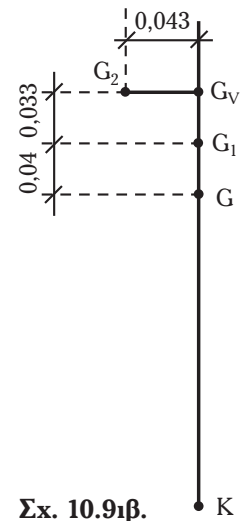
Ζητείται να βρεθεί η καμπύλη ευστάθειας του πλοίου στη νέα κατάσταση.

Με την παρατήρηση ότι όσα στοιχεία δεν δίνονται στην εκφώνηση του προβλήματος μπορούν να βρεθούν από τον πίνακα 5.8.1 (για το πλοίο Α), καταρτίζουμε τον πίνακα 10.9.2. Από τη συμπλήρωση των στοιχείων του πίνακα που είναι σχετική απλή και, λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες σημειώσεις, διαπιστώνουμε ότι:

- Το κέντρο βάρους του πλοίου μετακινείται προς τα πάνω, κατά  $12,14 - 12,1 = 0,04$  m (λόγω κατακόρυφης μεταφοράς βαρών).
- Μετακινείται επίσης προς τα πάνω (λόγω ελεύθερης επιφάνειας) κατά 0,033 m.
- Τέλος μετακινείται εγκάρσια προς τα αριστερά κατά 0,043 m.

Οι παραπάνω μετακινήσεις παρουσιάζονται στο σχήμα 10.9ιβ.

Στη συνέχεια, ξεκινώντας από τα στοιχεία της καμπύλης ευστάθειας του πίνακα 10.7.1 συμπληρώνουμε τον πίνακα 10.9.3. Με τα στοιχεία της στήλης 8 του πίνακα αυτού μπορούμε να χαράξουμε τη νέα καμπύλη ευστάθειας του πλοίου, η οποία θα βρίσκεται σε όλες τις γωνίες χαμηλότερα από εκείνη του σχήματος 10.7.



Σχ. 10.9ιβ.

**Πίνακας 10.9.2**  
**Εύρεση στοιχείων κέντρου βάρους του πλοίου.**

| στήλη 1         | στήλη 2              | στήλη 3                                  | στήλη 4   | στήλη 5                              | στήλη 6                            | στήλη 7                                  | στήλη 8               | στήλη 9  |
|-----------------|----------------------|--|---|--------------------------------------|------------------------------------|--|-----------------------|--|
| Περιγραφή       | Βάρος (MT)           | Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους (vcg) (m) | Εγκάρσια θέση κέντρου βάρους (tcg) (m) <sup>7</sup> | Κατακόρυφη ροπή = (2) × (3) (MT – m) | Εγκάρσια ροπή = (2) × (4) (MT – m) | Ελεύθερη επιφάνεια (i) (m <sup>4</sup> ) | $\gamma_t/\gamma_w$   | $i (\gamma_t/\gamma_w) = (7) \times (8) (m^4)$ |
| Πλοίο           | 12432 <sup>(6)</sup> | 12,1 <sup>(6)</sup>                      | 0,00 <sup>(8)</sup>                                 | 150427                               | 0                                  | –  | –                     |  |
| Δεξαμενή Α (ΑΡ) | +31,4 <sup>(3)</sup> | 9,0 <sup>(6)</sup>                       | +5,0 <sup>(6)</sup>                                 | 283                                  | +157                               | 422 <sup>(5)</sup>                       | 0,924 <sup>(11)</sup> | 390  |
| Δεξαμενή Β (ΑΡ) | +27,7 <sup>(4)</sup> | 10,5 <sup>(6)</sup>                      | +5,3 <sup>(6)</sup>                                 | 291                                  | +147                               | 18                                       | 0,820 <sup>(12)</sup> | 15   |
| Δεξαμενή Γ (ΔΕ) | -31,4 <sup>(1)</sup> | 1,03 <sup>(5)</sup>                      | -4,0 <sup>(6)</sup>                                 | -32                                  | +126                               | Δεξαμενή κενή                            | –                     |  |
| Δεξαμενή Δ (ΔΕ) | -27,7 <sup>(2)</sup> | 1,03 <sup>(5)</sup>                      | -3,8 <sup>(6)</sup>                                 | -29                                  | +105                               | Δεξαμενή κενή                            | –                     |  |
| <b>Σύνολο</b>   | <b>12432</b>         | <b>12,14<sup>(9)</sup></b>               | <b>0,043<sup>(10)</sup></b>                         | <b>150940</b>                        | <b>535</b>                         |  |                       | <b>405</b>                                     |

#### Σημειώσεις.

- (1) Ο όγκος της δεξαμενής από τον πίνακα 5.8.1 είναι 33 m<sup>3</sup>. Με συντελεστή στοιβασίας 1,05 m<sup>3</sup>/MT έχομε  $\omega = 33/1,05 = 31,43$  MT.
- (2) Ο όγκος της δεξαμενής από τον πίνακα 5.8.1 είναι 33 m<sup>3</sup>. Με συντελεστή στοιβασίας 1,19 m<sup>3</sup>/MT έχομε  $\omega = 33/1,19 = 27,73$  MT.
- (3) Βάρος ίσο με εκείνο που μεταφέρεται από τη δεξαμενή Γ.
- (4) Βάρος ίσο με εκείνο που μεταφέρεται από τη δεξαμενή Δ.
- (5) Στοιχεία από πίνακα 5.8.1.
- (6) Στοιχεία από την εκφώνηση του προβλήματος.
- (7) Βραχίονες + προς τα αριστερά και – προς τα δεξιά.
- (8) Επειδή το πλοίο στην αρχική κατάσταση δεν έχει εγκάρσια κλίση.
- (9)  $VCG_1 = 150940/12432 = 12,14$  m.
- (10)  $TCC_1 = 535/12432 = 0,043$  m.
- (11)  $(\gamma_i/\gamma_w) = 947/1025 = 0,924$ .
- (12)  $(\gamma_t/\gamma_w) = 841/1025 = 0,820$ .

$$\left. \begin{array}{l} \text{Φαινομενική ανύψωση} \\ \text{κέντρου βάρους λόγω} \\ \text{ελεύθερης επιφάνειας} \end{array} \right\} = \frac{\Sigma \left( i \frac{\gamma_t}{\gamma_w} \right)}{\bar{V}} = \frac{405}{12432/1,025} = 0,033$$

### Παράδειγμα 2.

Το πλοίο Α πλέει έμφορτο στην κατάσταση του παραδείγματος 2 της παραγράφου 10.7 ( $\Delta = 54988$  tn,  $KG = 9,85$  m, καμπύλη ευστάθειας όπως φαίνεται στο σχ. 10.8) με ένα ασύμμετρο διαμερίσματά του σε ελεύθερη επικοινωνία με τη θάλασσα. Το διαμέρισμα που επικοινωνεί με τη θάλασσα έχει:

- Ροπή αδράνειας ελεύθερης επιφάνειας  $4000 \text{ m}^4$ .
  - Ελεύθερη επιφάνεια  $200 \text{ m}^2$ .
  - Απόσταση διαμήκη άξονα ελεύθερης επιφάνειας από επίπεδο συμμετρίας πλοίου 7 m.
- Ζητείται να βρεθεί η καμπύλη ευστάθειας του πλοίου στην παραπάνω κατάσταση.

Από τη σχέση (97) έχουμε:

$$i' = i + Ay^2 = 4000 + (200) \times (7)^2 = 13800 \text{ m}^4$$

$$GG_V = \frac{y_t}{y_w} \times \frac{i'}{\bar{V}} = \frac{1,025}{1,025} \times \frac{13800}{54988/1,025} = 0,257 \text{ m}$$

Στη συνέχεια συμπληρώνουμε τον πίνακα 10.9.4, από τη στήλη 5 του οποίου μπορούμε να πάρουμε στοι-

**Πίνακας 10.9.3**  
**Διορθώσεις καμπύλης ευστάθειας.**

| στήλη 1          | στήλη 2            | στήλη 3             | στήλη 4                   | στήλη 5                                     | στήλη 6   | στήλη 7   | στήλη 8                           |
|------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|---|---|---|-----------------------------------|
| Γωνία φ (μοίρες) | ημφ <sup>(1)</sup> | συνφ <sup>(1)</sup> | GZ (από πίνακα 9.7.1) (m) | $GG_V \times \eta\mu\phi = 0,04 \times (2)$ | $G_1 G_V \times \eta\mu\phi = 0,033 \times (2)$ | $G_V G_2 \times \sigma\upsilon\nu\phi = 0,043 \times (3)$ | $G_2 Z_2 = (4) - (5) - (6) - (7)$ |
| 0                | 0,000              | 1,000               | 0,000                     | 0,000                                       | 0,000   | 0,043   | -0,043                            |
| 15               | 0,258              | 0,966               | 2,610                     | 0,010                                       | 0,008   | 0,041   | 2,551                             |
| 30               | 0,500              | 0,866               | 2,555                     | 0,020                                       | 0,017   | 0,037   | 2,481                             |
| 45               | 0,707              | 0,707               | 1,459                     | 0,028                                       | 0,023   | 0,030   | 1,378                             |
| 60               | 0,866              | 0,500               | 0,192                     | 0,035                                       | 0,028   | 0,021   | 0,108                             |
| 75               | 0,966              | 0,258               | -1,421                    | 0,038                                       | 0,032   | 0,011   | -1,502                            |
| 90               | 1,000              | 0,000               | -3,240                    | 0,040                                       | 0,033   | 0,000   | -3,313                            |

#### Σημείωση.

(1) Από τριγωνομετρικούς πίνακες όπως ο πίνακας 10.9.1.

**Πίνακας 10.9.4**  
**Διορθώσεις καμπύλης ευστάθειας.**

| στήλη 1          | στήλη 2 | στήλη 3                    | στήλη 4                                      | στήλη 5               |
|------------------|---------|----------------------------|--|-----------------------|
| Γωνία φ (μοίρες) | ημφ     | GZ (από πίνακα 10.7.2) (m) | $GG_V \times \eta\mu\phi = 0,257 \times (2)$ | $G_V Z_1 = (3) - (4)$ |
| 0                | 0,000   | 0,000                      | 0,000  | 0,000                 |
| 15               | 0,258   | 0,612                      | 0,066  | 0,546                 |
| 30               | 0,500   | 0,960                      | 0,128  | 0,832                 |
| 45               | 0,707   | 0,840                      | 0,182  | 0,658                 |
| 60               | 0,866   | 0,400                      | 0,222  | 0,178                 |
| 75               | 0,966   | -0,278                     | 0,248  | -0,526                |
| 90               | 1,000   | -1,080                     | 0,257  | -1,337                |

χεία για τη χάρση της καμπύλης ευστάθειας του πλοίου.

### 10.10 Συσχετισμός της αρχικής ευστάθειας με την ευστάθεια μεγάλων γωνιών κλίσεως.

Ορισμένα συμπεράσματα ως προς το συσχετισμό της αρχικής ευστάθειας με την ευστάθεια μεγάλων γωνιών κλίσεως μπορούν να προκύψουν από τη σχέση του Scribanti (σχέση 91) που, όπως είδαμε, έχει τη μορφή:

$$GZ = n\mu\phi \left[ GM_T + \frac{BM_T}{2} \epsilon\phi^2 \phi \right]$$

Πρώτα απ' όλα στη σχέση αυτή αν θεωρήσουμε ότι για μικρές γωνίες κλίσεως η  $\epsilon\phi\phi$  είναι ένας μικρός αριθμός, η  $\epsilon\phi^2\phi$  είναι πάρα πολύ μικρός και επομένως ο αντίστοιχος όρος στη σχέση Scribanti μπορεί να παραλειφθεί, οδηγώντας έτσι στη γνωστή σχέση που είδαμε ότι ισχύει στις μικρές γωνίες:

$$GZ \simeq GM_T n\mu\phi$$

Από τη διερεύνηση της σχέσεως (91) έχουμε επίσης:

#### 1) Αν $GM_T > 0$ .

Ο μοχλοβραχίονας  $GZ$  έχει την τιμή μηδέν, δηλαδή το πλοίο ισορροπεί όταν:

$$0 = n\mu\phi \left[ GM_T + \frac{BM_T}{2} \epsilon\phi^2 \phi \right]$$

Η συνθήκη αυτή ικανοποιείται όταν:

$$n\mu\phi = 0 \text{ ή } \phi = 0$$

ή όταν

$$\epsilon\phi\phi = \pm \sqrt{\frac{-2GM_T}{BM_T}}$$

Επειδή δεν υπάρχει πραγματική τιμή της  $\phi$  που να ικανοποιεί την τελευταία σχέση, είναι φανερό ότι **ένα πλοίο με θετικό μετακεντρικό ύψος ισορροπεί στην κατακόρυφη θέση ( $\phi = 0$ ).**

#### 2) Αν $GM_T = 0$ .

Η σχέση (91) στη θέση ισορροπίας του πλοίου παίρνει τη μορφή:

$$0 = \frac{1}{2} BM_T n\mu\phi \epsilon\phi^2 \phi$$

που ικανοποιείται μόνο για  $\phi = 0$ .

**Αυτό σημαίνει ότι ένα πλοίο με μηδενικό μετακεντρικό ύψος ισορροπεί στην κατακόρυφη θέση και όταν απομακρυνθεί απ' αυτήν δημιουργείται ένας βραχίονας επαναφοράς που μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:**

$$GZ = \frac{1}{2} BM_T n\mu\phi \epsilon\phi^2 \phi$$

#### 3) Αν $GM_T < 0$ .

Η σχέση (91) στη θέση ισορροπίας του πλοίου παίρνει τη μορφή:

$$0 = n\mu\phi \left( -|GM_T| + \frac{1}{2} BM_T \epsilon\phi^2 \phi \right)$$

που ικανοποιείται όταν:

$$n\mu\phi = 0 \text{ ή } \phi = 0$$

και όταν:

$$\varepsilon\varphi\varphi = \pm \sqrt{\frac{2|GM_T|}{BM_T}} \quad (98)$$

Αλλά όταν  $\varphi = 0$ , ο μοχλοβραχίονας είναι αρνητικός. Έχομε δηλαδή ροπή ανατροπής. **Έτσι, η κατακόρυφη θέση για ένα πλοίο με αρνητικό μετακεντρικό ύψος είναι θέση ασταθούς ισορροπίας.**

Αντίθετα, σε μια γωνία που βρίσκεται από τη σχέση

$$\varphi = \pm \text{τοξ} \left\{ \varepsilon\varphi \sqrt{\frac{2|GM_T|}{BM_T}} \right\} \quad (99)$$

**το πλοίο ισορροπεί και βρίσκεται σε ευσταθή ισορροπία. Η γωνία αυτή ονομάζεται γωνία κλίσεως λόγω αρνητικού μετακεντρικού ύψους (angle of loll).**

Έτσι βλέπομε ότι ένα πλοίο με αρνητικό μετακεντρικό ύψος δεν ανατρέπεται αλλά ισορροπεί, χωρίς διάκριση, σε κάποια γωνία προς τα δεξιά ή αριστερά που βρίσκεται από τη σχέση (99).

Όταν ένα πλοίο έχει αρνητικό αρχικό μετακεντρικό ύψος  $(GM_T)_0$ , τότε το μετακεντρικό του ύψος  $GM_T$ , στη γωνία κλίσεως λόγω αρνητικού μετακεντρικού ύψους (angle of loll) [σχέση (99)] μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$GM_T = 2(GM_T)_0 \sqrt{1 + \frac{2|GM_T|_0}{BM_T}} \quad (100)$$

όπου:  $GM_T$  το μετακεντρικό ύψος στη γωνία κλίσεως λόγω αρνητικού μετακεντρικού ύψους και  $|GM_T|_0$  η απόλυτη τιμή του αρχικού αρνητικού μετακεντρικού ύψους.

### Παράδειγμα.

Η ροπή αδράνειας της επιφάνειας της ισάλου ενός πλοίου είναι  $4500000 \text{ ft}^4$ .

Το εκτόπισμα του πλοίου είναι 8000 LT. Επίσης είναι:  $KB = 7 \text{ ft}$  και  $KG = 21 \text{ ft}$ .

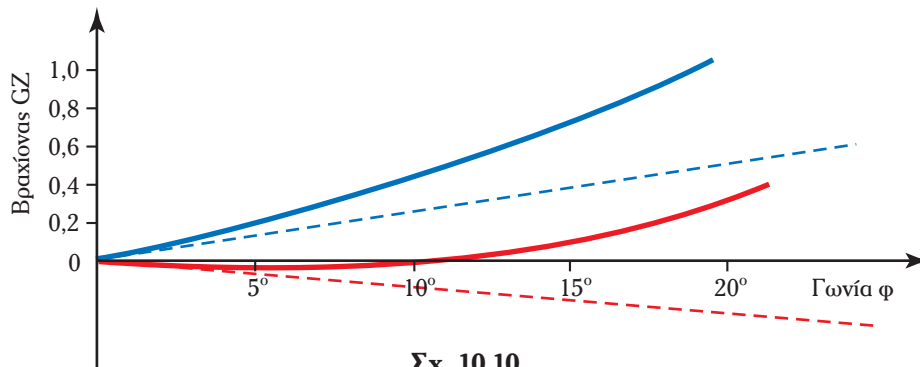
Θα έχομε:

$$BM_T = \frac{I}{V} = \frac{4500000}{(8000) \times (35)} = 16,08 \text{ ft}$$

Έτσι:

$$GM_T = KB + BM_T - KG = 7 + 16,08 - 21 = 2,08 \text{ ft}$$

Εφαρμογή της σχέσεως (91) σε γωνίες  $0^\circ - 20^\circ$  δίνει στοιχεία, με τα οποία καράσομε την μπλε καμπύλη του σχήματος 10.10.



Σχ. 10.10.

Αρχική και τελική καμπύλη ευστάθειας.

Αν για κάποιο λόγο ανυψωθεί το κέντρο βάρους, ώστε το πλοίο να αποκτήσει αρνητικό μετακεντρικό ύψος ίσο με 3", θα έχουμε από τη σχέση (98):

$$\epsilon\phi\phi = \sqrt{\frac{2|GM_T|}{BM_T}} = \sqrt{\frac{2 \times 3}{12 \times 16,08}} = \frac{1}{5,67}$$

και επομένως  $\phi = 10^\circ$ .

Επειδή το  $GM_T$  ήταν αρχικά 2,08 ft και τελικά έγινε αρνητικό και ίσο με 0,25 ft (3 in), η ανύψωση του κέντρου βάρους του θα πρέπει να ήταν  $2,08 - (-0,25) = 2,33$  ft. Επομένως, στη νέα κατάσταση οι μοχλοβραχίονες επαναφοράς με βάση τη σχέση  $G_1Z_1 = GZ - GG_1 \eta\mu\phi$ , θα είναι:

Για  $\phi = 0^\circ$   $G_1Z_1 = 0$ .

$\phi = 5^\circ$   $G_1Z_1 = 0,188 - 2,33 \times 0,087 = -0,015$  ft.

$\phi = 10^\circ$   $G_1Z_1 = 0,405 - 2,33 \times 0,174 = 0$  ft.

$\phi = 15^\circ$   $G_1Z_1 = 0,688 - 2,33 \times 0,259 = 0,085$  ft.

$\phi = 20^\circ$   $G_1Z_1 = 1,078 - 2,33 \times 0,342 = 0,281$  ft.

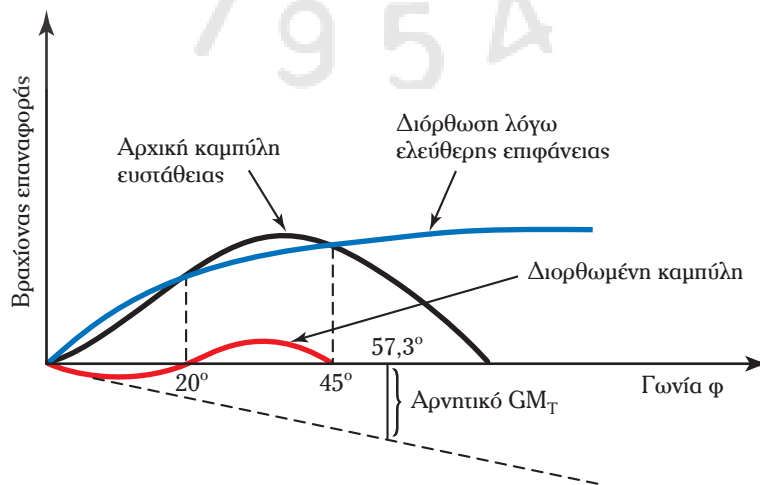
Τιμές για το  $GZ$  στις διάφορες γωνίες έχουν βρεθεί από τη σχέση (91). Με τις τιμές του  $G_1Z_1$  στις αντίστοιχες γωνίες μπορούμε να χαράξουμε στο σχήμα 9.10 την κόκκινη καμπύλη που τέμνει τον οριζόντιο άξονα σε γωνία ίση με  $10^\circ$  (γωνία εγκάρσιας κλίσεως λόγω αρνητικού μετακεντρικού ύψους).

Η τομή της εφαπτομένης στην κόκκινη καμπύλη σε γωνία  $0^\circ$  με μια κάθετο σε γωνία  $57,3^\circ$  θα μας δώσει το μετακεντρικό ύψος, το οποίο, όπως φαίνεται και από το σχήμα για την περίπτωση του δεύτερου μέρους αυτού του παραδείγματος, είναι αρνητικό.

### 10.11 Καμπύλη ευστάθειας πλοίου με αρνητικό μετακεντρικό ύψος.

Στο σχήμα 10.11 φαίνεται η καμπύλη ευστάθειας ενός πλοίου. Αν στο πλοίο δημιουργηθεί μια μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια, η καμπύλη ευστάθειας θα πρέπει να διορθωθεί σύμφωνα μ' αυτά που αναφέραμε στο εδάφιο 5 της παραγράφου 10.9. Η σχετική διόρθωση φαίνεται επίσης στο σχήμα με μπλε χρώμα. Από την αφαίρεση των τεταγμένων της αρχικής καμπύλης και της καμπύλης διορθώσεως προκύπτει η διορθωμένη καμπύλη ευστάθειας που φαίνεται στο σχήμα με κόκκινο χρώμα. Στη διορθωμένη καμπύλη ευστάθειας παρατηρούμε ότι:

- 1) Το αρχικό της τμήμα έχει αρνητικούς βραχίονες επαναφοράς (ροπή ανατροπής).
- 2) Το εύρος ευστάθειας είναι μικρότερο από ό,τι στην αρχική καμπύλη.
- 3) Οι βραχίονες επαναφοράς ακόμα και εκεί που είναι θετικοί έχουν πολύ μικρές τιμές.



Σχ. 10.11.

Καμπύλη ευστάθειας πλοίου με αρνητικό μετακεντρικό ύψος.



4) Θετικούς βραχίονες επαναφοράς έχουμε μόνο στην περιοχή  $20^\circ$  έως  $45^\circ$ . (Για την περίπτωση του σχήματος 10.11).

**Στην περιοχή από  $0^\circ$  έως  $20^\circ$  έχουμε ασταθή ισορροπία, γιατί αύξηση της εγκάρσιας κλίσεως δεν δημιουργεί ροπή επαναφοράς.**

Έτσι το πλοίο που έχει τη διορθωμένη καμπύλη ευστάθειας του σχήματος 10.11 δεν μπορεί σε ήρεμο νερό να ισορροπήσει στην κατακόρυφη θέση, αλλά ισορροπεί μόνο με εγκάρσιες κλίσεις  $20^\circ$  προς την αριστερή ή τη δεξιά πλευρά.

**Ένα πλοίο που σε ήρεμο νερό ισορροπεί χωρίς διάκριση τότε προς την αριστερή και τότε προς τη δεξιά πλευρά χωρίς να υπάρχει καμιά εξωτερική αιτία γι' αυτό, έχει αρνητικό μετακεντρικό ύψος.**

Σε θαλασσοταραχή, το πλοίο με την καμπύλη του σχήματος 10.11 θα διατοιχίζεται γύρω από τη γωνία των  $20^\circ$ .

Η ελεύθερη επιφάνεια δεν είναι ο μόνος λόγος που μπορεί να δημιουργήσει αρνητικό μετακεντρικό ύψος σ' ένα πλοίο. Άλλοι λόγοι είναι επίσης:

- 1) Η προσθήκη βαρών με κέντρο βάρους ψηλότερα από το κέντρο βάρους του πλοίου.
- 2) Η αφαίρεση βαρών με κέντρο βάρους χαμηλότερα από το κέντρο βάρους του πλοίου.
- 3) Η μεταφορά βαρών από χαμηλά σημεία του πλοίου προς τα πάνω.
- 4) Πολύ μικρό βύθισμα του πλοίου, που προκαλεί ελάττωση του  $KM_T$ .

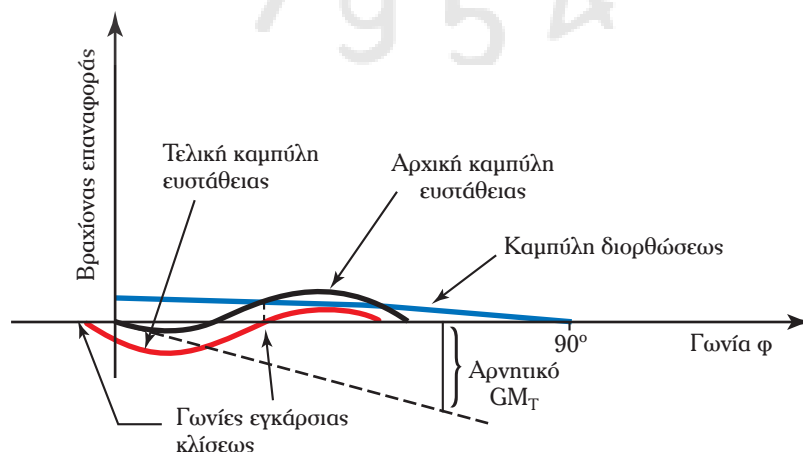
### 10.12 Συνδυασμός αρνητικού μετακεντρικού ύψους και ασύμμετρης κατανομής βαρών.

Ας θεωρήσουμε ένα πλοίο που έχει αρνητικό μετακεντρικό ύψος και καμπύλη ευστάθειας, όπως φαίνεται με μαύρο χρώμα στο σχήμα 10.12. Αν στο πλοίο δημιουργηθεί ασύμμετρη (κατά το εγκάρσιο) κατανομή βαρών, σύμφωνα με αυτά που έχουμε πει στο εδάφιο 3 της παραγράφου 10.9, πρέπει να γίνει στην καμπύλη διόρθωση που φαίνεται με μπλε χρώμα. Από την αφαίρεση των τεταγμένων της καμπύλης διορθώσεως από την αρχική, προκύπτει η τελική καμπύλη ευστάθειας που φαίνεται με κόκκινο χρώμα στο σχήμα, όπου βλέπουμε επίσης τη γωνία εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου.

**Ένδειξη υπάρξεως αυτής της καταστάσεως σ' ένα πλοίο είναι η ισορροπία του χωρίς διάκριση σε κάποια γωνία προς τη μια πλευρά ή σε κάποια μικρότερη γωνία προς την αντίθετη πλευρά, χωρίς να υπάρχουν εξωτερικά αίτια.**

### 10.13 Συσκευές υπολογισμού και ενδείκτες ευστάθειας.

Οι συσκευές αυτές στην πραγματικότητα αποτελούν υπολογιστές που έχουν τη δυνατότητα να κάνουν



Σχ. 10.12.

Καμπύλη ευστάθειας πλοίου με αρνητικό  $GM_T$  και ασύμμετρη κατανομή βαρών.

όλους τους υπολογισμούς ευστάθειας σε κάθε κατάσταση φορτώσεως του πλοίου. Διακρίνονται σε **παθητικές** (passive), στις οποίες η εισαγωγή των μεταβλητών παραμέτρων (βυθίσματα, στάθμες δεξαμενών, ποσότητες φορτίου σε κάθε αμπάρι κ.λπ.) εισάγονται στον υπολογιστή από τους χειριστές και σε **ενεργητικές** (active), όπου η εισαγωγή των στοιχείων γίνεται αυτόματα με τη βοήθεια ειδικών αισθητηρίων (π.χ αυτομάτων καταμετρικών στάθμης στις δεξαμενές).

Τα σταθερά στοιχεία που απαιτούνται για τους υπολογισμούς (π.χ. υδροστατικό διάγραμμα, γεωμετρία του πλοίου, καμπύλες ευστάθειας, απαιτήσεις κανονισμών κ.λπ.) εισάγονται εκ των προτέρων από τους προγραμματιστές. **Αυτονόητο λοιπόν είναι ότι κάθε τέτοια συσκευή είναι κατάλληλη μόνο για το συγκεκριμένο πλοίο** και ότι αυτά τα στοιχεία θα πρέπει να τροποποιούνται σε περίπτωση μετασκευής του.

**Η ύπαρξη τέτοιων συσκευών δεν υποκαθιστά την ύπαρξη στο πλοίο του υποχρεωτικού από τους κανονισμούς εγχειριδίου ευστάθειας.**

Για να μην δημιουργείται σύγχυση, τα στοιχεία με τα οποία οι χειριστές είναι υποχρεωμένοι να τροφοδοτούν τις συσκευές είναι τα ίδια με αυτά που προβλέπονται στο εγχειρίδιο ευστάθειας του πλοίου.

Οι συσκευές αυτές διακρίνονται στους εξής τύπους:

#### **Τύπος 1.**

Υπολογίζουν την ευστάθεια μόνο στην άθικτη κατάσταση.

#### **Τύπος 2.**

Υπολογίζουν την ευστάθεια στην άθικτη κατάσταση, καθώς και την ανταπόκριση του πλοίου σε περίπτωση βλάβης σε συγκεκριμένες απαιτήσεις (όπως στους κανονισμούς της SOLAS).

#### **Τύπος 3.**

Υπολογίζουν την ευστάθεια στην άθικτη κατάσταση, καθώς και για συγκεκριμένες εκ των προτέρων συνθήκες βλάβης.

Για κάθε κατάσταση φορτώσεως που εξετάζεται και με στόχο την πληρέστερη ενημέρωση των χειριστών, στα αποτελέσματα των παραπάνω συσκευών θα πρέπει να περιλαμβάνονται λεπτομέρειες συνθέσεως του Deadweight (περιλαμβανομένων των κέντρων βάρους και των ελευθέρων επιφανειών), η διαγωγή, τα βυθίσματα, τυχόν εγκάρσια κλίση, τα VCG, LCG, TCG, VCB, LCB, TCB, LCF, GM<sub>T</sub> και GM<sub>L</sub>, πίνακας με τους μοχλοβραχίονες επαναφοράς και στοιχεία από τα οποία να προκύπτει η ανταπόκριση με τις απαιτήσεις των κανονισμών που ισχύουν για το συγκεκριμένο πλοίο και το συγκεκριμένο φορτίο, **με εμφανή ένδειξη σε περίπτωση μη ανταποκρίσεως.**

Με βάση τα λεπτομερή εγχειρίδια των συσκευών, που υποχρεωτικά πρέπει να υπάρχουν στο πλοίο, οι χειριστές, χωρίς να είναι υποχρεωμένοι οι ίδιοι να πραγματοποιούν πολύπλοκους υπολογισμούς, μπορούν να επιβεβαιώνουν ότι η συγκεκριμένη φόρτωση ικανοποιεί πλήρως τις απαιτήσεις ασφάλειας που καθορίζονται στους κανονισμούς και **αν δεν συμβαίνει αυτό να λαμβάνουν τα αναγκαία διορθωτικά μέτρα εξετάζοντας διαφορετικούς τρόπους φορτώσεως.**

## 11. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

### 11.1 Ορισμός. Πρακτική εξήγηση της έννοιας της δυναμικής ευστάθειας.

Στο σχήμα 11.1α φαίνεται η μεταβολή της ροπής επαναφοράς ενός πλοίου σε συνάρτηση με τη γωνία εγκάρσιας κλίσεως  $\varphi$ . Αυτή η καμπύλη, με βάση όσα έχουν αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, προκύπτει από την καμπύλη μοχλοβραχιόνων επαναφοράς, αν:

1) Πολλαπλασιάσουμε τους βραχίονες επαναφοράς με το εκτόπισμα του πλοίου.

2) Μετατρέψουμε την κλίμακα των γωνιών από μοίρες σε ακτίνια με βάση το γεγονός ότι μία μοίρα είναι ίση με  $1/57,3$  ακτίνια.

Εξάλλου γνωρίζουμε από τη Μηχανική ότι κατά την περιστροφική κίνηση ενός σώματος, το έργο που παράγεται δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Έργο} = [\text{Ροπή}] \times [\text{Γωνία περιστροφής σε ακτίνια}] \quad (101)$$

Έτσι, το στοιχειώδες έργο που παράγεται κατά μία μικρή περιστροφή ενός πλοίου κατά γωνία  $d\varphi$  από την επίρεια ροπής  $M$ , θα είναι ίσο με:

$$dW = M d\varphi \quad (102)$$

Το έργο που χρειάζεται να δαπανηθεί για να αυξηθεί η εγκάρσια κλίση του πλοίου από μια γωνία  $\varphi_1$ , σε κάποια άλλη  $\varphi_2$ , βρίσκεται με ολοκλήρωση της σχέσεως (102).

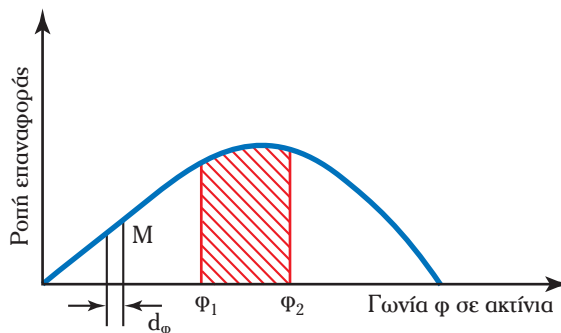
Δηλαδή:

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} dW = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M d\varphi \quad (103)$$

Συγκρίνοντας τη σχέση (102) με την (26) διαπιστώνουμε ότι το ολοκλήρωμα της σχέσεως (103) έχει αριθμητική τιμή ίση με το σκιασμένο εμβαδόν του σχήματος 11.1α.

**Ως δυναμική ευστάθεια του πλοίου στη γωνία  $\varphi$  ορίζουμε το έργο που χρειάζεται να δαπανηθεί για τη μεταβολή της εγκάρσιας γωνίας κλίσεως του πλοίου από γωνία  $0^\circ$  σε γωνία  $\varphi$ .**

Με βάση τα παραπάνω ορίζουμε ως **δυναμική ευστάθεια του πλοίου σε κάποια γωνία  $\varphi$  εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης ευστάθειας, του οριζόντιου άξονα και μιας ευθείας κάθε-**



Σχ. 11.1α.

Γενικός ορισμός δυναμικής ευστάθειας.

της στον οριζόντιο άξονα στη θέση της γωνίας  $\varphi$ . (Διαγραμματισμένη επιφάνεια στο σχ. 11.1β).

Στο ίδιο σχήμα βλέπουμε πώς ορίζεται και η **εφεδρική δυναμική ευστάθεια, που είναι ίση με τη μη διαγραμματισμένη επιφάνεια.**

**Η ολική δυναμική ευστάθεια είναι ολόκληρο το εμβαδόν που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη ευστάθειας.**

## 11.2 Γωνία εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου κάτω από την επίδραση εξωτερικής ροπής.

Η γωνία εγκάρσιας κλίσεως που παίρνει ένα πλοίο κάτω από την επίδραση μιας εξωτερικής εγκάρσιας ροπής εξαρτάται από τον τρόπο εφαρμογής της, δηλαδή, όπως λέμε, από το **αν η ροπή εφαρμόζεται στατικά ή δυναμικά.**

### 1) Στατική εφαρμογή εγκάρσιας ροπής.

As υποθέσουμε ότι ένα βάρος πλοίου που αρχικά έπλεε σε κατακόρυφη θέση τοποθετείται με γερανό της ξηράς από το επίπεδο συμμετρίας στην πλευρά. Όπως είδαμε στο εδάφιο 3 της παραγράφου 10.9, η ροπή που δημιουργεί το βάρος αυτό περιγράφεται με μια συνημιτονοειδή καμπύλη (μπλε του σχ. 11.2).

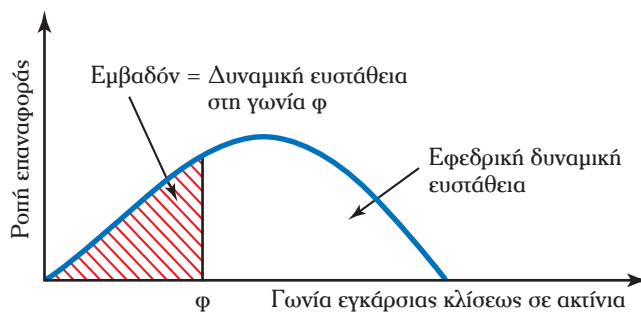
Αν η κίνηση γίνει πολύ αργά (στατικά), τότε, για ισορροπία, το πλοίο θα πάρει τέτοια εγκάρσια κλίση, ώστε η ροπή κλίσεως λόγω της μεταφοράς του βάρους και η ροπή επαναφοράς να είναι ίσες. Αυτό συμβαίνει στο σημείο τομής των δύο καμπυλών (ροπής κλίσεως και ροπής επαναφοράς), δηλαδή στη γωνία  $\varphi_{stat}$ .

#### Συμπέρασμα:

**Όταν στο πλοίο εφαρμοσθεί κάποια εξωτερική ροπή στατικά, η εγκάρσια κλίση του είναι τέτοια, ώστε η ροπή επαναφοράς του να είναι ίση με τη ροπή κλίσεως.**

### 2) Δυναμική εφαρμογή εγκάρσιας ροπής.

As θεωρήσουμε τώρα ότι η τοποθέτηση του βάρους στην πλευρά του πλοίου γίνεται απότομα (δυναμικά). Το πλοίο, σ' αυτήν την περίπτωση, θα αρχίσει να παίρνει κλίση με κάποια ταχύτητα. Μέχρι το σημείο Α (σχ. 11.2) η ροπή κλίσεως είναι μεγαλύτερη από τη ροπή επαναφοράς και αυτό τείνει να αυξήσει τη γωνία εγκάρσιας κλίσεως. Στο σημείο Α, παρά το ότι οι δύο ροπές είναι ίσες μεταξύ τους, το πλοίο έχει αποκτήσει κάποια περιστροφική ταχύτητα και επομένως έχει κάποια κινητική ενέργεια. Έτσι, η εγκάρσια κλίση θα αυξηθεί και πέρα από τη γωνία  $\varphi_{stat}$  μέχρι κάποια γωνία  $\varphi_{dyn}$ , όπου, κάτω από την επίρεια της ροπής επαναφοράς που τώρα είναι μεγαλύτερη από τη ροπή κλίσεως, θα επιβραδυνθεί και θα σταματήσει. Φυσικά, αφού στο σημείο αυτό υπερτερεί η ροπή επαναφοράς, το πλοίο θα αρχίσει να παίρνει αντίθετη κλίση και, κάτω από την επίδραση της αντιστάσεως του νερού στα ύφαλά του, μετά από μερικές ταλαντώσεις, θα σταματήσει τελικά στη γωνία  $\varphi_{stat}$ .



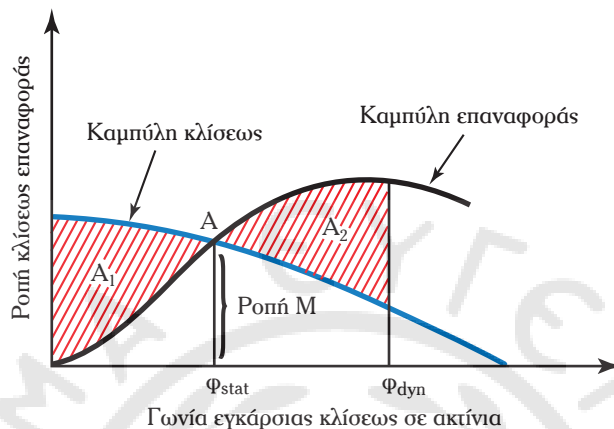
Σχ. 11.1β.

Ορισμός δυναμικής ευστάθειας.

**Συμπέρασμα:**

Όταν στο πλοίο εφαρμοσθεί κάποια εξωτερική ροπή δυναμικά, η μέγιστη εγκάρσια κλίση του είναι μεγαλύτερη από εκείνη, για την οποία η ροπή επαναφοράς και η ροπή κλίσεως είναι μεταξύ τους ίσες.

Εύκολα αποδεικνύεται, αλλά βρίσκεται έξω από τα όρια αυτού του βιβλίου ότι, η τιμή της γωνίας  $\varphi_{dyn}$  είναι τέτοια που οι κόκκινες σκιασμένες επιφάνειες  $A_1$  και  $A_2$ , του σχήματος 11.2 είναι μεταξύ τους ίσες.

**Σχ. 11.2.**

Γωνία εγκάρσιας κλίσεως με επίδραση στατικά ή δυναμικά εξωτερικής ροπής.

**11.3 Σημασία της δυναμικής ευστάθειας για την ασφάλεια του πλοίου.**

Κατά τη χρησιμοποίηση του πλοίου, σπάνια οι ροπές που δημιουργούν εγκάρσιες κλίσεις εφαρμόζονται στατικά. Παραδείγματα περιπτώσεων που εφαρμόζονται στο πλοίο εγκάρσιες ροπές απότομα, είναι το κύμα, η απότομη πνοή του ανέμου ή η χρησιμοποίηση του πηδαλίου.

Σ' όλες αυτές τις περιπτώσεις, οι εγκάρσιες κλίσεις που δημιουργούνται είναι μεγαλύτερες από τη  $\varphi_{stat}$ . Για το λόγο αυτό, όπως θα δούμε στην παράγραφο 10.3, **οι κανονισμοί συχνά περιέχουν απαιτήσεις οι οποίες αναφέρονται και στη δυναμική ευστάθεια του πλοίου.**

**11.4 Υπολογισμοί της δυναμικής ευστάθειας. Η έννοια του μετροακτινίου και της μετρομοίρας.**

Στην παράγραφο 11.1 είδαμε ότι η δυναμική ευστάθεια του πλοίου σε κάθε γωνία εγκάρσιας κλίσεως  $\varphi$ , είναι ίση με το εμβαδόν που περιέχεται μεταξύ της καμπύλης ευστάθειας, του οριζόντιου άξονα και μιας ευθείας κάθετης στον οριζόντιο άξονα στη θέση της γωνίας  $\varphi$  (σκιασμένο τμήμα του σχ. 11.1β).

Αν και η καμπύλη ευστάθειας δεν εκφράζεται συνήθως από μια μαθηματική σχέση που μπορεί εύκολα να ολοκληρωθεί, οι γνωστοί κανόνες αριθμητικής ολοκλήρωσης μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν για τους σχετικούς υπολογισμούς του παραπάνω εμβαδού.

Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη της ροπής επαναφοράς, όταν ο οριζόντιος άξονας εκφράζει τη γωνία σε ακτίνια, έχει διαστάσεις έργου ή ενέργειας. Συχνά όμως η σχετική επιφάνεια εκφράζεται και σε:

1) **Μετροακτίνια** (m – rad), όταν ο κατακόρυφος άξονας παριστάνει βραχίονες επαναφοράς και ο οριζόντιος γωνίες εγκάρσιας κλίσεως σε ακτίνια (στο αγγλικό σύστημα ft – rad).

2) **Μετρομοίρες** (m – degrees), όταν ο κατακόρυφος άξονας παριστάνει βραχίονες επαναφοράς και ο οριζόντιος γωνίες εγκάρσιας κλίσεως σε μοίρες (στο αγγλικό σύστημα ft – degrees).

Η μετατροπή των μετροακτινίων ή μετρομοιρών σε δυναμική ευστάθεια εκφρασμένη σε MT – m είναι εύκολη από τις σχέσεις:

$$W = \Delta \times (\text{μετροακτίνια}) \quad (104)$$

$$W = \Delta \times (\text{μετρομοίρες}) \times \frac{1}{57,3} \quad (105)$$

όπου:  $W$  η δυναμική ευστάθεια σε  $MT - m$  και  $\Delta$  το εκτόπισμα σε  $MT$ .

Συνήθως οι παραπάνω μετατροπές δεν είναι απαραίτητες, γιατί οι κανονισμοί, όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 13, προδιαγράφουν τις σχετικές απαιτήσεις απ' ευθείας σε μετροακτίνια ή μετρομοίρες.

Διευκρινίζεται ότι η δυναμική ευστάθεια, αν και εκφράζεται στις ίδιες μονάδες με τη ροπή, είναι ένα τελείως διαφορετικό φυσικό μέγεθος.

Στο αγγλικό σύστημα μονάδων η δυναμική ευστάθεια εκφράζεται σε  $LT - ft$  και οι αντίστοιχες μετατροπές μπορεί να γίνουν από τις σχέσεις:

$$W = \Delta \times (\text{ft} - \text{rad}) \quad (105\alpha)$$

$$W = \Delta \times (\text{ft} - \text{degrees}) \times \frac{1}{57,3} \quad (105\beta)$$

όπου:  $W$  η δυναμική ευστάθεια σε  $LT - ft$  και  $\Delta$  το εκτόπισμα σε  $LT$ .

### Παράδειγμα.

Να βρεθεί η δυναμική ευστάθεια μέχρι γωνία  $30^\circ$  και η ολική δυναμική ευστάθεια του πλοίου που έχει την καμπύλη ευστάθειας του σχήματος 10.8 ( $\Delta = 54988 \text{ MT}$ ).

Το τμήμα της καμπύλης από  $0^\circ - 30^\circ$  μπορεί να ολοκληρωθεί με το δεύτερο κανόνα του Simpson και το τμήμα  $30^\circ - 70^\circ$  με τον πρώτο. Έτσι έχουμε:

| στήλη 1                    | στήλη 2                    | στήλη 3             | στήλη 4                     | στήλη 5         | στήλη 6                    | στήλη 7             | στήλη 8   |
|----------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------|-----------|
| Τμήμα $0^\circ - 30^\circ$ |                            |                     | Τμήμα $30^\circ - 70^\circ$ |                 |                            |                     |           |
| Γωνία σε μοίρες            | GZ (από ανάγνωση καμπύλης) | Συντελεστές Simpson | (2) × (3)                   | Γωνία σε μοίρες | GZ (από ανάγνωση καμπύλης) | Συντελεστές Simpson | (6) × (7) |
| 0                          | 0,0                        | 1                   | 0,0                         | 30              | 0,96                       | 1                   | 0,96      |
| 10                         | 0,4                        | 3                   | 1,2                         | 40              | 0,83                       | 4                   | 3,32      |
| 20                         | 0,75                       | 3                   | 2,25                        | 50              | 0,70                       | 2                   | 1,40      |
| 30                         | 0,96                       | 1                   | 0,96                        | 60              | 0,400                      | 4                   | 1,60      |
|                            |                            |                     |                             | 70              | 0,00                       | 1                   | 0,00      |
| Σύνολο                     |                            |                     | 4,41                        | Σύνολο          |                            |                     | 7,28      |

$$(\text{Μετρομοίρες } 0^\circ - 30^\circ = \frac{3}{8} \times 10 (4,41) = 16,537 \text{ (m} - \text{degrees)})$$

και

$$(\text{Μετρομοίρες } 30^\circ - 70^\circ = \frac{1}{3} \times 10 (7,28) = 24,266 \text{ (m} - \text{degrees)})$$

Από τη σχέση (105):

$$W_{0^\circ - 30^\circ} = 16,537 \times \frac{54988}{57,3} = 15869,7 \text{ (MT} - \text{m)}$$

και

$$W_{30^{\circ}-70^{\circ}} = 24,266 \times \frac{54988}{57,3} = 23286,9 \text{ (MT - m)}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{ολικό}} &= W_{0^{\circ}-30^{\circ}} + W_{30^{\circ}-70^{\circ}} = 15869,7 + 23286,9 = \\ &= 39156,6 \text{ (MT-m)} \end{aligned}$$

### 11.5 Απομένουσα δυναμική ευστάθεια.

Επανερχόμενοι στο σχήμα 11.2 παρατηρούμε ότι όταν ένα πλοίο βρεθεί κάτω από την επίρεια μιας εγκάρσιας στατικής εξωτερικής ροπής, θα αποκτήσει κάποια εγκάρσια κλίση (σημείο Α). Το εμβαδόν που περιέχεται ανάμεσα στις δύο καμπύλες (ροπής κλίσεως και ροπής επαναφοράς) προς τα δεξιά του σημείου Α (όχι μόνο η σκιασμένη περιοχή αλλά ολόκληρο μέχρι να ξανατμηθούν οι δύο καμπύλες προς τα δεξιά του Α) ονομάζεται **απομένουσα δυναμική ευστάθεια** (remaining dynamical stability).

Το μέγεθος της απομένουσας δυναμικής ευστάθειας αποτελεί σημαντικό παράγοντα ικανοποιητικής συμπεριφοράς του πλοίου σε διάφορες ειδικές περιπτώσεις φορτίων, όπως θα δούμε στη συνέχεια, αλλά και για την ικανοποιητική συμπεριφορά των πλοίων στις δυναμικές προελεύσεως εγκάρσιες κλίσεις, όπως είναι οι κυματισμοί. Για το λόγο αυτό διάφοροι θεσμοθετημένοι κανονισμοί προβλέπουν ειδικές απαιτήσεις για την ελάχιστη απαιτούμενη δυναμική ευστάθεια. Στοιχεία αυτών των απαιτήσεων (π.χ. για τη φόρτωση σιτηρών) θα αναφερθούν στο κεφάλαιο 16.

### 11.6 Σύγχρονος διατοιχισμός και παραμετρικός συντονισμός.

Όταν η περίοδος διατοιχισμού ενός πλοίου,  $T_{\phi}$ , συμπίπτει με την περίοδο του κύματος δημιουργείται ένα φαινόμενο συντονισμού, κατά τη διάρκεια του οποίου το πλοίο διατοιχίζεται με μεγάλο εύρος εγκάρσιων γωνιών. Λέμε τότε ότι έχουμε **σύγχρονο διατοιχισμό** (synchronous rolling).

Σε τέτοιες περιπτώσεις οι γωνίες εγκάρσιας κλίσεως μπορούν να γίνουν τόσο μεγάλες που το πλοίο μπορεί ακόμη και να ανατραπεί. Όπως έχουμε πει ήδη η περίοδος διατοιχισμού ενός πλοίου μπορεί να υπολογιστεί από τις σχέσεις (78), (79) και (80).

Οι χειριστές των πλοίων μπορούν να αποφύγουν το επικίνδυνο αυτό φαινόμενο επεμβαίνοντας είτε στην περίοδο διατοιχισμού του πλοίου, είτε στην περίοδο προσεγγίσεως του κύματος προς αυτό.

Μεταβολή της περιόδου διατοιχισμού του πλοίου μπορεί, όπως φαίνεται και από τις σχέσεις που αναφέρονται παραπάνω, να γίνει αν μεταβληθεί το εγκάρσιο μετακεντρικό του ύψος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη μεταβολή της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους, αλλάζοντας τον ερματισμό του πλοίου. Εξάλλου την περίοδο προσεγγίσεως του κύματος στο πλοίο μπορούμε να αλλάξουμε με μεταβολή στην ταχύτητα και στην πορεία του. Με συνδυασμό των παραπάνω μέτρων οι χειριστές των πλοίων μπορούν να αποφύγουν το σύγχρονο διατοιχισμό.

Μια άλλη εξίσου δύσκολη κατάσταση που μπορεί να παρουσιαστεί σε ορισμένους τύπους πλοίων είναι ο **παραμετρικός συντονισμός** (parametric rolling). Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται όταν η φυσική **συχνότητα προνευτασμού** (pitch period),  $T_{\theta}$ , είναι ίση με την περίοδο διατοιχισμού  $T_{\phi}$  ή με το μισό της. Όταν δηλαδή έχουμε:

$$T_{\theta} = T_{\phi} \quad \text{ή} \quad T_{\theta} = (T_{\phi}) / 2$$

Τέτοιος συσχετισμός περιόδων συμβαίνει συνήθως σε πλοία που έχουν λεπτό σχήμα στην πλώρη και παχύ στην πρύμη, π.χ. τα σύγχρονα **πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων** (container ships). Σε μια τέτοια περίπτωση η εναλλασσόμενη βύθιση της πλώρης και της πρύμης στο νερό λόγω του κυματισμού, δημιουργεί και εγκάρσιες ροπές διεγέρσεως, που παράλληλα με τον **προνευτασμό** (pitching) έχουν ως αποτέλεσμα τον έντονο και συχνά επικίνδυνο **διατοιχισμό** (rolling). Σε μερικά πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων η εγκάρσια αυτή ταλάντωση είναι τόσο μεγάλη που κόβονται τα συστήματα προσδέσεως

των εμπορευματοκιβωτίων και μερικά από αυτά καταλήγουν στη θάλασσα.

**Σχεδιαστικά αυτή η πιθανότητα μπορεί να περιοριστεί με την ύπαρξη αντιδιατοιχιστικών δεξαμενών ή αντιδιατοιχιστικών περυγίων, και χειριστικά με τα μέτρα που προαναφέρθηκαν για το σύγχρονο διατοιχισμό.**

Για την αποφυγή των επιπτώσεων αυτού του φαινομένου, μερικοί νηογνώμονες (όπως ο ABS) έχουν εκδώσει ειδικές οδηγίες προς τους χειριστές των πλοίων.





## 12. ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ - ΔΙΑΓΩΓΗ

### 12.1 Διαμήκης ευστάθεια.

Είναι προφανές ότι η μετακίνηση βαρών πάνω σ' ένα πλοίο ή/και άλλες εξωτερικές δυνάμεις μπορούν να προκαλέσουν κλίσεις προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και όχι μόνο κατά το εγκάρσιο ή το διάμκηες. Για λόγους μεγαλύτερης απλουστεύσεως, έχει επικρατήσει οι εγκάρσιες και οι διαμήκεις κλίσεις, όπως και η εγκάρσια και διαμήκης ευστάθεια, να εξετάζονται χωριστά. Άλλωστε, η περίπτωση κλίσεως προς οποιαδήποτε κατεύθυνση μπορεί να εξετασθεί συνδυάζοντας τις δύο προαναφερθείσες απλούστερες περιπτώσεις.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε την εγκάρσια ευστάθεια του πλοίου με στόχο να μελετήσουμε τις εγκάρσιες κλίσεις και την ύπαρξη ή όχι ευσταθούς ισορροπίας στο εγκάρσιο επίπεδο. Ειδικότερα μελετήσαμε τις αιτίες δημιουργίας εγκαρσίων κλίσεων και τους τρόπους εξουδετερώσεώς τους, καθώς και τους παράγοντες εκείνους που επηρεάζουν την εγκάρσια ευστάθεια και εντοπίσαμε τα μέτρα που εξασφαλίζουν, γενικά, ικανοποιητική και ασφαλή συμπεριφορά του πλοίου σ' αυτόν τον τομέα.

Η μελέτη της συμπεριφοράς του πλοίου, κατά το διάμκηες, αφορά αφενός στη διαμήκη ευστάθεια και αφετέρου στη διαμήκη ισορροπία.

**Με τον όρο διαμήκης ευστάθεια περιγράφεται η ικανότητα ενός πλοίου να επανέλθει στην αρχική του θέση ισορροπίας όταν πάψει να επενεργεί πάνω του κάποια εξωτερική διέγερση που έχει προκαλέσει μεταβολή των βυθισμάτων του στην πρωραία και στην πρυμναία κάθετο.**

**Το επίμηκες σχήμα των πλοίων εξασφαλίζει σε κάθε περίπτωση την ύπαρξη επαρκούς διαμήκους ευστάθειας και καί' επέκταση την εξασφάλιση ευσταθούς διαμήκους ισορροπίας.** Για τα συνηθισμένα σχήματα των πλοίων θεωρείται εξασφαλισμένο ότι το πλοίο θα επανέλθει στην αρχική του θέση ισορροπίας, όταν πάψει να ενεργεί πάνω σ' αυτό κάποια εξωτερική δύναμη που είχε ως αποτέλεσμα τη μεταβολή των βυθισμάτων του στην πρωραία και πρυμναία κάθετο. Για το λόγο αυτό δεν μελετάμε ιδιαίτερα τη διαμήκη ευστάθεια των πλοίων, όπως είδαμε ότι κάναμε για την εγκάρσια ευστάθεια.

Αντίθετα η μελέτη της διαμήκους ισορροπίας του πλοίου είναι αναγκαία γιατί επηρεάζει τη διαγωγή και τα βυθίσματά του.

### 12.2 Διαγωγή, ορισμός, σημασία της διαγωγής, επιπτώσεις στην εγκάρσια ευστάθεια.

Τις εγκάρσιες κλίσεις των πλοίων, όπως είδαμε, εκφράζουμε σε μοίρες. Για τις διαμήκεις κλίσεις δεν συνηθίζεται κάτι τέτοιο, γιατί οι σχετικές γωνίες είναι μικρές. Γι' αυτόν το λόγο έχει επικρατήσει, οι διαμήκεις κλίσεις των πλοίων να εκφράζονται με τη διαφορά των βυθισμάτων στην πρωραία και την πρυμναία κάθετο. Αυτήν τη διαφορά την ονομάζουμε **διαγωγή**. Όταν το πρυμναίο βύθισμα είναι μεγαλύτερο λέμε ότι το πλοίο έχει **πρυμναία διαγωγή**. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν το πρωραίο βύθισμα είναι μεγαλύτερο από το πρυμναίο, λέμε ότι το πλοίο έχει **πρωραία διαγωγή**. Όταν τέλος τα δύο βυθίσματα είναι ίσα μεταξύ τους, λέμε ότι το **πλοίο είναι ισοβύθιστο** ή ότι έχει μηδενική διαγωγή.

Συχνά αντί του όρου **διαγωγή** χρησιμοποιείται ο όρος **διαφορά διαγωγής**, με την ίδια ακριβώς φυσική σημασία.

Όταν ένα πλοίο βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας, ισοβύθιστο ή με κάποια διαγωγή και κάτω από την επίρεια κάποιας διεγέρσεως, π.χ. στην περίπτωση μιας μετακινήσεως βάρους κατά το διάμκηες, ισορροπεί με κάποια νέα διαγωγή, για να εκφράσουμε αυτήν την αλλαγή, χρησιμοποιούμε τον όρο **μεταβολή διαγωγής**.

Ειδικότερα έχουμε:

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = \text{Τελική διαγωγή} - \text{Αρχική διαγωγή}$$

Αν συμβολίσουμε με:

$H_F$  το προωαίο βύθισμα ενός πλοίου σε m ή ft,

$H_A$  το πρυμναίο βύθισμα ενός πλοίου σε m ή ft,

$\delta H$  τη διαφορά διαγωγής σε m ή ft,

$L$  το μήκος του πλοίου μεταξύ καθέτων σε β m ή ft και

$\theta$  τη γωνία διαμήκους κλίσεως έχουμε:

$$\text{Διαγωγή} = \delta H = H_A - H_F$$

και

$$\varepsilon\phi\theta = \frac{\delta H}{L}$$

Με τον ορισμό που έχουμε δώσει παραπάνω, ***n διαγωγή προς πρύμα έχει θετικό πρόσημο και n διαγωγή προς πλώρα αρνητικό.***

Αν για παράδειγμα ένα πλοίο έχει μήκος 100 m και βυθίσματα 8 m πρυμναίο και 5 m προωαίο, θα είναι:

$$\varepsilon\phi\theta = \frac{\delta H}{L} = \frac{8 - 5}{100} = \frac{3}{100} = 0,03$$

και επομένως  $\theta \approx 1,72^\circ$ .

Η διαγωγή του πλοίου θα είναι  $\delta H = 8 - 5 = 3$  m προς πρύμα (θετική).

Η διαγωγή, μεταξύ άλλων, επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα, την ευελιξία, τη συμπεριφορά σε κυματισμό, τη βύθιση της έλικας και του πηδαλιού, καθώς και τη δυνατότητα ενός πλοίου να πλεύσει σε αβαθείς περιοχές, χωρίς τον κίνδυνο να προσκρούσει στο βυθό.

Ο όρος ***ναυτιλιακό βύθισμα*** χρησιμοποιείται για να εκφράσουμε το βύθισμα της βαθύτερης προεξοχής του πλοίου και αποτελεί πραγματική ένδειξη της δυνατότητάς του να πλεύσει σε κάποια περιοχή με μικρό βάθος.

Αν εξετάσουμε ένα πλοίο που δεν έχει κάποια προεξοχή κάτω από τη βασική γραμμή της τρόπιδας, το ναυτιλιακό του βύθισμα θα είναι ίσο με το μεγαλύτερο από τα βυθίσματα της τρόπιδας. Έτσι, αν ένα πλοίο πλέει σε βυθίσματα 8 m προωαίο και 8 m πρυμναίο, τότε και το ναυτιλιακό του βύθισμα είναι 8 m. Αν πάλι το πρυμναίο βύθισμα είναι 10 m και το προωαίο 6 m (μέσο βύθισμα πάλι 8 m), τότε το ναυτιλιακό του βύθισμα είναι 10 m. Στην πρώτη περίπτωση το πλοίο μπορεί θεωρητικά και με μεγάλη προσοχή να περάσει πάνω από ένα αβαθές του βυθού, με βάθος 9 m, ενώ στη δεύτερη όχι. ***Στην πράξη βέβαια ο πλοίαρχος οφείλει να εξασφαλίζει ικανοποιητικά περιθώρια μεταξύ του βυθού και του βαθύτερου σημείου του πλοίου.***

Στα πολεμικά πλοία συχνά υπάρχουν συσκευές, όπως το ηχοβολιστικό και το Sonar που εξέχουν κάτω απ' τη βασική γραμμή της τρόπιδας. Μερικές φορές και τα πηδάλια ή οι έλικες σ' αυτά τα πλοία εξέχουν κάτω από τη βασική γραμμή. Σ' αυτές τις περιπτώσεις το ναυτιλιακό βύθισμα είναι αυτό του κατώτερου σημείου της συσκευής που βρίσκεται στο μεγαλύτερο βύθισμά του και αυτό, όπως είναι προφανές, εξαρτάται απ' τη διαγωγή. Αυτό είναι και το μέγεθος που καθορίζει, πάντα, με σχετικά περιθώρια ασφάλειας και το ελάχιστο βάθος της περιοχής, στην οποία μπορεί να πλεύσει το πλοίο, χωρίς τον κίνδυνο επικαθίσεως στο βυθό.

Οι μεταβολές στη διαγωγή ενός πλοίου, ακόμη και όταν το εκτόπισμά του παραμένει σταθερό, μεταβάλλουν γενικά τη μορφή των υφάλων του και επομένως μεταβάλλουν και την κατακόρυφη θέση του κέντρου όγκου του (KB). Επίσης αυτές οι μεταβολές αλλάζουν τη μορφή της ισάλου επιφάνειας του πλοίου και επομένως, όπως έχει επεξηγηθεί και στη μελέτη της εγκάρσιας ευστάθειας, και την εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα (BMT). ***Είναι λοιπόν φανερό ότι οι μεταβολές διαγωγής, ακόμη και όταν το εκτόπισμα ενός πλοίου παραμένει σταθερό, μεταβάλλουν και τις ιδιότητες εγκάρσιας ευστάθειας*** (μετακε-

ντρικό ύψος, βραχίονες επαναφοράς). Παρ' όλα αυτά, για μικρές μεταβολές στη διαγωγή, οι παραπάνω επιδράσεις είναι ασήμαντες και συνήθως δεν εξετάζονται. Σε πιο σύγχρονα πλοία υπάρχουν νομογραφήματα, με τα οποία ο πλοίαρχος μπορεί να λάβει υπόψη του και τις παραπάνω αλληλεπιδράσεις.

### 12.3 Διαμήκης θέση κέντρου βάρους (LCG).

Η έννοια του κέντρου βάρους του πλοίου, που συμβολίζεται όπως έχουμε πει με το γράμμα  $G$  και η μέθοδος προσδιορισμού της θέσεώς του έχουν ήδη αναπτυχθεί στο κεφάλαιο 5. Ιδιαίτερα για τη μελέτη της διαμήκης ισορροπίας του πλοίου μάς ενδιαφέρει η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του, σε κάθε κατάσταση φορτώσεως, μέγεθος που ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ της πρυμναίας καθέτου του πλοίου και του κέντρου βάρους του και την μετρούμε κατά τη διεύθυνση του άξονα των  $x$  (βλ. σχ. 6.3α). Την απόσταση αυτή, σε  $m$  ή  $ft$ , συμβολίζουμε με το σύμβολο **LCG** (Longitudinal Center Of Gravity). Στα σχέδια και εγχειρίδια μερικών πλοίων το LCG μετρείται από το μέσο του πλοίου και μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό, η μέτρηση όμως από την πρυμναία κάθετο που προαναφέραμε είναι πιο πρακτική γιατί μ' αυτόν τον τρόπο, δεν μας απασχολεί το θετικό ή αρνητικό πρόσημο.

Για τις ανάγκες αυτού του κεφαλαίου θεωρείται ότι το βάρος του πλοίου αποτελείται από εκείνο του άφορτου πλοίου (περιλαμβανομένου και του στερεού έρματος, αν υπάρχει) και εκείνο όλων των μεταβλητών φορτίων που μεταφέρονται απ' αυτό σε κάθε κατάσταση φορτώσεως.

Τα παραπάνω μεταβλητά βάρη συνηθίζεται να κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- 1) Βάρος πληρώματος και εφοδίων.
- 2) Βάρος πετρελαίου.
- 3) Βάρος τροφοδοτικού νερού.
- 4) Βάρος πόσιμου νερού.
- 5) Βάρος λιπαντικών λαδιών.
- 6) Βάρος υγρού έρματος.
- 7) Βάρος μεταφερόμενου φορτίου.
- 8) Βάρος επιβατών (αν υπάρχουν).

Όπως έχει ήδη επεξηγηθεί η εύρεση του βάρους και η θέση του κέντρου βάρους του άφορτου πλοίου πραγματοποιείται με το πείραμα ευστάθειας, τα αποτελέσματα του οποίου ισχύουν, αν δεν πραγματοποιηθούν μεγάλες μετασκευές, για όλη του τη ζωή.

Τα στοιχεία αυτά του άφορτου πλοίου περιέχονται στο εγχειρίδιο «*Trim and Stability Manual*», που υπάρχει σε κάθε πλοίο και είναι απαραίτητα, όπως θα δούμε παρακάτω, για τον υπολογισμό του βάρους και του κέντρου βάρους του, σε κάθε κατάσταση φορτώσεως.

### 12.4 Διαμήκης θέση κέντρου ανώσεως (LCB και B).

Αντίστοιχα, όπως ήδη έχουμε περιγράψει, με  $B$  συμβολίζουμε το κέντρο όγκου των υφάλων του πλοίου (κέντρο ανώσεως).

Η διαμήκης θέση του κέντρου ανώσεως προσδιορίζεται με την απόσταση μεταξύ της πρυμναίας καθέτου και του κέντρου ανώσεως και τη μετρούμε όπως κάνουμε και για το κέντρο βάρους, κατά τη διεύθυνση του άξονα των  $x$ . Την απόσταση αυτή, σε  $m$  ή  $ft$ , συμβολίζουμε με **LCB** (Longitudinal Center of Buoyancy).

Όπως το LCG, έτσι και το LCB στα σχέδια και στοιχεία κάποιων παλαιότερων συνήθως πλοίων, μετριέται από το μέσον του μήκους μεταξύ καθέτων, η μέτρησή του όμως από την πρυμναία κάθετο απλοποιεί τα πράγματα, όπως προαναφέρθηκε και για το LCG.

Το LCB, όταν το πλοίο είναι ισοβύθιστο, εξαρτάται από το μέσο βύθισμά του και το βρίσκουμε από το υδροστατικό διάγραμμα ή από τους υδροστατικούς πίνακες. Στην παράγραφο 12.10 θα περιγράψουμε πώς βρίσκεται το LCB όταν υπάρχει διαγωγή.

### 12.5 Μεταβολές της θέσεως των ανωτέρω και λόγοι που τις προκαλούν.

Κάθε προσθήκη, αφαίρεση ή μετακίνηση κατά μήκος του πλοίου βαρών συνεπάγεται μεταβολή και της

διαμήκους θέσεως του κέντρου βάρους του, του LCG δηλαδή. Υπό αυτήν την έννοια το LCG είναι ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο στοιχείο, αφού συνεχώς στα πλοία γίνονται φορτοεκφορτώσεις φορτίου, νερού, πετρελαίου και εφοδίων ή/και συνεχείς μετακινήσεις φορτίων, για παράδειγμα κατά τις μεταγγίσεις υγρών από δεξαμενή σε δεξαμενή.

Για τους ίδιους λόγους, συνεχώς μεταβάλλεται και το LCB, αφού οι παραπάνω αυξομειώσεις ή/και μετακινήσεις βαρών, προκαλούν μεταβολές στα βυθίσματα και στη διαγωγή και επομένως αλλάζουν τη μορφή του όγκου των υφάλων του πλοίου, κατά συνέπεια δε και τη διαμήκη θέση του κέντρου όγκου του που, όπως έχομε πει, συμπίπτει με το κέντρο ανώσεως.

## 12.6 Συνθήκες διαμήκους ευστάθειας και διαμήκους ισορροπίας.

Στο σχήμα 12.6α βλέπομε ένα πλοίο που αρχικά πλέει στην ίσαλο WL. Αν μεταφέρομε ένα βάρος που βρίσκεται, για παράδειγμα, στο κατάστρωμα και μάλιστα στο επίπεδο συμμετρίας σε κάποια άλλη θέση προς την πλώρη και πάλι στο επίπεδο συμμετρίας, η πλώρη του πλοίου θα βυθιστεί κάπως και η πρύμνη θα αποβυθιστεί, οπότε το πλοίο θα πλεύσει στην ίσαλο  $W_1L_1$ .

Εύκολα αποδεικνύεται, αλλά βρίσκεται έξω απ' τα όρια αυτού του βιβλίου ότι, **για να παραμείνει το εκτόπισμα του πλοίου σταθερό (απαραίτητο μιας και δεν προσθαφαιρέθηκε κανένα βάρος), οι ίσαλοι WL και  $W_1L_1$  θα πρέπει να τέμνονται κατά έναν οριζόντιο άξονα που διέρχεται από το κέντρο πλευστότητας.** Όπως έχει αναφερθεί το κέντρο πλευστότητας (σημείο F του σχ. 12.6α), είναι το κέντρο βάρους της επιφάνειας της ισάλου.

Για να υπάρχει ισορροπία, όπως είδαμε και στη μελέτη της εγκάρσιας ευστάθειας, οι δυνάμεις βάρους και ανώσεως θα πρέπει να βρίσκονται πάνω στον ίδιο φορέα, τόσο στην αρχική όσο και στην τελική κατάσταση. Για μικρές γωνίες διαμήκους κλίσεως οι φορείς της ανώσεως τέμνουν τον αντίστοιχο φορέα της ανώσεως του ισοβύθιστου πλοίου σ' ένα σταθερό σημείο, το  $M_L$ , που ονομάζομε **διάμκτες μετάκεντρο**.

Στο σχήμα 12.6α είναι:

- 1) B η θέση του κέντρου όγκου όταν το πλοίο πλέει στην ίσαλο WL.
- 2) G η θέση του κέντρου βάρους όταν το πλοίο πλέει στην ίσαλο WL.
- 3)  $B_1$  η θέση του κέντρου όγκου όταν το πλοίο πλέει στην ίσαλο  $W_1L_1$ .
- 4)  $G_1$  η θέση του κέντρου βάρους όταν το πλοίο πλέει στην ίσαλο  $W_1L_1$ .

Σε πλήρη αναλογία με την περίπτωση της εγκάρσιας ευστάθειας έχομε:

$$BM_L = \frac{I_{yy}}{V} \quad (106)$$

όπου:  $I_{yy}$  είναι η ροπή αδράνειας της επιφάνειας της ισάλου του πλοίου γύρω από εγκάρσιο άξονα που διέρχεται από το κέντρο βάρους της (κέντρο πλευστότητας).

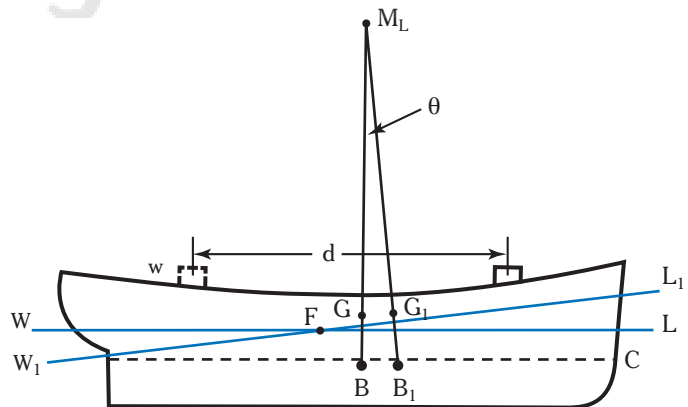
Το διάμκτες μετακεντρικό ύψος μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$GM_L = KB + BM_L - KG = KM_L - KG \quad (107)$$

Η διαφορά  $KB - KG$  είναι πολύ μικρή σε σχέση με το  $BM_L$  και επομένως, χωρίς μεγάλο λάθος, μπορούμε να θεωρήσομε ότι:

$$GM_L \approx BM_L$$

Επειδή η ροπή αδράνειας  $I_{yy}$  είναι πολύ μεγαλύτερη από τη ροπή  $I_{xx}$  (γύρω από το διαμήκη άξονα που περνά από το κέντρο πλευστότητας που στα συνηθισμένα πλοία συμπίπτει με τον άξονα συμμετρίας), **το διάμκτες μετακε-**

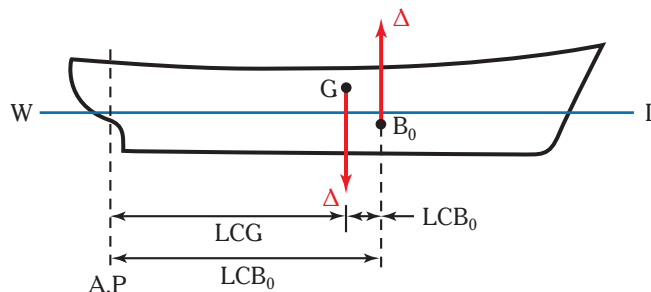


Σχ. 12.6α.

Πλοίο με διαμήκη κλίση.

**ντρικό ύψος κάθε πλοίου είναι πολύ μεγαλύτερο από το εγκάρσιο.** Για το λόγο αυτό, όπως αναφέραμε παραπάνω η ύπαρξη επαρκούς διαμήκους ευστάθειας είναι, για τα συνηθισμένα σχήματα πλοίων, πάντοτε εξασφαλισμένη.

Στο σχήμα 12.6β έχομε ένα πλοίο, το κέντρο βάρους του οποίου, κατά το διάμηκες, βρίσκεται στο σημείο G. Η ίσαλος του ισοβύθιστου πλοίου που έχει το ίδιο εκτόπισμα παριστάνεται με WL και το κέντρο όγκου (ανώσεως) που αντιστοιχεί σ' αυτήν βρίσκεται στο σημείο B<sub>0</sub>. Επειδή, όπως φαίνεται και στο σχήμα, οι δυνάμεις του βάρους και της ανώσεως δημιουργούν ένα ζεύγος δυνάμεων, το πλοίο σ' αυτήν τη θέση θα μπορούσε να ισορροπήσει μόνο κάτω από την επίρεια ενός ίσου και αντίθετου εξωτερικού ζεύγους. Για να συμβεί αυτό, το ζεύγος που φαίνεται στο σχήμα θα έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργήσει διαγωγή προς την πρύμη. Η δημιουργία αυτής της διαγωγής θα έχει ως αποτέλεσμα να βυθιστεί κάποιος όγκος των υφάλων στην πρύμη και να αποβυθιστεί ίσος όγκος στην πλώρη. Αυτό, με τη σειρά του, θα έχει ως αποτέλεσμα το μεν εκτόπισμα και η θέση του κέντρου βάρους να παραμείνουν σταθερά, το δε κέντρο ανώσεως να βρεθεί στην ίδια κατακόρυφη ευθεία με το κέντρο βάρους και έτσι το πλοίο να ισορροπήσει.



**Σχ. 12.6β.**

*Διαμήκης ισορροπία πλοίου.*

### 12.7 Μεταβολές της διαγωγής.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

- 1) Όταν το κέντρο βάρους είναι πιο πρύμα απ' το κέντρο ανώσεως του ισοβύθιστου πλοίου που έχει το ίδιο εκτόπισμα, δημιουργείται διαγωγή προς την πρύμη.
- 2) Όταν το κέντρο βάρους, κατά τη διαμήκη έννοια, συμπίπτει με το κέντρο ανώσεως του ισοβύθιστου πλοίου που έχει το ίδιο εκτόπισμα, το πλοίο παραμένει ισοβύθιστο.
- 3) Όταν το κέντρο βάρους βρίσκεται πιο πλώρα από το κέντρο ανώσεως του ισοβύθιστου πλοίου που έχει το ίδιο εκτόπισμα, δημιουργείται διαγωγή προς την πλώρη.

Η ροπή που επιδρά στο πλοίο όταν τα LCB<sub>0</sub> και LCG δεν συμπίπτουν, θα είναι:

$$\text{Ροπή} = \Delta x (\text{LCB}_0 - \text{LCG}). \quad (108)$$

Αυτή η ροπή θα πρέπει να εξισορροπηθεί με τη δημιουργία διαγωγής.

Στην παράγραφο 12.14 θα εξετάσουμε πώς υπολογίζεται η διαγωγή που προκαλείται από την επίδραση της παραπάνω ροπής.

### 12.8 Σημασία της σχετικής θέσεως των B και G.

Η σχετική θέση των σημείων B και G, κατά το διάμηκες, παρέχει τη δυνατότητα μεταβολής της διαγωγής ενός πλοίου κατά τις επιθυμίες των χειριστών του.

Για κάθε δεδομένο εκτόπισμα, η παραπάνω σχετική θέση μπορεί να μεταβληθεί με τη μετακίνηση του κέντρου βάρους G, κατά το διάμηκες, που επιτυγχάνεται με τη μετακίνηση βαρών, από την αρχική τους θέση, προς την πλώρη ή προς την πρύμη. Τέτοιες μετακινήσεις μπορούν να γίνουν ευκολότερα με μεταγίσεις υγρών (πετρελαίου, πόσιμο νερού, υγρού έρματος) από μία ή περισσότερες δεξαμενές σε άλλες που βρίσκονται πιο πλώρα ή πιο πρύμα, αλλά και με μετακινήσεις φορτίου ή/και άλλων βαρών.

Η δυνατότητα αυτή, δηλαδή της μεταβολής της διαγωγής είναι, αρκετές φορές, πολύ χρήσιμη στα χέρια των χειριστών του πλοίου. Μπορεί για παράδειγμα, αν είναι αναγκαίο, υπό ορισμένες προϋποθέσεις να μας βοηθήσει να αποκαλύψομε μέρος από το άκρο κάποιου πτερυγίου της έλικας (π.χ. για επισκευή μέσα στη θάλασσα) ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βγάλει έξω απ' το νερό ένα μικρό ρήγμα για πρόχειρη στεγανοποίηση. Μπορεί τέλος να ελαχιστοποιήσει το ναυτιλιακό βύθισμα, όταν πρόκειται ένα πλοίο να

περάσει από αβαθείς περιοχές. Όλα αυτά αλλά και άλλες επιδόσεις του πλοίου, όπως η ταχύτητα, η συμπεριφορά του σε κυματισμό, η ευελιξία ή και η σταθερότητά του στην πορεία, επηρεάζονται από τη διαγωγή, δηλαδή από τη σχετική θέση των σημείων Β και G.

### 12.9 Ροπή διαγωγής και ροπή που μεταβάλλει τη διαγωγή κατά μία μονάδα (MTC).

Ας υποθέσουμε ότι στο ισοβύθιστο αρχικά πλοίο του σχήματος 12.6α η μεταφορά ενός βάρους  $w$  κατά απόσταση  $d$  είχε ως αποτέλεσμα να αποκτήσει το πλοίο διαγωγή 1 cm.

Στη νέα θέση το πλοίο θα ισορροπήσει κάτω από την επίδραση της ροπής κλίσεως, που είναι ίση με  $w d$  και της ροπής επαναφοράς. Σε αναλογία με την περίπτωση της εγκάρσιας κλίσεως που έχουμε εξετάσει, για την εξασφάλιση ισορροπίας, σ' ένα πλοίο όταν αυτό υποθέσουμε ότι έχει διαγωγή 1 cm (1/100 του m), θα έχουμε:

$$w d \sin \theta = \Delta G M_L n \mu \theta \quad \text{ή} \quad w d = \Delta G M_L \epsilon \phi \theta$$

αλλά

$$\epsilon \phi \theta = \frac{\delta H}{L} = \frac{100}{L} = \frac{1}{100 L}$$

Επομένως:

$$w d = \frac{\Delta G M_L}{100 L} \quad (108\alpha)$$

Η παραπάνω ροπή ονομάζεται **ροπή μεταβολής διαγωγής κατά 1 cm** (moment to change trim 1 cm, MCT 1 cm).

Αν τώρα, λάβουμε υπόψη και τη σχέση 107, θα έχουμε για τα  $B M_L$  και  $L$  εκφρασμένα σε m και το  $\Delta$  σε MT (metric tons):

$$MCT \ 1 \text{ cm} \approx \frac{\Delta B M_L}{100 L} \quad (109)$$

Στο αγγλικό πρακτικό σύστημα μονάδων η αντίστοιχη σχέση έχει τη μορφή:

$$MCT \ 1 \text{ in} \approx \frac{\Delta B M_L}{12 L} \quad (110)$$

με τα  $B M_L$  και  $L$  εκφρασμένα, σ' αυτήν την περίπτωση σε ft και το  $\Delta$  σε LT (long tons).

Το MCT 1 in σ' αυτήν την περίπτωση είναι η ροπή μεταβολής διαγωγής κατά 1 in.

Τα MCT 1 cm και MCT 1 in χρησιμοποιούνται συχνά στους υπολογισμούς της διαγωγής του πλοίου και γι' αυτό υπολογίζονται, για το ισοβύθιστο πλοίο, από τις παραπάνω σχέσεις και περιέχονται, με τη μορφή καμπύλης στο υδροστατικό διάγραμμα και στους υδροστατικούς πίνακες των πλοίων.

Χρησιμοποιώντας τις τιμές των MCT 1 cm ή MCT 1 in μπορούμε να υπολογίσουμε τη διαγωγή που δημιουργεί η επίδραση κάποιας ροπής πάνω στο πλοίο με τους τύπους:

$$\text{Διαγωγή σε cm} = (\text{Διαμήκης ροπή}) / MCT \ 1 \text{ cm} \quad (\text{σε MT} - \text{m}) \quad (111)$$

και

$$\text{Διαγωγή σε cm} = (\text{Διαμήκης ροπή}) / MCT \ 1 \text{ in} \quad (\text{σε LT} - \text{ft}) \quad (112)$$

Όταν ένα πλοίο έχει διαγωγή, οι τιμές των MCT 1 cm (ή MCT 1 in αντίστοιχα) μπορούν να βρεθούν από το υδροστατικό διάγραμμα ή τους υδροστατικούς πίνακες, μπαίνοντας σ' αυτούς με το εκτόπισμα.

#### Παράδειγμα 1.

Ένα πλοίο με μήκος 153 m, σε έμφορτο βύθισμα έχει εκτόπισμα 15,000 μετρικούς τόνους (MT). Η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του είναι 7,2 m πάνω από τη βασική γραμμή της τρόπιδας και η

κατακόρυφη θέση του κέντρου όγκου του έχει βρεθεί από το υδροστατικό του διάγραμμα ότι είναι στα 4,5 m, επίσης πάνω από τη βασική γραμμή της τρόπιδας. Η ροπή αδράνειας της επιφάνειας της ισάλου σ' αυτό το βύθισμα, γύρω από εγκάρσιο άξονα που περνάει απ' το κέντρο πλευστότητας, έχει υπολογισθεί ότι είναι 2300000 m<sup>4</sup>.

Να υπολογισθεί το MCT 1 cm.

Ο όγκος των υφάλων που αντιστοιχεί στο εκτόπισμα θα είναι:

$$V = 15000/1,025 = 14634,15 \text{ m}^3$$

Από τη σχέση (106) έχουμε:

$$BM_L = I_{yy} / V = 2300000/14634,15 = 157,16 \text{ m}$$

Από τη σχέση (107) έχουμε:

$$GM_L = KB + BM_L - KG = 4,5 + 157,16 - 7,2 = 154,46 \text{ m}$$

Τέλος από τη σχέση (108α) θα έχουμε:

$$MCT 1 \text{ cm} = (\Delta \times GM_L)/(100 \times L) = (15000 \times 154,46)/(100 \times 153) = 151,43 \text{ (MT-m)/cm}$$

Σε περίπτωση που θα είχαμε χρησιμοποιήσει την προσεγγιστική σχέση (109) θα είχαμε:

$$MCT 1 \text{ cm} = (\Delta \times BM_L)/(100 \times L) = (15000 \times 157,16)/(100 \times 153) = 154,07 \text{ (MT-m)/cm}$$

δηλαδή θα είχαμε κάνει λάθος περίπου 2%, σφάλμα που θεωρείται ασήμαντο.

### **Παράδειγμα 2.**

Ένα πλοίο πλέει αρχικά ισοβύθιστο σε βύθισμα 10,80 m. Η τιμή του MCT 1 cm, από το υδροστατικό του διάγραμμα, βρίσκεται ότι είναι 639,84. Ένα βάρος 500 MT μεταφέρεται από πρύμα προς πλώρα κατά απόσταση 100 m. Πόση διαγωγή θα δημιουργηθεί;

Σε συνέπεια με το συμβολισμό της παραγράφου 12.2, θα συμφωνήσουμε ότι ροπές που προκαλούν διαγωγή προς πρύμα θα είναι θετικές και προς πλώρα αρνητικές.

Έτσι για το παράδειγμα θα έχουμε:

$$\text{Διαμήκης ροπή} = -500 \times 100 = -50000 \text{ MT-m}$$

Και επομένως:

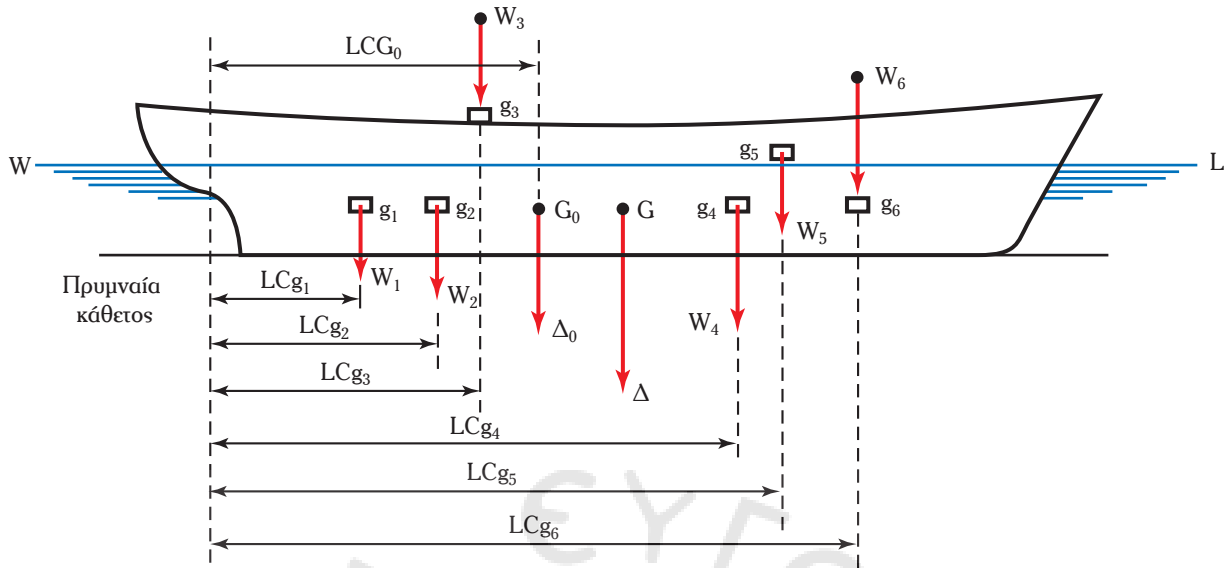
$$\text{Διαγωγή} = \text{Διαμήκης ροπή}/MCT 1 \text{ cm} = -50000/639,84 = -78,14 \text{ cm προς πλώρα}$$

### **12.10 Υπολογισμοί για τον προσδιορισμό του διαμήκους κέντρου βάρους, της διαγωγής και των βυθισμάτων, όταν δίνεται η άφορτη κατάσταση (light ship) και τα διάφορα φορτία, χωρίς να είναι γνωστά τα αρχικά βυθίσματα.**

Στο σχήμα 12.10 έχουμε ένα πλοίο που στην άφορτη κατάσταση έχει εκτόπισμα  $\Delta_0$  και διάμκτες κέντρο βάρους στη θέση  $G_0$ . Στο πλοίο αυτό προσθέτουμε διάφορα φορτία, ας πούμε τα  $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5$  και  $W_6$  με κέντρα βάρους στα σημεία  $g_1, g_2, g_3, g_4, g_5$  και  $g_6$  αντίστοιχα.

Εφαρμόζοντας τις σχέσεις (59) και (60) του κεφαλαίου 6 θα έχουμε για το νέο εκτόπισμα του πλοίου:

$$\Delta = \Delta_0 + W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 \quad (113)$$



Σχ. 12.10.

Προσθαφαίρεση βαρών (διαμήκης διεύθυνση).

και για τη νέα διαμήκη θέση του κέντρου βάρους του:

$$LCG = [(\Delta_0) \times (LCG_0) + (W_1) \times (LCg_1) + (W_2) \times (LCg_2) + (W_3) \times (LCg_3) + (W_4) \times (LCg_4) + (W_5) \times (LCg_5) + (W_6) \times (LCg_6)] / \Delta \quad (114)$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω σχέσεων υπολογίζουμε το νέο εκτόπισμα και τη νέα διαμήκη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου όταν προστεθούν τα φορτία.

Από το υδροστατικό διάγραμμα του πλοίου βρίσκουμε στη συνέχεια τη θέση του κέντρου ανώσεως ( $LCB_0$ ), το MCT 1 cm (ή το MCT 1 in) και το μέσο βύθισμα H, που αντιστοιχούν στο νέο εκτόπισμα του ισοβύθιστου πλοίου.

Η διαγωγή σε cm ή in (ανάλογα με το σύστημα μονάδων που χρησιμοποιούμε) υπολογίζεται στη συνέχεια από τις σχέσεις:

$$\text{Διαγωγή σε cm} = \frac{\Delta (LCB_0 - LCG)}{\text{MCT 1 cm}} \quad (115)$$

ή

$$\text{Διαγωγή σε in} = \frac{\Delta (LCB_0 - LCG)}{\text{MCT 1 in}} \quad (116)$$

### 1) Συνοψίζοντας, σε περίπτωση προσθαφαιρέσεως βαρών:

- α) Το νέο εκτόπισμα θα βρεθεί από τη σχέση (113).
- β) Η θέση του κέντρου όγκου του ισοβύθιστου πλοίου θα υπολογισθεί με το εκτόπισμα από το υδροστατικό διάγραμμα ή τους υδροστατικούς πίνακες.
- γ) Η νέα διαμήκης θέση του κέντρου βάρους θα βρεθεί από τη σχέση (114).
- δ) Η διαγωγή θα υπολογισθεί από τη σχέση (115) (για το μετρικό σύστημα μονάδων) ή από τη σχέση (116) (για το αγγλικό).

### 2) Σε περίπτωση μετακινήσεως βαρών:

- α) Το εκτόπισμα του πλοίου παραμένει όπως ήταν.
- β) Η θέση του κέντρου όγκου του ισοβύθιστου πλοίου θα υπολογισθεί με το εκτόπισμα από το υδροστατικό διάγραμμα ή τους υδροστατικούς πίνακες.



γ) Η νέα διαμήκης θέση του κέντρου βάρους θα βρεθεί από τη σχέση (114).

δ) Η διαγωγή θα υπολογισθεί από τη σχέση (115) (για το μετρικό σύστημα μονάδων) ή από τη σχέση (116) (για το αγγλικό).

Και στις δύο περιπτώσεις τα νέα βυθίσματα του πλοίου  $H_A$ , στην πρυμναία κάθετο και  $H_F$  στην προωραία, όπως θα δούμε και σε επόμενο παράδειγμα, μπορούν να βρεθούν από τις σχέσεις:

$$H_A = H + (\text{Διαγωγή}) \times (\text{LCF/LBP}) \quad (117)$$

και

$$H_F = H - (\text{Διαγωγή}) \times (\text{LBP} - \text{LCF})/\text{LBP} \quad (118)$$

Οι παραπάνω υπολογισμοί γίνονται ευκολότερα, όπως θα δούμε και σε σχετικό παράδειγμα, στην παράγραφο 12.14, με τη μορφή πίνακα.

### 12.11 Υπολογισμός του LCG από τη διαγωγή.

Όταν γνωρίζουμε τα βυθίσματα του πλοίου στην προωραία και στην πρυμναία κάθετο ξέρομε και τη διαφορά διαγωγής. Εξάλλου από το υδροστατικό διάγραμμα (ή τους υδροστατικούς πίνακες) μπορούμε να βρούμε:

- 1) Τη θέση του κέντρου πλευστότητας που αντιστοιχεί στο μέσο βύθισμα.
- 2) Το εκτόπισμα που αντιστοιχεί στο βύθισμα στο κέντρο πλευστότητας.
- 3) Τη διαμήκη θέση του κέντρου όγκου του ισοβύθιστου πλοίου που έχει το ίδιο εκτόπισμα.

Έχομε λοιπόν όλα τα στοιχεία που χρειαζόμαστε για να υπολογίσουμε από τη σχέση (115) ή την (116) τη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου.

### 12.12 Κέντρο ζυγοσταθμίσεως, έννοια, θέση του, μετακινήσεις του, σημασία του για τη μεταβολή βυθισμάτων.

Έχομε αναφέρει ήδη πώς βρίσκεται η θέση του κέντρου πλευστότητας που συμπίπτει με το κέντρο της επιφάνειας της ισάλου. Μάθαμε επίσης ότι η διαμήκης θέση του κέντρου πλευστότητας (LCF) είναι μία πληροφορία που περιέχεται στο υδροστατικό διάγραμμα ή στους υδροστατικούς πίνακες κάθε πλοίου.

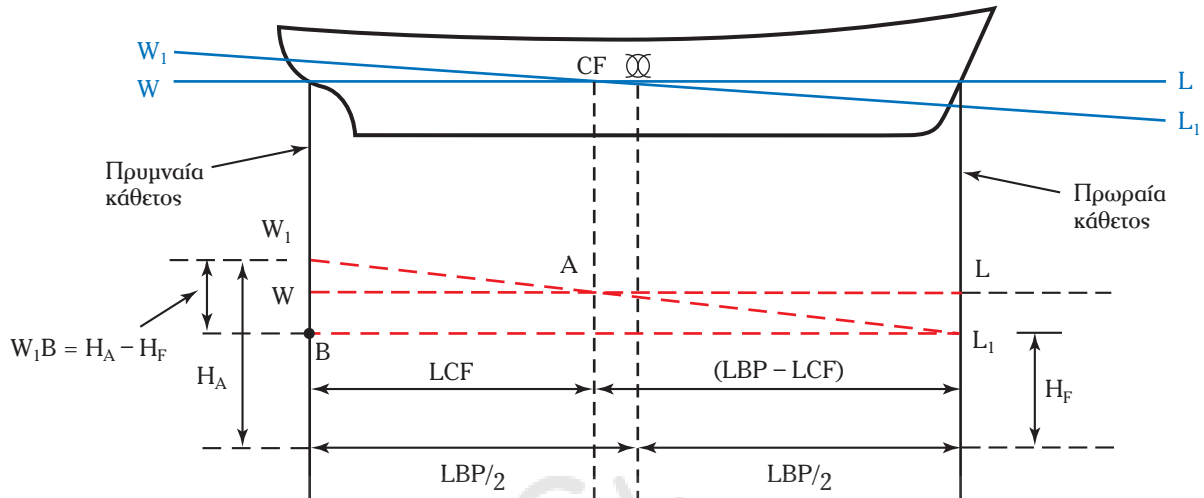
Το σημείο αυτό συχνά ονομάζεται και **κέντρο ζυγοσταθμίσεως** (tipping center) και η θέση του μεταβάλλεται με το μέσο βύθισμα του πλοίου.

Εύκολα αποδεικνύεται, αλλά η απόδειξη βρίσκεται έξω απ' τα όρια αυτού του βιβλίου, ότι **το εκτόπισμα ενός πλοίου δεν μεταβάλλεται όταν αυτό αποκτήσει διαγωγή με περιστροφή γύρω από εγκάρσιο άξονα που περνά από το κέντρο ζυγοσταθμίσεως.**

Συνέπεια της παραπάνω προτάσεως είναι ότι, **για πρακτικούς λόγους, τα υδροστατικά στοιχεία ενός πλοίου που έχει διαγωγή (εκτός από τη διαμήκη θέση του κέντρου όγκου) μπορούν να βρεθούν, με αρκετή για πρακτικούς υπολογισμούς ακρίβεια, από το υδροστατικό διάγραμμα, με βάση το βύθισμα που αντιστοιχεί στο κέντρο πλευστότητας του πλοίου.**

Η εύρεση του βυθίσματος στο κέντρο πλευστότητας, όταν είναι γνωστά τα βυθίσματα στην προωραία και πρυμναία κάθετο και η διαμήκης θέση του κέντρου πλευστότητας, μπορεί εύκολα να πραγματοποιηθεί, με τη χρησιμοποίηση απλών γεωμετρικών σχέσεων από τις ιδιότητες των ομοίων τριγώνων.

Στο σχήμα 12.12 βλέπουμε την ισάλο WL ενός ισοβύθιστου πλοίου και την ισάλο  $W_1L_1$  του ίδιου πλοίου όταν έχει διαγωγή προς την πρύμη. Αυτές οι δύο ισάλοι τέμνονται στο κέντρο πλευστότητας και επομένως τα εκτοπίσματα που αντιστοιχούν σ' αυτές είναι, μεταξύ τους, ίσα. Στο κάτω μέρος του σχήματος βλέπουμε πάλι τις ισάλους WL και  $W_1L_1$ , καθώς και το προωραίο (HF) και το πρυμναίο (HA) βύθισμα, τα οποία αντιστοιχούν στην ισάλο  $W_1L_1$ . Αν από το σημείο  $L_1$  φέρομε μια οριζόντια ευθεία, το μήκος  $W_1B$  παριστάνει τη διαγωγή που είναι ίση με  $H_A - H_F$ . Τα τρίγωνα  $W_1BL_1$ ,  $W_1WA$  και  $ALL_1$  είναι μεταξύ τους όμοια.



Σχ. 12.12.

Εύρεση βυθισμάτων σε πλοίο με διαγωγή.

Από την ομοιότητα των τριγώνων  $W_1WA$  και  $W_1BL_1$  θα έχουμε:

$$\frac{WW_1}{WB} = \frac{LCF}{LBP}$$

ή

$$\frac{WW_1}{\text{Διαγωγή}} = \frac{LCF}{LBP}$$

ή

$$WW_1 = (\text{Διαγωγή}) \times (LCF)/(LBP) \quad (119)$$

Ανάλογα μπορούμε να βρούμε ότι:

$$LL_1 = (\text{Διαγωγή}) \times (LBP - LCF)/(LBP) \quad (120)$$

Οι παραπάνω δύο σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά δύο τρόπους:

**1) Όταν δίνονται τα  $H_F$  και  $H_A$ .**

Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να βρούμε το βύθισμα στο κέντρο πλευστότητας  $H_{CF}$  από τη σχέση:

$$H_{CF} = H_A - WW_1 \quad (121)$$

**2) Όταν δίνεται το βύθισμα του ισοβύθιστου πλοίου ( $H_{CF}$ ) που έχει το ίδιο εκτόπισμα και η διαγωγή.**

Στην περίπτωση αυτή το πρυμναίο βύθισμα μπορεί να βρεθεί από τη σχέση (117) και το πρωραίο από τη σχέση:

$$H_F = H_{CF} - LL_1 \quad (122)$$

**Για σωστή χρησιμοποίηση των παραπάνω σχέσεων θεωρούμε τη διαγωγή προς την πρύμη θετική και προς την πλώρη αρνητική.**

### 12.13 Σχετικοί υπολογισμοί επί των ανωτέρω.

Η εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων θα φανεί στα παρακάτω παραδείγματα που αναφέρονται όλα στο πλοίο με τα υδροστατικά χαρακτηριστικά του πίνακα 5.6.1, το οποίο έχει μήκος μεταξύ καθέτων 192 m.

**Παράδειγμα 1.**

Να βρεθεί το εκτόπισμα του πλοίου Α, όταν πλέει ισοβύθιστο σε βύθισμα 8 m.

Αφού το πλοίο είναι ισοβύθιστο, το μέσο βύθισμά του και εκείνο στο κέντρο ζυγοσταθμίσεως (LCF) συμπίπτουν. Έτσι με απ' ευθείας ανάγνωση του υδροστατικού πίνακα, για βύθισμα 8 m, βρίσκομε ότι το εκτόπισμα σε θάλασσα είναι 31116 MT.

**Παράδειγμα 2.**

Να βρεθεί το εκτόπισμα του ίδιου πλοίου, όταν το πρωραίο βύθισμα είναι 10 m και το πρυμναίο 6 m.

Το μέσο βύθισμα του πλοίου είναι:

$$H_m = (H_A + H_F)/2 = (6+10)/2 = 8 \text{ m}$$

Έχομε δηλαδή το ίδιο μέσο βύθισμα όπως και στο παράδειγμα 1.

Όμως τώρα το πλοίο δεν είναι ισοβύθιστο και έτσι έχομε:

$$\text{Διαγωγή} = H_A - H_F = -4 \text{ m}$$

Από τον υδροστατικό πίνακα, για μέσο βύθισμα 8 m, με απ' ευθείας ανάγνωση, βρίσκομε  $LCF = 98,36 \text{ m}$ . Από τη σχέση (110):

$$WW_1 = (\text{Διαγωγή}) \times (LCF)/(LBP) = (-4) \times (98,36)/(192) = -2,05 \text{ m}$$

Από τη σχέση (121):

$$H_{CF} = H_A - WW_1 = 6 - (-2,05) = 8,05 \text{ m}$$

Με παρεμβολή στον υδροστατικό πίνακα, βρίσκομε το εκτόπισμα που αντιστοιχεί σε βύθισμα 8,05 m:

$$\begin{aligned} \Delta &= 36116 + (0,05) \times (37085 - 36116)/(0,20) = \\ &= 36116 + (0,25) \times (969) = 36116 + 242 = 36358 \text{ MT} \end{aligned}$$

Παρατηρούμε ότι αν και στα παραδείγματα 1 και 2 το μέσο βύθισμα είναι το ίδιο, τα εκτοπίσματα λόγω της διαφοράς στη διαγωγή διαφέρουν σημαντικά.

Το εκτόπισμα σ' αυτό το παράδειγμα θα μπορούσε επίσης να βρεθεί και με χρησιμοποίηση του TPC ως εξής:

Από τον υδροστατικό πίνακα για μέσο βύθισμα 8 m, έχομε  $TPC = 48,3 \text{ MT/m}$ .

Εφόσον λοιπόν γνωρίζομε ότι το εκτόπισμα σε βύθισμα 8 m είναι 36116 MT, όταν το πλοίο χρειασθεί να βυθισθεί κατά 5 cm (για να φθάσει σε βύθισμα 8,05 m στο κέντρο πλευστότητας), το εκτόπισμα θα είναι:

$$\Delta = 36116 + 5 \times 48,3 = 36116 + 241,5 = 36357,5 \text{ MT}$$

**Παράδειγμα 3.**

Να βρεθεί το εκτόπισμα του ίδιου πλοίου όταν το πρωραίο βύθισμα είναι 6 m και το πρυμναίο 10 m.

Το μέσο βύθισμα του πλοίου είναι πάλι 8 m.

Έχομε λοιπόν:

$$\text{Διαγωγή} = H_A - H_F = 10 - 6 = 4 \text{ m προς την πρύμη}$$

$$WW_1 = (\text{Διαγωγή}) \times (LCF)/(LCB) = 4 \times (98,36)/(192) = +2,05 \text{ m}$$

$$H_{CF} = H_A - WW_1 = 10 - 2,05 = 7,95 \text{ m}$$

Άρα το εκτόπισμα θα είναι:

$$\Delta = 36116 - 5 \times 48,3 = 36116 - 241,5 = 35874,5 \text{ MT}$$

Συνοψίζοντας για τα τρία παραπάνω παραδείγματα έχουμε:

| $H_F(\text{m})$ | $H_A(\text{m})$ | $H_m(\text{m})$ | $H_{CF}(\text{m})$ | $\Delta(\text{MT})$ |
|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| 8               | 8               | 8               | 8,00               | 36116,00            |
| 10              | 6               | 8               | 8,05               | 36357,50            |
| 6               | 10              | 8               | 7,95               | 35874,50            |

#### Παράδειγμα 4.

Το ίδιο πλοίο πλέει ισοβύθιστο σε μέσο βύθισμα 11 m. Μετακινούνται βάρη από την πρύμνη προς την πλώρη που δημιουργούν διαγωγή 6 m προς πλώρα. Ζητείται το πρωραίο και το πρυμναίο βύθισμα.

Εφόσον στο πλοίο δεν έχει προστεθεί (αλλά μόνο μετακινηθεί) βάρος, το εκτόπισμά του παραμένει σταθερό. Έχουμε λοιπόν ένα τυπικό πρόβλημα, όπως εκείνο του παραδείγματος 2.

Από τον υδροστατικό πίνακα, για μέσο βύθισμα 11 m, έχουμε  $LCG = LCB = 95,51 \text{ m}$ .

Επειδή η διαγωγή είναι προς πλώρα, θα έχουμε:

$$\text{Διαγωγή} = -6 \text{ m}$$

Άρα από τη σχέση (119):

$$WW_1 = (-6) \times (95,51)/(192) = -2,984 \text{ m}$$

και από την (120):

$$LL_1 = (-6) \times (192 - 95,51)/(192) = -3,016 \text{ m}$$

Από τη σχέση (121):

$$H_A = H_{CF} + WW_1 = 11 - 2,984 = 8,016 \text{ m}$$

Και από την (122):

$$H_F = H_{CF} - LL_1 = 11 - (-3,016) = 14,016 \text{ m}$$

Το μέσο βύθισμα του πλοίου με διαγωγή  $-6 \text{ m}$  είναι:

$$H_m = (H_A + H_F)/2 = (8,016 + 14,016)/2 = 11,016 \text{ m}$$

#### Παράδειγμα 5.

Το πλοίο Α πλέει σε βυθίσματα  $H_F = 9,20 \text{ m}$  και  $H_A = 7,60 \text{ m}$ . Να βρεθεί η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του σ' αυτήν την κατάσταση. Το μήκος του πλοίου είναι 192 m.

Το μέσο βύθισμα του πλοίου είναι:

$$H_m = \frac{H_F + H_A}{2} = \frac{9,20 + 7,60}{2} = 8,4 \text{ m}$$

Από τον υδροστατικό πίνακα, για το παραπάνω βύθισμα έχουμε  $LCF = 98,03$ .

$$\text{Διαγωγή} = H_A - H_F = 7,60 - 9,20 = -1,6 \text{ m}$$

Από τη σχέση (119):

$$WW_1 = (\text{Διαγωγή}) \times \frac{LCF}{LBP} = (-1,6) \times \frac{98,03}{192} = -0,82 \text{ m}$$

Από τη σχέση (121) το βύθισμα του ισοβύθιστου πλοίου που έχει το ίδιο εκτόπισμα είναι:

$$H_{CF} = H_A - WW_1 = 7,6 - (-0,82) = 8,42 \text{ m}$$

Όλοι οι παραπέρα υπολογισμοί γίνονται με στοιχεία που βρίσκονται από τον υδροστατικό πίνακα με παρεμβολή στο μέσο βύθισμα των 8,42 m. Έτσι έχουμε:

$$\begin{aligned}\Delta &= 38053 + (39027 - 38053) \times \frac{(8,42 - 8,40)}{(8,60 - 8,40)} = \\ &= 38053 + 974 \times 0,1 = 38150,4 \text{ MT}\end{aligned}$$

$$\text{MCT1 cm} = 591,56 + (596,47 - 591,56) \times 0,1 = 592,051 \text{ MT-m/cm}$$

$$\text{LCF} = 98,03 + (97,85 - 98,03) \times 0,1 = 98,012 \text{ m}$$

$$\text{LCB}_0 = 101,24 + (101,16 - 101,24) \times 0,1 = 101,232$$

Με τα παραπάνω στοιχεία έχουμε από τη σχέση (115):

$$\begin{aligned}\text{LCG} = \text{LCB}_0 &= \frac{(\text{Διαγωγή σε cm}) \times \text{MCT 1 cm}}{\Delta} = \\ &= 101,232 - \frac{(-1,6 \times 100) \times 592,051}{38150,4} = \\ &= 101,232 + 2,483 = 103,715 \text{ m}\end{aligned}$$

#### 12.14 Μέθοδοι υπολογισμού των τελικών βυθισμάτων όταν είναι γνωστά τα αρχικά βυθίσματα πλοίου και εκτελείται φορτοεκφόρτωση ενός ή πολλών βαρών. Χρήση σχετικών πινάκων.

Στα παραπάνω παραδείγματα είδαμε τον τρόπο, με τον οποίο μπορούμε να βρούμε τη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου όταν αυτό πλέει με γνωστά βυθίσματα στην πρωραία και στην πρυμναία κάθετο.

Προκειμένου να βρεθούν τα τελικά βυθίσματα του πλοίου, σε περίπτωση φορτοεκφορτώσεως κάποιων βαρών, είναι κατ' αρχήν αναγκαίο να υπολογίσουμε τη νέα διαμήκη θέση του κέντρου βάρους.

##### **Παράδειγμα 1.**

Το πλοίο Α έχει άφορτο εκτόπισμα 12432 MT, μήκος μεταξύ καθέτων, LBP, 192 m και το κέντρο βάρους του βρίσκεται στα 87,52 m προς πλώρα της πρυμναίας καθέτου. Προστίθενται φορτία 5613 MT στο Νο 5 κύτος με κέντρο βάρους 87,31 m προς πλώρα της πρυμναίας καθέτου και 8651 MT στο Νο 6 κύτος με κέντρο βάρους 65,31 m προς πλώρα της πρυμναίας καθέτου. Επίσης προστίθεται υγρό έρμα 214,8 MT στο διπύθμενο Νο 1, με κέντρο βάρους στα 173,76 m προς πλώρα της πρυμναίας καθέτου. Ζητούνται το εκτόπισμα, η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους, η διαγωγή, το μέσο βύθισμα και τα βυθίσματα στις καθέτους στην τελική κατάσταση του πλοίου.

Το τελικό εκτόπισμα και η τελική θέση του κέντρου βάρους του πλοίου μπορούν να βρεθούν με τη βοήθεια του πίνακα 12.14.1.

**Πίνακας 12.14.1.**

| στήλη 1                   | στήλη 2        | στήλη 3                           | στήλη 4          |
|---------------------------|----------------|-----------------------------------|------------------|
| Περιγραφή (MT) κάθετο (m) | Βάρος          | Βραχίονας από πρυμναία (MT) × (m) | Ροπή = (2) × (3) |
| Άφορτο πλοίο              | 12432,0        | 87,52                             | 1088670          |
| Κύτος Νο 5                | 5613,0         | 87,31                             | 490071           |
| Κύτος Νο 6                | 8651,0         | 65,31                             | 564997           |
| DB Νο 1                   | 214,8          | 173,76                            | 37324            |
| <b>Σύνολο</b>             | <b>26910,8</b> |                                   | <b>2181062</b>   |

Το εκτόπισμα του πλοίου στη νέα κατάσταση θα είναι  $\Delta = 26910,8 \text{ MT}$  και η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του:

$$\text{LCG} = (2181062)/(26910,8) = 81,047 \text{ m προς πλώρα της πρυμναίας καθέτου.}$$

Από τους υδροστατικούς πίνακες του πλοίου Α, για εκτόπισμα  $26910,8 \text{ MT}$  με γραμμική παρεμβολή για το εκτόπισμα, βρίσκουμε:

$$\text{Μέσο βύθισμα} = H_m = 6,08 \text{ m}$$

$$\text{LCB}_0 = 102,17 \text{ m}$$

$$\text{LCF} = 99,966 \text{ m}$$

$$\text{MCT } 1 \text{ cm} = 548,49 \text{ MT-m}$$

Η διαγωγή μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$\text{Διαγωγή σε cm} = \frac{\Delta(\text{LCB}_0 - \text{LCG})}{\text{MCT } 1 \text{ cm}}$$

και επομένως θα έχουμε:

$$\text{Διαγωγή} = 26910,8(102,17 - 81,047)/(548,49) = 1036,4 \text{ cm προς την πρύμη}$$

Τα τελικά βυθίσματα, από τις σχέσεις (117) και (118) θα είναι:

$$H_A = 6,08 + 10,364(99,966/192,0) = 11,47 \text{ m}$$

και

$$H_F = 6,08 - 10,364(192 - 99,966)/(192,0) = 1,11 \text{ m}$$

Οι μέθοδοι που αναπτύξαμε παραπάνω έχουν εφαρμογή για προσθαφαιρέσεις μικρών ή μεγάλων, σε σχέση με το εκτόπισμα, βαρών.

Σε περιπτώσεις όμως προσθαφαιρέσεως μικρών βαρών, σε σχέση πάντα με το εκτόπισμα, **μπορεί να εφαρμοσθεί και μια διαφορετική μέθοδος πολύ απλούστερη, χωρίς σημαντικό σφάλμα.**

### 1) Προσθήκη μικρού βάρους.

Το βάρος που προστίθεται θεωρείται ότι έχει κέντρο βάρους το κέντρο πλευστότητας (κέντρο ζυγοσταθμίσσεως). Αυτό δημιουργεί μία παράλληλη βύθιση του πλοίου (ίση αύξηση των βυθισμάτων) που μπορεί να υπολογισθεί με χρήση του TP 1 cm ή του TP 1 in.

Στη συνέχεια το βάρος θεωρείται ότι μεταφέρεται στην πραγματική του θέση και η σχετική μεταβολή της διαγωγής (όχι η διαγωγή, αλλά η μεταβολή της) υπολογίζεται από τη σχέση (111) (ή την 112).

### 2) Αφαίρεση μικρού βάρους.

Το βάρος θεωρείται ότι μεταφέρεται από την πραγματική του θέση στο κέντρο πλευστότητας και η σχετική μεταβολή της διαγωγής (όχι η διαγωγή, αλλά η μεταβολή της) υπολογίζεται από τη σχέση (111) [ή την (112)].

Στη συνέχεια, το βάρος που αφαιρείται θεωρείται, ότι έχει κέντρο βάρους το κέντρο πλευστότητας (κέντρο ζυγοσταθμίσσεως). Αυτό δημιουργεί μία παράλληλη αποβύθιση του πλοίου (ίση ελάττωση των βυθισμάτων) που μπορεί να υπολογισθεί με χρήση του TP 1 cm ή του TP 1 in.

Στην εφαρμογή αυτής της μεθόδου, η διαμήκης θέση του κέντρου πλευστότητας, η ροπή μεταβολής διαγωγής κατά 1 cm ή κατά 1 in και οι τόνοι ανά cm ή ανά in είναι σωστό να βρίσκονται από το υδροστατικό διάγραμμα ή τους υδροστατικούς πίνακες για το μέσο όρο του εκτοπίσματος πριν και μετά την προσθαφαίρεση του βάρους. Αυτό δεν έχει πολύ μεγάλη σημασία για το σχεδόν έμφορτο πλοίο, όπου τα παραπάνω μεγέθη παραμένουν σχεδόν σταθερά για μικρές μεταβολές του βυθίσματος.

## Παράδειγμα 2.

Το πλοίο Α πλέει ισοβύθιστο με εκτόπιση 38150,4 ΜΤ. Στη συνέχεια προστίθεται βάρος 5613 ΜΤ, με διαμήκη θέση κέντρου βάρους 87,13 m πιο πρώρα από την πρυμναία κάθετο και αφαιρείται βάρος 214,8 ΜΤ με κέντρο βάρους 173,7 m πιο πρώρα από την πρυμναία κάθετο. Να βρεθούν τα τελικά βυθίσματα με τη μέθοδο προσθαφαιρέσεως μικρών και μεγάλων βαρών.

### 1) Αρχική κατάσταση πλοίου (κατάσταση 1).

Με παρεμβολή στον πίνακα 5.6.1 έχουμε:

$$H_{CF_1} = H_{F_1} = H_{A_1} = 8,42 \text{ m}$$

$$L_{CF_1} = 98,012 \text{ m}$$

$$(MCT 1 \text{ cm})_1 = 592,051 \text{ MT-m}$$

$$(TPC)_1 = 48,6 + (48,7 - 48,6) \times \frac{(8,42 - 8,40)}{(8,60 - 8,4)} = 48,61 \text{ MT}$$

### 2) Προσθήκη βάρους 5613 ΜΤ (κατάσταση 2).

Εκτόπιση  $\Delta_2 = 38150,4 + 5613 = 43763,4$  ΜΤ με παρεμβολή στον πίνακα 5.6.1 με το εκτόπιμα έχουμε:

$$\begin{aligned} LCF_2 &= 96,89 + (96,67 - 96,89) \times \frac{(43763,4 - 42945)}{(43931 - 42945)} = \\ &= 96,89 - 0,22 \times 0,83 = 96,707 \text{ m} \end{aligned}$$

$$(MCT 1 \text{ cm})_2 = 619,85 + (626,58 - 619,85) \times 0,83 = 625,43 \text{ MT}$$

$$(TPC)_2 = 49,3 + (49,5 - 49,3) \times 0,83 = 49,466 \text{ MT}$$

Για την παραπάνω μεταβολή θεωρούμε ότι:

$$(LCF)_{1-2} = (98,012 + 96,707)/2 = 97,359 \text{ m}$$

$$(MCT 1 \text{ cm})_{1-2} = (592,051 + 625,43)/2 = 608,74 \text{ MT-m}$$

$$(TPC)_{1-2} = (48,61 + 49,466)/2 = 49,038 \text{ MT}$$

### - Προσθήκη βάρους στο LCF.

$$\text{Παράλληλη βύθισση} = \frac{5613}{49,038} = 114,46 \text{ cm}$$

### - Μετακίνηση βάρους στη θέση του.

$$\text{Διαμήκης ροπή} = 5613 (97,359 - 87,31) = +56405 \text{ MT-m}$$

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = \frac{56405}{608,74} = 92,65 \text{ cm}$$

Από τη σχέση (119):

$$WW_1 = 92,65 \times (97,359)/192 = 46,98 \text{ cm}$$

Από τη σχέση (120):

$$LL_1 = 92,65 \times \frac{192 - 97,359}{192} = 45,67 \text{ cm}$$

**- Υπολογισμός βυθισμάτων.**

|                         | Πρωραίο       | Πρυμναίο       |
|-------------------------|---------------|----------------|
| Αρχικό βύθισμα          | 8,42          | +8,42          |
| Παράλληλη βύθιση        | +1,15         | +1,15          |
| Μεταβολή διαγωγής       | -0,46         | +0,47          |
| <b>Τελικά βυθίσματα</b> | <b>9,11 m</b> | <b>10,04 m</b> |

**3) Αφαίρεση βάρους 214,8 MT (κατάσταση 3).**

$$\text{Εκτόπισμα } \Delta_3 = 43763,4 - 214,8 = 43548,6 \text{ MT}$$

Με παρεμβολή στον πίνακα 5.6.1 με το εκτόπισμα έχουμε:

$$\begin{aligned} LCF_3 &= 96,89 + (96,7 - 96,89) \times \frac{(43548,6 - 42945)}{(43931 - 42945)} = \\ &= 96,89 - 0,22 \times 0,612 = 96,755 \text{ m} \end{aligned}$$

$$(\text{MCT } 1 \text{ cm})_3 = 619,85 + (626,58 - 619,85) \times 0,612 = 623,97 \text{ MT-m}$$

$$(\text{TPC})_3 = 49,3 + (49,5 - 49,3) \times 0,612 = 49,42 \text{ MT}$$

Για την παραπάνω μεταβολή θεωρούμε ότι:

$$(\text{LCF})_{2-3} = (96,707 + 96,755)/2 = 96,731 \text{ m}$$

$$(\text{MCT } 1 \text{ cm})_{2-3} = (625,43 + 623,97)/2 = 624,7 \text{ MT-m}$$

$$(\text{TPC})_{2-3} = (49,46 + 49,42) / 2 = 49,44 \text{ MT}$$

**- Μετακίνηση βάρους από τη θέση του στο LCF.**

$$\begin{aligned} \text{Διαμήκης ροπή} &= (173,7 - 96,731) \times 214,8 = +16533 \text{ MT-m} \\ &(\text{θετική γιατί τείνει να δημιουργήσει διαγωγή προς πρύμνα}) \end{aligned}$$

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = \frac{16533}{624,7} = 26,46 \text{ cm}$$

$$WW_1 = 26,46 \times \frac{96,731}{192} = 13,33 \text{ cm}$$

$$LL_1 = 26,46 \times \frac{192 - 96,731}{192} = 13,33 \text{ cm}$$

**- Αφαίρεση βάρους από το LCF.**

$$\text{Παράλληλη αποβύθιση} = (214,8)/(49,44) = 4,34 \text{ ft}$$



|                         | Πρωραίο        | Πρυμναίο       |
|-------------------------|----------------|----------------|
| Αρχικό βύθισμα          | 9,11           | 10,04          |
| Παράλληλη βύθιση        | -0,043         | -0,043         |
| Μεταβολή διαγωγής       | -0,131         | +0,133         |
| <b>Τελικά βυθίσματα</b> | <b>8,936 m</b> | <b>10,13 m</b> |

### Παράδειγμα 3.

Να λυθεί το προηγούμενο παράδειγμα με τη μέθοδο των μεγάλων βαρών.

Για την εύρεση του βάρους και της διαμήκουσ θέσεως του κέντρου βάρους του πλοίου καταρτίζουμε τον πίνακα:

| στήλη 1       | στήλη 2        | στήλη 3                | στήλη 4                   |
|---------------|----------------|------------------------|---------------------------|
| Περιγραφή     | Βάρος (MT)     | Βραχίονας (m)          | Ροπή = (2) × (3) (MT - m) |
| Αρχικό πλοίο  | 38150,4        | 101,232 <sup>(1)</sup> | 3862041                   |
| Φορτίο        | +5613          | 87,31                  | 490071                    |
| Πετρέλαιο     | -214,8         | 173,7                  | -37310                    |
| <b>Σύνολο</b> | <b>43548,6</b> |                        | <b>4314802</b>            |

**Σημείωση:** Από τον πίνακα 5.6.1 με παρεμβολή για το εκτόπισμα.

Στην τελική κατάσταση  $LCG = 4314802/43548,6 = 99,08 \text{ m}$ .

Με παρεμβολή στον πίνακα 5.6.1 για εκτόπισμα 43548,6 MT έχουμε:

$$H_{CF} = 9,40 + (9,60 - 9,40) \times \frac{43548,6 - 42945}{43931 - 42945} = 9,40 + 0,2 \times 0,612 = 9,522 \text{ m}$$

Επίσης είναι:

$$LCF = 96,755 \text{ (m)}, MCT 1 \text{ cm} = 623,97 \text{ (MT-m)} \text{ και } LCB_0 = 100,754 \text{ (m)}$$

Από τη σχέση (113) έχουμε:

$$\text{Διαγωγή σε cm} = \frac{\Delta(LCB_0 - LCG)}{MCT 1 \text{ cm}} = \frac{43548,6(100,754 - 99,08)}{623,97} = 116,83 \text{ cm}$$

$$WW_1 = 116,83 \times \frac{96,755}{192} = 58,875 \text{ cm}$$

και

$$LL_1 = 116,83 \times \frac{192 - 96,755}{192} = 57,954 \text{ cm}$$

Επομένως:

$$H_A = H_{CF} + WW_1 = 9,522 + 0,588 = 10,11 \text{ cm}$$

$$H_F = H_{CF} - LL_1 = 9,522 - 0,579 = 8,943 \text{ m}$$

Σε σύγκριση με το προηγούμενο παράδειγμα είναι φανερό ότι έχουμε πολύ μικρή διαφορά στα αποτελέσματα. Η μέθοδος των μικρών βαρών είναι στην πραγματικότητα απλούστερη όταν οι τιμές των LCF, MCT1, TPC ληφθούν χωρίς παρεμβολές (και όχι όπως έγινε στο παράδειγμα παραπάνω).

### 12.15 Ολοκλήρωση φορτώσεως με επιθυμητή διαγωγή.

As φαντασθούμε ένα πλοίο που έχει παραλάβει όλα του τα εφόδια (καύσιμα, τρόφιμα, νερό κ.λπ.) για το ταξίδι και έχει φορτώσει το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου του, σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς φορτώσεως. As υποθέσουμε επίσης ότι σ' αυτήν την κατάσταση έχει κάποια διαγωγή  $(\delta H)_1$ , ενώ θα ήταν επιθυμητό να έχει διαγωγή  $(\delta H)_2$ . As θεωρήσουμε τέλος ότι το φορτίο που απομένει να φορτωθεί, σύμφωνα με τους κανονισμούς «περί γραμμής φορτώσεως» είναι  $w$  τόνοι. Με βάση αυτά που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 12.14 για τις προσθαφαιρέσεις μικρών βαρών, θα έχουμε:

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = (\delta H)_2 - (\delta H)_1 = (w) \times (LCF - X) / MCT \text{ 1 cm} \quad (123)$$

όπου:  $X$  είναι η απόσταση από την πρυμναία κάθετο μέχρι το σημείο, στο οποίο πρέπει να τοποθετηθεί το βάρος  $w$  για να δημιουργήσει την επιθυμητή μεταβολή της διαγωγής.

Επιλέγουμε στη συνέχεια δύο κύτη που:

1) Αν είναι δυνατό έχουν κέντρα βάρους το ένα προς πλώρα και το άλλο προς πρύμα του κέντρου πλευστότητας.

2) Αν αυτό δεν είναι δυνατό, δοκιμάζουμε με τα δύο πλησιέστερα προς το κέντρο πλευστότητας κύτη, τα οποία έχουν κέντρο βάρους προς πλώρα του κέντρου πλευστότητας, αν η επιθυμητή μεταβολή διαγωγής είναι αρνητική και προς πρύμα, αν συμβαίνει το αντίθετο.

Αν συμβολίσουμε με  $X_1, X_2$  τις γνωστές, από τα σχέδια διαμήκεις αποστάσεις του κέντρου βάρους των κυτών που έχουμε επιλέξει από την πρυμναία κάθετο και με  $w_1, w_2$  τα αντίστοιχα βάρη που θα προστεθούν σ' αυτά, για ισορροπία θα πρέπει:

$$w_1 + w_2 = w$$

και

$$w_1 X_1 + w_2 X_2 = w X$$

Η λύση του παραπάνω συστήματος εξισώσεων δίνει:

$$w_1 = (w)(X_2 - X) / (X_2 - X_1) \quad (124)$$

και

$$w_2 = (w)(X - X_1) / (X_2 - X_1) \quad (125)$$

#### Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.

1) **Αν τα  $w_1$  και  $w_2$  είναι θετικά**, τα βάρη που θα πρέπει να προστεθούν στα κύτη με κέντρα βάρους  $X_1$  και  $X_2$  πιο πλώρα από την πρυμναία κάθετο θα είναι  $w_1$  και  $w_2$  αντίστοιχα.

2) **Αν ένα από τα  $w_1$  και  $w_2$  είναι αρνητικό (π.χ. το  $w_1$ )**, τότε από τη θέση με κέντρο βάρους  $X_1$  θα πρέπει να αφαιρεθεί βάρος  $w_1$  και στη θέση  $X_2$  να προστεθεί βάρος  $w_2$ .

**Και στις δύο περιπτώσεις, αν έχουμε κάνει σωστά τους υπολογισμούς, το αλγεβρικό άθροισμα των  $w_1$  και  $w_2$  θα πρέπει να είναι ίσο με το υπολειπόμενο για τη συμπλήρωση της φορτώσεως φορτίο  $w$ .**

Αν τα παραπάνω δεν μπορούν ή δεν είναι επιθυμητό να γίνουν στην πράξη (αν π.χ. δεν υπάρχει αρκετός χώρος στο αντίστοιχο κύτος ή δεν είναι επιθυμητή η αφαίρεση φορτίου), θα πρέπει να επιδιωχθεί αντιμετώπιση του προβλήματος με συνδυασμό δύο άλλων κυτών.

Φυσικά το πρόβλημα μπορεί να λυθεί πάνω στις ίδιες αρχές και με συνδυασμό περισσότερων από δύο κυτών, αλλά στην περίπτωση αυτή η λύση είναι πιο δύσκολη.

**Τέλος θα πρέπει εδώ να πούμε ότι στα σύγχρονα πλοία όλοι σχεδόν οι υπολογισμοί αυτού του κεφαλαίου μπορούν να γίνουν από τους εγκατεστημένους στα πλοία υπολογιστές, οι πλοίαρχοι όμως θα πρέπει να είναι εξοικειωμένοι με τις αρχές που αναφέρθηκαν για πολλούς λόγους, μεταξύ των οποίων και πιθανές βλάβες των υπολογιστών.**

#### Παράδειγμα.

As υποθέσουμε ότι το πλοίο A, σύμφωνα με τους κανονισμούς της γραμμής φορτώσεως, μπορεί να

φορτωθεί μέχρι μέσο βύθισμα 12,06 m. Έστω ότι σε κάποια φάση της φορτώσεως τα βυθίσματα του πλοίου είναι  $H_F = 11,82$  και  $H_A = 12,00$  m. Να υπολογισθεί πόσο είναι το υπολειπόμενο φορτίο και σε ποιο ζευγάρι κυτών (αμπαριών) μπορεί να φορτωθεί, ώστε το πλοίο να αποπλεύσει ισοβύθιστο.

Το μέσο βύθισμα του πλοίου είναι:

$$H_M = (H_A + H_F)/2 = (12,00 + 11,82)/2 = 11,91 \text{ m}$$

Από τον υδροστατικό πίνακα του πλοίου (πίν. 5.6.1), για το παραπάνω βύθισμα, βρίσκουμε (με γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στα βυθίσματα 11,80 m και 12,00 m):

$$\begin{aligned} \text{TPC} &= 51,3 + (51,5 - 51,3) \times (11,91 - 11,80) / (12 - 11,80) = \\ &= 51,3 + 0,2 \times 0,55 = 51,41 \text{ MT} \end{aligned}$$

$$\text{MCT 1 cm} = 693,79 + (700,31 - 693,79) \times 0,55 = 697,376 \text{ (MT-m)/cm}$$

$$\text{LCF} = (95,05 + (94,69 - 95,05) \times 0,55) = 94,852 \text{ m}$$

$$\text{Υπολειπόμενο βύθισμα} = 12,06 - 11,91 = 0,15 \text{ m ή } 15 \text{ cm}$$

$$\text{Υπολειπόμενο φορτίο} = 15 \times \text{TPC} = 15 \times 51,41 = 771,15$$

$$(\delta H)_1 = H_A - H_F = 12,00 - 11,82 = 0,18 \text{ m ή } 18 \text{ cm}$$

$$\text{Επιθυμητή τελική διαγωγή} = (\delta H)_2 = 0$$

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = (\delta H)_2 - (\delta H)_1 = 0 - 18 = -18 \text{ cm}$$

Εδώ η επιθυμητή μεταβολή της διαγωγής είναι προς πλώρα (αρνητική) και επομένως θα πρέπει να επιλέξουμε κύπη με κέντρα βάρους προς πλώρα του κέντρου πλευστότητας, δηλαδή πιο πλώρα από 94,852 m προς πλώρα της πρυμναίας καθέτου, όπου βρίσκεται το κέντρο πλευστότητας.

Από τα στοιχεία των κυτών του πλοίου (βλ. πίνακα 5.9.1 του κεφ. 5), βλέπουμε ότι κατ' αρχήν κατάλληλα (με κέντρα βάρους προς πλώρα και προς πρύμα ενός σημείου που απέχει 94,852 m από την πρυμναία κάθετο) είναι τα κύπη Νο 3 και 4. Δοκιμάζουμε όμως και μερικούς άλλους συνδυασμούς.

### 1) Κύπη 1, 2.

Τα κέντρα βάρους των κυτών 1 και 2 (πίνακας 5.9.1) είναι:

$X_1 = 169,41$  και  $X_2 = 153$  και με βάση τη σχέση (123) θα έχουμε:

$$-18 = 771,15 \times (94,852 - X)/697,376$$

και επομένως  $X = 111,13$  m.

Από τη σχέση (124):

$$w_1 = w (X_2 - X_1)/(X_2 - X_1) = 771,15 \times (153 - 111,13)/(153 - 169,41) = -1967,583 \text{ MT}$$

Από τη σχέση (125):

$$w_2 = w (X - X_1)/(X_2 - X_1) = 771,15 \times (111,13 - 169,41)/(153 - 169,41) = 2738,7333 \text{ MT}$$

### 2) Κύπη 2, 3.

Τώρα  $X_1 = 153$  και  $X_2 = 132,19$  και

$$w_1 = 771,15 \times (132,19 - 111,13)/(132,19 - 153) = -780,41 \text{ MT}$$

και

$$w_2 = 771,15 \times (111,13 - 153)/(132,19 - 153) = 1551,56 \text{ MT}$$

**3) Κύπη 3, 4.**

Τώρα  $X_1 = 132,19$  και  $X_2 = 87,31$  και

$$w_1 = 771,15 \times (109,19 - 111,13)/(109,19 - 132,19) = 65,044 \text{ MT}$$

και

$$w_2 = 771,15 \times (111,13 - 132,19)/(109,19 - 132,19) = 706,104 \text{ MT}$$

**4) Κύπη 4, 5.**

Τώρα  $X_1 = 109,19$  και  $X_2 = 87,31$  και

$$w_1 = 771,15 \times (87,31 - 111,13)/(87,31 - 109,19) = 839,524 \text{ MT}$$

και

$$w_2 = 771,15 \times (111,13 - 109,19)/(87,31 - 109,19) = -68,374 \text{ MT}$$

Με βάση τα παραπάνω έχουμε τους εξής πιθανούς συνδυασμούς (πιν. 12.15.1):

**Πίνακας 12.15.1**  
**Πιθανοί συνδυασμοί φορτώσεως.**

| Συνδυασμός | Περιγραφή  |
|------------|--|
| No 1       | Εκφόρτωση 1967 τόνων από το No 1 και φόρτωση 2738,7 τόνων στο No 2   |
| No 2       | Εκφόρτωση 780,40 τόνων από το No 2 και φόρτωση 1551,5 τόνων στο No 3 |
| No 3       | Φόρτωση 65 τόνων στο No 3 και φόρτωση 706,1 τόνων στο No 4           |
| No 4       | Φόρτωση 839,5 τόνων στο No 4 και εκφόρτωση 68,4 τόνων από το No 5    |

Συνοψίζοντας οι πιθανοί συνδυασμοί ολοκληρώσεως της φορτώσεως, παρουσιάζονται στον πίνακα 12.15.1, όπου βλέπουμε ότι αν το κύτος No 4 έχει χώρο, ο συνδυασμός 3, 4 αποτελεί τον ευκολότερο τρόπο συμπληρώσεως της φορτώσεως, ώστε το πλοίο να μεταφέρει όλο το φορτίο του, με την επιθυμητή διαγωγή (στην περίπτωση του παραδείγματος ισοβύθιστο).

**12.16 Προϋπολογισμός βυθισμάτων κατάπλου.**

Συχνά, για ναυτιλιακούς λόγους που σχετίζονται με την ιδιομορφία του κάθε λιμανιού, είναι απαραίτητο να προεκτιμήσουμε τα βυθίσματα, με τα οποία θα καταπλεύσει το πλοίο.

Για τον προϋπολογισμό των βυθισμάτων του κατάπλου μπορούμε να ξεκινήσουμε με αρχικά στοιχεία είτε από την κατάσταση φορτώσεως κατά την αναχώρηση, είτε από κάποια άλλη κατάσταση κατά τη διάρκεια του ταξιδιού (αρχική κατάσταση αναφοράς). Και στις δύο περιπτώσεις θα πρέπει να γνωρίζουμε, στην αρχική κατάσταση αναφοράς, τα βυθίσματα του πλοίου, το περιεχόμενο σε τόνους κάθε δεξαμενής και την ποσότητα των εφοδίων, καθώς και την αντίστοιχη θέση του κέντρου βάρους τους.

Στη συνέχεια, με βασικό στοιχείο τις υπόλοιπες ώρες ταξιδιού, την ειδική κατανάλωση των μηχανών και ηλεκτρομηχανών σε λάδι και πετρέλαιο και τις ημερήσιες μέσες καταναλώσεις σε εφόδια και πόσιμο νερό, θα πρέπει να υπολογίσουμε τις συνολικές καταναλώσεις μέχρι τον κατάπλου σε εφόδια, πόσιμο και τροφοδοτικό νερό, πετρέλαιο και λάδι λιπάνσεως. Επίσης ο πλοίαρχος θα πρέπει να αποφασίσει από ποιες δεξαμενές θα πάρει τα υγρά που θα χρειασθεί, ώστε να πετύχει τις καλύτερες γενικά συνθήκες, από πλευράς ασφάλειας, καταναλώσεις, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Πιο συγκεκριμένα ο πλοίαρχος θα πρέπει ταυτόχρονα με τη ρύθμιση των βυθισμάτων κατάπλου, να εξετάζει και την εγκάρσια ευστάθεια, ώστε αυτή να μην γίνει ανεπαρκής σε κανένα σημείο του ταξιδιού, ως συνέπεια της ταυτόχρονης δημιουργίας ελευθέρων επιφανειών σε πολλές δεξαμενές του πλοίου.

Με τα παραπάνω στοιχεία η εύρεση των βυθισμάτων του κατάπλου είναι μία απλή άσκηση αφαιρέσεως βαρών (των εφοδίων και των υγρών που θα καταναλωθούν από τις αντίστοιχες θέσεις).

### Παράδειγμα.

Ας υποθέσουμε ότι στο πλοίο Α του παραδείγματος της παραγράφου 12.15, με μήκος μεταξύ καθέτων 192 m, προστέθηκαν 65 και 706,1 τόνοι φορτίου στα κύπη Νο 3 και Νο 4 και έτσι απέπλευσε, ισοβύθιστο, με το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα των 12,06 m. Το ελάχιστο βάθος στο λιμάνι προορισμού, ας υποθέσουμε ότι είναι 13 m. Προκειμένου ο πλοίαρχος να εξετάσει την ασφαλή ή όχι προσέγγιση στο λιμάνι προορισμού, εξετίμησε ότι κατά τη διάρκεια του πλου θα υπήρχαν οι εξής καταναλώσεις:

- Πετρέλαιο λεβήτων 400 τόνοι με κέντρο βάρους 84 m προς πλώρα της πρύμα καθέτου.
- Πετρέλαιο diesel 80 τόνοι με κέντρο βάρους 10 m προς πλώρα της πρύμα καθέτου.
- Λάδι λιπάνσεως 15 τόνοι με κέντρο βάρους 15 m προς πλώρα της πρύμα καθέτου.
- Πόσιμο νερό 120 τόνοι με κέντρο βάρους 30 m προς πλώρα της πρύμα καθέτου.
- Εφόδια 60 τόνοι με κέντρο βάρους 50 m προς πλώρα της πρύμα καθέτου.

Ζητείται να εκτιμηθούν τα βυθίσματα του πλοίου κατά τον κατάπλου στο λιμένα προορισμού.

Από τον υδροστατικό πίνακα για βύθισμα 12,06 m (με παρεμβολή ανάμεσα στα βυθίσματα 12,00 m και 12,20 m) θα έχουμε κατά την αναχώρηση του πλοίου:

$$\begin{aligned} \text{Εκτόπισμα} &= 56038 + (12,06 - 12,00) \times (57087 - 56038) / (12,20 - 12,06) = \\ &= 56038 + 1049 \times 0,3 = 56038 + 314,7 = 56352,7 \text{ MT} \end{aligned}$$

και

$$\text{LCB} = 99,63 + (99,54 - 99,63) \times 0,3 = 99,63 - 0,012 = 99,618 \text{ m}$$

Αφού το πλοίο απέπλευσε ισοβύθιστο θα έχουμε κατά την αναχώρηση:

$$\text{LCG} = \text{LCB} = 99,618 \text{ m}$$

Καταρτίζουμε στη συνέχεια τον ακόλουθο πίνακα για την εύρεση του εκτόπισματος και τη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους στη φάση της αφίξεως.

|                         | στήλη 1        | στήλη 2   | στήλη 3                     | στήλη 4 |
|-------------------------|----------------|-----------|-----------------------------|---------|
| Περιγραφή               | Βάρος          | Βραχίονας | Γινόμενο<br>(4) = (2) × (3) |         |
| Πλοίο στην αναχώρηση    | 56352,7        | 99,618    | 5613743                     |         |
| Πετρέλαιο λεβήτων       | -400,0         | 84,00     | -33600                      |         |
| Πετρέλαιο diesel        | -80,0          | 10,00     | -800                        |         |
| Λάδι λιπάνσεως          | -15,0          | 15,00     | -150                        |         |
| Πόσιμο νερό             | -120,0         | 30,00     | -3600                       |         |
| Εφόδια                  | - 60,0         | 50,00     | -3000                       |         |
| <b>Πλοίο στην άφιξη</b> | <b>55677,7</b> |           | <b>5572593</b>              |         |

Στην άφιξη το πλοίο θα έχει εκτόπισμα  $\Delta = 55677,7 \text{ MT}$  και η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του θα είναι:

$$\text{LCG} = 5572593 / 55677,7 = 100,08 \text{ m}$$

Με στοιχεία από τον υδροστατικό πίνακα με παρεμβολή για το εκτόπισμα των 55677,7 m (ανάμεσα στα εκτοπίσματα 55002 και 56038 MT), θα έχουμε για τα νέα υδροστατικά στοιχεία του πλοίου στην κατάσταση της αφίξεως:

$$\begin{aligned} \text{LCF} &= 95,05 + (55677,7 - 55002) \times (94,96 - 95,05) / (56038 - 55002) = 95,05 + (0,652) \times (-0,09) = \\ &= 95,05 - 0,059 = 94,99 \text{ m} \end{aligned}$$

$$LCB = 99,71 + (0,652) \times (99,71 - 99,63) = 99,71 + (0,652) \times (0,08) = 99,76 \text{ m}$$

και

$$\begin{aligned} MCT 1 \text{ cm} &= 693,79 + (0,652) \times (700,31 - 693,79) = 693,79 + (0,652) \times (6,52) = \\ &= 698,04 \text{ MT-m/cm} \end{aligned}$$

και

$$H_{CF} = 11,80 + (0,652) \times (12,0 - 11,80) = 11,80 + (0,652) \times (0,2) = 11,93 \text{ m}$$

Στη συνέχεια από τη σχέση (113) βρίσκουμε:

$$\begin{aligned} \text{Διαγωγή σε cm} &= \Delta \times (LCB_0 - LCG)/MCT 1 \text{ cm} = 55677,7 \times (99,79 - 100,08) = \\ &= 55677,7 \times (-0,29)/698,04 = -23,13 \text{ cm (ή } 0,231 \text{ m προς πλώρα)} \end{aligned}$$

Τα νέα βυθίσματα του πλοίου στην άφιξη βρίσκονται από τις σχέσεις (115) και (116) ως εξής:

$$H_A = H_{CF} + (\text{Διαγωγή}) \times (LCF/LBP) = 11,93 + (-0,231) \times (94,99/192) = 11,81 \text{ m}$$

και

$$\begin{aligned} H_F &= H_{CF} - (\text{Διαγωγή}) \times (LBP - LCF)/LBP = 11,93 - (-0,231) \times (192 - 94,99)/192 = \\ &= 11,93 + 0,116 = 12,046 \text{ m} \end{aligned}$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι, αν δεν πραγματοποιηθεί καμιά μετάγγιση ή προσθαφαίρεση υγρού έρματος, το πλοίο θα φθάσει στο λιμάνι με μικρή διαγωγή προς πλώρα (ελαφρά μπρουμουτισμένο) και μπορεί να μπει σ' αυτό με ανοχή βυθίσματος περίπου ενός μέτρου.

Είναι προφανές ότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων που προέκυψαν εξαρτάται από την ακρίβεια με την οποία ο πλοίαρχος έχει κάνει τις εκτιμήσεις του για τις καταναλώσεις κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.

### **Ασκήσεις.**

1. Δεξαμενόπλοιο με μήκος μεταξύ καθέτων 145 m, εκτόπισμα 12200 MT και MCT 1 cm MT-m/cm αναχωρεί με πρυμναίο βύθισμα 7,3 m και πρωραίο 7,1 m. Το πλοίο έχει δύο δεξαμενές πετρελαίου με κέντρα βάρους 70 m προς πλώρα και 60 m προς πρύμα του κέντρου πλευστότητας που περιέχουν 500 και 450 tn πετρέλαιο αντίστοιχα. Το LCF του πλοίου, μετρούμενο προς πλώρα της πρυμναίας καθέτου, είναι ίσο με 72 m. Ζητείται η ποσότητα του πετρελαίου που πρέπει να μεταφερθεί από δεξαμενή σε δεξαμενή, ώστε το πλοίο να γίνει ισοβύθιστο.
2. Πλοίο πλέει με βυθίσματα 6,0 πρωραίο και 6,6 πρυμναίο. Πραγματοποιούνται οι ακόλουθες φορτώσεις:
  - α) 20 και 40 tn με κέντρα βάρους 29 και 24 m προς πλώρα του μέσου αντίστοιχα.
  - β) 60 και 25 tn με κέντρα βάρους 12 και 2 m προς πρύμα του μέσου αντίστοιχα.
 Επί πλέον δίνονται MCT 1 cm = 200 και TPC = 30. Το LCF βρίσκεται στο μέσο του πλοίου. Ζητούνται τα βυθίσματα μετά τη φόρτωση.
3. Πλοίο με μήκος 150 m, με εκτόπισμα 11500 MT, πλέει με βυθίσματα 7,0 πρωραίο και 8,0 πρυμναίο. Το LCF βρίσκεται στο μέσο του πλοίου. Ζητείται πόσο φορτίο πρέπει να εκφορτωθεί από κύτος, με κέντρο βάρους 50 m προς πρύμα του μέσου, ώστε το πλοίο να περάσει ασφαλώς από αγκυροβόλιο που επιτρέπει μέγιστο βύθισμα 7,5 m. Δίδονται επίσης MCT 1 cm = 300 και TPC = 15.

## **12.17 Κατάπλους με επιθυμητή διαγωγή.**

### **1) Γενικά.**

Για ναυτιλιακούς λόγους που σχετίζονται με την ιδιομορφία και τα χαρακτηριστικά του κάθε λιμανιού, είναι απαραίτητο οι χειριστές και ιδιαίτερα ο πλοίαρχος να προεκτιμήσει τα βυθίσματα με τα οποία θα καταπλεύσει το πλοίο στο λιμάνι και ενδεχομένως να επέμβει και σε μεταβολή της διαγωγής του πλοίου.

## 2) Ρύθμιση βυθισμάτων κατάπλου.

Αν τα βυθίσματα από τον παραπάνω υπολογισμό δεν θεωρηθούν ικανοποιητικά, θα πρέπει να ληφθούν διορθωτικά μέτρα. Σημειώνεται εδώ ότι με τα διορθωτικά μέτρα είναι δυνατό να μεταβληθεί η διαγωγή ή να μεταβληθούν τα βυθίσματα. Ελάττωση του μέσου βυθίσματος είναι δυνατή μόνο στην περίπτωση που το πλοίο έχει ήδη στις δεξαμενές υγρό έρμα, μέρος του οποίου αδειάζει στη θάλασσα. Αυτό είναι μία ασυνήθιστη κατάσταση στα φορτηγά πλοία, όταν έχουν παραλάβει κατά τη φόρτωσή τους το σύνολο του φορτίου που κατά τους κανονισμούς *περί Γραμμής Φορτώσεως* (βλ. κεφ. 15), επιτρέπεται να μεταφέρουν, ενώ τη συναντούμε μερικές φορές σε επιβατικά πλοία. Έτσι, όταν γενικά μιλάμε για ρύθμιση βυθισμάτων κατάπλου, εννοούμε κυρίως τη μεταβολή της διαγωγής.

Μεταβολή της διαγωγής όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο, είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με:

- α) Μεταφορά υγρών από δεξαμενή σε δεξαμενή.
- β) Πλήρωση με θάλασσα ορισμένων δεξαμενών υγρού έρματος.
- γ) Εκκένωση στη θάλασσα ορισμένων δεξαμενών υγρού έρματος που περιέχουν θάλασσα.

Οι σχετικοί υπολογισμοί γίνονται με βάση αυτά που έχουν ήδη αναφερθεί σ' αυτό το κεφάλαιο για προσθαφαιρέσεις και μετακινήσεις βαρών. Ειδικά, όταν πρόκειται να μεταβληθεί μόνο η διαγωγή με μεταφορά υγρών από κάποια δεξαμενή σε κάποια άλλη, οι σχετικοί υπολογισμοί, που βασίζονται κυρίως στη χρησιμοποίηση της σχέσεως (117) είναι πολύ απλοί.

Όταν ο πλοίαρχος αποφασίζει ότι είναι αναγκαίο και δίνει εντολή για μετακινήσεις ή προσθαφαιρέσεις βαρών, θα πρέπει να προσέχει τα παρακάτω σημεία:

α) Οι μετακινήσεις υγρών θα πρέπει να γίνονται προσδευτικά, δηλαδή, αφού τελειώνει κάποια μετάγχιση, τότε να αρχίζει η επόμενη, ώστε να μην αυξάνονται ανεπίτρεπτα οι ελεύθερες επιφάνειες, που έχομε δει ότι επηρεάζουν αρνητικά την εγκάρσια ευστάθεια.

β) Οι μετακινήσεις των υγρών από δεξαμενή σε δεξαμενή δεν θα πρέπει να αυξάνουν σημαντικά το συνολικό μέγεθος των ελευθέρων επιφανειών στην τελική κατάσταση (σε βαθμό που να δημιουργούνται αμφιβολίες για την εγκάρσια ευστάθεια του πλοίου).

γ) Οι μετακινήσεις υγρών δεν θα πρέπει να γίνονται όταν υπάρχουν συνθήκες έντονης θαλασσοταραχής.

δ) Δεν θα πρέπει επίσης να γίνονται μετακινήσεις υγρών οι οποίες να δημιουργούν εγκάρσιες κλίσεις (από δεξαμενές της αριστερής πλευράς στη δεξιά ή και αντίθετα).

ε) Όταν γεμίζονται δεξαμενές έρματος, το μέσο βύθισμα του πλοίου δεν θα πρέπει να αυξάνεται πέρα από το επιτρεπόμενο από τους κανονισμούς περί γραμμής φορτώσεως.

στ) Οι μεταβολές της καταστάσεως φορτώσεως του πλοίου που θα προκύψει από τις παραπάνω μετακινήσεις βαρών θα πρέπει να σταθμίζονται σε σχέση και με την αντοχή του (βλ. κεφ. 17).

### 12.18 Μεταβολή βυθίσματος μόνο στο ένα άκρο.

Μερικές φορές χρειάζεται να λάβομε μέτρα προκειμένου να αλλάξει το βύθισμα μόνο στην πρωραία ή μόνο στην πρυμναία κάθετο του πλοίου. Μια τέτοια περίπτωση για παράδειγμα έχομε, όταν ένα πλοίο πρόκειται να περάσει από κάποιο αβαθές σημείο και, ενώ, το πρωραίο βύθισμά του είναι οριακά αποδεκτό, το πρυμναίο είναι αυξημένο πέρα από το ανεκτό όριο ασφαλούς διελεύσεως από την αβαθή περιοχή. Η μεταφορά βάρους τότε από πρύμα προς πλώρα, ενώ θα βελτιώσει το πρυμναίο βύθισμα, θα επιδεινώσει το πρωραίο. Έτσι, μερικές φορές, είναι επιθυμητό να ελαττώσομε, για παράδειγμα, το πρυμναίο βύθισμα χωρίς να μεταβληθεί το πρωραίο ή να κάνομε και το αντίθετο.

Για το παράδειγμα αυτό έστω ότι  $H_F$  και  $H_A$  είναι το πρωραίο και πρυμναίο αρχικό βύθισμα και  $H'_A$  είναι το επιθυμητό τελικό βύθισμα θα έχομε:

$$\text{Αρχικό μέσο βύθισμα} = H_m = (H_A + H_F)/2$$

$$\text{Τελικό μέσο βύθισμα} = H'_m = (H'_A + H_F)/2$$

$$\text{Αρχική διαγωγή } \delta H = H_A - H_F$$

$$\text{Τελική διαγωγή } (\delta H)' = H'_A - H_F$$

$$\text{Ελάττωση μέσου βυθίσματος} = H_m - H_{m'} = \frac{H_A - H'_A}{2}$$

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = (\delta H)' - (\delta H) = H'_A - H_A$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το πρόβλημά μας είναι ισοδύναμο με την εύρεση ενός βάρους που θα δημιουργήσει παράλληλη αποβύθιση ίση με  $\frac{H_A - H'_A}{2}$  και μεταβολή διαγωγής ίση με  $H'_A - H_A$ . Η λύση του προβλήματος αυτού θα φανεί στο επόμενο παράδειγμα.

### **Παράδειγμα.**

Το πλοίο Α πλέει σε βύθισμα πρυμναίο 8,40 m και πρωραίο 7,60 m. Είναι επιθυμητό το πρυμναίο βύθισμα να ελαττωθεί κατά 0,30 m. Θα έχομε:

$$\text{Αρχικό μέσο βύθισμα} = \frac{8,40 + 7,60}{2} = 8 \text{ m}$$

Από τον πίνακα 5.6.1 στο παραπάνω μέσο βύθισμα αντιστοιχούν:

$$\text{MCT 1 cm} = 582,66 \text{ MT} - \text{m/cm}$$

$$\text{TPC} = 48,3 \text{ MT}$$

$$\text{LCF} = 98,36 \text{ m}$$

Η επιθυμητή ελάττωση του μέσου βυθίσματος είναι:

$$H_m - H'_m = \frac{H_A - H'_A}{2} = \frac{8,40 - 8,10}{2} = 0,15 \text{ m}$$

Επομένως πρέπει να αφαιρεθεί βάρος

$$w = (0,15) \times (\text{TPC}) \times 100 = (0,15) \times (48,3) \times (100) = 724,5 \text{ MT}$$

Η επιθυμητή μεταβολή διαγωγής είναι:

$$(\delta H)' - (\delta H) = H'_A - H_A = 8,10 - 8,40 = -0,30 \text{ m}$$

Από τη σχέση (111):

$$\begin{aligned} \text{Διαμήκης ροπή} &= (\text{Μεταβολή διαγωγής}) \times \text{MCT 1 cm} = \\ &= (0,30) \times (100) \times (582,66) = -17480 \text{ MT} - \text{m} \end{aligned}$$

Άρα βάρος  $w$  ίσο με 724,5 MT (π.χ. υγρό έρμα) πρέπει να αφαιρεθεί από κάποια θέση που βρίσκεται σε απόσταση  $17480/724,5 = 24,126 \text{ m}$  προς πρύμα του LCF, δηλαδή από κάποια ή κάποιες δεξαμενές έρματος, έτσι ώστε το κέντρο βάρους του έρματος που θα πρέπει να απορριφθεί στη θάλασσα να βρίσκεται  $98,36 - 24,126 = 74,234 \text{ m}$  πιο πρώρα από την πρυμναία κάθετο του πλοίου.

### **12.19 Επίδραση της πυκνότητας στη διαγωγή.**

Όπως έχομε ήδη αναφέρει, σε κάθε θέση ισορροπίας του πλοίου το κέντρο βάρους του και το κέντρο όγκου του, πρέπει να βρίσκονται πάνω στην ίδια κατακόρυφη ευθεία.

As υποθέσουμε ότι ένα πλοίο ισορροπεί αρχικά σε κάποια ίσαλο WL έχοντας το κέντρο όγκου του σε σημείο που απέχει απόσταση LCB από την πρυμναία κάθετο. Το κέντρο βάρους του πλοίου, σ' αυτήν την



κατάσταση, θα βρίσκεται σε απόσταση LCG από την πρυμναία κάθετο και θα ισχύει η σχέση:

$$LCB = LCG$$

Στην κατάσταση αυτή, το πλοίο, κάτω από την επίρεια ροπής ίσης με  $\Delta(LCB_0 - LCG)$ , η οποία θα επενεργούσε σ' αυτό αν παρέμενε ισοβύθιστο, είχε ισορροπήσει με διαφορά διαγωγής  $\delta H$  (σχέση 108), φέρνοντας το κέντρο όγκου των υφάλων του στη θέση LCB.

Αν τώρα το πλοίο πλεύσει σε νερό με διαφορετική πυκνότητα, σε κάποια άλλη ίσαλο (WL)', όπου αντιστοιχεί διαμήκης θέση κέντρου όγκου για το ισοβύθιστο πλοίο  $(LCB_0)'$ , επειδή δεν υπάρχει κανένας λόγος να μεταβληθεί το LCG, η παραπάνω ροπή διαμήκους κλίσεως θα έχει την τιμή  $\Delta[(LCB_0)' - LCG]$ .

Θα έχομε λοιπόν:

$$\text{Αρχική διαγωγή} = \delta H = \frac{\Delta(LCB_0 - LCG)}{MCT \ 1 \text{ cm}} = \text{Τελική διαγωγή} = \frac{\Delta[(LCB_0)' - LCG]}{(MCT \ 1 \text{ cm})'}$$

και

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = (\delta H)' - (\delta H) = \left\{ \Delta \frac{(LCB_0)' - LCG}{(MCT \ 1 \text{ cm})'} - \frac{LCB_0 - LCG}{MCT \ 1 \text{ cm}} \right\} \quad (126)$$

Η παραπάνω μεταβολή μπορεί να κατανεμηθεί σε μεταβολή στο πρωραίο και πρυμναίο βύθισμα, γύρω από κέντρο πλευστότητας που αντιστοιχεί στην ίσαλο (WL)'.

Αν τα  $MCT \ 1 \text{ cm}$  και  $(MCT \ 1 \text{ cm})'$  δεν διαφέρουν πολύ, όπως συμβαίνει για μικρές μεταβολές πυκνότητας, η σχέση (126) μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = \Delta \left[ \frac{(LCB_0)' - LCG}{MCT \ 1 \text{ cm}} \right] \quad (127)$$

Στην περίπτωση αυτή, χωρίς σοβαρό λάθος, η μεταβολή διαγωγής μπορεί να κατανεμηθεί κατά το μισό στο πρωραίο και κατά το άλλο μισό στο πρυμναίο βύθισμα, απλοποιώντας έτσι τους υπολογισμούς.

### **Παράδειγμα.**

Το πλοίο Α πλέει σε θαλάσσιο νερό με ειδικό βάρος 1,025, με βυθίσματα  $H_F = 8,943 \text{ m}$ ,  $H_A = 10,11 \text{ m}$  και με  $LCG = 99,08 \text{ m}$ . Από τον πίνακα 5.6.1 τα υδροστατικά χαρακτηριστικά του ισοβύθιστου πλοίου στο αντίστοιχο βύθισμα στο κέντρο πλευστότητας είναι  $LCB_0 = 100,754 \text{ m}$ ,  $TPC = 49,42 \text{ MT/cm}$ ,  $MCT \ 1 \text{ cm} = 623,97 \text{ (MT - m/cm)}$  και  $\Delta = 43548,5 \text{ MT}$ .

Ζητείται να βρεθούν τα νέα βυθίσματα του πλοίου όταν εισέλθει σε ποτάμι με ειδικό βάρος νερού ίσο με τη μονάδα.

Προτού το πλοίο μπει στο ποτάμι, θα έχει διαγωγή:

$$\delta H = 10,11 - 8,943 = 1,167 \text{ m}$$

Από τη σχέση (68), στην αρχική κατάσταση του πλοίου, θα έχομε:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Επιφάνεια} \\ \text{ισάλου} \end{array} \right\} = A = \frac{TPC \times 100}{1,025} = \frac{49,42 \times 100}{1,025} = 4821,5 \text{ m}^2$$

Ο όγκος εκτοπίσματος του πλοίου στη θάλασσα, θα είναι:

$$\bar{V} = \frac{\Delta}{1,025} = \frac{43548,5}{1,025} = 42486,3 \text{ m}^3$$

Η μεταβολή του μέσου βυθίσματος, όταν το πλοίο μπει στο ποτάμι (σχέση 74), θα είναι:

$$\text{Μεταβολή βυθίσματος} = \frac{\bar{V}}{A} \frac{Y_{sw}}{Y_{Fw}} - 1 = \frac{42486,3}{4821,5} \left( \frac{1,025}{1,000} - 1 \right) = 0,22 \text{ m}$$

Το αρχικό μέσο βύθισμα είναι:

$$H_m = \frac{H_A + H_F}{2} = \frac{8,943 + 10,11}{2} = 9,526 \text{ m}$$

**– Νέα κατάσταση (γλυκό νερό).**

$$(H_{CF})' = 9,526 + 0,22 = 9,746 \text{ m}$$

Με παρεμβολή στον πίνακα 5.6.1, με βάση το μέσο βύθισμα και λαμβάνοντας υπόψη ότι τα στοιχεία του πίνακα βασίζονται σε πυκνότητα θαλάσσιου νερού, γεγονός που μας αναγκάζει να κάνουμε την αναγκαία, λόγω της αλλαγής της πυκνότητας, διόρθωση στα σχετικά στοιχεία, θα έχουμε:

$$\begin{aligned} (\text{MCT } 1 \text{ cm})' &= \frac{1,000}{1,025} \left[ 626,58 + (633,26 - 626,58) \times \frac{9,746 - 9,6}{9,8 - 9,6} \right] = \\ &= \frac{1,000}{1,025} [626,58 + 6,68 \times 0,73] = 616,06 (\text{MT} - \text{m}) / \text{cm} \end{aligned}$$

και

$$\begin{aligned} (\text{LCF})' &= 96,67 + (96,47 - 96,67) \times 0,73 = 96,53 \text{ m} \quad (\text{LCB}_0)' = \\ &= 100,72 - (100,63 - 100,72) \times 0,73 = 100,65 \text{ m} \end{aligned}$$

Από τη σχέση (126):

$$(\delta H)' - (\delta H) = 43548,5 \times \left[ \frac{100,65 - 99,08}{616,06} - \frac{100,754 - 99,08}{623,97} \right] = -5,84 \text{ cm ή } -0,058 \text{ m}$$

$$(\delta H)' = \delta H - 0,058 = 1,167 - 0,058 = 1,109$$

$$(\text{WW}_1)' = 1,109 \times \frac{96,53}{192} = 0,557 \text{ cm}$$

$$(\text{LL}_1)' = 1,109 \times \frac{192 - 96,53}{192} = 0,551 \text{ cm}$$

και

$$(H_F)' = (H_{CF})' - (\text{LL}_1)' = 9,746 - 0,551 = 9,195 \text{ m}$$

$$(H_A)' = (H_{CF})' - (\text{WW}_1)' = 9,746 - 0,557 = 10,303 \text{ m}$$

**– Προσεγγιστική μέθοδος.**

Από τη σχέση (127):

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = 43548,5 \times [(100,65 - 100,754)/623,97] = -7,258 \text{ ή } -0,073 \text{ m}$$

Δηλαδή το προωαίο βύθισμα πρέπει να αυξηθεί κατά  $0,073/2 = -0,036 \text{ m}$  και το πρυμναίο να ελαττωθεί αντίστοιχα. Άρα:

$$(H_F)' = 8,943 + 0,22 + 0,036 = 9,127 \text{ m}$$

και

$$(H_A)' = 10,11 + 0,22 - 0,036 = 10,294 \text{ m}$$

## 12.20 Διορθώσεις διαγωγής με τη βοήθεια νομογραφημάτων που υπάρχουν στα πλοία.

Όπως διαπιστώθηκε στα προηγούμενα παραδείγματα, οι υπολογισμοί της διαγωγής του πλοίου, όταν προσθαφαιρούνται ή μεταφέρονται κατά τη διαμήκη έννοια διάφορα βάρη είναι σχετικά απλοί, αλλά για την πραγματοποίησή τους χρειάζεται κάποιος χρόνος και πείρα.

Αν φαντασθούμε ότι ένα συγκεκριμένο πλοίο πλέει ισοβύθιστο σε κάποιο βύθισμα, είναι δυνατό να γίνουν υπολογισμοί που δίνουν τη μεταβολή του πρωραίου και πρυμναίου βυθίσματος, όταν ένα σταθερό βάρος (συνήθως 100 tn) προστεθεί σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του πλοίου. Την ίδια εργασία μπορούμε να επαναλάβουμε και σε διάφορα άλλα βυθίσματα.

Τέτοιοι μεθοδικοί υπολογισμοί γίνονται από τα ναυπηγεία και τα γραφεία μελετών, σχετικά εύκολα σήμερα με τη χρήση υπολογιστών και τα αποτελέσματά τους είναι διαθέσιμα σε πολλά πλοία απλοποιώντας έτσι, πολύ σημαντικά τις σχετικές υπολογιστικές δραστηριότητες των χειριστών.

Τα σχετικά αποτελέσματα βρίσκονται συγκεντρωμένα στο λεγόμενο **πίνακα διαγωγής** (trim table), ή παρουσιάζονται με τη μορφή μιας δέσμης από καμπύλες (**διάγραμμα διαγωγής** ή **trim diagram**).

Ένας τέτοιος πίνακας διαγωγής φαίνεται στο σχήμα 12.20α και ένα διάγραμμα διαγωγής (για ένα άλλο πλοίο) στο σχήμα 12.20β.

Ειδικά με τον πίνακα διαγωγής είναι πολύ εύκολο να βρούμε τις επιδράσεις από προσθαφαιρέσεις ή μετατοπίσεις βαρών, αν λάβουμε υπόψη ότι:

1) Κάθε αφαίρεση βάρους σε κάποια θέση έχει στα βυθίσματα την αντίθετη επίδραση απ' ό,τι η προσθήκη ίσου βάρους στην ίδια διαμήκη θέση.

2) Το μέγεθος του βάρους που προσθέτουμε ή αφαιρούμε δημιουργεί γραμμικά ανάλογες μεταβολές στα βυθίσματα. Δηλαδή προσθήκη βάρους 200 MT δημιουργεί διπλάσιες μεταβολές στα βυθίσματα απ' ό,τι προσθήκη βάρους 100 MT στην ίδια διαμήκη θέση.

3) Κάθε μετατόπιση βάρους μπορεί να εξετασθεί σαν αφαίρεσή του από κάποια θέση και προσθήκη του σε κάποια άλλη.

### Παράδειγμα 1.

Το πλοίο, στο οποίο αντιστοιχεί ο πίνακας του σχήματος 12.20α έχει βυθίσματα 19 ft 6 in πρωραίο και 20 ft 6 in πρυμναίο. Ποια θα είναι τα βυθίσματά του, αν αφαιρεθούν 200 tn φορτίου από το μέσο του κύτους Νο 6 και στη συνέχεια, προστεθούν στο μέσο του κύτους Νο 2;

Οι σχετικές αναγνώσεις γίνονται όπως φαίνεται στο σχήμα. Έτσι θα έχουμε:

|   | Πρωραίο             | Πρυμναίο            |
|---|---------------------|---------------------|
| Αρχικό βύθισμα                            | 19 ft 6 in          | 20 ft 6 in          |
| Αφαίρεση $2 \times 100 = 200$ tn από Νο 6 | + 7,4 in            | -12,8 in            |
| Προσθήκη $2 \times 100 = 200$ tn στο Νο 2 | +15,2 in            | - 8,0 in            |
| <b>Νέο βύθισμα</b>                        | <b>21 ft 4,6 in</b> | <b>20 ft 9,2 in</b> |

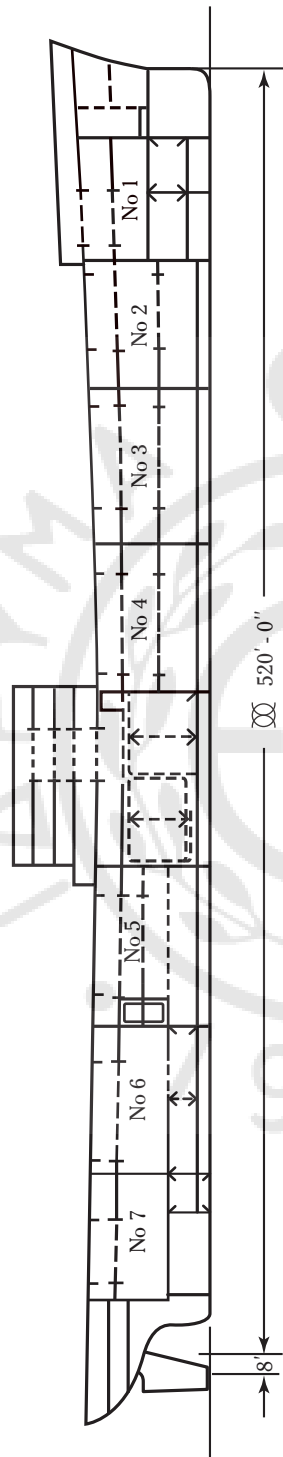
### Παράδειγμα 2.

Το πλοίο, στο οποίο αντιστοιχεί το διάγραμμα του σχήματος 12.20β πλέει ισοβύθιστο σε βύθισμα 5 m. Βάρος 50 tn που έχει αρχικά κέντρο βάρους 20 m προς πλώρα του μέσου, μεταφέρεται σε κάποια νέα θέση που έχει κέντρο βάρους 60 m προς τα πρύμα του μέσου. Ποια είναι τα νέα βυθίσματα του πλοίου;

Η αρχική κατάσταση του πλοίου που αντιστοιχεί σε πρωραίο και πρυμναίο βύθισμα 5 m παριστάνεται στο διάγραμμα με το σημείο Α. Σ' αυτήν την κατάσταση το πλοίο έχει εκτόπιση 5000 tn.

Για τις ροπές του βάρους των 50 tn ως προς το μέσο το πλοίου έχουμε:

$$\text{Αρχική ροπή} = - (50) \times (20) = - 1000 \text{ tn} - \text{m (προς πλώρα)}$$



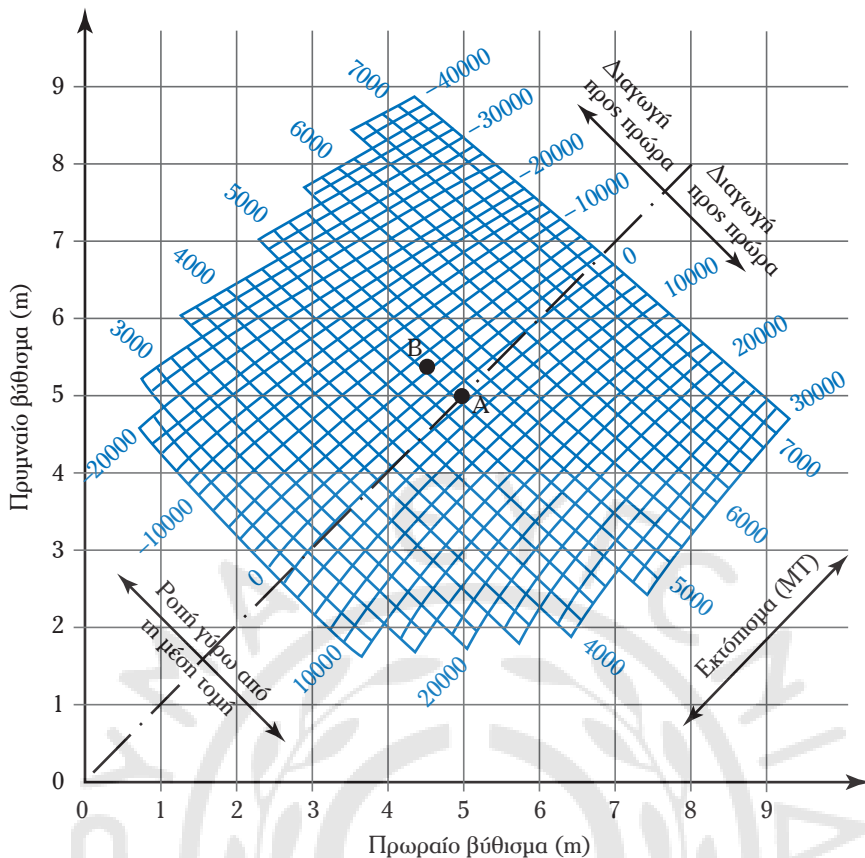
30' - 0" Βύθισμα

|        |      |
|--------|------|
| Πρόρπα | +7.1 |
| Πρόρπα | +6.8 |
| Πρόρπα | +6.6 |
| Πρόρπα | +6.4 |
| Πρόρπα | +6.1 |
| Πρόρπα | +5.9 |
| Πρόρπα | +5.7 |
| Πρόρπα | +5.4 |
| Πρόρπα | +5.2 |
| Πρόρπα | +4.9 |
| Πρόρπα | +4.7 |
| Πρόρπα | +4.5 |
| Πρόρπα | +4.2 |
| Πρόρπα | +4.0 |
| Πρόρπα | +3.8 |
| Πρόρπα | +3.5 |
| Πρόρπα | +3.3 |
| Πρόρπα | +3.0 |
| Πρόρπα | +2.8 |
| Πρόρπα | +2.6 |
| Πρόρπα | +2.3 |
| Πρόρπα | +2.1 |
| Πρόρπα | +1.9 |
| Πρόρπα | +1.6 |
| Πρόρπα | +1.4 |
| Πρόρπα | +1.2 |
| Πρόρπα | +1.1 |
| Πρόρπα | +0.9 |
| Πρόρπα | +0.7 |
| Πρόρπα | +0.4 |
| Πρόρπα | +0.2 |
| Πρόρπα | 0    |
| Πρόρπα | -0.3 |
| Πρόρπα | -0.5 |
| Πρόρπα | -0.6 |
| Πρόρπα | -1.0 |
| Πρόρπα | -1.2 |
| Πρόρπα | -1.5 |
| Πρόρπα | -1.7 |
| Πρόρπα | -1.9 |
| Πρόρπα | -2.2 |
| Πρόρπα | -2.4 |
| Πρόρπα | -2.7 |
| Πρόρπα | -2.9 |
| Πρόρπα | -3.1 |
| Πρόρπα | -3.4 |
| Πρόρπα | -3.6 |
| Πρόρπα | -3.8 |
| Πρόρπα | -4.1 |
| Πρόρπα | -4.3 |
| Πρόρπα | -4.6 |
| Πρόρπα | -4.8 |
| Πρόρπα | -5.0 |
| Πρόρπα | -5.3 |
| Πρόρπα | -5.3 |
| Πρόρπα | +9.0 |

20' - 0" Βύθισμα

|        |       |
|--------|-------|
| Πρόρπα | +9.6  |
| Πρόρπα | +9.3  |
| Πρόρπα | +9.0  |
| Πρόρπα | +8.7  |
| Πρόρπα | +8.4  |
| Πρόρπα | +8.0  |
| Πρόρπα | +7.7  |
| Πρόρπα | +7.4  |
| Πρόρπα | +7.1  |
| Πρόρπα | +6.7  |
| Πρόρπα | +6.4  |
| Πρόρπα | +6.1  |
| Πρόρπα | +5.8  |
| Πρόρπα | +5.4  |
| Πρόρπα | +5.1  |
| Πρόρπα | +4.8  |
| Πρόρπα | +4.5  |
| Πρόρπα | +4.1  |
| Πρόρπα | +3.8  |
| Πρόρπα | +3.5  |
| Πρόρπα | +3.2  |
| Πρόρπα | +2.8  |
| Πρόρπα | +2.5  |
| Πρόρπα | +2.2  |
| Πρόρπα | +1.9  |
| Πρόρπα | +1.6  |
| Πρόρπα | +1.5  |
| Πρόρπα | +1.3  |
| Πρόρπα | +1.2  |
| Πρόρπα | +1.1  |
| Πρόρπα | +0.9  |
| Πρόρπα | +0.7  |
| Πρόρπα | +0.6  |
| Πρόρπα | +0.4  |
| Πρόρπα | +0.3  |
| Πρόρπα | +0.2  |
| Πρόρπα | +0.1  |
| Πρόρπα | -0.1  |
| Πρόρπα | -0.4  |
| Πρόρπα | -0.7  |
| Πρόρπα | -1.0  |
| Πρόρπα | -1.4  |
| Πρόρπα | -1.7  |
| Πρόρπα | -2.0  |
| Πρόρπα | -2.3  |
| Πρόρπα | -2.7  |
| Πρόρπα | -3.0  |
| Πρόρπα | -3.3  |
| Πρόρπα | -3.5  |
| Πρόρπα | -4.0  |
| Πρόρπα | -4.3  |
| Πρόρπα | -4.6  |
| Πρόρπα | -4.9  |
| Πρόρπα | -5.3  |
| Πρόρπα | -5.3  |
| Πρόρπα | +8.0  |
| Πρόρπα | +7.6  |
| Πρόρπα | +7.3  |
| Πρόρπα | +6.9  |
| Πρόρπα | +6.6  |
| Πρόρπα | +6.2  |
| Πρόρπα | +5.9  |
| Πρόρπα | +5.7  |
| Πρόρπα | +5.4  |
| Πρόρπα | +5.1  |
| Πρόρπα | +4.8  |
| Πρόρπα | +4.6  |
| Πρόρπα | +4.3  |
| Πρόρπα | +4.0  |
| Πρόρπα | +3.7  |
| Πρόρπα | +3.4  |
| Πρόρπα | +3.2  |
| Πρόρπα | +3.4  |
| Πρόρπα | +3.7  |
| Πρόρπα | +4.1  |
| Πρόρπα | +4.4  |
| Πρόρπα | +4.8  |
| Πρόρπα | +5.1  |
| Πρόρπα | +5.5  |
| Πρόρπα | +5.9  |
| Πρόρπα | +6.2  |
| Πρόρπα | +6.6  |
| Πρόρπα | +6.9  |
| Πρόρπα | +7.3  |
| Πρόρπα | +7.6  |
| Πρόρπα | +8.0  |
| Πρόρπα | +8.3  |
| Πρόρπα | +8.7  |
| Πρόρπα | +8.0  |
| Πρόρπα | +7.6  |
| Πρόρπα | +7.1  |
| Πρόρπα | +6.2  |
| Πρόρπα | +5.9  |
| Πρόρπα | +5.6  |
| Πρόρπα | +5.3  |
| Πρόρπα | +4.9  |
| Πρόρπα | +4.6  |
| Πρόρπα | +4.3  |
| Πρόρπα | +3.9  |
| Πρόρπα | +3.6  |
| Πρόρπα | +3.2  |
| Πρόρπα | +2.9  |
| Πρόρπα | +2.6  |
| Πρόρπα | +2.3  |
| Πρόρπα | +2.0  |
| Πρόρπα | +1.6  |
| Πρόρπα | +1.3  |
| Πρόρπα | +1.0  |
| Πρόρπα | +0.7  |
| Πρόρπα | +0.4  |
| Πρόρπα | +0.3  |
| Πρόρπα | +0.3  |
| Πρόρπα | +0.6  |
| Πρόρπα | +0.9  |
| Πρόρπα | +1.2  |
| Πρόρπα | +1.5  |
| Πρόρπα | +1.9  |
| Πρόρπα | +2.2  |
| Πρόρπα | +2.5  |
| Πρόρπα | +2.8  |
| Πρόρπα | +3.2  |
| Πρόρπα | +3.5  |
| Πρόρπα | +3.8  |
| Πρόρπα | +4.1  |
| Πρόρπα | +4.5  |
| Πρόρπα | +4.8  |
| Πρόρπα | +5.1  |
| Πρόρπα | +5.4  |
| Πρόρπα | +5.8  |
| Πρόρπα | +6.1  |
| Πρόρπα | +6.7  |
| Πρόρπα | +7.1  |
| Πρόρπα | +7.4  |
| Πρόρπα | +7.7  |
| Πρόρπα | +8.0  |
| Πρόρπα | +8.4  |
| Πρόρπα | +8.7  |
| Πρόρπα | +9.0  |
| Πρόρπα | +9.3  |
| Πρόρπα | +9.6  |
| Πρόρπα | +10.4 |
| Πρόρπα | +10.1 |
| Πρόρπα | +9.7  |
| Πρόρπα | +9.0  |
| Πρόρπα | +8.5  |
| Πρόρπα | +8.5  |
| Πρόρπα | +9.0  |
| Πρόρπα | +9.0  |
| Πρόρπα | +11.1 |
| Πρόρπα | -7.2  |

Σχ. 12.20α.  
Πίνακας διαγωγής.



**Σχ. 12.20β.**  
Διάγραμμα διαγωγής.

$$\text{Τελική ροπή} = (50) \times (60) = 3000 \text{ tn} - \text{m} \text{ (προς πρύμα)}$$

$$\text{Μεταβολή ροπής} = \text{Τελική ροπή} - \text{Αρχική ροπή} = 3000 - (-1000) = 4000 \text{ tn} - \text{m} \text{ (προς πρύμα)}.$$

Η νέα κατάσταση του πλοίου, σε ό,τι αφορά στα βυθισματά του (σημείο Β), βρίσκεται από την τομή της καμπύλης που αντιστοιχεί σε εκτόπισμα 5000 tn και της ροπής 4000 tn - m προς πρύμα (λόγω της μετακίνησης του βάρους). Στο σημείο αυτό βλέπουμε ότι αντιστοιχεί πρωραίο βύθισμα 4,6 m και πρυμναίο 5,4 m.

### 12.21 Στοιχεία που χρειάζονται για την εύρεση της διαγωγής.

Συνοψίζοντας, βλέπουμε ότι οι πληροφορίες που γενικά χρειάζονται για την εύρεση της διαγωγής του πλοίου είναι:

- 1) Στοιχεία από το υδροστατικό διάγραμμα.
- 2) Στοιχεία από τα ογκομετρικά διαγράμματα των δεξαμενών του (όγκοι, βάρη, διαμήκεις θέσεις κέντρου βάρους).
- 3) Στοιχεία από τα ογκομετρικά διαγράμματα των κυτών (όγκοι, βάρη, διαμήκεις θέσεις κέντρου βάρους).
- 4) Το εκτόπισμα του άφορτου πλοίου και η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του (για φορτώσεις, ο υπολογισμός των οποίων ξεκινά από το άφορτο πλοίο).
- 5) Διαμήκεις θέσεις σημείων, όπου προσθέτουμε ή αφαιρούμε βάρη (όταν δεν πρόκειται για δεξαμενές ή κύπη).

Τα παραπάνω στοιχεία θα πρέπει να αναζητηθούν στα σχέδια και τις μελέτες του πλοίου. Τα περισσότερα από αυτά υπάρχουν συγκεντρωμένα:

- 1) Στα *εγχειρίδια ζυγίσεως και ευστάθειας* που διαθέτουν τα φορτηγά πλοία.
- 2) Στα *εγχειρίδια μεταφοράς σιτηρών*, που πρέπει να διαθέτουν τα φορτηγά πλοία προκειμένου να τους επιτρέπεται από τις αρχές να φορτώνουν χύμα φορτία.

## 12.22 Ακριβής προσδιορισμός του εκτοπίσματος.

### 12.22.1 Γενικά.

Στην παράγραφο 5.6 είχαμε δει ότι **το υδροστατικό διάγραμμα κάθε πλοίου δίνει, σε γραφική μορφή, τις αναγκαίες γεωμετρικές ιδιότητες του ισοβύθιστου πλοίου, με βάση βυθίσματα μετρημένα πάνω στις καθέτους**. Ειδικά το εκτόπισμα (και όσες άλλες παράμετροι εξαρτώνται απ' αυτό) δίνονται για θαλάσσιο νερό με ειδικό βάρος 1,025 και για γλυκό νερό με ειδικό βάρος ίσο με τη μονάδα.

Οι παρακάτω λόγοι επιβάλλουν στην πράξη την εφαρμογή ειδικής μεθοδολογίας για τον ακριβή υπολογισμό του εκτοπίσματος:

- 1) **Τα βυθίσματα όλων των πλοίων δεν είναι πάντοτε χαραγμένα στην πρωραία και πρυμναία κάθετο**. Έτσι, επειδή το μέσο βύθισμα του πλοίου έχει οριστεί ως ο μέσος όρος των βυθισμάτων του στην πρωραία και πρυμναία κάθετο, χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί μία μέθοδος αναγωγής των βυθισμάτων, από τη θέση που βρίσκονται οι κλίμακες βυθισμάτων, στις καθέτους.

- 2) **Το πλοίο μπορεί, όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο, λόγω της φορτώσεώς του, να έχει κάμψη σαν δοκός**. Στην περίπτωση αυτή, το βύθισμά του στο μέσο δεν είναι ίσο με το μισό του αθροίσματος των βυθισμάτων του στην πρωραία και πρυμναία κάθετο.

- 3) **Το πλοίο μπορεί να έχει διαγωγή**. Σ' αυτήν την περίπτωση τα στοιχεία του υδροστατικού διαγράμματος δεν μπορούν να εφαρμοσθούν χωρίς διόρθωση γιατί το υδροστατικό διάγραμμα είναι βασισμένο στο ισοβύθιστο πλοίο.

- 4) **Το ειδικό βάρος του νερού είναι ένα μεταβαλλόμενο στοιχείο** και σπάνια έχει ακριβώς την τιμή 1,025 για θαλάσσιο νερό και την τιμή της μονάδας για γλυκό.

Στις επόμενες παραγράφους θα αναπτυχθεί καθένα από τα παραπάνω σημεία και θα επεξηγηθεί ο τρόπος, με τον οποίο μπορούν να γίνουν οι σχετικές διορθώσεις για να βρεθεί με ακρίβεια το εκτόπισμα.

### 12.22.2 Αναγωγή βυθισμάτων στις καθέτους.

Στα προηγούμενα κεφάλαια, ο όρος βύθισμα χρησιμοποιήθηκε ως ταυτόσημος με τον όρο **βύθισμα αναφοράς** (moulded draft). Τις περισσότερες φορές στα πλοία είναι χαραγμένο **το βύθισμα τρόπιδας** (keel draft), το οποίο, σε αντιδιαστολή με το βύθισμα αναφοράς, μετρείται από ένα επίπεδο που εφάπτεται στην κάτω πλευρά της επίπεδης τρόπιδας. Έτσι το βύθισμα τρόπιδας είναι μεγαλύτερο από το βύθισμα αναφοράς.

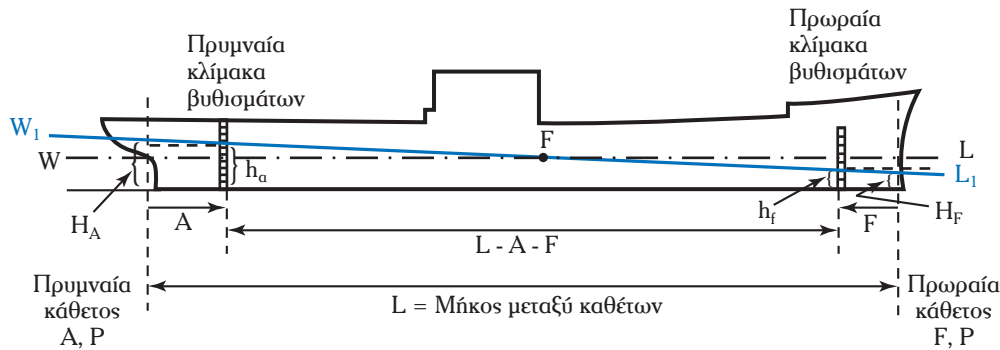
Τα υδροστατικά διαγράμματα των πλοίων βασίζονται άλλοτε στο βύθισμα αναφοράς και άλλοτε στο βύθισμα τρόπιδας. Έτσι **στους σχετικούς υπολογισμούς θα πρέπει να χρησιμοποιούμε τα βυθίσματα του πλοίου και του υδροστατικού διαγράμματος με απόλυτη συνέπεια (βυθίσματα αναφοράς παντού ή βυθίσματα τρόπιδας παντού)**.

Οι **κλίμακες βυθισμάτων** είναι χαραγμένες στην πρωραία και πρυμναία κάθετο ή κοντά σ' αυτές και στις δύο πλευρές του πλοίου. Οι αριθμοί είναι είτε μεταλλικοί στερεωμένοι με βίδες πάνω στο πλοίο είτε πονταρισμένοι και, στο αγγλικό σύστημα μονάδων, έχουν ύψος 6 in. Έτσι, αν π.χ. η στάθμη του νερού βρίσκεται στο μέσο του αριθμού 7, το βύθισμα του πλοίου είναι 7 ft και 3 in, ενώ, όταν εφάπτεται στο κάτω μέρος του αριθμού 8, το βύθισμα είναι 8 ft.

Ανάλογη είναι η χάραξη και στο μετρικό σύστημα όπου συνήθως υπάρχουν ενδείξεις ανά 20 cm.

As θεωρήσουμε τώρα ένα πλοίο που έχει διαγωγή και κλίμακες βυθισμάτων που δεν βρίσκονται πάνω στις καθέτους (σχ. 12.22α).

Με τους ορισμούς που χρησιμοποιήσαμε μέχρι τώρα, το πλοίο του σχήματος έχει θετική διαφορά διαγωγής. Αν συμβολίσουμε με  $H_F$ ,  $H_A$  τα βυθίσματα στην πρωραία και πρυμναία κάθετο και  $h_f$  και  $h_a$  τα βυθίσματα στις κλίμακες βυθισμάτων, από τα όμοια τρίγωνα που σχηματίζονται (βλ. και παράγρ. 7.6) θα



Σχ. 12.22α.

Αναγωγή βυθισμάτων στις καθέτους.

έχομε:

$$H_A = h_a + \frac{A \times (h_a - h_f)}{L - A - F} \quad (128)$$

$$H_F = h_f + \frac{F \times (h_a - h_f)}{L - A - F} \quad (129)$$

όπου:  $A$  είναι η απόσταση μεταξύ της πρυμναίας κλίμακας βυθισμάτων και της πρυμναίας καθέτου, η οποία λαμβάνεται ως θετική, όπως δείχνει το σχήμα, και  $F$  η απόσταση μεταξύ της πρωραίας κλίμακας βυθισμάτων και της πρωραίας καθέτου, η οποία λαμβάνεται ως θετική, όπως δείχνει το σχήμα.

### Παράδειγμα.

Σ' ένα πλοίο με μήκος μεταξύ καθέτων ίσο με 100 m, η πρυμναία κλίμακα βυθισμάτων βρίσκεται 3 m προς τα πύμα της πρυμναίας καθέτου και η πρωραία 2 m προς τα πύμα της πρωραίας καθέτου. Τα βυθίσματα που διαβάζομε στην πρωραία και πρυμναία κλίμακα βυθισμάτων είναι 4 m και 3,40 m αντίστοιχα. Να βρεθούν τα βυθίσματα στις καθέτους, προκειμένου να κάνομε αναγνώσεις από το υδροστατικό διάγραμμα του πλοίου.

Στο παράδειγμα αυτό έχομε:

$A = -3$  m (αντίθετα από το σχ. 12.22α).

$F = 2$  m (όπως στο σχ. 12.22α).

Έτσι από τη σχέση (128) θα έχομε:

$$\begin{aligned} H_F &= h_a + \frac{F \times (h_a - h_f)}{L - A - F} = 3,40 + \frac{(-3) \times (3,40 - 4)}{100 - (-3) - 2} = \\ &= 3,40 + \frac{(-3) \times (-0,40)}{101} = 3,40 + 0,012 = 3,412 \text{ m} \end{aligned}$$

Και από την (129):

$$\begin{aligned} H_A &= h_f + \frac{F \times (h_a - h_f)}{L - A - F} = 4,0 - \frac{(2) \times (3,40 - 4,0)}{100 - (-3) - 2} = \\ &= 4,0 + \frac{(2) \times (-0,40)}{101} = 4,0 + 0,008 = 4,008 \text{ m} \end{aligned}$$

### 12.22.3 Επίδραση της κάμψης.

Στο σχήμα 12.22β(α) βλέπομε ένα πλοίο που δεν έχει υποστεί κάμψη. Αν μετρήσομε το βύθισμά του

στο μέσο, όπως φαίνεται και από το σχήμα, το μέσο βύθισμά του  $H_m$  και το βύθισμά του στο μέσο του πλοίου,  $H_{\infty}$  είναι μεταξύ τους ίσα. Σ' αυτή λοιπόν την περίπτωση ισχύει ότι:

$$H_m = \frac{H_A + H_F}{2} = H_{\infty}$$

Στο σχήμα 12.22β(β) φαίνεται ένα πλοίο στο οποίο, ως συνέπεια της φορτώσεώς του, παρουσιάζει **κάμψη της τρόπιδας προς τα κάτω** (sagging). Στην περίπτωση αυτή θα είναι:

$$H_m = \frac{H_A + H_F}{2} < H_{\infty}$$

Τέλος το σχήμα 12.22β(γ) δείχνει ένα πλοίο με **κάμψη της τρόπιδας προς τα πάνω** (hogging). Τώρα έχουμε:

$$H_m = \frac{H_A + H_F}{2} > H_{\infty}$$

Τη διαφορά  $H_{\infty} - H_m = \delta$  ονομάζουμε **βέλος κάμψεως του πλοίου** και αν είναι θετική έχουμε μια **κατάσταση που ονομάζουμε sagging**, ενώ όταν είναι αρνητική έχουμε μια **κατάσταση που ονομάζουμε hogging**.

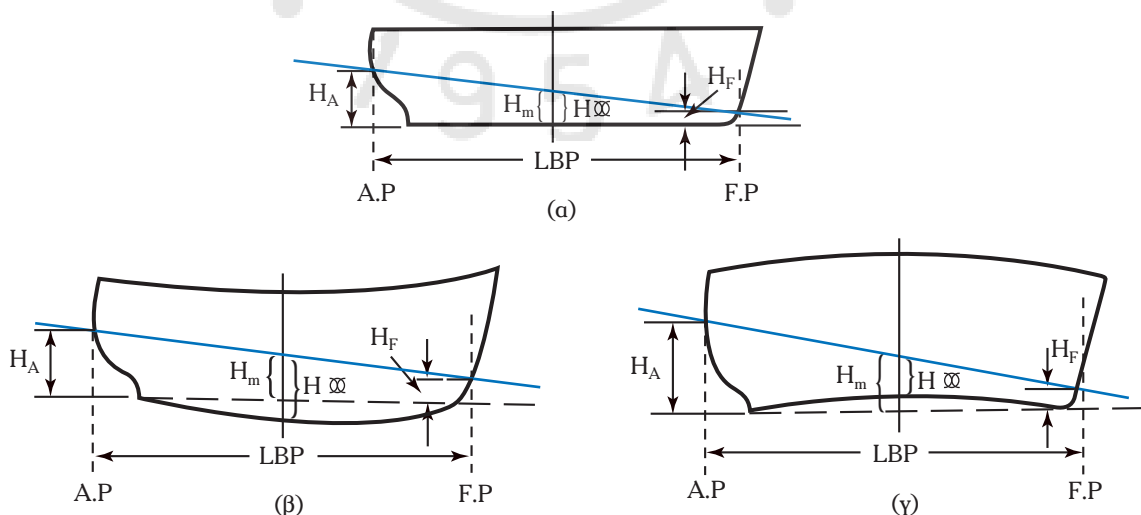
Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι, για να μπορέσουμε να δούμε αν το πλοίο έχει βέλος κάμψεως, πρέπει να υπάρχει δυνατότητα μετρήσεως και του βυθίσματος στο μέσο του (γεγονός που δεν συμβαίνει πάντοτε, ιδιαίτερα σε παλαιά πλοία).

Από τα σχήματα 12.22β(β) και 12.22β(γ) εύκολα διαπιστώνουμε ότι στις περιπτώσεις sagging και hogging η εύρεση του εκτοπίσματος από το υδροστατικό διάγραμμα ή τους υδροστατικούς πίνακες είτε με το  $H_m$  είτε με το  $H_{\infty}$  είναι λανθασμένη. Η σωστή εύρεση του εκτοπίσματος, σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να γίνει με τις ακόλουθες μεθόδους:

### 1) Πρώτη Μέθοδος.

Η εύρεση του εκτοπίσματος μπορεί να γίνει σωστά, αν στην ανάγνωση του εκτοπίσματος από το υδροστατικό διάγραμμα χρησιμοποιήσουμε το βύθισμα  $H_0$  που βρίσκεται από τη σχέση:

$$H_0 = \frac{H_A + H_F + 6H_{\infty}}{8} \quad (130)$$



Σχ. 12.22β.

Επίδραση κάμψεως. α) Πλοίο χωρίς κάμψη. β) Πλοίο με sagging. γ) Πλοίο με hogging.



για πλοία με λεπτό σχήμα ή

$$H_0 = \frac{H_A + H_F + 4H_{\infty}}{6} \quad (131)$$

για πλοία με γεμάτο σχήμα και φορτηγίδες.

### 2) Δεύτερη Μέθοδος.

Με τη μέθοδο αυτή το εκτόπισμα μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$\Delta_1 = \Delta + 0,8 \times \text{TPC} \times \delta \text{ (μετρικό σύστημα)} \quad (132)$$

ή

$$\Delta_1 = \Delta + 0,8 \times \text{TPI} \times \delta \text{ (αγγλικό σύστημα)} \quad (133)$$

Στις παραπάνω σχέσεις:

- α)  $\Delta$  είναι το εκτόπισμα του πλοίου σε MT ή LT που αντιστοιχεί στο βύθισμα  $H_m$ ,
- β) TPC είναι η παράμετρος τόνοι ανά cm βυθίσεως που αντιστοιχεί στο βύθισμα  $H_m$ ,
- γ) TPI είναι η παράμετρος τόνοι ανά in βυθίσεως που αντιστοιχεί στο βύθισμα  $H_m$  και
- δ)  $\delta$  είναι το βέλος κάμψεως σε cm ή in αντίστοιχα.

### Παράδειγμα.

Το πλοίο Α πλέει σε βυθίσματα πρωραίο 7,60 m και πρυμναίο 8,0 m. Το βύθισμά του στο μέσο είναι 7,90 m. Να βρεθεί το εκτόπισμά του διορθωμένο για κάμψη, αλλά όχι για διαγωγή.

#### - Πρώτη Μέθοδος.

Επειδή είναι  $H_F = 7,60$  m,  $H_A = 8,00$  m και  $H_{\infty} = 7,90$  θα έχουμε:

$$H_0 = \frac{H_A + H_F + 6H_{\infty}}{8} = \frac{7,6 + 8,0 + 6 \times 7,9}{8} = 7,875 \text{ m}$$

Από τον πίνακα 5.6.1 με παρεμβολή βρίσκουμε:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 35150 + (36116 - 35150) \times \frac{7,875 - 7,80}{8,00 - 7,80} = \\ &= 35150 + 966 \times 0,375 = 35512 \text{ MT} \end{aligned}$$

#### - Δεύτερη Μέθοδος.

Το μέσο βύθισμα του πλοίου είναι:

$$H_m = \frac{H_A + H_F}{2} = \frac{7,60 + 8,0}{2} = 7,80 \text{ m}$$

Από τον πίνακα 5.6.1 για το παραπάνω μέσο βύθισμα είναι:

$$\Delta = 35150 \text{ MT και TPC} = 48,2 \text{ MT/cm}$$

Επίσης είναι:

$$\delta = H_{\infty} - H_m = 7,90 - 7,80 = 0,10 \text{ m ή } 10 \text{ cm}$$

Από τη σχέση (132):

$$\Delta_1 = \Delta + 0,8 \times \text{TPC} \times \delta = 35150 + (0,8) \times (48,2) \times (10) = 35150 + 385,6 = 35535,6 \text{ MT}$$

#### 12.22.4 Διόρθωση εκτοπίσματος λόγω διαγωγής.

Στα σύγχρονα πλοία υπάρχουν, τις περισσότερες φορές, διαγράμματα όπως αυτά των σχημάτων 5.7α,

5.7β και 12.20β, τα οποία, όταν είναι χαραγμένα με κατάλληλες κλίμακες που επιτρέπουν ακριβή ανάγνωση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άμεση εύρεση του σωστού εκτοπίσματος όταν το πλοίο έχει διαγωγή.

Αν στο πλοίο υπάρχει μόνο το συνηθισμένο υδροστατικό διάγραμμα ή ο υδροστατικός πίνακας, η εύρεση του εκτοπίσματος του, όταν το πλοίο έχει διαγωγή, προϋποθέτει την εύρεση του βυθίσματος στο κέντρο πλευστότητας, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρησιμοποίηση των σχέσεων (70) και (72). Το εκτόπισμα μπορεί στη συνέχεια να βρεθεί από το υδροστατικό διάγραμμα, με βάση το βύθισμα στο κέντρο πλευστότητας του πλοίου.

Ένας άλλος τρόπος, πιο ακριβής, είναι να βρεθεί η διαφορά μεταξύ του μέσου βυθίσματος και του βυθίσματος του πλοίου στο κέντρο πλευστότητας και να γίνει διόρθωση για τη διαφορά τους κατά τα γνωστά, με τη χρησιμοποίηση του ΤΡΙ ή ΤΡΚ.

Μερικές φορές τα υδροστατικά διαγράμματα έχουν χαραγμένη ειδική καμπύλη διορθώσεως (π.χ. μεταβολή εκτοπίσματος ανά cm πρυμναίας διαγωγής).

### **Παράδειγμα.**

Το πλοίο Α πλέει σε βυθίσματα  $H_A = 7,8$  m και  $H_F = 8,2$  m. Να βρεθεί το εκτόπισμα του πλοίου σε θαλάσσιο νερό.

Το μέσο βύθισμα του πλοίου θα είναι:

$$H_m = \frac{H_A + H_F}{2} = \frac{7,8 + 8,2}{2} = 8 \text{ m}$$

Από τον πίνακα 5.6.1 για το παραπάνω μέσο βύθισμα έχουμε:

$$\text{TPC} = 48,3 \text{ MT/cm}, \text{ MCT } 1 \text{ cm} = 582,66 \frac{\text{MT} \cdot \text{m}}{\text{cm}} \text{ και } \text{LCF} = 98,36 \text{ m}$$

$$\text{Διαγωγή} = H_A - H_F = 7,8 - 8,2 = -0,4 \text{ m}$$

Από τη σχέση (70):

$$\text{WW}_1 = (\text{Διαγωγή}) \times \frac{\text{LCF}}{\text{LBP}} = (-0,4) \times \frac{98,36}{192} = -0,205 \text{ m}$$

Από τη σχέση (72):

$$H_{CF} = H_A - \text{WW}_1 = 7,8 - (-0,205) = 8,005 \text{ m}$$

#### **- Πρώτη Μέθοδος.**

Με παρεμβολή στον πίνακα 5.6.1, με το βύθισμα 8,005 m βρίσκουμε:

$$\begin{aligned} \Delta &= 36116 + (37085 - 36116) \times \frac{8,005 - 8,0}{8,2 - 8,0} = \\ &= 36116 + 969 \times 0,025 = 36116 + 24,2 = 36140,2 \text{ MT} \end{aligned}$$

#### **- Δεύτερη Μέθοδος.**

Το βύθισμα στο LCF είναι μεγαλύτερο από το μέσο βύθισμα κατά

$$\delta_1 = H_{CF} - H_m = 8,005 - 8,0 = 0,005 \text{ m ή } 0,5 \text{ cm}$$

Επομένως το εκτόπισμα μπορεί να βρεθεί, αν σε εκείνο που αντιστοιχεί στο μέσο βύθισμα των 8 m (36116) προστεθεί διόρθωση ίση με:

$$\delta_1 (\text{TPC}) = 0,5 \times 48,3 = 24,15 \text{ MT}$$

Επομένως:

$$\Delta = 36116 + 24,15 = 36140,15 \text{ MT}$$

### 12.22.5 Διόρθωση λόγω μεταβολής ειδικού βάρους του νερού.

Τα συνηθισμένα υδροστατικά διαγράμματα και οι υδροστατικοί πίνακες, όπως είπαμε δίνουν τιμές του εκτοπίσματος σε θαλάσσιο νερό ( $1,025 \text{ MT/m}^3$  ή  $35 \text{ ft}^3/\text{LT}$ ) και μερικές φορές και σε γλυκό νερό ( $1,000 \text{ MT/m}^3$  ή  $36 \text{ ft}^3/\text{LT}$ ). Όταν το ειδικό βάρος του νερού, στην περιοχή που πλέει το πλοίο, έχει διαφορετικές από τις παραπάνω τιμές, για τη σωστή εύρεση του εκτοπίσματος θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τις σχέσεις:

$$\Delta_{\text{MT}} = \gamma \times V(\text{m}^3) \quad (\text{μετρικό σύστημα}) \quad (134)$$

$$\Delta_{\text{LT}} = \frac{\bar{V}(\text{ft}^3)}{\text{SF}} \quad (\text{αγγλικό σύστημα}) \quad (135)$$

Στις σχέσεις αυτές το  $\gamma$  εκφράζεται σε  $\text{MT/m}^3$  και το SF σε  $\text{ft}^3/\text{LT}$ .

#### Παράδειγμα 1.

Το πλοίο Α στην κατάσταση του παραδείγματος της προηγούμενης παραγράφου πλέει σε νερό με ειδικό βάρος  $1,015 \text{ MT/m}^3$ . Πόσο είναι το εκτόπισμά του;

Στο προηγούμενο παράδειγμα το εκτόπισμα ήταν  $36140,2 \text{ MT}$ . Από τη σχέση (42):

$$\bar{V}(\text{m}^3) = \frac{\Delta_{\text{sw}}(\text{MT})}{1,025} = \frac{36140,2}{1,025} = 35258,7 \text{ m}^3$$

Από τη σχέση (134):

$$\Delta = \gamma \times \bar{V}(\text{m}^3) = (1,015) \times (35258,7) = 35787,6 \text{ MT}$$

#### Παράδειγμα 2.

Ένα πλοίο που πλέει σε γλυκό νερό έχει εκτόπισμα  $5000 \text{ LT}$ . Πόσο είναι το εκτόπισμά του, όταν το πλοίο συνεχίσει να πλέει στα ίδια βυθίσματα σε νερό με ειδικό όγκο (συντελεστή στοιβασίας)  $35,5 \text{ ft}^3/\text{LT}$ ;

Από τη σχέση (41):

$$\bar{V}(\text{ft}^3) = 36 \times \Delta_{\text{FW}} = (36) \times (5000) = 180000 \text{ ft}^3$$

Από τη σχέση (135):

$$\Delta = \frac{\bar{V}(\text{ft}^3)}{\text{SF}} = \frac{180000}{35,5} = 5070,4 \text{ LT}$$

### 12.22.6 Σύνοψη διορθώσεων στο εκτόπισμα.

Συνοψίζοντας, παρατηρούμε ότι **οι σχετικές διορθώσεις στο εκτόπισμα (και όχι στο deadweight)** που πρέπει να γίνονται είναι:

#### 1) Λόγω κάμψεως.

$$(\delta\Delta)_1 = 0,8 \times \text{TPC} \times \delta \quad (\text{μετρικό σύστημα}) \quad (136)$$

ή

$$(\delta\Delta)_1 = 0,8 \times \text{TPI} \times \delta \quad (\text{αγγλικό σύστημα}) \quad (137)$$

#### 2) Λόγω διαγωγής.

$$(\delta\Delta)_2 = \delta_1(\text{cm}) \times \text{TPC} \quad (\text{μετρικό σύστημα}) \quad (138)$$

ή

$$(\delta\Delta)_2 = \delta_1 \text{ (in)} \times \text{TPI (αγγλικό σύστημα)} \quad (139)$$

### 3) Λόγω μεταβολής ειδικού βάρους.

$$(\delta\Delta)_3 = \frac{\gamma - 1,025}{1,025} \times \Delta_{\text{SW}} \text{ (MT) (μετρικό σύστημα)} \quad (140)$$

ή

$$(\delta\Delta)_3 = \frac{35 - \text{SF}}{\text{SF}} \times \Delta_{\text{SW}} \text{ (LT) (αγγλικό σύστημα)} \quad (141)$$

**Σ' όλες τις παραπάνω σχέσεις, όταν το αποτέλεσμα είναι θετικό, η διόρθωση είναι προσθετική και όταν είναι αρνητικό αφαιρετική.**

### 12.23 Εκτίμηση φορτίου που έχει παραληφθεί στη φόρτωση.

Οι σχέσεις των προηγούμενων παραγράφων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση του βάρους του φορτίου που έχει παραληφθεί από το πλοίο κατά τη φόρτωσή του. Για να γίνει κάτι τέτοιο θα πρέπει, πριν και μετά τη φόρτωση, να μετρήσουμε:

- 1) Τα βυθίσματα στη δεξιά και αριστερή πλευρά, στην πλώρη, την πρύμνη και το μέσο του πλοίου.
- 2) Την πυκνότητα του νερού.

Η εφαρμογή της διαδικασίας θα παρουσιασθεί στο παρακάτω παράδειγμα.

#### **Παράδειγμα.**

Το πλοίο Α έχει τις κλίμακες βυθισμάτων του ως εξής:

- Την πωραία 3 m πιο πύμα από την πωραία κάθετο.
- Την πρυμναία 4 m πιο πύρα από την πρυμναία κάθετο.
- Τη μεσαία στο μέσο του πλοίου.

Το μήκος του πλοίου ανάμεσα στις καθέτους είναι 192 m.

| Έναρξη φορτώσεως | Βυθίσματα σε m |          |
|------------------|----------------|----------|
|                  | Δεξιά          | Αριστερά |
| Πλώρης           | 4,98           | 5,02     |
| Μέσος            | 5,31           | 5,41     |
| Πρύμης           | 5,56           | 5,64     |

Ειδικό βάρος νερού  $\gamma = 1,020 \text{ MT/m}^3$ .

Βάρος πετρελαίου, νερού και εφοδίων 800 MT.

| Τέλος φορτώσεως | Βυθίσματα σε m |          |
|-----------------|----------------|----------|
|                 | Δεξιά          | Αριστερά |
| Πλώρης          | 8,30           | 8,32     |
| Μέσος           | 8,56           | 8,64     |
| Πρύμης          | 9,10           | 9,18     |

Ειδικό βάρος νερού  $\gamma = 1,018 \text{ MT/m}^3$ .

Βάρος πετρελαίου, νερού και εφοδίων 1830 MT.

Να βρεθεί το βάρος της ποσότητας του φορτίου που φορτώθηκε στο πλοίο.

Η λύση του προβλήματος φαίνεται στον πίνακα 12.23.1 και, με τις οδηγίες που δίνονται στη στήλη *τρόπος υπολογισμού*, είναι σχετικά απλή. Κατ' ανάλογο περίπου τρόπο συμπληρώνεται και το έντυπο του βρετανικού **Draft survey του National cargo bureau**.

**Πίνακας 12.23.1**  
**Εύρεση ποσότητας φορτίου που φορτώθηκε.**

| Αριθμός γραμμής                | Περιγραφή   | Τρόπος υπολογισμού                    | Κατάσταση πλοίου      |                       |
|--------------------------------|---|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                |   |                                       | Πριν από τη φόρτωση   | Μετά τη φόρτωση       |
| 1                              | <b>Βυθίσματα</b>                                      |                                       |                       |                       |
| 2                              | Πλώρης δεξιά  | Δίνεται                               | 4,98 m                | 8,30 m                |
| 3                              | Πλώρης αριστερά                                       | Δίνεται                               | 5,02 m                | 8,32 m                |
| 4                              | Μέσο βύθισμα πλώρης, $h_f$                            | (4) = [(2) + (3)]/2                   | 5,00 m                | 8,31 m                |
| 5                              | Πρύμνης δεξιά   | Δίνεται                               | 5,56 m                | 9,10 m                |
| 6                              | Πρύμνης αριστερά                                      | Δίνεται                               | 5,64 m                | 9,18 m                |
| 7                              | Μέσο βύθισμα πρύμνης, $h_c$                           | (7) = [(5) + (6)]/2                   | 5,60 m                | 9,14 m                |
| 8                              | Μέσο βύθισμα μέσου δεξιά                              | Δίνεται                               | 5,31 m                | 8,56 m                |
| 9                              | Μέσο βύθισμα μέσου αριστερά                           | Δίνεται                               | 5,41 m                | 8,64 m                |
| 10                             | Μέσο βύθισμα μέσου, $H_{\infty}$                      | (10) = [(8) + (9)]/2                  | 5,36 m                | 8,60 m                |
| <b>Βυθίσματα στις καθέτους</b> |   |                                       |                       |                       |
| 11                             | Βύθισμα πρυμναίας καθέτου, $H_A$                      | Σχέση (123) <sup>(1)</sup>            | 5,613                 | 9,118 m               |
| 12                             | Βύθισμα προραίας καθέτου, $H_F$                       | Σχέση (124) <sup>(1)</sup>            | 4,990                 | 8,297 m               |
| 13                             | Μέσο βύθισμα, $H_m$                                   | (13) = [(11) + (12)]/2                | 5,301                 | 8,707 m               |
| 14                             | Εκτόπιση σε βύθισμα, $H_m$                            | Πίνακας 5.6.1 <sup>(2)</sup>          | 23226,6 MT            | 39548,6 MT            |
| 15                             | TPC σε βύθισμα, $H_m$                                 | Πίνακας 5.6.1 <sup>(2)</sup>          | 46,85 MT/cm           | 48,75 MT/cm           |
| 16                             | LCF σε βύθισμα, $H_m$                                 | Πίνακας 5.6.1 <sup>(2)</sup>          | 100,61 m              | 97,76 m               |
| <b>Διόρθωση λόγω κάμψης</b>    |   |                                       |                       |                       |
| 17                             | Βέλος κάμψης, $\delta = H_{\infty} - H_m$             | (17) = (10) - (13)                    | 5,9                   | -10,7 cm              |
| 18                             | Διόρθωση εκτοπίσματος ( $\delta\Delta$ ) <sub>1</sub> | (18) = 0,8 × (15) × (17)              | 221,1 MT              | -417,3 MT             |
| <b>Διόρθωση λόγω διαγωγής</b>  |   |                                       |                       |                       |
| 19                             | Διαγωγή   | (19) = 11 - (12)                      | 0,623 m               | 0,821 m               |
| 20                             | $WW_1 =$ Διαγωγή LCF/LBP                              | (20) = (19) × (16)/192                | 0,326 m               | 0,418 m               |
| 21                             | $H_{CF} = H_A - WW_1$                                 | (21) = (11) - (20)                    | 5,287 m               | 8,700 m               |
| 22                             | $\delta_1 = H_{CF} - H_m$                             | (22) = (21) - (13)                    | -0,014 m ή<br>-1,4 cm | -0,007 m ή<br>-0,7 cm |
| 23                             | Διόρθωση εκτοπίσματος ( $\delta\Delta$ ) <sub>2</sub> | (23) = (22) × (15)                    | -65,6 MT              | -34,1                 |
| 24                             | Διορθωμένο εκτόπιση για κάμψη και διαγωγή             | (24) = (14) + (18) + (23)             | 23382,1               | 39097,2               |
| <b>Διόρθωση πυκνότητας</b>     |   |                                       |                       |                       |
| 25                             | Ειδικό βάρος νερού, $\gamma$                          | Δίνεται                               | 1,020                 | 1,018                 |
| 26                             | Συντελεστής διορθώσεως                                | (26) = $\frac{\gamma - 1,025}{1,025}$ | -0,00487              | -0,00683              |
| 27                             | Διόρθωση εκτοπίσματος ( $\delta\Delta$ ) <sub>3</sub> | (27) = (24) × (26)                    | -113,8 MT             | -267,0 MT             |
| 28                             | Τελικά διορθωμένο εκτόπιση                            | (28) = (24) + (27)                    | -23268,3 MT           | 38830,2 MT            |

(συνεχίζεται)

| Αριθμός γραμμής | Περιγραφή                  | Τρόπος υπολογισμού    | Κατάσταση πλοίου    |                 |
|-----------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|
|                 |                            |                       | Πριν από τη φόρτωση | Μετά τη φόρτωση |
| 29              | Πετρέλαιο, νερό και εφόδια | Δίνεται               | 800 ΜΤ              | 1830 ΜΤ         |
| 30              | Light ship + Φορτίο        | (30) = (28) - (29)    | 22468,3             | 37000,2 ΜΤ      |
| 31              | Φορτίο που παραλήφθηκε     | (31) = (30) - 22468,3 | -                   | 14531,9 ΜΤ      |

**Σημείωση 1.** Από τη σχέση (128) με  $A = + 4 \text{ m}$  και  $F = 3 \text{ m}$

**Πριν από τη φόρτωση:**

$$H_A = 5,60 + \frac{4 \times (5,60 - 5,00)}{192 - 4 - 3} = 5,60 + 0,013 = 5,613 \text{ m}$$

$$H_F = 5,00 + \frac{3 \times (5,60 - 5,00)}{192 - 4 - 3} = 4,90 \text{ m}$$

**Μετά τη φόρτωση:**

$$H_A = 9,14 + \frac{4(9,14 - 8,31)}{192 - 4 - 3} = 9,14 + 0,018 = 9,118 \text{ m}$$

$$H_F = 8,31 + \frac{3(9,14 - 8,31)}{192 - 4 - 3} = 8,31 - 0,013 = 8,297 \text{ m}$$

**Σημείωση 2.** Από τον πίνακα 5.6.1 με παρεμβολή για το αντίστοιχο μέσο βύθισμα.

**Πριν από τη φόρτωση:**

$$\Delta_{SW} = 22755 + (23689 - 22755) \times \frac{5,301 - 5,20}{5,40 - 5,20} =$$

$$= 22755 + 934 + 0,505 = 23226,6 \text{ MT}$$

$$\text{TPC} = 46,8 + (46,9 + 46,8) \times 0,505 = 46,8 + 0,05 = 46,85 \text{ MT / cm}$$

$$\text{LCF} = 100,69 + (100,52 - 100,69) \times 0,505 = 100,69 - 0,08 = 100,61 \text{ m}$$

**Μετά τη φόρτωση:**

$$\Delta_{SW} = 39027 + (40002 - 39027) \times \frac{8,707 - 8,6}{8,8 - 8,6} =$$

$$= 39027 + (975) + 0,535 = 39548,6 \text{ MT}$$

$$\text{TPC} = 48,7 + (48,8 - 48,7) \times 0,535 = 48,75 \text{ MT / cm}$$

$$\text{LCF} = 97,85 + (97,68 - 97,85) \times 0,535 = 97,76 \text{ m}$$

### 13.1 Γενικά.

Όλα τα πλοία πρέπει να έχουν επαρκή ευστάθεια και εφεδρική πλευστότητα, ώστε να μπορούν να πλέουν με ασφάλεια σε όλες τις καταστάσεις φορτώσεώς τους και να μπορούν να αντιμετωπίσουν έκτακτες καταστάσεις βλαβών που μπορούν να παρουσιαστούν στο συχνά δυσμενές θαλάσσιο περιβάλλον.

Από υδροστατική άποψη, συνθηζόμε να λέμε ότι ένα πλοίο βρίσκεται σε **άθικτη κατάσταση** (intact condition), όταν κανένα από τα διαμερίσματά του δεν βρίσκεται σε ελεύθερη επικοινωνία με τη θάλασσα. Αντίθετα θεωρούμε ότι το πλοίο βρίσκεται σε **κατάσταση βλάβης** (damaged condition), αν ένα ή περισσότερα στεγανά διαμερίσματά του βρίσκονται σε ελεύθερη επικοινωνία με τη θάλασσα. Για παράδειγμα, αν σ' ένα πλοίο δημιουργηθεί ρήγμα του εξωτερικού του κελύφους πάνω σε μία εγκάρσια φρακτική (μπουλμές), λέμε ότι έχει υποστεί βλάβη σε δύο στεγανά του διαμερίσματα.

Οι κανονισμοί προβλέπουν τα πλοία γενικά να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έτσι, ώστε να μπορούν να διασωθούν ακόμα και με κάποιο μέγεθος βλάβης στη στεγανή τους υποδιαίρεση ενώ είναι πιο αυστηροί για τα επιβατικά πλοία και λιγότερο για τα φορτηγά.

Από τα παραπάνω εύκολα μπορεί να συμπεράνει κάποιος ότι **για την ασφάλεια κάθε πλοίου είναι απαραίτητο:**

- 1) **Το πλοίο να έχει την απαραίτητη ευστάθεια στην άθικτη κατάσταση.**
- 2) **Το επίπεδο ευστάθειας στην άθικτη κατάσταση του πλοίου να είναι τέτοιο που να εξασφαλίζεται η ύπαρξη, σε κατάσταση βλάβης, ενός αποδεκτού ελάχιστου επιπέδου ευστάθειας.**
- 3) **Η διάταξη του πλοίου να είναι τέτοια, ώστε τα αποτελέσματα από πιθανή σύγκρουση ή προσάραξη να μην επεκτείνονται πέρα από την περιοχή που θα υποστεί την άμεση ζημιά.** Για το λόγο αυτό υπάρχει στα πλοία το πρωραίο στεγανό συγκρούσεως και οι χώροι των διπυθμένων και γενικά υποδιαίρεται το πλοίο με εγκάρσιες κυρίως στεγανές φρακτές (μπουλμέδες) σε αριθμό στεγανών διαμερισμάτων.
- 4) **Να υπάρχει στην άθικτη κατάσταση η απαραίτητη εγκάρσια ευστάθεια και εφεδρική πλευστότητα, ώστε υπό κάποιες δυσμενείς συνθήκες, που περιγράφονται απ' τους κανονισμούς και κυρίως μετά από ενδεχόμενη επικοινωνία ενός αριθμού (συνήθως συνεχόμενων) στεγανών διαμερισμάτων του με τη θάλασσα, να μην δημιουργούνται συνθήκες, που θα είχαν ως αποτέλεσμα τη βύθιση ή την ανατροπή του.**

Λόγω της σοβαρότητάς τους, όλα τα παραπάνω θέματα δεν αφήνονται στην κρίση του σχεδιαστή του πλοίου, του ναυπηγείου ή του πλοιοκτίτη. Αντίθετα διάφοροι εθνικοί ή διεθνείς κανονισμοί καθορίζουν ποσοτικά, ανάλογα με τον τύπο και προορισμό του κάθε πλοίου, τις αντίστοιχες απαιτήσεις.

Ο πλοίαρχος κάθε εμπορικού πλοίου είναι υπεύθυνος να χρησιμοποιεί τις δυνατότητες του πλοίου (δεξαμενές, κύπη, αριθμός επιβατών κ.λπ.) κατά τρόπο που να εξασφαλίζει τη συνεχή (σ' όλη τη διάρκεια κάθε ταξιδιού) ικανοποίηση των σχετικών απαιτήσεων των κανονισμών.

### 13.2 Αιτίες και επιπτώσεις εγκαρσίων κλίσεων.

Από όσα έχουν αναφερθεί, οι εγκάρσιες κλίσεις ενός πλοίου μπορεί να οφείλονται σε:

- 1) Εγκάρσιες ροπές.
- 2) Αρνητικό μετακεντρικό ύψος.
- 3) Συνδυασμό εγκαρσίων ροπών και αρνητικού μετακεντρικού ύψους. Μικρές εγκάρσιες κλίσεις που

οφείλονται σε εγκάρσιες ροπές παρουσιάζονται συχνά στα πλοία και δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία. Ο κυριότερος λόγος για την εμφάνιση τέτοιων κλίσεων είναι η αδυναμία να πραγματοποιηθεί απόλυτα συμμετρική φόρτωση του πλοίου, καθώς και η προοδευτική κατανάλωση υγρών από δεξιές ή αριστερές δεξαμενές. Ο πλοίαρχος όμως, γνωρίζοντας όλες τις αρχές που έχουμε προαναφέρει, θα μπορέσει να αποφύγει τη δημιουργία εγκάρσιων κλίσεων ή και να τις εξουδετερώσει όταν εμφανισθούν.

Αντίθετα, εγκάρσιες κλίσεις που οφείλονται σε αρνητικό μετακεντρικό ύψος πρέπει οπωσδήποτε να αποφεύγονται.

Επίσης, οι εγκάρσιες κλίσεις που οφείλονται σε εγκάρσιες ροπές, δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα όρια που καθορίζονται από τους κανονισμούς.

Γενικά οι εγκάρσιες κλίσεις, ακόμη και όταν βρίσκονται μέσα στα όρια των κανονισμών, πρέπει να αποφεύγονται γιατί:

- 1) Μειώνουν γενικά το επίπεδο στατικής και δυναμικής ευστάθειας του πλοίου.
- 2) Μειώνουν το επίπεδο ασφάλειας του πλοίου σε κυματισμό.
- 3) Μειώνουν τις πιθανότητες διασώσεως του πλοίου, όταν λόγω θαλασσοταραχής μετακινηθεί το φορτίο, αυξάνοντας έτσι ακόμη περισσότερο τις εγκάρσιες κλίσεις.
- 4) Μειώνουν τις πιθανότητες διασώσεως του πλοίου σε περίπτωση που ένα ή περισσότερα στεγανά διαμερίσματά του επικοινωνήσουν με τη θάλασσα (π.χ. λόγω ρήγματος).
- 5) Δημιουργούν άσχημο συναίσθημα στους επιβάτες των επιβατικών πλοίων και δυσχεραίνουν γενικά τους χειρισμούς όλων των πλοίων.
- 6) Αυξάνουν, όπως θα δούμε, το ναυτιλιακό βύθισμα του πλοίου.

### 13.3 Εγκάρσια κλίση λόγω αρνητικού μετακεντρικού ύψους.

Η κατάσταση αυτή, όπως έχει ήδη επεξηγηθεί, διαπιστώνεται από την τάση του πλοίου να παίρνει κλίση προς οποιαδήποτε πλευρά, χωρίς διάκριση και χωρίς να επενεργεί καμμία εξωτερική ροπή πάνω σ' αυτό.

Όπως ήδη έχουμε εξηγήσει, η ύπαρξη αρνητικού μετακεντρικού ύψους σ' ένα πλοίο δεν σημαίνει ότι το πλοίο θα ανατραπεί, αλλά ότι το επίπεδο ευστάθειάς του είναι σχετικά ελαττωμένο.

Η τιμή του τυχόν αρνητικού μετακεντρικού ύψους ενός πλοίου μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση (98), αν μπορέσει να γίνει μία καλή εκτίμηση της **γωνίας εγκάρσιας κλίσεως** (angle of loll). Διόρθωση της καταστάσεως θα πρέπει να επιδιωχθεί με:

- 1) Μεταφορές βαρών από ψηλά προς τα κάτω.
- 2) Προσθήκη βαρών σε θέσεις κάτω από το κέντρο βάρους του πλοίου.
- 3) Αφαίρεση βαρών από θέσεις πάνω από το κέντρο βάρους του πλοίου.
- 4) Ελάττωση στο μέγιστο δυνατό των ελευθέρων επιφανειών.

#### **Παράδειγμα.**

Το πλοίο Α, όταν έχει εκτόπισμα 53232 ΜΤ, ισορροπεί λόγω αρνητικού μετακεντρικού ύψους σε γωνίες 7,5° προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά, χωρίς διάκριση. Στην κατάσταση αυτή, είναι  $KM_T = 11,905$  και  $BM_T = 4,5$  m. Πόσο βάρος πρέπει να μεταφερθεί από το κατάστρωμα προς τα κάτω σε απόσταση 10 m, ώστε να γίνει το μετακεντρικό ύψος του πλοίου θετικό και ίσο με 0,05 m;

Από τη σχέση (98), για  $\varphi = 7,5^\circ$  ( $\epsilon\varphi\varphi = 0,13165$ ) και  $BM_T = 4,5$  m, έχουμε:

$$GM_T = -\frac{\epsilon\varphi^2 \varphi \times BM_T}{2} = -\frac{(0,13165)^2 \times (4,5)}{2} = -0,038 \text{ m}$$

Για να γίνει το μετακεντρικό ύψος του πλοίου θετικό και ίσο με 0,05 m, θα πρέπει το κέντρο βάρους του να κατεβεί προς τα κάτω κατά  $0,05 + 0,038 = 0,088$  m.

Έτσι, από τη σχέση (65) θα έχουμε:



$$VCG_2 - VCG_1 = \frac{w \times g_1 g_2}{\Delta} = -0,088 \text{ m}$$

ή

$$w = \frac{(-0,088) \Delta}{g_1 g_2} = \frac{(-0,088) \times (53232)}{-10} = 468 \text{ MT}$$

### 13.4 Εγκάρσια κλίση λόγω εγκαρσίων ροπών.

Οι κυριότερες αιτίες που μπορούν να δημιουργήσουν στο πλοίο εγκάρσιες κλίσεις έχουν δοθεί στην παράγραφο 8.3 και είναι:

- 1) Η ασυμμετρία βαρών.
- 2) Η επίδραση του ανέμου στα έξαλα του πλοίου.
- 3) Η ροπή της έλικας στα μονέλικά πλοία.
- 4) Η φυγόκεντρη δύναμη κατά τη στροφή του πλοίου.

Παρακάτω θα δοθούν μερικά ποσοτικά στοιχεία πάνω στον υπολογισμό των σχετικών ροπών.

#### 1) Ασυμμετρία βαρών.

Η επίδραση στην εγκάρσια θέση του κέντρου βάρους του πλοίου από προσθαφαιρέσεις βαρών που βρίσκονται σε διάφορες θέσεις δεξιά ή αριστερά του επιπέδου συμμετρίας, εξετάστηκε ήδη στην παράγραφο 6.3 και ποσοτικά μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση (62). Η ίδια σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για τη μεταφορά βαρών από το επίπεδο συμμετρίας προς την πλευρά του πλοίου, αν θεωρήσουμε ότι το βάρος αφαιρείται από το επίπεδο συμμετρίας (βραχίονας ίσος με μηδέν) και προστίθεται σε κάποια θέση στην πλευρά.

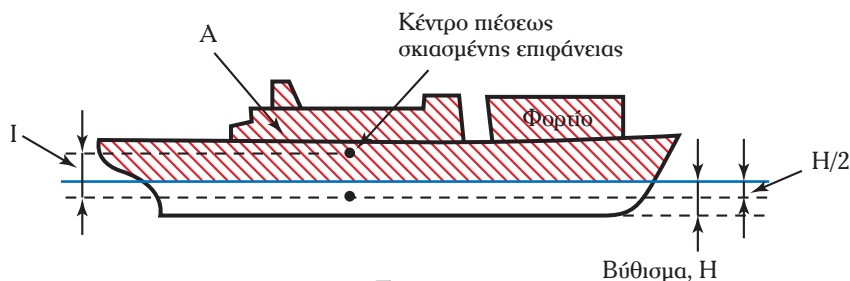
Η μεταβολή της παραπάνω ροπής με τη γωνία εγκάρσιας κλίσεως, όπως είδαμε στο εδάφιο 3 της παραγράφου 10.9, περιγράφεται με μία συννημιτονοειδή καμπύλη.

#### 2) Επίδραση πλευρικού ανέμου στην εγκάρσια ευστάθεια.

Ο μοχλοβραχίονας εγκάρσιας κλίσεως λόγω της επιδράσεως πλευρικού ανέμου στα έξαλα του πλοίου, δίνεται από τη σχέση:

$$GZ_A = P \frac{A \times I \times \sin^2 \varphi_A}{\Delta} \quad (142)$$

όπου:  $GZ_A$  είναι ο μοχλοβραχίονας εγκάρσιας κλίσεως λόγω του ανέμου σε m, P η πίεση του ανέμου σε  $\text{MT/m}^2$ , A η προβολή της επιφάνειας των εξάλων πάνω στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου σε  $\text{m}^2$ , I η κατακόρυφη απόσταση από το κέντρο επιφάνειας των εξάλων μέχρι ένα σημείο που βρίσκεται στο μέσο του βυθίσματος του πλοίου σε m,  $\Delta$  το εκτόπισμα του πλοίου σε MT και  $\varphi_A$  η εγκάρσια κλίση που θα αποκτήσει, λόγω του ανέμου, το πλοίο (σχ. 13.4α).



Σχ. 13.4α.

Ορισμός παραμέτρων για τον υπολογισμό της ροπής ανέμου.

Το  $P$  καθορίζεται από τους κανονισμούς. Για παράδειγμα στα επιβατικά πλοία που:

- α) Εκτελούν μεγάλα διεθνή ταξίδια, έχουμε  $P = 0,100 \text{ MT/m}^2$ .
- β) Εκτελούν μικρά τοπικά ή ταξίδια ακτοπλοΐας,  $P = 0,070 \text{ MT/m}^2$ .
- γ) Εκτελούν ταξίδια περιορισμένης εκτάσεως  $P = 0,040 \text{ MT/m}^2$ .

Ο χαρακτηρισμός των ταξιδιών γίνεται από τους κανονισμούς, ανάλογα, κυρίως, με την απόσταση που απομακρύνονται από το πλησιέστερο λιμάνι.

Ανεξάρτητα από τις απαιτήσεις των κανονισμών, η πίεση  $P$  για διάφορες ταχύτητες ανέμου μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$P = \frac{V_A^2}{C}$$

όπου:  $P$  σε  $\text{MT/m}^2$ ,  $V_A$  η ταχύτητα του ανέμου σε κόμβους και  $C = 51200$ .

### Παράδειγμα 1.

Για άνεμο με ταχύτητα 80 κόμβων έχουμε:

$$P = \frac{60^2}{51200} = 0,0703 \text{ MT / m}^2$$

### 3) Ροπή της έλικας στα μονέλικά πλοία.

Η ροπή αυτή υπολογίζεται από τη μελέτη της έλικας, αντικείμενο που ξεφεύγει από τα όρια αυτού του βιβλίου. Η ροπή αυτή παραμένει σταθερή και είναι ανεξάρτητη από την τιμή της γωνίας εγκάρσιας κλίσεως.

Η ροπή αυτή μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:

$$\text{Ροπή} = 716 \times \frac{\text{SHP}}{\text{RPM}} \quad (143)$$

όπου SHP είναι η ροπή στον ελικοφόρο άξονα σε ίππους, και RPM οι στροφές/λεπτό στην έλικα.

Η επίδραση του πλευρικού ανέμου στην ευστάθεια και στη δημιουργία εγκάρσιας κλίσεως είναι σοβαρή στις εξής περιπτώσεις:

- α) Σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων όταν μεταφέρουν κενά εμπορευματοκιβώτια που φθάνουν, κατά την κατακόρυφη έννοια, και τις πέντε σειρές πάνω από το κατάστρωμα.
- β) Σε μεγάλα VLCC και ULCC.
- γ) Σε πλοία LNG και LPG όταν αποπλέουν με αυξημένο εφεδρικό ύψος (freeboard).
- δ) Γενικά σε πλοία στην άφορτη κατάσταση που έχουν αυξημένα έξαλα.
- ε) Σε επιβατικά και κρουαζιερόπλοια με πολλά καταστρώματα.

### 4) Ροπή λόγω της φυγόκεντρης δυνάμεως κατά τη στροφή του πλοίου.

Με τον όρο **ελικτικότητα πλοίου** εννοούμε την ελεγχόμενη αλλαγή της πορείας και της ταχύτητάς του. Όταν λέμε ότι ένα πλοίο είναι **ευέλικο**, δεν εννοούμε μόνο ότι μπορεί να αλλάξουμε γρήγορα τη διεύθυνση της κινήσεώς του (όταν είναι επιθυμητό), αλλά και ότι μπορούμε επίσης να αυξήσουμε ή να ελαττώσουμε σε σύντομο χρόνο την ταχύτητά του.

Όσο επιθυμητό είναι το πλοίο να είναι ευέλικο, όταν χρειάζεται, άλλο τόσο είναι και να έχει τη δυνατότητα να διατηρεί την πορεία του (χωρίς μεγάλη χρησιμοποίηση του πηδαλίου), όταν δεν υπάρχουν εξωτερικά αίτια που τείνουν να το εκτρέψουν απ' αυτήν. Η ιδιότητα αυτή του πλοίου ονομάζεται **ικανότητα διατηρήσεως της πορείας**.

Στη θεωρητική μελέτη της στροφής ενός πλοίου, η οποία ξεφεύγει από τα όρια αυτού του βιβλίου, ως **ονδέτερο σημείο** (pivot point) ορίζεται το σημείο εκείνο στο οποίο, όταν επιδράσει δύναμη κάθετη προς το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, δεν παρατηρείται αλλαγή της πορείας του. Το σημείο αυτό βρίσκεται

περίπου σε απόσταση ίση με το  $\frac{1}{6}$  του μήκους μεταξύ των καθέτων πιο πρύμα από την προωραία κάθετο (σχ. 13.4β).

Όπως είναι γνωστό, η ικανότητα στροφής ενός πλοίου εξασφαλίζεται από το πηδάλιο του. Η ροπή που δημιουργεί η εκτροπή του πηδαλίου σε κάποια γωνία, σε σχέση με το διάμπεκ, είναι τόσο μεγαλύτερη (για το ίδιο πηδάλιο και την ίδια ταχύτητα κίνησης του πλοίου) όσο πιο πολύ απέχει το πηδάλιο από το ουδέτερο σημείο. Λαμβάνοντας υπόψη τη θέση του ουδέτερου σημείου που προαναφέραμε, αντιλαμβανόμαστε εύκολα για πιο λόγο το πηδάλιο τοποθετείται στην πρύμη και μάλιστα στη ροή του ομόρου της έλικας (απόνερα), όπου και υφίσταται την επίδραση μάζας νερού που έχει ήδη επιταχυνθεί από τη δράση της έλικας. Αυτό τείνει να κάνει τη δύναμη και επομένως τη ροπή του πηδαλίου μεγαλύτερη, εξασφαλίζοντας έτσι στο πλοίο μεγαλύτερη ευελιξία.

As θεωρήσουμε τώρα ένα πλοίο που κινείται πάνω σε σταθερή πορεία με σταθερή ταχύτητα. Αν κάποια στιγμή τοποθετήσουμε το πηδάλιο σε κάποια σταθερή γωνία και το κρατήσουμε εκεί, το πλοίο θα πραγματοποιήσει έναν ελιγμό ο οποίος ονομάζεται **κύκλος στροφής**.

Όταν στη διάρκεια ενός τέτοιου ελιγμού αναπτυχθεί μια κατάσταση σταθερής με το χρόνο στροφής του πλοίου, εφαρμόζεται σ' αυτό μια δύναμη με φορέα την ακτίνα της κυκλικής τροχιάς του, που δίνεται από τη σχέση:

$$F = \frac{\Delta V^2}{Rg} \quad (144)$$

όπου:  $F$  η δύναμη σε tn που εφαρμόζεται με φορέα την ακτίνα της τροχιάς του πλοίου,  $\Delta$  το εκτόπισμα του πλοίου σε tn,  $R$  η ακτίνα της τροχιάς σε m,  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9,81 \text{ m/sec}^2$ ) και  $V$  η ταχύτητα του πλοίου σε m/sec.

### Παράδειγμα 2.

Ένα πλοίο στρέφει σε κυκλική τροχιά ακτίνας 300 m με σταθερή ταχύτητα 12 κόμβων. Το εκτόπισμά του είναι 5000 tn.

Θα έχουμε:

$$V = \frac{12 \text{ μίλια}}{\text{h}} \times \frac{1852 \text{ m}}{\text{μίλι}} \times \frac{1}{3600} \frac{\text{h}}{\text{sec}} = 6,17 \text{ m/sec}$$

Από τη σχέση (137) θα έχουμε:

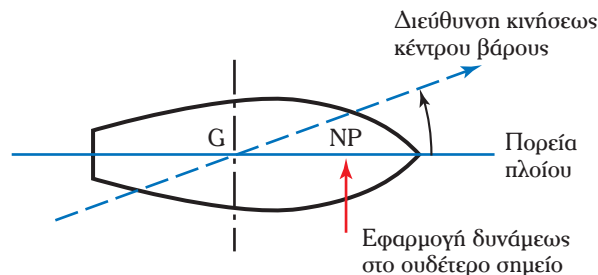
$$F = \frac{\Delta V^2}{Rg} = \frac{(5000)(6,17)^2}{(300)(9,81)} = 64,68 \text{ tn}$$

Στο σχήμα 13.4γ φαίνεται το σύνολο των δυνάμεων που ενεργούν στο πλοίο κατά τη στροφή. Οι δυνάμεις αυτές, εκτός από τη  $F$  που προαναφέρθηκε, είναι η  $F_r$  που εφαρμόζεται από το πηδάλιο και η  $F_h$  που είναι η αντίδραση του νερού πάνω στο πλοίο.

Για την ύπαρξη ισορροπίας θα πρέπει:

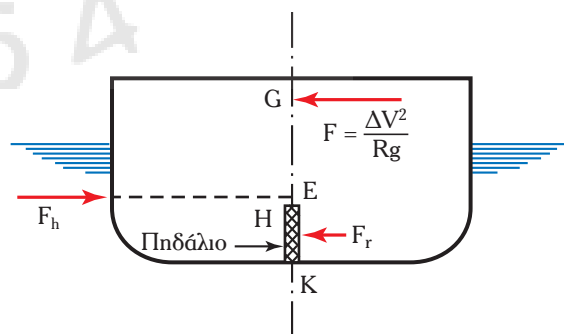
$$F_h - F_r = F = \frac{\Delta V^2}{Rg} \quad (145)$$

Όπως φαίνεται και από το σχήμα, οι παραπάνω δυνάμεις, εκτός απ' τη δημιουργία της ροπής που προκαλεί τη στροφή του πλοίου, δημιουργούν ταυτόχρονα και μία άλλη ροπή, η οποία τείνει να προκαλέσει



Σχ. 13.4β.

Κίνηση κέντρου βάρους πλοίου σε στροφή.



Σχ. 13.4γ.

Δυνάμεις που ενεργούν πάνω στο πλοίο κατά τη στροφή. G) Κέντρο βάρους πλοίου. E) Σημείο εφαρμογής υδροδυναμικής δυνάμεως. H) Σημείο εφαρμογής δυνάμεως πηδαλίου. K) Τρόπιδα.  $F_h$ ) Υδροδυναμική δύναμη.  $F_r$ ) Δύναμη πηδαλίου. F) Συνιστοιμένη δύναμη.

εγκάρσια κλίση στο πλοίο. Αυτή η ροπή είναι ίση με:

$$\text{Ροπή} = (F_h - F_r) \times GE - F_r \times EH \quad (146)$$

Για τα περισσότερα πλοία, το σημείο Η είναι πολύ κοντά στο Ε και επομένως η σχέση (145) μπορεί να πάρει την προσεγγιστική μορφή:

$$\text{Ροπή} = (F_h - F_r) \times GE \quad (147)$$

Ως συνέπεια της δράσεως αυτής της ροπής, το πλοίο θα πάρει μία εγκάρσια κλίση  $\varphi$  προς την έξω πλευρά της στροφής. Η κλίση αυτή βρίσκεται αν εξισώσουμε την παραπάνω ροπή με τη γνωστή από προηγούμενο κεφάλαιο ροπή επαναφοράς (υδροστατικής προελεύσεως) του πλοίου.

$$\Delta \times GM \times \eta\mu\varphi = (F_h - F_r) \times GE$$

Επομένως:

$$\eta\mu\varphi = \frac{(F_h - F_r) \times GE}{\Delta \times GM} = \frac{\Delta V^2}{Rg} \times \frac{GE}{\Delta \times M} = \frac{V^2}{Rg} \times \frac{GE}{GM} \quad (148)$$

Με βάση την παραπάνω σχέση μπορούμε να εκτιμήσουμε την εγκάρσια κλίση που παίρνει ένα πλοίο όταν βρεθεί πάνω σε στροφή. Θα πρέπει επίσης εδώ να πούμε ότι στην αρχή της στροφής, η  $F_h$  δεν προλαβαίνει να αναπτυχθεί πλήρως και γι' αυτό το πλοίο γέρνει αρχικά προς το εσωτερικό του κύκλου.

Προσεγγιστικά το σημείο Ε μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκεται στο μισό του βυθίσματος.

### Παράδειγμα 3.

Να εκτιμηθεί η γωνία εγκάρσιας κλίσεως που παίρνει το πλοίο του προηγούμενου παραδείγματος, αν πλέει σε βύθισμα 4 m, το κέντρο βάρους του βρίσκεται 5 m πάνω από την τρόπιδα και το μετακεντρικό του ύψος είναι 1 m. Θα έχουμε:

$$KE = H/2 = 2 \text{ m}$$

$$GE = KG - KE = 5 - 2 = 3 \text{ m} \text{ και } GM = 1 \text{ m}$$

$$\frac{V^2}{Rg} = \frac{\Delta \frac{V^2}{Rg}}{\Delta} = \frac{F}{\Delta} = \frac{64,68}{5000}$$

Επομένως από τη σχέση (147) θα έχουμε:

$$\eta\mu\varphi = \frac{V^2}{Rg} \times \frac{GE}{GM} = \frac{64,68}{5000} \times \frac{3}{1} = 0,0388$$

και  $\varphi \approx 2,22^\circ$ .

Από το παραπάνω παράδειγμα βλέπουμε πόσο σημαντικά επηρεάζεται η γωνία εγκάρσιας κλίσεως από την ταχύτητα του πλοίου και το μετακεντρικό του ύψος.

Αν, για παράδειγμα, η ταχύτητα του πλοίου ήταν 15 κόμβοι και το μετακεντρικό ύψος του το μισό, από τη σχέση (148) εύκολα προκύπτει ότι το  $\eta\mu\varphi$  θα ήταν περίπου 3 φορές μεγαλύτερο, θα είχε δηλαδή τιμή 0,116 που αντιστοιχεί σε γωνία  $\varphi = 6,6^\circ$ . Η μεταβολή αυτής της ροπής με τη γωνία εγκάρσιας κλίσεως ακολουθεί μια συνημιτονοειδή καμπύλη.

#### 13.4.1 Εύρεση μικρών γωνιών εγκάρσιας κλίσεως με χρησιμοποίηση του μετακεντρικού ύψους.

Όταν η γωνία εγκάρσιας κλίσεως που θα δημιουργηθεί από μία εγκάρσια ροπή όπως αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι μικρή, ο υπολογισμός της είναι δυνατός και εύκολος με τη χρησιμοποίηση της σχέσεως (76). Δηλαδή:

$$\text{Ροπή κλίσεως} = \Delta \times GM_T \eta\mu\varphi \quad (149)$$

### Παράδειγμα

Ένα πλοίο έχει εκτόπισμα 5000 MT και εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος 1 m. Κατά τη στροφή του πλοίου δημιουργείται εγκάρσια ροπή ίση με 200 MT-m. Να βρεθεί η γωνία εγκάρσιας κλίσεως που θα αποκτήσει το πλοίο ως συνέπεια της στροφής.

Στο παράδειγμα, η ροπή κλίσεως είναι ίση με  $200 \times (\text{συν}\varphi)$  και έτσι από τη σχέση (149) έχουμε:

$$200 \text{ συν}\varphi = \Delta GM_T \eta \mu\varphi$$

ή

$$\epsilon\varphi\varphi = \frac{200}{\Delta GM_T} = \frac{200}{(5000) \times (1)} = 0,04 \quad \text{και} \quad \varphi = 2,3^\circ$$

### 13.4.2 Εύρεση μικρών ή μεγάλων γωνιών εγκάρσιας κλίσεως με χρησιμοποίηση της καμπύλης ευστάθειας.

Η γωνία εγκάρσιας κλίσεως που δημιουργείται ως αποτέλεσμα της επενέργειας πάνω στο πλοίο μιας οποιασδήποτε εγκάρσιας ροπής, μπορεί να υπολογισθεί με ακρίβεια ως το σημείο τομής δύο καμπυλών και συγκεκριμένα, της καμπύλης μοχλοβραχιόνων επαναφοράς (καμπύλη ευστάθειας του πλοίου) και της καμπύλης μοχλοβραχίονα κλίσεως, η οποία βρίσκεται αν διαιρέσουμε τη ροπή κλίσεως με το εκτόπισμα του πλοίου.

Η μέθοδος εφαρμόζεται συνήθως γραφικά και, όπως θα φανεί στα επόμενα παραδείγματα, είναι πολύ απλή.

### Παράδειγμα 1.

Ένα επιβατικό πλοίο που εκτελεί μεγάλα διεθνή ταξίδια έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Εκτόπισμα 5000 MT.
- Επιφάνεια πλευρικής προβολής εξάλων  $A = 2250 \text{ m}^2$ .
- Κατακόρυφη απόσταση από κέντρο επιφάνειας εξάλων ως το μέσο του βυθίσματος  $I = 15 \text{ m}$ .
- Καμπύλη ευστάθειας, όπως φαίνεται στο σχήμα 13.4δ.

Να βρεθεί η γωνία εγκάρσιας κλίσεως λόγω της πνοής ανέμου.

Για πλοία που εκτελούν μεγάλα διεθνή ταξίδια,  $P = 0,100 \text{ MT/m}^3$  και από τη σχέση (136) έχουμε:

Πίνακας 13.4.1

| Γωνία $\varphi$<br>(μοίρες) | συν $\varphi$ | (συν $\varphi$ ) <sup>2</sup> | Βραχίονας κλίσεως<br>0,675 (συν $\varphi$ ) <sup>2</sup> |
|-----------------------------|---------------|-------------------------------|--|
| 0                           | 1,000         | 1,000                         | 0,675  |
| 10                          | 0,985         | 0,970                         | 0,654  |
| 20                          | 0,940         | 0,884                         | 0,597  |
| 30                          | 0,866         | 0,750                         | 0,506  |
| 40                          | 0,766         | 0,586                         | 0,395  |
| 50                          | 0,643         | 0,413                         | 0,278  |
| 60                          | 0,500         | 0,250                         | 0,168  |
| 70                          | 0,342         | 0,117                         | 0,079  |
| 80                          | 0,174         | 0,030                         | 0,020  |
| 90                          | 0,000         | 0,000                         | 0,000  |

$$GZ_A = P \frac{A \times I \times \sin^2 \varphi}{\Delta} = 0,100 \frac{(2250) \times (15) \times \sin^2 \varphi}{(5000)} = 0,675 \sin^2 \varphi$$

Καταρτίζουμε στη συνέχεια τον πίνακα 13.4.1.

Οι συντεταγμένες που ορίζουν τα στοιχεία των σπλών 1 και 4 χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση στο διάγραμμα του σχήματος 13.4δ σημείων, από τα οποία περνά η μπλε καμπύλη.

Η γωνία εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου βρίσκεται από την τομή της καμπύλης ευστάθειας και της καμπύλης μοχλοβραχιόνων κλίσεως και είναι  $\varphi_1 = 15,5^\circ$ .

Στο σχήμα 13.4δ βλέπουμε ότι υπάρχει και άλλο ένα σημείο τομής όπου  $\varphi_2 = 66,5^\circ$ .

Από τις παραπάνω δύο γωνίες, η  $\varphi_1$  είναι γωνία ευσταθούς ισορροπίας γιατί αύξηση της γωνίας εγκάρσιας κλίσεως δημιουργεί μεγαλύτερη ροπή επαναφοράς από τη ροπή κλίσεως. Το σημείο λοιπόν αυτό εξασφαλίζει **ευσταθή ισορροπία**. Το αντίθετο ισχύει για γωνίες μεγαλύτερες της  $\varphi_2$ . Έτσι η  $\varphi_2$  είναι γωνία **ασταθούς ισορροπίας**. Μετρώντας τετραγωνάκια (ή με οποιοδήποτε άλλο τρόπο ολοκλήρωσης), μπορούμε να σχεδιάσουμε την κατακόρυφη ευθεία ΑΒ σε τέτοια θέση που να είναι  $A_1 = A_2$ . Έτσι προσδιορίζουμε ότι η γωνία δυναμικής εγκάρσιας κλίσεως στο παράδειγμα αυτό είναι  $33^\circ$ . Δηλαδή, αν ο άνεμος πνεύσει απότομα, το πλοίο μπορεί να πάρει κλίση μέχρι  $33^\circ$ , ενώ τελικά θα ισορροπήσει (εφόσον ο άνεμος συνεχίσει να πνέει σταθερός), σε γωνία  $15,5^\circ$ .

### Παράδειγμα 2.

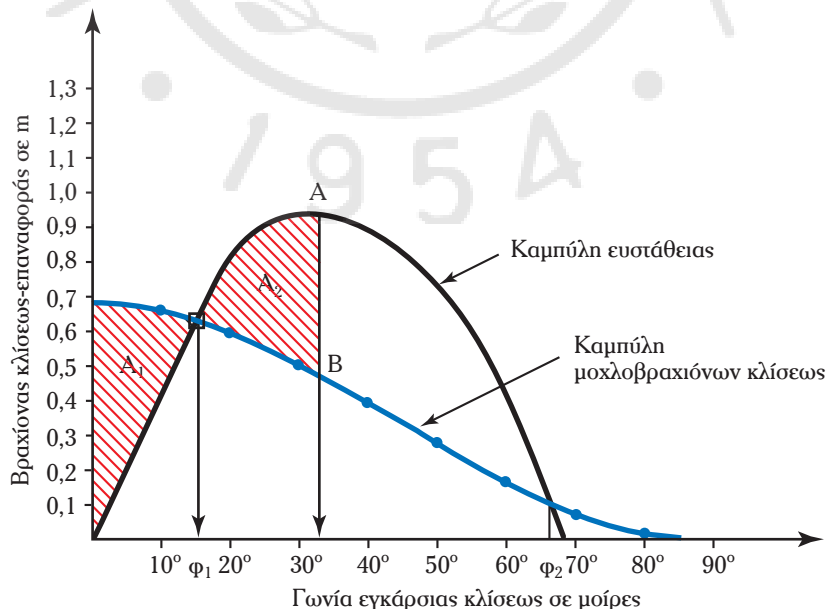
Το πλοίο Α, σε κάποια κατάσταση φορτώσεως σιτηρών, έχει εκτόπισμα 47652 ΜΤ και εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος (περιλαμβανομένης και της διορθώσεως για ελεύθερες επιφάνειες) ίσο με 1,91 m. Λόγω εγκάρσιας μετατοπίσεως του φορτίου σιτηρών σε θαλασσοταραχή, δημιουργείται εγκάρσια ροπή ίση με 6957 ΜΤ-m. Να βρεθεί η γωνία εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου και η δυναμική ευστάθειά του μέχρι γωνία  $40^\circ$ .

Με παρεμβολή στον πίνακα 5.6.1, έχουμε:

$$BM_T = 11,88 + \frac{11,87 - 11,88}{47908 - 46906} \times (47652 - 46906) = 11,872 \text{ m}$$

$$KG = KM_T - GM_T = 11,872 - 1,91 = 9,962$$

Παίρνοντας στοιχεία για  $\Delta = 47652$  από το σχήμα 9.3 που περιέχει τις παραμετρικές καμπύλες ευστά-



Σχ. 13.46.

Εύρεση γωνίας εγκάρσιας κλίσεως.

θειας του πλοίου A για  $KG = 10,67$  και αφού κάνομε τη σχετική διόρθωση για τη νέα θέση του κέντρου βάρους ( $KG = 9,962$ ), ακριβώς όπως στο δεύτερο παράδειγμα της παραγράφου 9.7, βρίσκομε στοιχεία για τη χάραξη της καμπύλης ευστάθειας (σχ. 13.4ε).

Όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 16, η καμπύλη εγκάρσια κλίσεως για τους υπολογισμούς σιτηρών, καθορίζεται από τους κανονισμούς να παριστάνεται αντί με συνημιτονοειδή καμπύλη, με μία ευθεία για την οποία ισχύει η σχέση:

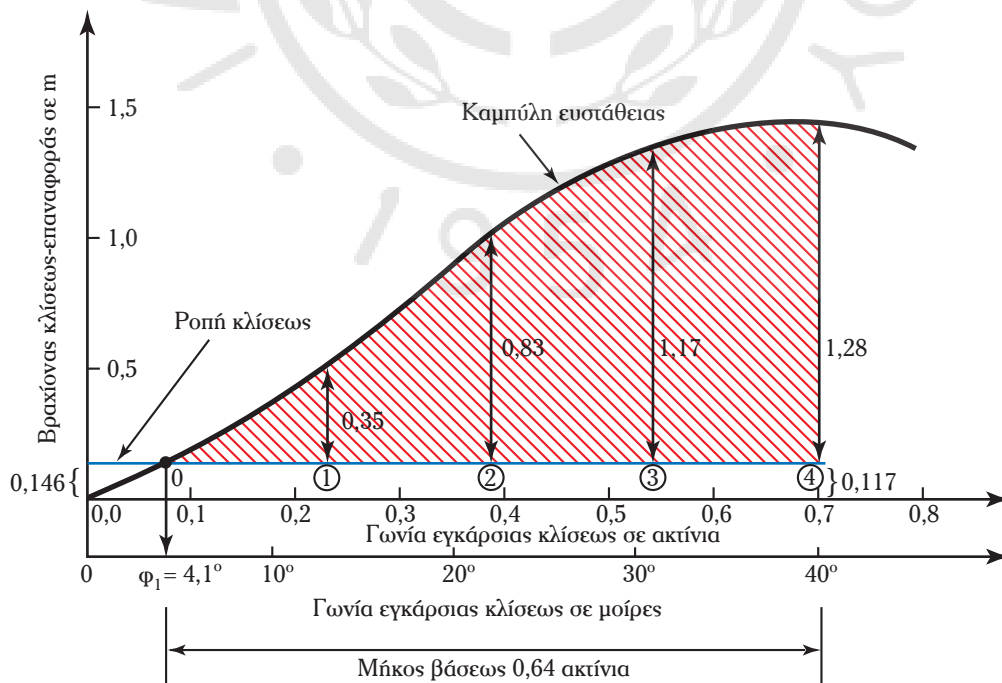
$$(\text{Βραχίονας κλίσεως στις } 40^\circ) = 0,8 (\text{Βραχίονας κλίσεως στις } 0^\circ)$$

Ο βραχίονας κλίσεως σε  $0^\circ$  είναι ίσος με  $6957/47652 = 0,146$  m. Έτσι ο βραχίονας κλίσεως σε γωνία  $40^\circ$  είναι ίσος με  $0,8 \times 0,146 = 0,117$  m. Με τα στοιχεία αυτά χαράσσεται η μπλε αποχρώσεως ευθεία του σχήματος 13.4ε. Από την τομή της ευθείας που παριστάνει το βραχίονα κλίσεως και της καμπύλης ευστάθειας, βρίσκομε ότι η γωνία εγκάρσιας κλίσεως θα είναι  $4,1^\circ$ .

Η δυναμική ευστάθεια είναι ίση με την κόκκινη σκιασμένη επιφάνεια. Για τον υπολογισμό της, με βάση τον πρώτο κανόνα του Simpson, μετρούμε το μήκος της βάσεως που είναι ίσο με 0,64. Έτσι, για πέντε σταθμούς, η σταθερή ισάποσταση είναι ίση με  $0,64/4 = 0,16$  ακτίνια.

Οι αναγνώσεις των μοχλοβραχιόνων στους αντίστοιχους σταθμούς φαίνονται στο σχήμα 13.4ε. Έχομε λοιπόν:

| Σταθμός | Βραχίονας | Συντελεστής Simpson | Γινόμενο |
|---------|-----------|---------------------|----------|
| 0       | 0,00      | 1                   | 0,00     |
| 1       | 0,35      | 4                   | 1,40     |
| 2       | 0,83      | 2                   | 1,66     |
| 3       | 1,17      | 4                   | 4,68     |
| 4       | 1,28      | 1                   | 1,28     |



**Σχ. 13.4ε.**

Γωνία εγκάρσιας κλίσεως λόγω μετακινήσεως φορτίου σιτηρών.

$$\left. \begin{array}{l} \text{\{ Δυναμική ευστάθεια \}} \\ \text{\{ μέχρι τις } 40^\circ \} \end{array} \right\} = \frac{0,16}{3} (9,02) = 0,481 \text{ (m-rad)}$$

Υπολογισμοί, όπως ο παραπάνω, είναι απαραίτητοι από τους κανονισμούς και πολύ συνηθισμένοι στις φορτώσεις σιτηρών, και γι' αυτό οι πλοίαρχοι των εμπορικών πλοίων πρέπει να είναι εξοικειωμένοι μ' αυτούς.

### 13.5 Αύξηση βυθίσματος με την εγκάρσια κλίση.

Στο σχήμα 13.5 βλέπουμε τη μέση τομή ενός πλοίου που πλέει ισοβύθιστο αρχικά στην ίσαλο WL. Το βύθισμά του στη μέση τομή που μετρείται κάθετα στην ίσαλο είναι H. Όταν το πλοίο αποκτήσει κάποια γωνία εγκάρσιας κλίσεως  $\varphi$  και πλεύσει στην ίσαλο  $W_1L_1$ , όπως προκύπτει από το σχήμα 13.5, θα έχει βύθισμα (που μετρείται πάντοτε κάθετα προς την ίσαλο) ίσο με  $H_1$ .

Για ένα πλοίο που έχει μέση τομή παρόμοια μ' αυτήν του σχήματος 13.5, η οποία είναι τυπική για φορτηγά πλοία, το μήκος EZ του τριγώνου EAZ είναι περίπου ίσο με  $B/2$ , όπου B είναι το πλάτος του πλοίου. Έτσι, από το παραπάνω τρίγωνο έχουμε:

$$EA = EZ \times \epsilon\varphi\varphi = \frac{B}{2} \times \epsilon\varphi\varphi$$

Αλλά από το τρίγωνο AΓΔ έχουμε:

$$H_1 = A\Gamma = A\Delta \sigma\upsilon\upsilon\varphi = (AE + E\Delta) \times \sigma\upsilon\upsilon\varphi$$

Συνδυάζοντας τις παραπάνω δύο σχέσεις και σημειώνοντας ότι  $\Delta E = H$ , έχουμε:

$$H_1 = \left( \frac{B}{2} \frac{\eta\mu\varphi}{\sigma\upsilon\upsilon\varphi} + H \right) \sigma\upsilon\upsilon\varphi = \frac{B}{2} \eta\mu\varphi + H\sigma\upsilon\upsilon\varphi \quad (150)$$

#### Παράδειγμα.

Ένα πλοίο με σχεδόν ορθογωνική μέση τομή πλέει αρχικά σε βύθισμα 8 m ισοβύθιστο. Πόσο αυξάνεται το βύθισμα στο μέσο του, όταν το πλοίο αποκτήσει εγκάρσια κλίση  $10^\circ$ ;

Από τη σχέση (150) έχουμε:

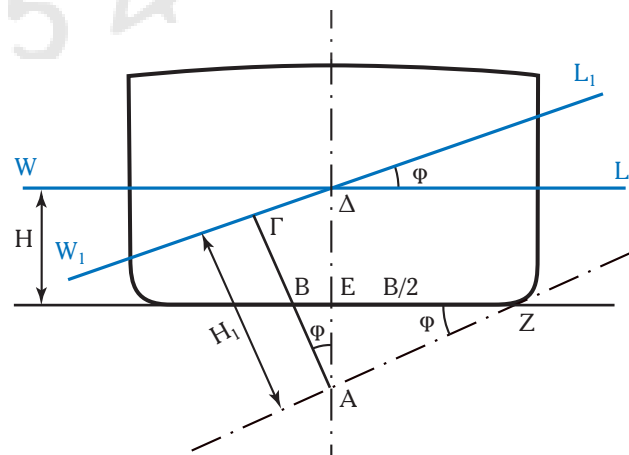
$$H_1 = \frac{B}{2} \eta\mu\varphi + H\sigma\upsilon\upsilon\varphi = (10) \times (0,174) + (8) \times (0,985) = 9,62 \text{ m}$$

Αύξηση μέσου βυθίσματος =  $9,62 - 8 = 1,62$  m.

Η παραπάνω αύξηση του μέσου βυθίσματος πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη όταν ένα πλοίο πρόκειται να περάσει, με σημαντική εγκάρσια κλίση, από αβαθή περιοχή.

### 13.6 Πρακτικά στοιχεία σχετικά με τη διόρθωση εγκάρσιων κλίσεων.

Για την επιλογή των καταλλήλων μέτρων για τη διόρθωση εγκάρσιων κλίσεων, είναι απόλυτα απαραίτητη η αναγνώριση του αιτίου που τις έχει προκαλέσει. Αν εξαιρέσουμε τις κλίσεις που εμφανίζονται στη στροφή του πλοίου, όπως έχουμε ήδη



Σχ 13.5.

Αύξηση βυθίσματος με την εγκάρσια κλίση.



αναφέρει, οι εγκάρσιες κλίσεις μπορεί να οφείλονται:

- 1) Σε αρνητικό μετακεντρικό ύψος.
- 2) Σε επίδραση του ανέμου πάνω στα έξαλα του πλοίου.
- 3) Σε ασυμμετρία της κατανομής των βαρών του πλοίου κατά το εγκάρσιο, αποτέλεσμα της οποίας είναι το κέντρο βάρους του να μην βρίσκεται στο επίπεδο συμμετρίας ή στη δράση της έλικας (σε μονέλικα πλοία), δηλαδή να έχει εκτροπή από το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου.
- 4) Σε συνδυασμό των παραπάνω αιτίων.

Για την αναγνώριση της αιτίας που δημιουργεί την εγκάρσια κλίση, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

1) Όταν ένα πλοίο έχει αρνητικό μετακεντρικό ύψος, ισορροπεί χωρίς διάκριση και χωρίς να υπάρχει κανένα εξωτερικό αίτιο, με μικρή γωνία κλίσεως είτε προς τα αριστερά είτε προς τα δεξιά.

2) Η επίδραση του ανέμου στη δημιουργία εγκάρσιας κλίσεως μπορεί να αναγνωρισθεί εύκολα, αν το πλοίο αλλάξει για λίγο πορεία κατά  $180^\circ$ , οπότε θα πρέπει και η εγκάρσια κλίση του να αντιστραφεί.

3) Αν δεν υπάρχει αρνητικό μετακεντρικό ύψος και άνεμος, κάθε εγκάρσια κλίση θα πρέπει να αποδοθεί σε εκτροπή του κέντρου βάρους του πλοίου από το επίπεδο συμμετρίας.

### **1) Αρνητικό μετακεντρικό ύψος.**

Τα μέτρα για την εξουδετέρωση εγκάρσιας κλίσεως λόγω αρνητικού μετακεντρικού ύψους (μετατρέποντας το σε θετικό) έχουν αναφερθεί ήδη. Στην πράξη, οι σχετικές μεταφορές ή προσθαφαιρέσεις βαρών για τη βελτίωση μιας τέτοιας καταστάσεως, αφορούν κυρίως στα διάφορα υγρά (νερό, πετρέλαιο, υγρό έρμα) που μεταφέρει το πλοίο.

Πλοία που μεταφέρουν ευαίσθητα στην υγρασία φορτία στο κατάστρωμα (όπως ξυλεία) μπορεί να αποκτήσουν αρνητικό μετακεντρικό ύψος όταν βραχεί το φορτίο.

### **2) Επίδραση ανέμου στα έξαλα του πλοίου.**

Η γωνία εγκάρσιας κλίσεως μπορεί θεωρητικά να ελαττωθεί με:

- α) Αύξηση του μετακεντρικού ύψους του πλοίου.
- β) Μεταφορά προς ή προσθήκη βαρών στην προσήνεμη πλευρά.
- γ) Μεταφορά ή αφαίρεση βαρών από την υπήνεμη πλευρά.

Η πρώτη μέθοδος, που προϋποθέτει τη λήψη πρακτικών μέτρων, όπως εκείνα που αποβλέπουν στην εξουδετέρωση τυχόν αρνητικού μετακεντρικού ύψους, είναι η καλύτερη, γιατί βοηθάει το πλοίο να παίρνει μικρότερες κλίσεις σε οποιαδήποτε περίπτωση επιδράσεως ανέμου και όχι μόνο εκείνου που πνέει τη συγκεκριμένη στιγμή.

Οι άλλες δύο μέθοδοι θα πρέπει να εφαρμόζονται με προσοχή και να λαμβάνεται υπόψη ότι:

α) Μικρές γωνίες εγκάρσιας κλίσεως που οφείλονται στον άνεμο και δεν έχουν ενοχλητικά επακόλουθα στους χειρισμούς και τη συμπεριφορά του πλοίου δεν είναι απαραίτητο να εξουδετερώνονται.

β) Πλήρης εξουδετέρωση της εγκάρσιας κλίσεως πιθανό να οδηγήσει σε σοβαρότερα προβλήματα, αν αλλάξει απότομα διεύθυνση ο άνεμος (αν πνεύσει από την αντίθετη πλευρά).

Για τους παραπάνω λόγους, θεωρείται σωστό να λαμβάνονται μέτρα τα οποία να ελαττώνουν, αλλά όχι να εξαφανίζουν την εγκάρσια κλίση λόγω του ανέμου που από τη φύση της είναι μια παροδική κατάσταση.

### **3) Εκτροπή του κέντρου βάρους του πλοίου από το επίπεδο συμμετρίας.**

Σ' όλες αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να ληφθούν διορθωτικά μέτρα τα οποία να επαναφέρουν το κέντρο βάρους του πλοίου στο επίπεδο συμμετρίας, σύμφωνα μ' αυτά που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους.

Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν:

- α) Την αφαίρεση βαρών από την πλευρά προς την οποία γέρνει το πλοίο.
- β) Τη μεταφορά βαρών που βρίσκονται στην πλευρά προς την οποία γέρνει το πλοίο προς την αντίθετη πλευρά.

γ) Την προσθήκη βαρών στην αντίθετη πλευρά από εκείνη προς την οποία γέρνει το πλοίο.

δ) Επίσης κάθε μέτρο που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους συντελεί στην ελάττωση της εγκάρσιας κλίσεως (για την ίδια εγκάρσια ροπή).

Όλες οι παραπάνω κινήσεις στην πράξη πραγματοποιούνται με μετακινήσεις ή προσθαφαιρέσεις υγρών στις δεξαμενές του πλοίου. Επειδή, στις πιο πολλές περιπτώσεις, κάθε μεταφορά βάρους επηρεάζει και την ευστάθεια, **θα πρέπει να προσέχομε, ώστε κάθε προσπάθεια διορθώσεως εγκάρσιας κλίσεως να μην επιφέρει ελάττωση της ευστάθειας του πλοίου.**

Πρακτικά, αυτό σημαίνει:

α) Κάθε μεταφορά βάρους να γίνεται σε θέση με κέντρο βάρους στο ίδιο επίπεδο ή χαμηλότερα από το αρχικό κέντρο βάρους (του βάρους που μετακινείται).

β) Κάθε προσθήκη βάρους να γίνεται σε θέση χαμηλότερη από το κέντρο βάρους του πλοίου.

γ) Κάθε αφαίρεση βάρους να γίνεται σε θέση ψηλότερα από το κέντρο βάρους του πλοίου.

**Σε περιπτώσεις που τα παραπάνω δεν είναι δυνατό να εξασφαλιστούν, ο πλοίαρχος θα πρέπει με υπολογισμούς να επιβεβαιώνει ότι τα διορθωτικά μέτρα της εγκάρσιας κλίσεως δεν υποβαθμίζουν ανεπίτρεπτα την ευστάθεια του πλοίου, λαμβάνοντας πάντοτε υπόψη και τις ελεύθερες επιφάνειες.**

#### **4) Συνδυασμός αιτιών που δημιουργούν εγκάρσια κλίση.**

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην περίπτωση που σ' ένα πλοίο υπάρχει αρνητικό μετακεντρικό ύψος και ταυτόχρονα κάποια άλλη αιτία δημιουργίας εγκάρσιας κλίσεως.

Μία τέτοια κατάσταση αναγνωρίζεται από:

α) Την τάση του πλοίου να ισορροπεί χωρίς διάκριση είτε σε μια γωνία προς τη μία πλευρά, δυσανάλογα μεγαλύτερη από αυτήν που θα προκαλούσε η εκτροπή του κέντρου βάρους του από το επίπεδο συμμετρίας, είτε και σε άνισες γωνίες προς αντίθετες πλευρές (π.χ. 3° προς τα αριστερά και 5° προς τα δεξιά).

β) Την τάση του πλοίου να επανέρχεται αργά από κάποια εγκάρσια κλίση, π.χ. κατά τη στροφή. Να είναι δηλαδή το πλοίο, όπως λέμε, **οκνό.**

**Σ' αυτές τις περιπτώσεις, λανθασμένα μέτρα εξουδετερώσεως της εγκάρσιας κλίσεως μπορεί να υποβαθμίσουν τόσο πολύ την ευστάθεια, ώστε να καταστήσουν πιθανή ακόμη και την ανατροπή του πλοίου.**

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα διορθωτικά μέτρα θα πρέπει να λαμβάνονται μετά από λεπτομερειακή μελέτη της καταστάσεως και με βάση τις παρακάτω αρχές:

α) **Κάθε μέτρο βελτιώσεως της εγκάρσιας κλίσεως θα πρέπει οπωσδήποτε να επιλέγεται μόνο εφόσον ταυτόχρονα βελτιώνει και την ευστάθεια.**

β) **Εφόσον είναι δυνατό, πρώτα θα πρέπει να ληφθούν μέτρα, ώστε να αποκτήσει το πλοίο θετική ευστάθεια και έπειτα να επιδιωχθεί εξουδετέρωση της εγκάρσιας κλίσεως.**

γ) **Κανένα μέτρο βελτιώσεως της εγκάρσιας κλίσεως που υποβαθμίζει την ευστάθεια δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται.**

δ) **Η ανάγκη για την εξουδετέρωση των ελευθέρων επιφανειών και για την εμπόδιση δημιουργίας νέων είναι απόλυτα ουσιώδης.**

### **13.7 Πρακτικά στοιχεία σχετικά με την ευστάθεια. Ερματισμός.**

Μέχρις εδώ εξετάσαμε το θεωρητικό μέρος της ευστάθειας των πλοίων. Στη συνέχεια θα δοθούν στοιχεία, που προδιαγράφονται από κανονισμούς ανάλογα με τον προορισμό κάθε πλοίου και καθορίζουν κατά αντικειμενικό τρόπο το επίπεδο ευστάθειας που πρέπει να υπάρχει στις διάφορες καταστάσεις φορτώσεως.

**Στις αρμοδιότητες του πλοίαρχου κάθε εμπορικού πλοίου περιλαμβάνεται η υποχρέωσή του να διατηρεί το απαραίτητο επίπεδο ευστάθειας του πλοίου του και να λαμβάνει τα απαραίτητα μέτρα διορθώσεώς της όποτε είναι απαραίτητο.**

Για την εκπλήρωση της παραπάνω υποχρεώσεώς του ο πλοίαρχος πρέπει να είναι εξοικειωμένος με τη

θεωρία, καθώς και με τα απαραίτητα για την εφαρμογή της ειδικά στοιχεία και χαρακτηριστικά του πλοίου του.

Ένα από τα βασικότερα μέσα για την εξασφάλιση του απαραίτητου επιπέδου ευστάθειας των πλοίων είναι ο **ερματισμός**, ο οποίος στην ουσία αφορά στη χρησιμοποίηση των δεξαμενών υγρού έρματος (ballast) του πλοίου για το σκοπό αυτό ή για την αντιμετώπιση διαφόρων άλλων καταστάσεων που είναι δυνατό να παρουσιασθούν (υπερβολική διαγωγή, ξενέρισμα έλικας κ.λπ.).

Επειδή το βάρος που μεταφέρει κάθε πλοίο δεν είναι απεριόριστο, στην περίπτωση μεταφοράς φορτίων με μεγάλο ειδικό βάρος (οπότε τα κύτη του πλοίου δεν γεμίζουν τελείως ως συνέπεια του περιορισμού του μέγιστου βυθίσματος που επιτρέπεται), κάθε προσθήκη υγρού έρματος σε δεξαμενές στην έμφορτη κατάσταση του πλοίου, πραγματοποιείται σε βάρος του μεταφερόμενου φορτίου.

Για τους παραπάνω λόγους ερματισμός θα πρέπει να γίνεται μόνο όταν, με κατάλληλη διάταξη του φορτίου, δεν είναι δυνατή η εξασφάλιση του απαραίτητου επιπέδου ευστάθειας του πλοίου. Αντίθετα, όταν είναι απαραίτητος ο ερματισμός, σε καμμία περίπτωση, δεν θα πρέπει αυτός να παραμελείται χάρη της μεταφοράς περισσότερου φορτίου. **Κάθε παρόμοια αντιμετώπιση από τον πλοίαρχο είναι επιπόλαιη, επικίνδυνη και αντίθετη με τους κανονισμούς.**

### 13.8 Το καλοθάλασσο του πλοίου και η ευστάθεια.

Επειδή οι περισσότεροι κανονισμοί που σχετίζονται με την ασφάλεια του πλοίου αναφέρονται κυρίως στην ευστάθεια, δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στην εγκάρσια ευστάθεια. Δεν πρέπει ωστόσο να θεωρηθεί ότι αυτή αποτελεί και το μοναδικό παράγοντα σωστής εκμεταλλεύσεως του πλοίου. **Στην πράξη θα πρέπει πάντοτε να συνδυάζομε, κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο, όλες τις απαιτήσεις που σχετίζονται με την ασφάλη, αλλά και με την ικανοποιητική εκμετάλλευση του πλοίου.**

Ιδιαίτερα από το συσχετισμό του μετακεντρικού ύψους και της συχνότητας διατοιχισμού του πλοίου που αναφέρθηκε, προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το μετακεντρικό ύψος τόσο μεγαλύτερη είναι και η συχνότητα διατοιχισμού του.

Από την άλλη πλευρά, μεγάλη συχνότητα διατοιχισμού ενός πλοίου δημιουργεί σ' αυτό και στο φορτίο αυξημένες καταπονήσεις, επηρεάζει δυσμενώς το επίπεδο ανέσεως επιβατών και πληρώματος και γενικά υποβιβάζει σημαντικά έναν τομέα της συμπεριφοράς του, που συλλογικά αποκαλούμε **καλοθάλασσο του πλοίου**. Για το λόγο αυτό το επίπεδο ευστάθειας κάθε πλοίου δεν θα πρέπει να είναι υπερβολικά υψηλό, αλλά τόσο ώστε να εξασφαλίζει την απαραίτητη ασφάλειά του, σύμφωνα μ' αυτά που καθορίζονται στους κανονισμούς. Σε μερικές περιπτώσεις, όπως είναι η φόρτωση σιδηρομεταλλεύματος, το μετακεντρικό ύψος του πλοίου αποκτά τόσο μεγάλη τιμή που δημιουργείται ανάγκη να λαμβάνομε μέτρα για τη ελάττωση και παράλληλα, μ' ένα ικανοποιητικό επίπεδο ευστάθειας, να εξασφαλίζομε γενικότερα την ικανοποιητική συμπεριφορά του πλοίου.

### 13.9 Δεξαμενισμός και προσάραξη.

#### 13.9.1 Γενικά.

Η προσάραξη ενός πλοίου μπορεί να οφείλεται σε ατύχημα ή μπορεί να γίνει σκόπιμα, ως διορθωτικό μέτρο, σε περίπτωση που υπάρχουν προβλήματα πλευστότητας ή ευστάθειας, όπως μετά από κατάκλυση κάποιου διαμερίσματος. Στη δεύτερη περίπτωση, και όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν, θα πρέπει να επιλέγεται ακτή όπου ο βυθός είναι κατά το δυνατό επίπεδος και ομαλός, χωρίς δηλαδή βράχους και απότομες εξάρσεις και η παλίρροια μικρή.

Τα προβλήματα που αντιμετωπίζομε μετά από μία προσάραξη είναι:

- 1) Η δυνατότητα αποκολλήσεως του πλοίου.
- 2) Η επάρκεια αντοχής.
- 3) Η επάρκεια εγκάρσιας ευστάθειας.

Οι γενικές αρχές που θα πρέπει να τηρούνται πάντοτε σε τέτοιες περιπτώσεις είναι οι παρακάτω:

1) Δεν πρέπει να γίνονται προσπάθειες επαναπλεύσεως του πλοίου με ίδια μέσα, αν οι συνθήκες ανέμου και κυματισμού είναι δυσμενείς.

2) Αν υπάρχουν, και είναι δυνατό, θα πρέπει να ποντίζονται πρυμναίες άγκυρες προς την πλευρά της ανοικτής θάλασσας, για να εμποδίζεται η μετακίνηση του πλοίου προς την ξηρά και να διευκολύνονται οι προσπάθειες αποκολλήσεως που θα ακολουθήσουν.

3) Το πλοίο πρέπει να προφυλάσσεται από ενδεχόμενες καταπονήσεις με κατάλληλη ζύγιση (μετάγγιση βαρών), εφόσον αυτό είναι δυνατό, χωρίς όμως να αφαιρούνται στο αρχικό στάδιο βάρη.

### **13.9.2 Δυνατότητα επαναπλεύσεως.**

Η πρώτη προσπάθεια που πρέπει να γίνεται, σε πλοίο που έχει προσαράξει ανεξέλεγκτα, είναι η προσπάθεια επαναπλεύσεώς του, αν και όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν, επιχειρώντας κινήσεις **ανάποδα**.

Αν η προσπάθεια αυτή δεν αποδώσει πρέπει να διακοπεί αμέσως, γιατί μπορεί η κατάσταση να επιδεινωθεί, επειδή ανασύρεται λάσπη από το βυθό που μπορεί να κάνει την επικάθιση ακόμη χειρότερη. Αντίθετα αν υπάρχει πιθανότητα η στάθμη του νερού να ανεβεί, από την παλίρροια, θα πρέπει το πλοίο προσωρινά να **πατήσει** όσο το δυνατό καλύτερα. Αυτό επιτυγχάνεται με την πλήρωση δεξαμενών του διπύθμενου και αν είναι απαραίτητο ακόμη και με την πλήρωση ενός κύτους. Για το σκοπό αυτό μπορεί να χρειασθεί και να δημιουργηθούν μικρά ανοίγματα στο περίβλημα, τα οποία όμως θα πρέπει να μπορούν μετά να στεγανοποιηθούν.

Αφού εξασφαλισθεί η σωστή επικάθιση, θα πρέπει να ακολουθήσει προσεκτική έρευνα, ώστε να γίνει γνωστή η ποσότητα του νερού που υπάρχει σε κάθε στεγανό χώρο του πλοίου και η κατασκευαστική επάρκειά της μεταλλικής κατασκευής του. Επίσης θα πρέπει να ελεγχθούν, χρησιμοποιώντας τις βάρκες του πλοίου, τα βάρη του πυθμένα γύρω από την περιοχή της προσαράξεως.

Στη συνέχεια θα πρέπει να ποντισθούν, με τις βάρκες του πλοίου ή με άλλα πλωτά μέσα, ελαφριές άγκυρες (αν υπάρχουν) προς την πλευρά της ανοικτής θάλασσας, οι οποίες με τη βοήθεια των μέσων έλξεως του πλοίου (βαρούλκα, εργάτης αγκυρών) θα χρησιμοποιηθούν στις προσπάθειες αποκολλήσεως. Η πόντιση των κυρίων αγκυρών του πλοίου σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να πραγματοποιηθεί και με τη βοήθεια των γερανών φορτίου του πλοίου.

Μετά την παραπάνω πόντιση και αφού επιβεβαιωθεί η απόλυτη στεγανότητα του πλοίου, πραγματοποιείται μεταφορά (κυρίως υγρού έρματος) ή/και προσεκτική (για λόγους ευστάθειας) γενική ελάφρυνση του πλοίου.

Αν υπάρχει σημαντική παλίρροια, η προσπάθεια αποκολλήσεως θα πρέπει να γίνει όταν η στάθμη του νερού είναι ψηλά. Θα πρέπει επίσης, εφόσον υπάρχουν, να χρησιμοποιηθούν ρυμουλκά. Οι μηχανές θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μόνο ως τελευταίο μέσο, γιατί υπάρχει το ενδεχόμενο να μπει άμμος στα φίλτρα και τα ψυγεία των μηχανών, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει την έμφραξη τους.

Σε περιπτώσεις μικρών πλοίων, η αποκόλληση, σε συνδυασμό με τα άλλα μέτρα που προαναφέρθηκαν, μπορεί να γίνει ευκολότερα, αν μπορέσει να τεθεί το πλοίο σε μικρή εγκάρσια ταλάντωση με τη ρυθμική κίνηση του πληρώματός του προς τις πλευρές (sallying).

### **13.9.3 Η αντοχή του πλοίου κατά την προσάραξη.**

Όταν ένα πλοίο έχει προσαράξει, εφαρμόζεται σ' αυτό από το βυθό μία δύναμη, η οποία είναι ίση με τη διαφορά του βάρους και της ανώσεώς του. Αν το πλοίο έχει επικαθίσει σε αιχμηρά σημεία του βυθού και η δύναμη αυτή είναι μεγάλη, μπορεί να δημιουργηθούν ρήγματα και καινούργιες διαρροές.

Κάθε προσπάθεια αφαίρεσεως ή μετακινήσεως βαρών θα πρέπει να αξιολογείται έχοντας υπόψη τις καταπονήσεις που θα δημιουργηθούν στην κατασκευή του πλοίου αν θεωρηθεί ως δοκός, σύμφωνα με αυτά που θα αναφερθούν στο κεφάλαιο 17.

### **13.9.4 Η ευστάθεια του πλοίου κατά την προσάραξη.**

Στα σχήματα 13.9α και 13.9β φαίνονται οι δυνάμεις που επενεργούν σε πλοίο που έχει προσαράξει. **Η δύναμη προσαράξεως  $P$**  είναι ίση με τη διαφορά βάρους και ανώσεως.

Η δύναμη  $P$  δημιουργεί μία φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου, που δίνεται από τη σχέση:

$$GG_1 = (P \times KG) / (\Delta - P) \quad (151)$$

όπου:  $P$  η δύναμη στο σημείο επικαθίσεως σε tn (μετρικούς ή αγγλικούς),  $GG_1$  η φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους σε m ή ft,  $KG$  η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου σε m ή ft και  $\Delta$  το εκτόπισμα του πλοίου σε tn (μετρικούς ή αγγλικούς).

Το μετακεντρικό ύψος του πλοίου στην κατάσταση επικαθίσεως μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$G_1M_1 = GM \pm MM_1 - GG_1 \quad (152)$$

όπου:  $G_1M_1$  το μετακεντρικό ύψος στην κατάσταση επικαθίσεως σε m ή ft,  $GM$  το μετακεντρικό ύψος πριν από την επικαθίση σε m ή ft,  $MM_1$  η μεταβολή της θέσεως του εγκάρσιου μετακέντρου από την αρχική ίσαλο στην ίσαλο επικαθίσεως σε ft ή m, που μπορεί να βρεθεί από το υδροστατικό διάγραμμα με πρόσημο + (συν) όταν το  $M_1$  είναι ψηλότερα απ' το  $M$  και πρόσημο - (πλην) στην αντίθετη περίπτωση και  $GG_1$  η φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους όπως προκύπτει από την παραπάνω σχέση.

**Αν το σημείο επαφής πλοίου-βυθού βρίσκεται έξω από το επίπεδο συμμετρίας, το πλοίο θα πάρει εγκάρσια κλίση.**

**Σ' αυτήν την περίπτωση, και όταν υπάρχει και αρνητικό μετακεντρικό ύψος, υπάρχει πιθανότητα ανατροπής, που είναι πιο αυξημένη όταν η στάθμη του νερού (παλίρροια) βρίσκεται χαμηλά.**

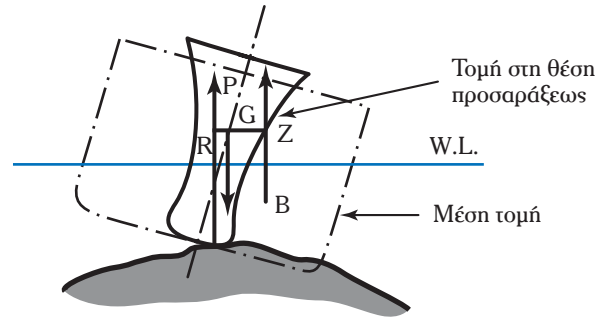
Η δύναμη επικαθίσεως που αντιστοιχεί σε δεδομένη πώση της στάθμης του νερού από εκείνη που οριακά δημιουργεί επαφή του ισοβύθιστου πλοίου με το βυθό, δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{\text{πώση στάθμης σε cm ή in}}{\frac{1}{TP} + \frac{t^2}{(MCT) \times (L)}} \quad (153)$$

όπου:  $TP$  tn/cm (TPC) ή ανά in (TPI) από το υδροστατικό διάγραμμα, η  $MCT$  η ροπή μεταβολής διαγωγής σε tn-m ανά cm ή tn-ft/in αντίστοιχα από το υδροστατικό διάγραμμα,  $t$  η διαμήκης απόσταση μεταξύ του κέντρου πλευστότητας του πλοίου και του σημείου επικαθίσεως σε m ή ft και  $L$  το μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου σε m ή ft.

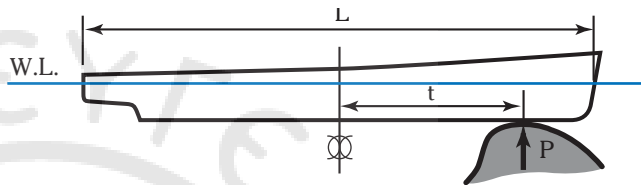
### Παράδειγμα.

Το πλοίο Α, βρίσκεται δεμένο, ισοβύθιστο, παράλληλα και σε απόσταση 1 m σ' ένα κρηπίδωμα με μέσο βύθισμα 9,40 m όταν κάποια στιγμή καθόδου της στάθμης του νερού, εξ αιτίας της παλίρροιας, διαπιστώνεται από δύτη ότι η δεξιά πλευρά του πυθμένα, σε απόσταση 8 m προς τα δεξιά του επιπέδου συμμετρίας και 50 m προς πλώρα του κέντρου πλευστότητάς του, ακουμπάει οριακά (χωρίς να έχει ακόμη δημιουργηθεί εγκάρσια κλίση) σε έξαρση του βυθού ( $LBP = 192$  m και  $B = 20$  m,  $KG = 6,1$  m).



Σχ. 13.9α.

Εγκάρσια όψη προσαραγμένου πλοίου.



Σχ. 13.9β.

Διαμήκης όψη προσαραγμένου πλοίου.

Να βρεθεί η εγκάρσια κλίση που θα δημιουργηθεί στο πλοίο, όταν προβλέπεται ότι στην κατώτατη ρηχία τα νερά θα κατεβούν 0,6 m ακόμη.

Από τον υδροστατικό πίνακα 5.6.1 για βύθισμα 9,40 m, βρίσκουμε:

$$TP \text{ cm} = 49,3 \text{ MT/cm}$$

$$MCT \text{ 1 cm} = 619,85 \text{ MT-m/cm}$$

$$\Delta = 42945 \text{ MT}$$

$$KM_T = 11,98 \text{ m}$$

$$\text{Και επομένως } GM = KM_T - KG = 11,98 - 6,1 = 5,88 \text{ m.}$$

Η δύναμη που θα ασκηθεί από το βυθό στην περιοχική επαφής του με το πλοίο όταν η στάθμη του νερού κατεβεί 1,5 m, μπορεί να βρεθεί από τη σχέση (153) ως εξής:

$$\begin{aligned} P &= (\text{πτώση στάθμης}) / [(1/ TP \text{ cm}) + (t^2 / (MCT \text{ 1 cm} \times L))] = \\ &= (60) / [(1/ 49,3) + (50^2 / (619,85 \times 192))] = (60) / [(0,0202) + (0,021)] = \\ &= (60) / (0,0412) = 1456 \text{ tn} \end{aligned}$$

Η δύναμη αυτή θα δημιουργήσει εγκάρσια ροπή ίση με:

$$\text{Ροπή} = (1456) \times (8) = 11648 \text{ MT-m}$$

Η φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου από τη σχέση (151) θα είναι:

$$GG_1 = (P \times KG) / (\Delta - P) = (1456 \times 6,1) / (42945 - 7281) = (8882) / (35664) = 0,249 \text{ m}$$

Μετά την πτώση της στάθμης του νερού το νέο μέσο βύθισμα του πλοίου θα είναι ίσο με  $9,40 - 0,6 = 8,8 \text{ m}$ , στο οποίο από τον πίνακα 5.6.1 αντιστοιχεί νέο  $KM_T = 12,06 \text{ m}$ .

Επειδή έχουμε αύξηση του  $KM_T$  στο νέο βύθισμα το  $MM_1$  στη σχέση (152) έχει θετικό πρόσημο και επομένως:

$$MM_1 = 12,06 - 11,98 = 0,08 \text{ m}$$

$$G_1M_1 = GM + MM_1 - GG_1 = 5,88 + 0,08 - 0,249 = 5,711 \text{ m}$$

Στη νέα αυτή κατάσταση, κατά τα γνωστά, θα ισχύει ότι:

$$\text{Ροπή κλίσεως} = \Delta GM \eta\mu\phi, \text{ από την οποία:}$$

$$\eta\mu\phi = (11648) / [(42945 - 7281) \times (5,712)] = (11648) / (203712) = 0,0571$$

και  $\phi = 3,28^\circ$  προς τα αριστερά.

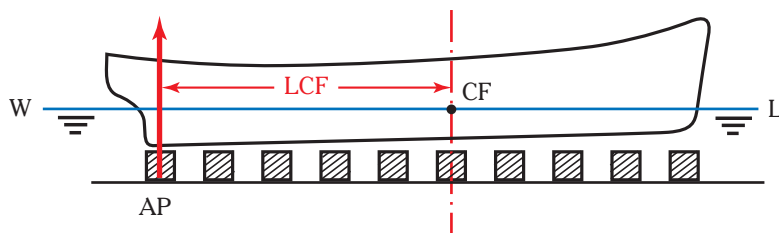
### 13.9.5 Η ευστάθεια του πλοίου κατά το δεξαμενισμό.

Όπως είναι γνωστό ο δεξαμενισμός των πλοίων γίνεται σε μόνιμες ή πλωτές δεξαμενές. Και στις δύο περιπτώσεις, εκτός αν υπάρχουν ειδικοί λόγοι, τα πλοία μπαίνουν στις δεξαμενές χωρίς εγκάρσια κλίση και με μικρή διαγωγή προς την πρύμνη. Αφού (στις μόνιμες δεξαμενές) κλειστεί το θυρόπλοιο και ευθυγραμμιστεί το πλοίο ως προς τα υπόβαθρα, αρχίζει η απάντληση του νερού από τη λεκάνη της μόνιμης δεξαμενής.

Εφόσον, όπως είπαμε παραπάνω το πλοίο έχει διαγωγή προς την πρύμνη, τα πρώτα υπόβαθρα που θα έλθουν σε επαφή με την τρόπιδα είναι αυτά που βρίσκονται στην περιοχική της πρυμναίας καθέτου (σχ. 13.9γ).

Από τη στιγμή που τα πρώτα υπόβαθρα έλθουν σε επαφή με το πλοίο και όσο συνεχίζεται η απάντληση του νερού η εγκάρσια ευστάθεια του πλοίου μεταβάλλεται συνέχεια και γι' αυτό αυτή η περίοδος, μέχρις ότου ολοκληρω το βάρος του πλοίου αναληφθεί από τα υπόβαθρα, θεωρείται κρίσιμη.

Στην πραγματικότητα, όπως είναι προφανές ο δεξαμενισμός του πλοίου είναι μια ελεγχόμενη επικά-



Σχ 13.9γ.

Διαμήκης τομή δεξαμενιζόμενου πλοίου.

θισπ. Όπως λοιπόν είδαμε και στην προηγούμενη παράγραφο στην περιοχή επαφής του πλοίου με τα υπόβαθρα αναπτύσσεται μία κατακόρυφη αντίδραση (P στο σχ. 13.9α) που τείνει να δημιουργήσει **φαινομενική ελάττωση του μετακεντρικού ύψους του πλοίου**.

Αυτονότο είναι λοιπόν ότι η τιμή του μετακεντρικού ύψους πρέπει καθ' όλη τη διάρκεια της κρίσιμης περιόδου να διατηρείται θετική. **Στην αντίθετη περίπτωση, αν δηλαδή το μετακεντρικό ύψος αποκτήσει αρνητική τιμή, το πλοίο θα αποκτήσει εγκάρσια κλίση και υπάρχει κίνδυνος να γλιστρήσει από τα υπόβαθρα με καταστροφικά αποτελέσματα.**

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτει ότι ο έλεγχος της τιμής του φαινομενικού μετακεντρικού ύψους του πλοίου μπορεί να γίνει, όπως θα φανεί και στο επόμενο παράδειγμα, με τη χρησιμοποίηση των σχέσεων που δόθηκαν στην παράγραφο 13.9.4.

### Παράδειγμα.

Το πλοίο Α (υδροστατικός πίνακας 5.6.1) με μήκος 192 m δεξαμενίζεται με βυθίσματα 12,20 m πρυμναίο και 11,80 m πρωραίο. Με υπολογισμούς έχει εκτιμηθεί ότι σ' αυτήν την κατάσταση είναι  $KG = 11,5$  m.

Ζητείται να βρεθεί η τιμή του φαινομενικού μετακεντρικού ύψους όταν η στάθμη του νερού στη μόνιμη δεξαμενή έχει κατέβει 1 m κάτω από τη στάθμη, στην οποία τα υπόβαθρα της περιοχής της πρυμναίας καθέτου ήλθαν σε πρώτη επαφή με το πλοίο. Να υποτεθεί ότι η ευθυγράμμιση των υποβάθρων της δεξαμενής είναι τέτοια που η αντίδραση P αναπτύσσεται πάνω σ' ένα μέρος τους (συγκρότημα) που έχει το κέντρο βάρους του πάνω στην πρυμναία κάθετο του πλοίου.

Από τον πίνακα 5.6.1 για το αρχικό μέσο βύθισμα 12 m διαβάζουμε:

$$\Delta = 56038 \text{ tn}$$

$$LCF = 94,96 \text{ m}$$

$$KM_T = 11,97 \text{ m}$$

$$TP_{cm} = 51,5 \text{ MT/cm}$$

$$MCT_{1cm} = 700,31 \text{ MT-m/cm}$$

Επομένως  $GM = KM_T - KG = 11,97 - 11,5 = 0,47 \text{ m}$ .

Η δύναμη που θα ασκηθεί από τα υπόβαθρα στην περιοχή επαφής τους με το πλοίο όταν η στάθμη του νερού κατέβει 1,0 m, μπορεί να βρεθεί από τη σχέση (146) ως εξής:

$$\begin{aligned} P &= (\text{πώση στάθμης}) / \left[ \frac{1}{TP_{cm}} + \frac{t^2}{(MCT_{1cm} \times L)} \right] = \\ &= (100) / \left[ \frac{1}{51,4} + \frac{94,96^2}{(700,31 \times 192)} \right] = (100) / [(0,0194) + (0,067)] = \\ &= (100) / (0,0864) = 1157,4 \text{ tn} \end{aligned}$$

Η φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου από τη σχέση (144) θα είναι:

$$GG_1 = (P \times KG) / (\Delta - P) = (1157,4 \times 11,5) / (56038 - 1157,4) = (10859) / (54880,6) = 0,197 \text{ m}$$

Μετά την πώση της στάθμης του νερού, το νέο μέσο βύθισμα του πλοίου θα είναι ίσο με  $12,0 - 1,0 = 11,0$  m, στο οποίο από τον πίνακα 5.6.1 αντιστοιχεί νέο  $KM_T = 11,87$  m.

Επειδή έχουμε μείωση του  $KM_T$  στο νέο βύθισμα το  $MM_1$  στη σχέση 145 έχει αρνητικό πρόσημο και επομένως:

$$MM_1 = 11,87 - 11,97 = -0,10 \text{ m}$$

$$G_1M_1 = GM + MM_1 - GG_1 = 0,47 - 0,10 - 0,197 = 0,173 \text{ m}$$

### 13.10 Έλεγχος βλαβών – Απαιτήσεις στεγανής υποδιαίρεσης.

#### 13.10.1 Έλεγχος βλαβών. Γενικά.

Από 2520 πλοία που κάθησαν την περίοδο 1961–1969 (σχετική αναφορά του Lloyds Register), τα 679, δηλαδή ποσοστό 27%, κάθησαν από βύθιση ή ανατροπή. Αν λάβει κάποιος υπόψη του ότι μεγάλο ποσοστό από τις περιπτώσεις ανατροπής και το σύνολο σχεδόν των περιπτώσεων βυθίσεως οφείλεται σε απώλεια της υδατοστεγανότητας των πλοίων, αντιλαμβάνεται εύκολα τη σημασία των μέτρων που αποβλέπουν στην προστασία του πλοίου από εξωτερικές διαρροές.

Η υδατοστεγανότητα οποιουδήποτε πλοίου μπορεί να απολεσθεί από αστοχία ή φθορά των στοιχείων της μεταλλικής κατασκευής του, από σύγκρουση με άλλο πλοίο ή από σύγκρουση στην ξηρά και προσάραξη.

Η αστοχία ή η φθορά στοιχείων της μεταλλικής κατασκευής μπορεί να αποφευχθεί όταν η κατασκευή είναι ικανοποιητική και όταν το κέλυφος του πλοίου και τα δίκτυά του, που επικοινωνούν με τη θάλασσα, συντηρούνται ικανοποιητικά. Η αποφυγή συγκρούσεων και προσαράξεων εξαρτώνται κυρίως από την ικανότητα του πλοίαρχου.

Όμως τα πλοία από τη σχεδίασή τους έχουν δυνατότητες περιορισμού των παραπάνω ενδεχομένων, εξασφαλίζοντας έτσι, σε μεγάλο βαθμό, κατά πρώτο λόγο την επιβίωση των επιβατών και του πληρώματός τους και κατά δεύτερο τη διάσωση των ιδίων των πλοίων και των φορτίων που μεταφέρουν. Η έκταση των παραπάνω δυνατοτήτων μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο, τον προορισμό και τα χαρακτηριστικά κάθε πλοίου.

**Φυσικά θα πρέπει να τονισθεί εδώ ότι *όσα μέσα και δυνατότητες και αν διαθέτει ένα πλοίο, η σωστή χρησιμοποίησή τους την κατάλληλη ώρα είναι εκείνη που θα παίξει τον πιο σημαντικό ρόλο για τη διάσωσή του.***

Αν και το ενδεχόμενο εσωτερικής διαρροής στο πλοίο (από κάποιο δίκτυο θάλασσας) είναι αρκετά πιθανό, εδώ θα ασχοληθούμε μόνο με τις **εξωτερικές διαρροές**, δηλαδή μ' εκείνες που δημιουργούν ανεξέλεγκτη επικοινωνία εσωτερικών χώρων του πλοίου με το θαλάσσιο περιβάλλον.

Αν το πλοίο δεν είχε στεγανή υποδιαίρεση, κάθε εξωτερική διαρροή θα είχε ως αποτέλεσμα την κατάκλυση του συνόλου των εσωτερικών του χώρων. Αυτό θα δημιουργούσε τέτοια αύξηση του βάρους ή τέτοια προβλήματα ευστάθειας που η βύθισή του ή η ανατροπή του θα ήταν αναπόφευκτη.

Γι' αυτό τα πλοία με στεγανές εγκάρσιες κυρίως φρακτές (μπουλμέδες), έχουν μία σημαντική εσωτερική υποδιαίρεση που συντελεί στον περιορισμό:

- 1) Της μείωσης του επιπέδου ευστάθειας μετά από ενδεχόμενη κατάκλυση.
- 2) Των ζημιών στο φορτίο.
- 3) Της δημιουργίας υπέρμετρης διαγωγής.
- 4) Της απώλειας εφεδρικής πλευστότητας.

Για να έχει το χρόνο το πλήρωμα να λάβει διάφορα διορθωτικά μέτρα σε περίπτωση κατακλύσεως (π.χ. να κατεβάσει τις σωσίβιες λέμβους) θα πρέπει το πλοίο να μπορέσει να επιπλεύσει με κάπως ικανοποιητική ευστάθεια και χωρίς υπερβολική εγκάρσια κλίση. Όλα αυτά, με σωστούς χειρισμούς, μπορούν να εξασφαλισθούν μέσω της εσωτερικής στεγανής υποδιαίρεσης.

Από τα παραπάνω προκύπτει και η ιδιαίτερη σημασία που αποδίδουν όλοι οι κανονισμοί προστασίας του πλοίου από διαρροή στη στεγανή υποδιαίρεση σε σχέση με τις υπόλοιπες απαιτήσεις (αντλίες, δίκτυα,



υλικά στεγανοποιήσεως κ.λπ.).

### 13.10.2 Συνοπτικές απαιτήσεις στεγανής υποδιαίρεσης φορτηγών πλοίων.

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι επιπτώσεις από την εισροή νερού σε ένα από τα κύτη ενός φορτηγού πλοίου που ταξιδεύει φορτωμένο, δεν είναι γενικά πολύ σημαντικές (εκτός από τη ζημιά στο φορτίο), γιατί λόγω της υπάρξεως του φορτίου η ποσότητα του νερού που μπορεί να εισρεύσει στα κύτη του είναι περιορισμένη. Όταν το πλοίο πάλι ταξιδεύει χωρίς φορτίο, η ποσότητα του νερού που θα εισρεύσει είναι μεγάλη, αλλά το πλοίο έχει μεγάλη εφεδρική πλευστότητα. **Σημαντικές επιπτώσεις στην πλευστότητα και ενστάθεια μπορούν να έχουν χώροι κάτω από την ίσαλο που δεν έχουν φορτίο, όπως είναι το μηχανοστάσιο.**

Για τους παραπάνω λόγους, η Διεθνής Σύμβαση SOLAS δεν έχει ιδιαίτερα αυστηρές απαιτήσεις για τη στεγανή υποδιαίρεση των φορτηγών πλοίων.

Αντίθετα οι Νπογνώμονες έχουν περιορισμένες. Για παράδειγμα, οι κανονισμοί του Lloyd's Register of Shipping προβλέπουν:

1) Την ύπαρξη εγκάρσιας στεγανής φρακτής προστασίας από σύγκρουση που να εκτείνεται σε μήκος από 5 ως 7,5% του μήκους του πλοίου, προς την πρύμνη από το σημείο στο οποίο η ίσαλος τέμνει τη στείρα.

2) Την ύπαρξη στεγανής εγκάρσιας φρακτής στην πρύμνη που θα εξασφαλίζει ότι το σύστημα στεγανότητας του ελικοφόρου άξονα μπορεί να περικλειστεί σ' ένα στεγανό διαμέρισμα.

3) Την ύπαρξη προσθέτων εγκάρσιων φρακτών σε **λογικές** αποστάσεις μεταξύ τους, ώστε να συμπληρώνεται ο συνολικός αριθμός που δείχνει ο πίνακας 13.10.2.

**Πίνακας 13.10.2**  
**Αριθμός φρακτών φορτηγών πλοίων.**

| Μήκος πλοίου σε m |          | Συνολικός αριθμός φρακτών |                          |
|-------------------|----------|---------------------------|--------------------------|
| Από               | Μέχρι    | Μηχανοστάσιο στο μέσο     | Μηχανοστάσιο στην πρύμνη |
| 90                | 105      | 5                         | 5                        |
| 105               | 115      | 6                         | 5                        |
| 115               | 125      | 6                         | 6                        |
| 125               | 145      | 7                         | 6                        |
| 145               | 165      | 8                         | 7                        |
| 165               | 190      | 9                         | 8                        |
| 190               | και πάνω | Καθορισμός κατά περίπτωση |                          |

Ειδικές απαιτήσεις στεγανής υποδιαίρεσης καθορίζονται επίσης από τους κανονισμούς «περί γραμμής φορτώσεως» για το χαρακτηρισμό ενός φορτηγού πλοίου (όχι δεξαμενόπλοιου) με μήκος άνω των 150 m ως πλοίου τύπου Α. Ο χαρακτηρισμός «πλοίο τύπου Α» επεξηγείται στην παράγραφο 15.2. Σ' αυτήν την περίπτωση το πλοίο θα πρέπει να μπορεί να υποσθεί κατάκλυση ενός οποιουδήποτε κενού χώρου χωρίς:

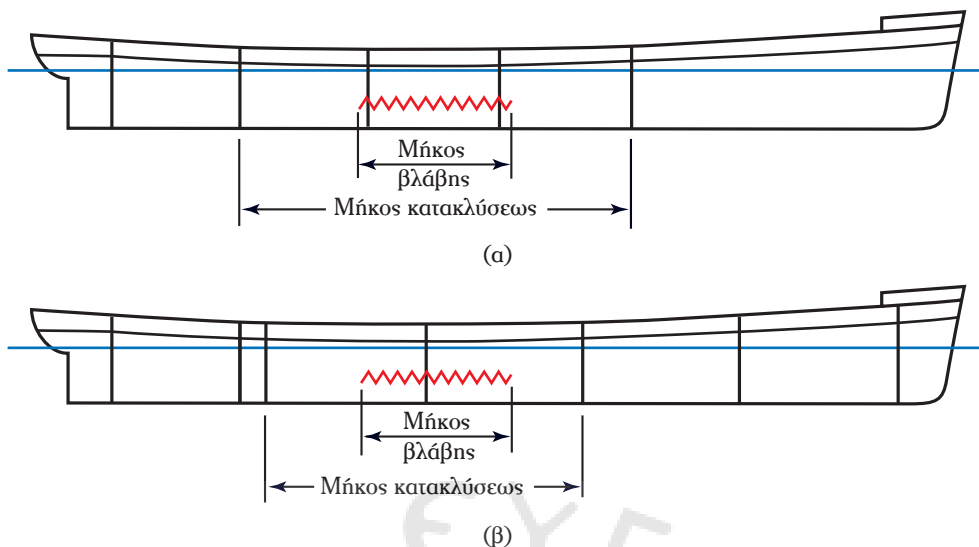
1) Η τελική ίσαλος, μετά την κατάκλυση, να είναι χαμηλότερη από οποιοδήποτε άνοιγμα θα μπορούσε να προκαλέσει προοδευτική κατάκλυση.

2) Η μέγιστη γωνία εγκάρσιας κλίσεως λόγω της κατακλύσεως να υπερβαίνει τις 15°.

3) Το τελικό, μετά την κατάκλυση, μετακεντρικό ύψος να γίνεται αρνητικό (να παραμένει με θετική τιμή).

### 13.10.3 Συνοπτικές απαιτήσεις στεγανής υποδιαίρεσης επιβατικών πλοίων.

**Κάθε πλοίο που μεταφέρει πάνω από 12 επιβάτες θεωρείται επιβατικό.**



Σχ. 13.10α.

Μήκος κατακλύσεως σε σχέση με μήκος ρήγματος. α) Απόσταση φρακτών λίγο μικρότερη από το μήκος βλάβης. β) Απόσταση φρακτών λίγο μεγαλύτερη από το μήκος βλάβης.

Επειδή οι επιβάτες που μεταφέρονται από τα επιβατικά πλοία είναι πολλοί και όχι απαραίτητα εξοικειωμένοι με τη θάλασσα, οι Διεθνείς, οι Κοινοτικοί και οι Εθνικοί κανονισμοί για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα, έχουν ειδικές απαιτήσεις για τη στεγανή υποδιαίρεση αυτών των πλοίων.

Η ιδανική απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εγκάρσιες στεγανές φρακτές θα πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερη από το **μήκος (πιθανού) ρήγματος** που καθορίζεται από τους κανονισμούς. Σ' αυτήν την περίπτωση ένα ρήγμα θα μπορούσε να δημιουργήσει επικοινωνία με τη θάλασσα ενός ή το πολύ δύο στεγανών συνεχόμενων διαμερισμάτων [σχ. 13.10α(β)].

Μικρότερη απόσταση των φρακτών από το μήκος του ρήγματος, θα μπορούσε να δημιουργήσει επικοινωνία με τη θάλασσα τριών συνεχόμενων στεγανών διαμερισμάτων [σχ. 13.10α(α)].

Πολύ μεγαλύτερη απόσταση φρακτών από το μήκος πιθανού ρήγματος, θα δημιουργούσε επικοινωνία με τη θάλασσα μεγαλύτερου μήκους του πλοίου.

Επειδή το μήκος ενός ρήγματος που μπορεί να παρουσιαστεί στην πράξη δεν είναι γνωστό και επειδή κατά τη διαμόρφωση της στεγανής υποδιαίρεσεως του πλοίου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η εξασφάλιση ικανοποιητικής λειτουργικότητάς του, έχει επικρατήσει, άλλωστε προκύπτει και από την εφαρμογή των κανονισμών της Δ.Σ. SOLAS, ο καθορισμός μιας μέγιστης αποστάσεως μεταξύ των φρακτών του πλοίου.

Για τη στοιχειώδη κατανόηση των σχετικών κανονισμών είναι χρήσιμοι οι παρακάτω ορισμοί:

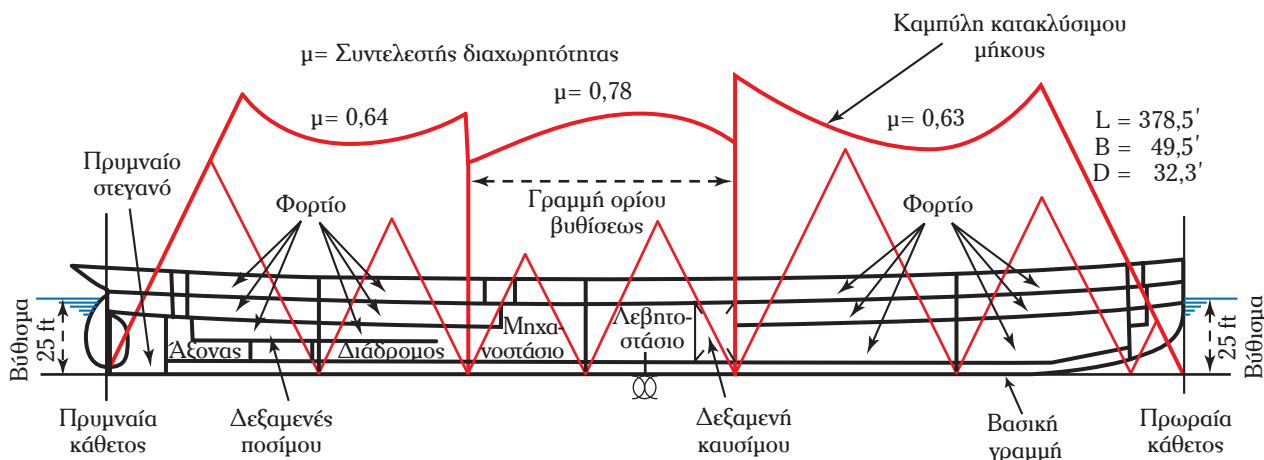
1) **Κατάστρωμα στεγανής υποδιαίρεσεως** (bulkhead deck) είναι το ανώτερο συνεχές κατάστρωμα, μέχρι το οποίο φθάνουν οι εγκάρσιες στεγανές φρακτές.

2) **Γραμμή ορίου βυθίσεως** (margin line) είναι μία νοητή γραμμή που βρίσκεται 76 mm κάτω από την ανώτερη όψη του καταστρώματος στεγανής υποδιαίρεσεως στην πλευρά του πλοίου.

3) **Διαχωρητικότητα** (permeability) **ενός χώρου** είναι το ποσοστό κατά το οποίο μπορεί να γεμίσει με νερό ο χώρος. Κενός χώρος (χωρίς εσωτερικές ενισχύσεις) έχει διαχωρητικότητα 100%, ενώ χώρος γεμάτος με υγρό έχει διαχωρητικότητα 0%.

4) **Κατακλύσιμο μήκος** (floodable length) είναι το μήκος ενός θεωρητικού διαμερισματος, η κατάκλυση του οποίου θα φέρει το πλοίο σε κάποια ίσαλο που θα εφάπτεται στη γραμμή ορίου βυθίσεως.

5) **Καμπύλη κατακλύσιμων μηκών** (floodable length curve) είναι μία καμπύλη που δείχνει, κατά μήκος του πλοίου, την τιμή σε m του κατακλύσιμου μήκους θεωρητικών διαμερισμάτων με διαπερατότητες που καθορίζονται από τους κανονισμούς. Η καμπύλη κατακλύσιμων μηκών ενός πλοίου προκύπτει από μια σειρά ναυπηγικών υπολογισμών που ξεφεύγουν από τα όρια αυτού του βιβλίου.



Σχ 13.10β.

Καμπύλες κατακλύσιμου μήκους.

6) **Καμπύλη επιτρεπομένων μηκών** (permissible length curve) είναι μία καμπύλη που προκύπτει από την καμπύλη κατακλυσίμων μηκών πολλαπλασιάζοντας τα ύψη των καμπυλών με το συντελεστή στεγανής υποδιαιρέσεως, όπως προκύπτει από τους κανονισμούς. Η καμπύλη κατακλυσίμων μηκών ενός πλοίου φαίνεται στο σχήμα 13.10β για **τρεις διαφορετικές διαχωριτότητες που καθορίζονται από τους κανονισμούς**. Στο σχήμα αυτό η καμπύλη κατακλύσιμου μήκους δεν είναι συνεχής γιατί στις τρεις περιοχές του σχήματος που βλέπομε έχουν ληφθεί για το συγκεκριμένο πλοίο τρεις διαφορετικές διαχωριτότητες (0,64 για την περιοχή της πρύμνης, 0,78 για την περιοχή του μηχανοστασίου και 0,63 για την περιοχή της πλώρης).

7) **Δείκτης κριτηρίου** (criterion of service numeral, Cs) είναι ένας αριθμός που υπολογίζεται σύμφωνα με τους κανονισμούς της συμβάσεως προστασίας της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα και εξαρτάται από την κατανομή των χώρων του πλοίου ανάμεσα στο μηχανοστάσιο και στους χώρους επιβατών πάνω και κάτω από τη γραμμή ορίου βυθίσεως.

8) **Ίσαλος στεγανής υποδιαιρέσεως** (subdivision load line) είναι η ίσαλος σχεδίασεως του πλοίου.

9) **Μήκος στεγανής υποδιαιρέσεως (L)** είναι το μήκος μεταξύ καθέτων που αντιστοιχεί στην ίσαλο στεγανής υποδιαιρέσεως.

10) **Πλάτος (B) στεγανής υποδιαιρέσεως** είναι το μέγιστο πλάτος του πλοίου επί ή κάτω από την ίσαλο στεγανής υποδιαιρέσεως.

11) **Βύθισμα (d) στεγανής υποδιαιρέσεως** είναι το βύθισμα που αντιστοιχεί στην ίσαλο στεγανής υποδιαιρέσεως.

12) **Συντελεστής υποδιαιρέσεως** (factor of subdivision, Fs) είναι ένας συντελεστής με τιμή ίση ή μικρότερη από τη μονάδα, ο οποίος όταν πολλαπλασιάζεται με το κατακλύσιμο μήκος, σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος του πλοίου, δίνει το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος διαμερίσματος που έχει μέσο το αντίστοιχο σημείο. Ο συντελεστής αυτός:

α) Ελαττώνεται όσο αυξάνεται το μήκος του πλοίου.

β) Αυξάνεται όταν ο κύριος σκοπός του πλοίου είναι πιο πολύ η μεταφορά επιβατών και λιγότερο η μεταφορά φορτίων.

Με την εφαρμογή των κανονισμών της Δ.Σ. SOLAS βρίσκεται ο συντελεστής υποδιαιρέσεως και στη συνέχεια προκύπτει, από την καμπύλη κατακλυσίμων μηκών, η **καμπύλη επιτρεπομένων μηκών διαμερισμάτων**.

Οι στεγανές φρακτές του πλοίου θα πρέπει να είναι έτσι τοποθετημένες, ώστε η απόστασή τους να μην είναι μεγαλύτερη από εκείνη που προκύπτει από την παραπάνω καμπύλη για το μέσο του διαμερίσματος.

**Όταν η τιμή του συντελεστή υποδιαιρέσεως είναι η μονάδα, η καμπύλη επιτρεπομένων μηκών συμπίπτει με την καμπύλη κατακλυσίμων μηκών.**

**Για τον υπολογισμό του  $F_s$  χρειάζεται να υπολογισθούν:**

Ο συντελεστής  $C_s$  που δίνεται από τη σχέση:

$$C_s = 72 \times (M + 2P)/V \quad (154)$$

όπου:  $M$  ο συνολικός όγκος χώρων μηχανοστασιών κάτω από τη γραμμή ορίου βυθίσεως,  $P$  ο συνολικός όγκος χώρων επιβατών και πληρώματος κάτω από τη γραμμή ορίου βυθίσεως και  $V$  ο συνολικός όγκος του πλοίου κάτω από τη γραμμή ορίου βυθίσεως.

Η παράμετρος  $A$  που δίνεται από τη σχέση:

$$A = 58,2/(L - 60) + 0,18$$

Η παράμετρος  $B$  που δίνεται από τη σχέση:

$$B = 30,3/(L - 42) + 0,18$$

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να υπολογίσουμε το  $F_s$  από τη σχέση:

$$F_s = A - [(A - B) \times (C_s - 23)]/100$$

### Παράδειγμα 1.

Σε ένα πλοίο με μήκος 150 m είναι:

$$M = 4000 \text{ m}^3, \quad P = 3000 \text{ m}^3, \quad V = 13000 \text{ m}^3$$

Θα έχουμε:

$$C_s = 72 \times (M + 2P)/V = 72 \times (4000 + 2 \times 3000)/13000 = 55,38$$

$$A = 58,2/(L - 60) + 0,18 = 58,2/(150 - 60) + 0,18 = 0,826$$

$$B = 30,3/(L - 42) + 0,18 = 30,3/(150 - 42) + 0,18 = 0,460$$

$$F_s = A - [(A - B) \times (C_s - 23)]/100 = 0,826 - [(0,826 - 0,460) \times (55,38 - 23)]/100 = 0,826 - 0,118 = 0,708$$

### Παράδειγμα 2.

Στο πλοίο του παραδείγματος 1, το βύθισμα στεγανής υποδιαίρεσεως (d), είχε **οριακά** την τιμή 5,7 m, γεγονός που σημαίνει ότι το μήκος ανάμεσα σε κάποιο ζεύγος φρακτών του ήταν ακριβώς ίσο με το επιτρεπόμενο (permissible length).

Μετά από την πραγματοποίηση κάποιας μετασκευής αυξήθηκε το  $P$  από 3000 σε 3500  $\text{m}^3$ , ενώ η τιμή του  $M$  αυξήθηκε επίσης από 4000 σε 4500  $\text{m}^3$ . Οι διαχωρητικότητες παρέμειναν αμετάβλητες.

Ζητείται να ελεγχθεί αν, σύμφωνα με τους κανονισμούς, το βύθισμα στεγανής υποδιαίρεσεως (d), μπορεί να παραμείνει το ίδιο.

Στην περίπτωση αυτή θα έχουμε:

$$M = 4500 \text{ m}^3, \quad P = 3500 \text{ m}^3, \quad V = 13000 \text{ m}^3$$

Θα έχουμε:

$$C_s = 72 \times (M + 2P)/V = 72 \times (4500 + 2 \times 3500)/13000 = 63,69$$

$$A = 58,2/(L - 60) + 0,18 = 58,2/(150 - 60) + 0,18 = 0,826$$

$$B = 30,3/(L - 42) + 0,18 = 30,3/(150 - 42) + 0,18 = 0,460$$

$$F_s = A - [(A - B) \times (C_s - 23)]/100 = 0,826 - [(0,826 - 0,460) \times (63,69 - 23)]/100 = 0,826 - 0,149 = 0,677$$

Επειδή το αποτέλεσμα της μετασκευής οδήγησε σε μικρότερη τιμή του συντελεστή στεγανής υποδιαίρεσης θα έχουμε (αν διατηρηθεί το ίδιο βύθισμα) μικρότερο επιτρεπόμενο μήκος κατακλύσεως και επομένως το οριακό διαμέρισμα θα βρεθεί να έχει μήκος μεγαλύτερο από το επιτρεπόμενο.

**Ως εκ τούτου δεν είναι δυνατή η διατήρηση του βυθίσματος στεγανής υποδιαίρεσεως στα 5,7 m και θα πρέπει να ελαττωθεί.**

Ο υπολογισμός του νέου επιτρεπόμενου βυθίσματος ξεφεύγει από τα όρια αυτού του βιβλίου.

Όλα τα παραπάνω αφορούν μόνο στην πλευστότητα του πλοίου.

Η διάταξη της στεγανής υποδιαίρεσεως του πλοίου επηρεάζεται και από τις απαιτήσεις των κανονισμών για την ύπαρξη και ικανοποιητικής ευστάθειας μετά από βλάβη (επικοινωνία διαμερίσματος ή διαμερισμάτων με τη θάλασσα). Το σύνολο των απαιτήσεων που πρέπει να εκπληρώνει (μετά την κατάκλυση) ένα επιβατικό πλοίο, σύμφωνα με τους κανονισμούς, είναι:

1) Η ίσαλος μετά την κατάκλυση δεν πρέπει να βρίσκεται σε κανένα σημείο πάνω από τη γραμμή του ορίου βυθίσεως.

2) Σε περίπτωση συμμετρικής κατακλύσεως το μετακεντρικό ύψος που απομένει δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 0,05 m.

3) Σε περίπτωση ασύμμετρης κατακλύσεως, η εγκάρσια κλίση δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 7°.

Για να εξασφαλισθούν οι παραπάνω απαιτήσεις γίνονται διάφοροι υπολογισμοί, των οποίων τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν συχνά και ειδικούς περιορισμούς στη χρησιμοποίηση κάθε συγκεκριμένου πλοίου που είναι (κατά τους υπολογισμούς) αναγκαίοι ώστε να μπορέσουν σε περίπτωση κατακλύσεως να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις. Οι περιορισμοί αυτοί με τη μορφή κειμένου ή/και διαγραμμάτων παραδίνονται, υποχρεωτικά, στον πλοίαρχο. **Η τήρηση των περιορισμών από τον πλοίαρχο έχει τεράστια σημασία στην προστασία του πλοίου από το ενδεχόμενο διαρροής και είναι αυστηρά υποχρεωτική.** Στους περιορισμούς καθορίζονται λεπτομέρειες, όπως το μέγιστο και ελάχιστο βύθισμα του πλοίου, η θέση του κέντρου βάρους κατά την κατακόρυφο, ο τρόπος χρησιμοποίησεως των δεξαμενών του πλοίου κ.ά.

#### **13.10.4 Πρακτικά μέτρα προστασίας από ενδεχόμενη διαρροή.**

Έχουμε ήδη αναφερθεί, πολύ συνοπτικά, στο θεωρητικό μέρος των μέτρων προστασίας από το ενδεχόμενο διαρροής. Σε πολλά πλοία όμως, από παραμέληση της συντηρήσεως, η στεγανή υποδιαίρεση που φαίνεται στα σχέδια του πλοίου δεν υπάρχει στην πράξη. Το επίπεδο επομένως της πραγματικής προστασίας είναι πολύ χαμηλό.

Τα πληρώματα και ιδιαίτερα οι αξιωματικοί των πλοίων θα πρέπει για την προστασία από ενδεχόμενη διαρροή να έχουν υπόψη τους τα παρακάτω:

1) Εξοικείωση με τις δυνατότητες προστασίας του πλοίου και με τους απαραίτητους περιορισμούς στη σωστή χρησιμοποίησή του.

2) Εξοικείωση με τα μέσα καταπολεμήσεως διαρροής και με τη γενική διάταξη του πλοίου και των συστημάτων του.

3) Σχολαστική διατήρηση της υδατοστεγανότητας του πλοίου, φρακτές σε καλή κατάσταση και στεγανές θύρες κλειστές όπως προβλέπεται.

4) Φόρτωση όπως προβλέπεται από τις μελέτες και τα σχέδια.

5) Φόρτωση υγρών στις δεξαμενές καθώς και υγρού έρματος όπως προβλέπεται από τις μελέτες και τα σχέδια.

6) Συνεχής παρακολούθηση των στοιχείων ευστάθειας του πλοίου.

7) Αποφυγή προσθήκης μη προβλεπομένων βαρών στο κατάστρωμα ή σε ψηλότερα σημεία.

8) Ύπαρξη στο πλοίο και σχολαστική συντήρηση του υλικού στεγανοποίησεως διαρροών, όπως τοιμέ-ντο ταχείας πήξεως και υλικό υποστρώσεως.

#### **13.11 Επακόλουθα της κατακλύσεως.**

Σε περίπτωση εισροής νερού σε ένα ή σε περισσότερα στεγανά διαμερίσματα του πλοίου, ως επακόλουθο ζημιάς στο εξωτερικό του περίβλημα, μπορεί να έχουμε **πλήρη** ή **μερική** κατάκλυση.

Η κατάκλυση ενός στεγανού διαμερίσματος θεωρείται **πλήρης**, όταν το νερό γεμίσει το διαμέρισμα από τον πυθμένα μέχρι την οροφή του. Για να επέλθει πλήρης κατάκλυση ενός διαμερίσματος θα πρέπει να είναι δυνατή η διαφυγή του αέρα από το ψηλότερο σημείο του. Περιπτώσεις πλήρους κατακλύσεως μετά από βλάβη, είναι συνηθισμένες, όταν επικοινωνήσουν με τη θάλασσα διαμερίσματα του πλοίου που βρίσκονται αρκετά χαμηλά, ώστε η τελική ίσαλός του, μετά την κατάκλυση, να καλύψει την οροφή τους.

Στην περίπτωση πλήρους κατακλύσεως διαμερίσματος ή διαμερισμάτων, τα επακόλουθα από πλευράς πλευστότητας και ευστάθειας είναι:

- 1) Η μεταβολή των βυθισμάτων και της διαγωγής του πλοίου.
- 2) Η μεταβολή του μετακεντρικού ύψους και της ευστάθειας γενικά.
- 3) Η δημιουργία στο πλοίο εγκάρσιας κλίσεως, αν το διαμέρισμα που θα γεμίσει με νερό είναι ασύμμετρο, ως προς το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου ή αν, ως αποτέλεσμα της κατακλύσεως, προκύψει αρνητικό μετακεντρικό ύψος.

Το μέγεθος των παραπάνω επιπτώσεων μπορεί να υπολογιστεί, αν θεωρήσουμε την εισροή του νερού ως μία προσθήκη βάρους ίσου μ' εκείνο του νερού που μπορεί να γεμίσει το διαμέρισμα, του οποίου το κέντρο βάρους βρίσκεται στην ίδια θέση μ' αυτήν του κέντρου όγκου του. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται μέθοδος πρόσθετου βάρους.

Εναλλακτικά οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν, θεωρώντας ότι το διαμέρισμα ή τα διαμερίσματα που έχουν επικοινωνήσει, λόγω της ζημιάς, με τη θάλασσα, δεν ανήκουν πια στο πλοίο και επομένως δεν συνεισφέρουν στα υδροστατικά του χαρακτηριστικά (πλευστότητα, ευστάθεια). Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή με την ονομασία μέθοδος απολεσθείσας ανώσεως.

Επειδή το κέντρο βάρους των πλοίων βρίσκεται συνήθως πάνω από την ίσαλο, η πλήρης κατάκλυση ενός συμμετρικού διαμερίσματος κατά κανόνα βελτιώνει την ευστάθεια.

Η κατάκλυση ενός διαμερίσματος θεωρείται **μερική**, όταν το νερό που έχει μπει σ' αυτό δεν έχει φθάσει μέχρι την οροφή του. Αν μετά τη εισροή του νερού στο διαμέρισμα, το ρήγμα στεγανοποιηθεί πρόχειρα και επομένως πάψει να υπάρχει επικοινωνία του εσωτερικού του διαμερίσματος με τη θάλασσα, **η μελέτη των επιπτώσεων της κατακλύσεως μπορεί να γίνει όπως και στην πλήρη κατάκλυση, με τη μέθοδο του πρόσθετου βάρους και με επιπρόσθετη διόρθωση στην ευστάθεια λόγω της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στο διαμέρισμα.**

Αν το ρήγμα παραμείνει **μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε από τις δύο μεθόδους, αλλά θα πρέπει να γίνει και μία ακόμη πρόσθετη διόρθωση λόγω ελεύθερης επικοινωνίας του διαμερίσματος με το νερό που περιβάλλει το πλοίο.**

Οι μέθοδοι για την πραγματοποίηση των παραπάνω υπολογισμών προκύπτουν με βάση όσα ήδη έχουμε αναφέρει και θα επεξηγηθούν με παραδείγματα στο τέλος αυτής της παραγράφου.

Ιδιαίτερα η εγκάρσια κλίση που παρουσιάζεται σ' ένα πλοίο μετά από την κατάκλυση μπορεί να οφείλεται σε:

- 1) Ασύμμετρη κατανομή βαρών.
- 2) Αρνητικό μετακεντρικό ύψος.
- 3) Σε συνδυασμό ασύμμετρης κατανομής βαρών και ταυτόχρονης υπάρξεως αρνητικού μετακεντρικού ύψους.

Η ασύμμετρη κατανομή βαρών μπορεί να οφείλεται στην κατάκλυση ενός ασύμμετρου διαμερίσματος, ενός συμμετρικού διαμερίσματος με ασύμμετρη κατανομή των μηχανημάτων ή του φορτίου μέσα σ' αυτό, στη μετάγχιση υγρών στην προσπάθεια να ληφθούν μέτρα διασώσεως, σε εκκένωση δεξαμενών που έχουν ρήγματα πάνω από την ίσαλο ή σε μετακίνηση βαρών.

**Όταν ένα πλοίο, μετά από κατάκλυση, παρουσιάζει εγκάρσια κλίση χωρίς να υπάρχει ασύμμετρη κατανομή βαρών, τότε το αίτιο της εγκάρσιας κλίσεως θα πρέπει να αποδοθεί στην ύπαρξη αρνητικού μετακεντρικού ύψους.** Μία τέτοια κατάσταση, όπως έχουμε προαναφέρει, αναγνωρίζεται από την εμφάνιση εγκάρσιας κλίσεως χωρίς να επενεργεί κύμα ή άνεμος ή το πηδάλιο του πλοίου και ακόμη από την εμφάνιση κλίσεως πότε προς τη δεξιά και πότε προς την αριστερή πλευρά του πλοίου, χωρίς να έχουν μεταβληθεί οι εξωτερικές συνθήκες κύματος και ανέμου.

**Η δημιουργία αρνητικού μετακεντρικού ύψους μπορεί να οφείλεται σε πρόσθεση βάρους**

**ψηλά, αφαίρεση βάρους από χαμηλά και κυρίως σε δημιουργία μεγάλων ελευθέρων επιφανειών μέσα στο πλοίο ως αποτέλεσμα της διαρροής ή των μέτρων αντιμετώπισής της.**

Η ύπαρξη αρνητικού μετακεντρικού ύψους σε συνδυασμό με ασύμμετρη κατανομή βαρών είναι αρκετά δύσκολο να διαπιστωθεί στην πράξη. Μία πιθανή ένδειξη αρνητικού μετακεντρικού ύψους είναι ο αργός διατοιχισμός, που όμως δύσκολα μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα όταν το πλοίο έχει μόνιμη εγκάρσια κλίση προς τη μία πλευρά. Υπόνοιες υπάρξεως αρνητικού μετακεντρικού ύψους αποτελούν σ' αυτήν την περίπτωση η ύπαρξη μεγάλων ελευθέρων επιφανειών ή δυσανάλογης προς τα ασύμμετρα βάρη εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου.

Εκτός από τις επιπτώσεις στην ευστάθεια και πλευστότητα του πλοίου, άλλοι τομείς που επηρεάζονται από την κατάκλυση και θα πρέπει να απασχολήσουν το προσωπικό που ασχολείται με την αντιμετώπισή της και κυρίως τον πλοίαρχο, είναι:

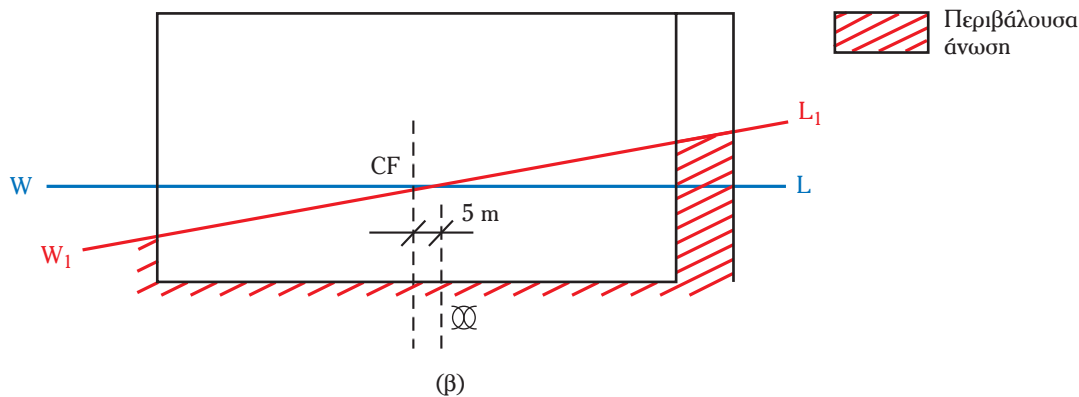
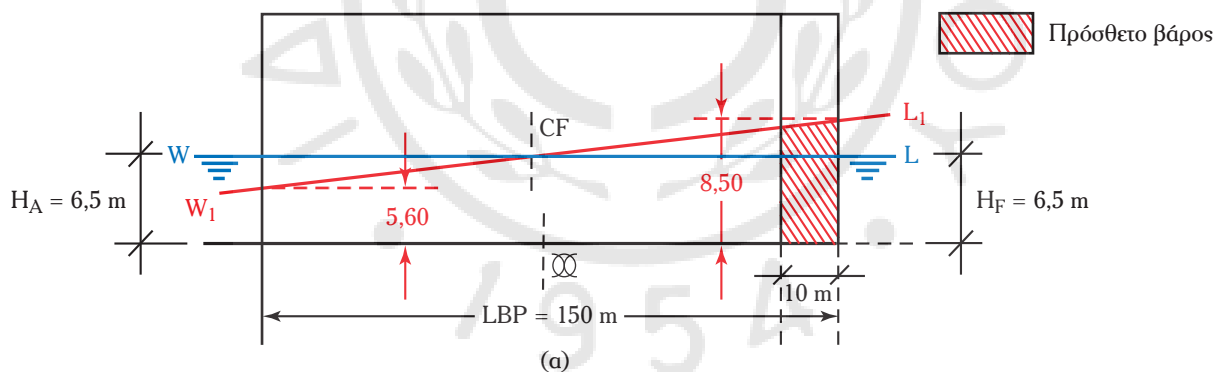
1) Η αντοχή του πλοίου ως ράβδου μετά την εισροή του νερού και τη μεταβολή της κατανομής του βάρους που θα μελετήσουμε στο κεφάλαιο 17.

2) Η τοπική αντοχή ελασμάτων που αποτελούν τα όρια της περιοχής που έχει κατακλυσθεί (φρακτές) κάτω από την επίρεια των πιέσεων που ασκούνται πάνω σ' αυτά.

3) Η θέση, λόγω της κατακλύσεως, εκτός λειτουργίας διαφόρων μηχανημάτων και συσκευών.

**Παράδειγμα 1.**

Φορτηγίδα ορθογωνικής διατομής με μήκος 150 m και πλάτος 15 m, πλέει ισοβύθιστη σε βυθίσματα 6,5 πρωραίο και πρυμναίο, όταν, λόγω συγκρούσεως και επακόλουθου ρήγματος το πρωραίο στεγανό της (του οποίου η πρυμναία φρακτική βρίσκεται 10 m προς πρύμα της πρυμναίας καθέτου) υφίσταται κατάκλυση. Πριν από τη ζημιά η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους της φορτηγίδας βρισκόταν 4 m πάνω από τη βασική γραμμή της τροπιδας ( $KG = 4$  m). Να υπολογισθούν οι επιπτώσεις της κατακλύσεως στα βυθίσματα και στην εγκάρσια ευστάθεια της φορτηγίδας: πρώτον με τη μέθοδο του πρόσθετου βάρους και δεύτερον με τη μέθοδο της απολεσθείσας ανώσεως.



**Σχ. 13.11α.**

α) Μέθοδος πρόσθετου βάρους και β) απολεσθείσας ανώσεως.

### 1) Μέθοδος πρόσθετου βάρους.

Στο σχήμα 13.11α βλέπομε τη φορτηγίδα να πλέει πριν από το ρήγμα στην ίσαλο WL και μετά από αυτήν στην ίσαλο  $W_1L_1$ .

**Με τη μέθοδο αυτή θεωρούμε ότι στο πρωραίο στεγανό προστίθεται το νερό που θα εισρεύσει από το ρήγμα, ενώ το περίβλημα της φορτηγίδας θα παραμείνει αμετάβλητο συμμετέχοντας στην άνωση.**

Το εκτόπισμα των υφάλων και τα υπόλοιπα υδροστατικά στοιχεία της φορτηγίδας, πριν από τη δημιουργία του ρήγματος θα είναι:

$$\Delta = 1,025 \times 150 \times 15 \times 6,5 = 14990,6 \text{ MT}$$

$$I_{yy} = (150^3 \times 15)/12 = 4218750 \text{ m}^4$$

$$I_{xx} = (150 \times 15^3)/12 = 42187 \text{ m}^4$$

$$V = 14990,6/1,025 = 14624 \text{ m}^3$$

$$BM_T = I_{xx}/V = 42187/14624 = 2,88 \text{ m}$$

$$BM_L = I_{yy}/V = 4218750/14624 = 288,5 \text{ m}$$

$$KB = 6,5/2 = 3,25 \text{ m}$$

$$GM_L = KB + BM_L - KG = 3,25 + 288,5 - 4,0 = 287,73 \text{ m}$$

$$GM_T = KB + BM_T - KG = 3,25 + 2,88 - 4,0 = 2,13 \text{ m}$$

Επίσης θα έχομε:

$$TP \text{ 1 cm} = 1,025 \times A / (100) = (1,025 \times 150 \times 15) / 100 = 23,06 \text{ MT/cm}$$

και

$$MCT \text{ 1 cm} = (\Delta \times BM_L) / (100 \times L) = (14990,6 \times 288,5) / (100 \times 150) = 288,3 \text{ MT-m/cm}$$

**Σε πρώτη φάση** θεωρούμε ότι η στάθμη του νερού μέσα στο πρωραίο στεγανό θα φθάσει μέχρι το αρχικό βύθισμα της φορτηγίδας. Επομένως το βάρος που θα προστεθεί θα είναι:

$$w = 1,025 \times 10 \times 15 \times 6,5 = 999,4 \text{ MT}$$

Αν θεωρήσομε ότι το βάρος αυτό προστίθεται στην αρχή στο κέντρο βάρους της φορτηγίδας θα έχομε:

$$\text{Παράλληλη βύθιση} = w / TP \text{ 1 cm} = 999,4 / 23,06 = 43,12 \text{ cm}$$

Επίσης τώρα θα είναι:

$$V = (14990,6 + 999,4) / 1,025 = 15600 \text{ m}^3$$

και

$$BM_L = I_{yy}/V = 4218750/15600 = 270,43 \text{ m}$$

$$MCT \text{ 1 cm} = (\Delta \times GM_L) / (100 \times L) = [14990,6 + 999,4] \times 270,43 / (100 \times 150) = 288,27 \text{ MT-m/cm}$$

Μεταφορά τώρα του βάρους στη θέση του στα  $75 - 5 = 70 \text{ m}$  προς την πλώρη θα δημιουργήσει:

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = (Ροπή) / MCT \text{ 1 cm} = (999,4 \times 70) / 288,27 = 242,68 \text{ cm}$$

Επομένως τα βυθίσματα της φορτηγίδας θα γίνουν:

$$H_F = 6,5 + 0,431 + (2,426/2) = 8,144 \text{ m}$$

$$H_A = 6,5 + 0,431 - (2,426/2) = 5,718 \text{ m}$$

Το νερό όμως που θα μπει στο διαμέρισμα θα είναι περισσότερο από  $w$ , αφού το πλοίο θα πλεύσει σε μεγαλύτερο μέσο βύθισμα κατά την παράλληλη βύθιση και κατά την αύξηση της στάθμης στο διαμέρισμα



με το ρήγμα που θα υπάρξει λόγω της διαγωγής.

Για τη στάθμη του νερού στο διαμέρισμα θα έχουμε:

$$h = 6,5 + 0,431 + (2,426 \times 70)/150 = 8,063 \text{ m}$$

$$w = 1,025 \times 10 \times 15 \times 8,063 = 1239,7 \text{ MT}$$

$$\Delta_1 = \Delta + w = 14990,6 + 1239,7 = 16229,7 \text{ MT}$$

$$LCG_1 = [(\Delta \times LCG) + (w \times L_{cg})]/\Delta_1 = [(14990 \times 0) + (1239,7 \times 70)]/16229 = 5,35 \text{ m}$$

Επίσης τώρα θα είναι:

$$V = (16229,7)/1,025 = 15834 \text{ m}^3$$

και

$$BM_L = I_{yy}/V = 4218750/15834 = 266,436 \text{ m}$$

$$MCT 1 \text{ cm} = (\Delta \times BM_L)/(100 \times L) = [16229,7 \times 266,436]/(100 \times 150) = 288,27 \text{ MT-m/cm}$$

Αν θεωρήσουμε και πάλι ότι το βάρος αυτό προστίθεται στην αρχή στο κέντρο βάρους της φορτηγίδας θα έχουμε:

$$\text{Παράλληλη βύθιση} = w/TP 1 \text{ cm} = 1239,7/23,06 = 53,75 \text{ cm}$$

Μεταφορά τώρα του βάρους στη θέση του στα  $75 - 5 - 5,35 = 64,65 \text{ m}$  προς την πλώρη θα δημιουργήσει:

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = (\text{Ροπή})/MCT 1 \text{ cm} = (1239,7 \times 64,65)/288,27 = 288 \text{ cm}$$

Επομένως τα βυθίσματα της φορτηγίδας θα γίνουν:

$$H_F = 6,5 + 0,537 + (2,88/2) = 8,477 \text{ m}$$

$$H_A = 6,5 + 0,537 - (2,88/2) = 5,597 \text{ m}$$

Ένας τρίτος κύκλος υπολογισμών μας δίνει τα εξής αποτελέσματα:

$$h = 6,5 + 0,537 + (2,88 \times 70)/150 = 8,38 \text{ m}$$

$$w = 1,025 \times 10 \times 15 \times (8,38) = 1288 \text{ MT}$$

$$\Delta_1 = \Delta + w = 14990,6 + 1288 = 16278,6 \text{ MT}$$

$$LCG_1 = [(\Delta \times LCG) + (w \times L_{cg})]/\Delta_1 = [(14990 \times 0) + (1288 \times 70)]/16278,6 = 5,54 \text{ m}$$

Αν θεωρήσουμε και πάλι ότι το βάρος αυτό προστίθεται στην αρχή στο κέντρο βάρους της φορτηγίδας θα έχουμε:

$$\text{Παράλληλη βύθιση} = w/TP 1 \text{ cm} = 1288/23,06 = 55,85 \text{ cm}$$

Μεταφορά τώρα του βάρους στη θέση του στα  $75 - 5 - 5,54 = 64,46 \text{ m}$  προς την πλώρη θα δημιουργήσει:

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = (\text{Ροπή})/MCT 1 \text{ cm} = (1288 \times 64,46)/288,25 = 288 \text{ cm}$$

Επομένως τα βυθίσματα της φορτηγίδας θα γίνουν:

$$H_F = 6,5 + 0,562 + (2,88/2) = 8,502 \text{ m}$$

$$H_A = 6,5 + 0,562 - (2,88/2) = 5,62 \text{ m}$$

Επειδή το διαμέρισμα με το ρήγμα είναι ακραίο και τα αποτελέσματα δεν έχουν ακόμη πια συγκλίνει

αρκετά χρειάζεται άλλος ένας κύκλος.

$$h = 6,5 + 0,562 + (2,88 \times 70)/150 = 8,41 \text{ m}$$

$$w = 1,025 \times 10 \times 15 \times (8,41) = 1292 \text{ MT}$$

$$\Delta_1 = \Delta + w = 14990,6 + 1292 = 16282,6 \text{ MT}$$

$$LCG_1 = [(\Delta \times LCG) + (w \times L_{cg})]/\Delta_1 = [(14990 \times 0) + (1292 \times 70)]/16282,6 = 5,55 \text{ m}$$

Αν θεωρήσουμε και πάλι ότι το βάρος αυτό προστίθεται στην αρχή στο κέντρο βάρους της φορτηγίδας θα έχουμε:

$$\text{Παράλληλη βύθιση} = w/TP \text{ 1 cm} = 1292/23,06 = 56 \text{ cm}$$

Μεταφορά τώρα του βάρους στη θέση του στα  $75 - 5 - 5,55 = 64,45 \text{ m}$  προς την πλώρη θα δημιουργήσει:

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = (\text{Ροπή})/MCT \text{ 1 cm} = (1292 \times 64,45)/288,25 = 289 \text{ cm}$$

Επομένως τα βυθίσματα της φορτηγίδας θα γίνουν:

$$H_F = 6,5 + 0,56 + (2,89/2) = 8,505 \text{ m}$$

$$H_A = 6,5 + 0,56 - (2,89/2) = 5,615 \text{ m}$$

Το τελικό εκτόπισμα της φορτηγίδας (μ' αυτήν τη μέθοδο) όπως είδαμε είναι:

$$\Delta_1 = 16282,6 \text{ MT}$$

$$V_1 = 16282/1,025 = 15885 \text{ m}^3$$

Ως προς την ευστάθεια θα έχουμε:

$$kg = 8,41/2 = 4,205 \text{ m}$$

$$KG_1 = [(\Delta \times KG) + (w \times kg)]/\Delta_1 = [(14990,6 \times 4) + (1292 \times 4,205)]/16282,6 = 65394,4/16282,6 = 4,016 \text{ m}$$

$$KB_1 = (6,5 + 0,56)/2 = 3,53 \text{ m}$$

$$BMT_1 = I_{xx}/V = 42187/15885 = 2,655 \text{ m}$$

Η διόρθωση της θέσεως του κέντρου βάρους, λόγω ελεύθερης επιφάνειας στο διαμέρισμα θα είναι:

$$GG_V = 1,025 \times (i/V_1) = 1,025 \times (15^3 \times 10/12)/15885 = 0,181 \text{ m}$$

και επομένως:

$$GM_1 = KB_1 + BMT_1 - KG_1 - GG_V = 3,53 + 2,655 - 4,016 - 0,181 = 1,988 \text{ m}$$

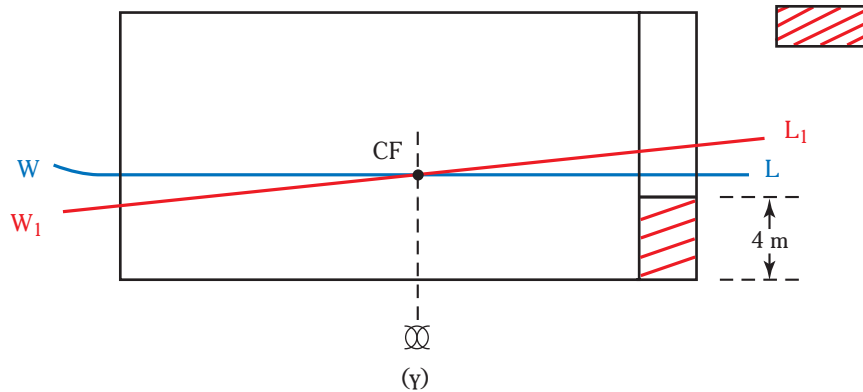
## 2) Μέθοδος απολεσθείσας ανώσεως (σχ. 13.11β).

Το εκτόπισμα του πλοίου θα παραμείνει αμετάβλητο, αλλά το πρωραίο στεγανό δεν θα συνεισφέρει στην άνωση.

Επομένως μετά το ρήγμα θα είναι:

$$\Delta = 1,025 \times 150 \times 15 \times 6,5 = 14990,6 \text{ MT και}$$

$$I_{yy} = [(150 - 10)^3 \times 15]/12 = 3430000 \text{ m}^4$$



Σχ. 13.11β.

Μέθοδος πρόσθετου βάρους για διαμέρισμα με οροφή κάτω απ' την ίσαλο.

$$I_{xx} = [(150 - 10)] \times 15^3 / 12 = 39375 \text{ m}^4$$

$$V = 14990,6 / 1,025 = 14624 \text{ m}^3$$

$$BM_T = I_{xx} / V = 39375 / 14624 = 2,692 \text{ m}$$

$$BM_L = I_{yy} / V = 3430000 / 14624 = 234,54 \text{ m}$$

$$TP \text{ 1 cm} = 1,025 \times A / (100) = [1,025 \times (150 - 10) \times 15] / 100 = 21,52 \text{ MT/cm}$$

και

$$MCT \text{ 1 cm} = (\Delta \times BM_L) / (100 \times L) = (14990,6 \times 234,54) / (100 \times 150) = 234,39 \text{ MT-m/cm}$$

$$\text{Απολεσθείσα άνωση } 1,025 \times 10 \times 15 \times 6,5 = 999,4 \text{ MT}$$

$$\text{Παράλληλη βύθιση} = 999,4 / 21,52 = 46,43 \text{ cm}$$

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = [999,4 \times (75 - 5)] / 234,39 = 298 \text{ cm προς την πλώρη}$$

$$H_F = 6,5 + 0,463 + [(75 + 5) / 150] \times 2,98 = 8,552$$

$$H_A = 6,5 + 0,463 - [(75 - 5) / 150] \times 2,98 = 5,572$$

$$KB = (6,5 + 0,463) / 2 = 3,481 \text{ m}$$

$$GM_T = KB + BM_T - KG = 3,481 + 2,692 - 4,0 = 2,173 \text{ m}$$

### Παρατηρήσεις.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν με την εφαρμογή των δύο μεθόδων παρατηρούμε τα εξής:

1) Τα τελικά βυθίσματα είναι σχεδόν ίσα μεταξύ τους και οι μικρές διαφορές που υπάρχουν οφείλονται σε δευτερεύουσες επιρροές που ξεφεύγουν από τα όρια αυτού του βιβλίου.

2) Οι τιμές του τελικού μετακεντρικού ύψους διαφέρουν αισθητά μεταξύ τους. Αν όμως υπολογίσουμε τις ροπές επαναφοράς που αποτελούν και τα πραγματικά μεγέθη για την αξιολόγηση του αποτελέσματος θα έχομε:

Με τη **μέθοδο του πρόσθετου βάρους:**

$$\text{Ροπή επαναφοράς} = (1,988) \times (16282) = 32368 \text{ MT-m}$$

Με τη **μέθοδο της απολεσθείσας ανώσεως:**

$$\text{Ροπή επαναφοράς} = (2,173) \times (16282) = 32573 \text{ MT-m}$$

Διαφορά μικρότερη του 1%, που οφείλεται σε δευτερεύουσες επιρροές.

3) Για το συγκεκριμένο πρόβλημα (κατάκλυση ακραίου διαμερίσματος) η μέθοδος του πρόσθετου βάρους είναι πολύ πιο κοπιώδης. Όπως όμως θα δούμε στο επόμενο παράδειγμα, υπό άλλες προϋποθέσεις είναι και αυτή απλή.

4) Με τη μέθοδο της απολεσθείσας ανώσεως δεν χρειάζεται να κάνουμε διόρθωση για την ελεύθερη επιφάνεια.

### **Παράδειγμα 2.**

Να εξετασθεί και πάλι η περίπτωση της κατακλύσεως του προηγούμενου παραδείγματος υπό τις εξής προϋποθέσεις:

- Το στεγανό έχει κατάστρωμα σε ύψος 4 m πάνω από την τροπίδα που μένει ανέπαφο από το ρήγμα.
- Στο διαμέρισμα υπάρχουν εξαεριστικά που επιτρέπουν την πλήρη διαφυγή του αέρα σε περίπτωση κατακλύσεως.

Όπως πολύ εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε, στην περίπτωση αυτή η οροφή του διαμερίσματος βρίσκεται κάτω από την αρχική ίσαλο και επομένως το διαμέρισμα θα γεμίσει νερό μέχρι την οροφή του (σχ. 13.11β).

Για το λόγο αυτό συνιστάται η λύση του προβλήματος με τη μέθοδο του πρόσθετου βάρους.

Από το προηγούμενο παράδειγμα θα έχουμε:

$$\Delta = 1,025 \times 150 \times 15 \times 6,5 = 14990,6 \text{ MT}$$

$$I_{yy} = (150^3 \times 15)/12 = 4218750 \text{ m}^4$$

$$I_{xx} = (150 \times 15^3)/12 = 42187 \text{ m}^4$$

$$V = 14990,6/1,025 = 14624 \text{ m}^3$$

$$BM_T = I_{xx}/V = 42187/14624 = 2,88 \text{ m}$$

$$BM_L = I_{yy}/V = 4218750/14624 = 288,5 \text{ m}$$

$$KB = 6,5/2 = 3,25 \text{ m}$$

$$GM_T = KB + BM_T - KG = 3,25 + 2,88 - 4,0 = 2,13 \text{ m}$$

Επίσης θα έχουμε:

$$TP \ 1 \text{ cm} = 1,025 \times A/(100) = (1,025 \times 150 \times 15)/100 = 23,06 \text{ MT/cm}$$

και

$$MCT \ 1 \text{ cm} = (\Delta \times BM_L)/(100 \times L) = (14990,6 \times 288,5)/(100 \times 150) = 288,3 \text{ MT-m/cm}$$

Η στάθμη του νερού μέσα στο πρωραίο στεγανό θα σταματήσει στην οροφή του. Επομένως το βάρος που θα προστεθεί θα είναι:

$$w = 1,025 \times 10 \times 15 \times 4,0 = 615 \text{ MT}$$

Αν θεωρήσουμε ότι το βάρος αυτό προστίθεται στην αρχή στο κέντρο βάρους της φορτηγίδας θα έχουμε:

$$\text{Παράλληλη βύθιση} = w/TP \ 1 \text{ cm} = 615/23,06 = 26,69 \text{ cm}$$

Επίσης τώρα θα είναι:

$$V = (14990,6 + 615)/1,025 = 15225 \text{ m}^3$$

και

$$BM_L = I_{yy}/V = 4218750/15225 = 277 \text{ m}$$

$$MCT 1 \text{ cm} = (\Delta \times BM_L)/(100 \times L) = [14990,6 + 615] \times 277 / (100 \times 150) = 288,19 \text{ MT-m/cm}$$

Μεταφορά τώρα του βάρους στη θέση του στα  $75 - 5 = 70 \text{ m}$  προς την πλώρη θα δημιουργήσει:

$$\text{Μεταβολή διαγωγής} = (\text{Ροπή})/MCT 1 \text{ cm} = (615 \times 70)/288,19 = 149,38 \text{ cm}$$

Επομένως τα βυθίσματα της φορτηγίδας θα γίνουν:

$$H_F = 6,5 + 0,267 + (1,49/2) = 7,512 \text{ m}$$

$$H_A = 6,5 + 0,267 - (1,49/2) = 6,022 \text{ m}$$

Ως προς την ευστάθεια θα έχομε:

$$kg = 4/2 = 2,0 \text{ m}$$

$$KG_1 = [(\Delta \times KG) + (w \times kg)]/\Delta_1 = [(14990,6 \times 4) + (615 \times 2,0)]/6282,6 = 61194/15606 = 3,921 \text{ m}$$

$$KB_1 = (6,5 + 0,267)/2 = 3,38 \text{ m}$$

$$BMT_1 = I_{xx}/V = 42187/15225 = 2,77 \text{ m}$$

Η διόρθωση της θέσεως του κέντρου βάρους, λόγω ελεύθερης επιφάνειας, δεν είναι τώρα αναγκαία γιατί το διαμέρισμα έχει γεμίσει τελείως και επομένως θα είναι:

$$GM_1 = KB_1 + BMT_1 - KG_1 = 3,38 + 2,77 - 3,92 = 2,23 \text{ m}$$

και

$$\text{Ροπή επαναφοράς} = (2,23) \times (14990 + 615) = 34799 \text{ MT-m}$$

### 13.12 Απώλεια πλευστότητας και πιθανότητα βυθίσεως του πλοίου μετά από κατάκλυση.

Στα παραδείγματα της προηγούμενης παραγράφου είδαμε πως, με υπολογισμούς, είναι δυνατόν να έχουν μελετηθεί εν των προτέρων οι επιπτώσεις στην πλευστότητα και την ευστάθεια του πλοίου για διάφορα υποθετικά σενάρια ζημιάς στο περίβλημά του. Όπως θα δούμε παρακάτω τα αποτελέσματα αυτών των μελετών υπάρχουν (πρέπει να υπάρχουν) σε όλα τα πλοία και οι χειριστές να είναι απόλυτα και εκ των προτέρων εξοικειωμένοι με το περιεχόμενό τους.

Στην πράξη, ένα πιθανό ρήγμα μπορεί να είναι τόσο εκτεταμένο που η διαθέσιμη εφεδρική πλευστότητα ή η διαθέσιμη εφεδρική ευστάθεια να είναι ανεπαρκείς για τη διάσωση του πλοίου ή να μην διατίθενται τα μέσα και ο χρόνος για τον περιορισμό των επιπτώσεων της βλάβης.

Σ' αυτές τις περιπτώσεις ο πλοίαρχος με την πραγματοποίηση, με τη βοήθεια του πληρώματός του, γρήγορης επιθεωρήσεως στα στεγανά του πλοίου (αν υπάρχει ο διαθέσιμος χρόνος), να μπορεί να διαπιστώσει, επαρκώς, την έκταση της βλάβης και ανάλογα να αποφασίσει αν το πλοίο είναι διασώσιμο ή θα πρέπει άμεσα να μεθοδευτεί η εγκατάλειψή του.

Στη λήψη της σχετικής αποφάσεως ο πλοίαρχος θα πρέπει να λάβει σοβαρά υπόψη του τις εξής **βασικές αρχές**:

1) *Αν η εφεδρική πλευστότητα είναι ανεπαρκής και τα μέτρα που ενδεχομένως θα λάβει δεν είναι επαρκή για να σταματήσουν την περαιτέρω εισροή νερού, τότε η βύθιση του πλοίου, από ανεπάρκεια πλευστότητας, είναι αναπόφευκτη.*

2) *Η βύθιση του πλοίου από ανεπάρκεια πλευστότητας και προοδευτική εισροή νερού απαιτεί συνήθως αρκετό χρόνο που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την καθαίρεση των οσωσιβίων λέμβων και την εγκατάλειψη του πλοίου, όσο αυτό είναι δυνατό.*

3) *Αντίθετα η ανεπάρκεια ευστάθειας οδηγεί ταχύτατα σε ανατροπή του πλοίου και γι' αυτό ατυχήματα αυτής της μορφής είναι συνήθως πολύνεκρα, ακόμη και σε συνθήκες καλού καιρού.*

### 13.13 Προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση διαρροής.

Οι πιθανότητες διασώσεως ενός πλοίου σε περιπτώσεις κατακλύσεως είναι εξαιρετικά αυξημένες αν πριν την εμφάνιση της βλάβης τηρούνται με σχολαστικότητα τα κατάλληλα προληπτικά μέτρα.

Το πρώτο και σπουδαιότερο από αυτά είναι η **εξοικείωση του προσωπικού με τα μέσα για την αντιμετώπιση μίας ενδεχόμενης κατακλύσεως** και, κυρίως, με τις λεπτομέρειες της στεγανής υποδιαιρέσεως του πλοίου, με τις θεωρητικές γνώσεις για την πραγματοποίηση γρήγορης εκτιμήσεως της καταστάσεως και με τις πρακτικές δυνατότητες για τη στεγανοποίηση μικρών και μεγάλων ανοιγμάτων.

Εκτός από τη γενική γνώση του πλοίου και των συστημάτων του και τη γνώση από τους αρμόδιους αξιωματικούς του πλοίου και τον πλοίαρχο των στοιχείων που περιέχονται στην παράγραφο 13.14, πρέπει να υπάρχει ενημέρωση και για:

- 1) Τα μέσα (μόνιμα και φορητά) απαντήσεως των χώρων του πλοίου και τις δυνατότητές τους.
- 2) Τις δυνατότητες απορρίψεως φορτίου στη θάλασσα (π.χ. φορτίο από το κατάστρωμα).
- 3) Τις δυνατότητες και τα αποτελέσματα πληρώσεως διαφόρων χωρών με νερό (π.χ. για την εξουδετέρωση εγκάρσιας κλίσεως).

Είναι αυτονόητο (αλλά συχνά γίνονται παραλείψεις σ' αυτόν τον τομέα), ότι **η στεγανή υποδιείρεση του πλοίου πρέπει, εκτός από τα σχέδια, να είναι στεγανή και στην πράξη**. Όλες οι προσπάθειες για την αντιμετώπιση των κινδύνων από κατάκλυση ενός χώρου προϋποθέτουν ότι όλα τα στεγανά διαφράγματα που περιβάλλουν την περιοχή της βλάβης θα εμποδίσουν, όταν χρειαστεί, την προοδευτική κατάκλυση και των υπολοίπων χώρων του πλοίου. **Αν οι στεγανές φρακτές του πλοίου δεν είναι πράγματι στεγανές, οι πιθανότητες διασώσεώς του είναι πάρα πολύ μικρές.**

Ιδιαίτερα οι μελέτες ευστάθειας μετά από βλάβη των επιβατικών πλοίων συχνά περιέχουν περιορισμούς, όπως η υποχρέωση μερικές δεξαμενές υγρού έρματος να είναι μόνιμα γεμάτες, που συχνά, επειδή δημιουργούν δυσχέρειες στην εκμετάλλευση και στη λειτουργικότητα του πλοίου, δεν τηρούνται. **Τέτοιες παραλείψεις έχουν τεράστια σημασία και μπορεί να οδηγήσουν σε πολύνεκρα δυστυχήματα.**

### 13.14 Γενικές αρχές για τα μέτρα αντιμετώπισης των επιπτώσεων της κατακλύσεως.

Τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κατακλύσεως σε πλοίο, μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες. Στην **πρώτη** ανήκουν εκείνα που πρέπει να εφαρμοσθούν άμεσα, με σκοπό να περιορισθεί η διαρροή σε ελεγχόμενα πλαίσια, δηλαδή **να αποφευχθεί η προοδευτική απώλεια της εφεδρικής πλευστότητας ή η συνεχής επιδείνωση της ευστάθειας του πλοίου**. Στη **δεύτερη** ανήκουν τα μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν για να εξουδετερωθούν τα δυσμενή αποτελέσματα της εισροής νερού στο πλοίο.

Τα μέτρα της πρώτης κατηγορίας, λόγω της φύσεώς τους, θα πρέπει να ληφθούν με μεγάλη ταχύτητα αμέσως μετά τη δημιουργία ρήγματος. Για το λόγο αυτό οι αξιωματικοί και τα πληρώματα των πλοίων θα πρέπει να γνωρίζουν τους πρακτικούς τρόπους περιορισμού της εκτάσεως μιας διαρροής, ώστε η λήψη των απαραίτητων μέτρων να γίνεται ταχύτητα. Από τα πιθανά μέτρα που μπορούν να ληφθούν, μερικά έχουν σχέση με το συγκεκριμένο πλοίο, όπως είναι οι λεπτομέρειες της στεγανής του υποδιαιρέσεως και άλλα είναι πρακτικά μέτρα γενικής εφαρμογής, όπως είναι οι διάφοροι τρόποι περιορισμού της εκτάσεως ή/και στεγανοποιήσεως ανεπιθυμητών ανοιγμάτων.

Τα μέτρα της δεύτερης κατηγορίας απαιτούν κυρίως την κατανόηση και τη χρησιμοποίηση των γενικών αρχών της πλευστότητας και ευστάθειας, σε συνδυασμό με τις κατασκευαστικές και σχεδιαστικές ιδιομορφίες κάθε πλοίου. **Η λήψη αποφάσεως σχετικά με τι πρέπει να γίνει για την εξουδετέρωση των δυσμενών αποτελεσμάτων μιας διαρροής, ανήκει στις αρμοδιότητες του πλοίαρχου και πρέπει να βασίζεται στη σωστή εκτίμηση της καταστάσεως, μετά την κατάκλυση και στη γνώση των δυνατοτήτων του πλοίου**. Προϋπόθεση για τη λήψη της σωστής αποφάσεως είναι η γνώση και η σωστή χρησιμοποίηση των αρχών της πλευστότητας και ευστάθειας. **Σε αρκετές περιπτώσεις έχουν βυθιστεί ή ανατραπεί πλοία εξαιτίας κακής εκτιμήσεως από τον πλοίαρχο των διορθωτικών μέτρων για**

### **την εξουδετέρωση των αποτελεσμάτων κατακλύσεως.**

Για να είναι δυνατή η **σύντομη μελέτη** από τον πλοίαρχο των μέτρων που πρέπει να ληφθούν, εκτός από τη θεωρητική εξοικείωσή του σε θέματα πλευσιότητας και ευστάθειας, θα πρέπει να υπάρχουν στη διάθεσή του, σε πολύ σύντομο χρόνο, τα παρακάτω στοιχεία:

- 1) Το υδροστατικό διάγραμμα.
- 2) Οι παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας (cross curves).
- 3) Τα αποτελέσματα του πειράματος ευστάθειας του πλοίου.
- 4) Πληροφορίες για τη φόρτωση και τον ερματισμό του πλοίου, με βάση τις οποίες θα είναι δυνατή η εκτίμηση της διαμήκου και κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους.
- 5) Πληροφορίες για κάθε στεγανό διαμέρισμα από τις οποίες θα είναι δυνατός ο υπολογισμός του όγκου, της θέσεως του κέντρου όγκου και της ελεύθερης επιφάνειας του διαμερίσματος (ογκομετρικά διαγράμματα).
- 6) Για τα επιβατικά πλοία, η μελέτη κατακλύσεως και ευστάθειας μετά από βλάβη.
- 7) Τα σχέδια γενικής διατάξεως και το σχέδιο δυνατοτήτων πλοίου (capacity plan).

### **13.15 Εκτίμηση καταστάσεως μετά την κατάκλυση.**

Όταν σ' ένα πλοίο δημιουργηθεί, για οποιονδήποτε λόγο, ένα ρήγμα κάτω από την ίσαλο, η πείρα έχει αποδείξει ότι υπάρχουν γενικά δυο πιθανότητες:

1) Η προοδευτική βύθιση, η μεταβολή διαγωγής και η εγκάρσια κλίση αυξάνονται συνεχώς και οδηγούν σε πλήρη βύθιση ή ανατροπή του πλοίου μέσα σε λίγα λεπτά.

2) Λίγα λεπτά μετά το ατύχημα το πλοίο σταθεροποιείται σε κάποια θέση. Σε μερικές απ' αυτές τις περιπτώσεις το πλοίο τελικά βυθίζεται ή ανατρέπεται αρκετές ώρες μετά.

Χωρίς σχεδόν καμιά εξαίρεση η ολική απώλεια του πλοίου σ' αυτές τις περιπτώσεις οφείλεται σε **προοδευτική κατάκλυση** και θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί αν είχαν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα πριν και αμέσως μετά τη βλάβη.

Αμέσως μετά τη δημιουργία του ρήγματος πρέπει να ληφθούν δύο πολύ ουσιώδεις αποφάσεις. Πρώτον αν οι επιβάτες και το πλήρωμα θα πρέπει να παραμείνουν στο πλοίο ή θα πρέπει να σημανθεί **εγκατάλειψη πλοίου** και δεύτερον ποια διορθωτικά μέτρα πρέπει να ληφθούν ώστε να βελτιωθεί η κατάσταση.

Η πρώτη απόφαση λαμβάνεται από τον πλοίαρχο και αφορά στη δυνατότητα διασώσεως του πλοίου και πλεύσεώς του στο πλησιέστερο λιμάνι ή προσαράξεώς του στην πλησιέστερη (κατάλληλη) ακτή. Η δυνατότητα να διασωθεί το πλοίο βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με τη δυνατότητα να **σταματήσει η προοδευτική κατάκλυση**. Εφόσον αυτό επιτευχθεί, είναι δυνατό με τα μόνιμα και φορητά μέσα απαντήσεως να απαντηθεί το νερό και κυρίως να ελαττωθούν οι ελεύθερες επιφάνειες.

Στη λήψη της αποφάσεως του πλοίαρχου για εγκατάλειψη ή όχι του πλοίου θα πρέπει να συνεκτιμηθούν και τα παρακάτω:

1) **Η πιθανότητα ανατροπής του πλοίου ακόμη και όταν δεν υπάρχει εγκάρσια κλίση** υπάρχει στις περιπτώσεις που έχει δημιουργηθεί αρνητικό μετακεντρικό ύψος. Ενδείξεις μιας τέτοιας πιθανότητας είναι η ύπαρξη μεγάλων ελευθέρων επιφανειών και κυρίως ο τρόπος, με τον οποίο διατοixίζεται το πλοίο. Αν το πλοίο πραγματοποιεί αργό διατοixισμό και παραμένει για αρκετό χρόνο στις μέγιστες γωνίες (κρεμάει), είναι πολύ πιθανό να έχουμε αρνητικό μετακεντρικό ύψος.

2) **Η πιθανότητα ανατροπής όταν υπάρχει μόνιμη εγκάρσια κλίση** είναι αρκετά σημαντική και μπορεί να αξιολογηθεί με βάση:

- α) Τη βύθιση ή όχι της ακμής της πλευράς του καταστρώματος όταν το πλοίο διατοixίζεται.
- β) Τη σταθεροποίηση ή τη συνεχή αύξηση της γωνίας εγκάρσιας κλίσεως.
- γ) Την κατάσταση της θάλασσας και του καιρού.
- δ) Το επίπεδο ευστάθειας πριν από τη βλάβη.
- ε) Την πιθανότητα να συνυπάρχει αρνητικό μετακεντρικό ύψος.

Αφού με βάση τα παραπάνω στοιχεία αποφασισθεί ότι δεν θα πρέπει να εγκαταλειφθεί το πλοίο, θα

πρέπει αμέσως να συγκεντρωθούν στοιχεία για την έκταση της βλάβης και να ληφθεί απόφαση για τα διορθωτικά μέτρα που θα εφαρμοσθούν.

### 13.16 Επιλογή διορθωτικών μέτρων.

Πριν από την επιλογή των διορθωτικών μέτρων που θα πρέπει να εφαρμοσθούν, θα πρέπει να συγκεντρωθούν τα παρακάτω στοιχεία:

- 1) Έκταση του ρήγματος και χώροι που έχουν κατακλυσθεί (με λεπτομέρειες).
- 2) Γειτονικοί χώροι, στους οποίους έχομε προοδευτική κατάκλυση.
- 3) Κατασκευαστικές ζημιές στη μεταλλική κατασκευή.
- 4) Ζημιές σε δίκτυα σωληνώσεων και σε ηλεκτρολογικές γραμμές.
- 5) Προοπτικές περιορισμού της εκτάσεως της βλάβης.
- 6) Ανάγκες στεγανοποίησης και υποστύλωσης (π.χ. φρακτών).

Επίσης θα πρέπει να αξιολογηθούν οι παρακάτω παράγοντες:

- 1) Απώλεια μετακεντρικού ύψους λόγω ελευθέρων επιφανειών.
- 2) Ασύμμετρα βάρη.
- 3) Εφεδρικό ύψος (έξαλα).
- 4) Η αντοχή του σκάφους στη νέα κατάσταση.
- 5) Η υπάρχουσα στη νέα κατάσταση διαγωγή του πλοίου.

Προτεραιότητα στη σειρά λήψεως των διορθωτικών μέτρων έχει η αύξηση του μετακεντρικού ύψους. **Οι προσπάθειες για την εξουδετέρωση εγκάρσιας κλίσεως λόγω ασύμμετρου βάρους, θα πρέπει να γίνονται προοδευτικά και σε καμμία περίπτωση δεν θα πρέπει να συνεπάγονται μείωση του μετακεντρικού ύψους, όπως η πρόσθεση υγρού έρματος ψηλά στην αντίθετη πλευρά και η δημιουργία προσθέτων ελευθέρων επιφανειών.** Σε αρκετές περιπτώσεις που εφαρμόστηκαν εσφαλμένα μέτρα για εξουδετέρωση όχι σημαντικής εγκάρσιας κλίσεως, συνέβη ανατροπή των πλοίων λόγω της δημιουργίας αρνητικού μετακεντρικού ύψους.

**Όταν υπάρχει ταυτόχρονα ασύμμετρο βάρος και αρνητικό μετακεντρικό ύψος θα πρέπει πρώτα να ληφθούν μέτρα για την αύξηση του μετακεντρικού ύψους και στη συνέχεια να επιδιωχθεί η εξουδετέρωση της εγκάρσιας κλίσεως.**

Τα μέτρα γενικά που θα πρέπει να ληφθούν μπορούν να χωρισθούν σε **άμεσα τοπικά** και σε **γενικά μέτρα** διασώσεως του πλοίου.

Στην **πρώτη κατηγορία** (άμεσα τοπικά μέτρα) περιλαμβάνονται:

- 1) Η εξασφάλιση των ορίων της διαρροής με την επιλογή μιας σειράς στεγανών διαφραγμάτων γύρω από το ρήγμα που θα πρέπει να στεγανοποιηθούν (αν δεν είναι στεγανά) και να υποστύλωθούν.
- 2) Η επιλογή μιας **δεύτερης γραμμής άμυνας** για την περίπτωση που τα διαφράγματα που αποτελούν τα όρια της διαρροής θα υποχωρήσουν.
- 3) Η προοδευτική μετακίνηση των ορίων της διαρροής προς το ρήγμα με την απομόνωση-στεγανοποίηση και εξάντληση όσων χώρων είναι δυνατό.
- 4) Η απομόνωση τμημάτων δικτύων σωληνώσεων που διαρρέουν και ηλεκτρικών κυκλωμάτων που έχουν υποστεί ζημιές.
- 5) Η προοδευτική ηλεκτρική τροφοδότηση μηχανημάτων, η λειτουργία των οποίων είχε διακοπεί εξαιτίας της βλάβης, καθώς και η επανασύνδεση με κάθε δυνατό προσωρινό τρόπο των δικτύων σωληνώσεων.

Στα **δεύτερη κατηγορία** (γενικά μέτρα διασώσεως) περιλαμβάνονται:

- 1) Η βελτίωση του μετακεντρικού ύψους και της ευστάθειας του πλοίου.
- 2) Η εξουδετέρωση εγκάρσιας κλίσεως που οφείλεται σε ασύμμετρα βάρη.
- 3) Η αποκατάσταση της εφεδρικής πλευστότητας.
- 4) Η διόρθωση της υπερβολικής διαγωγής.
- 5) Ο περιορισμός των καταπονήσεων του πλοίου.

Συνοπτικά, **τα μέσα με τα οποία είναι δυνατή η βελτίωση της ευστάθειας είναι:**



- 1) Ο περιορισμός των ελευθέρων επιφανειών.
- 2) Η απόρριψη στη θάλασσα βαρών που βρίσκονται ψηλά.
- 3) Ο ερματισμός κενών δεξαμενών στα διπύθμενα.
- 4) Η μεταφορά στερεών ή υγρών βαρών από τα ψηλά σημεία στο πλοίο σε άλλα χαμηλότερα.
- 5) Η προοδευτική μετακίνηση των ορίων της διαρροής προς την πλευρά του ρήγματος με σκοπό τον περιορισμό της εκτάσεώς της.

***Η εξουδετέρωση εγκάρσιας κλίσεως λόγω ασυμμέτρων βαρών μπορεί να επιτευχθεί με:***

- 1) Στεγανοποίηση χώρων που βρίσκονται προς την πλευρά της κλίσεως και εν συνεχεία απάντληση του νερού από αυτούς.
- 2) Μετάγγιση υγρών από χώρους που βρίσκονται στην πλευρά της κλίσεως προς χώρους της άλλης πλευράς που έχουν κέντρο βάρους στο ίδιο ύψος ή χαμηλότερα.
- 3) Απόρριψη βαρών από την πλευρά της κλίσεως που βρίσκονται ψηλά.
- 4) Κατάκλυση χώρων προς την αντίθετη πλευρά (από εκείνη που βρίσκεται προς την πλευρά της κλίσεως) που έχουν κέντρο βάρους χαμηλά.

Ανάλογα είναι και τα μέτρα για τη διόρθωση της υπερβολικής διαγωγής, ενώ η λήψη μέτρων για τη μείωση των τάσεων του πλοίου ως ράβδου θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με βάση τις αρχές που θα αναπυχθούν στο κεφάλαιο 17.

### **13.17 Εφαρμογή διορθωτικών μέτρων.**

Εκτός από την κατάλληλη επιλογή των σωστών διορθωτικών μέτρων, μεγάλη σημασία έχει και η σωστή εφαρμογή τους.

***Οι δυνατότητες απαντήσεως του πλοίου δεν θα πρέπει να σπαταληθούν σε διαμερίσματα που λόγω της υπάρξεως μη στεγανοποιημένων ανοιγμάτων ξαναγεμίζουν γρήγορα.*** Αντίθετα οι αντλίες θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε διαμερίσματα που βρίσκονται σχετικά μακριά από το κυρίως ρήγμα.

Όπως έχει αναφερθεί και σε άλλα σημεία, ***προτεραιότητα θα πρέπει πάντα να δίνεται σε χώρους που έχουν ελεύθερες επιφάνειες.***

Πριν από την άντληση από ένα χώρο, θα πρέπει να καταβάλλεται κάθε προσπάθεια για τη στεγανοποίηση των ανοιγμάτων. Αν η στεγανοποίηση δεν είναι δυνατή, θα πρέπει με κάθε τρόπο να επιδιώκεται η μείωση της διατομής του ρήγματος, γιατί αυτό συνεπάγεται πολύ σημαντική μείωση της ποσότητας του νερού που εισέρχεται στο διαμέρισμα.

Αν η ευστάθεια του πλοίου έχει μειωθεί και είναι δυνατός ο πλους, θα πρέπει να ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα αντιμετώπισης της θαλασσοταραχής με επιλογή της κατάλληλης πορείας και ταχύτητας. ***Οι αλλαγές πορείας θα πρέπει να πραγματοποιούνται με πολύ μικρές γωνίες πηδαλίου.*** Ανάλογα μέτρα θα πρέπει να ληφθούν και σε περίπτωση ρυμουλκήσεως του πλοίου.

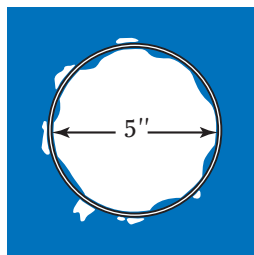
### **13.18 Πρακτικά μέτρα για την αντιμετώπιση της κατακλύσεως.**

Στην παράγραφο αυτή δίνονται μερικά πρακτικά στοιχεία που έχουν σχέση με την αντιμετώπιση διαρροών γενικά.

#### ***1) Για ανοίγματα γύρω στην ίσαλο.***

Τα ανοίγματα αυτά, ακόμη και όταν βρίσκονται πάνω από την ίσαλο, θα πρέπει να στεγανοποιούνται αμέσως, γιατί ελαττώνουν την εφεδρική πλευστότητα του πλοίου και επιτρέπουν την εισροή νερού στο πλοίο, όταν διατοιχίζεται.

Ο ρυθμός εισροής νερού στο πλοίο από ανοίγματα που δεν έχουν, έστω και πρόχειρα, στεγανοποιηθεί, είναι συνάρτηση του μεγέθους του ανοίγματος και του βάθους, στο οποίο βρίσκεται. Σχετικά στοιχεία δίνονται στο σχήμα 13.18α. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται η μείωση του ρυθμού εισροής όταν πραγματοποιηθεί ακόμη και στοιχειώδης προσπάθεια στεγανοποίησεως (μείωση της διατομής του ανοίγματος). Μια τέτοια ενέργεια μπορεί να οδηγήσει, χωρίς μεγάλη προσπάθεια μερικές φορές, σε ρυθμούς εισροής νερού αρκετά μειωμένους που θα επιτρέψουν την απάντληση ενός χώρου με τις αντλίες του πλοίου. Γενικά οι προσπά-



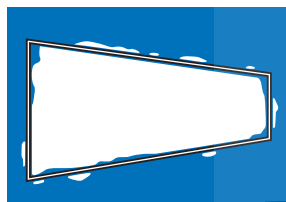
(α)

| α-β<br>Χωρίς μείωση διατομής |     | γ-δ<br>Με μείωση διατομής |     |
|------------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 1                            | 301 | 1                         | 114 |
| 2                            | 425 | 2                         | 160 |
| 3                            | 512 | 3                         | 192 |
| 4                            | 603 | 4                         | 227 |
| 5                            | 676 | 5                         | 254 |
| 6                            | 739 | 6                         | 277 |
| 7                            | 794 | 7                         | 286 |
| 8                            | 853 | 8                         | 320 |
| 9                            | 904 | 9                         | 339 |



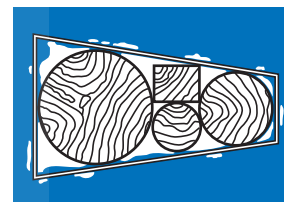
(γ)

Διατομή οπής  $19,65 \text{ in}^2$   
 Διατομή σώματος  $12,26 \text{ in}^2$   
 Απομένουσα διατομή για  
 εισροή νερού



(β)

| Βάθος<br>(ft) | G.P.M. | Βάθος<br>(ft) | G.P.M. |
|---------------|--------|---------------|--------|
| 1             | 319    | 1             | 91     |
| 2             | 451    | 2             | 129    |
| 3             | 552    | 3             | 158    |
| 4             | 638    | 4             | 182    |
| 5             | 713    | 5             | 204    |
| 6             | 782    | 6             | 224    |
| 7             | 844    | 7             | 241    |
| 8             | 902    | 8             | 258    |
| 9             | 957    | 9             | 273    |



(δ)

Διατομή οπής  $21 \text{ in}^2$   
 Διατομή πώματος  $15 \text{ in}^2$   
 Διατομή διαρροής  $6 \text{ in}^2$

**Σημείωση:** G.P.M. – Αμερικανικά γαλιόνια στο λεπτό.

### Σχ. 13.18α.

Μείωση ρυθμού ροής με μείωση της διατομής ρήγματος.

θεις στεγανοποιήσεως ενός ανοίγματος μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες. Στη μία περίπτωση προσπαθούμε να τοποθετήσουμε διάφορα αντικείμενα μέσα στο άνοιγμα και στην άλλη πάνω από αυτό.

### 2) Ξύλινα πώματα (τάπες, σφήνες).

Αποτελούν το πιο συνηθισμένο μέσο στεγανοποιήσεως μικρών ανοιγμάτων με διαστάσεις μέχρι  $10 \times 10 \text{ cm}$ , αλλά μερικές φορές και μεγαλύτερων. Με τα ξύλινα πώματα δεν στεγανοποιείται τελείως ένα άνοιγμα, αλλά περιορίζεται η εισροή νερού σε βαθμό που να είναι δυνατή η στεγανοποίηση στη συνέχεια με άλλα μέσα όπως το τοιμέντο ταχείας πήξεως. Τα ξύλινα πώματα έχουν καλύτερο αποτέλεσμα όταν περιτυλιχθούν με ύφασμα.

### 3) Στρώματα-μαξιλάρια και ύφασμα.

Τα είδη αυτά, που υπάρχουν σε αφθονία στα πλοία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη στεγανοποίηση διαρροών είτε όπως είναι, είτε αφού περιτυλιχθούν σε ξύλινους ή μεταλλικούς πυρήνες. Η επιτυχία αυτών των λύσεων είναι χαμηλή, ιδίως όταν υπάρχει κυματισμός.

Τα στρώματα πιέζονται πάνω στο άνοιγμα όπως φαίνεται στο σχήμα 13.18β, ενώ οι κουβέρτες τυλίγονται πάνω σε συρματόσχοινο και τοποθετούνται έτσι, ώστε να δημιουργείται κώνος.

### 4) Προκατασκευασμένα μεταλλικά πλαίσια.

Είναι πλαίσια με ορθογωνική, συνήθως, διατομή και διάφορες διαστάσεις. Χρησιμοποιούνται με διάφορα στεγανοποιητικά υλικά που τοποθετούνται πάνω στα ανοίγματα και στηρίζονται με κοκλίες και περικόχλια ή με άλλα συστήματα υποστυλώσεως όπως με ξύλινους δοκούς ή με γρύλους.

### 5) Άλλα υλικά στεγανοποιήσεως διαρροών.

Η ποικιλία των λύσεων που μπορούν να εφαρμοσθούν για τη στεγανοποίηση ανοιγμάτων είναι τεράστια και εξαρτάται γενικά από τη μορφή τους και τη φαντασία αυτών που θα ασχοληθούν με τη στεγανοποίηση. Μερικά συστήματα που έχουν εφαρμοσθεί είναι:

- α) Επίπεδα ελάσματα.
- β) Ξύλινες ιδιοκατασκευές από σανίδες και δοκούς.

#### 6) Γάντζοι (σχ. 13.18γ).

Μεγάλη σημασία για τη στήριξη των διαφόρων συστημάτων στεγανοποίησης μικρών ανοιγμάτων έχουν οι γάντζοι.

#### 7) Ρωγμές.

Συχνά, όταν εμφανίζονται ρήγματα, δημιουργούνται στα παρακείμενα ελάσματα ρωγμές, οι οποίες είναι πιθανόν να επεκταθούν και να προκαλέσουν, ιδιαίτερα σε κατάσταση θαλασσοταραχής, πρόσθετα προβλήματα. Η επέκταση αυτών των ρωγμών είναι δυνατή αν στα άκρα τους ανοιχθούν τρύπες όπως φαίνεται στο σχήμα 13.18δ.

#### 8) Υποστύλωση.

Εργασίες υποστύλωσης απαιτούνται συχνά για τη στήριξη διαφόρων στεγανοποιητικών διατάξεων, αλλά και για την εξασφάλιση της αντοχής διαφόρων διαφραγμάτων που αποτελούν τα όρια της περιοχής, μέσα στην οποία περικλείεται η διαρροή.

Για τη στεγανοποίηση διαρροών, είναι απαραίτητο να υπάρχουν στο πλοίο σανίδες, δοκοί και σφήνες σε διάφορες διαστάσεις, καθώς και τα απαραίτητα ξυλουργικά εργαλεία. Η ορθή πραγματοποίηση της υποστύλωσης απαιτεί πείρα, καθώς και κατάλληλη χρήση των σχετικών υλικών και εργαλείων.

Σε κάθε πλοίο πρέπει να υπάρχει ποικιλία ξυλίνων πωμάτων έτοιμη για χρήση όποτε χρειασθεί.

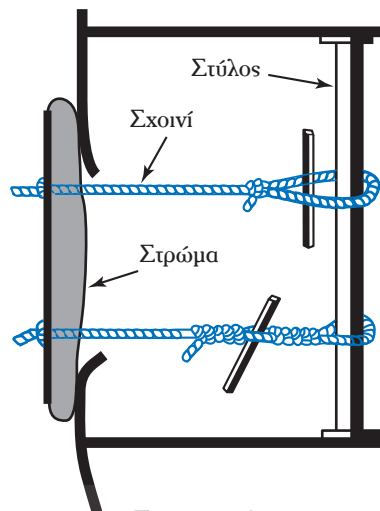
### 13.19 Σχέδια και μελέτες για επιβατικά πλοία σχετικά με την προστασία από διαρροή.

#### 1) Γενικά.

Επειδή τα επιβατικά πλοία χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλου αριθμού επιβατών κάθε ηλικίας και μάλιστα όχι εξοικειωμένους με το θαλάσσιο στοιχείο, είναι απαραίτητο να πληρούν ειδικά αυστηρούς κανονισμούς ασφαλείας.

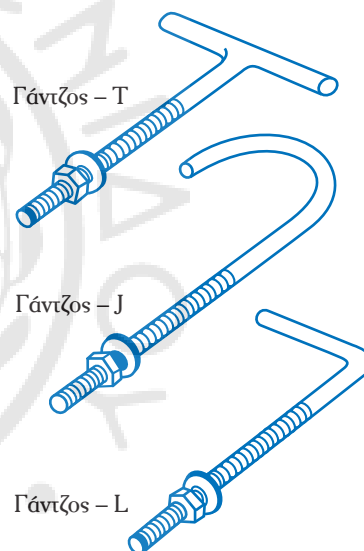
Η απόδειξη, αλλά κυρίως οι προϋποθέσεις για την εξασφάλιση της τηρήσεως των παραπάνω κανόνων ασφαλείας, επιβάλλει την εκπόνηση ειδικών μελετών. Η γνώση των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει από αυτές τις μελέτες είναι ουσιαστική για τον πλοίαρχο, γιατί του επιτρέπει να γνωρίζει:

α) Μέχρι πού φτάνει η ασφάλεια του πλοίου του, κυρίως από την άποψη της κατακλύσεως στεγανών διαμερισμάτων του, μετά από ενδεχόμενο ατύχημα προτού αποφασίσει, για παράδειγμα, να διατάξει την εγκατάλειψή του.



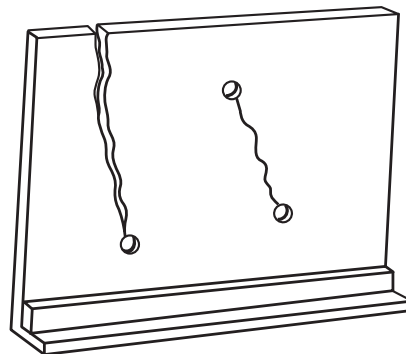
Σχ. 13.18β.

Παράδειγμα στεγανοποίησης μεγάλης οπής με απλά μέσα.



Σχ. 13.18γ.

Διάφορα είδη γάντζων.



Σχ. 13.18δ.

Μέθοδος διακοπής της επεκτάσεως ρωγμής.

β) Τι πρέπει να γίνεται στο πλοίο, για να είναι τα παραπάνω περιθώρια ασφάλειας **πράγματι** εξασφαλισμένα όταν χρειαστεί.

Παρακάτω δίνεται συνοπτική περιγραφή των ειδικών αυτών μελετών.

## 2) Μελέτη κατακλύσεως (floodable lengths curve).

Σ' αυτήν τη μελέτη εξετάζονται οι επιπτώσεις από την κατάκλυση ενός ή περισσοτέρων διαδοχικών στεγανών διαμερισμάτων του πλοίου και συγκεκριμένα η ικανότητά του μετά απ' αυτήν να μην αυξήσει το βύθισμά του τόσο, που να υπερβεί τη γραμμή ορίου βυθίσεως. Για τους σχετικούς υπολογισμούς θα πρέπει να γνωρίζουμε:

α) Το βύθισμα στο οποίο πλέει το πλοίο αρχικά.

β) Τη θέση και το μέγεθος του διαμερίσματος ή των διαμερισμάτων που υποτίθεται ότι θα βρεθούν σε επικοινωνία με τη θάλασσα.

γ) Το βαθμό, στον οποίο μπορεί να γεμίσει το νερό το διαμέρισμα λόγω της παρουσίας μέσα σ' αυτό διαφόρων αντικειμένων (διαχωρητότητα).

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης βρίσκονται συγκεντρωμένα σ' ένα σχέδιο, το οποίο ονομάζεται **σχέδιο κατακλυσίμων μπκών** (floodable length curve). Το σχέδιο αυτό (σχ. 13.10β) δείχνει σε ποια στεγανά διαμερίσματα ή σε ποιους συνδυασμούς στεγανών διαμερισμάτων είναι δυνατή η κατάκλυση, χωρίς να δημιουργείται βύθιση του πλοίου σε τέτοια ίσαλο που να πλησιάζει το **κατάστρωμα στεγανής υποδιαιρέσεως** (subdivision deck) στην πλευρά (στεγανό κατάστρωμα μέχρι το οποίο φθάνουν οι στεγανές φράκτες) σε απόσταση μικρότερη από 3 in.

Υποτίθεται ότι όταν η στάθμη του νερού βρίσκεται χαμηλότερα από το παραπάνω όριο, που αποτελεί τη λεγόμενη **γραμμή ορίου βυθίσεως** (margin line), θα αποφευχθεί η προοδευτική κατάκλυση και άλλων διαμερισμάτων από ανοίγματα πάνω από το κατάστρωμα στεγανής υποδιαιρέσεως, πράγμα που θα μπορούσε να δημιουργήσει ολική βύθιση του πλοίου. Οι σχετικοί υπολογισμοί γίνονται για κατάσταση ήρεμου νερού (χωρίς κυματισμό).

Το σχέδιο κατακλυσίμων μπκών δεν δίνει στοιχεία ούτε για τα τελικά (μετά την κατάκλυση) βυθίσματα ούτε για την τελική ευστάθεια του πλοίου.

Οι ευθείες που φέρονται στα άκρα των στεγανών φρακτών του πλοίου σχηματίζουν με το οριζόντιο επίπεδο γωνία  $63^{\circ} 26'$ . Όπου το σημείο τομής δύο τέτοιων ευθειών βρίσκεται κάτω από την καμπύλη, η κατάκλυση του διαμερίσματος δεν θα επιφέρει βύθιση του πλοίου πιο κάτω από τη **γραμμή ορίου βυθίσεως**. Το ίδιο ισχύει για κάθε ζευγάρι διαδοχικών διαμερισμάτων. Στο σχήμα 13.10β κανένα διαμέρισμα, αν κατακλυσθεί μόνο του, δεν δημιουργεί βύθιση του πλοίου κάτω από τη γραμμή του ορίου βυθίσεως.

Οι καμπύλες που φαίνονται στο σχήμα 13.10β αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο αρχικό βύθισμα του πλοίου. Για αλλά βυθίσματα θα είχαμε άλλες καμπύλες. Όσο το βύθισμα αυξάνεται, τόσο οι καμπύλες κατεβαίνουν χαμηλότερα.

**Σε πολλές περιπτώσεις, σε σχέδια σαν αυτό του σχήματος 13.10β, εκτός από το κατακλύσιμο, φαίνεται και το επιτρεπόμενο μήκος διαμερισμάτων (ορισμοί των δύο μπκών έχουν δοθεί στην παράγρ. 13.10.3).**

## 3) Μελέτη ευστάθειας στην άθικτη κατάσταση.

Λέμε ότι ένα πλοίο βρίσκεται σε **άθικτη κατάσταση**, όταν κανένα από τα διαμερίσματά του δεν βρίσκεται σε ελεύθερη επικοινωνία με τη θάλασσα.

Ένα επιβατικό πλοίο οφείλει, σύμφωνα με τους κανονισμούς, να ικανοποιεί, όταν βρίσκεται σε άθικτη κατάσταση, ορισμένες απαιτήσεις ευστάθειας. Συνοπτικά, οι απαιτήσεις αυτές αφορούν στο μέγεθος της εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου κάτω από την επίδραση των παρακάτω αιτίων.

α) Της δυσμενούς κατανομής και αριθμού επιβατών, όπου εξετάζονται οι επιπτώσεις που δημιουργούνται στην ευστάθεια, όταν υποθεθεί ότι όλοι οι επιβάτες του πλοίου βρίσκονται στα ανώτερα καταστρώματα και μάλιστα προς τη μία πλευρά τους.

β) Της επιδράσεως του ανέμου, όπου εξετάζονται οι επιπτώσεις που δημιουργούνται στην ευστάθεια,

όταν το πλοίο υφίσταται την πνοή από την πλευρά ανέμου συγκεκριμένης εντάσεως.

γ) Της στροφής του πλοίου με τη μέγιστη ταχύτητά του.

Οι συγκεκριμένες παράμετροι για τις τιμές των οποίων εξετάζονται τα παραπάνω θέματα, καθώς και οι απαραίτητες απαιτήσεις συμπεριφοράς του πλοίου καθορίζονται από νομοθετημένους κανονισμούς.

Η δυνατότητα ενός συγκεκριμένου πλοίου να ικανοποιήσει τις παραπάνω απαιτήσεις, εξαρτάται από τα βυθίσματα στα οποία πλέει και από το μετακεντρικό του ύψος. Με βάση τα παραπάνω, τα αποτελέσματα της μελέτης ευστάθειας σε άθικτη κατάσταση συνοψίζονται σ' ένα σχέδιο (μία καμπύλη) συσχετισμού του μετακεντρικού ύψους και του βυθίσματος που εξασφαλίζει οριακά την ικανοποίηση των κανονισμών. Πιο συγκεκριμένα, η παραπάνω καμπύλη δίνει για κάθε βύθισμα το **ελάχιστο μετακεντρικό ύψος** που πρέπει να έχει το πλοίο, ώστε να ικανοποιεί τους κανονισμούς. Εναλλακτικά, αντί για το ελάχιστο μετακεντρικό ύψος, η καμπύλη μπορεί να δίνει την υψηλότερη επιτρεπόμενη κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του (μέγιστο KG).

Με τον παραπάνω τρόπο απεικονίσεως των αποτελεσμάτων είναι εύκολο για τον πλοίαρχο να διαπιστώσει, μ' έναν υπολογισμό ζυγίσεως του πλοίου μόνο (εύρεση μέσου βυθίσματος και KG), κατά πόσο ικανοποιούνται οι κανονισμοί ευστάθειας στην άθικτη κατάσταση, με τους οποίους είναι υποχρεωμένος να συμμορφώνεται.

#### 4) Μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη.

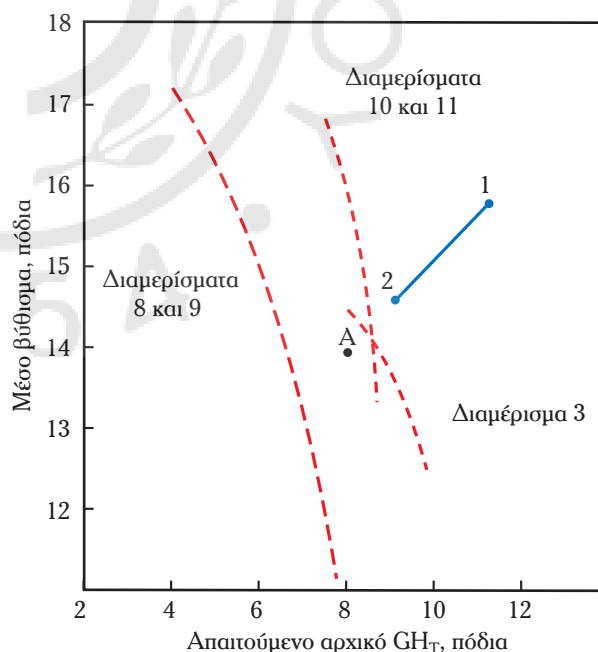
Λέμε ότι ένα πλοίο βρίσκεται σε **κατάσταση βλάβης**, όταν ένα ή περισσότερα διαδοχικά διαμερίσματά του βρίσκονται σε ελεύθερη επικοινωνία με τη θάλασσα. Για παράδειγμα, αν σε ένα πλοίο δημιουργηθεί ρήγμα πάνω σε μία εγκάρσια φρακτί, μπορούμε να πούμε ότι έχει υποστεί βλάβη σε δύο συνεχόμενα στεγανά του διαμερίσματα.

Όπως και στην άθικτη κατάσταση, ένα πλοίο σε κατάσταση βλάβης πρέπει, σύμφωνα με τους κανονισμούς, να ικανοποιεί ορισμένες απαιτήσεις ευστάθειας και πλευστότητας. Λεπτομέρειες δίνονται στη παράγραφο 14.5.

Η μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη έχει ως σκοπό να επιβεβαιώσει τη δυνατότητα του πλοίου να ικανοποιήσει τους σχετικούς κανονισμούς. Ταυτόχρονα, από τη μελέτη προκύπτουν και ορισμένοι συγκεκριμένοι περιορισμοί που σχετίζονται με τη χρησιμοποίηση του πλοίου (π.χ. η υποχρέωση μερικές δεξαμενές του να είναι πάντοτε γεμάτες).

Όπως και στην άθικτη κατάσταση, τα αποτελέσματα της μελέτης μπορούν να συνοψισθούν σε ένα διάγραμμα με μία δέσμη από καμπύλες, η καθεμία από τις οποίες δίνει σε κάθε βύθισμα το απαιτούμενο (για ένα συνδυασμό διαμερισμάτων) **ελάχιστο αρχικό** (πριν από τη βλάβη) **μετακεντρικό ύψος** για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κανονισμών. Παράδειγμα ενός τέτοιου διαγράμματος φαίνεται στο σχήμα 13.19.

Στο σχήμα αυτό βλέπουμε τις απαιτήσεις σε μετακεντρικό ύψος για την ικανοποίηση των κανονισμών για τους συνδυασμούς των διαμερισμάτων 8 και 9, 10 και 11, καθώς και για το διαμέρισμα 3. Επίσης στο σχήμα φαίνονται και δύο καταστάσεις φορτώσεως του πλοίου (άφιξη και αναχώρηση), οι οποίες βρίσκονται δεξιότερα από όλες τις καμπύλες, γεγονός που υποδηλώνει την ικανοποίηση των σχετικών απαιτήσεων.



Σχ. 13.19.

Απαιτήσεις μετακεντρικού ύψους για κάλυψη των απαιτήσεων ευστάθειας μετά από βλάβη. 1) Κατάσταση πλήρους φόρτιου-αναχώρηση. 2) Κατάσταση πλήρους φόρτιου - 10% κατανάλωση καυσίμου.

### **Παράδειγμα 1.**

Το πλοίο στο οποίο αντιστοιχεί το διάγραμμα του σχήματος 13.19 βρίσκεται, σε κάποια χρονική στιγμή ενός ταξιδιού του, να πλέει σε βύθισμα 14 ft και να έχει μετακεντρικό ύψος (διορθωμένο για ελεύθερες επιφάνειες) ίσο με 8 ft.

Ζητείται αν το πλοίο ταξιδεύει σύννομα με τους κανονισμούς για ευστάθεια μετά από βλάβη.

Αν στο διάγραμμα του σχήματος δούμε το σημείο που έχει τις παραπάνω συντεταγμένες ( $H_M = 14$  ft και  $GM_T = 8$  ft) παρατηρούμε ότι:

- Το σημείο Α βρίσκεται προς τα δεξιά της καμπύλης που ισχύει για το ζεύγος των διαμερισμάτων 8 και 9, γεγονός που σημαίνει ότι ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των κανονισμών.
- Το σημείο βρίσκεται προς τα αριστερά τόσο της καμπύλης που ισχύει για το διαμέρισμα 1, όσο και εκείνης που ισχύει για το διαμέρισμα 3, γεγονός που σημαίνει ότι γι' αυτά τα δύο διαμερίσματα δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των κανονισμών.

**Για να είναι σύννομος ο πλοίαρχος θα πρέπει να λάβει μέτρα, ώστε να αυξήσει το μετακεντρικό ύψος του πλοίου (περίπου στα 9,5 ft).**

### **Παράδειγμα 2.**

Τι θα συμβεί, αν στο πλοίο στο οποίο αντιστοιχεί το διάγραμμα κατακλυσίμων μπκών του σχήματος 13.19 δημιουργηθεί ρήγμα πάνω στη φρακτή που χωρίζει το λεβητοστάσιο από το μηχανοστάσιο.

Σε μία τέτοια περίπτωση ρήγματος θα έχουμε κατάκλυση και των δύο διαμερισμάτων. Επομένως τα δύο διαμερίσματα θα πρέπει να θεωρηθούν ως ένα.

Αν επεκτείνουμε την αριστερή πλευρά του τριγώνου του μηχανοστασίου και τη δεξιά του τριγώνου του λεβητοστασίου, παρατηρούμε ότι το σημείο τομής τους βρίσκεται πάνω από την καμπύλη των κατακλυσίμων μπκών.

**Επομένως, σ' αυτήν την περίπτωση το πλοίο θα πλεύσει σε ίσαλο πάνω από τη γραμμή του ορίου βυθίσεως (μη ικανοποιητική κατάσταση).**

## **13.20 Σχέδια και μελέτες ειδικά για φορτηγά πλοία.**

### **1) Γενικά.**

Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των τύπων των φορτηγών πλοίων και δεξαμενοπλοίων, είναι δύσκολο να περιγράψει κάποιος κατά ενιαίο τρόπο τα σχέδια και τις μελέτες, που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον πλοίαρχο. Κάποιες λεπτομέρειες για συγκεκριμένα είδη φορτίων θα δοθούν στο κεφάλαιο 16.

### **2) Εγχειρίδιο ευστάθειας (stability manual).**

Οι διάφοροι κρατικοί και διεθνείς οργανισμοί που έχουν ως σκοπό την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας και οι Νπογνώμονες έχουν θεσπίσει κανονισμούς οι οποίοι σχετίζονται κυρίως με τη μορφή και τις ιδιότητες της καμπύλης ευστάθειας σε κάθε κατάσταση φορτώσεως ενός φορτηγού πλοίου.

**Το εγχειρίδιο ευστάθειας** είναι μία μελέτη που επιβεβαιώνει την ικανότητα του πλοίου να ικανοποιήσει τους σχετικούς κανονισμούς.

Συνοπτικά ένα εγχειρίδιο ευστάθειας περιέχει τις παρακάτω πληροφορίες:

- α) Παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας.
- β) Στοιχεία του πειράματος ευστάθειας.
- γ) Στοιχεία για τις ελεύθερες επιφάνειες των δεξαμενών.
- δ) Υπολογισμούς για τον έλεγχο ικανοποίησεως των κανονισμών σε συγκεκριμένες καταστάσεις φορτώσεως του πλοίου.
- ε) Στοιχεία, τα οποία πρέπει να χρησιμοποιηθούν από τον πλοίαρχο, ώστε να γίνουν από τον ίδιο υπολογισμοί σε καταστάσεις φορτώσεως διαφορετικές από εκείνες που περιέχονται στο εγχειρίδιο.

## 14. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΕΓΑΝΗ ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

### 14.1 Γενικά.

Κάθε πλοίο πρέπει να έχει επαρκή ευστάθεια, ώστε να μπορεί να πλέει με ασφάλεια σε όλες τις καταστάσεις φορτώσεώς του.

Όπως έχομε ήδη αναφέρει θεωρούμε πως ένα πλοίο βρίσκεται σε **άθικτη κατάσταση** (intact condition), όταν κανένα από τα διαμερίσματά του δεν βρίσκεται σε ελεύθερη επικοινωνία με τη θάλασσα. Αντίθετα, λέμε ότι το πλοίο βρίσκεται σε **κατάσταση βλάβης** (damaged condition), αν ένα ή περισσότερα διαδοχικά ή μη στεγανά διαμερίσματά του βρίσκονται σε ελεύθερη επικοινωνία με τη θάλασσα. Για παράδειγμα, αν σε ένα πλοίο δημιουργηθεί ρήγμα του εξωτερικού του κελύφους πάνω σε μία εγκάρσια φρακτή, λέμε ότι έχει υποστεί βλάβη σε δύο στεγανά διαμερίσματα.

Τα πλοία γενικά κατασκευάζονται έτσι, ώστε να μπορούν να διασωθούν ακόμα και με κάποιο μέγεθος βλάβης στη στεγανή τους υποδιαίρεση.

Αυτό ισχύει πολύ περισσότερο για τα επιβατικά πλοία και λιγότερο για τα φορτηγά.

Από τα παραπάνω εύκολα μπορεί να συμπεράνει κάποιος ότι **για την ασφάλεια κάθε πλοίου είναι απαραίτητο:**

- 1) **Το πλοίο να έχει την απαραίτητη ευστάθεια στην άθικτη κατάσταση.**
- 2) **Το επίπεδο ευστάθειας στην άθικτη κατάσταση να είναι τέτοιο, ώστε να εξασφαλίζεται η ύπαρξη, σε κατάσταση βλάβης, ενός αποδεκτού ελάχιστου επιπέδου ευστάθειας.**
- 3) **Η διάταξη του πλοίου να είναι τέτοια, ώστε τα αποτελέσματα από πιθανή σύγκρουση ή προσάραξη του να μην επεκτείνονται πέρα από την περιοχή που θα υποστεί την άμεση ζημιά.** Για το λόγο αυτό δημιουργείται στα πλοία το **πρωραίο στεγανό συγκρούσεως** (fore peak) και οι χώροι των **διπυθμένων** (double bottom tanks). Για τους ίδιους λόγους τα πλοία υποδιαιρούνται, με εγκάρσιες κυρίως στεγανές φρακτές, σε έναν αριθμό στεγανών διαμερισμάτων.
- 4) **Να υπάρχει στην άθικτη κατάσταση η απαραίτητη εφεδρική πλευστικότητα, ώστε μετά από την επικοινωνία ενός αριθμού συνεχόμενων στεγανών διαμερισμάτων του πλοίου με τη θάλασσα να μη δημιουργούνται συνθήκες που θα είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθηκών που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη βύθισή του.**

Λόγω της σοβαρότητάς τους, όλα τα παραπάνω θέματα δεν αφήνονται στην κρίση του ναυπηγού του πλοίου ή του πλοιοκτήτη. Αντίθετα διάφοροι εθνικοί ή διεθνείς κανονισμοί καθορίζουν ποσοτικά, ανάλογα με τον τύπο και προορισμό του κάθε πλοίου, τις αντίστοιχες απαιτήσεις.

**Ο πλοίαρχος κάθε εμπορικού πλοίου είναι υποχρεωμένος να χρησιμοποιεί τις δυνατότητες του πλοίου του (δεξαμενές, κύπη, αριθμός επιβατών κ.λπ.) κατά τρόπο που να εξασφαλίζει τη συνεχή (σ' όλη τη διάρκεια κάθε ταξιδιού) ικανοποίηση των σχετικών απαιτήσεων των κανονισμών.**

### 14.2 Απαιτήσεις ευστάθειας φορτηγών πλοίων.

Οι νπογνώμονες και οι διάφορες εθνικές αρχές ελέγχου της ναυσιπλοΐας του κράτους του οποίου τη σημαία φέρει ένα πλοίο ή του λιμανιού στο οποίο πραγματοποιείται η φόρτωσή του, καθορίζουν συχνά το απαραίτητο επίπεδο ευστάθειας στην άθικτη κατάσταση των φορτηγών πλοίων.

Παρακάτω δίνονται για παράδειγμα οι κανονισμοί ευστάθειας στην άθικτη κατάσταση που εκδόθηκαν

το 1968 από τον IMO (International Maritime Organization) για επιβατικά και φορτηγά πλοία με μήκος μέχρι 100 m:

1) Η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη μοχλοβραχιόνων επαναφοράς (καμπύλη GZ) δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0,055 μετροακτίνια μέχρι γωνία εγκάρσιας κλίσεως  $30^\circ$  και όχι μικρότερη από 0,09 μετροακτίνια μέχρι γωνία  $40^\circ$  ή γωνία  $\varphi_f$  (αν αυτή είναι μικρότερη από  $40^\circ$ ), όπου  $\varphi_f$  είναι η γωνία εγκάρσιας κλίσεως πάνω από την οποία μεγάλα μη στεγανά ανοίγματα στη γάστρα ή στις υπερκατασκευές του πλοίου αρχίζουν να βυθίζονται στο νερό. Επί πλέον η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη μοχλοβραχιόνων επαναφοράς που βρίσκεται ανάμεσα στις γωνίες  $30^\circ$  και  $40^\circ$  (ή ανάμεσα σε γωνία  $30^\circ$  και  $\varphi_f$  αν η  $\varphi_f$  είναι μικρότερη από  $40^\circ$ ) δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 0,03 μετροακτίνια.

2) Ο βραχίονας επαναφοράς GZ θα πρέπει να έχει τιμή όχι μικρότερη από 0,20 m σε κάποια γωνία εγκάρσιας κλίσεως μεγαλύτερη ή ίση με  $30^\circ$ .

3) Ο μέγιστος βραχίονας επαναφοράς είναι επιθυμητό να εμφανίζεται σε γωνία εγκάρσιας κλίσεως πάνω από  $30^\circ$ , αλλά πάντως όχι μικρότερη από  $25^\circ$ .

4) Το αρχικό μετακεντρικό ύψος  $GM_T$  δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από 0,15 m.

Οι παραπάνω απαιτήσεις ισχύουν τόσο για φορτηγά, όσο και για επιβατικά πλοία και φαίνονται γραφικά στο σχήμα 14.2.

Για ειδικούς τύπους φορτηγών πλοίων (π.χ. μεταφοράς σιτηρών, αλιευτικά) ισχύουν άλλες ειδικότερες απαιτήσεις. Οι σχετικοί κανονισμοί για μεταφορά σιτηρών θα δοθούν στο κεφάλαιο 16.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους πλοίαρχους παρουσιάζει το παρακάτω απόσπασμα από τους κανονισμούς IMO:

«Η συμμόρφωση με τους κανονισμούς δεν εξασφαλίζει πλήρως τη μη ανατροπή του πλοίου και δεν απαλλάσσει τον πλοίαρχο από τις ευθύνες του. Οι πλοίαρχοι θα πρέπει να επιδεικνύουν προσοχή και **ναυτικότητα** (good seamanship) σε συσχέτιση με την εποχή του έτους, την πρόγνωση καιρού και τη ναυτιλιακή περιοχή και, με βάση τα παραπάνω, να επιλέγουν την απαραίτητη πορεία και ταχύτητα».

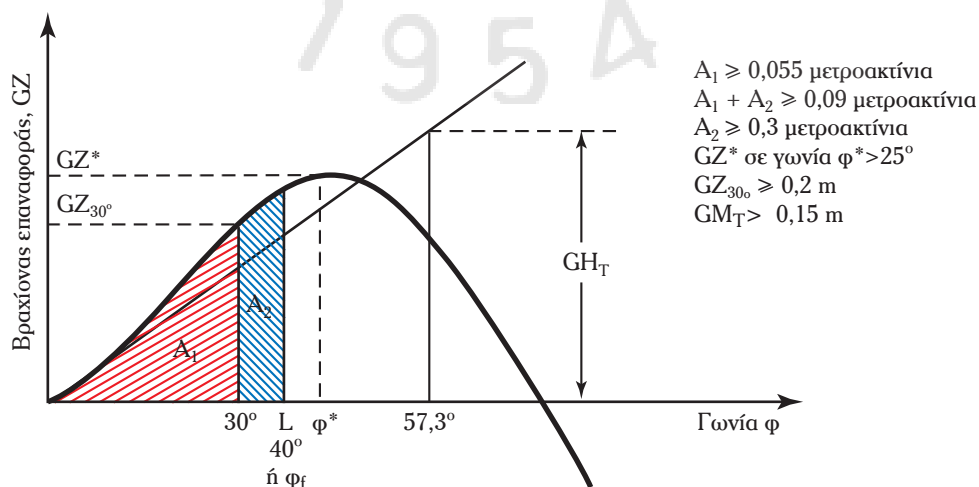
### 14.3 Απαιτήσεις στεγανής υποδιαίρεσεως φορτηγών πλοίων.

Οι σχετικές απαιτήσεις καθορίζονται από τους κανόνες των νηογνωμόνων.

Στοιχεία των σχετικών απαιτήσεων περιέχονται στην παράγραφο 13.10.2.

### 14.4 Απαιτήσεις ευστάθειας των ελληνικών επιβατικών πλοίων στην άθικτη κατάσταση.

Σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς, ένα πλοίο χαρακτηρίζεται ως **επιβατικό** όταν μεταφέρει πε-



Σχ. 14.2.

Απαιτήσεις ευστάθειας IMO για φορτηγά και επιβατικά πλοία.



ρισσότερους από δώδεκα επιβάτες. Επιβάτες θεωρούνται όλοι όσοι επιβαίνουν στο πλοίο και δεν ανήκουν στο πλήρωμα ή δεν χρησιμοποιούνται για την κάλυψη διαφόρων αναγκών του. Επίσης δεν θεωρούνται επιβάτες τα νήπια ηλικίας κάτω του ενός έτους.

Οι απαιτήσεις ως προς την ευστάθεια των ελληνικών επιβατικών πλοίων στην άθικτη κατάσταση περιέχονται στον κανονισμό «Περί εγκρίσεως και θέσεως εις εφαρμογήν κανονισμού περί ευσταθείας επιβατηγών πλοίων». Για την εφαρμογή αυτού του κανονισμού, τα ταξίδια που εκτελούν τα πλοία χαρακτηρίζονται σε:

- 1) **Διεθνή**, από ελληνικά λιμάνια σε ξένα ή αντίστροφα.
- 2) **Μικρά διεθνή**, όταν το πλοίο δεν απομακρύνεται περισσότερο από 200 ν.μ. από λιμάνια ή άλλα σημεία της ακτής, όπου θα ήταν δυνατό να αποβιβαστούν οι επιβάτες (κατηγορία II).
- 3) **Μεγάλα διεθνή**. Έτσι χαρακτηρίζονται τα διεθνή ταξίδια που δεν είναι μικρά (κατηγορία I).
- 4) **Περιορισμένης εκτάσεως**. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται σύντομα ταξίδια στον ίδιο ή συνεχόμενο όρμο, τα οποία εκτελούνται συνήθως κατά τη διάρκεια της ημέρας (κατηγορία IV).
- 5) **Τοπικά**, όταν το πλοίο δεν απομακρύνεται από την ακτή πάνω από 3 ν.μ. και τα ταξίδια του πραγματοποιούνται ανάμεσα σε λιμάνια που δεν απέχουν μεταξύ τους πάνω από 6 ν.μ. (κατηγορία V).
- 6) **Ακτοπλοΐας**. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα ταξίδια που δεν είναι διεθνή, ούτε τοπικά, ούτε περιορισμένης εκτάσεως (κατηγορία III).

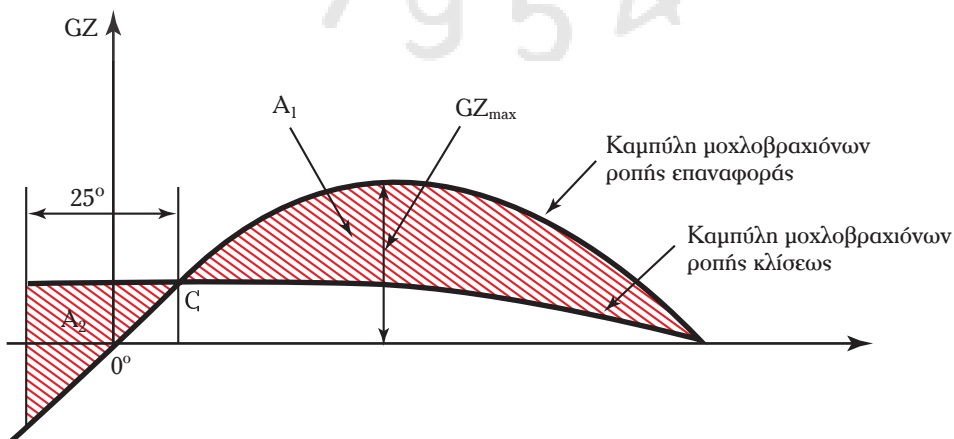
Με βάση τα ταξίδια που πραγματοποιεί κάθε επιβατικό πλοίο, κατατάσσεται σε μία από τις παραπάνω έξι κατηγορίες. Οι απαιτήσεις ως προς την ευστάθεια καθορίζονται ξεχωριστά για κάθε κατηγορία και καλύπτουν:

- 1) Την ευστάθεια του πλοίου στην περίπτωση μετακινήσεως του συνόλου των επιβατών προς τη μία πλευρά του πλοίου στα ανώτερα καταστρώματά του.
- 2) Την ευστάθεια του πλοίου όταν αντιμετωπίζει την πνοή ισχυρού ανέμου από την πλευρά.

Για τα πλοία της κατηγορίας I, π.χ., οι κανονισμοί απαιτούν η γωνία εγκάρσιας κλίσεως, λόγω της μετακινήσεως όλων των επιβατών προς τη μία πλευρά του πλοίου στα ανώτερα καταστρώματά του, να μην είναι μεγαλύτερη από  $8^\circ$ . Η ίδια γωνία δεν πρέπει να υπερβαίνει το μισό εκείνης που θα είχε ως αποτέλεσμα να βυθισθεί η ακμή της πλευράς του καταστρώματος στεγανής υποδιαίρεσεως του πλοίου.

Για την περίπτωση πνοής ισχυρού ανέμου από την πλευρά θα πρέπει:

- 1) Ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς στο σημείο τομής C, μεταξύ της καμπύλης κλίσεως και της καμπύλης επαναφοράς (σχ. 14.4) να μην είναι μικρότερος από  $(0,6 \times GZ_{\max})$  όπου  $GZ_{\max}$  ο μέγιστος μοχλοβραχίονας επαναφοράς.
- 2) Το εμβαδόν  $A_1$  να είναι μεγαλύτερο κατά 40% τουλάχιστον του εμβαδού  $A_2$  (σχ. 14.4).



Σχ. 14.4.

Απαιτήσεις ευσταθείας επιβατικών πλοίων κατηγορίας I.

3) Η μορφή της καμπύλης ευστάθειας θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε ο μέγιστος μοχλοβραχίονας επαναφοράς να εμφανίζεται σε κάποια γωνία μεγαλύτερη από  $30^\circ$  και η γωνία μηδενισμού του μοχλοβραχίονα να μην είναι μικρότερη από  $60^\circ$ .

Οι υπολογισμοί για τη χάραξη της καμπύλης μοχλοβραχιόνων κλίσεως λόγω της πνοής του ανέμου θα πρέπει να γίνουν σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο εδάφιο 2 της παραγράφου 13.4.

Ανάλογες απαιτήσεις (λιγότερο αυστηρές) προβλέπονται και για τις άλλες κατηγορίες επιβατικών πλοίων. **Ιδιαίτερα η ικανοποίηση των απαιτήσεων σε περίπτωση μετακινήσεως επιβατικών πλοίων στον καθορισμό ενός μέγιστου αριθμού επιβατικών που μπορεί να μεταφέρει κάθε επιβατικό πλοίο.** Διευκρινίζεται όμως ότι ο μέγιστος αυτός αριθμός μπορεί να γίνει μικρότερος λόγω της ανάγκης ικανοποιήσεως και άλλων κανονισμών (ευστάθεια και στεγανή υποδιαίρεση σε κατάσταση βλάβης, επάρκεια ενδιαιτήσεων κ.λπ.).

**Ο κανονισμός προβλέπει τις εξής σημαντικές υποχρεώσεις του πλοίαρχου:**

1) Ο πλοίαρχος θα πρέπει να παραλάβει από τον πλοιοκτήτη, σε γραπτή μορφή, όλες τις σχετικές με τα παραπάνω θέματα πληροφορίες, περιλαμβανομένων και των οδηγιών ερμηνείας του πλοίου.

2) Ο πλοίαρχος είναι υπεύθυνος για την τήρηση των σχετικών οδηγιών.

3) Σε περίπτωση αποχωρήσεως, ο απερχόμενος πλοίαρχος έχει την υποχρέωση να παραδώσει στον αντικαταστάτη του με πρωτόκολλο τις σχετικές οδηγίες.

#### **14.5 Απαιτήσεις στεγανής υποδιαίρεσης και ευστάθειας επιβατικών πλοίων σε κατάσταση βλάβης.**

Οι απαιτήσεις που αφορούν στη στεγανή υποδιαίρεση και στην ευστάθεια των επιβατικών πλοίων καθορίζονται λεπτομερώς στη **Διεθνή Σύμβαση για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα (SOLAS 1974).**

Συνοπτικά, οι απαιτήσεις αυτές περιλαμβάνουν:

1) Την δυνατότητα από κάθε επιβατικό πλοίο να υποστεί κατάκλυση ενός αριθμού συνεχόμενων στεγανών διαμερισμάτων του, όπως καθορίζονται από τους κανονισμούς, χωρίς αυτό το συμβάν να έχει ως αποτέλεσμα την προοδευτική κατάκλυση και άλλων διαμερισμάτων του πλοίου, επακόλουθο που θα οδηγούσε στη βύθισή του.

2) Την ικανοποίηση, μετά την κατάκλυση των παραπάνω χώρων, των εξής απαιτήσεων ευστάθειας:

α) Σε περίπτωση συμμετρικής κατακλύσεως το μετακεντρικό ύψος που απομένει να μην είναι μικρότερο από 0,05 m.

β) Σε περίπτωση ασύμμετρης κατακλύσεως, η εγκάρσια κλίση να μην υπερβαίνει τις  $7^\circ$  ή τη γωνία εκείνη που θα είχε ως αποτέλεσμα τη βύθιση στο νερό της ακμής της πλευράς του καταστρώματος στεγανής υποδιαίρεσης.

Σύμφωνα με τα καθοριζόμενα στους σχετικούς κανονισμούς, ο **πλοίαρχος κάθε επιβατικού πλοίου θα πρέπει:**

1) Να γνωρίζει τις προϋποθέσεις και να εφαρμόζει ανελλιπώς τους αναγκαίους περιορισμούς για την ικανοποίηση, σε περίπτωση κατακλύσεως, των παραπάνω απαιτήσεων. Στους περιορισμούς αυτούς καθορίζονται λεπτομέρειες, όπως το μέγιστο και ελάχιστο βύθισμα του πλοίου, η θέση του κέντρου βάρους κατά την κατακόρυφο, ο τρόπος χρησιμοποίησης των δεξαμενών κ.ά..

2) Να τηρεί με σχολαστικότητα όλα τα μέτρα που εξασφαλίζουν ότι η στεγανή υποδιαίρεση του πλοίου βρίσκεται συνεχώς σε άριστη κατάσταση, έτσι ώστε οποιαδήποτε διαρροή σε κάποιο στεγανό διαμέρισμά του να μην επεκταθεί και πέρα από αυτό.

Οι απαιτήσεις αρχικού μετακεντρικού ύψους που εξασφαλίζουν την τήρηση των παραπάνω κανονισμών σε περίπτωση βλάβης περιέχονται στη **μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη του πλοίου.**

Τα αποτελέσματα, προκειμένου να μπορούν να χρησιμοποιούνται εύκολα από τον πλοίαρχο, δίνονται σ' ένα διάγραμμα συσχετισμού του απαιτούμενου αρχικού μετακεντρικού ύψους με το βύθισμα του πλοίου.

Κάτι ανάλογο γίνεται και για την ευστάθεια στην άθικτη κατάσταση (σχ. 13.19).

#### 14.6 Ενοποιημένες απαιτήσεις ευστάθειας.

Στους σκοπούς αυτού του βιβλίου δεν περιλαμβάνεται η λεπτομερής αναφορά στους εξειδικευμένους κανονισμούς των οργανισμών που έχουν ως έργο τους την έκδοση και συνεχή αναθεώρηση των κανονισμών που αφορούν στην ασφάλεια των πλοίων. Παρ' όλα αυτά εδώ γίνεται αναφορά στον πρόσφατο κανονισμό [RESOLUTION MSC.267(85), adopted on 4 December 2008] στον οποίο περιέχονται:

1) **Υποχρεωτικές διατάξεις** που όλες οι χώρες, οι οποίες έχουν αποδεχθεί τη SOLAS και τη σύμβαση περί γραμμής φορτώσεως θα πρέπει να θεσμοθετήσουν και να εφαρμόζουν. Αφορούν στα γενικά κριτήρια δυναμικής ευστάθειας και ευστάθειας μεγάλων γωνιών κλίσεως, καθώς και ειδικότερες απαιτήσεις ευστάθειας για επιβατικά πλοία, δεξαμενόπλοια πάνω από 5000 dwt, φορτηγά πλοία μεταφοράς ξυλείας στο κατάστρωμα, πλοία μεταφοράς σιτηρών και ταχύπλοα.

2) **Υποδείξεις (προαιρετικές)** για ορισμένους τύπους πλοίων και γενικότερες οδηγίες, στις οποίες περιλαμβάνονται:

- α) Οδηγίες για τη σχεδίαση ειδικών τύπων πλοίων.
- β) Οδηγίες για την προετοιμασία εγχειριδίων ευστάθειας.
- γ) Οδηγίες για την πραγματοποίηση υπολογισμών από τις συσκευές ευστάθειας (stability instruments).
- δ) Προληπτικά μέτρα για την αποφυγή ανατροπής.
- ε) Απόψεις ευστάθειας σχετικά με τη δημιουργία πάγου στα καταστρώματα.
- στ) Απόψεις σχετικά με την υδατοστεγανότητα των πλοίων.
- ζ) Λεπτομερείς οδηγίες για την πραγματοποίηση του πειράματος ευστάθειας.

(Για λεπτομέρειες στα παραπάνω θέματα ο αναγνώστης παραπέμπεται στις λεπτομέρειες του κανονισμού MSC 85/26/Add.1).

#### 14.7 Απλοποιημένη προσέγγιση ευστάθειας.

Όπως είδαμε μέχρι τώρα, η γνώση του εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους ενός πλοίου σε κάθε κατάσταση φορτώσεώς του, είναι μεν ενδεικτική του επιπέδου εγκάρσιας ευστάθειας, δεν αποτελεί όμως απόλυτα επαρκές στοιχείο για την επιβεβαίωση της ανταποκρίσεώς του στις απαιτήσεις των κανονισμών, που αναφέρονται και σε ειδικότερα στοιχεία των καμπυλών ευστάθειας, καθώς και στη δυναμική ευστάθεια.

Λόγω της δυσκολίας πραγματοποίησεως των σχετικών υπολογισμών από τους χειριστές καθιερώθηκαν αρχικά για τα μικρά πλοία και προοδευτικά για τα μεγαλύτερα διάφοροι άλλοι, πιο απλοί, τρόποι, με τους οποίους οι χειριστές είναι εύκολο να επιβεβαιώσουν την ανταπόκριση του πλοίου τους με τις απαιτήσεις των κανονισμών για την ύπαρξη επαρκούς (ή όχι) ευστάθειας.

Οι σχετικές μέθοδοι βασίζονται σε εκτεταμένους υπολογισμούς που έχουν γίνει εκ των προτέρων από τους ναυπηγούς και τα αποτελέσματά τους σε απλοποιημένη μορφή, κατάλληλη για εύκολη χρήση από τους χειριστές είναι διαθέσιμα, με τη μορφή πινάκων ή νομογραφημάτων σε αρκετά πλοία. Τέτοιοι πίνακες ή νομογραφήματα προδιαγράφουν συνήθως οριακές τιμές των ακολούθων στοιχείων, που αν βρίσκονται μέσα στα όρια, είναι εξασφαλισμένη η ικανοποίηση του συνόλου των απαιτήσεων των κανονισμών για το συγκεκριμένο πλοίο (και το συγκεκριμένο φορτίο):

- 1) Πίνακας ή διάγραμμα ελάχιστου επιτρεπόμενου GM.
- 2) Πίνακας ή διάγραμμα μέγιστου επιτρεπόμενου KG.
- 3) Πίνακας ή διάγραμμα μέγιστης επιτρεπόμενης ροπής του deadweight.

Το διάγραμμα μέγιστης επιτρεπόμενης ροπής του deadweight αποτελεί την πλέον απλοποιημένη και εύχρηστη διαδικασία και έχει τη μορφή του σχήματος 14.7 όπου ο κατακόρυφος άξονας αναφέρεται στο deadweight του πλοίου σε MT και ο οριζόντιος στην κατακόρυφη ροπή του deadweight σε MT-m.

**Τονίζουμε εδώ ότι κάθε τέτοιο διάγραμμα έχει εφαρμογή μόνο στο συγκεκριμένο πλοίο (ή τα απολύτως αδελφά με αυτό).**

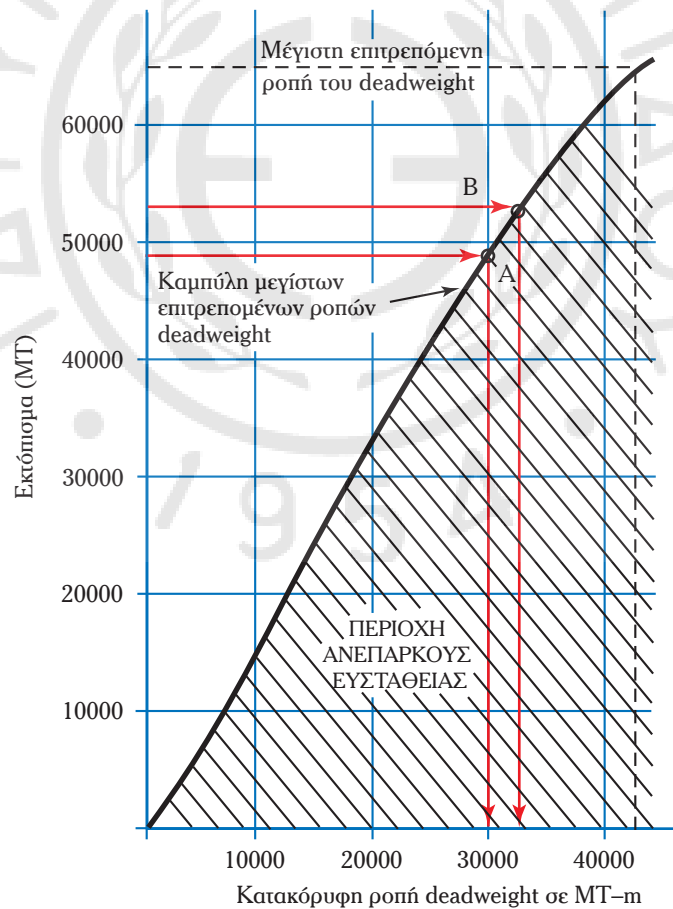
Όπως βλέπουμε το διάγραμμα αποτελείται από δύο περιοχές, από τις οποίες η αριστερή περιέχει συνδυασμούς σημείων αποδεκτής ευστάθειας και η δεξιά μη αποδεκτής. Για παράδειγμα όταν το εκτόπισμα του συγκεκριμένου πλοίου είναι 48000 MT, η μέγιστη επιτρεπόμενη ροπή του deadweight είναι 300000 MT-m. Αν το άφορτο εκτόπισμα του πλοίου είναι για παράδειγμα 12432 MT, το deadweight θα είναι  $48000 - 12432 = 35568$  MT και επομένως θα έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{Μέγιστο επιτρεπόμενο KG} &= (\text{μέγιστη ροπή deadweight}) / \text{deadweight} = \\ &= (300000) / 35568 = 8,43 \text{ m} \end{aligned}$$

### Παράδειγμα 1.

Αν υποθέσουμε ότι το διάγραμμα του σχήματος 14.7 ισχύει για τη φόρτωση ενός πλοίου, όπως φαίνεται στον πίνακα 14.7.1 να εξεταστεί αν σε αυτήν την κατάσταση φορτώσεως το πλοίο καλύπτει τους κανονισμούς εγκάρσιας ευστάθειας.

Από το σχήμα 14.7 για το εκτόπισμα του συγκεκριμένου πλοίου 53232 MT, η μέγιστη επιτρεπόμενη ροπή του deadweight είναι 305000 MT-m. Εφόσον το άφορτο εκτόπισμα του πλοίου είναι 12432 MT το deadweight θα είναι  $53232 - 12432 = 40800$  MT και επομένως θα έχουμε:



**Σχ. 14.7.**

*Συνοχρισμός εκτοπίσματος και μέγιστης επιτρεπόμενης ροπής.*

$$\begin{aligned} \text{Μέγιστο επιτρεπόμενο KG} &= (\text{μέγιστη ροπή deadweight})/\text{deadweight} = \\ &= (305000)/40800 = 7,47 \text{ m.} \end{aligned}$$

Αλλά το KG του πλοίου όπως βλέπομε στον παραπάνω πίνακα βρίσκεται πολύ ψηλότερα (στα 9,91 m). Επομένως μ' αυτόν τον τρόπο φορτώσεως δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις ευστάθειας.

### Παράδειγμα 2.

Ζητείται να βρεθεί ποια είναι η μεγαλύτερη τιμή του KG, ώστε το πλοίο του παραδείγματος να επιτρέ-

**Πίνακας 14.7.1**  
**Καταγραφή βαρών και ροπών για ολόκληρο το πλοίο.**

| στήλη 1   | στήλη 2                    | στήλη 3        | στήλη 4                      | στήλη 5                                | στήλη 6                       | στήλη 7                                  | στήλη 8                                 |
|---|----------------------------|----------------|------------------------------|--|-------------------------------|--|---|
| Περιγραφή   | 1/S.F<br>MT/m <sup>3</sup> | Βάρος<br>(MT)  | Διαμήκης<br>βραχίονας<br>(m) | Διαμήκης ροπή<br>= (3) × (4)<br>(MT)–m | Κατακόρυφος<br>βραχίονας<br>m | Κατακόρυφη<br>ροπή = (3) × (6)<br>(MT)–m | Ελεύθερη<br>επιφάνεια<br>m <sup>2</sup> |
| Φορτίο<br>(πίνακας 6.4.2)   | 0,798                      | 40361          | 103,78                       | 4188569                                | 9,08                          | 366391                                   |   |
| Πετρέλαιο<br>λεβήτων<br>(πίνακας 6.4.1)                             | 0,920                      | 150            | 12,29                        | 1844                                   | 12,22                         | 1833                                     | 7                                       |
| Πετρέλαιο<br>Diesel (πίνακας<br>6.4.1)                              | 0,860                      | 50             | 11,58                        | 579                                    | 12,08                         | 604                                      | 8                                       |
| Λάδι<br>λιπάνσεως<br>(πίνακας 6.4.1)                                | 0,860                      | 59             | 21,86                        | 1290                                   | 12,25                         | 723                                      | 6                                       |
| Πόσιμο νερό<br>(πίνακας 6.4.1)                                      | 1,000                      | 79             | 13,28                        | 1049                                   | 8,96                          | 708                                      | 13                                      |
| Υγρό έρμα   | 1,025                      |                |                              |  |                               |  |   |
| Πλήρωμα και<br>εφόδια   |                            | 101            | 72,65                        | 7338                                   | 15,91                         | 1607                                     |   |
| Deadweight<br>Άφορτο πλοίο  |                            | 40800<br>12432 | 102,96<br>87,57              | 4200669<br>1088670                     | 9,11<br>12,08                 | 371866<br>150179                         |   |
| Σύνολο<br>εκποπίσματος  |                            | 53232          | 99,36                        | 5289339                                | 9,91                          | 522045                                   | 36                                      |
| Διαμήκης<br>θέση<br>κέντρου<br>βάρους } = 5289339 / 53232 = 99,36 m |                            |                |                              |  |                               |  |   |
| Κατακόρυφη<br>θέση<br>κέντρου βάρους } = 522045 / 53232 = 9,81 m    |                            |                |                              |  |                               |  |   |

πεται να μεταφέρει deadweight 35000 MT και ταυτόχρονα να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ευστάθειας των κανονισμών.

Τώρα το εκτόπισμα του συγκεκριμένου πλοίου θα είναι  $35000 + 12432 = 47432$  MT και από το σχήμα 14.7 η μέγιστη επιτρεπόμενη ροπή του deadweight θα είναι 290000 MT-m. Άρα θα έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{Μέγιστο επιτρεπόμενο KG} &= (\text{μέγιστη ροπή deadweight})/\text{deadweight} = \\ &= (290000)/35000 = 8,28 \text{ m} \end{aligned}$$



## 15. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΨΟΥΣ ΕΞΑΛΩΝ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑ ΤΥΠΟΥ Α ΚΑΙ Β

### 15.1 Γενικά.

Γνωρίζουμε ήδη τους ορισμούς του έμφορτου και άφορτου εκτοπίσματος, καθώς και του deadweight. Στο κεφάλαιο αυτό θα δοθούν περισσότερα στοιχεία προς εφαρμογή των κανονισμών της Διεθνούς Συμβάσεως περί Γραμμής Φορτώσεως από τους χειριστές των πλοίων.

Από όσα έχομε ήδη αναφέρει, η ύπαρξη αυξημένου εφεδρικού ύψους ή ύψους εξάλων σ' ένα πλοίο αυξάνει το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος, τους μοχλοβραχίονες επαναφοράς, το εύρος εγκάρσιας ευστάθειας, τη γωνία βυθίσεως της ακμής του καταστρώματος όταν υπάρχει εγκάρσια κλίση και τη δυναμική ευστάθεια.

Αντίθετα το αυξημένο ύψος εξάλων οδηγεί σε ελάττωση του εκτοπίσματος και κατ' επέκταση το deadweight του πλοίου.

Οι δύο αυτές αντιθέμενες μεταξύ τους επιρροές επέβαλλαν από πολύ νωρίς (1876) την ανάγκη θεσπίσεως ειδικής νομοθεσίας που καθορίζει μέσω του ύψους εξάλων το μέγιστο φορτίο που μπορούν να μεταφέρουν τα πλοία έτσι, ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες ατυχημάτων από υπερφόρτωση.

Το 1930 και κυρίως το 1966 τροποποιήθηκαν και κωδικοποιήθηκαν οι σχετικές απαιτήσεις. Ιδιαίτερα γνωστή είναι η «**Η σύμβαση περί Γραμμών Φορτώσεως, Merchant Shipping (Load line) regulations, 1966**», η οποία μετά από διαδοχικές συμπληρώσεις/αναθεωρήσεις, στα πλαίσια της SOLAS και του IMO πήρε τη μορφή **Merchant Shipping (Load line) regulations, 1998**, ενώ συμπλήρωση και αυτής έγινε με τον κανονισμό **Merchant Shipping (Load line) (amendments) regulations, 2000**.

Από τη **σύμβαση** (όπως για λόγους συντομίας θα αναφέρομε σε αυτό το κεφάλαιο τους σχετικούς κανονισμούς) είναι υποχρεωτικό κάθε πλοίο να έχει ένα ελάχιστο **ύψος εξάλων** (freeboard) για τους παρακάτω λόγους:

1) **Για την ίδια την ασφάλειά του.**

Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος εξάλων τόσο μεγαλύτερη είναι η εφεδρική πλευστότητα του πλοίου και επομένως τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα διασώσεώς του σε περίπτωση βλάβης (ρήγματος) στο εξωτερικό του περιβλημα.

2) **Για την ασφάλεια του πληρώματος.**

Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος εξάλων τόσο μεγαλύτερα περιθώρια ασφάλειας και ανέσεως στους χειρισμούς (π.χ. κυκλοφορία στο ανοικτό κατάστρωμα) εξασφαλίζονται στο πλήρωμα σε κατάσταση θαλασσοταραχής.

### 15.2 Καθορισμός ύψους εξάλων για πλοία τύπου Α και Β.

Το ύψος εξάλων που πρέπει να έχει κάθε πλοίο προκύπτει από την εφαρμογή των κανόνων της διεθνούς συμβάσεως για τη γραμμή φορτώσεως.

Ένα **βασικό ύψος εξάλων** καθορίζεται από τη σύμβαση, με βάση **το μήκος για τον καθορισμό του ύψους εξάλων,  $L_F$**  και τον τύπο του πλοίου που διακρίνεται σε **τύπο Α και τύπο Β**.

Ειδικότερα:

1) **Ως πλοία τύπου Α** χαρακτηρίζονται τα πλοία που έχουν ως αποκλειστικό προορισμό τη μεταφορά υγρών φορτίων, στα οποία οι δεξαμενές φορτίου έχουν μικρά στόμια με υδατοστεγανά πώματα. Τα πλοία αυτού του τύπου έχουν ψηλό βαθμό ασφάλειας λόγω της πολύ χαμηλής διαχωρητικότητας των χώρων φορτίου τους και για το λόγο αυτό επιτρέπουν οι κανονισμοί μικρότερα ύψη εξάλων.

2) **Ως πλοία τύπου Β** χαρακτηρίζονται όλα τα πλοία που δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως τύπου Α.

Περαιτέρω υποδιαίρεση των πλοίων τύπου Β μπορεί να γίνει με βάση τη δυνατότητά τους να αντιμετω-

πίσουν το ενδεχόμενο ρήγματος με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- α) Κατακόρυφη έκταση ρήγματος ίση με το ύψος του πλοίου.
- β) Βάθος ρήγματος ίσο με το 1/5 του πλάτους του πλοίου.
- γ) Το ρήγμα δεν προκαλεί βλάβη σε κύρια εγκάρσια φρακτιά.
- δ) Η τιμή του KG βασίζεται σε ομοιόμορφη φόρτωση των αμπαριών και τα καταναλώσιμα υγρά και εφόδια στο 50% των μεγίστων ποσοτήτων που μπορούν να παραληφθούν στο πλοίο.

Με βάση τα παραπάνω:

1) Ως **πλοία τύπου (B-60)** χαρακτηρίζονται τα πλοία που έχουν μήκος μεταξύ 100 και 150 m και μπορούν να ανταπεξέλθουν σε κατάκλυση οποιουδήποτε στεγανού τους διαμερίσματος (πλην του μηχανοστασίου) ή έχουν μήκος μεγαλύτερο από 150 m, αλλά πέραν των άλλων στεγανών διαμερισμάτων μπορούν να ανταπεξέλθουν και σε κατάκλυση του μηχανοστασίου τους.

2) Ως **πλοία τύπου (B-100)** χαρακτηρίζονται τα πλοία που έχουν μήκος μεταξύ 100 και 150 m και μπορούν να ανταπεξέλθουν σε κατάκλυση οποιωνδήποτε δύο διαδοχικών στεγανών τους διαμερισμάτων (πλην του μηχανοστασίου) ή έχουν μήκος μεγαλύτερο από 150 m, αλλά πέραν των άλλων ζευγών στεγανών διαμερισμάτων, στην κατάκλυση των οποίων μπορούν να ανταπεξέλθουν, περιλαμβάνεται και το μηχανοστάσιό τους. Τα πλοία με αυτήν την τελευταία δυνατότητα μπορούν να θεωρηθούν και ως πλοία κατηγορίας A.

Για κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες η σύμβαση δίνει, με τη μορφή πίνακα, το αναγκαίο βασικό ύψος εξάλων, ως συνάρτηση του  $L_F$  (που και αυτού ο τρόπος μετρήσεως καθορίζεται στη σύμβαση).

Οι τιμές του αναγκαίου βασικού ύψους εξάλων φαίνονται με τη μορφή καμπύλης στο σχήμα 15.2.

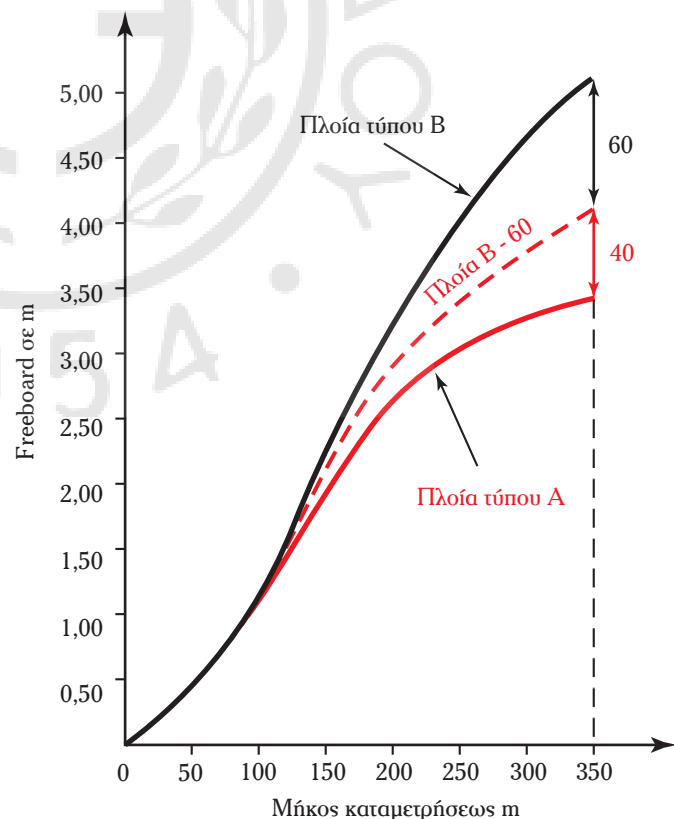
**Το βασικό ύψος εξάλων που παρέχεται από τους προαναφερθέντες πίνακες αναφέρεται σε ένα πρότυπο πλοίο και γι' αυτόν το λόγο πρέπει, προκειμένου να βρεθεί το πραγματικό αναγκαίο ύψος εξάλων του συγκεκριμένου πλοίου, να γίνουν διορθώσεις για τις αποκλίσεις των χαρακτηριστικών του από το πρότυπο πλοίο (ύψος,  $C_b$ , μήκος και πλάτος της υπερκατασκευής, σιμότητα του καταστρώματος και αντοχή).**

Οι λεπτομέρειες για τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να γίνουν οι παραπάνω διορθώσεις, βρίσκονται εκτός του εύρους αυτού του βιβλίου, **παρέχονται όμως στη σύμβαση**, στην οποία μπορεί ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης να ανατρέξει.

### 15.3 Χάραξη των γραμμών φορτώσεως (plimsoll marks).

Για τον έλεγχο της τηρήσεως των κανονισμών περί Γραμμής Φορτώσεως σε κάθε κατάσταση φορτώσεως, είναι υποχρεωτική η χάραξη σε κάθε πλευρά στο μέσο του πλοίου της **γραμμής του καταστρώματος** (deck line) και των **γραμμών φορτώσεως** (load line marks). Η εν λόγω χάραξη γίνεται συνήθως με συγκολλητά, ανάγλυφα γράμματα και σύμβολα, οι λεπτομέρειες και το μέγεθος των οποίων καθορίζονται στη σύμβαση.

Η γραμμή του καταστρώματος είναι απαραίτητη ως σημείο αναφοράς για τη χάραξη των γραμμών φορτώσεως, οι οποίες με τη σειρά τους δείχνουν μέχρι ποιο σημείο επιτρέπεται να φθάνει η ίσαλος στις διάφορες συνθήκες πλου του караβιού.



Σχ 15.2.

Ελάχιστο επιτρεπόμενο ύψος εξάλων.



Πλήρης χάραξη των γραμμών φορτώσεως ενός πλοίου εικονίζεται στο σχήμα 15.3. Τα γράμματα που φαίνονται στο σχήμα είναι χαραγμένα πάνω στο πλοίο και έχουν τις εξής σημασίες:

1) **S (Summer load line)**. Γραμμή φορτώσεως θέρους που βρίσκεται, για κάθε πλοίο, με τη διαδικασία που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο.

2) **W (Winder load line)**. Γραμμή φορτώσεως χειμώνα. Προκύπτει αν στο ύψος εξάλων θέρους προσθέσουμε  $1/48$  του βυθίσματος θέρους.

3) **WNA (Winder North Atlantic)**. Γραμμή φορτώσεως χειμώνα βόρειου Ατλαντικού. Βρίσκεται για πλοία με μήκος μέχρι 100 m, αν προσθέσουμε 50 mm στο ύψος εξάλων χειμώνα. Σε μεγαλύτερα πλοία οι γραμμές W και WNA συμπίπτουν.

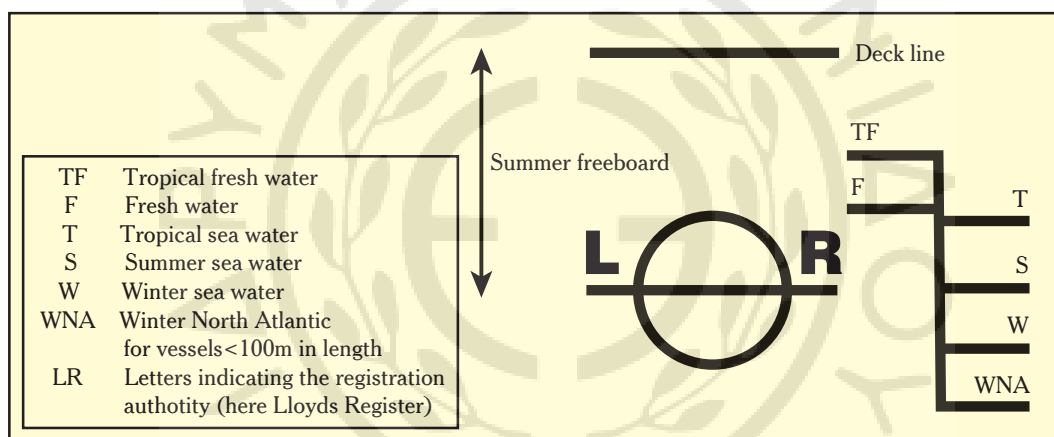
4) **T (Tropical load line)**. Τροπική γραμμή φορτώσεως που βρίσκεται αν από το ύψος εξάλων θέρους αφαιρέσουμε  $1/48$  του βυθίσματος θέρους.

5) **F (Fresh water load line)**. Γραμμή φορτώσεως σε γλυκό νερό. Προκύπτει αν από το ύψος εξάλων αφαιρέσουμε μήκος ίσο με  $\Delta/40$  T (σε cm) ή ίσο με το FWA του πλοίου σε mm, όπου:

- α)  $\Delta$  το εκτόπισμα σε tn στο βύθισμα θέρους και
- β) T οι tn/cm βυθίσματος στην ίσαλο θέρους (TPC).

6) **TF (Tropical fresh water)**. Τροπική γραμμή φορτώσεως σε γλυκό νερό. Προκύπτει αν από το ύψος εξάλων, για γλυκό νερό, αφαιρέσουμε το  $1/48$  του βυθίσματος θέρους.

Στο αριστερό μέρος του σχήματος 15.3 συχνά τοποθετούνται αντίστοιχες γραμμές, οι ονομασίες των



**Σχ. 15.3.**

Χάραξη γραμμής φορτώσεως.

οποίων αρχίζουν με το γράμμα L. Οι γραμμές αυτές ισχύουν στις περιπτώσεις φορτώσεως ξυλείας και η χάραξή τους προκύπτει από την εφαρμογή ειδικών κανονισμών που περιέχονται στη διεθνή σύμβαση για τη γραμμή φορτώσεως για τέτοιες μεταφορές.

#### 15.4 Εφαρμογή κανονισμών γραμμής φορτώσεως.

Για την επιλογή της γραμμής φορτώσεως μέχρι την οποία επιτρέπεται να φορτωθεί ένα πλοίο είναι απαραίτητο να ενταχθεί το ταξίδι του σε κάποια συγκεκριμένη **γεωγραφική και εποχιακή ζώνη ή περιοχή**.

Γενικά οι κανονισμοί προβλέπουν ότι:

1) Ως **περιοχές θέρους** μπορούν να θεωρηθούν εκείνες στις οποίες, στατιστικά, δεν πνέουν άνεμοι εντάσεως πάνω από 8 beaufort για περισσότερο από το 10% του χρόνου.

2) Ως **τροπικές περιοχές** θεωρούνται εκείνες όπου δεν πνέουν άνεμοι με ένταση 8 beaufort και άνω για περισσότερο από 1% του χρόνου, με την προϋπόθεση ότι σε ένα τετράγωνο 5° της περιοχής δεν έχει παρουσιασθεί, οποιονδήποτε μήνα, πάνω από ένας τροπικός κυκλώνας μέσα σε δέκα χρόνια.

Γεωγραφικά και για να είναι σαφέστερη η εφαρμογή των κανονισμών διακρίνουμε τις παρακάτω γεωγραφικές περιοχές και ζώνες:

- 1) Βόρειες χειμερινές εποχιακές ζώνες και περιοχές.
- 2) Νότια εποχιακή ζώνη χειμώνα.
- 3) Τροπική ζώνη.

**Με κάποια μικρή εξαίρεση όλες οι υπόλοιπες περιοχές θεωρούνται ως ζώνες θέρους**, μπορεί δηλαδή σ' αυτές το πλοίο να φορτωθεί μέχρι τη γραμμή S, ανεξάρτητα από την εποχή του έτους.

Για παράδειγμα τα βόρεια όρια της νότιας εποχιακής ζώνης καθορίζονται από τους σχετικούς κανονισμούς ως εξής:

«*Λοξοδρομία από την ανατολική ακτή της αμερικανικής ηπείρου στο ακρωτήριο Τρες-Πούνιας μέχρι το σημείο με πλάτος 34° N και μήκος 50° Δ, από εκεί ο παράλληλος με πλάτος 34° N μέχρι μήκος 17° Α, από εκεί λοξοδρομία μέχρι σημείο με πλάτος 34° N και μήκος 28° Α ... μέχρι τη δυτική ακτή της αμερικανικής ηπείρου*».

Ανάλογα ορίζονται και οι βόρειες χειμερινές ζώνες και η τροπική ζώνη.

Σε κάθε μία από τις παραπάνω περιοχές οι κανονισμοί ορίζουν ποια εποχιακή περίοδος θεωρείται θέρος και ποια χειμώνας. Π.χ. στη νότια εποχιακή ζώνη θεωρείται ότι είναι χειμώνας από τις 16 Απριλίου μέχρι τις 15 Οκτωβρίου και θέρος από τις 16 Οκτωβρίου μέχρι τις 15 Απριλίου.

Έτσι, ένα πλοίο που ταξιδεύει στην παραπάνω περιοχή τον Ιανουάριο επιτρέπεται να φορτωθεί μέχρι την ίσαλο θέρους (S), ενώ το Μάιο μέχρι την ίσαλο χειμώνα (W).

Στους κανονισμούς καθορίζονται επίσης τα γεωγραφικά όρια, μέσα στα οποία έχει εφαρμογή η γραμμή φορτώσεως Βόρειου Ατλαντικού.

Φυσικά, για να βρούμε τι είδους περιοχές θα διασχίσει ένα πλοίο σε ένα μεγάλο ταξίδι, θα πρέπει να ανατρέξουμε στις λεπτομέρειες των κανονισμών της γραμμής φορτώσεως ή στον αντίστοιχο χάρτη που δείχνει τις εποχιακές και γεωγραφικές ζώνες και περιοχές.

Διευκρινίζεται ότι **κάθε πλοίο δεν πρέπει να έχει ύψος εξάλων μικρότερο από εκείνο που καθορίζεται για κάθε περιοχή που θα διασχίσει κατά την αντίστοιχη χρονική περίοδο**. Εφαρμογή της παραπάνω αρχής θα φανεί στο παρακάτω παράδειγμα.

#### **Παράδειγμα.**

Το πλοίο με την κλίμακα φορτώσεως που φαίνεται στο σχήμα 7.8α αναχωρεί από κάποιο λιμάνι της Νότιας Αμερικής με προορισμό την Αγγλία. Το ταξίδι πρόκειται να πραγματοποιηθεί με μέση ταχύτητα 16 κόμβων και με κατανάλωση πετρελαίου 32 tn την ημέρα. Οι άλλες καταναλώσεις έχει εκτιμηθεί ότι θα είναι:

- Πόσιμο νερό 6 tn την ημέρα.
- Εφόδια 1,5 tn την ημέρα.

Το ταξίδι περιλαμβάνει:

- 1100 ν.μ. στην τροπική ζώνη.
- 3200 ν.μ. στη ζώνη θέρους.
- 2000 ν.μ. στην εποχιακή ζώνη.

Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι στο πλοίο απαιτείται να υπάρχουν:

- Επαρκείς ποσότητες πετρελαίου, νερού και εφοδίων για να μπορεί το πλοίο να διανύσει 1200 ν.μ. επί πλέον, μετά την άφιξη στο λιμάνι προορισμού (margin).
- 30 tn μόνιμου φορτίου.

Πόσο φορτίο μπορεί να φορτωθεί στο πλοίο στο λιμάνι αναχωρήσεως;

### 1) Κατά την αναχώρηση από το λιμάνι θα έχουμε:

Συνολική απόσταση ταξιδιού = 1100 + 3200 + 2000 = 6300 ν.μ..

Συνολική θεωρητική απόσταση που πρέπει να καλύψει το πλοίο = 6300 + 1200 = 7500 ν.μ..

|   |  |
|---|--|
| Συνολικός χρόνος ταξιδιού<br>σε ημέρες                  | $= \frac{7500}{16 \times 24} = 19,53$ ημέρες |
| Ποσότητα πετρελαίου                                     | $= 19,53 \times 32 = 624,95$ MT              |
| Ποσότητα νερού  | $= 19,53 \times 6 = 117,18$ MT               |
| Ποσότητα εφοδίων  | $= 19,53 \times 1,5 = 29,29$ MT              |
| Μόνιμο φορτίο   | Σύνολο 771,42 MT<br>30,00 MT                 |
| Σύνολο πετρελαίου, νερού<br>εφοδίων και μόνιμου φορτίου | 801,42 MT                                    |

Από την κλίμακα φορτώσεως (σχ. 7.8α):

- Deadweight θέρους = 17000 MT.
- Βύθισμα θέρους = 9,17 m.
- Τροπικό βύθισμα = 9,17 + 0,191 = 9,361 m.
- TPC = 31,45 MT/cm.
- Deadweight tropical = 17000 + 19,1 × 31,45 = 17000 + 600 = 17600 MT.
- Φορτίο = 17600 – 801 = 16799 MT.

### 2) Κατά την αναχώρηση από το όριο της τροπικής ζώνης θα έχουμε:

Συνολική θεωρητική απόσταση που πρέπει να μπορεί να καλύψει το πλοίο = 3200 + 2000 + 1200 = 6400 ν.μ..

|  |  |
|--|--|
| Συνολικός χρόνος ταξιδιού<br>σε ημέρες                   | $= \frac{6400}{16 \times 24} = 16,65$ ημέρες |
| Ποσότητα πετρελαίου                                      | $= 16,65 \times 32 = 532,80$ MT              |
| Ποσότητα νερού   | $= 16,65 \times 6 = 99,90$ MT                |
| Ποσότητα εφοδίων   | $= 16,65 \times 1,5 = 24,98$ MT              |
| Μόνιμο φορτίο  | Σύνολο 657,68 MT<br>30 MT                    |
| Σύνολο πετρελαίου, νερού,<br>εφοδίων και μόνιμου φορτίου | 688 MT                                       |

Όπως είδαμε παραπάνω, το deadweight θέρους είναι 17000 MT, επομένως το φορτίο πρέπει να είναι:

$$\text{Φορτίο} = 17000 - 688 = 16312 \text{ MT}$$

### 3) Κατά την αναχώρηση από το όριο της περιοχής θέρους θα έχουμε:

Συνολική θεωρητική απόσταση που πρέπει να μπορεί να καλύψει το πλοίο  $= 2000 + 1200 = 3200$  ν.μ.

Συνολικός χρόνος ταξιδιού σε ημέρες  $= \frac{3200}{16 \times 24} = 8,33$  ημέρες

Ποσότητα πετρελαίου  $= 8,33 \times 32 = 266,56$  MT

Ποσότητα νερού  $= 8,33 \times 6 = 49,98$  MT

Ποσότητα εφοδίων  $= 8,33 \times 1,5 = 12,49$  MT

|               |        |           |
|---------------|--------|-----------|
| Μόνιμο φορτίο | Σύνολο | 329,03 MT |
|               |        | 30 MT     |

|   |     |    |
|---|-----|----|
| Σύνολο πετρελαίου, νερού, εφοδίων και μόνιμου φορτίου | 359 | MT |
|---|-----|----|

Από την κλίμακα φορτώσεως:

– Περιθώριο ύψους εξάλων χειμώνα 0,191, και από την παράγραφο 15.3:

– Περιθώριο ύψους εξάλων Βόρειου Ατλαντικού 0,050 m.

– Σύνολο περιθωρίου ύψους εξάλων χειμώνα και Βόρειου Ατλαντικού  $= 0,191 + 0,050 = 0,241$  m

Deadweight  $= 17000 - 24,1 \times 31,45 = 16249,3$  MT

Φορτίο  $= 16249,3 - 359 = 15890,3$  MT

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι εφόσον πουθενά δεν επιτρέπεται να παραβιασθούν οι κανονισμοί της γραμμής φορτώσεως, το φορτίο που θα φορτωθεί στο λιμάνι αναχωρήσεως θα πρέπει να μην υπερβαίνει τους 15890,3 MT. Το φορτίο αυτό είναι το μικρότερο από εκείνα που υπολογίσαμε για τις διάφορες φάσεις των υπολογισμών.

### 15.5 Υποχρεώσεις του πλοίαρχου ως προς την εφαρμογή της συμβάσεως περί Γραμμής Φορτώσεως.

Όπως είπαμε, ο πλοίαρχος κάθε φορτηγού πλοίου είναι υποχρεωμένος να φροντίζει το πλοίο να είναι έτσι φορτωμένο, ώστε η τήρηση των κανονισμών της γραμμής φορτώσεως να είναι εξασφαλισμένη σε όλη τη διάρκεια του ταξιδιού.

Ειδικότερες υποχρεώσεις προκύπτουν για τον πλοίαρχο από τον κανονισμό 10 της συμβάσεως περί γραμμής φορτώσεως, σύμφωνα με τον οποίο:

1) Στον πλοίαρχο κάθε φορτηγού πλοίου θα πρέπει να έχουν δοθεί αρκετά στοιχεία που να του επιτρέπουν να πραγματοποιεί τη φόρτωση και τον ερματισμό του πλοίου έτσι, ώστε να μην δημιουργούνται μη επιτρεπές καταπονήσεις στην κατασκευή του.

2) Επίσης θα πρέπει να έχουν δοθεί στον πλοίαρχο στοιχεία που να του παρέχουν οδηγίες ως προς την ευστάθεια του πλοίου στις διάφορες καταστάσεις φορτώσεως.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία θα πρέπει να είναι εγκεκριμένα από την «Αρχή» (ΚΕΕΠ για την Ελλάδα).

Συνοψίζοντας, πρέπει να σημειωθεί ότι στις υποχρεώσεις του πλοίαρχου περιλαμβάνονται:

1) Η ενημέρωσή του για τις απαιτήσεις της συμβάσεως «περί γραμμής φορτώσεως» που τον αφορούν.

2) Η εξασφάλιση ότι στο πλοίο υπάρχουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία που χρειάζονται για τους σχετικούς υπολογισμούς.

3) Η εξασφάλιση ότι όλες οι απαιτήσεις των κανονισμών τηρούνται σε όλη τη διάρκεια του ταξιδιού.

## 16. ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΦΟΡΤΩΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΕΙΔΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

### 16.1 Γενικά.

Η προετοιμασία, η φόρτωση και η μεταφορά διαφόρων ειδών φορτίων αποτελεί ιδιαίτερο αντικείμενο που καλύπτεται από εξειδικευμένες εκδόσεις.

Στο κεφάλαιο αυτό θα δοθούν συνοπτικές μόνο πληροφορίες που περιλαμβάνουν στοιχεία των κανονισμών που προβλέπονται για τη φόρτωση και μεταφορά ορισμένων ειδικών φορτίων και κυρίως θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο οι χειριστές είναι υποχρεωμένοι να εξασφαλίζουν την ικανοποίηση των σχετικών απαιτήσεων, με ιδιαίτερη αναφορά στα θέματα της ευστάθειας.

### 16.2 Μεταφορά σιτηρών.

#### 16.2.1 Γενικές αρχές.

**Ως σιτηρά χαρακτηρίζονται το σιτάρι, το καλαμπόκι, η βρώμη, η σίκαλη, το κριθάρι, το ρύζι, τα ρεβύθια και οι σπόροι.** Τα φορτία αυτά έχουν συντελεστές στοιβασίας που κυμαίνονται μεταξύ 1,2 και 2,0 m<sup>3</sup>/MT (43 – 72 ft<sup>3</sup>/LT).

Η φόρτωση χύδην σιτηρών φορτίων με βαρύτητα, λόγω της φύσεώς τους, αλλά και λόγω των ενισχύσεων που υπάρχουν εσωτερικά στις οροφές των καταστρωμάτων, δεν επιτρέπει την απόλυτη πλήρωση του άνω μέρους των κυτών. Εξαιτίας των κενών (voids) που παραμένουν στο πάνω μέρος κάθε κύτους, είναι πιθανό, σε συνθήκες θαλασσοταραχής, να προκληθεί μετακίνηση του φορτίου (shifting of cargo). Η μετακίνηση αυτή του φορτίου κατά την εγκάρσια διεύθυνση (που μοιάζει πολύ με τις εγκάρσιες μετακινήσεις μάζας υγρών σε δεξαμενές με ελεύθερη επιφάνεια) έχει ως αποτέλεσμα:

- 1) Την δημιουργία εγκάρσιων ροπών που είναι δυνατό να προκαλέσουν σοβαρή εγκάρσια κλίση στο πλοίο και
- 2) την υποβάθμιση του επιπέδου ευστάθειας του πλοίου, επειδή κάποια ποσότητα φορτίου μετακινείται σε νέα θέση, με κέντρο βάρους υψηλότερα.

Ο βαθμός πληρότητας των κυτών είναι δυνατό να αυξηθεί και επομένως οι σχετικοί κίνδυνοι να περιορισθούν με:

- 1) Κατάλληλη σχεδίαση των κυτών και των ανοιγμάτων τους.
- 2) Πρόβλεψη ειδικών τροφοδοτικών στομιών (feeders), εκτός από τα κανονικά ανοίγματα των κυτών.
- 3) Κατάλληλη διεύθυνση (χαπάρισμα) του φορτίου.

Φυσικά, πλήρης εξαφάνιση του κενού στο πάνω μέρος κάθε κύτους δεν είναι δυνατή. Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή της Δ.Σ. «περί γραμμής φορτώσεως», σε συνδυασμό με το είδος και τους συντελεστές στοιβασίας των φορτίων που μεταφέρει το πλοίο σε κάθε ταξίδι, σπάνια επιτρέπει να είναι όλα τα κύπη του πλήρη. Έτσι, μερικά από τα κύπη μπορεί να είναι μισογεμάτα, πράγμα που δημιουργεί σημαντικές πιθανότητες μετακινήσεως του φορτίου μέσα σ' αυτά.

Διευκρινίζεται ότι **ένα κύτος δεν μπορεί ποτέ να είναι απόλυτα γεμάτο με φορτίο χύδην**. Αυτό που ονομάζομε **πλήρης κύτος**, στην πραγματικότητα είναι ένα κύτος με το ελάχιστο δυνατό κενό στο πάνω μέρος του.

Ο κίνδυνος από πιθανή μετακίνηση των φορτίων χύδην αναγνωρίσθηκε στην Αγγλία ήδη από το 1880, οπότε, σύμφωνα με τους κανονισμούς (Merchant Shipping Act), επιβαλλόταν πρόστιμο 300 λιρών στον πλοιοκτήτη ή τον πλοίαρχο του πλοίου που δεν είχε προβλέψει να λάβει όλα τα κατάλληλα προληπτικά μέτρα για την αποφυγή της πιθανότητας μετακινήσεως του φορτίου σιτηρών.

Από τότε, τα διάφορα κράτη θέσπισαν δικούς τους εθνικούς κανονισμούς, οι οποίοι εφαρμόζονται στα δικά τους πλοία ή και στα πλοία με άλλες σημαίες που φορτώνουν σιτηρά στα λιμάνια τους. Επί πλέον, θεσπίστηκαν διεθνείς κανονισμοί αποδεκτοί από τα περισσότερα κράτη και αφορούν στα πλοία που εκτελούν διεθνείς μεταφορές σιτηρών.

Ο κανονισμός VI της SOLAS του 1948, ως προς τη φόρτωση σιτηρών, αποτέλεσε την πρώτη συμφωνία σε διεθνή κλίμακα πάνω στο θέμα αυτό. Συνοπτικά, με τον κανονισμό αυτό καθορίστηκαν, μεταξύ άλλων:

- 1) Ο αριθμός και το μέγεθος τροφοδοτικών στομιών.
- 2) Οι υποχρεώσεις και ο αριθμός υπάρξεως διαμήκων διαχωριστικών φρακτών στα κύπη και τα τροφοδοτικά στόμια.
- 3) Η υποχρέωση φορτώσεως φορτίου σε σάκους πάνω στην επιφάνεια του φορτίου χύδην ή/και στα μη πλήρη κύπη.

Οι κανονισμοί αυτοί απέβλεπαν, ποιοτικά, μόνο στη μείωση της πιθανότητας μετακινήσεως του φορτίου, καθώς επίσης και στη μείωση των δυσμενών αποτελεσμάτων από πιθανή μετακίνηση. Προέκυπταν όμως τα εξής μειονεκτήματα:

- 1) Επέβαλαν σε όλα τα πλοία τις ίδιες υποχρεώσεις, γεγονός που επιβάρυνε άδικα εκείνα που είχαν υψηλό επίπεδο ευστάθειας.
- 2) Δημιουργούσαν την ανάγκη να λαμβάνονται μέτρα (σάκοι, τροφοδοτικά στόμια, διαμήκεις φρακτές κ.λπ.) που είχαν ως αποτέλεσμα καθυστερήσεις και έξοδα, ακόμη και στις περιπτώσεις που η λήψη τέτοιων μέτρων δεν ήταν πραγματικά απαραίτητη.

Κατά την περίοδο 1948–1960 αναγνωρίστηκε η ανάγκη συσχετισμού των προληπτικών μέτρων που έπρεπε να ληφθούν με το πραγματικό επίπεδο ευστάθειας κάθε πλοίου για συγκεκριμένη φόρτωση. Έτσι καθορίστηκε από τον κανονισμό VI της SOLAS 1960 ότι, αν ένα πλοίο με δύο ή ένα κατάστρωμα είχε μετακεντρικό ύψος μεγαλύτερο από 12 in (305 mm) και με τρία ή περισσότερα καταστρώματα μεγαλύτερο από 14 in (356 mm), θα μπορούσε:

- 1) Να μην έχει διαμήκεις φρακτές κάτω από τα τροφοδοτικά στόμια.
- 2) Να φορτώνει φορτίο σε σάκους χωρίς την υποχρέωση προσωρινής διαμορφώσεως διαμήκων διαχωριστικών φρακτών κάτω από τα ανοίγματα των κυτών και
- 3) να μην έχει τροφοδοτικά στόμια και διαχωριστικές φρακτές, αν τα κύπη του ήταν ειδικά διαρρυθμισμένα (βλ. παρακάτω) για μεταφορά σιτηρών, υπό την προϋπόθεση ότι πιθανή εγκάρσια μετακίνηση του φορτίου δεν θα δημιουργούσε στο πλοίο εγκάρσια κλίση πάνω από 5°.

Σύμφωνα με τους παραπάνω κανονισμούς, στους σχετικούς υπολογισμούς θα έπρεπε να υποτεθεί ότι μέσα σε κάθε κύτος:

- 1) Τα σιτηρά είχαν υποστεί καθίζηση κατά 2% του ύψους του κύτους.
- 2) Η επιφάνεια των σιτηρών θα είχε κλίση, σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, 12°.

Με τους κανονισμούς λοιπόν της SOLAS 1960 περιορίζεται η λήψη μερικών πρακτικών μέτρων, αλλά επιβάλλεται η εκπόνηση ειδικών μελετών ευστάθειας που είναι από τότε γνωστές ως **μελέτες φορτώσεως σιτηρών** και περιέχονται στα **εγχειρίδια φορτώσεως σιτηρών** (grain loading manuals) που υπάρχουν στα πλοία.

Κατά το διάστημα 1960–1969, τα σχετικά θέματα διερευνήθηκαν ακόμα περισσότερο και κατανοήθηκαν ακόμα καλύτερα.

Πρόέκυψαν έτσι ως εναλλακτικοί κανονισμοί της SOLAS 1960, οι κανονισμοί IMO 1969, οι οποίοι δημιούργησαν την ανάγκη άλλων, πιο πολυπλόκων υπολογισμών ευστάθειας.

Το βασικό πλεονέκτημα για τους πλοιοκτίτες από την εφαρμογή των κανονισμών IMO 1969 σε σχέση με εκείνους της SOLAS 1960 είναι ότι, υπό την προϋπόθεση καλύψεως ορισμένων αυξημένων απαιτήσεων ευστάθειας, επιτρέπεται:

- 1) Η μη ύπαρξη τροφοδοτικών στομιών.
- 2) Η μη ύπαρξη διαμήκων διαχωριστικών διαφραγμάτων, ούτε και σε περιοχές που βρίσκονται κάτω από τα στόμια των κυτών.

3) Η μη ύπαρξη φορτίου σε σάκους πάνω από το φορτίο κύδην στα ημιπλήρη (partially filled) κύτη.

Με την εφαρμογή των κανονισμών του IMO 1969 απλοποιήθηκε σημαντικά το πρακτικό σκέλος της φορτώσεως σιτηρών, αλλά έγινε αρκετά πιο δύσκολη η πραγματοποίηση των σχετικών υπολογισμών, ένα μέρος από τους οποίους, πρέπει να γίνεται από τον πλοίαρχο. Οι κανονισμοί IMO 1969, με μερικές ακόμη βελτιώσεις έχουν περιληφθεί στη SOLAS 1974 και θα επεξηγηθούν με λεπτομέρειες παρακάτω. Διευκρινίζεται πάντως ότι παλαιότερα:

1) Μερικά κράτη επέτρεπαν την πραγματοποίηση φορτώσεως σιτηρών σύμφωνα με την SOLAS 1974 ή σύμφωνα με τους κανονισμούς IMO 1969 ή ακόμη και σύμφωνα με τους κανονισμούς της SOLAS 1960 ενώ

2) άλλα κράτη απαιτούσαν και απαιτούν οπωσδήποτε εφαρμογή μόνο των κανονισμών της SOLAS 1974.

**Από τα παραπάνω προκύπτει ότι σε κάθε σύγχρονο φορτηγό πλοίο που είναι επιθυμητό να μπορεί να φορτώσει σιτηρά σε οποιοδήποτε λιμάνι χωρίς καθυστερήσεις, πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχει ειδική μελέτη φορτώσεως σιτηρών, σύμφωνα με τους κανονισμούς της SOLAS 1974.** Τα στοιχεία αυτής της μελέτης παρέχουν στον πλοίαρχο τη δυνατότητα να αποδεικνύει, σχετικά εύκολα, στην τοπική λιμενική αρχή, την ικανοποίηση των σχετικών απαιτήσεων των κανονισμών σε κάθε συνθήκη φορτώσεως.

### **16.2.2 Κανονισμοί φορτώσεως σιτηρών της SOLAS 1974.**

Οι κανονισμοί για τη φόρτωση σιτηρών, όπως περιέχονται στο κεφάλαιο VI της SOLAS 1974, υποδιαιρούνται στα εξής τρία μέρη:

- 1) Γενικές διατάξεις.
- 2) Υπολογισμοί ροπών εγκάρσιας κλίσεως.
- 3) Διατάξεις περιορισμού της μετακινήσεως του φορτίου.

Παρακάτω θα δοθούν συνοπτικά στοιχεία από τις διατάξεις της SOLAS, που αφορούν στην εφαρμογή από τον πλοίαρχο των σχετικών κανονισμών.

#### **1) Γενικές διατάξεις.**

Το Μέρος Α του κεφαλαίου VI της SOLAS 1974 περιλαμβάνει 13 συνολικά κανονισμούς (regulations), οι πιο σημαντικοί από τους οποίους είναι:

##### **α) Κανονισμός 2.**

Περιέχει τους ορισμούς των όρων **σιτηρά, πλήρες κύτος, ημιπλήρες κύτος** και **γωνία κατακλύσεως** (angle of flooding), οι περισσότεροι από τους οποίους έχουν ήδη επεξηγηθεί.

Ειδικά ως **γωνία κατακλύσεως ( $\Theta_f$ )** ορίζεται εκείνη η γωνία εγκάρσιας κλίσεως, η οποία, οριακά, προκαλεί έναρξη εισροής νερού στο πλοίο από μεγάλα ανοίγματα που δεν μπορούν να σφραγισθούν στεγανά.

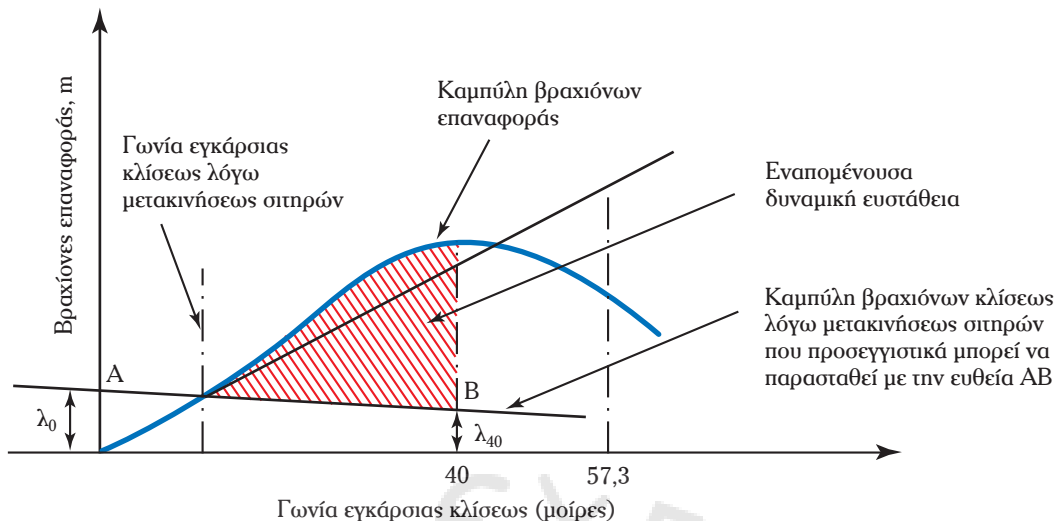
##### **β) Κανονισμός 3.**

Καλύπτει την υποχρέωση για τη διευθέτηση της επιφάνειας του φορτίου σε όλα τα πλήρη και ημιπλήρη κύτη, έτσι ώστε η επιφάνεια των σιτηρών στο τέλος της φορτώσεως να είναι παντού οριζόντια.

##### **γ) Κανονισμός 4.**

Σύμφωνα με τον κανονισμό αυτό, θα πρέπει, όταν επενεργήσει στο πλοίο η ροπή εγκάρσιας κλίσεως λόγω μετακινήσεως του φορτίου σιτηρών (ο υπολογισμός της επεξηγείται παρακάτω), να εξασφαλισθεί ότι:

- Η γωνία εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου δεν θα υπερβαίνει τις  $12^\circ$ .
- Η σκιασμένη επιφάνεια του σχήματος 16.2α σε όλες τις καταστάσεις φορτώσεως δεν θα είναι μικρότερη από 0,075 μετροακτίνια.
- Το αρχικό μετακεντρικό ύψος του πλοίου μετά τη διόρθωση για ελεύθερες επιφάνειες υγρών δεν θα είναι μικρότερο από 0,30 m.



Σχ. 16.2α.

Απαιτήσεις ευστάθειας για μεταφορά σιτηρών.

Το  $\lambda_0$  στο σχήμα 16.2α ορίζεται ως εξής:

$$\lambda_0 = \frac{\text{Ογκομετρική ροπή λόγω εγκάρσιας μετακινήσεως σιτηρών}}{\text{Συντελεστής στοιβασίας φορτίου (m}^3 / \text{MT)} \times \text{Εκτόπισμα (MT)}}$$

Η καμπύλη βραχιόνων επαναφοράς πρέπει να ληφθεί από τη δέσμη των παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας του πλοίου, στην οποία θα πρέπει οπωσδήποτε να περιέχονται και καμπύλες για τις  $12^\circ$  και τις  $40^\circ$ .

Ο πλοίαρχος κάθε εμπορικού πλοίου θα πρέπει, με στοιχεία από τη μελέτη σιτηρών του πλοίου, να είναι σε θέση να αποδείξει στην τοπική λιμενική αρχή πριν από κάθε φόρτωση σιτηρών τη δυνατότητα του πλοίου του να ικανοποιήσει τις παραπάνω απαιτήσεις ευστάθειας (αναχώρηση, άφιξη και μερικές φορές και κάποια ενδιάμεση κατάσταση).

#### δ) Κανονισμός 5.

Περιέχει διατάξεις ως προς την τοποθέτηση διαχωριστικών διαφραγμάτων και φορτίου σε σάκους για τις περιπτώσεις που κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο.

#### ε) Κανονισμός 6.

Αφορά στην υποχρέωση ασφαλίσεως των σιτηρών στα ημιπλήρη κύττα για την αντιμετώπιση του ενδεχόμενου μετακινήσεως, στην περίπτωση που οι ροπές εγκάρσιας κλίσεως που οφείλονται σ' αυτά δεν ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς. Πιο απλά:

- Οι ροπές που προέρχονται από τη μετακίνηση σιτηρών στα ημιπλήρη κύττα μπορούν να ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς ευστάθειας και, εφόσον ικανοποιούνται τα κριτήρια του κανονισμού 4, δεν απαιτείται καμμία ασφάλιση για την αντιμετώπιση του ενδεχόμενου μετακινήσεως του φορτίου.
- Οι ροπές για τα ημιπλήρη κύττα μπορούν να μην ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς, οπότε απαιτείται υποχρεωτικά ασφάλιση του φορτίου.

#### στ) Κανονισμός 10.

Αφορά τις εξής υποχρεώσεις του πλοίου:

- Να διαθέτει πιστοποιητικό φορτώσεως σιτηρών από την αρμόδια λιμενική αρχή (document of authorization).
- Το πιστοποιητικό αυτό και η σχετική μελέτη σιτηρών να είναι συντεταγμένα στη γλώσσα που αντιστοιχεί στη σημαία του πλοίου και οπωσδήποτε στα αγγλικά ή γαλλικά.



### ζ) Κανονισμός 11.

Αφορά στην πληρότητα των μελετών φορτώσεως σιτηρών, που θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να επιτρέπει στον πλοίαρχο να υπολογίζει τις ροπές εγκάρσιας κλίσεως σε κάθε κατάσταση. Ειδικότερα, η μελέτη αυτή θα πρέπει να περιέχει:

- Καμπύλες ή πίνακες υπολογισμού των **ροπών εγκάρσιας κλίσεως** (shifting moments) όταν τα κύπη είναι πλήρη ή ημιπλήρη, λαμβάνοντας υπόψη και την ύπαρξη διαχωριστικών ελασμάτων.
- Πίνακες **επιτρεπομένων ροπών κλίσεως** (allowable heeling moments) που η μη υπέρβασή τους εξασφαλίζει την ικανοποίηση των κριτηρίων του κανονισμού 4.
- Λεπτομέρειες (κατασκευαστικές) των προσωρινών διαχωριστικών διαφραγμάτων (όπου χρειάζονται).
- Τυπικές καταστάσεις φορτώσεως στην αναχώρηση, άφιξη και στην πιο κρίσιμη ενδιάμεση κατάσταση, από τις οποίες να προκύπτει η ικανοποίηση του κανονισμού 4.
- Ένα παράδειγμα υπολογισμού, για διευκόλυνση του πλοιάρχου στους υπολογισμούς, που σε κάθε περίπτωση θα χρειάζεται να κάνει ο ίδιος.
- Γραπές οδηγίες φορτώσεως που να περιλαμβάνουν σύνοψη των σχετικών διατάξεων της SOLAS.
- Βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου.
- Στοιχεία από το πείραμα ευστάθειας (άφορτο εκτόπισμα και KG).
- Πίνακα με διορθώσεις για τις ελεύθερες επιφάνειες.
- Χωρητικότητες και κέντρα βάρους των δεξαμενών και κυτών.

### 2) Υπολογισμός ροπών λόγω μετακινήσεως σιτηρών.

Το Μέρος Β του κεφαλαίου VI της SOLAS 1974 περιέχει κυρίως τη μεθοδολογία υπολογισμού των ροπών που προκαλούνται από τη μετακίνηση των σιτηρών. Οι πληροφορίες του μέρους αυτού αφορούν κυρίως στους ναυπηγούς, οι οποίοι εκπονούν τις μελέτες των σιτηρών που υπάρχουν στα πλοία. Γι' αυτό, εδώ δίνονται μερικά μόνο στοιχεία, αναγκαία για την κατανόηση του θέματος.

#### α) Πλήρη κύπη.

Λόγω των δυσχερειών ως προς την απόλυτη πλήρωση του κύτους, που έχουν ήδη προαναφερθεί, στο πάνω μέρος του παραμένει ένα κενό (void), η κατακόρυφη διάσταση του οποίου συμβολίζεται στο σχήμα 16.2β με  $V_d$ . Οι κανονισμοί καθορίζουν τον τρόπο υπολογισμού του  $V_d$ , διαδικασία που αφορά μόνο στο μελετητή και ξεφεύγει από τα όρια αυτού του βιβλίου.

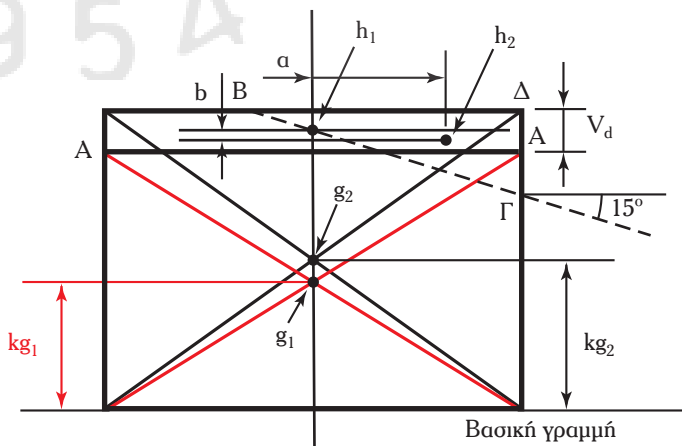
Στο σχήμα 16.2β βλέπουμε μία εγκάρσια τομή ενός κύτους. Ας υποθέσουμε ότι ο κενός όγκος στο άνω μέρος του κύτους είναι ίσος με  $u$ . Σύμφωνα με τον κανονισμό, θεωρείται ότι, **στα πλήρη κύπη το φορτίο σιτηρών μπορεί να μετακινηθεί έτσι, ώστε η επιφάνειά του να σχηματίσει με το οριζόντιο επίπεδο γωνία  $15^\circ$** .

Το κενό λοιπόν που υπάρχει αρχικά με τη μορφή παραλληλόγραμμου, όταν η επιφάνεια του φορτίου σχηματίζει κλίση  $15^\circ$  με το οριζόντιο, παίρνει τη μορφή του τριγώνου ΒΓΔ.

Αν είναι:  $u$  η αρχική (και τελική) επιφάνεια του κενού,  $l$  το μήκος του κύτους,  $h_1$  η αρχική θέση του γεωμετρικού κέντρου του κενού,  $h_2$  η τελική θέση του γεωμετρικού κέντρου του κενού και  $a$  η οριζόντια μετακίνηση του γεωμετρικού κέντρου του κενού, θα έχουμε:

$$\text{Ροπή μετακινήσεως σιτηρών} = u \times l \times a \quad (155)$$

Για λόγους απλουστεύσεως οι κανονισμοί επιτρέπουν να χρησιμοποιηθεί ως κέντρο βάρους του κύτους το σημείο  $g_2$ , που είναι το γε-



Σχ. 16.2β.

Κέντρο βάρους κύτους όταν υπάρχει και όταν δεν υπάρχει κενό στην οροφή του.

ωμετρικό κέντρο ολόκληρου του κύτους (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το κενό) σε συνδυασμό με τη ροπή εγκάρσιας κλίσεως, την οποία βρίσκουμε από τη σχέση (155) ή από άλλες ανάλογες σχέσεις που ισχύουν για πολυπλοκότερες τομές κυτών. **Σημειώνεται ότι το σημείο  $g_2$  αποτελεί μία πληροφορία που υπάρχει στα σχέδια του πλοίου και εντοπίζεται εύκολα.**

Φυσικά η παραπάνω υπόθεση είναι ανακριβής και στην πραγματικότητα το κέντρο βάρους του φορτίου βρίσκεται στο σημείο  $g_1$ . Ο εντοπισμός και αυτού του σημείου είναι εφικτός, αλλά χρειάζονται πιο λεπτομερείς υπολογισμοί. Οι κανονισμοί προβλέπουν ότι αν χρησιμοποιηθεί το σημείο  $g_1$ , ως κέντρο βάρους του φορτίου, η ροπή που προκύπτει από τη σχέση (155) ή από άλλες ανάλογες σχέσεις θα πρέπει να προσαυξηθεί κατά 6%. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνεται υπόψη και η κατακόρυφη (δυσμενής) επίδραση που οφείλεται στο ότι, όταν η επιφάνεια του φορτίου πάρει τη θέση ΒΓ, έχουμε και μία κατακόρυφη μετακίνηση του κέντρου βάρους του κενού (άρα και του φορτίου) που φαίνεται στο σχήμα 16.2β (μήκος  $b$ ).

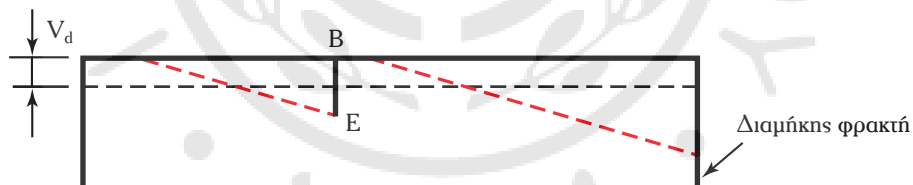
Στην πραγματικότητα τα κύτη των πλοίων δεν έχουν τόσο απλή μορφή όπως αυτή του σχήματος 16.2β.

Στο σχήμα 16.2γ για παράδειγμα βλέπουμε μία εγκάρσια τομή ενός κύτους με διαμήκη διαχωριστική φρακτί. Εδώ το αρχικό παραλληλόγραμμο κενό μετατρέπεται σε δύο τρίγωνα, το ένα από τα οποία σχηματίζεται πάνω στη διαμήκη ενίσχυση ΒΕ και το άλλο πάνω στη διαμήκη φρακτί. Ανάλογα τρίγωνα σχηματίζονται και στη δεξιά πλευρά του κύτους.

Άλλη μία περίπτωση φαίνεται στο σχήμα 15.3δ, που δείχνει την τομή ενός κύτους στην περιοχή του ανοίγματος. Εδώ έχουμε σχηματισμό τριών τριγώνων.

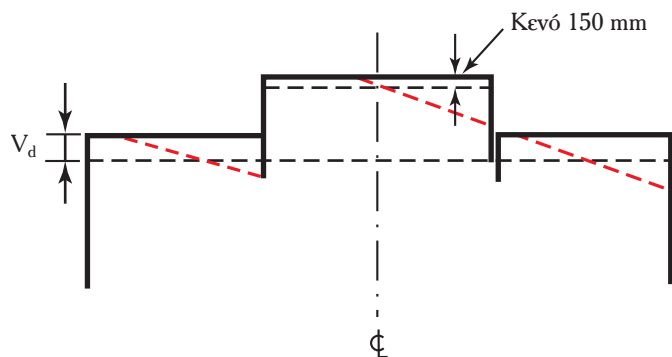
Από τα σχήματα 16.2γ και 16.2δ προκύπτει η δυσκολία ως προς τον υπολογισμό της ροπής μετακινήσεως των σιτηρών. Το πρόβλημα γίνεται ακόμη πιο πολύπλοκο, όταν έχουμε συνδυασμό φορτώσεως κατώτερου (hold) και ανώτερου (tween deck) κύτους με το ενδιάμεσο άνοιγμα ανοικτό, οπότε, σύμφωνα με τους κανονισμούς, έχουμε μετακινήσεις κενών από το κατώτερο στο ανώτερο κύτους.

Για τους παραπάνω λόγους **οι υπολογισμοί των ροπών μετακινήσεως σιτηρών πραγματοποιούνται από τους ναυπηγούς και τα αποτελέσματά τους περιέχονται στα εγχειρίδια φορτώσεως σιτηρών, για να χρησιμοποιηθούν από τους χειριστές με το μικρότερο δυνατό κόπο.**



Σχ. 16.2γ.

Τομή κύτους με διαμήκη φρακτί.



Σχ. 16.2δ.

Τομή κύτους κάτω από το άνοιμά του (χωρίς διαμήκη φρακτί).

**β) Ημιπλήρη κύπη.**

Οι αντίστοιχοι υπολογισμοί για τα ημιπλήρη κύπη πραγματοποιούνται ανάλογα με τις εξής παρατηρήσεις:

- Η επιφάνεια των σιτηρών με το οριζόντιο θα πρέπει, κατά τους κανονισμούς της SOLAS, να σχηματίζει γωνία 25°.
- Η θέση του κέντρου βάρους του φορτίου θα πρέπει να ληφθεί εκεί που πραγματικά βρίσκεται. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη να υπάρχουν στο πλοίο ειδικά ογκομετρικά διαγράμματα των κυτών.

Οι σχετικοί υπολογισμοί γίνονται επίσης από τους ναυπηγούς και τα αποτελέσματά τους περιέχονται στο εγχειρίδιο φορτώσεως σιτηρών.

**3) Διατάξεις περιορισμού της μετακινήσεως του φορτίου.**

Το Μέρος C του κεφαλαίου VI της SOLAS 1974 καλύπτει τις λεπτομέρειες ως προς τα διάφορα μέτρα που έχουν ως σκοπό να εμποδίσουν τις μετακινήσεις του φορτίου.

Μεταξύ των θεμάτων που αναφέρονται σ' αυτό το μέρος είναι:

- α) Γενικές οδηγίες για τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη λήψη των διαφόρων μέτρων περιορισμού της μετακινήσεως του φορτίου, όπως τα ξύλα για την κατασκευή των διαχωριστικών διαφραγμάτων.
- β) Οι λεπτομέρειες κατασκευής των διαφραγμάτων.
- γ) Η κάλυψη και έχμαση του φορτίου.
- δ) Οι λεπτομέρειες κλεισίματος των ανοιγμάτων.
- ε) Η χρησιμοποίηση φορτίου σε σάκους για να τοποθετηθεί πάνω στην ελεύθερη επιφάνεια του φορτίου στα ημιπλήρη κύπη.

**16.2.3 Υπολογισμοί που πραγματοποιούνται από τον πλοίαρχο.**

Όπως έχομε προαναφέρει, για να επιτραπεί στο πλοίο η φόρτωση σιτηρών, θα πρέπει ο πλοίαρχος να αποδείξει στις τοπικές αρχές του λιμανιού φορτώσεως ότι ικανοποιούνται οι σχετικοί κανονισμοί ευστάθειας.

Οι μελέτες φορτώσεως σιτηρών που υπάρχουν στα πλοία περιέχουν:

1) Τυπικές καταστάσεις πλήρους φορτώσεως του πλοίου με σιτηρά. Συνήθως στη μελέτη σιτηρών εξετάζονται πέντε καταστάσεις φορτώσεως ομοιόμορφου φορτίου με συντελεστές στοιβασίας 45, 50, 55, 60 και 65 ft<sup>3</sup>/LT. Με τον όρο **πλήρης φόρτωση** εννοούμε εδώ τη φόρτωση του πλοίου που επιτρέπει τόσο την ικανοποίηση των απαιτήσεων της Δ.Σ. περί Γραμμής Φορτώσεως, όσο και τους κανονισμούς ευστάθειας της SOLAS για μεταφορά σιτηρών. **Η ταυτόχρονη ικανοποίηση των παραπάνω κανονισμών και η πλήρης φόρτωση του πλοίου δεν είναι πάντα δυνατή και έτσι είναι πιθανό σε μερικές καταστάσεις το πλοίο να μην μπορεί να παραλάβει το μέγιστο deadweight.**

2) Όλα τα απαραίτητα στοιχεία προκειμένου να μπορεί ο πλοίαρχος να εκτελεί μόνος του (ή με τη βοήθεια ειδικών προγραμμάτων υπολογιστή, αν υπάρχουν) τους σχετικούς υπολογισμούς για τις περιπτώσεις είτε φορτώσεως ομοιόμορφου φορτίου με διαφορετικό από τους πέντε συντελεστές στοιβασίας που προαναφέρθηκαν, είτε ποικιλίας φορτίων με διαφορετικούς σε κάθε κύτος συντελεστές στοιβασίας, είτε ακόμη μερικής φορτώσεως του πλοίου.

Παρακάτω αναπτύσσεται η κλασική μέθοδος υπολογισμών που εφαρμοζόταν παλαιότερα και η νέα που εφαρμόζεται σήμερα.

**1) Κλασική μέθοδος υπολογισμών.**

Η κλασική μέθοδος υπολογισμών που εφαρμοζόταν παλαιότερα περιλάμβανε τα εξής βήματα:

α) Πραγματοποίηση υπολογισμών ζυγίσεως, βασιζόμενων στην πραγματική κατάσταση φορτώσεως φορτίου και υγρών στις δεξαμενές, από τους οποίους να προκύπτει το εκτόπισμα και η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου.

β) Υπολογισμό των ελευθέρων επιφανειών και αντίστοιχη διόρθωση του κέντρου βάρους του πλοίου.

γ) Χάραξη της καμπύλης μοχλοβραχιόνων επαναφοράς του πλοίου με τα παραπάνω στοιχεία.

δ) Υπολογισμό της συνολικής ροπής κλίσεως λόγω σιτηρών, με άθροιση των επί μέρους μεγεθών για κάθε κύτος (με στοιχεία που υπάρχουν στο εγχειρίδιο φορτώσεως σιτηρών).

ε) Χάραξη της ευθείας AB του σχήματος 16.2α.

στ) Έλεγχο, με βάση τα παραπάνω, ότι ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του κανονισμού 4 του Μέρους Α του κεφαλαίου VI της SOLAS 1974. **Οι παραπάνω υπολογισμοί θα πρέπει να πραγματοποιηθούν για την κατάσταση αναχωρήσεως και αφίξεως, καθώς και για την πιο δυσμενή ενδιάμεση κατάσταση του ταξιδιού.**

Όπως φαίνεται από όσα είπαμε παραπάνω, οι σχετικοί υπολογισμοί είναι αρκετά κοπιαστικοί, λόγω της ανάγκης χαράξεως καμπυλών και εμβοδομετρήσεως της σκιασμένης επιφάνειας του σχήματος 15.2α. Για το λόγο αυτό, η μέθοδος αυτή τείνει να εγκαταλειφθεί και να αντικατασταθεί από άλλες σύγχρονες, οι οποίες απλοποιούν σημαντικά την εργασία του πλοίαρχου.

## 2) Νέα μέθοδος υπολογισμών.

Οι παραπάνω δυσχέρειες οδήγησαν στο να αναπτυχθεί, αρχικά από την αμερικανική Coast Guard (ακτοφυλακή), η ιδέα της **επιτρεπόμενης μέγιστης ροπής κλίσεως**. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής στο εγχειρίδιο φορτώσεως σιτηρών περιέχεται ένας πίνακας που, για κάθε συνδυασμό εκτοπίσματος και κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους του πλοίου (ή του μετακεντρικού ύψους), **δίνει την επιτρεπόμενη μέγιστη εγκάρσια ροπή που εξασφαλίζει τήρηση του κανονισμού.**

Η κατάρτιση του παραπάνω πίνακα, η οποία βέβαια ξεφεύγει από τα όρια αυτού του βιβλίου, παρέχει στον πλοίαρχο τη δυνατότητα να διαπιστώσει, όπως θα φανεί και στο επόμενο παράδειγμα, αν σε κάθε φόρτωση **ικανοποιούνται ή όχι οι κανονισμοί ευστάθειας με υπολογισμό μόνο του εκτοπίσματος, της κατακόρυφης θέσεως του κέντρου βάρους του πλοίου και της συνολικής ροπής κλίσεως λόγω μετακινήσεως των σιτηρών, που αντιστοιχούν σε κάθε συγκεκριμένη κατάσταση φορτώσεως.**

### Παράδειγμα (συμπλήρωση εντύπου σιτηρών).

Ένα φορτηγό πλοίο έχει την παρακάτω διαμόρφωση κυτών:

- No 1: No 1 και 2 Deertanks, κατώτερο (lower hold) και ανώτερο (tweendeck) κύτος.
- No 2: Κατώτερο και ανώτερο κύτος.
- No 3: Κατώτερο και ανώτερο κύτος.
- No 4: No 4 Deertank κατώτερο και ανώτερο κύτος.
- No 5: Κατώτερο και ανώτερο κύτος.

Το μέγιστο εκτόπισμα του πλοίου είναι 14245 MT και το μέγιστο deadweight είναι 10845 MT. Το άφορτο πλοίο έχει βάρος 3400 MT και κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους 7,31 m πάνω από την τρόπιδα.

Πρόκειται να πραγματοποιηθεί φόρτωση ομοίμορφου φορτίου σιτηρών με συντελεστή στοιβασίας  $1,3 \text{ m}^3/\text{MT}$ . Προκαταρκτικοί υπολογισμοί βαρών έχουν δείξει ότι αν γεμίσουν όλα τα κύττα με εξαίρεση τις No 1 και 2 Deertanks, και τους No 2 και 5 κουραδόρους, το deadweight του πλοίου θα είναι 10830 MT, κατάσταση που θεωρείται ικανοποιητική.

Ζητείται να ελεγχθεί, με τη συμπλήρωση του εντύπου σιτηρών, αν το πλοίο ικανοποιεί τις σχετικές απαιτήσεις της SOLAS. Όλα τα γενικά στοιχεία του πλοίου θα υποτεθεί ότι υπάρχουν στο εγχειρίδιο φορτώσεως σιτηρών, από όπου και θα ληφθούν οι σχετικές πληροφορίες.

Ιδιαίτερα εδώ περιλαμβάνονται τα εξής στοιχεία που συνήθως περιέχονται στο εγχειρίδιο φορτώσεως σιτηρών:

- **Ο πίνακας επιτρεπόμενων ροπών** (πίν. 16.2.1). Η λήψη στοιχείων από τον πίνακα αυτό είναι πολύ εύκολη, αν γνωρίζουμε το εκτόπισμα και το KG του πλοίου. Επί παραδείγματι για εκτόπισμα 14000 και  $\text{KG} = 6,857 \text{ m}$ , η επιτρεπόμενη ροπή είναι 1869 MT–m. Για ενδιάμεσες τιμές του εκτοπίσματος και του KG χρειάζεται κατά περίπτωση απλή ή διπλή παρεμβολή στον πίνακα.
- **Ο πίνακας ροπών κλίσεως** (πίν. 16.2.2) που περιλαμβάνει τις ογκομετρικές ροπές κλίσεως (σε  $\text{m}^4$ ) κάθε χώρου χωριστά ή του συνδυασμού χώρων ως συνόλου.

Η διαδικασία συμπληρώσεως του εντύπου σιτηρών (πίν. 16.2.3) είναι η εξής:

- Συμπληρώνουμε πρώτα το πάνω μέρος (εκτός από τις τελευταίες τρεις σειρές) του πάνω αριστερού υποπίνακα με στοιχεία που λαμβάνουμε από τον πίνακα 16.2.2.

**Πίνακας 16.2.1**  
**Μέγιστες επιπρεπόμενες ροπές κλίσεως (MT-m)**

| Εκτόπιση<br>(MT) | KG σε m |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Μέγιστο<br>KG (m) | Ελάχιστη<br>ροπή<br>(MT - m) |       |
|------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------------------------------|-------|
|                  | 6,095   | 6,171 | 6,248 | 6,324 | 6,400 | 6,477 | 6,552 | 6,629 | 6,705 | 6,781 | 6,857 | 6,933 | 7,010 |                   |                              | 7,086 |
| 8500             | 2576    | 2433  | 2290  | 2147  | 2003  | 1860  | 1717  | 1574  | 1430  | 1287  | 1144  | 1001  | 857   | -                 | 7,055                        | 771   |
| 9000             | 2548    | 2396  | 2245  | 1849  | 1942  | 1790  | 1638  | 1487  | 1335  | 1183  | 1031  | 878   | -     | -                 | 6,994                        | 758   |
| 9500             | 2551    | 2391  | 2231  | 2071  | 1911  | 1751  | 1591  | 1431  | 1270  | 1110  | 951   | 772   | -     | -                 | 6,958                        | 739   |
| 10000            | 2685    | 2516  | 2347  | 2179  | 2010  | 1842  | 1664  | 1489  | 1336  | 1168  | 999   | 830   | -     | -                 | 6,943                        | 811   |
| 10500            | 2797    | 2602  | 2444  | 2267  | 2090  | 1913  | 1735  | 1558  | 1412  | 1205  | 1028  | 851   | -     | -                 | 6,933                        | 848   |
| 11000            | 2937    | 2751  | 2566  | 2380  | 2195  | 1998  | 1825  | 1639  | 1454  | 1268  | 1113  | -     | -     | -                 | 6,921                        | 927   |
| 11500            | 3078    | 2884  | 2690  | 2497  | 2303  | 2109  | 1915  | 1721  | 1527  | 1333  | 1140  | -     | -     | -                 | 6,924                        | 969   |
| 12000            | 3267    | 3065  | 2862  | 2660  | 2458  | 2255  | 2053  | 1851  | 1649  | 1447  | 1245  | -     | -     | -                 | 6,930                        | 1050  |
| 12500            | 3396    | 3185  | 2975  | 2764  | 2554  | 2343  | 2132  | 1922  | 1711  | 1469  | 1290  | 1079  | -     | -                 | 6,943                        | 1057  |
| 13000            | 3593    | 3374  | 3155  | 2936  | 2717  | 2498  | 2279  | 2060  | 1841  | 1621  | 1402  | 1183  | -     | -                 | 6,964                        | 1096  |
| 13500            | 3841    | 3613  | 3386  | 3158  | 2931  | 2703  | 2476  | 2248  | 2021  | 1793  | 1565  | 1338  | -     | -                 | 7,000                        | 1138  |
| 14000            | 4199    | 3963  | 3727  | 3491  | 3255  | 2897  | 2783  | 2547  | 2311  | 2075  | 1869  | 1603  | 1367  | -                 | 7,055                        | 1225  |
| 14245            | 4409    | 4168  | 3928  | 3688  | 3447  | 3207  | 2966  | 2726  | 2486  | 2245  | 2004  | 1764  | 1524  | -                 | 7,071                        | 1148  |

**Πίνακας 16.2.2**  
**Ογκομετρικές ροπές κλίσεως λόγω μετακίνησης σιτηρών πλοίου Β σε m<sup>4</sup>.**

| Περιγραφή χώρου   | Πλήρες κύτος  |  | Ημιπλήρες κύτος                   |                                |
|---|---|--|-----------------------------------|--------------------------------|
|   | Χωρίς διαχωριστική διαμήκη φρακτί κάτω από το άνοιγμα | Με διαμήκη διαχωριστική φρακτί κάτω από το άνοιγμα | Χωρίς διαχωριστική διαμήκη φρακτί | Με διαχωριστική διαμήκη φρακτί |
| No 1 Deertanks  | –   | 52,9   | –                                 | –                              |
| No 2 Deertanks  | –   | 134,5  | –                                 | –                              |
| No 1 κάτω κύτος   | 374,5   | 229,0  | 1879,0                            | 675,1                          |
| No 1 κουραδόρος   | 470,7   | 250,4  | 3067,8                            | 657,1                          |
| No 2 κάτω κύτος   | 497,8   | 300,7  | 3103,3                            | 1076,6                         |
| No 2 κουραδόρος   | 682,3   | 295,7  | 4306,2                            | 1076,6                         |
| No 3 κάτω κύτος   | 342,7   | 210,4  | 2108,4                            | 742,5                          |
| No 3 κουραδόρος   | 499,7   | 208,0  | 2969,8                            | 742,5                          |
| No 3 Deertanks  | –   | 85,4   | –                                 | 297,0                          |
| No 4 κάτω κύτος   | 314,0   | 188,5  | 2242,1                            | 668,2                          |
| No 4 κουραδόρος   | 467,7   | 230,4  | 3436,9                            | 859,3                          |
| No 5 κάτω κύτος   | 363,6   | 219,1  | 2766,8                            | 789,1                          |
| No 5 κουραδόρος   | 533,9   | 257,9  | 3156,5                            | 789,1                          |
| 1) Τα παραπάνω ισχύουν για χωριστή φόρτωση στα τμήματα κάθε κύτους και<br>2) για ενιαία φόρτωση (με διαχωριστικές φρακτές παντού εκτός από τη θέση κάτω από το άνοιγμα του κατώτερου κύτους). |   |  |                                   |                                |
| No 1 Deertanks, κάτω κύτος και κουραδόρος   | 607,2 m <sup>4</sup>                                  |  |                                   |                                |
| No 2 κάτω κύτος και κουραδόρος  | 738,6 m <sup>4</sup>                                  |  |                                   |                                |
| No 3 κάτω κύτος και κουραδόρος  | 528,0 m <sup>4</sup>                                  |  |                                   |                                |
| No 4 Deertanks, κάτω κύτος και κουραδόρος   | 545,0 m <sup>4</sup>                                  |  |                                   |                                |
| No 5 κάτω κύτος και κουραδόρος  | 510,8 m <sup>4</sup>                                  |  |                                   |                                |
| <b>Σύνολο</b>   | <b>2992,6 m<sup>4</sup></b>                           |  |                                   |                                |

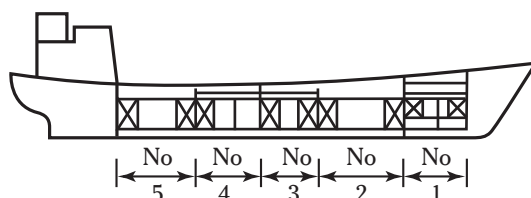
**Πίνακας 16.2.3**  
**Έντυπο φορτώσεως σιτηρών.**

| Κατάσταση φορτώσεως No.....<br>Συντελεστής στοιβασίας 1,3 m <sup>3</sup> /MT (46 ft <sup>3</sup> /LT) |                    |                     |                      |                |      |         |             |
|---|--------------------|---------------------|----------------------|----------------|------|---------|-------------|
| Ογκομετρικές ροπές σε m <sup>4</sup><br>(από πίν. 16.2.2)   |                    |                     | Κατακόρυφη ισορροπία |                |      |         |             |
| Χώρος   | Ανεξάρτητη φόρτωση | Συνδυασμένη φόρτωση | Χώρος                | m <sup>3</sup> | TM   | VCg (m) | Ροπή (MT-m) |
| No 1 DT   |                    |                     | Άφορτο πλοίο         | –              | 3400 | 7,31    | 24870       |
| No 1 LH   | 229                |                     | Εφόδια               |                | 150  | 10,66   | 1600        |
| No 1 TD   | 250,4              |                     | No 1 LH              | 1166           | 897  | 6,46    | 5796        |
| No 2 LH   | 497,8              |                     |                      |                |      |         |             |

(συνεχίζεται)

|   |             |      |                               |       |      |       |       |
|---|-------------|------|-------------------------------|-------|------|-------|-------|
| No 2 TD                                       |             |      | No 2 LH                       | 2798  | 2149 | 4,85  | 10414 |
| No 3 LH                                       |             |      | No 3 LH                       | 1935  | 1488 | 4,81  | 7165  |
| No 3 TD                                       |             | 528  | No 4 LH                       | 1663  | 1279 | 5,15  | 6588  |
| No 4 DT                                       |             |      | No 5 LH                       | 1658  | 1275 | 5,82  | 7422  |
| No 4 LH                                       |             |      | DT 142                        | 628   | –    | 2,62  | –     |
| No 4 TD                                       |             | 545  | DT 4                          | 759   | 584  | 5,06  | 2954  |
| No 5 LH                                       | 363,6       |      | 1 TD                          | 1213  | 933  | 10,82 | 10094 |
| No 5 TD                                       |             |      | 2 TD                          | 1321  | –    | 10,33 | –     |
|   |             |      | 3 TD                          | 791   | 608  | 10,08 | 6134  |
|   |             |      | 4 TD                          | 997   | 767  | 10,40 | 7971  |
|   |             |      | 5 TD                          | 977   | –    | 10,85 | –     |
| Σύνολο  | 1340,8      | 1073 |                               |       |      |       |       |
| Γενικό<br>σύνολο                              | 2413,8      |      |                               |       |      |       |       |
| Συνολική ροπή κλίσεως =<br>= Ογκομετρική/S.F. | 1856,8 MT-m |      | Μερικό<br>σύνολο (1)          | 13530 | 6,72 | 91000 |       |
| Επιτρεπόμενες ροπές (από πίν. 16.2.3)         |             |      | <b>Σημείωση:</b>              |       |      |       |       |
| Αναχώρηση                                     | 2697 MT-m   |      | LH = κάτω κύτος               |       |      |       |       |
| Ενδιάμεση                                     | 1922 MT-m   |      | TD = κουραδόρος               |       |      |       |       |
| Άφιξη   | 2141 MT-m   |      | DT = Deep tank                |       |      |       |       |
|   |             |      | S.F. = Συντελεστής στοιβασίας |       |      |       |       |

| Κατακόρυφη ισορροπία και υπολογισμός μετακεντρικού ύψους |              |             |              |              |             |              |              |             |              |
|--|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
|  | Αναχώρηση    |             |              | Ενδιάμεση    |             |              | Άφιξη        |             |              |
|  | MT           | VCG (m)     | Ροπή (MT-m)  | MT           | VCG (m)     | Ροπή (MT-m)  | MT           | VCG (m)     | Ροπή (MT-m)  |
| Σύνολο (1)   | 13530        | 6,72        | 91000        | 13530        | 6,72        | 91000        | 13530        | 6,72        | 91000        |
| Πόσιμο νερό  | 50           | 10,36       | 518          | 35           | 10,36       | 363          | 20           | 10,36       | 207          |
| Diesel πετρέλαιο   | 100          | 3,81        | 381          | 75           | 3,81        | 286          | 50           | 3,81        | 191          |
| Πετρέλαιο λεβήτων  | 450          | 0,61        | 275          | 215          | 0,61        | 131          | 50           | 0,61        | 31           |
| Τροφοδοτικό  | 100          | 0,61        | 61           | 75           | 0,61        | 46           | 50           | 0,61        | 31           |
| Ballast  | –            | –           | –            | –            | –           | –            | 300          | 0,61        | 183          |
| <b>Σύνολο</b>  | <b>14230</b> | <b>6,48</b> | <b>92235</b> | <b>13930</b> | <b>6,59</b> | <b>91826</b> | <b>14000</b> | <b>6,55</b> | <b>91643</b> |
| Ελεύθερη επιφάνεια                                       |              | 0,21        |              |              | 0,21        |              |              | 0,21        |              |
| KG <sub>v</sub>  |              | 6,69        |              |              | 6,80        |              |              | 6,76        |              |
| KM <sub>T</sub>  |              | 7,37        |              |              | 7,34        |              |              | 7,34        |              |
| G <sub>v</sub> M <sub>T</sub>                            |              | 0,68        |              |              | 0,54        |              |              | 0,58        |              |



Ειδικότερα στη φόρτωση αυτή έχει υποθεθεί ότι:

- Στο Νο 1 κατώτερο και ανώτερο κύτος υπάρχουν διαμήκη διαχωρίσματα και κάτω από τα ανοίγματα (ογκομετρικές ροπές 229 και 250,4 m<sup>4</sup> αντίστοιχα, από τον πίνακα 16.2.2).
- Στο Νο 2 κατώτερο κύτος δεν υπάρχει διαχωριστική φρακτή κάτω από το άνοιγμα (ογκομετρική ροπή 497,8 m<sup>4</sup> από τον πίνακα 16.2.2).
- Τα Νο 3 και 4 κύτη έχουν φορτωθεί ως σύνολα με διαχωριστικές φρακτές παντού, εκτός από τη θέση κάτω από το άνοιγμα του κατώτερου κύτους (ροπές 528 και 545 m<sup>4</sup> αντίστοιχα από τον πίνακα 16.2.2).
- Στο Νο 5 κατώτερο κύτος δεν υπάρχει διαχωριστική φρακτή κάτω από το άνοιγμα (ογκομετρική ροπή 363,6 m<sup>4</sup> από τον πίνακα 16.2.2).

Οι τρεις τελευταίες γραμμές του υποπίνακα αυτού θα συμπληρωθούν στο τέλος.

- Συμπληρώνομε τη δεύτερη, τρίτη και τέταρτη στήλη του πάνω δεξιού υποπίνακα με βάση τις λεπτομέρειες της φορτώσεως, με στοιχεία που υπάρχουν στο εγχειρίδιο σιτηρών. Η ροπή (πέμπτη στήλη του πίνακα) προκύπτει από τα αντίστοιχα γινόμενα των αριθμών της τρίτης και τέταρτης στήλης. Οι υπόλοιπες λεπτομέρειες του πίνακα αυτού είναι αυτεξήγητες.
- Συμπληρώνομε τον κάτω υποπίνακα του πίνακα 16.2.3 με τα βάρη και τα κέντρα βάρους όλων των καταναλωσίμων υγρών στις καταστάσεις αναχωρήσεως, ενδιάμεση και αφίξεως. Οι λεπτομέρειες συμπλήρωσεως του πίνακα είναι απλές και οδηγούν στην εύρεση του εκτοπίσματος, του KG<sub>V</sub> και του G<sub>V</sub>M<sub>T</sub>.
- Με τα αντίστοιχα εκτοπίσματα και το KG<sub>V</sub> βρίσκομε με παρεμβολή στον πίνακα 16.2.1 τις επιτρεπόμενες ροπές και συμπληρώνομε τον πάνω αριστερό υποπίνακα του πίνακα 16.2.3.

### **Συμπεράσματα.**

Από τη μελέτη του πίνακα 16.2.3 διαπιστώνομε ότι:

- 1) Το μετακεντρικό ύψος σε καμία περίπτωση δεν είναι μικρότερο από 0,30 m.
- 2) Οι επιτρεπόμενες ροπές είναι σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερες από την υπάρχουσα.
- 3) Για να ικανοποιηθούν οι συνθήκες ευστάθειας χρειάζεται στην κατάσταση αφίξεως να προστεθούν 300 MT υγρού έρματος.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι συνθήκες ευστάθειας ικανοποιούνται και η φόρτωση μπορεί να πραγματοποιηθεί. Αν κάτι τέτοιο δεν συνέβαινε, η συμπλήρωση του εντύπου θα έπρεπε να επαναληφθεί με:

- 1) Εναλλακτικό τρόπο φορτώσεως.
- 2) Προσθήκη διαχωριστικών διαφραγμάτων και στο κατώτερο μέρος όσων κυτών ήταν απαραίτητο.
- 3) Ελάττωση του φορτίου σε κάποιο κουραδόρο ή και προσθήκη υγρού έρματος πριν την αναχώρηση.

Η τελευταία περίπτωση αποτελεί τη χειρότερη επιλογή, αλλά μερικές φορές ο περιορισμός του φορτίου είναι αναπόφευκτος.

Στο παράδειγμα, για λόγους απλουστεύσεως, δεν εξετάζεται η διαμήκης ισορροπία του πλοίου που θα πρέπει και αυτή να εξετασθεί σύμφωνα με παραδείγματα προηγούμενων κεφαλαίων.

### **16.2.4 Διευθέτηση του φορτίου – Πλοία ειδικά διαρρυθμισμένα για μεταφορά σιτηρών.**

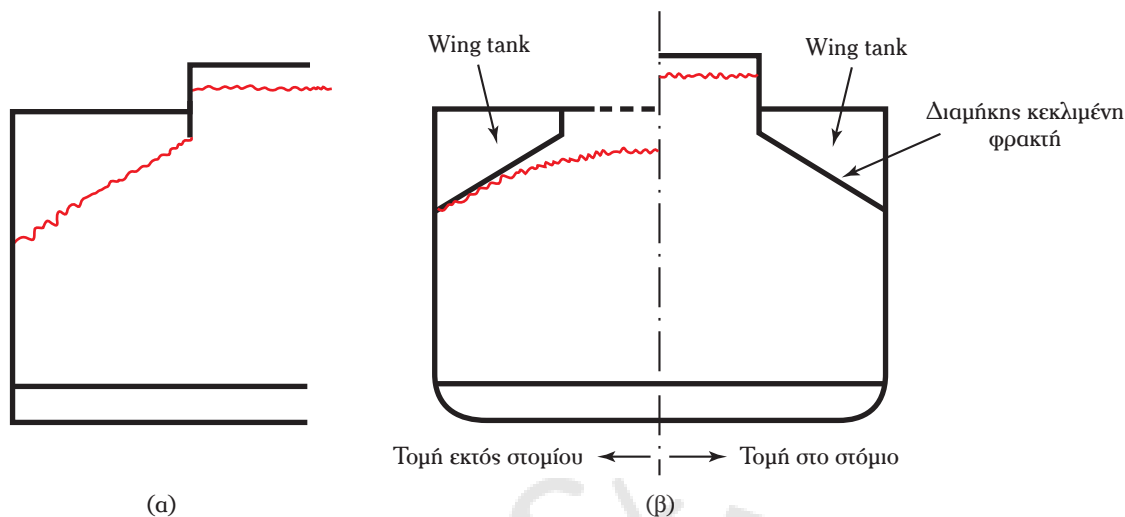
Όπως είδαμε προηγουμένως, απαραίτητη προϋπόθεση για να ισχύσουν οι κανονισμοί της SOLAS είναι να πραγματοποιηθεί διευθέτηση του φορτίου (trimming), ώστε τα κύτη που θεωρούνται πλήρη να είναι γεμάτα στο μέγιστο δυνατό βαθμό και η επιφάνεια των σιτηρών τόσο στα πλήρη όσο και στα ημιπλήρη κύτη να είναι οριζόντια. Η διευθέτηση του φορτίου μπορεί να γίνει:

- 1) **Χειροκίνητα** από εργάτες.
- 2) **Μηχανοκίνητα**, με ειδικά φορητά ηλεκτροκίνητα εργαλεία που τοποθετούνται στην οροφή των κυτών.

Σε πολλά λιμάνια σήμερα είναι αδύνατο να βρεθούν εργάτες για τέτοια διευθέτηση του φορτίου, ενώ ακόμα και η διευθέτηση με μηχανικά μέσα είναι δύσκολη και προκαλεί καθυστερήσεις στη φόρτωση.

Τα σύγχρονα bulk-carriers έχουν σε κάθε πλευρά του στομίου διαμήκεις κεκλιμένες φρακτές, όπως φαίνεται στο σχήμα 16.2ε(β).





Σχ. 16.2ε.

Διαμόρφωση bulk carrier. α) Διαμήκης τομή στο επίπεδο συμμετρίας. β) Εγκάρσιες τομές.

Η διαμόρφωση αυτή, σύμφωνα με τους κανονισμούς της SOLAS, επιτρέπει να θεωρούμε ότι κάτω από τις επιφάνειες που σχηματίζουν γωνία πάνω από  $30^\circ$  με το οριζόντιο επίπεδο, δεν σχηματίζονται κενά, **υπό την προϋπόθεση κανονικής διευθετήσεως**. Αυτό καθιστά τις ροπές εγκάρσιας κλίσεως αρκετά μικρότερες και γι' αυτό τα bulk-carriers έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα για τη μεταφορά σιτηρών σε σχέση με τα συμβατικά φορτηγά.

Συχνά χρησιμοποιείται ο όρος self trimming ships για τα bulk-carriers προκειμένου να δώσει στους φορτωτές την εντύπωση ότι δεν είναι απαραίτητη η διευθέτση του φορτίου. **Στην πραγματικότητα αυτό δεν συμβαίνει, όπως φαίνεται και από την κόκκινη επιφάνεια στο αριστερό μέρος του σχήματος 16.2δ(β). Το πλοίο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως self-trimming μόνο αν υπήρχαν και εγκάρσιες κεκλιμένες φρακτές, κάτι που σπάνια συναντάται στην πράξη.**

Έτσι, υπό κανονικές συνθήκες είναι απαραίτητη η διευθέτση του φορτίου και στα bulk-carriers.

Ειδικοί κανονισμοί του IMO (1977 και 1978) επιτρέπουν τη μη πραγματοποίηση διευθετήσεως, εφόσον, με βάση ειδικούς πρόσθετους υπολογισμούς που θα πρέπει να περιέχονται στο εγχειρίδιο σιτηρών, αποδεικνύεται η ικανοποίηση των απαιτήσεων ευστάθειας, αν υποτεθεί ότι η διαμόρφωση της επιφάνειας των σιτηρών στα πλήρη κύπη είναι όπως φαίνεται με τις κόκκινες γραμμές στο σχήμα 16.2ε(α και β). Η διαμόρφωση αυτή δημιουργεί αυξημένες ροπές εγκάρσιας κλίσεως, η δυσμενής επίδραση των οποίων είναι πιθανό να μπορεί να εξουδετερωθεί μέσα στα πλαίσια των κανονισμών. Σ' αυτήν την περίπτωση είναι δυνατό να αποφευχθεί η διευθέτση (χαπάρισμα) του φορτίου, με σημαντικά ωφέλη.

Σε πολύ λίγα bulk-carriers υπάρχουν σήμερα τέτοιες μελέτες, παρατηρείται όμως μία τάση να συμπληρώνονται προοδευτικά τα σχετικά εγχειρίδια φορτώσεως σιτηρών, γιατί τα πλεονεκτήματα από την αποφυγή της διευθετήσεως είναι οπωσδήποτε πολύ σημαντικά.

### 16.3 Μεταφορά ξυλείας.

#### 16.3.1 Γενικά. Μονάδες μετρήσεως.

Τα **φορτία ξυλείας** (lumber or timber loads) αποτελούν ένα πολύ σημαντικό ποσοστό στις διεθνείς μεταφορές. Ένα πλοίο μπορεί να μεταφέρει **ολικό** (full) ή **μερικό** (part cargo) **φορτίο ξυλείας**. Αν μεταφέρει ολικό φορτίο ξυλείας είναι πιθανό, για να εκμεταλλευθούμε την πλήρη μεταφορική του ικανότητα, να χρειασθεί να τοποθετήσουμε φορτίο και πάνω σε τμήματα του ανώτερου καταστρώματος, δηλαδή έξω από τα κύπη του, εξαιτίας των μεγάλων συντελεστών στοιβασίας που έχουν αρκετές ποικιλίες ξυλείας. Για τέτοιες μεταφορές ισχύουν ιδιαίτεροι κανονισμοί, οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω.

Για τη μέτρηση του όγκου στις μεταφορές ξυλείας, χρησιμοποιείται μία πολύ μεγάλη ποικιλία μονάδων

μετρήσεως.

Έτσι:

1) Στις ΗΠΑ ως μονάδα χρησιμοποιούν τα **1000 Board Feet**. Στη Βρετανία και τις χώρες της Βόρειας Ευρώπης τη μονάδα **Standard**, η οποία όμως έχει πολλές παραλλαγές που δεν συνδέονται μεταξύ τους με μία απλή σχέση.

2) Στη Γαλλία, Ιταλία, Βέλγιο χρησιμοποιείται η μονάδα **Stere** που είναι ίση με  $1 \text{ m}^3$ .

Αποκλειστικά στη Βρετανία χρησιμοποιείται η μονάδα **Petrograd Standard**. Η περιγραφή και η σύνθεση διαφόρων μονάδων Standard δίνεται στον πίνακα 16.3.1.

Σύγκριση των μονάδων που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ, φαίνεται στον πίνακα 16.3.2 ενώ η αντιστοιχία του Stere με τις άλλες μονάδες δίνεται στον πίνακα 16.3.3.

Οι συντελεστές στοιβασίας των διαφόρων ποικιλιών ξύλου κυμαίνονται από 27 ( $\text{ft}^3/\text{LT}$ ) για το αγιόξυλο (*lignum vitae*) μέχρι 149 ( $\text{ft}^3/\text{LT}$ ) για το φελλό.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ένα πλοίο είναι δυνατό να φορτώνεται με ξυλεία στην πλήρη του

**Πίνακας 16.3.1**  
**Περιγραφή και σύνθεση μονάδων Standard.**

| Περιγραφή                 | Τεμάκια   | Διαστάσεις<br>in × in × ft                              | Ισοδύναμη ποσότητα σε Board feet | Ισοδύναμη ποσότητα σε $\text{ft}^3$ |
|---------------------------|---|---|----------------------------------|-------------------------------------|
| Petrograd Standard        | 120   | $1\frac{1}{2} \times 11 \times 12 =$                    | 1980                             | = 165                               |
| Christiania Standard      | 120   | $1\frac{1}{4} \times 9 \times 11 =$                     | 1237,5                           | = 103,12                            |
| London ή Irish Standard   | 120   | $3 \times 9 \times 12 =$                                | 3240                             | = 270                               |
| Quebec Standard           | 100   | $2\frac{1}{2} \times 11 \times 12 =$                    | 2750                             | = 229,2                             |
| Drammen Standard          | 120   | $2\frac{1}{2} \times 6\frac{1}{2} \times 12 =$          | 1462,5                           | = 121,9                             |
| Drontheim Standard        | (τάβλες)  |   | 2376                             | = 198                               |
| Drontheim Standard        | (καδρόνια)  |   | 2160                             | = 180                               |
| Drontheim Standard        | (κύλινδροι)   |   | 1728                             | = 144                               |
| Wyburg Standard           | (τάβλες)  |   | 2160                             | = 180                               |
| Wyburg Standard           | (καδρόνια)  |   | 1963                             | = 163,5                             |
| Wyburg Standard           | (κύλινδροι)   |   | 1560                             | = 130                               |
| 1 Petrograd Standard Deal | = 1 κομμάτι (τάβλα)                                 | $6 \text{ ft} \times 3 \text{ in} \times 11 \text{ in}$ |                                  |                                     |
| 1 «Hundred Deals»         | = 120 τάβλες  |   |                                  |                                     |
| 1 Stack of wood           | = $108 \text{ ft}^3 = \frac{1}{2}$ (fathom of wood) | = (Petrograd Standard)                                  |                                  |                                     |
| 1 Chord of wood           | = $128 \text{ ft}^3 = 3,624$ Steres                 |   |                                  |                                     |
| 1 Fathom of wood          | = $216 \text{ ft}^3 = 1$ Petrograd Standard         |   |                                  |                                     |
| 1 Load of unhewn timber   | = $40 \text{ ft}^3$                                 |   |                                  |                                     |
| 1 Load of hewn timber     | = $50 \text{ ft}^3$                                 |   |                                  |                                     |

**Πίνακας 16.3.2**  
**Σύγκριση μονάδων που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ.**

|                            |  |
|----------------------------|--|
| 1 Board ή superficial foot | = $1 \text{ ft}^3$ με πάχος 1 in           |
| 1 Square                   | = 100 Board feet                           |
| 1 Mille                    | = 1000 Board feet                          |
|                            | = $83,5 \text{ ft}^3$                      |
|                            | = περίπου $\frac{1}{2}$ Petrograd Standard |

**Πίνακας 16.3.3**  
**Αντιστοιχία του Stere με άλλες μονάδες.**

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| 1 Stere         | = $35,314 \text{ ft}^3$ |
|                 | = 0,2759 Cords          |
|                 | = 0,1635 Fathoms        |
|                 | = 423,77 Board ft       |
|                 | = $1 \text{ m}^3$       |
| 3,624 Steres    | = 1 Cord                |
| 0,028317 Steres | = $1 \text{ ft}^3$      |

μεταφορική ικανότητα χωρίς να γεμίζουν τα κύπη του τελείως, αλλά μπορεί να συμβαίνει και το αντίθετο (πλήρωση κυτών χωρίς να φορτώνεται το πλοίο στην πλήρη μεταφορική ικανότητα). Το τελευταίο είναι και το συνηθέστερο, οπότε και δημιουργείται η ανάγκη φορτώσεως και πάνω στο κατάστρωμα. **Η ικανότητα μεταφοράς ξυλείας μέσα στα κύπη ενός πλοίου μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:**

$$\begin{aligned} \text{Μεταφορική ικανότητα σε Petrograd Standards} &= \\ &= \frac{\text{Μεταφορική ικανότητα (bale) σε } f-t^3 \times 100}{12} \end{aligned} \quad (156)$$

### 16.3.2 Ύψος εξάλων για μεταφορά ξυλείας.

Η φόρτωση ξυλείας πάνω στο κατάστρωμα των πλοίων θεωρείται ότι παρέχει σ' αυτά αυξημένη πλευστότητα και ασφάλεια. Για το λόγο αυτό οι κανονισμοί της Δ.Σ. περί Γραμμής Φορτώσεως επιτρέπουν σ' αυτές τις περιπτώσεις, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, να υπάρχει μικρότερο ύψος εξάλων. Αυτός είναι ο λόγος που μερικές φορές στα πλοία υπάρχουν χαραγμένες και **γραμμές φορτώσεως ξυλείας**.

Η δυνατότητα του πλοίου να φορτώνεται μέχρι να πλεύσει στη γραμμή φορτώσεως ξυλείας συνδέεται πάντοτε με την ύπαρξη φορτίου ξυλείας πάνω στο κατάστρωμα. **Φορτίο ξυλείας πάνω στο κατάστρωμα θεωρείται κάθε είδος ξυλείας εκτός από τον πολτό και άλλα παρόμοια φορτία.**

### 16.3.3 Προϋποθέσεις για την εφαρμογή μειωμένου ύψους εξάλων.

Για να επιτραπεί ένα πλοίο να έχει μικρότερο ύψος εξάλων, πρέπει, σύμφωνα με την Δ.Σ. περί Γραμμής Φορτώσεως, να συντρέχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

#### 1) Ως προς την κατασκευή του πλοίου:

α) Το πλοίο πρέπει να έχει πρωραίο υπερστέγασμα (forecastle) με κανονικό ύψος και μήκος ίσο τουλάχιστον με τα 7/100 του μήκους του πλοίου.

β) Αν το πλοίο έχει μήκος κάτω από 100 m, θα πρέπει να υπάρχει και πρυμναίο υπερστέγασμα (roor) με κανονικό ύψος ή άλλος ενισχυμένος οικίσκος.

γ) Οι δεξαμενές του διπύθμενου που βρίσκονται στην περιοχή του μέσου του πλοίου (σε συνολικό μήκος ίσο με το 50% του μήκους του), θα πρέπει να είναι χωρισμένες σε δεξιές και αριστερές με μία διαμήκη διαχωριστική φρακτί.

δ) Το κατάστρωμα του πλοίου θα πρέπει να έχει παραπέτο ύψους τουλάχιστον 1 m ενισχυμένης μορφής.

**Οι παραπάνω απαιτήσεις δεν είναι πολύ ουσιώδεις για τον πλοίαρχο, γιατί, εφόσον το πλοίο είναι εφοδιασμένο με κατάλληλο πιστοποιητικό και έχει χαραγμένες γραμμές φορτώσεως ξυλείας, σημαίνει ότι οι απαιτήσεις αυτές ικανοποιούνται.**

#### 2) Ως προς τη στοιβασιά του φορτίου:

α) Όλα τα ανοίγματα του ανώτερου καταστρώματος που καλύπτονται με ξυλεία θα πρέπει να έχουν σφραγισθεί με ασφάλεια.

β) Οι ανεμοδόχοι του καταστρώματος θα πρέπει να είναι προστατευμένοι. Όλοι οι χώροι που βρίσκονται ανάμεσα στις υπερκατασκευές θα πρέπει να είναι γεμάτοι με ξυλεία τουλάχιστον μέχρι το ύψος των υπερκατασκευών. Όταν δεν υπάρχει πρυμναία υπερκατασκευή θα πρέπει, όπως είπαμε παραπάνω, να φορτώνεται ξυλεία με ύψος μέχρι την πρυμναία φρακτί του πιο πρυμναίου κύτους.

γ) Στις ζώνες χειμώνα, το χειμώνα, το ύψος της ξυλείας πάνω από το ανώτερο συνεχές κατάστρωμα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 1/3 του μέγιστου πλάτους του.

δ) Το φορτίο ξυλείας στο κατάστρωμα πρέπει να είναι καλά στοιβαγμένο, με σωστή έκταση και να μην παρεμποδίζει τους χειρισμούς ναυτιλίας, αλλά ούτε και τις υπόλοιπες λειτουργικές ανάγκες του πλοίου.

ε) Όπου επιβάλλεται από το είδος της ξυλείας, θα πρέπει να υπάρχουν ορθοστάτες σε αποστάσεις κατά μήκος μεταξύ τους που να μην υπερβαίνουν τα 3 m.

στ) Στο παραπέτο θα πρέπει να υπάρχουν πόρπες για να ασφαλιζεται (έχμαση) το φορτίο ξυλείας, με ανεξάρτητες αλυσίδες σε αποστάσεις, κατά μήκος, μικρότερες από 3 m. Οι αλυσίδες που θα χρησιμοποιηθούν για την έχμαση πρέπει να έχουν διάμετρο κρίκου 3/4 της in ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυασμός συρματόσχοινου και αλυσίδας με εντατήρες κατάλληλης αντοχής.

### 3) Ως προς την ευστάθεια:

Σύμφωνα με τους κανονισμούς της Δ.Σ. περί Γραμμής Φορτώσεως, είναι απαραίτητο να εξασφαλιζεται στο πλοίο η ύπαρξη του απαραίτητου επιπέδου ευστάθειας σε όλες τις φάσεις του ταξιδιού (αναχώρηση, ενδιάμεση κατάσταση και άφιξη), λαμβανομένης υπόψη της καταναλώσεως καυσίμων και εφοδίων και της προσθήκης βάρους λόγω απορροφήσεως υγρασίας από την ξυλεία ή παγώματος του νερού πάνω σ' αυτήν.

Ποσοτική μορφή των παραπάνω απαιτήσεων δίνεται στον **κώδικα ασφαλούς πρακτικής για πλοία που μεταφέρουν φορτία ξυλείας στο κατάστρωμα** (code for safe practice for ships carrying timber deck cargoes). Οι κανονισμοί αυτοί που αναφέρονται σε πλοία με μήκος κάτω από 100 m προβλέπουν τα εξής:

α) Η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη μοχλοβραχιόνων επαναφοράς (καμπύλη GZ) δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0,08 μετροακτίνια μέχρι γωνία εγκάρσιας κλίσεως  $40^\circ$  ή μέχρι τη γωνία  $\varphi_f$  (αν αυτή είναι μικρότερη από  $40^\circ$ ), όπου  $\varphi_f$  είναι η γωνία εγκάρσιας κλίσεως, πάνω από την οποία μεγάλα μη στεγανά ανοίγματα στη γάστρα ή στις υπερκατασκευές του πλοίου αρχίζουν να βυθίζονται στο νερό.

β) Η μέγιστη τιμή του βραχίονα επαναφοράς πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,25 m.

γ) Σε όλες τις φάσεις του ταξιδιού το μετακεντρικό ύψος του πλοίου μετά τη διόρθωσή του για τις ελεύθερες επιφάνειες πρέπει να είναι θετικό. Στους σχετικούς υπολογισμούς, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο σχηματισμός πάγου ή η απορρόφηση υγρασίας από την ξυλεία. Ειδικά στην κατάσταση αναχωρήσεως το μετακεντρικό ύψος θα πρέπει να έχει τιμή όχι μικρότερη από 0,10 m.

Σε μερικά λιμάνια απαιτείται (ή γίνεται δεκτός) ο προσδιορισμός του μετακεντρικού ύψους πλοίων, που έχουν φορτώσει ξυλεία στο κατάστρωμα με τη γνωστή μέθοδο του Sallying experiment (παράγρ. 8.6). Η σχετική μεθοδολογία και η πρακτική που πρέπει να εφαρμοσθεί από τον πλοίαρχο για την πραγματοποίηση του πειράματος αυτού περιέχεται στους κανονισμούς **Recommendation on intact Stability for passenger and cargo ships under 100 metres in length as amended with respect to ships carrying deck cargoes to IMO**. Οι κανονισμοί αυτοί περιέχονται στην έκδοση «Resolutions and other decisions of IMO, eighth session, 13 November – 23 November 1973» και αλλού.

Για τον προσδιορισμό του μετακεντρικού ύψους πλοίων με μήκος κάτω από 70 m με χρησιμοποίηση της περιόδου ταλαντώσεως του πλοίου σε διατοιχισμό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα του σχήματος 16.3α, που προέρχεται από τους σχετικούς κανονισμούς του IMO. Για πλοία με μεγαλύτερο μήκος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη αυτά που περιέχονται στην παράγραφο 8.7.

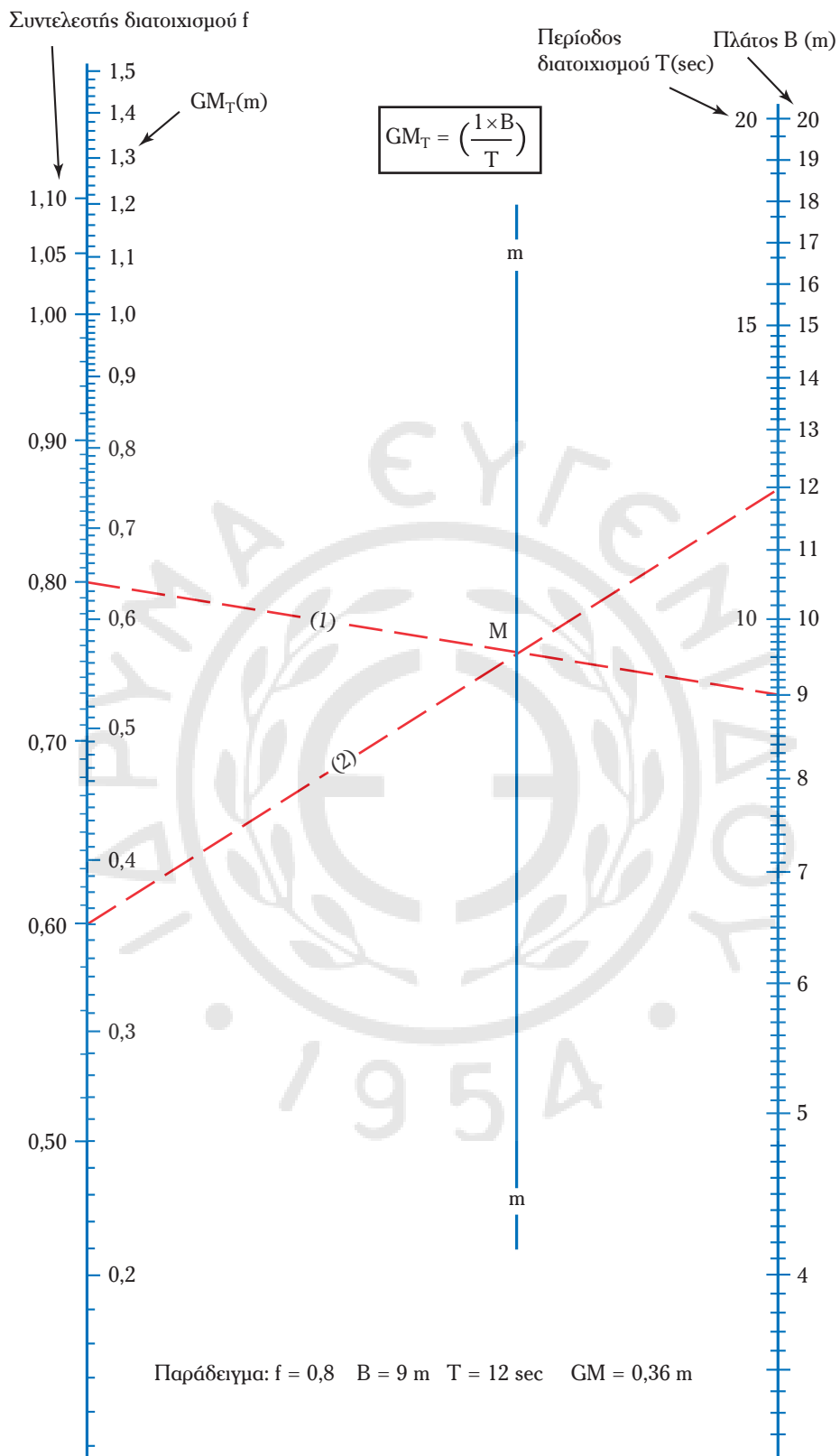
### Παράδειγμα.

Ένα πλοίο έχει συντελεστή  $f = 0,8$  και πλάτος 9 m. Η περίοδος διατοιχισμού του πλοίου βρέθηκε με την μέθοδο Sallying experiment ίση με  $T = 12$  sec. Να εκτιμηθεί το μετακεντρικό ύψος του πλοίου στην κατάσταση του πειράματος.

Συνδέομε τις τιμές  $f = 0,8$  και  $B = 9$  m με μία ευθεία που τέμνει την ευθεία mm στο σημείο M (σχ. 16.3α). Συνδέομε το σημείο  $T = 12$  sec με το M και βρίσκομε το μετακεντρικό ύψος στο σημείο που η παραπάνω ευθεία τέμνει την αντίστοιχη κλίμακα. Δηλαδή  $GM = 0,36$  m.

### 4) Ως προς την προστασία πληρώματος, εισόδου στο μηχανοστάσιο κλπ.:

Το φορτίο ξυλείας (όπως και οποιοδήποτε φορτίο καταστρώματος) δεν θα πρέπει να εμποδίζει την είσοδο και το σωστό σφράγισμα των απαιτήτων για τη λειτουργία του πλοίου ανοιγμάτων του καταστρώματος, όπως οι κάθοδοι στο μηχανοστάσιο. Γύρω από το φορτίο ξυλείας στις παραπάνω περιοχές θα πρέπει να υπάρχουν προστατευτικά κιγκλιδώματα που να εκτείνονται 1 m υψηλότερα από το υψηλότερο σημείο της ξυλείας.



Σχ. 16.3α.

### **5) Ως προς το μηχανισμό κινήσεως πηδαλίου:**

Ο μηχανισμός κινήσεως του πηδαλίου θα πρέπει να είναι προσιτός και προστατευμένος από το φορτίο ξυλείας του καταστώματος.

#### **Συμπεράσματα:**

1) Ένα πλοίο μπορεί να φορτωθεί σύμφωνα με τις γραμμές φορτώσεως ξυλείας, μόνο αν τηρούνται οι προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω.

2) Στην αντίθετη περίπτωση το πλοίο μπορεί να φορτωθεί με ξυλεία σύμφωνα με τις κανονικές γραμμές φορτώσεώς του, με την προϋπόθεση ότι τηρούνται οι γενικοί κανονισμοί που ισχύουν για τα φορτηγά πλοία.

3) Σε πολλά κράτη ισχύουν ειδικοί κανονισμοί για τη φόρτωση ξυλείας, για τους οποίους ο πλοίαρχος θα πρέπει να ενημερωθεί έγκαιρα.

4) Η σωστή έκραση, κυρίως του φορτίου ξυλείας πάνω στο κατάστρωμα, είναι απόλυτα ουσιώδης.

5) Πριν από κάθε φόρτωση ξυλείας ο πλοίαρχος θα πρέπει να ενημερώνεται για τις διατάξεις του κώδικα μεταφοράς ξυλείας στο κατάστρωμα του IMO ή για τους άλλους εθνικούς κανονισμούς που ισχύουν στο λιμάνι φορτώσεως. Οι παραπάνω κώδικες περιλαμβάνουν όχι μόνο θεωρητικές, αλλά και πολύ χρήσιμες πρακτικές υποδείξεις.

#### **16.3.4 Η ξυλεία ως φορτίο πάνω στο κατάστρωμα.**

Λόγω των πλεονεκτημάτων που όπως προαναφέραμε παρέχει η Δ.Σ. περί Γραμμής Φορτώσεως, η φόρτωση ξυλείας πάνω στο ανώτερο κατάστρωμα των πλοίων αποτελεί την πιο συνηθισμένη περίπτωση μεταφοράς φορτίων πάνω στο κατάστρωμα. Μάλιστα η ξυλεία είναι και ένα από τα πιο κρίσιμα φορτία που μεταφέρονται στο κατάστρωμα, γιατί απορροφά υγρασία (από τη βροχή, τη θάλασσα ή τον αέρα) και γίνεται βαρύτερη. Έτσι έχουμε σημαντική αύξηση ενός τμήματος του βάρους του πλοίου, το οποίο βρίσκεται ψηλά, με αποτέλεσμα την επιδείνωση της ευστάθειας.

Για το λόγο αυτό, πρέπει να εφαρμόζονται με σχολαστικότητα όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, αλλά και όσα περιέχονται σε επόμενη παράγραφο και εφαρμόζονται γενικά σε όλες τις περιπτώσεις μεταφοράς φορτίου στο κατάστρωμα των πλοίων.

#### **16.3.5 Προϋπολογισμός φορτίου ξυλείας που μπορεί να φορτωθεί στο πλοίο.**

Γενικά οι υπολογισμοί της ποσότητας ξυλείας που μπορεί να φορτωθεί σε ένα πλοίο είναι αρκετά επίπονοι, γιατί πρέπει ταυτόχρονα να ικανοποιηθούν οι εξής απαιτήσεις:

1) Το πλοίο να παραλάβει το μέγιστο δυνατό φορτίο που επιτρέπει η σχεδίαση και τα χαρακτηριστικά του.

2) Να εξασφαλισθεί ότι το πλοίο δεν θα έχει βύθισμα που να υπερβαίνει το επιτρεπόμενο από τους κανονισμούς της γραμμής φορτώσεως.

3) Να εξασφαλισθεί ότι η ποσότητα της ξυλείας που θα φορτωθεί στο κατάστρωμα δεν θα υπερβαίνει ούτε θα υπολείπεται από το μέγιστο και ελάχιστο όριο, αντίστοιχα, τα οποία καθορίζονται στους κανονισμούς.

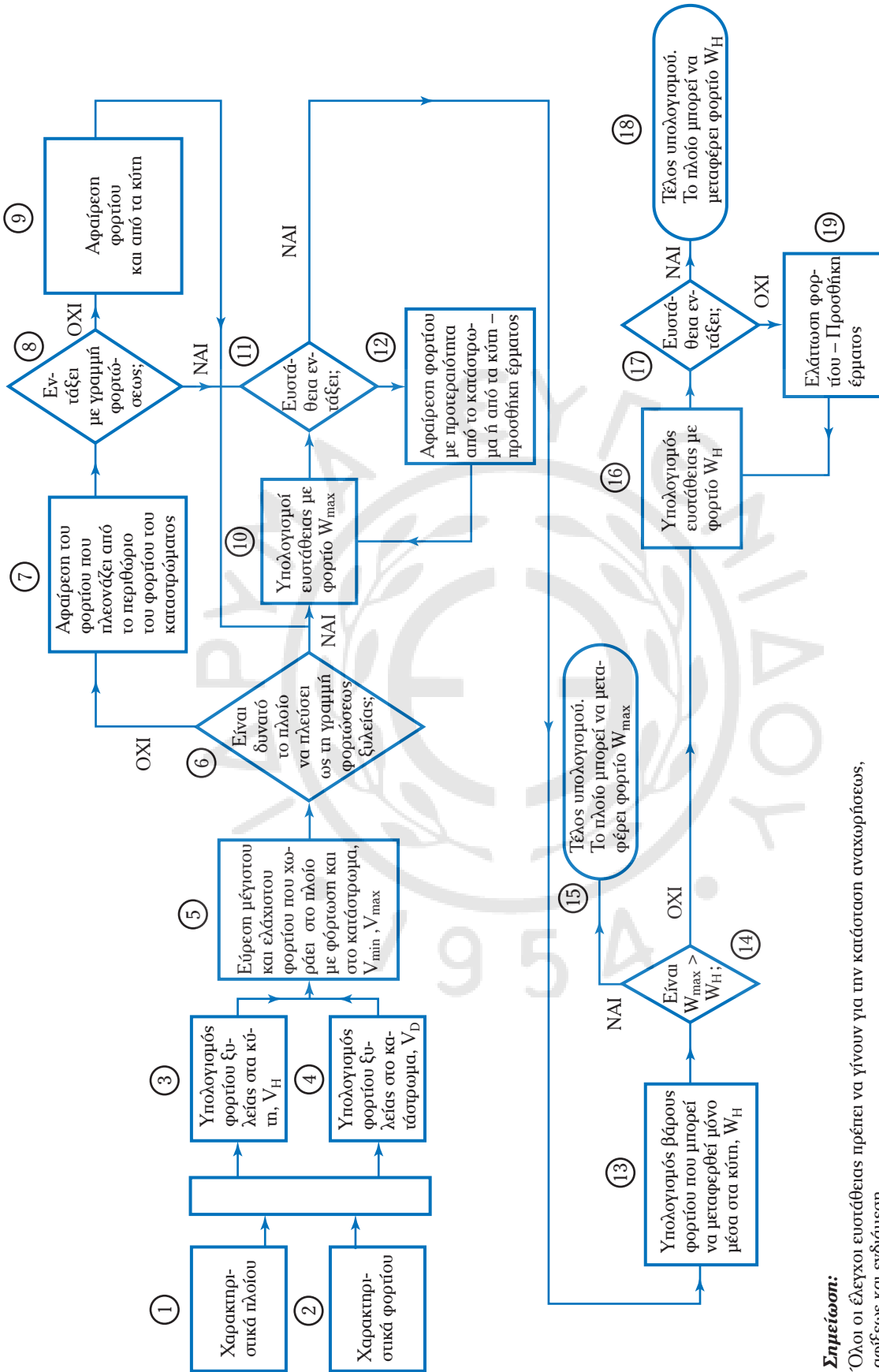
4) Να εξασφαλισθεί ότι η ευστάθεια στην αναχώρηση, άφιξη και ενδιάμεση κατάσταση είναι η προβλεπόμενη από τους κανονισμούς.

5) Να εξασφαλισθεί ότι τα καταστώματα δεν φορτίζονται πέρα από το όριο αντοχής τους.

Κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες μπορεί μόνος του ή σε συνδυασμό με τους άλλους να περιορίσει την ποσότητα του φορτίου που είναι δυνατό να παραλάβει ένα πλοίο.

Η σχετική διαδικασία που φαίνεται γραφικά στο διάγραμμα δραστηριοτήτων (block – diagram) του σχήματος 16.3β είναι η εξής (οι αριθμοί των φάσεων υπολογισμού συμπίπτουν με τους αριθμούς στο διάγραμμα δραστηριοτήτων):

1) Συγκεντρώνονται όλα τα απαραίτητα για τους υπολογισμούς στοιχεία του πλοίου, όπως π.χ. το υδροστατικό διάγραμμα, οι καμπύλες ευστάθειας, τα ογκομετρικά δεξαμενών, το σχέδιο χωρητικότητας και τα στοιχεία αντοχής των καταστωμάτων.



**Σημείωση:**

Όλοι οι έλεγχοι ευστάθειας πρέπει να γίνουν για την κατάσταση αναχωρήσεως, αφίξεως και ενδιάμεση.

**Σχ. 16.3β.** Διαδικασία υπολογισμού φορτώσεως ξυλείας.

2) Προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά του φορτίου και συγκεκριμένα ο συντελεστής στοιβασίας, οι διαστάσεις του και η μορφή με την οποία θα παραδοθεί.

3) Υπολογίζεται ο όγκος του φορτίου  $V_H$  που μπορεί να χωρέσει στα κύτν. Αυτός είναι ίσος με τον όγκο των κυτών για φορτίο σε πακέτα (bale capacity), όταν δεν υπάρχουν προβλήματα αντοχής του καταστρώματος. Όταν υπάρχουν προβλήματα αντοχής, ο όγκος του φορτίου σε κάθε κύτος είναι ίσος με:

$$\text{Όγκος φορτίου στο κύτος} = A \times h$$

όπου:  $A$  είναι η επιφάνεια του δαπέδου του κύτους και  $h$  το μέγιστο ύψος φορτίου που επιτρέπεται για λόγους αντοχής.

Ο όγκος του φορτίου που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο προκύπτει με άθροιση των όγκων φορτίου που επιτρέπεται να έχουμε σε κάθε ένα κύτος.

4) Η ποσότητα της ξυλείας που μπορεί να φορτωθεί στο κατάστρωμα, εξαρτάται από την επιφάνεια του καταστρώματος και τη μορφή της σε σχέση με τις διαστάσεις του φορτίου και επί πλέον από:

- α) Το ύψος των υπερκατασκευών.
- β) Την αντοχή του καταστρώματος.
- γ) Το πλάτος του πλοίου (αν πρόκειται το πλοίο να πλεύσει σε εποχιακή ζώνη χειμώνα).

Με βάση τις παραπάνω απαιτήσεις προκύπτει γενικά ένα μέγιστο και ένα ελάχιστο ύψος φορτίου ξυλείας στο κατάστρωμα και επομένως και ένας μέγιστος  $V_{D_{max}}$  και ένας ελάχιστος  $V_{D_{min}}$  όγκος φορτίου ξυλείας στο κατάστρωμα.

5) Με την παραπάνω διαδικασία, βρίσκουμε το μέγιστο και ελάχιστο όγκο φορτίου που μπορεί να χωρέσει στο πλοίο (κύτν και κατάστρωμα) χωρίς ταυτόχρονα να δημιουργεί προβλήματα αντοχής στα καταστρώματα. **Τονίζεται όμως ότι ο παραπάνω όγκος φορτίου είναι πιθανόν να μην μπορεί να μεταφερθεί από το πλοίο λόγω άλλων απαιτήσεων (μέγιστου βυθίσματος και ευστάθειας).**

Γενικά έχουμε:

$$V_{max} = V_H + V_{D_{max}}$$

$$V_{min} = V_H + V_{D_{min}}$$

όπου:  $V_{max}$  και  $V_{min}$  είναι αντίστοιχα ο μέγιστος και ελάχιστος όγκος φορτίου που χωράει (όχι κατ' ανάγκη που μπορεί να μεταφερθεί) στο πλοίο. Υπολογίζουμε αντίστοιχα και τα βάρη  $W_{max}$  και  $W_{min}$  που αντιστοιχούν στα  $V_{max}$  και  $V_{min}$ .

6) Με υπολογισμούς όπως αυτούς του παραδείγματος της παραγράφου 15.4 βρίσκουμε το βάρος του φορτίου  $W$ , που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο, σε συνάρτηση με τις γραμμές φορτώσεως ξυλείας.

7) Αν  $W_{max} > W$ , δεν είναι δυνατό να μεταφερθεί φορτίο  $W_{max}$ , αλλά μόνο  $W$ . Στο πρόχειρο λοιπόν σχέδιο φορτώσεως που έχουμε κάνει, θα πρέπει να αφαιρέσουμε όσο φορτίο είναι απαραίτητο από το κατάστρωμα, με ανώτατο όριο ίσο με  $W_{max} - W_{min}$ .

8) Ξαναελέγχουμε αν το φορτίο, που απομένει μετά από την αφαίρεση όσου φορτίου επιτρέπεται να αφαιρεθεί από το κατάστρωμα, είναι ίσο ή μικρότερο από το φορτίο  $W$ .

9) Αν χρειάζεται και άλλη αφαίρεση φορτίου, αφαιρείται φορτίο από τα κύτν. Στην έναρξη αυτής της φάσεως έχουμε φθάσει σε ένα πρώτο βάρος φορτίου  $W_{max}$ , το οποίο, αν δεν υπάρχουν προβλήματα ευστάθειας, μπορεί να μεταφέρει το πλοίο (μικρότερο ή ίσο από εκείνο που βρήκαμε στη φάση υπολογισμού 5).

10) Στη συνέχεια πραγματοποιούμε υπολογισμούς ευστάθειας.

11) Συγκρίνουμε τα αποτελέσματα ευστάθειας με τα κριτήρια που ισχύουν στο λιμάνι φορτώσεως.

12) Αν τα κριτήρια δεν ικανοποιούνται, αφαιρούμε φορτίο και προσθέτουμε, αν είναι δυνατό, υγρό έρμα. Η αφαίρεση του φορτίου πραγματοποιείται με προτεραιότητα από εκείνο του καταστρώματος που βρίσκεται πάνω από τις υπερκατασκευές και στη συνέχεια από τα πιο δυσμενή (υψηλότερα) κύτν. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται μέχρι να φθάσουμε σε αποδεκτά επίπεδα ευστάθειας.

13) Η φάση αυτή έχει ήδη γίνει στο 5.

14) Συγκρίνουμε το  $W_{max}$  με το  $W_H$ .

15) Αν  $W_{max} > W_H$ , ο υπολογισμός τελειώνει. Το πλοίο θα μεταφέρει φορτίο  $W_{max}$  σύμφωνα με τη γραμμή φορτώσεως ξυλείας.



16) Αν πάλι  $W_{\max} < W_H$ , δεν συμφέρει να φορτωθεί το πλοίο με βάση τη γραμμή φορτώσεως ξυλείας, αλλά είναι προτιμότερο η φόρτωση να γίνει σύμφωνα με την κανονική γραμμή φορτώσεως και γι' αυτό θα πρέπει να γίνουν νέοι υπολογισμοί ευστάθειας με βάση το φορτίο  $W_H$ .

17) Συγκρίνουμε τα αποτελέσματα ευστάθειας με τα κριτήρια που ισχύουν στο λιμάνι φορτώσεως.

18) Αν τα κριτήρια ευστάθειας ικανοποιούνται, ο υπολογισμός τελειώνει και το πλοίο μπορεί να μεταφέρει φορτίο  $W_H$ .

19) Αν τα κριτήρια ευστάθειας δεν ικανοποιούνται, αφαιρούμε φορτίο προοδευτικά από τα πιο δυσμενή (υψηλότερα) κύπη και επαναλαμβάνουμε τους υπολογισμούς μέχρι να ικανοποιηθούν τα κριτήρια ευστάθειας. Σ' αυτήν την περίπτωση καταλήγουμε σε κάποιο φορτίο που είναι μικρότερο από το  $W_H$ .

### Παράδειγμα.

Το πλοίο Α πρόκειται να φορτώσει ξυλεία με συντελεστή στοιβασίας  $1,66 \text{ m}^3/\text{MT}$ . Θα αποπλεύσει με την κατάσταση υγρών στις δεξαμενές που δείχνει ο πίνακας 6.4.1. Το ταξίδι περιλαμβάνει και ένα τμήμα μέσα σε εποχιακή ζώνη χειμών. Υπολογισμοί αντίστοιχοι με εκείνους του παραδείγματος της παραγράφου 15.4 έχουν δώσει τα εξής αποτελέσματα:

|                                   | Deadweight (MT) | Φορτίο (MT) |
|-----------------------------------|-----------------|-------------|
| Για τη γραμμή φορτώσεως ξυλείας   | 44500           | 44061       |
| Για την κανονική γραμμή φορτώσεως | 40800           | 40361       |

Άλλα στοιχεία του πλοίου:

- Υδροστατικός πίνακας όπως στον πίνακα 5.6.1.
- Στοιχεία δεξαμενών όπως στον πίνακα 5.8.1.
- Στοιχεία κυτών όπως στον πίνακα 5.9.1.
- Κατάσταση δεξαμενών στη φόρτωση όπως στον πίνακα 6.4.1.
- Στοιχεία για το άφορτο πλοίο από τον πίνακα 6.4.3.
- Παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας (σχ. 10.3).
- Μήκος πλοίου μεταξύ καθέτων. 192 m
- Μέγιστο πλάτος. 28,95 m
- Κοίλο. 14,0 m
- Ύψος υπερκατασκευής. 6 m
- Επιφάνεια καταστρώματος όπου μπορεί να φορτωθεί ξυλεία.  $4200 \text{ m}^2$
- Ύψος κυτών. 12,80 m
- Επιτρεπόμενο φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας.
- Ανώτερου καταστρώματος.  $5 \text{ MT/m}^2$
- Οροφής διπύθμενου.  $8 \text{ MT/m}^2$

Η φόρτωση είναι επιθυμητό να γίνει μόνο στα κύπη και στο κατάστρωμα. Δεν υπάρχουν ιδιαίτερα προβλήματα φορτώσεως και έτσι είναι δυνατή η φόρτωση στα κύπη, αν ληφθεί υπόψη η χωρητικότητά τους σε πακεταρισμένα φορτία μέχρι τους ενισχυμένους νομείς.

Ως κριτήριο επαρκούς ευστάθειας να θεωρηθεί η ύπαρξη θετικού μετακεντρικού ύψους.

Οι παρακάτω φάσεις υπολογισμών έχουν αριθμολογηθεί σύμφωνα με τις αντίστοιχες φάσεις της σχετικής διαδικασίας, όπως αυτή έχει ήδη επεξηγηθεί παραπάνω.

### Φάση 3<sup>η</sup>: όγκος φορτίου στα κύπη.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 5.6.1, ο συνολικά διατιθέμενος όγκος κυτών είναι  $41453 \text{ m}^3$ .

Για την επιτρεπόμενη φόρτιση του δαπέδου (οροφή διπύθμενου) και το δεδομένο συντελεστή στοιβασίας θα έχουμε:

$$\left( \begin{array}{l} \text{Επιτρεπόμενο ύψος} \\ \text{φορτίου στα κύπη} \end{array} \right) \times \frac{1}{S \times F} = 8 \text{ MT} / \text{m}^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Επιτρεπόμενο ύψος} \\ \text{φορτίου στα κύπη} \end{array} \right\} = 8 \times 1,66 = 13,28 \text{ m}$$

Τα κύπη όμως έχουν ύψος 12,8 m και επομένως δεν υπάρχει πρόβλημα αντοχής. Άρα:

$$V_H = 41453 \text{ m}^3$$

**Φάση 4<sup>η</sup>: όγκος φορτίου στο κατάστρωμα.**

Για λόγους αντοχής (όπως και παραπάνω) το επιτρεπόμενο ύψος είναι ίσο με:

$$5 \times 1,66 = 8,3 \text{ m}$$

Λόγω εποχιακής ζώνης χειμώνα το επιτρεπόμενο ύψος είναι ίσο με:

$$\frac{B}{3} - \frac{28,95}{3} = 9,65 \text{ m}$$

Το ελάχιστο ύψος φορτίου στο κατάστρωμα = ύψος υπερκατασκευής = 6 m. Επομένως στο κατάστρωμα πρέπει να υπάρχει ύψος ξυλείας μεγαλύτερο από 6 m και μικρότερο από 8,3 m. Άρα:

$$V_{D_{\max}} = 4200 \times 6 = 25200 \text{ m}^3$$

$$V_{D_{\min}} = 4200 \times 8,3 = 34860 \text{ m}^3$$

**Φάση 5<sup>η</sup>: συνολικοί όγκοι φορτίου.**

Ως συνέπεια των παραπάνω έχουμε:

$$V_{\max} = V_H + V_{D_{\max}} = 41453 + 34860 = 76313 \text{ m}^3$$

$$V_{\min} = V_H + V_{D_{\min}} = 41453 + 25200 = 66653 \text{ m}^3$$

$$W_{\max} = \frac{76313}{1,66} = 45971 \text{ MT}$$

$$W_{\min} = \frac{66653}{1,66} = 40152 \text{ MT}$$

**Φάση 6<sup>η</sup>: επιτρεπόμενο φορτίο ξυλείας για γραμμή φορτώσεως ξυλείας.**

Από τα δεδομένα του προβλήματος, το φορτίο αυτό είναι ίσο με 44061 MT.

**Φάση 7<sup>η</sup>: Επειδή  $W_{\max} > W$ , πρέπει να αφαιρέσουμε από το κατάστρωμα φορτίο ίσο με  $45971 - 44061 = 1910 \text{ MT}$ .**

Έτσι θα έχουμε:

$$W_{\max} \text{ (για τους παραπέρα υπολογισμούς)} = 44061 \text{ MT}$$

$$\text{Νέο } V_{\max} = 44061 \times 1,66 = 73141 \text{ m}^3$$

$$\text{Νέο } V_D = 73141 - 41453 = 31688 \text{ m}^3$$

$$\text{Βάρος φορτίου κύτους} = \frac{41453}{1,66} = 24972 \text{ MT}$$

$$\text{Βάρος φορτίου καταστρώματος} = \frac{31688}{1,66} = 19089 \text{ MT}$$

$$\text{Ύψος φορτίου καταστρώματος} = \frac{31688}{4200} = 7,54 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Κατακόρυφη απόσταση Κέντρου Βάρους φορτίου καταστρώματος πάνω από την τρόπιδα} &= \\ &= 13 + \frac{7,54}{2} = 16,77 \text{ m} \end{aligned}$$

**Φάση 8<sup>η</sup>: σύγκριση βάρους με επιτρεπόμενο.**

Το βάρος που προβλέπεται να φορτωθεί στη φάση αυτή είναι ίσο με το επιτρεπόμενο (44061 MT).

**Φάση 9<sup>η</sup>: στο παράδειγμα αυτό δεν απαιτείται και άλλη αφαίρεση φορτίου. Προχωρούμε λοιπόν στην επόμενη φάση των υπολογισμών.**

**Φάση 10<sup>η</sup>: Υπολογισμοί ευστάθειας.**

Για τον υπολογισμό της ευστάθειας συμπληρώνουμε τους πίνακες 16.3.4 και 16.3.5 που είναι παρόμοιοι με τους 6.4.2 και 6.4.3 και γι' αυτό δεν χρειάζονται επεξηγήσεις. Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι στην κατάσταση αναχωρήσεως το πλοίο έχει:

$$H_F = 12,28 \text{ m}$$

$$H_A = 12,41 \text{ m}$$

$$G_V M_T = 0,039 \text{ m}$$

Κανονικά εδώ θα έπρεπε να εκτελέσουμε και άλλους παρόμοιους υπολογισμούς για την κατάσταση αρίξεως και για την ενδιάμεση.

**Φάση 11<sup>η</sup>: σύγκριση αποτελεσμάτων ευστάθειας με τα κριτήρια.**

Ως κριτήριο επαρκούς ευστάθειας έχει τεθεί ήδη από την εκφώνηση του προβλήματος η ύπαρξη θετικού μετακεντρικού ύψους. Το κριτήριο ευστάθειας λοιπόν ικανοποιείται στην αναχώρηση.

Είναι πιθανό κάποια ανεπάρκεια ευστάθειας να προέκυπτε στην ενδιάμεση κατάσταση ή στην κατάσταση αρίξεως (για λόγους συντομίας θεωρούμε εδώ ότι δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο). Σημειώνουμε ότι το πλοίο μπορούσε να δεχθεί φορτίο 44061 MT και πραγματικά η φόρτωσή μας προβλέπει τέτοιο φορτίο. Έτσι κάθε ανάγκη ερμαιοισμού για βελτίωση της ευστάθειας θα έπρεπε να γίνει σε βάρος του φορτίου καταστρώματος.

**Φάση 12<sup>η</sup>: το βάρος του φορτίου που μπορεί να μεταφερθεί μέσα στα κύπη έχει βρεθεί ίσο με 24972 MT.**

**Φάση 14<sup>η</sup>: με τα μέχρι τώρα αποτελέσματα είναι  $W_{max} > W_H$ .**

**Πίνακας 16.3.4**

**Υπολογισμός βάρους και κέντρου βάρους φορτίου.**

| στήλη 1                  | στήλη 2                 | στήλη 3                   | στήλη 4                  | στήλη 5                                      | στήλη 6                                   | στήλη 7                         | στήλη 8                                   |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--|---|---------------------------------|---|
| Χώρος                    | Όγκος<br>m <sup>3</sup> | 1/SF<br>MT/m <sup>3</sup> | Βάρος<br>(2) × (3)<br>MT | Βραχίονας<br>από πρυ-<br>μναία κάθετο<br>(m) | Διαμήκης<br>ροπή =<br>= (4) × (5)<br>MT-m | Βραχίονας<br>από τρόπιδα<br>(m) | Κατακόρυ-<br>φη ροπή<br>(4) × (7)<br>MT-m |
| Κύτος Νο 1               | 3472                    |                           | 2091                     | 169,41                                       | 354236                                    | 9,47                            | 19801                                     |
| Κύτος Νο 2               | 5739                    |                           | 3457                     | 153,00                                       | 528921                                    | 8,09                            | 27967                                     |
| Κύτος Νο 3               | 6494                    |                           | 3912                     | 132,19                                       | 517127                                    | 8,18                            | 32000                                     |
| Κύτος Νο 4               | 7097                    |                           | 4276                     | 109,19                                       | 466896                                    | 8,15                            | 34849                                     |
| Κύτος Νο 5               | 5851                    |                           | 3525                     | 87,31  | 307767                                    | 8,06                            | 28411                                     |
| Κύτος Νο 6               | 7088                    |                           | 4270                     | 65,31  | 278873                                    | 8,15                            | 34800                                     |
| Κύτος Νο 7               | 5712                    |                           | 3441                     | 43,49  | 149649                                    | 8,23                            | 28319                                     |
| Φορτίο στο<br>κατάστρωμα | 31688                   |                           | 19089                    | 102,0  | 1947078                                   | 16,77                           | 320122                                    |
| <b>Σύνολο</b>            | <b>73141</b>            | <b>0,602</b>              | <b>44061</b>             | <b>103,27</b>                                | <b>4550547</b>                            | <b>11,94</b>                    | <b>526269</b>                             |

**Πίνακας 16.3.5**  
**Υπολογισμός κέντρου βάρους πλοίου, βυθισμάτων και μετακεντρικού ύψους.**

| στήλη 1   | στήλη 2                   | στήλη 3       | στήλη 4                      | στήλη 5                                     | στήλη 6                                | στήλη 7                                    | στήλη 8                                      |
|---|---------------------------|---------------|------------------------------|---|--|--|--|
| Περιγραφή   | 1/SF<br>MT/m <sup>3</sup> | Βάρος<br>(MT) | Διαμήκης<br>βραχίονας<br>(m) | Διαμήκης<br>ροπή =<br>= (3) × (4)<br>(MT-m) | Κατακόρυ-<br>φος βραχί-<br>ονας<br>(m) | Κατακόρυ-<br>φη ροπή<br>(3) × (6)<br>MT- m | Ελεύθερη<br>επιφά-<br>νεια (m <sup>4</sup> ) |
| Φορτίο<br>(πίν. 6.4.1)  | 0,602                     | 44061         | 103,27                       | 4550547                                     | 11,94                                  | 526869                                     | –  |
| Πετρέλαιο λεβήτων<br>(πίν. 6.4.1)   | 0,92                      | 150           | 12,29                        | 1844  | 12,22                                  | 1833                                       | 7  |
| Πετρέλαιο Diesel<br>(πίν. 6.4.1)  | 0,86                      | 50            | 11,58                        | 579   | 12,08                                  | 604  | 8  |
| Λάδι λιπάνσεως<br>(πίν. 6.4.1)  | 0,86                      | 59            | 21,86                        | 1290  | 12,25                                  | 723  | 6  |
| Πόσιμο νερό<br>(πίν. 6.4.1)   | 1,00                      | 79            | 13,28                        | 1049  | 8,96                                   | 708  | 13   |
| Υγρό έρμα   | 1,025                     |               |                              |   |  |  |  |
| Πλήρωμα και εφόδια  |                           | 101           | 72,65                        | 7338  | 15,91                                  | 1607                                       |  |
| Deadweight  |                           | 44500         | 102,53                       | 4562647                                     | 11,91                                  | 530137                                     |  |
| Άφορτο πλοίο  |                           | 12432         | 87,57                        | 1088670                                     | 12,08                                  | 150179                                     |  |
| <b>Σύνολο εκτοπίσματος</b>  |                           | <b>56932</b>  | <b>99,26</b>                 | <b>5651317</b>                              | <b>11,95</b>                           | <b>680316</b>                              | <b>36</b>                                    |
| $KG_V = 11,95 + \frac{36 \times 1,025}{56932} = 11,951 \text{ m}$ $KM_T = 11,99 \text{ m (από πίν. 5.6.1)}$ $G_V M_T = 11,99 - 11,951 = 0,039 \text{ m}$ $H_A = 12,41 \text{ m}$ $H_F = 12,28 \text{ m}$ $H_{CF} = 12,17 \text{ m}$ |                           |               |                              |   |  |  |  |

**Φάση 15<sup>η</sup>: επομένως είναι δυνατή η φόρτωση 44061 MT, δηλαδή φόρτωση του πλοίου στο πλήρες deadweight.**

## 16.4 Φορτία πάνω στο κατάστρωμα.

### 16.4.1 Γενικά.

Συχνά τα πλοία χρειάζεται να μεταφέρουν διάφορα φορτία πάνω στο ανώτερο συνεχές κατάστρωμα (deck loads), όπως ξυλεία, διάφορα μηχανήματα ή άλλα αντικείμενα (τμήματα από γέφυρες, βάρκες κ.λπ.) με μεγάλες διαστάσεις που δεν μπορούν να χωρέσουν στα κύπη, αυτοκίνητα και επικίνδυνα φορτία που υποχρεωτικά πρέπει να φορτωθούν στο κατάστρωμα.

Η μεταφορά φορτίων πάνω στο κατάστρωμα παρουσιάζει ορισμένες ιδιομορφίες και γι' αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται διάφορα μέτρα προστασίας του φορτίου και του ίδιου του πλοίου. Είναι φυσικά αυτονόητο ότι φορτία που είναι ευαίσθητα στο θαλασσινό νερό και τη βροχή δεν θα πρέπει να μεταφέρονται ακάλυπτα πάνω στο κατάστρωμα. Η μεταφορά πάνω στο κατάστρωμα φορτίων που υποχρεωτικά πρέπει να φορτωθούν εκεί, γίνεται πάντοτε με ευθύνη των φορτωτών. Η ευθύνη του πλοίου αφορά μόνο στην καλή στοιβάση και έχμαση του φορτίου. Το αντίθετο ισχύει για φορτία που τοποθετούνται στο κατάστρωμα,

επειδή ο όγκος των κυτών του πλοίου δεν είναι αρκετός. Η σωστή πρακτική σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι να ασφαρίζεται (insured) το φορτίο με μέρη των πλοιοκτητών.

#### **16.4.2 Παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη μεταφορά φορτίων πάνω στο κατάστρωμα.**

Οι κύριοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή φορτίων, η μεταφορά των οποίων θα γίνει πάνω στο κατάστρωμα, είναι:

- 1) Το βάρος του φορτίου, οι διαστάσεις του και η θέση και κατανομή του πάνω στο κατάστρωμα.
- 2) Η αντοχή και η ανάγκη υποστυλώσεως του καταστρώματος.
- 3) Η ευστάθεια του πλοίου, ιδιαίτερα όταν πάνω στο κατάστρωμα μεταφέρονται μεγάλα βάρη.
- 4) Η επάρκεια και η καταλληλότητα των ανυψωτικών μέσων του πλοίου ή της ξηράς στα λιμάνια φόρτωσης-εκφορτώσεως. Η καταλληλότητα και επάρκεια των μέσων, αν το πλοίο δεν ανήκει στην κατηγορία των λεγομένων Heavy Lifts, τα οποία έχουν δικά τους, μεγάλα ανυψωτικά μέσα.
- 5) Η μη παρεμπόδιση λόγω της υπάρξεως του φορτίου στο κατάστρωμα των λοιπών ναυτιλιακών δραστηριοτήτων του πλοίου.

Σε περίπτωση μεταφοράς **επικινδύνων φορτίων** στο κατάστρωμα, οι διαστάσεις τους πρέπει να είναι τέτοιες που να μπορούν εύκολα να απορριφθούν στη θάλασσα, αν υπάρξει ανάγκη.

Όταν μεταφέρονται στο κατάστρωμα αέρια σε φιάλες ή άλλα παρόμοια φορτία που μπορούν, λόγω της επιδράσεως του ήλιου να αυξήσουν την πίεσή τους και να αυξηθεί έτσι ο κίνδυνος ατυχήματος, δεν πρέπει να καλύπτονται με καλύμματα από μαύρο ή σκούρο γενικά ύφασμα, γιατί αυτό συντελεί στη διατήρηση ή και αύξηση της θερμότητας.

Κατά τη φόρτωση φορτίου πάνω στο κατάστρωμα είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται η πρόσβαση σε όλους τους χώρους του πλοίου που είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία του και ιδιαίτερα στο χώρο του μηχανήματος πηδαλίου, καθώς και στα καταμετρικά των κυτών και των δεξαμενών. Θα πρέπει επίσης να διαμορφώνονται ασφαλείς διάδρομοι πλάτους τουλάχιστον 1 m, για την ελεύθερη κυκλοφορία του πληρώματος.

Βαριά αντικείμενα όπως όπλα, χυτές κατασκευές και μηχανήματα θα πρέπει να φορτώνονται έτσι, ώστε το βαρύτερο μέρος τους να βρίσκεται πάνω σε φρακτές. Τα καταστρώματα σ' αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να υποστυλώνονται κατάλληλα κάτω από τα ζυγά. Όταν χρησιμοποιούνται ειδικά φορεία για τη μεταφορά μεγάλων βαρών, θα πρέπει να στηρίζονται πάνω σε ζυγά, τα οποία με τη σειρά τους θα υποστυλώνονται.

Για να αποφεύγονται παραμορφώσεις ελασμάτων του πλοίου, τα συρματόσχοινα εκμάσεως φορτίων με μεγάλο βάρος θα πρέπει να έχουν διεύθυνση που να σχηματίζει γωνία 45° με το διάμηκες του πλοίου.

Περισσότερες λεπτομέρειες στα θέματα αυτά μπορούμε να αναζητήσουμε:

- 1) Στους κανονισμούς της συμβάσεως περί Γραμμής Φορτώσεως.
- 2) Στους κανονισμούς για τη φόρτωση ξυλείας στο κατάστρωμα του IMO.
- 3) Στην έκδοση British regulations, the merchant shipping (load lines-deck cargo) regulation, 1968 και
- 4) στα εξειδικευμένα βιβλία για τη φόρτωση και τη μεταφορά φορτίων.

#### **16.4.3 Αντοχή του καταστρώματος.**

Τα σχέδια των συγχρόνων φορτηγών πλοίων περιέχουν συνήθως τις εξής πληροφορίες ως προς την αντοχή των καταστρωμάτων:

- 1) Μέγιστο επιτρεπόμενο ομοιόμορφα διανεμημένο φορτίο σε MT/m<sup>2</sup> (ή LT/ft<sup>2</sup>).
- 2) Μέγιστο επιτρεπόμενο συγκεντρωμένο φορτίο σε MT (ή LT), όπως είναι τα φορτία που εφαρμόζονται πάνω στο κατάστρωμα από τους τροχούς των οχημάτων.

Κατά τη φόρτωση φορτίων πάνω στο κατάστρωμα θα πρέπει να φροντίζουμε να μην υπερβαίνομε τις παραπάνω τιμές. Φυσικά το ίδιο ισχύει και για φόρτωση μέσα στα κύπη, η οποία καταπονεί ανάλογα τα καταστρώματα που αποτελούν τα δάπεδά τους.

Σε παλιότερα πλοία μερικές φορές δεν υπάρχουν πληροφορίες ως προς τις επιτρεπόμενες φορτίσεις των καταστρωμάτων. Σ' αυτές τις περιπτώσεις μπορεί, συντηρητικά, να θεωρήσουμε ως επιτρεπόμενο φορ-

τίο ανά μονάδα επιφάνειας καταστρώματος τους  $1,7 \text{ MT/m}^2$  ή  $360 \text{ lbf/ft}^2$ . Στα καλύμματα των ανοιγμάτων των κυτών επιτρέπονται μικρότερες φορτίσεις.

Διευκρινίζεται ότι τα παραπάνω δεν αποτελούν κανόνα, γιατί η αντοχή των καταστρωμάτων μεταβάλλεται σημαντικά από πλοίο σε πλοίο.

### Παράδειγμα.

Να εκτιμηθεί το μέγιστο ύψος ξυλείας με συντελεστή στοιβασίας  $60 \text{ cuft/LT}$  που είναι δυνατό να φορτωθεί στο κατάστρωμα ενός πλοίου.

Από τη σχέση (8) έχουμε:

$$SF = \frac{60}{35,88} = 1,672 \text{ m}^3 / \text{MT}$$

Αν θεωρήσουμε ότι  $h$  είναι το ύψος της ξυλείας και ότι η επιτρεπόμενη φόρτιση είναι  $1,7 \text{ MT/m}^2$ , θα έχουμε:

$$\frac{1}{1,672} \times h = 1,7$$

$$\text{ή} \quad h = 1,7 \times 1,672 = 2,84 \text{ m}$$

## 16.5 Μεταφορές ορυκτών και μεταλλευμάτων.

### 16.5.1 Γενικά.

Οι μεταφορές φορτίων της κατηγορίας αυτής οδηγούν συχνά σε διάφορες διεκδικήσεις (claims). Συννηθέστερες αιτίες είναι η υπερφόρτωση ή η αλληλεπίδραση με άλλα φορτία.

Ένα από τα πιο συνηθισμένα προβλήματα στην ολική ή μερική φόρτωση των πλοίων με τέτοια φορτία είναι η δημιουργία παραμορφώσεων στο πλοίο (hogging ή sagging), που είναι αποτέλεσμα της αντικανονικής κατά μήκος του πλοίου κατανομής του φορτίου. Μερικές φορές, σε περιπτώσεις φορτίων με μικρό συντελεστή στοιβασίας, τα κύπη του πλοίου φορτώνονται ένα παρά ένα (ένα γεμάτο ένα κενό). Σε κάθε περίπτωση είναι ουσιώδες να υπάρχουν στο πλοίο ειδικά διαγράμματα φορτώσεων που να δείχνουν και τις σχετικές καταπονήσεις του πλοίου, ως δοκού.

Σε αρκετές περιπτώσεις επίσης η φόρτωση των πλοίων με φορτία χύδην πραγματοποιείται από ένα στόμιο στην ξηρά, πράγμα που αναγκάζει το πλοίο να μετακινείται, ώστε το στόμιο της ξηράς να έρχεται κάθε φορά πάνω από το στόμιο κάθε κύτους, μέχρι να φορτωθούν όλα τα κύπη του. Από αμέλεια πολλές φορές έχουν δημιουργηθεί σε τέτοιες περιπτώσεις πολύ σημαντικές μόνιμες παραμορφώσεις στα πλοία.

Σε μερικά **κονιορτοποιημένα φορτία** (finely crushed ores) περιέχεται ένα ποσοστό (8–10%) σκόνης. Η σκόνη αυτή σε συνδυασμό με την απορρόφηση υγρασίας μπορεί, όταν παρουσιασθούν ταλαντώσεις στο πλοίο, να δημιουργήσει μετακίνηση του φορτίου (όπως και στα σιτηρά), που αν τελικά πραγματοποιηθεί είναι δυνατό να δημιουργήσει εγκάρσιες κλίσεις. Για να αποφεύγεται κάτι τέτοιο θα πρέπει στο πάνω μέρος του φορτίου να φορτώνεται φορτίο σε σάκους.

Άλλα φορτία, όπως είναι τα συμπυκνώματα ή τα κατάλοιπα χαλκού-μολύβδου ή χαλκού-ψευδαργύρου, ιδιαίτερα όταν παρασκευάζονται με τη μέθοδο της ροής, έχουν μεγάλη τάση να μετακινούνται μέσα στα κύπη. Τέτοια φορτία, όταν βραχούν ή όταν παρουσιασθούν στο πλοίο ταλαντώσεις, μπορούν να καταστούν ιδιαίτερα επικίνδυνα και έχουν προκαλέσει απώλειες τόσο σε πλοία όσο και σε ανθρώπινες ζωές. Ειδικά προστατευτικά μέτρα υποδεικνύονται στην έκδοση «*M.O.T. (Ministry of Transport) Notice No M 397 to Owners and Masters, carriage of Zink Concentrates and similar Metallic Materials*».

Για τους παραπάνω λόγους, κατά τη μεταφορά τέτοιων φορτίων θα πρέπει να λαμβάνονται σχολαστικά μέτρα προστασίας, ιδιαίτερα όταν το ποσοστό υγρασίας του φορτίου είναι δυνατό να υπερβεί, σε οποιαδήποτε φάση του ταξιδιού, το 7%. Οι σχετικοί με τέτοια φορτία κανονισμοί του IMO θα αναλυθούν στην επόμενη παράγραφο 16.5.2.

Λόγω του μικρού συντελεστή στοιβασίας (μεγάλου ειδικού βάρους), τα φορτία αυτά πιθανόν να δημι-

ουργήσουν προβλήματα αντοχής στα καταστρώματα, πάνω στα οποία είναι φορτωμένα. Ιδιαίτερα σοβαρό είναι το πρόβλημα της καταπονίσεως των δαπέδων των κουραδόρων. Η φόρτωση στους χώρους αυτούς, αν και δεν είναι αναγκαία, από πραγματική έλλειψη χώρου, πραγματοποιείται, σε μερικές περιπτώσεις, με στόχο την ελάττωση του υπερβολικά μεγάλου μετακεντρικού ύψους που προκύπτει από τη φόρτωση φορτίου μεγάλου βάρους μόνο στα κατώτερα κύτη. Ειδικές απαιτήσεις ως προς την αντοχή του καταστρώματος θα πρέπει να αναζητηθούν στα σχέδια του πλοίου. Αν δεν υπάρχουν εκεί, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα στοιχεία της προηγούμενης παραγράφου, τα οποία προέρχονται από τις εκδόσεις «*M.O.T. Notice M. 337 (stowage of steel, ores and other heavy cargoes in tween decks)*» και «*Weights in and on Deck*» του National Cargo Bureau Inc, New York.

Όταν πάνω σε μεταλλεύματα φορτώνονται άλλα ευαίσθητα στην υγρασία φορτία, το πάνω μέρος του φορτίου του μεταλλεύματος θα πρέπει να οριζοντιώνεται και με μαδέρια ή άλλο υλικό να εξασφαλίζεται η μη επαφή των δύο φορτίων.

Όταν ένα πλοίο μεταφέρει μέταλλευμα χρωμίου και μέταλλευμα μαγγάνιου, θα πρέπει να αποφεύγεται κάθε ανάμειξή τους, γιατί έστω και πολύ μικρή ποσότητα χρωμίου αχρηστεύει το μαγγάνιο.

Ενδεικτικά, οι συντελεστές στοιβασίας μερικών ορυκτών περιέχονται στον πίνακα 16.5.1.

### 16.5.2 Διατάξεις IMO ως προς τη μεταφορά φορτίων χύδην.

#### 1) Εισαγωγή.

Οι κανονισμοί του IMO που δίνονται εδώ συνοπτικά καλύπτουν όλα τα φορτία χύδην που μεταφέρονται με πλοία, περιλαμβανομένων και των ορυκτών. Δεν περιλαμβάνονται τα φορτία σιτηρών, για τα οποία, όπως είδαμε, υπάρχουν άλλοι ειδικοί κανονισμοί.

Στόχος των κανονισμών είναι να εξασφαλιστεί η ασφάλεια του πλοίου και του φορτίου από τους παρακάτω κινδύνους που δημιουργούνται από τη μεταφορά τέτοιων φορτίων:

#### α) Κατασκευαστική αστοχία λόγω αντικανονικής φορτώσεως:

- Του πλοίου θεωρούμενου ως δοκού.

**Πίνακας 16.5.1**  
**Τυπικοί συντελεστές στοιβασίας ορυκτών.**

| Ορυκτό                 | Σε δοχεία          |                     | Χύδην              |                     |
|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|                        | m <sup>3</sup> /MT | ft <sup>3</sup> /LT | m <sup>3</sup> /MT | ft <sup>3</sup> /LT |
| Αλουμίνιο              | 1,114              | 40                  | 0,752              | 27                  |
| Αντιμόνιο              | 0,557              | 20                  | 0,418              | 15                  |
| Άργυρος                | 0,696              | 25                  | 0,613              | 22                  |
| Άσβεστος               | 1,672/1,811        | 60/65               | –                  | –                   |
| Βολφράμιο              | 0,445/0,501        | 16/18               | –                  | –                   |
| Βωξίτης                | 1,114              | 40                  | 0,725              | 27                  |
| Κοβάλτιο               | –                  | –                   | 0,501/0,557        | 18/20               |
| Λευκοσίδηρος           | 0,613              | 22                  | –                  | –                   |
| Μαγγάνιο               | 0,613/0,696        | 22/25               | 0,473/0,501        | 17/18               |
| Μόλυβδος               | 0,446/0,473        | 16/17               | 0,334/0,390        | 12/14               |
| Νικέλιο                | 0,557              | 20                  | –                  | –                   |
| Ουράνιο                | 0,473/0,501        | 17/18               | –                  | –                   |
| Σίδηρος                | –                  | –                   | 0,334/0,473        | 12/17               |
| Συμπύκνωμα μολύβδου    | –                  | –                   | 0,334/0,391        | 12/14               |
| Συμπύκνωμα ψευδαργύρου | –                  | –                   | 0,501/0,557        | 18/20               |
| Χαλκός                 | –                  | –                   | 0,390/0,557        | 14/20               |
| Χρώμιο                 | –                  | –                   | 0,334/0,390        | 12/14               |

– Των καταστροφμάτων.

**β) Αντικανονική ευστάθεια και ειδικότερα:**

- Υπερβολικά μεγάλη ευστάθεια που μπορεί, σε θαλασσοταραχή, να δημιουργήσει βίαιες κινήσεις του πλοίου, με αποτέλεσμα κατασκευαστική αστοχία ή και εγκάρσιες κλίσεις.
- Ελάττωση ευστάθειας και εγκάρσιες κλίσεις, λόγω μετακινήσεως φορτίων σε «ξηρά» κατάσταση.
- Ελάττωση ευστάθειας και εγκάρσιες κλίσεις όταν το φορτίο μεταπέσει σε υγρή κατάσταση.

**γ) Απότομη αυτοθέρμανση του φορτίου.**

Είναι δυνατό να παρουσιασθεί σε μερικά από τα φορτία της κατηγορίας αυτής.

Τα διάφορα φορτία χύδην που εξετάζονται, κατατάσσονται στους κανονισμούς του IMO σε τρεις κατηγορίες:

- Μεταλλεύματα.
- Άλλα φορτία χύδην όμοια με μεταλλεύματα.
- Συμπυκνώματα μεταλλευμάτων.

Οι δύο πρώτες κατηγορίες αποτελούν φορτία σε ξηρή κατάσταση και η τρίτη σε υγρή.

Για λεπτομέρειες των κανονισμών που εφαρμόζονται στις παραπάνω περιπτώσεις, ο αναγνώστης θα πρέπει να ανατρέξει σε πιο εξειδικευμένα συγγράμματα.

**2) Γενικές προφυλάξεις.**

Κάθε πλοίο, για το οποίο έχουν εφαρμογή οι κανονισμοί που ισχύουν για τέτοιες μεταφορές, θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με **εγχειρίδιο ευστάθειας**. Όταν στο πλοίο φορτώνονται τα φορτία που καθορίζονται σ' αυτόν τον κανονισμό, πρέπει, πριν από τον απόπλου, να πραγματοποιούνται υπολογισμοί ευστάθειας, από τους οποίους να προκύπτει ότι το πλοίο τόσο στην αναχώρηση όσο και στη χειρότερη συνθήκη του ταξιδιού έχει επαρκή ευστάθεια.

Πολύ μεγάλο μετακεντρικό ύψος, όπως είναι γνωστό, δημιουργεί στο πλοίο, σε περιπτώσεις κυματισμού, την τάση να πραγματοποιεί έντονες κινήσεις. Επειδή όμως το μεγάλο μετακεντρικό ύψος εμποδίζει το πλοίο να πάρει μεγάλες κλίσεις όταν έχουμε εγκάρσια μετακίνηση του φορτίου, εκτός από ειδικές περιπτώσεις, οπότε αναμένονται εξαιρετικά βίαιες κινήσεις, δεν υπάρχει περιορισμός ως προς τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του μετακεντρικού ύψους.

Σε περίπτωση φορτώσεως φορτίου με συντελεστή στοιβασίας μικρότερο από  $0,56 \text{ m}^3/\text{MT}$  ( $20 \text{ ft}^3/\text{LT}$ ), θα πρέπει να προσέχομε ιδιαίτερα τη διαμήκη κατανομή του φορτίου, ώστε να μην δημιουργηθούν στο πλοίο μεγάλες καταπονήσεις. Σ' αυτές τις περιπτώσεις συνιστάται να παρέχονται στον πλοίαρχο ειδικές οδηγίες ως προς τη σωστή διαμήκη κατανομή του φορτίου.

Όταν δεν υπάρχουν τέτοιες οδηγίες, θα πρέπει:

α) Η διαμήκης κατανομή του φορτίου να μην διαφέρει σημαντικά από εκείνη που θα είχαμε αν το πλοίο είχε φορτώσει γενικό φορτίο.

β) Η ποσότητα φορτίου που φορτώνεται σε οποιοδήποτε κατώτερο κύτος να μην υπερβαίνει εκείνη που προκύπτει από τη σχέση:

$$\text{Μέγιστη ποσότητα φορτίου σε οποιοδήποτε κατώτερο κύτος σε MT} = [db(3L+B)/(4,6)] \quad (157)$$

όπου: d είναι το βύθισμα θέρους του πλοίου (m), b το μέσο πλάτος του κατώτερου κύτους (m), L το μήκος του κατώτερου κύτους (m) και B το μέγιστο πλάτος του πλοίου (m).

γ) Όταν το φορτίο δεν έχει διευθετηθεί (δεν έχει γίνει χαπάρισμα) ή έχει μερικώς μόνο διευθετηθεί, το ύψος της κορυφής (του φορτίου) πάνω από το δάπεδο να μην υπερβαίνει αυτό που προκύπτει από τη σχέση:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Μέγιστο ύψος κορυφής} \\ \text{από δάπεδο σε m} \end{array} \right\} = 1,89 \times d \times (\text{συντελεστής στοιβασίας})$$

δ) Όταν το φορτίο έχει διευθετηθεί πλήρως, η ποσότητα που προκύπτει από τη σχέση (149) να μπορεί



να αυξηθεί κατά 20%.

ε) Σε κύπη, από τα οποία περνά η σπράγγα του άξονα, η επιτρεπόμενη ποσότητα να μπορεί να αυξηθεί κατά 10% περίπου.

Ο πλοίαρχος θα πρέπει να λάβει τα κατάλληλα μέτρα, ώστε:

α) Κατά τη φόρτωση η σκόνη από το φορτίο να έλθει σε όσο το δυνατό λιγότερη επαφή με τα μηχανήματα του καταστρώματος.

β) Αν είναι δυνατό να σφραγισθούν οι αναρροφήσεις των αεραγωγών κατά τη φόρτωση, για να μην μπει σκόνη μέσα σ' αυτούς.

γ) Να έχουν πριν από τη φόρτωση καθαρισθεί και προετοιμασθεί τα κύπη.

δ) Να προστατευθούν κατάλληλα οι αναρροφήσεις των κυτών μέσα σε κάθε κύτος.

ε) Να επιβεβαιωθεί ότι οι σωλίνες που περνούν μέσα από το κύτος βρίσκονται σε καλή κατάσταση και ότι δεν υπάρχει νερό σ' αυτούς πριν από τον απόπλου.

### **3) Μεταφορά μεταλλευμάτων και άλλων ομοίων με μεταλλεύματα φορτίων με γωνία αναπαύσεως μεγαλύτερη από 35°.**

Τα βαριά φορτία θα πρέπει καθ' ολοκληρία να φορτώνονται στο κατώτερο κύτος, εκτός από τις περιπτώσεις εκείνες που κάτι τέτοιο δημιουργεί πολύ μεγάλο μετακεντρικό ύψος ή μεγάλες καταπονήσεις στο δάπεδο. Το φορτίο θα πρέπει να διευθετείται έτσι, ώστε να καλύπτει όλη την επιφάνεια του δαπέδου. Η κορυφή του φορτίου δεν θα πρέπει να εξέχει πάνω από το άνοιγμα του κατώτερου κύτους.

Όταν οι συνθήκες επιβάλλουν κάποια ποσότητα του φορτίου να μεταφερθεί στους κουραδόρους, θα πρέπει:

α) Η ποσότητα του φορτίου στους κουραδόρους να είναι η ελάχιστη δυνατή που επιβάλλουν οι συνθήκες.

β) Το μετακεντρικό ύψος να είναι αρκετό σε συνάρτηση με την περιοχή του ταξιδιού και τις καιρικές συνθήκες που συνήθως επικρατούν σ' αυτήν.

γ) Τα φορτία στα δάπεδα των κουραδόρων να μην είναι μεγαλύτερα απ' ό,τι επιτρέπεται.

δ) Το άνοιγμα του κουραδόρου να είναι κλειστό.

ε) Το φορτίο στο κατώτερο κύτος να διευθετείται όσο γίνεται καλύτερα.

### **4) Μεταφορά μεταλλευμάτων και άλλων ομοίων με μεταλλεύματα φορτίων με γωνία αναπαύσεως μικρότερη ή ίση με 35°.**

Τα φορτία θα πρέπει να διευθετούνται και οι χώροι μέσα στους οποίους φορτώνονται να είναι όσο το δυνατό πιο πλήρεις, χωρίς όμως να δημιουργούνται ανεπίτρεπτες καταπονήσεις στα δάπεδά τους.

Αν το φορτίο που μεταφέρεται στους κουραδόρους, αφού βέβαια διευθετηθεί όσο είναι δυνατό, υπάρχει πιθανότητα να μετακινηθεί κατά το εγκάρσιο, θα πρέπει να τοποθετούνται διαμήκεις διαχωριστικές φρακτές ή άλλες ανάλογες διατάξεις. Το ίδιο θα πρέπει να γίνεται στα κατώτερα κύπη, όταν δεν είναι πλήρη.

### **5) Κίνδυνοι κατά τη μεταφορά συμπυκνωμάτων.**

Όσα είπαμε παραπάνω ισχύουν και για τα συμπυκνώματα, όταν το ποσοστό υγρασίας τους είναι μικρότερο από το όριο υγρασίας για μεταφορά.

Συμπυκνώματα με μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας (που ίσως δεν φαίνεται στη φόρτωση), είναι πολύ επικίνδυνα, γιατί είναι δυνατό να μετακινηθούν (όπως τα υγρά) και να δημιουργήσουν στο πλοίο μόνιμη εγκάρσια κλίση.

**Μερικά συμπυκνώματα είναι δυνατό να υποστούν οξείδωση και επομένως να αυτοθερμανθούν όταν μεταφέρονται με χαμηλό ποσοστό υγρασίας. Για το λόγο αυτό, τέτοια φορτία πρέπει να μεταφέρονται με το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό υγρασίας, το οποίο όμως δεν παρουσιάζει κατά οποιοδήποτε τρόπο κινδύνους δημιουργίας μόνιμης εγκάρσιας κλίσεως.**

## **6) Μέτρα προστασίας κατά τις μεταφορές συμπυκνωμάτων.**

### **α) Πλοία γενικού φορτίου.**

Τα πλοία γενικού φορτίου δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά συμπυκνωμάτων που έχουν ποσοστό υγρασίας πάνω από το όριο υγρασίας για μεταφορά. Επί πλέον, φορτία που περιέχουν υγρά (εκτός από κονοέρβες) δεν επιτρέπεται να μεταφέρονται στον ίδιο χώρο με τα συμπυκνώματα.

Θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα μέτρα, ώστε να αποφεύγεται η εισαγωγή υγρών οποιασδήποτε προελεύσεως στη κύπη όπου μεταφέρονται συμπυκνώματα.

Ο πλοίαρχος θα πρέπει να χρησιμοποιεί το νερό ως μέσο ψύξεως του φορτίου με μεγάλη προσοχή. Όταν χρειάζεται ψύξη, το νερό θα πρέπει να χρησιμοποιείται με τη μορφή ομίχλης.

### **β) Ειδικά εξοπλισμένα πλοία γενικού φορτίου και ειδικά διαμορφωμένα *bulk carriers*.**

Για τα πλοία αυτά υπάρχουν ειδικές διατάξεις περιορισμού των πιθανών κινήσεων του φορτίου και γι' αυτό επιτρέπεται η φόρτωση σ' αυτά συμπυκνωμάτων με ποσοστό υγρασίας πάνω από το όριο υγρασίας για μεταφορά, με την προϋπόθεση βέβαια ότι υπάρχει στο πλοίο ειδικά εγκεκριμένη για τέτοιες μεταφορές μελέτη ευστάθειας.

## **7) Προσδιορισμός υγρασίας συμπυκνωμάτων.**

### **α) Προσδιορισμός ποσοστού υγρασίας για μεταφορά.**

Ο προσδιορισμός του ποσοστού υγρασίας για μεταφορά γίνεται με την εξέταση σε ειδικό εργαστήριο δειγμάτων του φορτίου. Τέτοιοι έλεγχοι πρέπει να γίνονται, στους τόπους παραγωγής, κάθε εξάμηνο, εκτός αν στο μεταξύ αλλάξει η διαδικασία παραγωγής του συμπυκνώματος, οπότε πραγματοποιείται νέος έλεγχος. Για τα αποτελέσματα της μετρήσεως εκδίδεται ειδικό πιστοποιητικό που παραδίδεται στον πλοίαρχο.

### **β) Μέτρηση πραγματικού ποσοστού υγρασίας πριν από τη μεταφορά.**

Δείγματα του φορτίου θα πρέπει να λαμβάνονται λίγο πριν αρχίσει η φόρτωση, για ανάλυση και έκδοση πιστοποιητικού από ειδικό εργαστήριο. Αν στο μεταξύ βρέξει, θα πρέπει να λαμβάνονται και νέα δείγματα. Τα σχετικά πιστοποιητικά παραδίδονται πριν από τη φόρτωση στον πλοίαρχο.

## **8) Διαδικασία προσδιορισμού υγρασίας συμπυκνωμάτων.**

Ο προσδιορισμός του ποσοστού υγρασίας των συμπυκνωμάτων αποτελεί ουσιώδες στοιχείο για την ασφαλή μεταφορά τους και για την εφαρμογή των σχετικών κανονισμών.

Οι σχετικές διαδικασίες προσδιορισμού (εργαστηριακές ή επί του πλοίου), εκφεύγουν από τα όρια του βιβλίου αυτού και γι' αυτό ο αναγνώστης θα πρέπει να προσφύγει σε πιο εξειδικευμένα συγγράμματα.

### **16.5.3 Καθήκοντα πλοίαρχου.**

Ο πλοίαρχος κάθε φορτηγού πλοίου, όταν πρόκειται να μεταφέρει φορτία χύδην, πρέπει να ανατρέχει στις κατάλληλες πηγές πληροφόρησης ή/και στους εξειδικευμένους κανονισμούς, προκειμένου να ενημερώνεται για τις ιδιότητες και τα ειδικά σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη ως προς το συγκεκριμένο φορτίο. Ανάλογα με το είδος του φορτίου, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι ανάλογες απαιτήσεις.

**Σε ορισμένα κράτη έχουν θεσπισθεί κανονισμοί για την υποχρεωτική ύπαρξη ενός μεγέθους εναπομένουσας ευστάθειας στο πλοίο, όταν εκτελούνται μεταφορές φορτίου χύδην (διαφορετικοί από ό,τι προβλέπεται για τα σιτηρά).**

Ο έλεγχος για την ύπαρξη της εναπομένουσας αυτής ευστάθειας πραγματοποιείται όπως ακριβώς και στην περίπτωση φορτώσεως σιτηρών. Για να είναι δυνατός δε ο έλεγχος αυτός στις μελέτες του πλοίου, θα πρέπει να υπάρχουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία, όπως έχει επεξηγηθεί για τη μεταφορά των σιτηρών.

## **16.6 Κατάταξη και χαρακτηριστικά αργού πετρελαίου και προϊόντων πετρελαίου.**

### **1) Γενικά.**

Το αργό πετρέλαιο (crude oil) είναι ένα υγρό ορυκτό που αποτελείται κυρίως από μείγμα υδρογοναν-

θράκων. Παράγεται στη Μέση Ανατολή, Ρωσία, ΗΠΑ, Βενεζουέλα, Ρουμανία, Ινδονησία κ.α. και από εκεί μεταφέρεται για επεξεργασία στα διυλιστήρια που βρίσκονται διεσπαρμένα σε διάφορα σημεία της γης.

Είναι εύφλεκτο υγρό με ειδικό βάρος που κυμαίνεται μεταξύ 0,8 και 1,0.

Τα κυριότερα προϊόντα πετρελαίου (petroleum products) είναι τα υγροποιημένα αέρια (κυρίως προπάνιο και βουτάνιο) που ονομάζονται Liquefied Petroleum Gases (L.P.G.), η βενζίνη, η κηροζίνη, το πετρέλαιο Diesel και το πετρέλαιο λεβήτων (μαζούτ). Άλλα προϊόντα που προκύπτουν από πιο πολύπλοκη επεξεργασία του αργού πετρελαίου είναι τα λιπαντικά λάδια, τα γράσα, το κερί και η άσφαλτος.

## 2) Ειδικό βάρος και σημείο αναφλέξεως των προϊόντων πετρελαίου.

Το σημείο αναφλέξεως (flash point) των περισσότερων προϊόντων πετρελαίου είναι πολύ χαμηλό (σε μερικές περιπτώσεις φθάνει τους  $-40^{\circ}\text{F}$ ).

Ως μονάδα μετρήσεως του ειδικού βάρους του αργού πετρελαίου και των προϊόντων του, σε πολλά μέρη του κόσμου έχει καθορισθεί ο βαθμός  $^{\circ}\text{API}$  (American Petroleum Institute). Η μονάδα αυτή σχετίζεται με το ειδικό βάρος εκφρασμένο στις συνηθισμένες μονάδες με τη σχέση:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{Ειδικό βάρος}} - 131,5 \quad (158)$$

Η μέτρηση της πυκνότητας σε API γίνεται συνήθως με ειδικό υγρόμετρο στους  $60^{\circ}\text{F}$ .

Στον πίνακα 16.6.1 δίνονται τιμές του ειδικού βάρους του αργού πετρελαίου ανάλογα με την προέλευσή του.

## 3) Ειδικό βάρος και σημείο αναφλέξεως προϊόντων πετρελαίου.

Στον πίνακα 16.6.2 δίνονται μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά των πιο συνηθισμένων προϊόντων πετρελαίου.

## 4) Διαστολή υγρών φορτίων.

Όπως είπαμε παραπάνω, το ειδικό βάρος του αργού πετρελαίου και των προϊόντων πετρελαίου δίνεται συνήθως στους  $60^{\circ}\text{F}$ . Σε μεγαλύτερες και μικρότερες θερμοκρασίες, ο όγκος που καταλαμβάνει ένα συγκεκριμένο βάρος υγρού φορτίου είναι μεγαλύτερος και μικρότερος αντίστοιχα απ' ό,τι προκύπτει με βάση το ειδικό του βάρος στη θερμοκρασία των  $60^{\circ}\text{F}$ .

Η μεταβολή αυτή του όγκου είναι δυνατό να υπολογισθεί με ακρίβεια από ειδικούς πίνακες (ASTM-IP Petroleum Measurement tables). Προσεγγιστικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 16.6.3.

## Παράδειγμα 1.

Μία ποικιλία αργού πετρελαίου με  $^{\circ}\text{API} = 33,5$  έχει βάρος 1500 MT. Πόσο όγκο καταλαμβάνει σε θερμοκρασία  $60^{\circ}\text{F}$  και  $79^{\circ}\text{F}$ ;

Από τη σχέση (150) έχομε με θερμοκρασία  $60^{\circ}\text{F}$ :

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{Ειδικό βάρος}} - 131,5$$

**Πίνακας 16.6.1**  
**Ειδικό βάρος αργού πετρελαίου.**

| Προέλευση | Ειδικό βάρος | $^{\circ}\text{API}$ | Προέλευση       | Ειδικό βάρος | $^{\circ}\text{API}$ |
|-----------|--------------|----------------------|-----------------|--------------|----------------------|
| Καναδάς   | 0,849        | 35                   | Ρουμανία        | 0,846        | 36                   |
| Ινδονησία | 0,853        | 34                   | Σαουδική Αραβία | 0,846        | 36                   |
| Ιράκ      | 0,845        | 36                   | ΗΠΑ             | 0,85         | 35                   |
| Κουβέιτ   | 0,865        | 32                   | Ρωσία           | 0,868        | 32                   |
| Περσία    | 0,860        | 33                   | Βενεζουέλα      | 0,904        | 25                   |

**Πίνακας 16.6.2**  
**Βασικά χαρακτηριστικά προϊόντων πετρελαίου.**

| Προϊόν                   | Ειδικό βάρος | $^{\circ}\text{API}$ | Σημείο αναφλέξεως $^{\circ}\text{F}$ |
|--------------------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| Βενζίνη                  | 0,720        | 65                   | -40                                  |
| Κηροζίνη                 | 0,790        | 48                   | 140                                  |
| Πετρέλαιο Diesel         | 0,835        | 38                   | 170                                  |
| Ελαφρύ πετρέλαιο λεβήτων | 0,930        | 21                   | 200                                  |
| Βαρύ πετρέλαιο λεβήτων   | 0,960        | 16                   | 230                                  |

και επομένως:

$$\begin{aligned}\text{Ειδικό βάρος} &= 141,5 \times \frac{1}{^{\circ}\text{API} + 131,5} = \\ &= 141,5 \times \frac{1}{33,5 + 131,5} = 0,857 \text{ MT/m}^3 \\ \text{Όγκος} &= 1500 \text{ MT} \times \frac{1}{0,857} \frac{\text{m}^3}{\text{MT}} = 1750,3 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Από τον πίνακα 16.6.3 έχομε συντελεστή διορθώσεως 0,00043 ανά βαθμό F. Επομένως στους 75°F (δηλ. 15°F πάνω από τους 60°F) θα έχομε:

$$\text{Όγκος} = 1750,3 [1 + 15 \times 0,00043] = 1761,5 \text{ m}^3$$

### Παράδειγμα 2.

Η δεξαμενή Νο 1 ενός δεξαμενόπλοιου βρέθηκε σε θερμοκρασία 40°F να περιέχει (από το ογκομετρικό της διάγραμμα) 1723 m<sup>3</sup> αργού πετρελαίου με °API 33 στους 60°F. Πόσο είναι το βάρος του φορτίου που υπάρχει στη δεξαμενή;

Το ειδικό βάρος του πετρελαίου που αντιστοιχεί στα 33 °API είναι 0,860 MT/m<sup>3</sup>. Ο όγκος του φορτίου σε θερμοκρασία 60°F θα ήταν:

$$\text{Όγκος} = 1723 [1 + (60 - 40) \times 0,00043] = 1737,8 \text{ m}^3$$

και επομένως:

$$\text{Βάρος φορτίου} = 1737,8 \text{ m}^3 \times 0,86 \text{ MT/m}^3 = 1494,5 \text{ MT}$$

### 5) Άλλες ιδιότητες των πετρελαιοειδών.

Στην εφαρμογή των κανονισμών ως προς τις διαδικασίες ασφαλούς φορτώσεως-εκφορτώσεως και μεταφοράς, ιδιαίτερης σημασίας είναι και οι παρακάτω ιδιότητες των πετρελαιοειδών:

#### α) Σημείο καύσεως (fire point).

Είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία, την οποία πρέπει να έχει το πετρέλαιο για να παράγονται αρκετοί ατμοί, ώστε να είναι δυνατή η διατήρηση καύσεως μετά την ανάφλεξη.

#### β) Ιξώδες (viscosity).

Είναι μία ιδιότητα των υγρών που εκφράζει γενικά το βαθμό εσωτερικής τριβής ανάμεσα στα μόριά τους. Η παραπάνω εσωτερική τριβή επηρεάζει σημαντικά την αντίσταση των υγρών στη ροή. Μονάδα μετρήσεως του ιξώδους είναι το Poise (gr/cm-sec) και υποπολλαπλάσιό του το Centipoise που είναι ίσο με 0,01 Poise.

#### γ) Κινηματικό ιξώδες (kinematic viscosity).

Είναι το πηλίκον του ιξώδους διά του ειδικού βάρους και εκφράζεται σε stokes και centistokes.

Τόσο το ιξώδες, όσο και το κινηματικό ιξώδες είναι ιδιότητες των υγρών που επηρεάζονται πάρα πολύ από τη θερμοκρασία.

#### δ) Τάση ατμών (vapor pressure).

Εκφράζει την τάση του υγρού να εξατμισθεί και εξαρτάται πολύ από τη θερμοκρασία.

**Πίνακας 16.6.3**  
**Συντελεστές διορθώσεως όγκου.**

| Ειδικό βάρος στους 60°F | Συντελεστής διορθώσεως όγκου ανά °F (+ ή -) |
|-------------------------|---|
| Από 0,600 έως 0,649     | 0,00087                                     |
| Από 0,650 έως 0,699     | 0,00076                                     |
| Από 0,700 έως 0,749     | 0,00065                                     |
| Από 0,750 έως 0,799     | 0,00056                                     |
| Από 0,800 έως 0,849     | 0,00048                                     |
| Από 0,850 έως 0,899     | 0,00043                                     |
| Από 0,900 έως 0,949     | 0,00040                                     |
| Από 0,950 έως 0,999     | 0,00038                                     |

### 16.6.1 Γενική περιγραφή και συστήματα δεξαμενόπλοιου.

#### 1) Ιδιομορφία των δεξαμενοπλοίων σε σχέση με τα λοιπά φορτηγά πλοία.

Σε σχέση με τα λοιπά φορτηγά πλοία, τα δεξαμενόπλοια παρουσιάζουν τις εξής ιδιομορφίες:

α) Μεταφέρουν ελεύθερα υγρά, γεγονός που τους δημιουργεί σημαντικά προβλήματα ευστάθειας λόγω των ελευθέρων επιφανειών που υπάρχουν.

β) Είναι αναγκασμένα να πραγματοποιούν το ταξίδι της επιστροφής κενά, γεγονός που προϋποθέτει την ανάγκη να υπάρχουν σ' αυτά ειδικές δεξαμενές υγρού έρματος. Ένας άλλος τρόπος αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος είναι η κατασκευή πλοίων συνδυασμένου προορισμού, όπως τα διπλής χρήσεως ore/oil carriers ή τα τριπλής χρήσεως ore/bulk/oil carriers.

γ) Μεταφέρουν φορτία που, σε περιπτώσεις ζημιάς στην υδατοστεγή κατασκευή του πλοίου, είναι δυνατό να προκαλέσουν μεγάλης εκτάσεως ρύπανση του περιβάλλοντος.

δ) Μεταφέρουν φορτία που είναι εύκολο να αναφλεγούν ή να εκραγούν.

ε) Έχουν ειδικά προβλήματα φορτώσεως και εκφορτώσεως.

στ) Στο ταξίδι επιστροφής έχουν τις δεξαμενές φορτίου κενές, με πιθανότητα να δημιουργηθεί σ' αυτές εκρηκτικό περιβάλλον αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα.

#### 2) Μορφή των δεξαμενοπλοίων.

Η μορφή των συγχρόνων δεξαμενοπλοίων είναι αποτέλεσμα του συγκερασμού όλων των απαιτήσεων που συνδέονται με τις παραπάνω ιδιομορφίες. Έτσι τα δεξαμενόπλοια:

α) Έχουν το μηχανοστάσιο στην πρόμνη, για να μην υπάρχει διαχωρισμός στα δίκτυα παραλαβής και παραδόσεως του φορτίου. Μία τυπική διάταξη δεξαμενόπλοιου βλέπομε στο σχήμα 16.6. Με πολλές διαμήκεις εγκάρσιες φρακτές, είναι υποδιηρημένα σε μεγάλο αριθμό ανεξαρτήτων δεξαμενών.

β) Τα σύγχρονα δεξαμενόπλοια, με στόχο την αποφυγή ρυπάνσεως του περιβάλλοντος, είναι κατασκευασμένα, σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς, με διπλά τοιχώματα και διπλό πυθμένα.

#### 3) Δεξαμενές των δεξαμενοπλοίων.

Από τον τρόπο χρησιμοποίησης των δεξαμενοπλοίων προκύπτει και η ανάγκη διαμορφώσεως σ' αυτά, πέρα απ' ό,τι συνηθίζεται σε όλα τα πλοία, και των εξής δεξαμενών:

α) **Φορτίου** (cargo tanks), όπου αποθηκεύεται το φορτίο που μεταφέρεται.

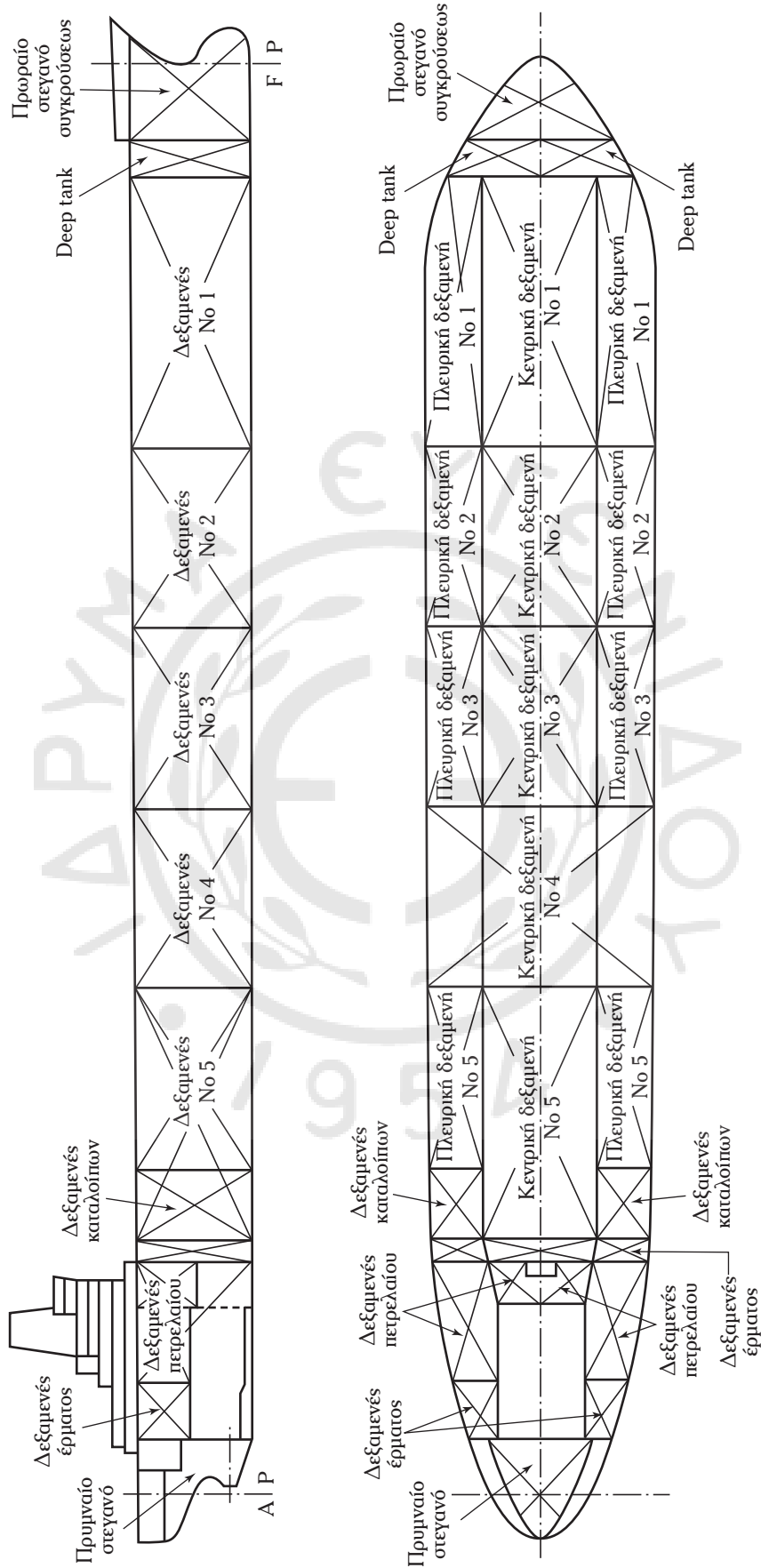
β) **Υγρού έρματος** (ballast tanks), που είναι απαραίτητες για την εξασφάλιση ικανοποιητικών συνθηκών πλου όταν το πλοίο ταξιδεύει χωρίς φορτίο (ballast condition).

γ) **Καταλοίπων** (slops), όπου αποθηκεύονται τα κατάλοιπα του πετρελαίου που προέρχονται από την πλύση των δεξαμενών, με σκοπό να παραδοθούν στη συνέχεια σε ειδικές δεξαμενές της ξηράς.

Σε παλαιότερα δεξαμενόπλοια, ως δεξαμενές υγρού έρματος χρησιμοποιούνταν μερικές από τις δεξαμενές φορτίου. Σύμφωνα όμως με τις σύγχρονες αντιλήψεις, για την αποφυγή ρυπάνσεως του περιβάλλοντος, η πρακτική αυτή τείνει να εκλείψει και έτσι διαμορφώνονται στα πλοία ξεχωριστές δεξαμενές υγρού έρματος.

Η διαμόρφωση των δεξαμενών των συγχρόνων δεξαμενοπλοίων επηρεάζεται σήμερα καθοριστικά από νέους κανονισμούς που έχουν θεσπισθεί για την αποφυγή ρυπάνσεως του περιβάλλοντος και για την ασφαλή μεταφορά επικινδύνων φορτίων. Στοιχεία από τη νομοθεσία για την αποφυγή ρυπάνσεως θα μπορεί ο αναγνώστης να βρει σε πιο εξειδικευμένες εκδόσεις και στους σχετικούς κανονισμούς.

Το ίδιο ισχύει και για τη διαμόρφωση των αντλιοστασίων, τις λεπτομέρειες των αντλιών φορτίου και έρματος, τα συστήματα θερμάνσεως του φορτίου, τα συστήματα ελέγχου και εξαερισμού, τις λεπτομέρειες φορτώσεως εκφορτώσεως και μεταφοράς, τον ερματισμό και αφερματισμό του πλοίου, τον καθαρισμό των δεξαμενών, τις διαδικασίες ελέγχου και απαλλαγής από εκρηκτικά αέρια, τα συστήματα COW (Crude Oil Washing) και τη χρήση αδρανούς αερίου. **Όλα αυτά τα θέματα καλύπτονται από εξειδικευμένους κανονισμούς και από λεπτομερή εγχειρίδια, με τα οποία είναι εφοδιασμένα όλα τα σύγχρονα δεξαμενόπλοια.**



Σχ. 16.6.

Τυπική διάταξη δεξαμενόπλοιου μονού τοιχώματος.

### 17.1 Γενικά.

Δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις μικρών ή μεγάλων ναυτικών ατυχημάτων που μπορούν να αποδοθούν στην κατασκευαστική ανεπάρκεια της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου. Περιπτώσεις παραμορφώσεως ελασμάτων, ανεπάρκειας συγκολλήσεων και μερικές φορές ακόμη και κοπής του πλοίου σε δύο τμήματα, είναι γνωστές σε όσους ασχολούνται με το πλοίο.

Καταστάσεις όπως οι παραπάνω μπορούν να παρουσιαστούν όχι μόνο σε ασυνήθεις περιπτώσεις, όπως είναι η προσάραξη ενός πλοίου, αλλά ακόμη και σε συνθήκες κανονικής εκμεταλλεύσεώς του. Εξάλλου η καθέλκυση ενός πλοίου είναι μια διαδικασία που θέτει σε μεγάλη δοκιμασία την ανθεκτική κατασκευή του.

Προϋπόθεση για την ασφάλιση ενός πλοίου είναι να είναι καταχωρημένο και να διατηρεί την κλάση του σ' έναν αναγνωρισμένο νηογνώμονα. Για να εξασφαλισθούν τα παραπάνω θα πρέπει:

1) Τα σχέδια και οι μελέτες κατασκευής του πλοίου να είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς και να έχουν εγκριθεί από το νηογνώμονα.

2) Τα σχέδια να έχουν εφαρμοσθεί πιστά κατά την κατασκευή του πλοίου, γεγονός που ελέγχεται από τους επιθεωρητές του νηογνώμονα.

3) Με τακτικές επιθεωρήσεις να ελέγχεται η καλή κατάσταση της μεταλλικής κατασκευής, των μηχανών και των συστημάτων του πλοίου.

Οι κανονισμοί του νηογνώμονα και η εφαρμογή τους εξασφαλίζουν –ως ένα σημείο– την κατασκευαστική επάρκεια του πλοίου. Στην πράξη όμως δεν αποκλείεται να εμφανισθούν προβλήματα στην ανθεκτική κατασκευή του, κυρίως σε καταστάσεις κακοκαιρίας, κακών χειρισμών, λανθασμένης φορτώσεως ή συνδυασμού τους.

Επειδή μέρος αυτών των προβλημάτων θα μπορούσε να αποφευχθεί με την ορθότερη σχεδίαση και κυρίως με τη σωστή χρησιμοποίηση του πλοίου, είναι απαραίτητη η μελέτη της αντοχής του και των παραγόντων που την επηρεάζουν.

Η μελέτη της αντοχής του πλοίου μπορεί να απλουστευθεί αν οι καταπονήσεις καταταγούν στις παρακάτω κατηγορίες:

1) **Στατικά γενικά φορτία** που δημιουργούν τάσεις:

α) Κάμψεως του πλοίου ως δοκού.

β) Κάμψεως των εγκαρσίων στοιχείων της κατασκευής του που οφείλονται κυρίως σε υδροστατικά φορτία.

γ) Στρέψεως, λόγω της ασυμμετρίας κατανομής των διαφόρων βαρών μεταξύ της δεξιάς και της αριστερής πλευράς του πλοίου.

2) **Στατικά τοπικά φορτία** που περιλαμβάνουν:

α) Φορτία που οφείλονται στη στήριξη μεγάλων βαρών, όπως ο ιστός του πλοίου.

β) Φορτία κατά τη διάρκεια προσαράξεως ή δεξαμενισμού.

3) **Δυναμικά φορτία** που μπορούν να οφείλονται σε διάφορα αίτια όπως:

α) Δυνάμεις κρούσεως του πυθμένα (slamming), όταν η πλήρη βγαίνει έξω από το νερό και επανέρχεται (λόγω κυμάτων).

β) Ώση της έλικας.

γ) Κινήσεις του πλοίου σε κυματισμό.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι καταπονήσεις του πλοίου είναι πολύπλοκες και ορισμένες από αυτές μεταβάλλονται με το χρόνο. Αυτό καθιστά εξαιρετικά δύσκολη τη μελέτη τους.

## 17.2 Κριτήριο κατασκευαστικής αστοχίας του πλοίου.

Με τον όρο **αστοχία**, εννοούμε εδώ την κατασκευαστική (από την πλευρά αντοχής και μόνο) ανεπάρκεια ολόκληρου του πλοίου ή στοιχείων της κατασκευής του.

Στην προηγούμενη παράγραφο είδαμε πόσο πολύπλοκα καταπονείται ένα πλοίο. Παρόλα αυτά, για πρακτικούς λόγους, είναι απαραίτητο να βρεθεί ένα κριτήριο, με το οποίο θα κρίνεται η πιθανότητα κατασκευαστικής ανεπάρκειάς του. Ως τέτοιο κριτήριο ορίζεται από τους vnoγνώμονες και τους ναυπηγούς το μέγεθος των τάσεων εφελκυσμού και θλίψεως, όταν θεωρηθεί ότι το πλοίο κάμπτεται ως διαμήκης δοκός.

Με την παραπάνω υπόθεση φυσικά δεν λαμβάνονται υπόψη πλήθος από άλλες καταπονήσεις, οι οποίες όμως κατ' αρχήν θεωρείται ότι δεν θα υπερβαίνουν τις επιτρεπόμενες τιμές αν οι τάσεις θλίψεως και εφελκυσμού που προαναφέραμε παραμείνουν μέσα σε προκαθορισμένα όρια. **Αν και τα ναυπηγεία, οι vnoγνώμονες και οι μελετητές εξετάζουν και άλλες πιο ειδικές καταπονήσεις, η παραπάνω υπόθεση, εκτός των άλλων, επιτρέπει στους χειριστές, με υπολογισμούς που μπορούν να κάνουν οι ίδιοι ή που μπορούν να γίνουν με τη βοήθεια ειδικών υπολογιστών που υπάρχουν στα σύγχρονα πλοία, να επιβεβαιώνουν την ανταπόκριση του πλοίου τους στους κανονισμούς σε κάθε κατάσταση φορτώσεως ή/και να αποφεύγουν λανθασμένες και επικίνδυνες φορτώσεις.**

Ας υποθέσουμε για παράδειγμα, ότι σ' ένα πλοίο η μεγαλύτερη τάση εφελκυσμού ή θλίψεως (που υπολογίστηκε κατά τη σχεδίασή του) δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα  $8 \text{ kp/mm}^2$  και ότι το πλοίο αυτό υπήρξε από άποψη κατασκευαστικής αντοχής επιτυχημένο. Τότε και ένα άλλο πλοίο παρόμοιας περίπου μορφής και μεγέθους που θα σχεδιασθεί για την ίδια μέγιστη τάση εφελκυσμού και θλίψεως είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα αναμένεται να παρουσιάσει προβλήματα αντοχής. Ίσως σε κανένα από τα δύο πλοία η πραγματική μέγιστη τάση που θα εμφανισθεί να μην είναι  $8 \text{ kp/mm}^2$ , αλλά και τα δύο πλοία οι καταπονήσεις θα έχουν, για τις ίδιες συνθήκες, την ίδια τάξη μεγέθους, με άλλα λόγια θα έχουν τιμή που θα είναι περίπου το ίδιο πολλαπλάσιο των  $8 \text{ kp/mm}^2$ .

Από τα παραπάνω φαίνεται καθαρά η σπουδαιότητα που έχει η μελέτη της αντοχής του πλοίου ως δοκού. Για να γίνει πιο κατανοητό το περιεχόμενο, ο τρόπος υπολογισμού και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μελέτης του πλοίου ως δοκού, στην παράγραφο 17.3 θα αναπτυχθούν συνοπτικά στοιχεία της αντοχής των υλικών που αναφέρονται στις καταπονήσεις μιας οποιασδήποτε δοκού.

## 17.3 Στοιχεία από την αντοχή των υλικών.

### 17.3.1 Ορισμοί.

#### 1) Αντοχή υλικών.

Είναι το κεφάλαιο της Μηχανικής που ερευνά τη δημιουργία τάσεων σε σώματα που βρίσκονται κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων, στις οποίες περιλαμβάνεται και το βάρος τους.

#### 2) Τάσεις.

Ονομάζονται οι εσωτερικές δυνάμεις που μεταφέρονται μέσα από μία τομή σώματος.

#### 3) Φορτία.

Ονομάζονται οι δυνάμεις και οι ροπές που εφαρμόζονται εξωτερικά σε ένα σώμα. Το βάρος ενός σώματος συχνά, όπως είπαμε, περιλαμβάνεται στα φορτία.

#### 4) Επιτρεπόμενη τάση.

Ονομάζεται η μέγιστη τάση που επιτρέπεται να εφαρμοσθεί σε κάποιο υλικό, χωρίς να αντιμετωπίζουμε πρόβλημα κατασκευαστικής ανεπάρκειας. Καθορίζεται συνήθως (μετά από πείραμα), ανάλογα με το είδος και τις ιδιότητές του από θεσμοθετημένους κανονισμούς.



### 5) Συντελεστής ασφάλειας.

Ονομάζεται ο λόγος μεταξύ της τάσεως που θα προκαλούσε κατασκευαστική ανεπάρκεια (π.χ. θραύση ή πλαστική παραμόρφωση) σ' ένα υλικό και της μέγιστης τάσεως που επιτρέπεται, σύμφωνα με τους κανονισμούς, να εμφανιστεί στο υλικό στην πράξη.

### 6) Τάση εφελκυσμού.

Ονομάζεται η τάση κάθετη προς το επίπεδο μίας τομής ενός σώματος (π.χ. μιας ράβδου), που τείνει να επιμηκύνει το σώμα.

### 7) Τάση θλίψεως.

Ονομάζεται η τάση κάθετη προς το επίπεδο μίας τομής ενός σώματος που τείνει να βραχύνει το σώμα.

### 8) Διατμητική τάση.

Ονομάζεται η τάση παράλληλη προς το επίπεδο μίας τομής ενός σώματος που τείνει να δημιουργήσει ολίσθηση αυτής της τομής προς τη γειτονική της.

### 9) Δοκός.

Ονομάζεται κάθε σώμα, του οποίου οι δύο διαστάσεις είναι μικρές σε σχέση με την τρίτη.

#### 17.3.2 Ισορροπία δοκού.

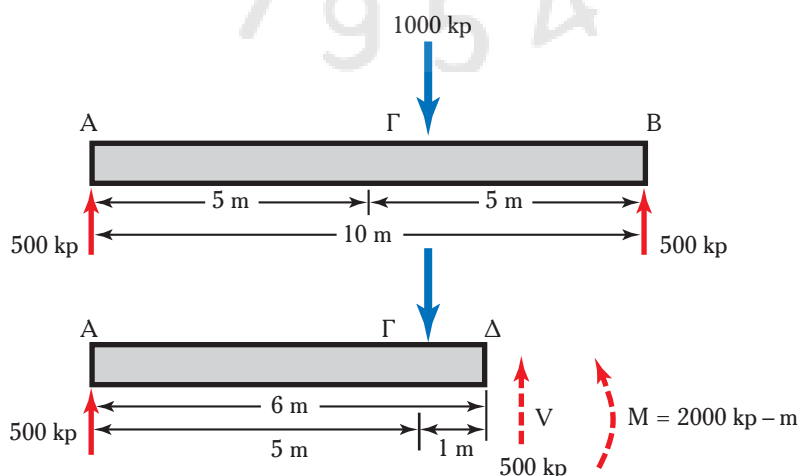
Μία δοκός, η οποία είναι τοποθετημένη πάνω σε στηρίγματα και υπόκειται στην επίδραση ορισμένων δυνάμεων, κάθετων στον άξονά της ή και ροπών, υφίσταται ένα είδος καταπόνησης που στην αντοχή υλικών ονομάζεται **κάμψη**. Τα στηρίγματα μπορεί να βρίσκονται στα δύο άκρα της δοκού ή η δοκός να στηρίζεται σε περισσότερα σημεία ή και να βρίσκεται σε πλήρη επαφή μ' ένα επίπεδο κάτω από αυτήν.

Οι δυνάμεις και οι ροπές που ασκούνται στη ράβδο από τα στηρίγματα αυτά ονομάζονται **αντιδράσεις** και αποτελούν, μαζί με τις δυνάμεις (και πιθανόν τις ροπές) που επιβάλλονται στη ράβδο απ' έξω, ένα σύστημα που βρίσκεται σε ισορροπία.

Αυτό σημαίνει ότι οι γνωστές συνθήκες ισορροπίας της Μηχανικής μπορούν να εφαρμοσθούν για την εύρεση των αντιδράσεων.

Στο σχήμα 17.3α εικονίζεται δοκός που έχει άνοιγμα 10 m, στηρίζεται στα δύο άκρα της (στην αντοχή υλικών λέγεται αμφιέριστη) και φορτίζεται στο μέσο της από ένα συγκεντρωμένο φορτίο 1000 kp.

Για ισορροπία, λόγω της συμμετρίας που υπάρχει, οι αντιδράσεις των στηριγμάτων θα είναι ίσες και η καθεμιά τους θα έχει μέγεθος 500 kp. Αν θεωρήσουμε τώρα μία τομή της ράβδου σε απόσταση 6 m από το



Σχ. 17.3α.

Ισορροπία δοκού.

αριστερό άκρο της, θα πρέπει, για εξασφάλιση της ισορροπίας του αριστερού τμήματος, να εφαρμοσθούν στην τομή μία δύναμη  $V$  και μία ροπή  $M$ .

Η δύναμη  $V$  και η ροπή  $M$  θεωρείται ότι εφαρμόζονται από το δεξί στο αριστερό τμήμα της δοκού και συνεπάγονται τη δημιουργία εσωτερικών τάσεων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι κατακόρυφες συνιστώσες και οι ροπές γύρω από οποιοδήποτε σημείο της ράβδου (εδώ μας εξυπηρετεί να πάρουμε τις ροπές γύρω από το σημείο  $\Delta$ ) πρέπει να ισορροπούν, υπολογίζουμε ότι η δύναμη  $V$  είναι ίση με  $(1000 - 500) = 500$  kP και η ροπή  $M$  ίση με  $2000$  kP-m (αφού το άθροισμα των ροπών γύρω από το  $\Delta$  πρέπει να είναι ίσο με μηδέν).

Η δύναμη  $V$  ονομάζεται **τέμνουσα** και η ροπή  $M$ , **ροπή κάμψεως**. Σε μία γενική περίπτωση φορτίσεως, τόσο  **$n$  τέμνουσα δύναμη όσο και  $n$  ροπή κάμψεως μεταβάλλονται κατά μήκος της δοκού**.

Η τέμνουσα δύναμη δημιουργεί σε κάθε τομή της δοκού **διατμητικές τάσεις**. Το διάγραμμα που δείχνει τη μεταβολή της τέμνουσας δυνάμεως κατά μήκος της ράβδου, ονομάζεται **διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων (ΔΤΔ)**.

Εξάλλου η ροπή κάμψεως δημιουργεί, για το παράδειγμα του σχήματος 17.3α, **τάσεις θλίψεως** στην πάνω πλευρά της δοκού και **τάσεις εφελκυσμού** στην κάτω. Το διάγραμμα που δείχνει τη μεταβολή της ροπής κάμψεως κατά μήκος της δοκού, ονομάζεται **διάγραμμα ροπών κάμψεως (ΔΡΚ)**.

### **Παράδειγμα κατασκευής διαγραμμάτων τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψεως.**

Η δοκός του σχήματος 17.3β στηρίζεται σε δύο υποστηρίγματα στα σημεία  $A$  και  $\Delta$  και φορτίζεται με τρία συγκεντρωμένα φορτία  $2400$ ,  $3000$  και  $540$  kP που δρουν στα σημεία  $B$ ,  $\Gamma$  και  $E$  αντίστοιχα. Οι λοιπές διαστάσεις είναι όπως φαίνονται στο σχήμα.

Στην αρχή θα πρέπει να βρούμε τις αντιδράσεις στα σημεία  $A$  και  $\Delta$  που τις συμβολίζουμε με  $P_A$  και  $P_\Delta$  αντίστοιχα.

Λαμβάνοντας ροπές ως προς το  $A$  θα έχουμε:

$$-8P_\Delta + 2400 \times 3 + 3000 \times 7 + 540 \times 10 = 0 \quad \text{ή} \quad P_\Delta = 4200 \text{ kP}$$

και λαμβάνοντας ροπές ως προς το  $\Delta$  θα έχουμε:

$$8P_A + 540 \times 2 - 3000 \times 1 - 2400 \times 5 = 0 \quad \text{ή} \quad P_A = 1740 \text{ kP}$$

Παρατηρούμε ότι το άθροισμα των αντιδράσεων είναι  $4200 + 1740 = 5940$  kP, δηλαδή ίσο με το άθροισμα των δυνάμεων προς τα κάτω που είναι επίσης  $2400 + 3000 + 540 = 5940$  kP.

Για να κατασκευάσουμε το διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων, θεωρούμε τομές της ράβδου, σε διάφορα σημεία κατά μήκος, ανάμεσα στα φορτία και υπολογίζουμε το αλγεβρικό άθροισμα των δυνάμεων που δρουν προς τα αριστερά της τομής. Έτσι έχουμε:

- Τομή μεταξύ  $A$  και  $B$      $V = 1740$  kP
- Τομή μεταξύ  $B$  και  $\Gamma$      $V = 1740 - 2400 = -600$  kP
- Τομή μεταξύ  $\Gamma$  και  $\Delta$      $V = 1740 - 2400 - 3000 = -3660$  kP
- Τομή μεταξύ  $\Delta$  και  $E$      $V = 1740 - 2400 - 3000 + 4200 = -540$  kP

Με βάση τα παραπάνω σχεδιάζουμε το διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων, όπως φαίνεται στο (2) του σχήματος 17.3β.

Το διάγραμμα ροπών κάμψεως μπορεί να κατασκευασθεί αν θεωρήσουμε διαδοχικά διάφορες τομές της ράβδου πάνω στα σημεία που εφαρμόζονται οι δυνάμεις και υπολογίσουμε τις ροπές κάμψεως σε κάθε σημείο.

Έτσι θα έχουμε:

- Σημείο  $A$      $M = 0$
- Σημείο  $B$      $M = 1740 \times 3 = 5220$  kP-m
- Σημείο  $\Gamma$      $M = 1740 \times 7 - 2400 \times 4 = 2580$  kP-m
- Σημείο  $\Delta$      $M = 1740 \times 8 - 2400 \times 5 = 3000 \times 1 = -1080$  kP-m
- Σημείο  $E$      $M = 1740 \times 10 - 2400 \times 7 = 3000 \times 3 + 4200 \times 2 = 0$  kP-m

Με τις πληροφορίες αυτές σχεδιάζομε το διάγραμμα ροπών κάμψεως όπως φαίνεται στο (3) του σχήματος 17.3β. Από το σχήμα αυτό συμπεραίνομε ότι:

- Η τέμνουσα δύναμη έχει τη μεγαλύτερη τιμή στην περιοχή ΓΔ και είναι ίση με 3660 kp.
- Η ροπή κάμψεως έχει τη μεγαλύτερη τιμή στο σημείο Β και είναι ίση με 5220 kp-m. Το θετικό σημείο δείχνει ότι η ροπή τείνει να δημιουργήσει τάση θλίψεως στα πάνω στοιχεία της ράβδου και τάση εφελκυσμού στα κάτω. Αυτό βέβαια ισχύει μόνο στην περιοχή ΑΔ, ενώ στην περιοχή ΔΕ συμβαίνει το αντίθετο.

Αντίστοιχα μπορούν να βρεθούν τα διαγράμματα τέμνουσας δυνάμεως και ροπής κάμψεως σε πιο πολύπλοκες φορτίσεις, όπως είναι τα συνεχή φορτία ή συνδυασμός συνεχών και συγκεντρωμένων φορτίων. Η μέθοδος που εφαρμόζεται είναι η ίδια, αλλά η εφαρμογή της έχει περισσότερη δυσκολία. Ένα παράδειγμα μίας τέτοιας δοκού φαίνεται (χωρίς να δίνονται επεξηγήσεις πάνω στους υπολογισμούς) στο σχήμα 17.3γ. Το παράδειγμα έχει επιλεγεί γιατί το φορτίο και οι αντιδράσεις μοιάζουν κάπως με τα αντίστοιχα στην περίπτωση μελέτης της αντοχής του πλοίου. Στην περίπτωση αυτού του παραδείγματος (συνεχή φορτία) οι τέμνουσες δυνάμεις έχουν γραμμική μεταβολή και οι ροπές καμπυλόγραμμη.

Οι δύο ιδιότητες που ακολουθούν βοηθούν στην πιο εύκολη κατανόηση των αποτελεσμάτων του παραδείγματος του σχήματος 17.3γ, αλλά και των αντιστοίχων υπολογισμών για ολόκληρο το πλοίο, όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 17 (συνεχή φορτία).

### 1) Ιδιότητα πρώτη.

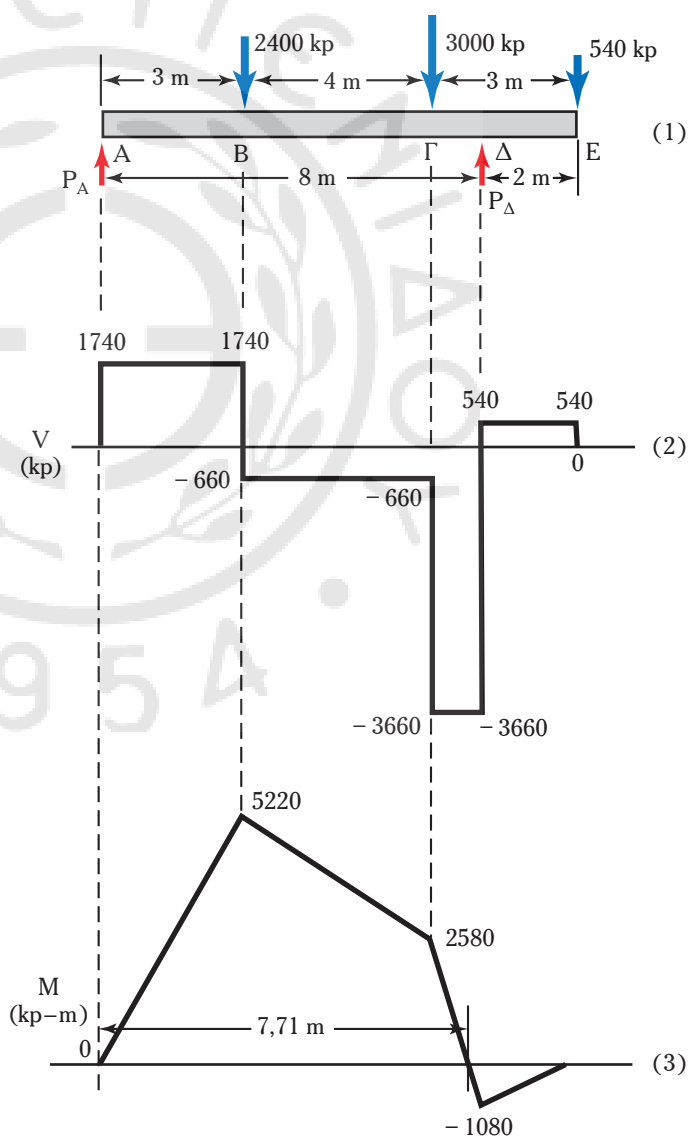
**Η μεταβολή της τέμνουσας δυνάμεως** μεταξύ δύο σημείων Α και Β μίας δοκού είναι ίση με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη φορτίσεως μεταξύ των αντιστοίχων σημείων. Όταν υπάρχουν συγκεντρωμένα φορτία, τότε για την εύρεση της τέμνουσας εφαρμόζομε τη μέθοδο που περιγράψαμε στο παράδειγμα του σχήματος 17.3β. Δηλαδή αθροίζαμε αλγεβρικά όλες τις δυνάμεις και αντιδράσεις που βρίσκονται προς τα αριστερά του σημείου που εξετάζομε.

### 2) Ιδιότητα δεύτερη.

**Η μεταβολή της ροπής κάμψεως** μεταξύ δύο σημείων Α και Β μίας δοκού είναι ίση με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη τέμνουσών δυνάμεων μεταξύ των αντιστοίχων σημείων.

Η **καμπύλη φορτίσεως** προκύπτει από την αλγεβρική πρόσθεση των συνεχών δυνάμεων και αντιδράσεων που επενεργούν σε κάθε σημείο της δοκού.

Αν, για παράδειγμα, εξετάσομε το τμήμα ΑΒ της δοκού του σχήματος 17.3γ θα δούμε ότι στο σημείο Α τόσο η τέμνουσα δύναμη όσο και η ροπή κάμψεως έχουν μηδενική τιμή.



Σχ. 17.3β.

Δοκός με συγκεντρωμένα φορτία.

Η φόρτιση στο τμήμα AB της δοκού προκύπτει από την αφαίρεση της δύναμης που είναι ίση με  $100 \text{ kp/m}$  και της αντιδράσεως προς τα πάνω που είναι ίση με  $160 \text{ kp/m}$ . Δηλαδή έχει τιμή  $60 \text{ kp/m}$  με κατεύθυνση προς τα πάνω.

Η διαφορά τέμνουσας δυνάμεως μεταξύ A και B είναι ίση με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη φορτίσεως (σύμφωνα με την ιδιότητα A), δηλαδή έχει την τιμή  $60 \text{ kp/m} \times 4 \text{ m} = 240 \text{ kp}$ .

Επειδή η τέμνουσα δύναμη στο σημείο A έχει μηδενική τιμή,  $240 \text{ kp}$  είναι και η τέμνουσα δύναμη στο B.

Εξάλλου η διαφορά ροπής κάμψεως μεταξύ των σημείων A και B είναι ίση με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη τέμνουσας δυνάμεως (σύμφωνα με τη δεύτερη ιδιότητα). Δηλαδή έχει την τιμή  $1/2 \times 240 \text{ kp} \times 4 \text{ m} = 480 \text{ kp-m}$  (επειδή το σχήμα που προκύπτει στο διάγραμμα τέμνουσας δυνάμεως έχει τριγωνική μορφή).

### 17.3.3 Τάσεις εφελκυσμού και θλίψεως, λόγω κάμψεως της δοκού.

#### 1) Παραδοχές.

Η θεωρία που αναπτύσσεται παρακάτω αφορά στην **απλή κάμψη**, υπόθεση που σημαίνει ότι κάθε διατομή της δοκού καταπονείται με τη ροπή κάμψεως μόνο και ισχύει εφόσον ικανοποιούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) Το ύψος  $h$  στη διατομή της δοκού είναι μικρότερο από το μισό του ανοίγματος της  $l$ . Μήκος ή άνοιγμα  $l$  είναι η μεγάλη διάσταση της ράβδου και ύψος  $h$  η διάσταση της δοκού κατά τη διεύθυνση των φορτίων (σχ. 17.3ε).

β) Η δοκός έχει ένα επίπεδο συμμετρίας, δηλαδή η διατομή της έχει έναν άξονα συμμετρίας και παραμένει αμετάβλητη σε όλο το μήκος της.

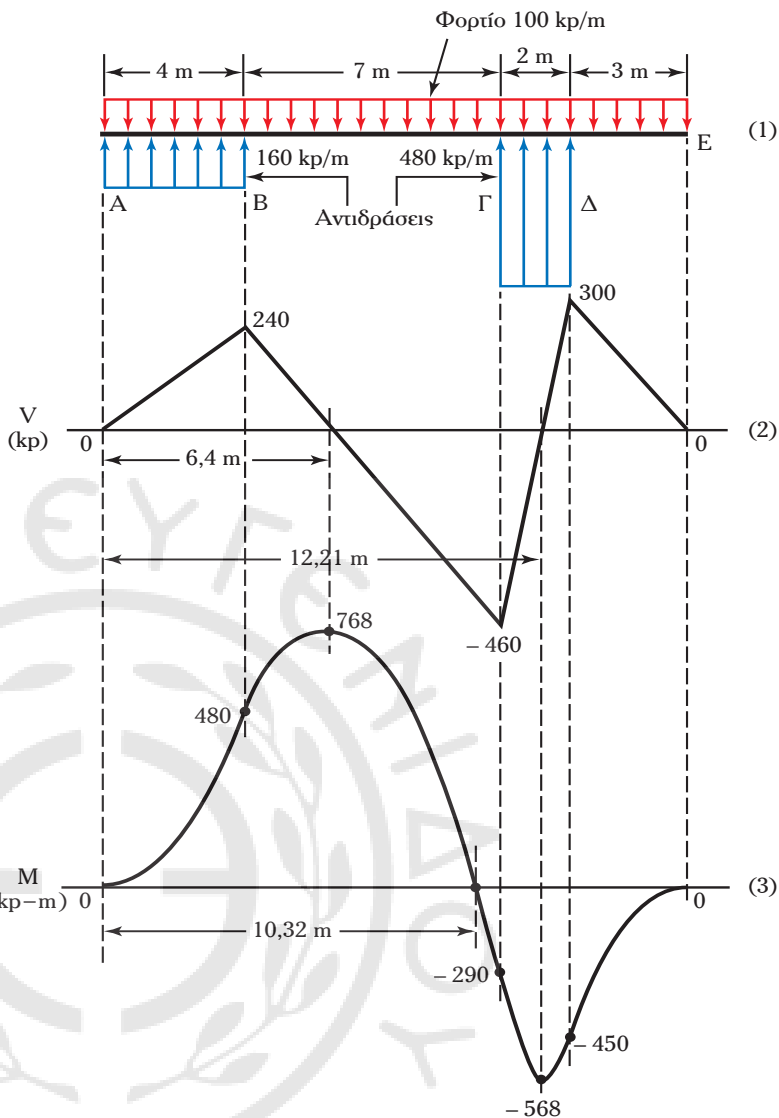
γ) Τα φορτία βρίσκονται μέσα στο επίπεδο συμμετρίας της και είναι κάθετα στον άξονά της.

δ) Ο άξονας της δοκού, προτού να παραμορφωθεί, είναι ευθύγραμμος.

ε) Για το υλικό που εξετάζεται, ισχύει ο νόμος του Hooke, με το ίδιο μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό και θλίψη. Επί πλέον γίνεται και η ακόλουθη βασική παραδοχή: Οι επίπεδες διατομές της δοκού (τομές κάθετες στον άξονά της), παραμένουν επίπεδες και μετά την παραμόρφωσή της.

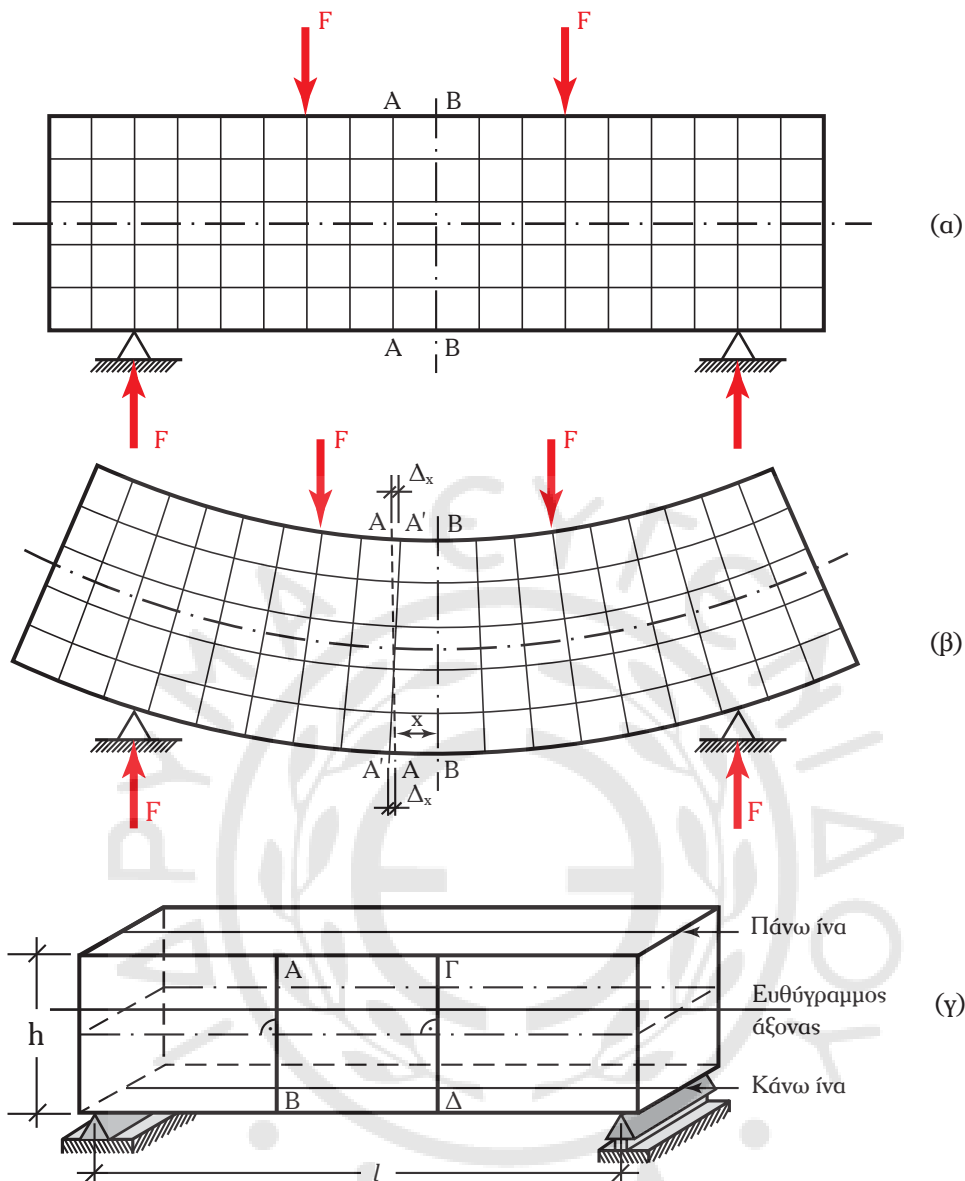
#### 2) Ουδέτερη γραμμή.

Η αμφιέριστη δοκός του σχήματος 17.3δ(α) και 17.3δ(γ) όταν είναι αφόρτιστη, έχει άξονα ευθύγραμμο. Φανταζόμαστε ότι η δοκός αποτελείται από ευθύγραμμες ίνες, παράλληλες προς τον άξονά της (όπως



Σχ. 17.3γ.

Δοκός με συνεχή φορτία.



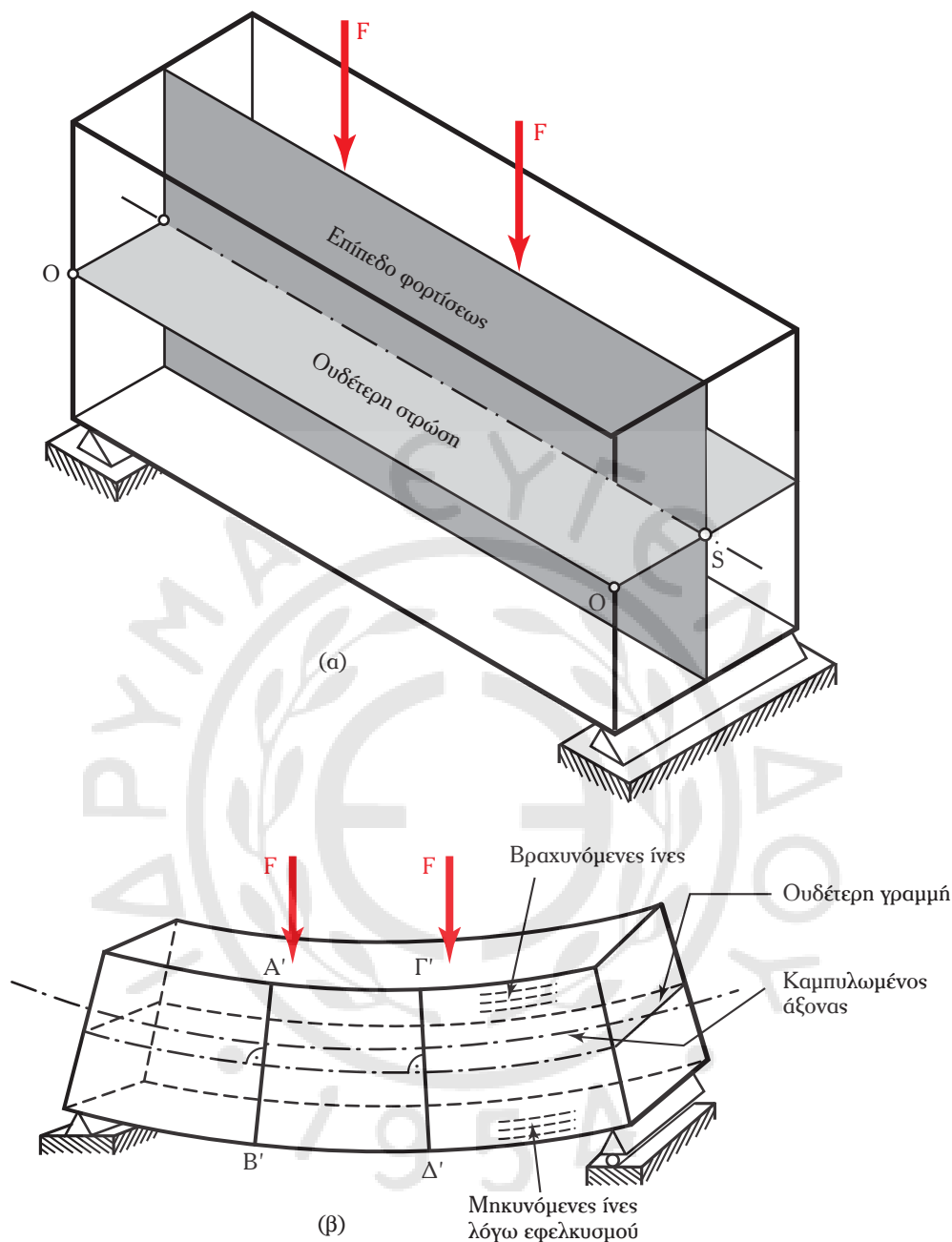
Σχ. 17.38.

Αμφιέριστη δοκός. α) Όψη δοκού χωρίς παραμόρφωση. β) Όψη δοκού με παραμόρφωση. γ) Ορισμός πάνω και κάτω ίνας.

συμβαίνει περίπου στο ξύλο). Όταν η δοκός φορτισθεί [σχ. 17.3δ(β)] ο άξονάς της καμπυλώνει. Οι ίνες που βρίσκονται κάτω από τον άξονα επιμηκύνονται, ενώ αντίθετα όσες βρίσκονται πάνω απ' αυτόν βραχύνονται. Μεταξύ των δύο περιοχών, της πάνω και της κάτω, υπάρχει προφανώς μία στρώση ινών, η οποία ούτε εφελκύεται ούτε θλίβεται και ακριβώς επειδή δεν μετέχει στην παραμόρφωση καλείται **ουδέτερη** [σχ. 17.3ε(α)]. Η τομή της στρώσεως αυτής με το επίπεδο της διατομής ονομάζεται **ουδέτερη γραμμή**. Η γραμμή αυτή είναι ευθεία κάθετη πάνω στο επίπεδο φορτίσεως και για την απλή κάμψη περνάει από το κέντρο βάρους της διατομής.

Αν χαράξουμε στην πλευρά μιας αφόρτιστης δοκού δύο ευθείες  $AB$  και  $\Gamma\Delta$  κάθετες στον άξονά της, μετά τη φόρτιση και την παραμόρφωση της δοκού, αυτές εξακολουθούν να είναι ευθείες και στη νέα θέση τους  $A'B'$  και  $\Gamma'\Delta'$ , είναι κάθετες στον άξονα της δοκού που έχει καμπυλωθεί [σχ. 17.3ε(β)].

Επομένως οι οριζόντιες μετατοπίσεις των σημείων της ευθείας  $AB$  είναι ανάλογες προς τις αποστάσεις



**Σχ. 17.3ε.**

*Αμφιέρειστη δοκός. α) Ορισμός ουδέτερης στρώσεως. β) Παραμόρφωση ινών της δοκού.*

των σημείων από την ουδέτερη γραμμή O-O (σχ. 17.3στ). Επειδή όμως οι παραμορφώσεις (μετατοπίσεις), σύμφωνα με το νόμο του Hooke, είναι ανάλογες με τις τάσεις που τις προκαλούν, προκύπτει ότι και οι τάσεις θα είναι ανάλογες με τις αποστάσεις των σημείων από την ουδέτερη γραμμή (σχ. 17.3ζ).

Στο σχήμα 17.3ζ φαίνεται η κατανομή των ορθών τάσεων (εφελκυσμού και θλίψεως) σε μία διατομή δοκού που κάμπτεται. Βλέπουμε ότι οι ορθές τάσεις δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια της διατομής, όπως συμβαίνει με τον απλό εφελκυσμό και με τη θλίψη μιας ράβδου, αλλά μεταβάλλονται γραμμικά από το μηδέν (στη θέση της ουδέτερης γραμμής), μέχρι μία μέγιστη θετική τιμή, στην ακραία ίνα που εφελκύεται και μία ελάχιστη αρνητική τιμή, στην ακραία ίνα που θλίβεται.

### 3) Ο τύπος της κάμψεως.

Για να δούμε τι συμβαίνει με τις δοκούς που κάμπτονται, παραθέτουμε ένα απλό παράδειγμα μιας κοινής σανίδας που στηρίζεται στα δύο της άκρα. Παρατηρούμε ότι η σανίδα παρουσιάζει πολύ μικρή αντοχή στην κάμψη, όταν ο κορμός της είναι οριζόντιος [σχ. 17.3n(α)] και πολύ μεγαλύτερη, όταν είναι κατακόρυφος [σχ. 17.3n(β)]. Παρατηρούμε ότι η ίδια διατομή της σανίδας  $A = 20 \times 2 = 40 \text{ cm}^2$  συμπεριφέρεται σημαντικά διαφορετικά όταν η αναλογία των διαστάσεων της διατομής είναι:

$$\frac{b}{h} = \frac{\text{πλάτος}}{\text{ύψος}} = \frac{20 \text{ cm}}{2 \text{ cm}}$$

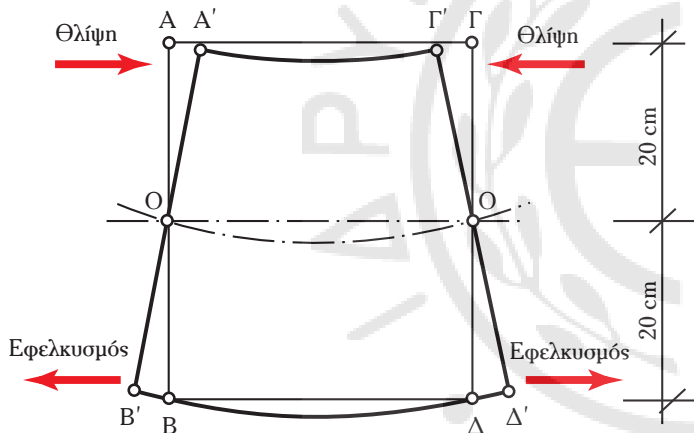
$$\frac{\text{πλάτος}}{\text{ύψος}} = \frac{2 \text{ cm}}{20 \text{ cm}}$$

και διαφορετικά όταν:

Από το παραπάνω παράδειγμα βλέπουμε ότι δεν αρκεί να γνωρίζουμε μόνο το εμβαδόν  $A$  της διατομής για τη μελέτη των τάσεων μιας δοκού που κάμπτεται.

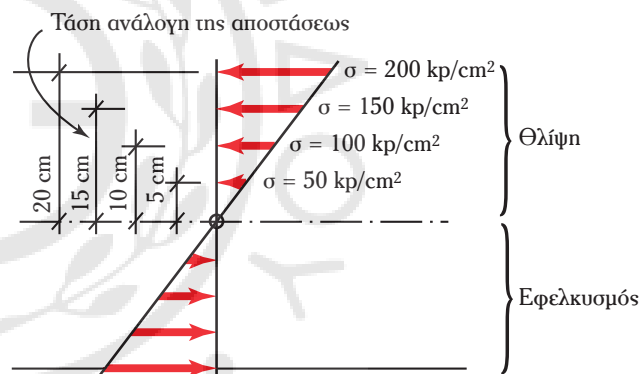
Για να βρούμε το νόμο της διανομής των τάσεων σε μία διατομή, στην οποία επιβάλλεται η ροπή κάμψεως  $M$ , παίρνουμε την απλή περίπτωση μιας αμφιέρειστης δοκού με ορθογωνική διατομή, που φορτίζεται με τυχαίο φορτίο  $f_0$ , το οποίο είναι κάθετο στον άξονα της δοκού και βρίσκεται μέσα στο επίπεδο συμμετρίας της διατομής.

Έχομε λοιπόν εδώ μια περίπτωση απλής κάμψεως. Σύμφωνα με την αρχή του Bernoulli οι παραμορφώ-



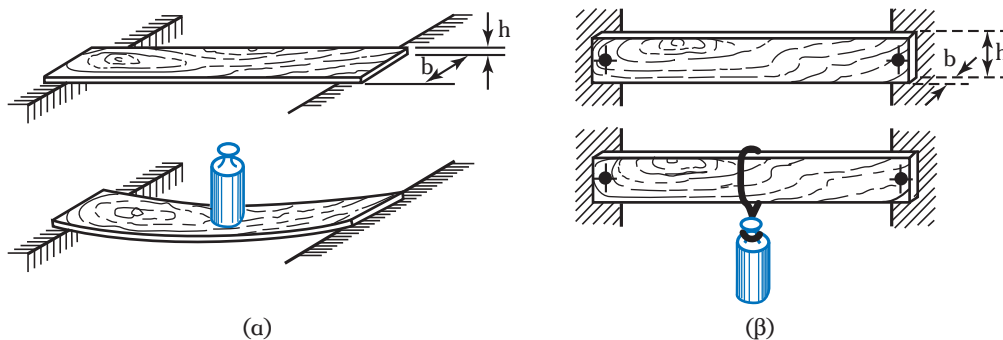
Σχ. 17.3στ.

Μετατοπίσεις των σημείων των ευθειών  $AB$  και  $A'B'$ .



Σχ. 17.3ζ.

Κατανομή τάσεων.



Σχ. 17.3n.

Φόρτιση ξύλινης ράβδου. α) Φορτίο κάθετο προς τη μεγάλη διάσταση διατομής. β) Φορτίο κάθετο προς τη μικρή διάσταση διατομής.

σεις των ινών –βρακύνσεις στην επάνω περιοχή, επιμηκύνσεις στην κάτω– αυξάνουν όσο αυξάνει η απόστασή τους από την ουδέτερη γραμμή, της οποίας δεν γνωρίζουμε ακόμη τη θέση. Κατά το νόμο του Hooke οι τάσεις είναι ανάλογες με τις παραμορφώσεις, γεγονός που σημαίνει ότι και οι τάσεις αυξάνονται όσο μεγαλώνει η απόσταση  $y$  από την ουδέτερη γραμμή. Αυτό μπορεί να εκφραστεί με τη σχέση:

$$\sigma = \lambda \times \gamma \quad (159)$$

Για να μπορεί να καθορισθεί η τιμή του  $\sigma$ , πρέπει και αρκεί να βρεθεί το  $\lambda$ .

Αν κόψουμε τη δοκό σε τυχαία θέση, στο σημείο αυτής της τομής, στην περίπτωση φορτίσεως μιας αμφιέρειστης δοκού, ενεργεί η ροπή κάμψεως  $M$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 17.30.

Παράλληλα, πάνω από την ουδέτερη γραμμή της διατομής επενεργεί η συνισταμένη των θλιπτικών τάσεων  $D$  και κάτω απ' αυτήν η συνισταμένη των εφελκυστικών τάσεων  $E$ . Για να ισορροπεί το αριστερό κομμάτι της δοκού που θεωρούμε ότι προέκυψε μετά την τομή, πρέπει να ισχύουν οι τρεις συνθήκες ισορροπίας, δηλαδή πρέπει να έχουμε  $\Sigma_x = 0$ ,  $\Sigma_y = 0$  και  $\Sigma M = 0$ .

Η συνθήκη  $\Sigma_x = 0$  σημαίνει επίσης ότι  $D = E$  και επομένως η ουδέτερη γραμμή πρέπει να συμπίπτει με τον οριζόντιο άξονα συμμετρίας της ορθογωνικής διατομής.

Οι θλιπτικές και εφελκυστικές τάσεις, διαμορφώνουν, πάνω και κάτω από την ουδέτερη γραμμή από μία σφήνα με συνολικό (συνιστάμενο) εμβαδόν (η κάθε μία σχ. 17.3ι) ίσο με:

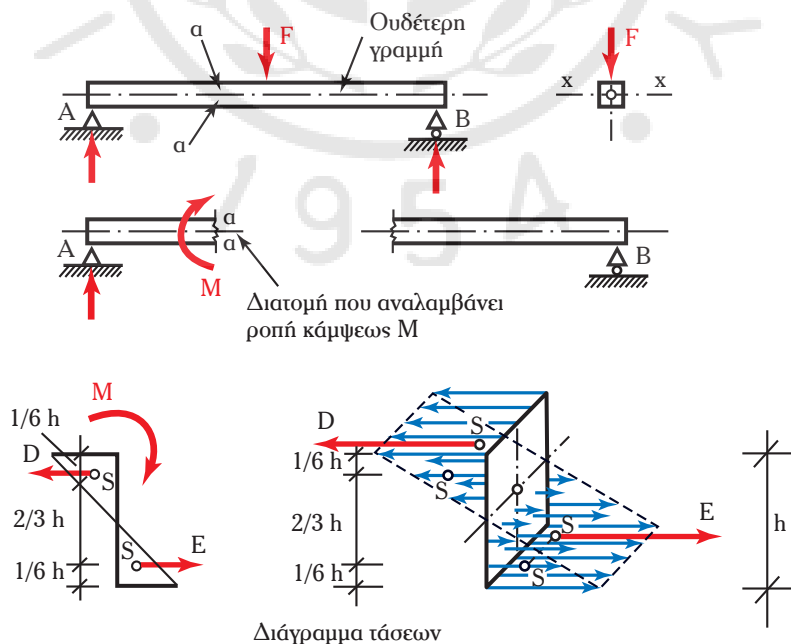
$$D = \frac{1}{2} \times \lambda \times \frac{h}{2} \times b \times \frac{h}{2} = \frac{1}{8} \lambda b h^2 - E$$

Η συνισταμένη αυτή δρα στο κέντρο βάρους κάθε τριγωνικής σφήνας, δηλαδή σε ένα σημείο που βρίσκεται στα  $2/3$  του  $h/2$  από την ουδέτερη γραμμή.

Επομένως η απόσταση μεταξύ των συνισταμένων δυνάμεων  $D$  και  $E$  είναι ίση με  $2/3 h$ .

Εξάλλου η εφαρμογή της συνθήκης ισορροπίας  $\Sigma M = 0$  δίνει τη σχέση:

$$\Sigma M = 0 = M - D \times \frac{2}{3} h = M - \frac{1}{8} \lambda b h^2 \times \frac{2}{3} h = \lambda \frac{1}{12} b h^3$$



Σχ. 17.30.

Παράδειγμα φορτίσεως αμφιέρειστης δοκού.





Η ροπή αυτής της δυνάμεως  $f$  ως προς την ουδέτερη γραμμή θα είναι:

$$m = f \times y = \sigma_{\mu\epsilon\gamma} \times \frac{y}{y_{\mu\epsilon\gamma}} \times a \times \gamma = \frac{\sigma_{\mu\epsilon\gamma}}{y_{\mu\epsilon\gamma}} a y^2$$

Το άθροισμα των στοιχειωδών αυτών ροπών  $m$  (που προκύπτουν από τις στοιχειώδεις δυνάμεις, οι οποίες αναλαμβάνονται από όλες τις λωρίδες της διατομής), θα πρέπει να ισορροπεί με τη ροπή κάμψεως που εφαρμόζεται, όπως είδαμε στη διατομή. Δηλαδή θα έχουμε:

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + \dots = \frac{\sigma_{\mu\epsilon\gamma}}{y_{\mu\epsilon\gamma}} \times (a_1 y_1^2 + a_2 y_2^2 + a_3 y_3^2 + \dots) = \frac{\sigma_{\mu\epsilon\gamma}}{y_{\mu\epsilon\gamma}} \times J$$

Το, εντός των παρενθέσεων, άθροισμα των εμβαδών όλων των λεπτών λωρίδων επί τα τετράγωνα των αποστάσεων τους από την ουδέτερη γραμμή, το οποίο παριστάνεται με  $J$ , ονομάζεται **ροπή αδράνειας της διατομής ως προς την ουδέτερη γραμμή της**.

Έτσι προκύπτουν ο θεμελιώδης τύπος της κάμψεως της δοκού:

$$M = \frac{\sigma_{\mu\epsilon\gamma}}{y_{\mu\epsilon\gamma}} \times J$$

ή όπως συνηθέστερα γράφουμε:

$$\sigma_{\mu\epsilon\gamma} = \frac{M}{J} \times y_{\mu\epsilon\gamma} \quad (163)$$

Ο τύπος αυτός μας δίνει τη μέγιστη τάση στην ακραία ίνα, που κυρίως μας ενδιαφέρει. Αν θέλουμε τώρα να υπολογίσουμε την τάση, που αναπτύσσεται στην τυχαία απόσταση  $y$  από την ουδέτερη γραμμή, χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$\sigma = \frac{M}{J} \times y \quad (164)$$

Ο παραπάνω τύπος είναι γενικός και μας δίνει τις ορθές τάσεις  $\sigma$  σε κάθε σημείο που βρίσκεται σε απόσταση  $y$  από την ουδέτερη γραμμή, όταν είναι γνωστή η ροπή αδράνειας  $J$  της διατομής, ως προς την ουδέτερη γραμμή και η ροπή κάμψεως  $M$  που επενεργεί σε κάθε σημείο της δοκού που εξετάζουμε.

Επειδή η θετική φορά του άξονα των  $y$  λαμβάνεται προς τα κάτω, θα έχουμε από τη σχέση (164) για  $V$  ομόσημο του  $M$  (π.χ. για ροπή κάμψεως θετική και  $y$  θετικό, δηλ. προς τα κάτω) ορθή τάση θετική (εφελκυσμού). Αντίθετα για  $y$  ετερόσημο του  $M$  (π.χ.  $M$  θετικό και  $y$  προς τα πάνω, είτε  $M$  αρνητικό και  $y$  προς τα κάτω) θα προκύπτει ορθή τάση αρνητική (θλίψεως).

Αν στον τύπο (164) χρησιμοποιήσουμε ως απόσταση  $y$  αυτή που αντιστοιχεί στην ακραία ίνα της διατομής (που βρίσκεται στην πιο μεγάλη απόσταση από την ουδέτερη γραμμή), καθώς είπαμε ήδη, το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα μας δώσει τη μέγιστη τάση  $\sigma$  που εμφανίζεται στην υπόψη διατομή.

Αν τώρα εξετάσουμε πολλές διατομές, που βρίσκονται σε διάφορες θέσεις, κατά μήκος της δοκού, η πιο δυσμενής τιμή της τάσεως καταπόνησεως θα είναι εκείνη που αντιστοιχεί στη θέση που αναπτύσσεται η μέγιστη ροπή κάμψεως, μια και στις ακραίες ίνες αυτής θα εμφανισθεί η μέγιστη τάση.

Η ροπή αδράνειας  $J$  ορίσθηκε ως άθροισμα εμβαδών πολλαπλασιασμένων επί τετράγωνα αποστάσεων και συνεπώς η μονάδα μετρήσεώς της θα είναι:

$$(\text{εμβαδόν}) \times (\text{απόσταση})^2 = \text{cm}^2 \times \text{cm}^2 = \text{cm}^4$$

Γράφουμε πάλι τη σχέση (164) με τις μονάδες μετρήσεως, που χρησιμοποιούμε συνήθως στην πράξη:

$$\sigma = (\text{kp} / \text{cm}^2) = \frac{M(\text{kp} \times \text{cm})}{J(\text{cm}^4)} \times y(\text{cm}) \quad (165)$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι για να βρούμε την τάση σε  $\text{kp}/\text{cm}^2$ , θα πρέπει να εκφράσουμε τη ροπή κάμψε-

ως σε (kr-cm), τη ροπή αδράνειας σε  $\text{cm}^4$  και την απόσταση  $y$  σε cm.

Είδαμε ότι η μέγιστη τάση, που κυρίως μας ενδιαφέρει στην πράξη, εμφανίζεται στις ακραίες ίνες, όπου το  $y$  γίνεται μέγιστο.

Αν ορίσουμε  $J/y_{\text{μεγ}} = Z$ , η εξίσωση (166) γράφεται:

$$\sigma_{\text{μεγ}} = \frac{M}{Z} \quad (166)$$

Η εξίσωση (164) εμφανίζεται στις πρακτικές εφαρμογές στην παραπάνω μορφή.

Το πηλίκον:

$$\frac{J}{y} = Z \quad (167)$$

ονομάζουμε **ροπή αντιστάσεως** της διατομής και συμβολίζουμε με:

$$Z = \frac{J(\text{cm}^4)}{y_{\text{μεγ}}(\text{cm})}$$

Από τον τύπο αυτόν προκύπτει ότι η μονάδα μετρήσεως της ροπής αντιστάσεως είναι  $\text{cm}^4/\text{cm} = \text{cm}^3$ , (χωρίς να έχει οποιαδήποτε σχέση με τη μονάδα μετρήσεως του όγκου).

Σε μία ορθογωνική διατομή με πλάτος  $b$  και ύψος  $h$  η ροπή αδράνειας είναι ίση με  $J = bh^3/12$ , οπότε το  $Z$  θα είναι:

$$Z = \frac{bh^3}{12} \cdot \frac{1}{\frac{h}{2}} = \frac{bh^2}{6} \quad (168)$$

#### 4) Τρόπος εφαρμογής.

Στις δοκούς που κάμπτονται εξετάζουμε συνήθως την αντοχή των ακραίων ινών τους, αφού όπως ήδη εξηγήσαμε, η περιοχή της διατομής κοντά στην ουδέτερη γραμμή δεν αναλαμβάνει σημαντικές τάσεις. Για το λόγο αυτό στις διατομές των ράβδων που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές επιδιώκεται να συγκεντρώνεται το υλικό μακριά από την ουδέτερη γραμμή σε δύο συμμετρικές ζώνες, οι οποίες είναι μεταξύ τους συνδεδεμένες μ' ένα λεπτό κορμό, αναγκαίο για να εξασφαλίζεται η μεταξύ τους συνεργασία. Έτσι προκύπτει οικονομία υλικού με τη χρησιμοποίηση, για παράδειγμα, των διατομών με μορφή διπλού ταυ (σχ. 17.3ιβ).

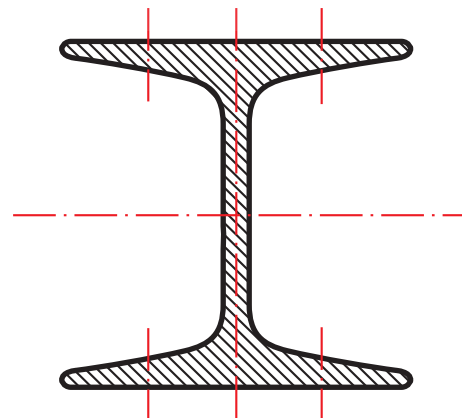
Συνήθως στα προβλήματα κάμψεως δίνεται (ή υπολογίζεται) η ροπή κάμψεως, που πρέπει να αναλάβει μία δοκός και ζητούνται οι διαστάσεις της δοκού. Τότε (για την αναγκαία διαστασιολόγηση), εφαρμόζουμε τον τύπο:

$$Z_{\text{απαιτ}} = \frac{M_{\text{μεγ}}}{\sigma_{\text{επ}}} \quad (169)$$

και βρίσκουμε την απαιτούμενη ροπή αντιστάσεως της δοκού. Στη συνέχεια εκλέγουμε (με υπολογισμό ή από πίνακα) τέτοιες διαστάσεις διατομής της δοκού, ώστε η ροπή αντιστάσεως που υπάρχει  $Z_{\text{υπ}}$  να είναι λίγο μεγαλύτερη από την απαιτούμενη. Πάντοτε όμως ελέγχουμε το μέγεθος των τάσεων που αναπτύσσονται,  $\sigma_{\text{υπ}}$ , με τον τύπο (έλεγχος τάσεων):

$$\sigma_{\text{υπ}} = \frac{M_{\text{μεγ}}}{Z_{\text{υπ}}} \leq \sigma_{\text{επ}} \quad (170)$$

Ένα άλλο συνηθισμένο πρόβλημα είναι ο έλεγχος της ροπής κάμψεως που μπορεί να αναλάβει μια διατομή, με ροπή αντιστά-



Σχ. 17.3ιβ.  
Τομή δοκού I.

σεως  $Z_{\text{υπ}}$ . Τότε εφαρμόζουμε τον τύπο (ικανότητα φορτίσεως):

$$M_{\text{μεγ}} = \sigma_{\text{επ}} \times Z_{\text{υπ}} \quad (171)$$

Με το σύμβολο  $\sigma_{\text{επ}}$  εννοούμε την επιτρεπόμενη τάση.

### Παράδειγμα.

Μία αμφιέρειστη καλύβδινη δοκός, με διατομή  $3 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$  και άνοιγμα  $l = 2,00 \text{ m}$ , πρόκειται να φορτωθεί στο μέσο της με φορτίο  $F$ . Αν η επιτρεπόμενη μέγιστη τάση του χάλυβα είναι  $\sigma_{\text{επ}} = 1400 \text{ kp/cm}^2$ , ζητείται να βρεθεί πόσο είναι το φορτίο που μπορεί να δεχθεί η δοκός:

- Όταν το ύψος της είναι  $6 \text{ cm}$  και το πλάτος της  $3 \text{ cm}$  (σχ. 17.3ιγ).
- Όταν το ύψος της είναι  $3 \text{ cm}$  και το πλάτος της  $6 \text{ cm}$  (σχ. 17.3ιδ).

- Στην πρώτη περίπτωση:

$$Z_1 = \frac{bh^2}{6} = \frac{3 \text{ cm} \times 6^2 \text{ cm}^2}{6} = 18 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\text{επ}} = \frac{M_1}{Z_1} \quad \text{άρα} \quad M_1 = \sigma_{\text{επ}} \times Z_1 = 1400 \text{ kp/cm}^2 \times 18 \text{ cm}^3 = 25200 \text{ kp} \times \text{cm} = 252 \text{ kp} \times \text{m}$$

Δηλαδή η δοκός μπορεί να αναλάβει ροπή  $M_1 = 252 \text{ kp} \times \text{m}$ . Γνωρίζουμε από τη στατική ότι η μέγιστη ροπή της αμφιέρειστης δοκού με ένα συγκεντρωμένο φορτίο στο μέσο της είναι:

$$M_{\text{μεγ}} = \frac{F \times l}{4}$$

$$F = \frac{4M_{\text{μεγ}}}{l} = \frac{4 \times 252 \text{ kp} \times \text{m}}{2 \text{ m}} = 504 \text{ kp}$$

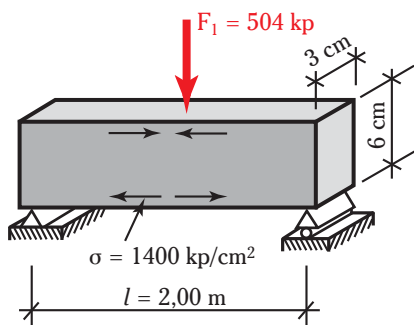
Δηλαδή το φορτίο που ζητούμε και που προκαλεί στη ράβδο μέγιστη ροπή.

$$M_1 = 252 \text{ kp} \times \text{m}$$

και μέγιστη τάση  $\sigma = \pm 1400 \text{ kp/cm}^2$  είναι  $F_1 = 504 \text{ kp}$ .

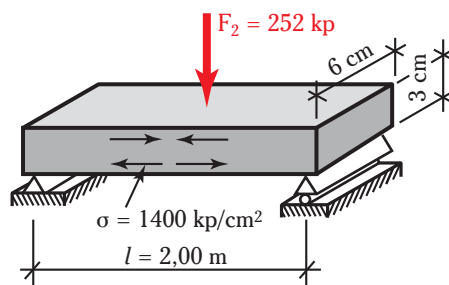
- Στην δεύτερη περίπτωση:

$$Z_2 = \frac{bh^2}{6} = \frac{6 \text{ cm} \times 3^2 \text{ cm}^2}{6} = 9 \text{ cm}^3$$



Σχ. 17.3ιγ.

Αμφιέρειστη δοκός με ύψος διατομής μεγαλύτερο από το πλάτος.



Σχ. 17.3ιδ.

Αμφιέρειστη δοκός με ύψος διατομής μικρότερο από το πλάτος.

άρα

$$\sigma_{\text{εν}} = \frac{M_2}{Z_2} \quad \text{συνεπώς} \quad M_2 = \sigma_{\text{εν}} \times Z_2 = 1400 \text{ kp/cm}^2 \times 19 \text{ cm}^3 = 12600 \text{ kp} \times \text{cm} = 126 \text{ kp} \times \text{m}$$

Σε αναλογία προς την πρώτη περίπτωση βρίσκουμε:

$$F_2 = \frac{4M_2}{l} = \frac{4 \times 126 \text{ kp} \times \text{m}}{2 \text{ m}} = 252 \text{ kp}$$

Δηλαδή αν η δοκός στραφεί, μπορεί να φέρει μόνο το μισό του φορτίου  $F_1$ . Αν υποθέσουμε ότι εφελκούμε την ίδια δοκό με δύναμη  $N$  ώσπου να ενταθεί με τάση εφελκυσμού  $\sigma = 1400 \text{ kp/cm}^2$ , η δύναμη που μπορεί να αναλάβει η δοκός είναι  $N = \sigma \times A = 1400 \text{ kp/cm}^2 \times 18 \text{ cm}^2 = 25200 \text{ kp}$ , δηλαδή πενήντα φορές μεγαλύτερη από το φορτίο  $F_1$  και εκατό φορές μεγαλύτερη από το φορτίο  $F_2$ .

Βλέπουμε λοιπόν ότι η κάμψη είναι ένα είδος καταπόνησης που επιτρέπει στο υλικό ανάληψη δυνάμεων πολύ μικρότερων από όσες ο απλός εφελκυσμός ή η απλή θλίψη.

### 5) Ροπές αδράνειας και αντιστάσεως.

Οι ροπές αδράνειας και αντιστάσεως είναι γεωμετρικά μεγέθη που έχουν σχέση μόνο με τις διαστάσεις και τη μορφή της διατομής. Για τις τυποποιημένες διατομές δοκών, από ξύλο ή χάλυβα, υπάρχουν πίνακες που δίνουν, εκτός από το εμβαδόν της διατομής, τη ροπή αδράνειας  $J$  και τη ροπή αντιστάσεως  $Z$ .

#### – Ορθογωνική διατομή.

Εξετάζοντας το σχήμα 17.3ιε βλέπουμε ότι για την ορθογωνική διατομή έχουμε δύο ροπές αδράνειας:

$$J_x = \frac{bh^3}{12} \quad \text{και} \quad J_y = \frac{b^3h}{12}$$

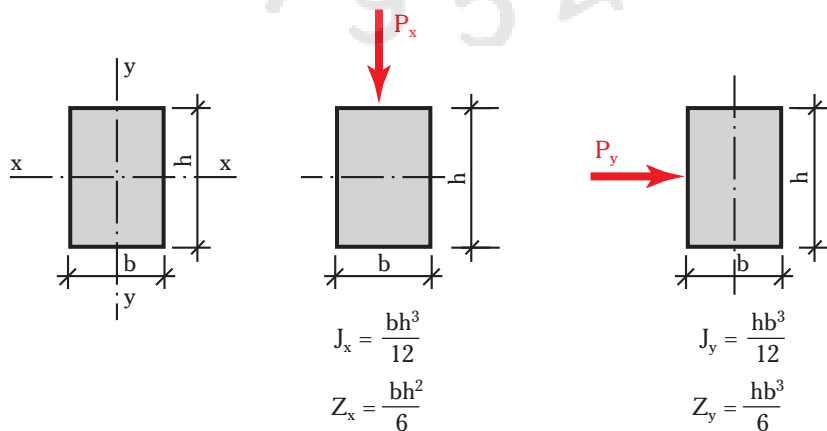
στις οποίες αντιστοιχούν οι ροπές αντιστάσεως:

$$Z_x = \frac{bh^2}{6} \quad \text{και} \quad Z_y = \frac{b^2h}{6}$$

και τις οποίες χρησιμοποιούμε ανάλογα με τη διεύθυνση εφαρμογής των φορτίων.

Έτσι, τα φορτία  $P_x$  που είναι κάθετα στον άξονα συμμετρίας  $x-x$ , προκαλούν ροπές, που τις συμβολίζουμε  $M_x$  και μέγιστη τάση:

$$\sigma_{\text{μεγ}} = \frac{M_{\text{xμεγ}}}{Z_x}$$



**Σχ. 17.3ιε.**

Καταπόνηση ορθογωνικής διατομής.

Αντίστοιχα τα φορτία  $P_y$ , που είναι κάθετα στον άξονα συμμετρίας  $y-y$ , προκαλούν ροπές  $M_x$  και τάση:

$$\sigma_{\mu\epsilon\gamma} = \frac{M_{y\mu\epsilon\gamma}}{Z_y}$$

#### 17.3.4 Διατμητικές τάσεις σε δοκούς που κάμπτονται.

Στην παράγραφο 17.3.2 αναφέραμε τον τρόπο με τον οποίο υπολογίζουμε τις τέμνουσες δυνάμεις σε κάθε διατομή μιας δοκού που κάμπτεται.

Αν κόψουμε την ορθογωνική δοκό  $AB$  όπως φαίνεται στο σχήμα 17.3ιστ, για να αποκαταστήσουμε την ισορροπία του αριστερού τμήματος που θα προκύψει από την τομή, θα πρέπει να εφαρμόσουμε πάνω στη διατομή  $x-x$  μια δύναμη  $V$  (στη θέση της τομής) που την ονομάζουμε **τέμνουσα**. Αυτή η δύναμη είναι η συνισταμένη όλων των διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται στη διατομή κατά τη φόρτιση.

Την παραπάνω δοκό, με την ίδια φόρτιση, τέμνομε με μια οριζόντια τομή  $I-I$  και τοποθετούμε το ένα τμήμα της δοκού πάνω στο άλλο, ώστε να καμφθούν και τα δύο κάτω από τη δράση του φορτίου  $F$ .

Όπως είναι γνωστό από το κεφάλαιο της κάμψης, οι κάτω ίνες του πάνω τμήματος όταν εφελκύνονται επιμηκύνονται, ενώ οι πάνω ίνες του κάτω τμήματος όταν θλίβονται βραχύνονται. Αν θελήσουμε να αναγκάσουμε τα δύο τμήματα να συνεργασθούν μεταξύ τους, ώστε η αρχική δοκός να καμφθεί σαν να ήταν ενιαία, θα πρέπει να βραχύνουμε τις κάτω ίνες του πάνω τμήματος έτσι, ώστε στο τέλος της παραμορφώσεως οι δύο σε επαφή επιφάνειες της τομής να έχουν ίση παραμόρφωση. Για να το πετύχουμε αυτό πρέπει στις δύο επιφάνειες της τομής να αναπτυχθούν διατμητικές δυνάμεις, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 17.3ιζ.

Αν για παράδειγμα κολλήσουμε ή καρφώσουμε το ένα τμήμα της δοκού με το άλλο, αυτές τις διατμητικές δυνάμεις θα τις μεταφέρουν η κόλλα ή τα καρφιά και τα δύο τμήματα θα εργάζονται σαν ένα.

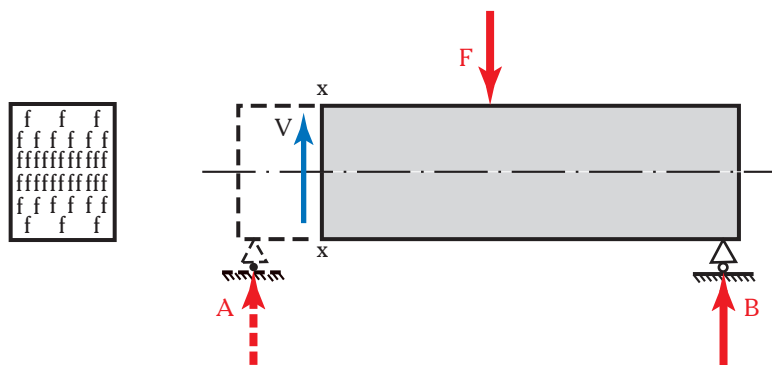
Οι διατμητικές αυτές τάσεις εμφανίζονται σε οποιοδήποτε ύψος και αν γίνει η τομή  $I-I$  και αποδεικνύεται ότι είναι ίσες προς τις διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται εξαιτίας της τέμνουσας δυνάμεως πάνω στο επίπεδο της διατομής στο αντίστοιχο ύψος, όπως φαίνεται στο σχήμα 17.3ιζ.

#### Συμπέρασμα.

Οι διατμητικές τάσεις εμφανίζονται **πάντοτε σε ζεύγη**, τόσο στις διατομές της ράβδου όσο και στα κάθετα σ' αυτές επίπεδα κατά μήκος της ράβδου. **Οι δύο αυτές διατμητικές τάσεις είναι ίσες** και είτε διευθύνονται προς την κοινή ακμή, είτε απομακρύνονται απ' αυτήν.

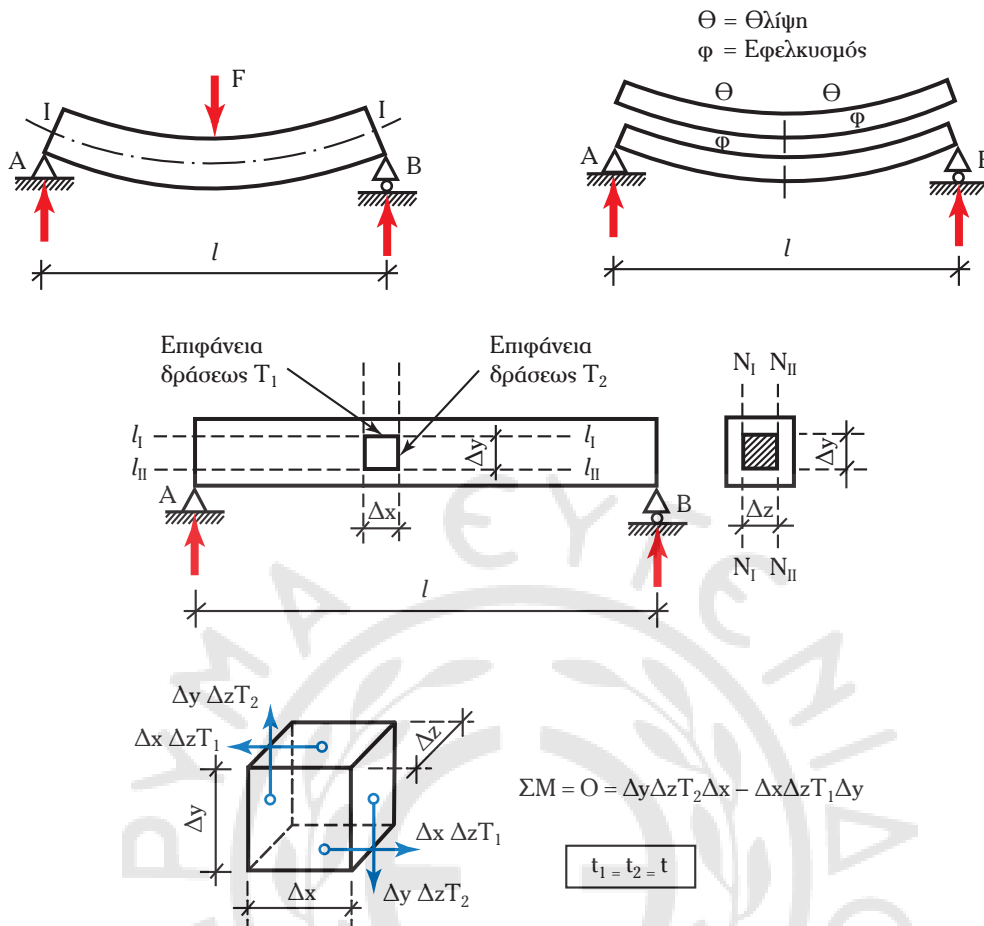
Βλέπουμε δηλαδή ότι σε κάθε σημείο μιας δοκού που κάμπτεται, αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις. Η τιμή της διατμητικής τάσεως είναι διαφορετική σε διάφορες θέσεις κατά το ύψος της διατομής και υπολογίζεται (με την παραδοχή ότι κατά το πλάτος της διατομής θα είναι σταθερή) από τον τύπο:

$$\tau = \frac{VS}{Jb} \quad (172)$$



Σχ. 17.3ιστ.

Διατμητικές τάσεις σε αμφιέρεστη δοκό.



Σχ. 17.3ιζ.

Εσωτερικές τάσεις σε αμφιέρειστη δοκό.

όπου:  $V$  η τέμνουσα δύναμη στη διατομή που εξετάζουμε,  $S$  η στατική ροπή, ως προς την ουδέτερη γραμμή του τμήματος της διατομής που περιλαμβάνεται ανάμεσα στην παράλληλη προς την ουδέτερη γραμμή στη θέση που ζητάμε την τάση και την άνω ακραία ίνα της δοκού,  $b$  το πλάτος της διατομής στην παραπάνω θέση,  $J$  η ροπή αδράνειας της διατομής (ως προς την ουδέτερη γραμμή). Σε μία διατομή της δοκού τα  $V$  και  $J$  είναι γνωστά, οπότε η διατμητική τάση εξαρτάται από το λόγο  $S/b$ .

Επειδή για τις ακραίες ίνες  $S = 0$ , τότε και  $\tau = 0$ . Αντίθετα πάνω στον ουδέτερο άξονα η διατμητική τάση  $\tau$  αποκτά τη μέγιστη τιμή. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει επίσης ότι η διατμητική τάση έχει τιμή αντίστροφα ανάλογη προς το πλάτος  $b$  της διατομής.

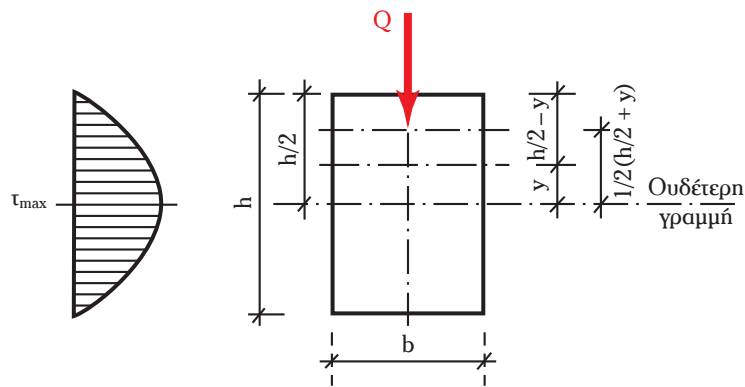
Για τις παραμέτρους που υπεισέρχονται στην παραπάνω σχέση έχουμε:

$$J = \frac{bh^3}{12}$$

$$S = \left(\frac{h}{2} - y\right) \times b \left(\frac{h}{2} + y\right) \times \frac{1}{2} - \left[\left(\frac{h}{2}\right)^2 - y^2\right] \times \frac{b}{2}$$

$$\tau = \frac{V}{2J} \times \left[\left(\frac{h}{2}\right)^2 - y^2\right]$$

άρα η κατανομή ακολουθεί καμπύλη παραβολής (σχ. 17.3ιη).



Σχ. 17.3m.

Κατανομή διατμητικής τάσεως σε ορθογωνική διατομή.

Η μέγιστη τιμή της  $\tau$  εμφανίζεται στο μέσο όπου  $y = 0$  και είναι:

$$\tau = \frac{V}{2J} \times \left(\frac{h}{2}\right)^2 = \tau_{\text{μεγ}} = \frac{Vh^2}{8 \times \frac{bh^3}{12}} = \frac{3}{2} \times \frac{V}{bh} = \frac{3}{2} \times \frac{V}{A}$$

Μέχρι τώρα εξετάσαμε τις τάσεις διατμήσεως εξαιτίας της τέμνουσας δυνάμεως και τις ορθές τάσεις εξαιτίας της ροπής κάμψεως ως δύο ανεξάρτητες περιπτώσεις καταπόνησης.

Εφόσον όμως μέσα στη δοκό που κάμπτεται αναπτύσσονται ταυτόχρονα με τις ορθές και οι διατμητικές τάσεις λόγω της υπάρξεως σε κάθε περίπτωση και της τέμνουσας δυνάμεως, είναι αναγκαίο η περίπτωση να αντιμετωπιστεί ως σύνθετη καταπόνηση.

Αποδεικνύεται όμως γενικά ότι για τις συνηθισμένες περιπτώσεις δοκών από ξύλο και χάλυβα, των οποίων το άνοιγμα είναι μεγάλο (10πλάσιο και πάνω) σε σχέση προς το ύψος της διατομής, η επίδραση των διατμητικών τάσεων είναι αμελητέα και για την επιβεβαίωση της υπάρξεως επαρκούς αντοχής της δοκού αρκεί ο έλεγχος της μέγιστης ορθής τάσεως (εφελκυσμού ή θλίψεως) που δημιουργείται από τη ροπή κάμψεως.

Όπως θα δούμε παρακάτω η μέθοδος που θα πρέπει να ακολουθήσουμε για υπολογισμούς σε δοκούς με πιο πολύπλοκες διατομές, όπως οι διατομές μορφοδοκών ή μίας εγκάρσιας τομής του πλοίου, είναι ακριβώς η ίδια. Μοναδική δυσκολία είναι ο υπολογισμός των  $J$  και  $S$ .

### Παράδειγμα.

Να βρεθεί η μεγαλύτερη διατμητική τάση που θα εμφανιστεί στον ουδέτερο άξονα της ράβδου του σχήματος 17.3γ, αν η ράβδος έχει ορθογωνική διατομή με βάση 2 cm και ύψος 4 cm. Η μέγιστη τέμνουσα δύναμη εμφανίζεται στα σημείο Γ της ράβδου και έχει τιμή 460 kp.

$$\text{Για μια ορθογωνική διατομή έχουμε: } J = \frac{bh^3}{12} \times \frac{2 \times 4^3}{12} = 10,666 \text{ cm}^4$$

$$\text{Στον ουδέτερο άξονα έχουμε: } S = \left(\frac{h}{2}\right)^2 \frac{b}{2}$$

$$b \left(\frac{h}{2}\right) \times \left(\frac{h}{4}\right) = \frac{bh^2}{8} = \frac{2 \times 4^2}{8} = 4 \text{ cm}^3$$

$$\text{Από τις προηγούμενες σχέσεις έχουμε: } \tau = \frac{460 \text{ kp} \times 4 \text{ cm}^3}{2 \text{ cm} \times 10,666 \text{ cm}^4} = 86,25 \text{ kp} / \text{cm}^2 = 0,8625 \text{ kp} / \text{mm}^2$$



## 17.4 Η μελέτη της αντοχής του πλοίου ως δοκού.

### 17.4.1 Γενικά.

Η καταπόνηση του πλοίου ως δοκού, που θα μελετήσουμε εδώ, είναι πολύ πιο κρίσιμη σε συνθήκες έντονου κυματισμού από ό,τι σε κατάσταση νηνεμίας. Επειδή στην περίπτωση του κυματισμού αφενός υπάρχουν και επί πλέον δυναμικές καταπονήσεις και αφετέρου οι δυνάμεις που ασκούνται βρίσκονται σε απόλυτη συνάρτηση με τη μορφή του κυματισμού, οι θεωρητικοί υπολογισμοί είναι αρκετά δύσκολοι. Για να απλουστευθεί το πρόβλημα της μελέτης της αντοχής του πλοίου ως δοκού, σε σημείο που να είναι δυνατή η λύση του με κάπως απλοποιημένες μεθόδους, γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

1) Το φαινόμενο θεωρείται ως στατικό, δηλαδή οι δυνάμεις της ανώσεως που ασκούνται στο πλοίο από το νερό δεν θεωρείται ότι μεταβάλλονται με το χρόνο.

2) Η στήριξη του πλοίου πάνω στο νερό εξετάζεται για τρεις καταστάσεις:

α) Σε ήρεμο νερό (χωρίς κύματα).

β) Σε κύμα με μήκος ίσο με το μήκος του πλοίου που έχει την κορυφή του στο μέσο του πλοίου (κατάσταση **Hogging**).

γ) Σε κύμα που έχει μήκος ίσο με το μήκος του πλοίου και τις δύο κορυφές του στα άκρα του πλοίου (κατάσταση **Sagging**).

Με τις παραπάνω παραδοχές το πρόβλημα της μελέτης της αντοχής του πλοίου ως δοκού αρχίζει να μοιάζει με εκείνο της απλής δοκού που περιγράψαμε παραπάνω, με τις παρακάτω παρατηρήσεις:

1) Οι δυνάμεις πάνω στη δοκό αποτελούνται από τα βάρη που συναποτελούν το πλοίο και το φορτίο του.

2) Οι αντιδράσεις στη δοκό αποτελούνται από τις δυνάμεις της ανώσεως που εξαρτώνται από την κατανομή του όγκου των υφάλων κατά μήκος του πλοίου και από τη μορφή της ισάλου του (ευθεία ή μη), για κάθε μία από τις καταστάσεις που προαναφέραμε.

3) Στον υπολογισμό των ιδιοτήτων των εγκάρσιων τομών του πλοίου (π.χ. ουδέτερος άξονας, ροπή αδράνειας κ.λπ.) θεωρείται ότι συμμετέχουν όλα τα στοιχεία της μεταλλικής κατασκευής του (π.χ. ελάσματα, διαμήκεις ενισχύσεις) που έχουν διαμήκη συνέχεια (για ένα σημαντικό μήκος προς κάθε πλευρά του μέσου του πλοίου που καθορίζεται από τους κανονισμούς).

### 17.4.2 Δυνάμεις βάρους.

Η καμπύλη της κατά μήκος κατανομής του βάρους του πλοίου προκύπτει από μία διαδικασία αθροίσεως των επί μέρους βαρών. Η σχετική διαδικασία απλοποιείται αν τα βάρη υποδιαιρεθούν σε **πρωτεύοντα** και **δευτερεύοντα**.

Ως **πρωτεύοντα** ορίζονται εδώ τα βάρη της ανθεκτικής μεταλλικής κατασκευής και του εξαρτισμού του πλοίου και ως δευτερεύοντα εκείνα που δεν μπορούν να χαρακτηρισθούν ως πρωτεύοντα, όπως είναι το βάρος των μηχανών, των καυσίμων και των εφοδίων, καθώς και το βάρος του φορτίου που μεταφέρει το πλοίο.

Η καμπύλη κατανομής του πρωτεύοντος βάρους ενός εμπορικού πλοίου μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από ένα ορθογώνιο τμήμα στην περιοχή του μέσου του και δύο τραπέζια στα ακραία τμήματά του. Το μήκος του ορθογωνίου λαμβάνεται περίπου ίσο με το  $\frac{1}{3}$  του μήκους μεταξύ καθέτων του πλοίου και το συνολικό βάρος που αντιστοιχεί στο ορθογώνιο θεωρείται ίσο με το 40% περίπου του πρωτεύοντος βάρους. Τα δύο ακραία τραπέζια θεωρείται ότι καλύπτουν μαζί το υπόλοιπο 60% του πρωτεύοντος βάρους.

Αν θεωρήσουμε ότι είναι:

$W_1$  το πρωτεύον βάρος του πλοίου,

$W_F$  το βάρος που αντιστοιχεί στο πρωραίο τραπέζιο,

$W_A$  το βάρος που αντιστοιχεί στο πρυμναίο τραπέζιο,

$X_1$  η απόσταση του κέντρου βάρους του  $W_1$ , από το μέσο μεταξύ καθέτων του πλοίου (θετική προς την πλώρη και αρνητική προς την πρύμνη),

$\Psi_0$  το ύψος του μεσαίου ορθογωνίου,

$\Psi_A$  η διάσταση (ύψος) της πρυμναίας πλευράς του πρυμναίου τραπεζίου,  
 $\Psi_F$  η διάσταση (ύψος) της πρωραίας πλευράς του πρωραίου τραπεζίου,  
 $L$  το μήκος μεταξύ των καθέτων του πλοίου,  
θα έχουμε:

$$\Psi_0 = \frac{0,4 W_1}{L/3} = \frac{1,2 W_1}{L} \quad (173)$$

$$\Psi_A = \frac{3 W_1}{L} - 2\Psi_0 - \frac{X_1 W_1 54}{7L^2} \quad (174)$$

$$\Psi_F = \frac{3 W_1}{L} - 2\Psi_0 + \frac{X_1 W_1 54}{7L^2} \quad (175)$$

### Παράδειγμα.

Να κατασκευασθεί η καμπύλη του πρωτεύοντος βάρους ενός πλοίου με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Μήκος μεταξύ καθέτων 68 m.
- Πρωτεύον βάρος 762 tn.
- Θέση κέντρου βάρους (πρωτεύοντος βάρους) 2 m από το μέσο του πλοίου προς την πρύμνη.

Από τις σχέσεις (173), (174) και (175) θα έχουμε:

$$\Psi_0 = \frac{1,2 W_1}{L} = 13,447 \text{ tn/m}$$

$$\begin{aligned} \Psi_A &= \frac{3 W_1}{L} - 2\Psi_0 - \frac{X_1 W_1 54}{7L^2} = \\ &= \frac{3 \times 762}{68} - 2 \times 13,447 - \frac{(-2) \times 762 \times 54}{7 \times 68^2} = 9,265 \text{ tn/m} \end{aligned}$$

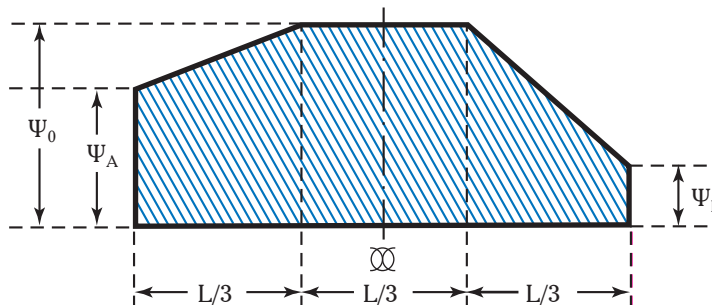
$$\Psi_F = \frac{3 \times 762}{68} - 2 \times 13,447 - \frac{(-2) \times 762 \times 54}{7 \times 68^2} = 4,183 \text{ tn/m}$$

Η καμπύλη κατανομής του πρωτεύοντος βάρους φαίνεται στο σχήμα 17.4α.

Το παραπάνω σχήμα δίνει σκιασμένο εμβαδόν ίσο με 762 tn και διαμήκη θέση κέντρου βάρους 2 m από το μέσο προς την πρύμνη.

Πάνω στην καμπύλη της κατανομής του πρωτεύοντος βάρους προσθέτομε στη συνέχεια διαδοχικά καθένα από τα δευτερεύοντα βάρη. Η κατανομή κάθε τέτοιου βάρους γίνεται μ' ένα ορθογώνιο ή ένα τραπέζιο που έχει μήκος ίσο με εκείνο που καλύπτει στην πράξη κάθε βάρος. Για παράδειγμα, το φορτίο που μεταφέρεται σε ένα αμπάρι κατανέμεται μεταξύ δύο σημείων (πάνω στη βάση που παριστάνει το μήκος του πλοίου) που αντιστοιχούν στην πρωραία και την πρυμναία φρακτή του αμπαριού.

Ορθογώνια σχήματα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που το κέντρο βάρους του δευτερεύοντος βάρους βρίσκεται στο μέσο του μήκους της κατανομής του. Όταν δε συμβαίνει κάτι τέτοιο, χρησιμοποιούμε τραπέζια. Τα ύψη των τραpezίων σ' αυτήν την περίπτωση υπολογίζονται με απλές γεωμετρικές σχέ-



Σχ. 17.4α.

Κατανομή πρωτεύοντος βάρους.

σεις, ώστε:

- Το εμβαδό του τραπεζίου να είναι ίσο με το δευτερεύον βάρος.
- Το κέντρο βάρους του τραπεζίου να συμπίπτει με το κέντρο βάρους του δευτερεύοντος βάρους.

Αν προσθέσουμε όλα τα τραπέζια και ορθογώνια πάνω στην καμπύλη του πρωτεύοντος βάρους, θα πάρουμε μία καμπύλη που ονομάζεται **καμπύλη κατανομής του βάρους του πλοίου**. Μία τέτοια καμπύλη φαίνεται στο σχήμα 17.4β και έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

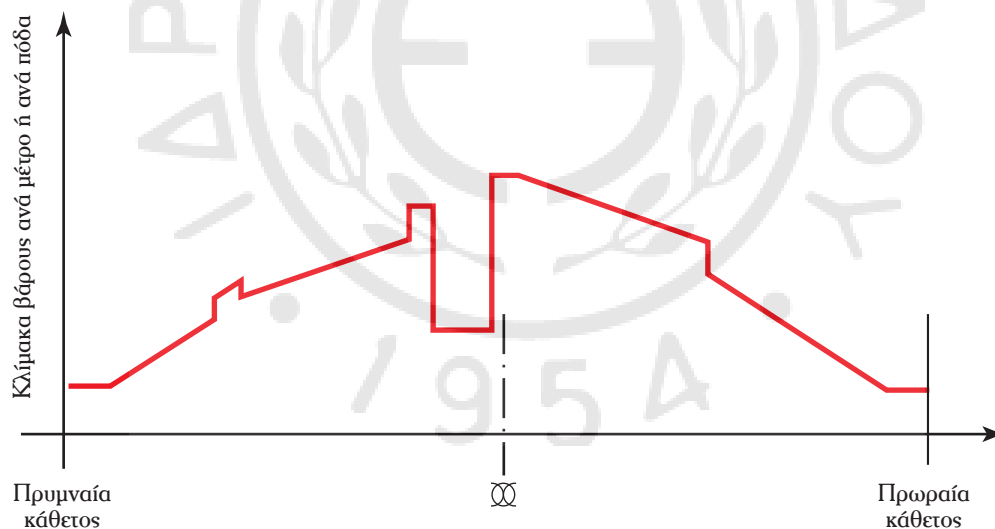
- Το εμβαδόν κάτω απ' αυτήν είναι ίσο με το εκτόπισμα του πλοίου.
- Η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του εμβαδού κάτω από την καμπύλη συμπίπτει με εκείνη του πλοίου.

### 17.4.3 Δυνάμεις ανώσεως.

Η καμπύλη που παριστάνει τις δυνάμεις της ανώσεως είναι φανερό ότι εξαρτάται από τον τρόπο στηρίξεως (στατικής πλευσεως) του πλοίου στο νερό. Για το λόγο αυτό η καμπύλη ανώσεως έχει άλλη μορφή όταν το πλοίο πλέει σε ήρεμο νερό και άλλη όταν θεωρούμε ότι η στήριξη γίνεται πάνω σε κύμα με την κορυφή του (Hogging) ή την κοιλάδα του (Sagging) στο μέσο του πλοίου.

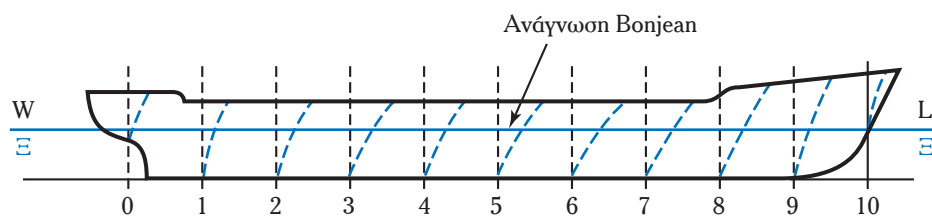
Σε όλες πάντως τις περιπτώσεις απαραίτητο στοιχείο για την εύρεση της καμπύλης ανώσεως είναι οι καμπύλες Bonjean που έχομε εξηγήσει σε προηγούμενο κεφάλαιο και δίνουν γραφικά και με κλίμακα τη μεταβολή της επιφάνειας κάθε εγκάρσιας τομής του πλοίου σε διάφορα ύψη από την τρόπιδα.

Σε περίπτωση που εξετάζεται η πλευση σε ήρεμο νερό σε ένα σχέδιο του πλοίου που περιέχει και τις καμπύλες Bonjean, σχεδιάζεται η ισάλος, ώστε να μπορέσουν να γίνουν αναγνώσεις της επιφάνειας κάθε εγκάρσιας τομής στο ύψος της ισάλου. Στο σχήμα 17.4γ αυτό βλέπομε τη διαμήκη τομή ενός πλοίου που πλέει στην ισάλο WL, καθώς και έντεκα εγκάρσιες τομές του. Οι διακοπόμενες καμπύλες παριστάνουν τις Bonjean.



Σχ. 17.4β.

Καμπύλη κατανομής βάρους.



Σχ. 17.4γ.

Τομή καμπυλών για ανάγνωση επιφανειών εγκαρσίων τομών.

Η ανάγνωση των Bonjean γίνεται, όπως φαίνεται για παράδειγμα στο σχήμα, στην τομή με τον αριθμό 5. Οι αναγνώσεις δίνουν τις επιφάνειες σε  $m^2$  ή  $ft^2$  και μετατρέπονται σε  $tn/m$  ή  $ft$  από τους τύπους:

$$Tn/m = A_{m2} \times 1,025 \quad (176)$$

$$T/ft = A_{ft2} \times \frac{1}{35} \quad (177)$$

όπου  $A_{m2}$  και  $A_{ft2}$  είναι οι αναγνώσεις από τις Bonjean σε  $m^2$  ή  $ft^2$  αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα των αναγνώσεων, αφού μετατραπούν σύμφωνα με τις σχέσεις (176) και (177), χρησιμοποιούνται για τη χάραξη της καμπύλης ανώσεως που φαίνεται στο σχήμα 17.4δ.

Ανάλογη είναι και η μέθοδος για τις περιπτώσεις Hogging και Sagging, μόνο που η πλεύση του πλοίου θεωρείται ότι πραγματοποιείται πάνω σε **τροχοειδές κύμα** με μήκος ίσο με το μήκος του πλοίου  $L$  και ύψος ίσο με  $L/20$  (σχ. 17.4ε). Το μόνο που αλλάζει σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι ότι η **ίσαλος** που χρησιμοποιείται στις καμπύλες Bonjean για την ανάγνωση δεν είναι ευθεία, αλλά έχει το σχήμα της επιφάνειας του κύματος.

Κάποια δυσκολία παρουσιάζεται στην τοποθέτηση του κύματος πάνω στην τομή του πλοίου, γιατί αυτή πρέπει να γίνει πάνω στο σχέδιο δοκιμαστικά έτσι, ώστε να εξασφαλιστεί ότι η καμπύλη της ανώσεως που θα προκύψει έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

- 1) Εμβαδόν ίσο με το εκτόπισμα του πλοίου.
- 2) Διαμήκη θέση κέντρου ανώσεως που να συμπίπτει με εκείνη του πλοίου.

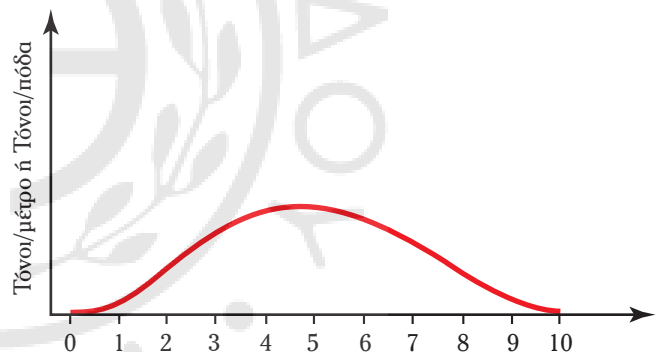
Μετά τη σωστή τοποθέτηση του κύματος πάνω στο σχέδιο διαμήκους τομής του πλοίου γίνονται αναγνώσεις στα σημεία τομής κύματος και καμπυλών Bonjean και χαράζονται καμπύλες ανάλογες με εκείνες του σχήματος 17.4δ.

#### 17.4.4 Καμπύλη φορτίσεως.

Για την εύρεση της καμπύλης φορτίσεως οι καμπύλες βάρους και ανώσεως τοποθετούνται πάνω στον ίδιο άξονα και αφαιρούνται τα ύψη τους στα διάφορα σημεία. Η καμπύλη που προκύπτει από αυτήν την αφαίρεση είναι η καμπύλη φορτίσεως. Όπου η καμπύλη φορτίσεως βρίσκεται κάτω από τον άξονα, το βάρος υπερνικά την άνωση. Το αντίθετο συμβαίνει στα σημεία της καμπύλης που βρίσκονται πάνω από τον άξονα. Εφόσον η εργασία έχει γίνει σωστά, το σύνολο των επιφανειών της καμπύλης φορτίσεως πάνω από τον άξονα είναι ίσο μ' εκείνο κάτω από αυτόν.

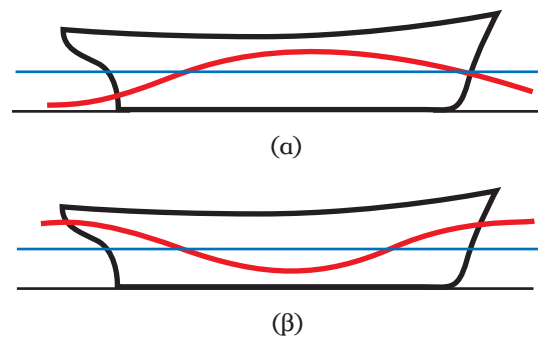
#### 17.4.5 Καμπύλες τέμνουσας δυνάμεως και ροπής κάμψεως.

Για να βρούμε την καμπύλη τέμνουσας δυνάμεως, εφαρμόζουμε την πρώτη ιδιότητα που αναφέραμε στην παράγραφο 17.3.2. Δηλαδή ξεκινώντας από την αριστερή πλευρά αθροίζουμε αλγεβρικά σε κάθε σημείο τα εμβαδά κάτω ή πάνω από την καμπύλη φορτίου που βρίσκονται προς τα αριστερά του σημείου. Εμβαδά που βρίσκονται πάνω από τον άξονα της καμπύλης φορτίου θεωρούνται θετικά, ενώ εκείνα που βρίσκονται κάτω από αυτόν θεωρούνται αρνητικά. Τα αποτελέσματα χαράζονται, υπό κλίμακα, σε μια νέα καμπύλη



Σχ. 17.4δ.

Καμπύλη ανώσεως σε ήρεμο νερό.



Σχ. 17.4ε.

Καμπύλες ανώσεως σε: α) Hogging και β) Sagging.

που δίνει το **διάγραμμα των τεμνουσών δυνάμεων**.

Για να βρούμε το διάγραμμα ροπών κάμψεως, εφαρμόζουμε τη δεύτερη ιδιότητα (παράγρ. 17.3.2). Δηλαδή ξεκινώντας πάλι από την αριστερή πλευρά αθροίζουμε σε κάθε σημείο αλγεβρικά τα εμβαδά κάτω ή πάνω απ' την καμπύλη τεμνουσών δυνάμεων που βρίσκονται προς τα αριστερά του σημείου. Εμβαδά κάτω από τον άξονα της καμπύλης τεμνουσών δυνάμεων θεωρούνται θετικά, ενώ εκείνα που βρίσκονται πάνω απ' αυτόν αρνητικά. Τα αποτελέσματα χαράζονται, υπό κλίμακα, σε μία νέα καμπύλη που δίνει το **διάγραμμα ροπών κάμψεως**.

**Παράδειγμα.**

Ένα πετρελαιοφόρο πλοίο έχει μήκος 420 ft. Το άφορτο εκτόπισμα είναι 4200 tn και μπορεί να θεωρηθεί ότι κατανέμεται ομοιόμορφα στο μήκος του πλοίου. Στο μέσο του πλοίου έχει το κέντρο της μια δεξαμενή με μήκος 70 ft που είναι κενή και διαδοχικά προς αυτήν προς την πλώρη και την πρύμνη βρίσκονται δύο άλλες γεμάτες δεξαμενές με μήκος η καθεμιά 100 ft. Το βάρος του υγρού στις δεξαμενές αυτές είναι 35 tn/ft. Η άνωση μπορεί να περιγραφεί από μία παραβολή με μέγιστη τιμή στο μέσο του πλοίου 40 tn/ft. Ζητούνται τα διαγράμματα βάρους, ανώσεως, φορτίου, τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψεως.

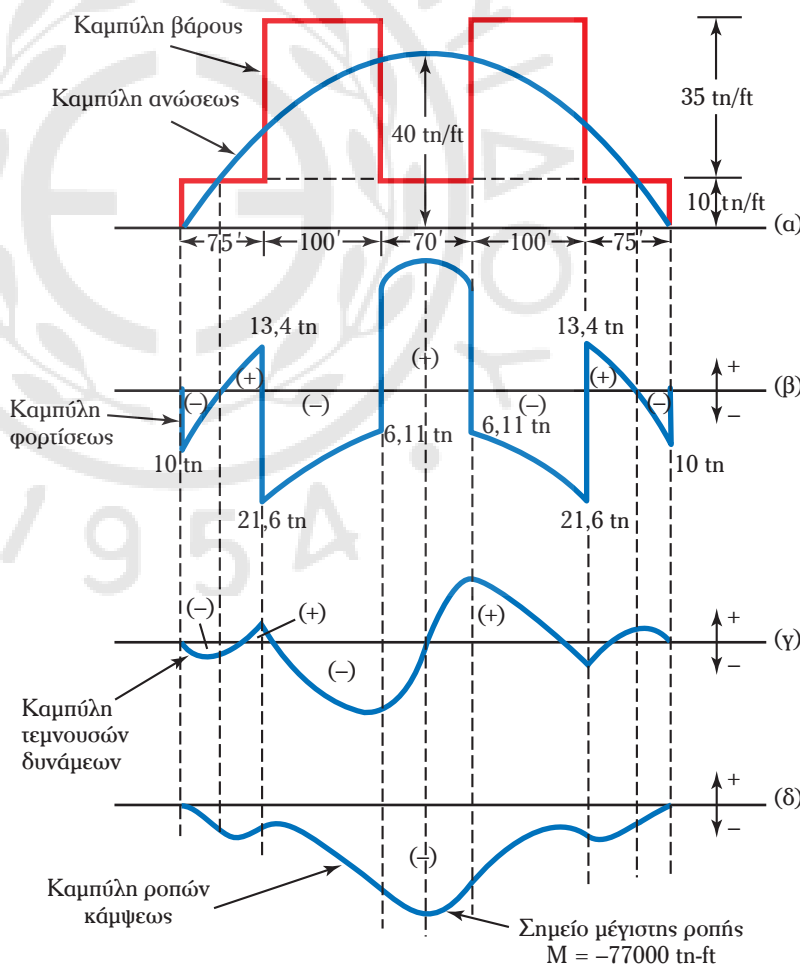
Με βάση τα δεδομένα του προβλήματος η κατανομή του βάρους του άφορτου πλοίου μπορεί να παρασταθεί με μια ορθογωνική κατανομή με τιμή (ύψος)  $4200/42 = 10 \text{ tn/ft}$ . Με αυτήν την πληροφορία και τα υπόλοιπα δεδομένα του προβλήματος σχεδιάζουμε με κλίμακα τις καμπύλες βάρους και ανώσεως [σχ. 17.4στ(α)]. Με αφαίρεση των τιμών βάρους και ανώσεως, σε κάθε σημείο κατά μήκος, βρίσκουμε τα αναγκαία μεγέθη για τη χάραξη της καμπύλης φορτίου [σχ. 17.4στ(β)]. Αθροίζοντας τα εμβαδά μεταξύ της καμπύλης φορτίου και οριζώντιου άξονα προς τα αριστερά κάθε σημείου (με το κατάλληλο πρόσημο), βρίσκουμε στοιχεία για τη χάραξη της καμπύλης τεμνουσών δυνάμεων [σχ. 17.4στ(γ)]. Αθροίζοντας τέλος τα εμβαδά μεταξύ της καμπύλης τεμνουσών δυνάμεων και του οριζώντιου άξονα προς τα αριστερά κάθε σημείου (με το κατάλληλο πρόσημο) βρίσκουμε στοιχεία για τη χάραξη της καμπύλης ροπής κάμψεως [σχ. 17.4στ(δ)].

Η μέγιστη ροπή είναι 77000 tn-ft αρνητική, δηλαδή δημιουργεί τάσεις εφελκυσμού στο κατάστρωμα και θλίψεως στην τρόπιδα.

Οι σχετικοί υπολογισμοί που δεν φαίνονται εδώ, μπορούν να γίνουν αναλυτικά ή και γραφικά (εύρεση των επιφανειών με ένα όργανο που χρησιμοποιούν συνήθως οι ναυπηγοί, το πλανίμετρο).

**17.5 Εύρεση των τάσεων.**

Με την κατασκευή των διαγραμμάτων των τέμνουσας δυνάμεως και ροπής,



**Σχ. 17.4στ.**

Καμπύλες βάρους, ανώσεως, φορτίου, τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψεως πλοίου.

κάμψεως είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε κατά μήκος του πλοίου τα μεγέθη  $V$  και  $M$  για τις σχέσεις (163) και (172) που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση των τάσεων. Τα υπόλοιπα στοιχεία που χρειάζονται στις παραπάνω σχέσεις μπορούν να υπολογιστούν για κάθε εγκάρσια τομή του πλοίου χρησιμοποιώντας γνωστές μεθόδους της Μηχανικής. Ο υπολογισμός αυτός είναι αρκετά κοπιαστικός και ξεφεύγει από τα όρια αυτού του βιβλίου. Τα στοιχεία της κατασκευής του πλοίου (νομείς, ελάσματα κ.λπ.), που θεωρείται ότι προσφέρουν στη διαμήκη αντοχή του πλοίου και επομένως περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς για τη διαμόρφωση της τιμής της ροπής αδράνειας της διατομής, καθορίζονται από τους κανονισμούς των νπογνωμώνων.

### Παράδειγμα.

Στο πλοίο του προηγούμενου παραδείγματος η μέση τομή έχει τις παρακάτω γεωμετρικές ιδιότητες:

- Ύψος καταστρώματος 30 ft.
- Ροπή αδράνειας διατομής 1070 ft<sup>4</sup>.
- Θέση ουδετέρου άξονα 16 ft πάνω από την τρόπιδα.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία θα έχομε:

$$Y_K = y_{\text{καταστρώματος}} = 14 \text{ ft}$$

$$Y_{\pi} = y_{\text{πυθμένα}} = 16 \text{ ft}$$

$$\sigma_K = \sigma_{\text{καταστρώματος}} = \frac{M \times Y_K}{J} = \frac{77000 \times 14}{1070} = 1007 \text{ tn / ft}^2 = 7 \text{ tn / in}^2 \quad (\text{εφελκυσμός})$$

$$\sigma_{\pi} = \sigma_{\text{πυθμένα}} = \frac{M \times Y_{\pi}}{J} = \frac{77000 \times 16}{1070} = 1151 \text{ tn / ft}^2 = 8 \text{ tn / in}^2 \quad (\text{θλίψη})$$

### 17.6 Συνθήκες υπολογισμού της αντοχής του πλοίου.

Υπολογισμοί της αντοχής του πλοίου ως δοκού πραγματοποιούνται για το άφορτο και το έμφορτο πλοίο. Σε κάθε μία από αυτές τις συνθήκες εξετάζεται η **σπίριξη** (πλεύση) του πλοίου σε ήρεμο νερό, καθώς επίσης και σε δύο συνθήκες στατικού κύματος (κύμα με κορυφή ή κοιλάδα στη μέση του πλοίου). Δηλαδή οι σχετικοί υπολογισμοί πραγματοποιούνται για έξι συνολικά περιπτώσεις.

### 17.7 Σημασία των υπολογισμών.

Όπως είπαμε, οι τάσεις που υπολογίζονται με τη μέθοδο που προαναφέραμε, δεν έχουν απόλυτη αξία (δηλ. δεν μπορούν π.χ. να συγκριθούν απευθείας με τις τάσεις θραύσεως του υλικού, όπως γίνεται σε περιπτώσεις καταπονήσεως άλλων, απλών κατασκευών). Αυτή η αδυναμία σύγκρισης οφείλεται στις πολλές παραδοχές που γίνονται για να μπορέσει να απλοποιηθεί το πρόβλημα σε βαθμό που να είναι δυνατή η λύση του.

Η αξία των αποτελεσμάτων είναι σχετική, δηλαδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σύγκριση με άλλες περιπτώσεις. Ειδικότερα μπορούν να γίνουν συγκρίσεις και να εξαχθούν συμπεράσματα στις παρακάτω περιπτώσεις:

- 1) Σύγκριση μεταξύ πλοίων του ίδιου τύπου και των ιδίων περίπου χαρακτηριστικών.
- 2) Εξέταση των επιπτώσεων από μετασκευές στη γενικότερη αντοχή της ανθεκτικής κατασκευής ενός πλοίου.
- 3) Συγκρίσεις μεταξύ διαφόρων τρόπων φορτώσεως ενός πλοίου.

Ειδικότερα στο χειριστικό τομέα του πλοίου πρέπει να κατανοηθεί η σημασία της σωστής (κατά μήκος του πλοίου) φορτώσεως, λαμβάνοντας υπόψη ότι φόρτωση μόνο των κεντρικών αμπαριών ενός πλοίου αυξάνει τις τάσεις στην περίπτωση Sagging, ενώ φόρτωση μόνο ακραίων αμπαριών έχει το ίδιο αποτέλεσμα για την περίπτωση Hogging.

### 17.8 Προσεγγιστικός τρόπος εκτιμής της μέγιστης ροπής κάμψης.

Από τα παραπάνω καθίσταται προφανές ότι υπολογισμοί σαν τους παραπάνω δεν είναι εύκολα εφικτό να πραγματοποιούνται από τους χειριστές των πλοίων, παρά μόνο με τους ειδικούς υπολογιστές, οι οποίοι όπως θα αναφερθεί στην παράγραφο 18.5 είναι εφοδιασμένοι με τα ειδικά στοιχεία του κάθε πλοίου.

Για λόγους γενικότερης εκτιμής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την παρακάτω προσέγγιση.

Η μέγιστη ροπή σε οποιαδήποτε δοκό μπορεί να εκφρασθεί γενικά με μία σχέση που έχει τη μορφή:

$$M = \frac{WL}{C} \quad (178)$$

όπου:  $W$  το άθροισμα των εξωτερικών δυνάμεων πάνω στη δοκό (χωρίς τις αντιδράσεις),  $L$  το μήκος της δοκού,  $C$  συντελεστής που εξαρτάται από τον τρόπο εφαρμογής του  $W$  και από τον τρόπο στηρίξεως της δοκού.

Στην περίπτωση του πλοίου, η συνολική εξωτερική δύναμη που εφαρμόζεται είναι ίση με το εκτόπισμα και επομένως μία ανάλογη σχέση έχει τη μορφή:

$$M = \frac{\Delta L}{C} \quad (179)$$

όπου:  $\Delta$  το εκτόπισμα και  $L$  το μήκος μεταξύ καθέτων. Ο συντελεστής  $C$  μεταβάλλεται από πλοίο σε πλοίο, αλλά ακόμη και για το ίδιο πλοίο έχει άλλη τιμή για ήρεμο νερό και άλλη για Hogging και Sagging. Για πλοία γενικού φορτίου η σταθερά  $C$  έχει μέση τιμή γύρω στο 35. Επομένως η σχέση (179) μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$M = \frac{C_b L^2 BH}{35^2} \quad (\text{tn-ft}) \quad \text{αν τα } L, B, H \text{ δίνονται σε πόδια}$$

ή

$$M = \frac{1,025 C_b L^2 BH}{35} \quad (\text{tn-m}) \quad \text{αν τα } L, B, H \text{ δίνονται σε μέτρα}$$

Το  $C_b$  παριστάνει το συντελεστή γάστρας:

$$C_b = \frac{V}{LBH}$$

όπου:  $V$  είναι ο όγκος του εκτοπίσματος σε  $m^3$  ή  $ft^3$ ,  $L$  το μήκος μεταξύ καθέτων σε  $m$  ή  $ft$ ,  $B$  το πλάτος σε  $m$  ή  $ft$ ,  $H$  το μέσο βύθισμα σε  $m$  ή  $ft$ .

### 17.9 Απαιτήσεις νιογνωμόνων για την αντοχή του πλοίου.

Οι κανονισμοί των νιογνωμόνων για την εξασφάλιση της αντοχής του πλοίου ως δοκού διαφέρουν μεταξύ τους. Η βασική όμως ιδέα πάνω στην οποία στηρίζονται οι κανονισμοί αρκετών νιογνωμόνων όπως το American Bureau of Shipping, το Lloyd's Register of Shipping και το Det Norske Veritas είναι σχεδόν η ίδια.

Πιο συγκεκριμένα οι παραπάνω νιογνώμονες θεωρούν ότι η μέγιστη ροπή κάμψης είναι άθροισμα μιας συνιστώσας που οφείλεται στη στήριξη (πλευση) του πλοίου σε ήρεμο νερό και μιας άλλης που εκφράζει την επίδραση του κύματος.

Η ροπή σε ήρεμο νερό υπολογίζεται προσεγγιστικά με διαδικασίες που καθορίζονται στους αντίστοιχους κανονισμούς. Οι όροι Hogging και Sagging στην περίπτωση των νιογνωμόνων έχουν κάπως διαφορετική έννοια από ό,τι έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα. Κατάσταση Hogging έχουμε όταν τα ελάσματα του καταστρώματος εφελκύνονται και του πυθμένα καταπονούνται σε θλίψη, ενώ κατάσταση Sagging έχουμε όταν συμβαίνουν ακριβώς τα αντίθετα.

Ανάλογα με το αν η στήριξη του πλοίου σε ήρεμο νερό δημιουργεί κατάσταση Hogging ή Sagging, οι

κανονισμοί προδιαγράφουν τις λεπτομέρειες φορτώσεως, για τις οποίες πρέπει να γίνονται οι σχετικοί υπολογισμοί. Οι συνθήκες αυτές έχουν επιλεγεί έτσι, ώστε οι υπολογισμοί να δίνουν τις δυσμενέστερες καταπονήσεις.

Η επίδραση του κυματισμού στη ροπή κάμψεως βρίσκεται με βάση τους κανονισμούς των νπογνωμών από τύπους που προκύπτουν από προχωρημένες θεωρήσεις της επιδράσεως, του κυματισμού, καθώς και από δεδομένα της εμπειρίας με βάση στατιστικά στοιχεία από τη συμπεριφορά πλοίων σε θαλασσοταραχή.

Με τα ανωτέρω στοιχεία ελέγχεται η επάρκεια του υλικού της μέσης τομής και άλλων τομών του πλοίου.

### 17.10 Προσεγγιστική μέθοδος υπολογισμού μέγιστης ροπής Murray.

Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να εκτιμήσουμε το μέγεθος της ροπής κάμψεως του πλοίου, ως άθροισμα, δύο συνιστωσών.

1) Μιας συνιστώσας,  $M_{SW}$ , που οφείλεται στην πλεύση του πλοίου σε ήρεμο νερό.

2) Μιας δεύτερης συνιστώσας,  $M_W$ , που οφείλεται στην ισορροπία του πλοίου πάνω σε κύμα με μήκος ίσο με το μήκος του πλοίου και ύψος (μεταξύ κορυφής και κοιλίας του κύματος) ίσο με  $0,607 \times (LWL)^{1/2}$ .

#### 1) Υπολογισμός της ροπής $M_{SW}$ .

Αν συμβολίσουμε με:

α)  $M_A$  τη ροπή (σε MT-m) του βάρους του τμήματος του πλοίου που βρίσκεται προς **πρύμα** του μέσου του.

β)  $M_F$  τη ροπή (σε MT-m) του βάρους του τμήματος του πλοίου που βρίσκεται προς **πώρα** του μέσου του.

γ)  $\Delta$  το εκτόπισμα του πλοίου (σε MT).

δ)  $LCB_M$  τη μέση τιμή του LCB (σε m) των τμημάτων της γάστρας που βρίσκονται προς την πλώρη και προς την πρύμη του μέσου του πλοίου.

ε)  $L$  το μήκος του πλοίου (σε m).

στ)  $C_b$  το συντελεστή γάστρας του πλοίου.

ζ)  $C$  συντελεστή που λαμβάνομε από τον παρακάτω πίνακα:

| Βύθισμα | Τιμή του C          |
|---------|---------------------|
| 0,06 L  | $0,179 C_b + 0,063$ |
| 0,05 L  | $0,189 C_b + 0,052$ |
| 0,04 L  | $0,199 C_b + 0,041$ |
| 0,03 L  | $0,209 C_b + 0,030$ |

τότε για τη ροπή  $M_{SW}$  (σε MT-m) ισχύει η σχέση:

$$M_{SW} = (M_A + M_F) / 2 - (\Delta \times L \times C) / 2$$

**Αν το αποτέλεσμα είναι θετικό η ροπή είναι Hogging και αν είναι αρνητικό Sagging.**

#### 2) Υπολογισμός της ροπής $M_W$ .

Αν επί πλέον συμβολίσουμε με:

α)  $B$  το πλάτος του πλοίου σε m.

β)  $b$  συντελεστή που λαμβάνομε από τον παρακάτω πίνακα:



| C <sub>b</sub> | Τιμές του συντελεστή b |             |
|----------------|------------------------|-------------|
|                | για Hogging            | για Sagging |
| 0,80           | 10,555                 | 11,821      |
| 0,78           | 10,238                 | 11,505      |
| 0,76           | 9,943                  | 11,188      |
| 0,74           | 9,647                  | 10,850      |
| 0,72           | 9,329                  | 10,513      |
| 0,70           | 9,014                  | 10,175      |
| 0,68           | 8,716                  | 9,858       |
| 0,66           | 8,402                  | 9,541       |
| 0,64           | 8,106                  | 9,204       |
| 0,62           | 7,790                  | 8,887       |
| 0,60           | 7,494                  | 8,571       |

τότε για τη ροπή  $M_W$  (σε MT-m) ισχύει η σχέση:

$$M_W = b \times B \times L^{2,5} \times 10^{-3}$$

Η μέγιστη ροπή στο μέσον του πλοίου θα είναι ίση με  $M_{SW} + M_W$ .

### Παράδειγμα.

Ένα πλοίο με  $L = 192$  m και  $B = 32$  m που πλέει σε βύθισμα  $H = 10,5$  m έχει την παρακάτω κατανομή βαρών:

| Περιγραφή         | Βάρος (MT)   | Βραχίονας από το μέσο (m) | Ροπή (MT-m)                             |
|-------------------|--------------|---------------------------|---|
| Σκάφος            | 9500         | προς ΠΜ 27,00             | 256500                                  |
| Μηχανές           | 2932         | προς ΠΜ 86,00             | 252152                                  |
| Πετρέλαιο λεβήτων | 422          | προς ΠΡ 77,76             | 32814                                   |
| Πετρέλαιο Diesel  | 121          | προς ΠΜ 86,28             | 10440                                   |
| Νερό              | 154          | προς ΠΜ 92,34             | 14220                                   |
| Κύτος No 1        | 2967         | προς ΠΡ 73,41             | 217807                                  |
| Κύτος No 2        | 4900         | προς ΠΡ 57,00             | 279300                                  |
| Κύτος No 3        | 5545         | προς ΠΡ 36,19             | 200673                                  |
| Κύτος No 4        | 5962         | προς ΠΡ 13,19             | 78638                                   |
| Κύτος No 5        | 4988         | προς ΠΜ 8,69              | 43345                                   |
| Κύτος No 6        | 5962         | προς ΠΜ 30,69             | 182973                                  |
| Κύτος No 7        | 4783         | προς ΠΜ 52,51             | 251155                                  |
| <b>Σύνολο</b>     | <b>48236</b> |                           | <b><math>M_A + M_F = 1820017</math></b> |

Να βρεθούν οι μέγιστες ροπές κάμψης στο μέσο του πλοίου με τη μέθοδο Murray για Hogging και Sagging.

**1) Υπολογισμός της ροπής  $M_{SW}$ .**

Ο όγκος του εκτοπίσματος θα είναι  $V = 48236/1,025 = 47059 \text{ m}^3$ .

Από τα δεδομένα του προβλήματος θα έχουμε  $C_b = (47059)/(192 \times 32 \times 10,5) = 0,73$  και  $H/L = 0,054$ .

Από τον πίνακα για τις τιμές του  $C$  είναι:

$$\text{Αν } H = 0,06 \text{ L } \quad C = 0,179 \times C_b + 0,063 = 0,193.$$

$$\text{Αν } H = 0,05 \text{ L } \quad C = 0,189 \times C_b + 0,052 = 0,190.$$

Επομένως, με γραμμική παρεμβολή για  $H = 0,054 \text{ L}$  θα είναι  $C = 0,191$  και επομένως:

$$\begin{aligned} M_{SW} &= (M_A + M_F)/2 - (\Delta \times L \times C)/2 = (1820017/2) - (48236 \times 192 \times 0,191)/2 = \\ &= 910008 - 884455 = 25552 \text{ (MT-m)} \end{aligned}$$

Η ροπή αυτή είναι Hogging, αφού η ροπή του βάρους είναι μεγαλύτερη από τη ροπή της ανώσεως.

**2) Υπολογισμός της ροπής  $M_W$ .**

Από τον πίνακα συσχετισμού  $b$  και  $C_b$ , για  $C_b = 0,73$  θα είναι  $b = 9,488$  (για Hogging) και  $10,681$  (για Sagging) και επομένως:

$$M_W = b \times B \times L^{2,5} \times 10^{-3} = 9,488 \times 32 \times (192)^{2,5} \times 10^{-3} = 163292 \text{ (για Hogging)}$$

και

$$M_W = b \times B \times L^{2,5} \times 10^{-3} = 10,681 \times 32 \times (192)^{2,5} \times 10^{-3} = 183823 \text{ (για Sagging)}$$

Αθροίζοντας τέλος τις ροπές  $M_{SW}$  και  $M_W$  θα έχουμε:

$$\text{Συνολική ροπή Hogging} = 163292 + 25601 = 188893 \text{ MT-m}$$

$$\text{Συνολική ροπή Sagging} = 183823 - 25601 = 158222 \text{ MT-m}$$



## 18. ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

### 18.1 Εγκάρσια αντοχή.

Η εγκάρσια αντοχή του πλοίου εξασφαλίζεται γενικά ως αποτέλεσμα της υπέρξεως επαρκούς αντοχής κατά τη διαμήκη έννοια της εφαρμογής των σχετικών κανονισμών των νπογνωμόνων και των συνηθισμένων μεθόδων κατασκευής των πλοίων. Τα παρακάτω στοιχεία της ανθεκτικής κατασκευής των πλοίων συντελούν στην εξασφάλιση της εγκάρσιας αντοχής.

- 1) Οι εγκάρσιες φρακτές (bulkheads).
- 2) Οι ενισχυμένοι νομείς στην προέκταση των εγκαρσίων φρακτών πάνω από το κατάστρωμα στεγανής υποδιαίρεσεως (web frames).
- 3) Τα ελάσματα της οροφής των διπυθμένων (double bottom floors).
- 4) Οι αγκώνες (brackets) μεταξύ των εγκαρσίων ενισχυτικών δοκών του καταστρώματος (καμάρια) και των νομέων, καθώς και μεταξύ των νομέων και των ενισχύσεων της οροφής των διπυθμένων.
- 5) Οι δοκοί ανάμεσα στα καταστρώματα.

### 18.2 Άλλες καταπονήσεις κατά την κίνηση του πλοίου.

Κατά τις κινήσεις των πλοίων που προκαλούνται από τον κυματισμό, δημιουργούνται οι παρακάτω καταπονήσεις:

- 1) Καταπόνηση, κατά το διατοιχισμό, των εγκαρσίων στοιχείων της ανθεκτικής κατασκευής, όπως είναι οι φρακτές και οι αγκώνες (racking strains).
- 2) Κινήσεις «μέσα-έξω» των ελασμάτων στα άκρα του πλοίου, όταν καλύπτονται και αποκαλύπτονται από το κύμα (ranting).
- 3) Κτυπήματα της πλώρης όταν βγαίνει και ξαναμπαίνει με δύναμη στο νερό, κατάσταση που δημιουργεί ταλάντωση σε ολόκληρο το πλοίο (slamming).
- 4) Κόπωση (fatigue) που οφείλεται στο γεγονός της συνεχούς εναλλαγής των τάσεων στο κατάστρωμα και στον πυθμένα (από εφελκυσμό σε θλίψη και αντιστρόφως), καθώς το πλοίο διασχίζει τα κύματα.
- 5) Φόρτιση του καταστρώματος από τις πιέσεις του νερού (shipping green water) όταν πέφτει πάνω σε αυτά σε συνθήκες έντονης θαλασσοταραχής.

***Αν και οι κανονισμοί κατασκευής των πλοίων περιέχουν προβλέψεις για την κατασκευαστική ανταπόκριση των πλοίων στις παραπάνω καταπονήσεις, οι χειριστές θα πρέπει να λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα (σωστή φόρτωση και ερματισμό, ελάττωση ταχύτητας, μεταβολή πορείας κ.λπ.), ώστε οι δυσμενείς επιπτώσεις στην αντοχή και την ασφάλεια του πλοίου να ελαχιστοποιούνται.***

### 18.3 Τοπική αντοχή.

Κατά την αρχική σχεδίαση του πλοίου ή όταν πραγματοποιείται η εγκατάσταση νέων μηχανημάτων ή συστημάτων, πρέπει να πραγματοποιείται ειδική μελέτη και τοπική ενδυνάμωση, ώστε να εξασφαλίζεται η τοπική αντοχή της περιοχής.

### 18.4 Κοπώσεις από σφυροκρούσεις.

Καταπονήσεις από **σφυροκρούσεις** (slamming) εμφανίζονται όταν λόγω του κυματισμού, η πλώρη ενός πλοίου ξενερίζει, έτσι ώστε η βασική γραμμή της τρόπιδάς του να σχηματίζει μικρή γωνία με το οριζόντιο επίπεδο και στη συνέχεια βυθίζεται ξανά μέσα στο νερό. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί μεγάλες δυνάμεις μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα.

Οι κρούσεις που εμφανίζονται είναι τόσο μεγάλες, που θέτουν σε ταλάντωση ολόκληρο το πλοίο και συχνά αναγκάζουν τους χειριστές να αλλάξουν πορεία και να ελαττώσουν ταχύτητα. Ακόμη και ελαφρές ή περιστασιακές σφυροκρούσεις μπορούν να δημιουργήσουν καταπονήσεις λυγισμού και πλαστικές παραμορφώσεις στα ελάσματα του πυθμένα της πλώρης.

Οποιαδήποτε έντονη σφυρόκρουση μπορεί να θέσει σε ταλάντωση ολόκληρο το πλοίο, γεγονός που μπορεί να διαρκέσει μέχρι και ένα ολόκληρο λεπτό, με επακόλουθο την εμφάνιση μεγάλων καμπικών τάσεων, παραμορφώσεων στον πυθμένα και στις φρακτές και σοβαρών ζημιών ή/και ολικής απώλειας του εξοπλισμού του πλοίου. Οι κατασκευαστικές αστοχίες που μπορούν να προκύψουν σε περίπτωση εντόνων σφυροκρούσεων είναι:

1) Υπέρβαση του ορίου αντοχής των ελασμάτων και των ενισχύσεων του πυθμένα στην πλήρη λόγω τάσεων κάμψης και πιθανότητα θραύσεως συγκολλήσεων με ενδεχόμενη εισροή νερού.

2) Πλαστικές παραμορφώσεις των παραπάνω στοιχείων με ανάγκη αντικαταστάσεώς τους σε επόμενο δεξαμενισμό.

3) Ανάλογες ζημιές σε διαμήκη στοιχεία της κατασκευής από την ταλάντωση του πλοίου ως δοκού.

4) Αστοχίες από εναλλασσόμενη καταπόνηση (low-cycle fatigue).

5) Αστοχίες από δυναμικές κρούσεις (σοκ) σε ναυτιλιακό εξοπλισμό και στις συσκευές επικοινωνίας του πλοίου, καθώς και σε σωληνώσεις και ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς.

Σε πολλά από τα σύγχρονα πλοία υπάρχουν διαγράμματα που συσχετίζουν την κατάσταση της θάλασσας, την πορεία του πλοίου και την ταχύτητά του με την πιθανότητα εμφάνισης σοβαρών κατασκευαστικών αστοχιών, όπως αυτές που αναφέραμε παραπάνω.

***Είτε υπάρχουν είτε όχι τέτοιες πιθανότητες αστοχίας, οι χειριστές, με βάση την εμπειρία τους θα πρέπει, με κατάλληλη μεταβολή της πορείας, με μείωση της ταχύτητας ή/ και με συνδυασμό των δύο, να φροντίζουν για την αποφυγή εντόνων καταστάσεων σφυροκρούσεως της πλώρης.***

### 18.5 Συσκευές υπολογισμού κοπώσεως.

Στα προηγούμενα κεφάλαια είδαμε συνοπτικά πώς γίνονται οι υπολογισμοί της διαμήκου αντοχής των πλοίων στις διάφορες καταστάσεις φορτώσεως. Οι υπολογισμοί αυτοί, όπως είδαμε, είναι αρκετά πολύπλοκοι και δύσκολοι μπορούν να γίνουν από τους χειριστές των πλοίων. Πολύ συχνά τέτοιοι υπολογισμοί πρέπει να πραγματοποιούνται για διάφορες εναλλακτικές καταστάσεις φορτώσεως και ερματισμού, ώστε να διαπιστώνεται ποιος από τους πιθανούς τρόπους φορτώσεως είναι ο πιο ιδεώδης από την άποψη βυθισμάτων, διαγωγής, καταπονήσεων και εγκάρσιας ευστάθειας.

Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία, με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, έχουν κατασκευασθεί ειδικές συσκευές που τοποθετούνται στα πλοία, με τη βοήθεια των οποίων μπορούν να υπολογιστούν, με μεγάλη ευκολία και σε πολύ σύντομο χρόνο όλα τα παραπάνω στοιχεία. Στις συσκευές αυτές έχουν εισαχθεί εκ των προτέρων από τον κατασκευαστή όλα τα απαραίτητα σταθερά στοιχεία του συγκεκριμένου πλοίου. Τέτοια στοιχεία για παράδειγμα είναι διάφορες πληροφορίες από το υδροστατικό διάγραμμα, η ροπή αντιστάσεως διαφόρων εγκαρσίων τομών του πλοίου, η καμπύλη κατανομής του βάρους του άφορτου εκτοπίσματος, οι καμπύλες Bonjean και τα απαραίτητα στοιχεία των δεξαμενών και αμπαριών. Επίσης σε πολλές συσκευές μπορούν να εισαχθούν και στοιχεία για τις μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις θλίψεως-εφελκυσμού καθώς και για τις επιτρεπόμενες διατμητικές τάσεις.

Με τη βοήθεια ειδικού πληκτρολογίου, οι χειριστές μπορούν να εισάγουν στη συσκευή όλα τα μεταβλητά στοιχεία που επηρεάζουν τη φόρτωση, όπως είναι οι στάθμες των υγρών στις διάφορες δεξαμενές και οι ποσότητες και τα ειδικά βάρη του φορτίου στα αμπάρια.

Με τα στοιχεία αυτά η συσκευή υπολογίζει και δίνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για να κριθεί αν ο συγκεκριμένος τρόπος φορτώσεως είναι αποδεκτός. Επίσης πολύ εύκολα μπορούν να εξετασθούν, εκ των προτέρων, διάφοροι εναλλακτικοί τρόποι φορτώσεως, παρέχοντας τη δυνατότητα να επιλεγεί ο ιδανικός.

Ειδικά οι τάσεις θλίψεως, εφελκυσμού και οι διατμητικές δίνονται (εκτός από τις απόλυτες τιμές τους) και ως ποσοστά των μεγίστων επιτρεπομένων τιμών, σύμφωνα με τις μελέτες του πλοίου. Έτσι πολύ εύκολα ο πλοίαρχος μπορεί να απορρίψει ως απαράδεκτες, όλες τις φορτώσεις που δίνουν τιμές τάσεων πάνω από το 100% των επιτρεπομένων.

Όπως έχουμε αναφέρει επανειλημμένα από τη φάση σχεδιάσεως του πλοίου υπολογίζονται οι γεωμετρικές ιδιότητες (όγκοι, κέντρα βάρους, επιφάνειες, ροπές αδράνειας κ.λπ.) των δεξαμενών του και τα σχετικά αποτελέσματα αποτελούν αναγκαίο στοιχείο για τους χειριστές σε καθημερινή βάση.

Τα στοιχεία αυτά δίνονται με τη μορφή δέσμης από καμπύλες ή/και με τη μορφή πίνακα ανά 1 ή ανά 10 cm. Όπως είναι προφανές για τη χρησιμοποίηση αυτών των στοιχείων είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε τη στάθμη του υγρού που υπάρχει σε κάθε δεξαμενή. Οι σχετικές μετρήσεις γίνονται μ' έναν από τους παρακάτω τρόπους:

### **1) Βαθμονομημένες μεταλλικές ταινίες.**

Οι μεταλλικές ταινίες φέρουν μικρό βάρος στο άκρο τους και βαθμονόμηση σε m και cm (μερικές φορές και mm) και τις κατεβάζουμε προσεκτικά και αργά μέσα στη δεξαμενή, χειροκίνητα, μέχρις ότου διαπιστωθεί ότι ακουμπάνε στο μικρό έλασμα που βρίσκεται μόνιμα τοποθετημένο στον πυθμένα της δεξαμενής, κάτω ακριβώς από τον καταμετρικό σωλήνα.

Προηγουμένως έχουμε αλείψει το σωλήνα με ειδική αλοιφή που αλλάζει χρώμα όταν έλθει σε επαφή με το νερό. Παλαιότερα για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούσαν κιμωλία.

Όταν πάρομε πάνω την ταινία διαπιστώνουμε πόσο είναι το ύψος της στάθμης του υγρού (sounding), παρατηρώντας μέχρι ποιο σημείο η αλοιφή έχει αλλάξει χρώμα, εφόσον βυθίστηκε στο υγρό. Η διαφορά μεταξύ του συνολικού μήκους της ταινίας που κατεβάσαμε στη δεξαμενή (βλ. σχ. 2.2) και του ύψους που προαναφέραμε, μας δίνει το βάθος της στάθμης του υγρού (ullage).

### **2) Βαθμονομημένοι υαλοδείκτες τοποθετημένοι εξωτερικά της δεξαμενής.**

Είναι μόνιμα εγκαταστημένοι και χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρές φορτές δεξαμενές. Οι υαλοδείκτες φέρουν επίσης βαθμονόμηση, όπως προαναφέρθηκε, και η ανάγνωσή τους γίνεται εύκολα και απ' ευθείας με παρατήρηση της στάθμης μέσα στον υαλοδείκτη που είναι ίδια μ' αυτήν στη δεξαμενή.

### **3) Μηχανισμοί με πλωτήρα (τύπος Whessoe).**

Πρόκειται για μηχανικού τύπου συσκευές, μόνιμα τοποθετημένες πάνω από κάθε καταμετρικό σωλήνα, που παρέχουν τη δυνατότητα να κατεβάσουμε, μηχανικά μέσα στη δεξαμενή, βαθμονομημένες ταινίες, μέχρις ότου ο πλωτήρας που υπάρχει, στο κάτω μέρος της ταινίας, έλθει σε επαφή με την επιφάνεια του υγρού. Οι συσκευές αυτές είναι έτσι συνδεδεμένες στο κατάστρωμα, ώστε να εξασφαλίζουν αεροστεγανότητα προς το εξωτερικό περιβάλλον. Ανάγνωση της ενδείξεως της ταινίας γίνεται μέσα από ειδικό γυάλινο παράθυρο παρατήρησης που υπάρχει πάνω στη συσκευή.

Η μορφή και η αρχή λειτουργίας αυτών των συσκευών τα καθιστά κατάλληλα για μετρήσεις στάθμης σε δεξαμενές, των οποίων το περιεχόμενο είναι τοξικό ή δηλητηριώδες.

### **4) Ειδικά ηλεκτρονικά ραντάρ.**

Αποτελούν την τελευταία εξέλιξη, είναι διαφόρων τύπων και είναι εγκατεστημένα στα περισσότερα σύγχρονα πλοία. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην εκπομπή ηλεκτρονικού σήματος από κεραία ραντάρ που είναι εγκατεστημένη στην οροφή κάθε δεξαμενής. Το σήμα αυτό ανακλάται στην επιφάνεια του υγρού και επιστρέφει με διαφορετική συχνότητα, ανάλογα με την απόσταση που έχει διανύσει από την κεραία μέχρι την επιφάνεια του υγρού. Επομένως, αξιοποιώντας αυτήν τη μεταβολή συχνότητας μπορεί κάποιος

να έχει ακριβή ένδειξη του βάθους της στάθμης του υγρού στη δεξαμενή.

Αυτή η ηλεκτρονική μορφή του σήματος, με τις σημερινές υπολογιστικές δυνατότητες των μικροϋπολογιστών, παρέχει τη δυνατότητα αυτόματης μεταδόσεως των πληροφοριών (όχι μόνο της στάθμης, αλλά και των λοιπών γεωμετρικών ιδιοτήτων της δεξαμενής στη συγκεκριμένη στάθμη), τόσο στη γέφυρα όσο και στο κέντρο ελέγχου (engineering control station) χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, ανά πάσα στιγμή.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το χειρισμό και ιδιαίτερα για την ασφάλεια του πλοίου, παρουσιάζει η δυνατότητα, με τη χρήση υπολογιστών που υπάρχουν στα σύγχρονα πλοία, οι σχετικές ενδείξεις να χρησιμοποιούνται αυτόματα για σήμανση συναγερμού υψηλής ή χαμηλής στάθμης ή για αυτόματη διακοπή της λειτουργίας αντλιών, ακόμη όμως και για να υπεισέρχονται, επίσης αυτόματα, τα αναγκαία στοιχεία κάθε δεξαμενής στους υπολογισμούς φορτώσεως, ευστάθειας και αντοχής του πλοίου σε κάθε κατάσταση φορτώσεως.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

Σε διάφορα σημεία του βιβλίου και ιδιαίτερα στις ασκήσεις και στα παραδείγματα χρησιμοποιούνται μονάδες μετρήσεως τόσο του μετρικού, όσο και του αγγλικού συστήματος. Παρακάτω περιέχονται συνοπτικά στοιχεία αναφορικά με τις εν λόγω μονάδες και δίνονται οι μεταξύ τους συσχετισμοί.

#### 1) Συστήματα μετρήσεως.

Μέχρι το 1960 στους ναυπηγικούς υπολογισμούς και γενικά στους υπολογισμούς που έχουν σχέση με το πλοίο χρησιμοποιούνται οι μονάδες του **μετρικού** ή του **αγγλικού πρακτικού συστήματος**.

Το 1960 η **διεθνής διάσκεψη μέτρων και σταθμών** καθιέρωσε ένα διεθνές απλοποιημένο σύστημα μετρήσεων, γνωστό ως **σύστημα SI (Systeme International)**, με σκοπό να αποτελέσει το μετρικό σύστημα του μέλλοντος.

Το 1965 η βρετανική κυβέρνηση ανακοίνωσε την πρόθεσή της να χρησιμοποιήσει το νέο μετρικό σύστημα μέσα σε μια δεκαετία. Μέχρι σήμερα πάντως η πρόθεση αυτή δεν έχει γενικά υλοποιηθεί στις Αγγλοσαξονικές χώρες σε ό,τι αφορά σε υπολογισμούς που σχετίζονται με το πλοίο.

Οι βασικές μονάδες του συστήματος SI είναι:

| Μέγεθος             | Μονάδα        | Σύμβολο |
|---------------------|---------------|---------|
| Μήκος               | μέτρο         | m       |
| Μάζα                | χιλιόγραμμα   | kg      |
| Χρόνος              | δευτερόλεπτο  | s       |
| Ηλεκτρικό ρεύμα     | αμπέρ         | A       |
| Απόλυτη θερμοκρασία | βαθμός Kelvin | °K      |
| Φωτεινή ένταση      | καντέλα       | cd      |

Με τις παραπάνω βασικές μονάδες μπορούν να παραχθούν και όλες οι άλλες. Οι πιο συνηθισμένες είναι:

| Μέγεθος        | Μονάδα | Σύμβολο  |
|----------------|--------|--|
| Δύναμη         | newton | $N = \frac{\text{kg} \times \text{m}}{\text{s}^2}$ |
| Έργο, ενέργεια | joule  | $j = N \times \text{m}$                            |
| Ισχύς          | watt   | $W = \frac{j}{\text{s}}$                           |

#### 2) Μετατροπές μονάδων.

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται διάφοροι συντελεστές που είναι χρήσιμοι για τη μετατροπή διαφόρων μεγεθών από σύστημα σε σύστημα.

##### α) Μήκος.

| Μονάδα μήκους | m        | ft      | Διεθνές ναυτικό μίλι (metric Nm) | Βρετανικό ναυτικό μίλι (british Nm) |
|---------------|----------|---------|----------------------------------|-------------------------------------|
| m             | 1        | 3,28084 | $5,39957 \times 10^{-4}$         | $5,39612 \times 10^{-4}$            |
| ft            | 0,3048   | 1       | $1,64579 \times 10^{-4}$         | $1,64474 \times 10^{-4}$            |
| metric Nm     | 1852     | 6076,12 | 1                                | 0,999361                            |
| british Nm    | 1853,184 | 6080    | 1,00064                          | 1                                   |

Για παράδειγμα ένα διεθνές ναυτικό μίλι ισοδυναμεί με 6076,12 ft, ενώ ένα ft ισοδυναμεί με 0,3048 m.

**β) Ταχύτητα.**

| Μονάδα ταχύτητας | m/s      | km/h     | ft/sec   | Διεθνής κόμβος (metric kn) | Βρετανικός κόμβος (british kn) |
|------------------|----------|----------|----------|----------------------------|--------------------------------|
| m/s              | 1        | 3,6      | 3,28084  | 1,94384                    | 1,9426                         |
| km/h             | 0,277778 | 1        | 0,911344 | 0,539957                   | 0,539612                       |
| ft/sec           | 0,3048   | 1,09728  | 1        | 0,592484                   | 0,592105                       |
| metric kn        | 0,514444 | 1,852    | 1,68781  | 1                          | 0,999361                       |
| british kn       | 0,514773 | 1,853184 | 1,68889  | 1,00064                    | 1                              |

Για παράδειγμα ένα km/h ισοδυναμεί με 0,911344 ft/sec, ενώ 1 metric kn ισοδυναμεί με 1,852 km/h.

**γ) Ισχύς.**

| Μονάδα ισχύος | watt (W) | kilowatt (kW) | Μετρικός ίππος (metric HP) | Βρετανικός ίππος (british HP) |
|---------------|----------|---------------|----------------------------|-------------------------------|
| W             | 1        | $10^{-3}$     | $1,35962 \times 10^{-3}$   | $1,34102 \times 10^{-3}$      |
| kW            | 1000     | 1             | 1,35962                    | 1,34102                       |
| metric HP     | 735,499  | 0,735499      | 1                          | 0,986320                      |
| british HP    | 745,700  | 0,745700      | 1,01387                    | 1                             |

Για παράδειγμα ένας μετρικός ίππος ισοδυναμεί με 0,735499 kW, ενώ 1 kW ισοδυναμεί με 1,34102 british HP.

**Σημείωση.**

Η γερμανική ονομασία του μετρικού ίππου είναι PS και η γαλλική CV.

|                           |     | Σύστημα SI |                          | Μετρικό Τεχνικό Σύστημα |                           | Βρετανικό Τεχνικό Σύστημα |                            |
|---------------------------|-----|------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                           |     | newton (N) | kilonewton (kN)          | kilopond (kp)           | Μετρικός τόνος (MT)       | Λίβρα δυνάμεως (lbf)      | Βρετανικός long τόνος (LT) |
| Σύστημα SI                | N   | 1          | 0,001                    | 0,1019716               | $1,019716 \times 10^{-4}$ | 0,224809                  | $1,00361 \times 10^{-4}$   |
|                           | kN  | 1000       | 1                        | 101,9716                | 0,1019716                 | 224,809                   | 0,100361                   |
| Μετρικό Τεχνικό Σύστημα   | kp  | 9,80665    | $9,80665 \times 10^{-3}$ | 1                       | $10^{-3}$                 | 2,20462                   | $9,84207 \times 10^{-4}$   |
|                           | MT  | 9806,65    | 9,80665                  | 1000                    | 1                         | 2204,62                   | 0,984207                   |
| Βρετανικό Τεχνικό Σύστημα | lcf | 4,44822    | $4,44822 \times 10^{-3}$ | 0,45359237              | $0,453592 \times 10^{-3}$ | 1                         | $4,46429 \times 10^{-4}$   |
|                           | LT  | 9964,02    | 9,96402                  | 1016,05                 | 1,01605                   | 2240                      | 1                          |

Για παράδειγμα ένας LT ισοδυναμεί με 1016,05 kp και 1 kp με  $9,80665 \times 10^{-3}$  kN.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΤΡΙΤΟ

### ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ

| Περιγραφή φορτίου     | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                     |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------|
|                       | m <sup>3</sup> /MT          | ft <sup>3</sup> /LT |
| Αλάτι σε σάκους       | 1,06/1,12                   | 38/40               |
| Αλάτι χύμα            | 1,01/1,06                   | 36/38               |
| Αλεύρι σε σάκους      | 1,20/1,33                   | 43/48               |
| Άμμος                 | 0,5w                        | 19/20               |
| Αργό πετρέλαιο        | 1,02/1,33                   | 37/48               |
| Άσβεστος              | 1,67/1,81                   | 60/65               |
| Άσφαλτος              | 0,91/1,00                   | 33/36               |
| Αχλάδια               | 2,64/2,78                   | 95/100              |
| Βαμβακέλαιο           | 1,09                        | 39                  |
| Βαμβακερά είδη        | 2,23/2,78                   | 80/100              |
| Βαμβάκι Αιγύπτου      | 1,89/2,01                   | 68/72               |
| Βαμβάκι Αυστραλίας    | 3,62/3,76                   | 130/135             |
| Βενζίνη               | 1,26/1,43                   | 45/51               |
| Βερίκοκα ξερά         | 1,39/1,45                   | 50/52               |
| Βερίκοκα φρέσκα       | 2,56/2,78                   | 92/100              |
| Βούτυρο σε κιβώτια    | 1,45/1,50                   | 52/54               |
| Βρώμη                 | 2,12                        | 76                  |
| Βωξίτης χύδην         | 0,73/0,90                   | 26/32               |
| Γαρύφαλλα (μπαχαρικά) | 3,06/3,20                   | 110/115             |
| Γιούτα                | 1,81/1,87                   | 65/17               |
| Γκρέιπφρουτ           | 2,56/2,92                   | 92/105              |
| Δαμάσκηνα             | 1,39/1,45                   | 50/52               |
| Δέρματα               | ως 5,66                     | ως 200              |
| Εργαλεία              | 1,12/1,39                   | 40/50               |
| Ζάχαρη σε σάκους      | 1,29/1,34                   | 46/48               |
| Ζάχαρη χύμα           | 1,12/1,26                   | 40/45               |
| Κακάο                 | 1,89/2,01                   | 68/72               |
| Καλώδια ηλεκτρικά     | 1,12                        | 40                  |
| Κανέλα                | 2,78/3,06                   | 100/110             |
| Καπνός                | 2,78/4,18                   | 100/150             |
| Κάρβουνα              | 1,18/1,33                   | 42/48               |
| Κατεψυγμένο αρνί      | 3,06/3,34                   | 110/120             |
| Κατεψυγμένο μοσχάρι   | 2,37/2,64                   | 85/95               |
| Κατεψυγμένο χοιρινό   | 2,50/2,64                   | 90/95               |
| Κατράμι               | 1,34/1,47                   | 48/53               |

(συνεχίζεται)

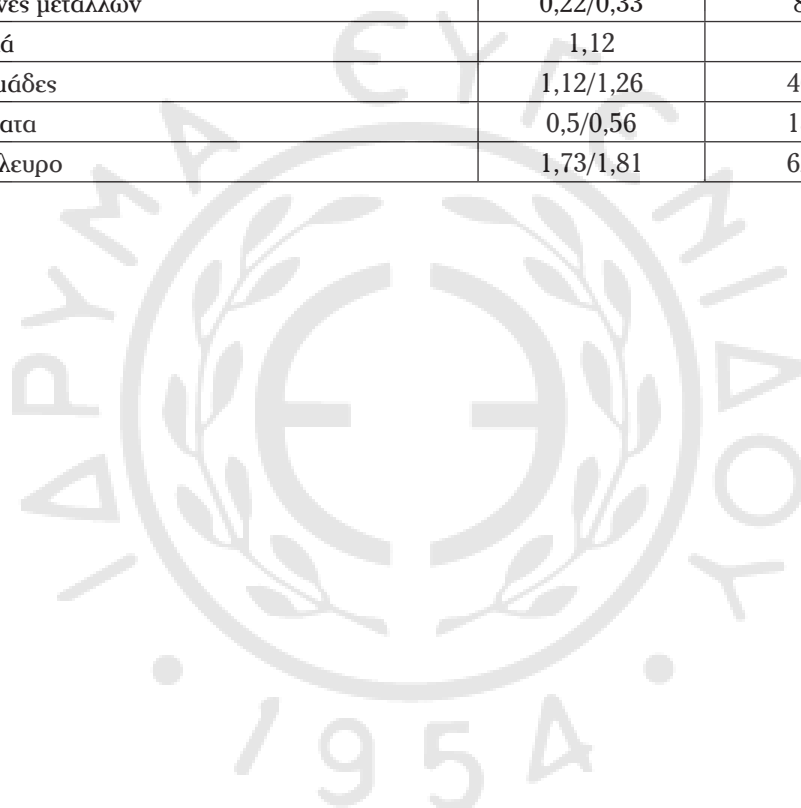
| Περιγραφή φορτίου    | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                     |
|----------------------|-----------------------------|---------------------|
|                      | m <sup>3</sup> /MT          | ft <sup>3</sup> /LT |
| Καυστική σόδα        | 1,04                        | 37                  |
| Καφές                | 1,61/1,75                   | 58/63               |
| Κεραμίδια            | 0,98                        | 35                  |
| Κηροζίνη             | 1,20/1,26                   | 43/45               |
| Κονσέρβες κρέατος    | 1,39                        | 50                  |
| Κονσέρβες φρούτων    | 1,67                        | 60                  |
| Κορμοί δέντρων       | 4,18                        | 50                  |
| Κρασιά               | 1,39/1,53                   | 50/55               |
| Κρέας σε κατάψυξη    | 2,36/2,64                   | 85/95               |
| Κρέας σε ψύξη        | 3,20/3,34                   | 115/120             |
| Κρέας χωρίς οστά     | 1,67/1,74                   | 60/62               |
| Κρεμμύδια            | 2,23/2,37                   | 80/85               |
| Κριθάρι σε σάκους    | 1,67                        | 60                  |
| Κριθάρι χύδην        | 1,50                        | 54                  |
| Κωκ (λιθάνθρακας)    | 1,95/2,78                   | 70/100              |
| Λάδι καρύδας         | 1,06                        | 38                  |
| Λαρδί                | 1,73/1,81                   | 62/65               |
| Λάστιχο              | 1,81/1,87                   | 65/67               |
| Λεμόνια              | 2,56/2,92                   | 92/106              |
| Λευκοσιδήρου έλασμα  | 0,56                        | 20                  |
| Λευκοσιδήρου χελώνες | 0,22/0,28                   | 8/10                |
| Λινάρι               | 2,92/3,34                   | 105/120             |
| Λινέλαιο             | 1,62/2,23                   | 60/80               |
| Λιπαντικά            | 1,05/1,18                   | 38/42               |
| Λίπος                | 1,67/1,78                   | 60/64               |
| Μακαρόνια            | 2,23/2,50                   | 80/90               |
| Μαλλί                | 3,62                        | 130                 |
| Μάρμαρο              | 0,42/0,56                   | 15/20               |
| Μεταλλεύματα γενικά  | 0,34/0,50                   | 12/18               |
| Μετάλλευμα μαγγανίου | 0,47/0,50                   | 17/18               |
| Μετάξι, είδη από     | 2,23/2,78                   | 80/100              |
| Μήλα σε κιβώτια      | 2,36/2,64                   | 85/95               |
| Μηχανήματα           | 1,12/1,53                   | 40/65               |
| Μολύβδου μετάλλευμα  | 0,25/0,31                   | 9/11                |
| Μπανάνες             | 3,62/3,90                   | 130/140             |
| Μπέικον              | 1,73/1,84                   | 62/66               |
| Μπιζέλια             | 1,29/1,39                   | 46/50               |
| Μπύρα σε κάσες       | 1,95/2,09                   | 40/75               |
| Ντομάτες             | 1,95/2,04                   | 70/75               |
| Ξυλεία               | 1,39                        | 50                  |
| Ορυκτό χρωμίου       | 0,34                        | 12                  |

(συνεχίζεται)

| Περιγραφή φορτίου       | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                     |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------|
|                         | m <sup>3</sup> /MT          | ft <sup>3</sup> /LT |
| Ουίσκι                  | 1,67                        | 60                  |
| Παπούτσια               | 2.23                        | 80                  |
| Παραφίνη                | 1,19/1,27                   | 43/46               |
| Πετρέλαιο αργό          | 0,91/1,00                   | 33/36               |
| Πετρέλαιο diesel        | 1,09/1,15                   | 39/41               |
| Πετρέλαιο λεβήτων       | 1,01/1,09                   | 36/39               |
| Πιπέρι                  | 1,39                        | 50                  |
| Πορσελάνες              | 2,78/3,06                   | 100/110             |
| Πορτοκάλια              | 2,56/2,92                   | 92/105              |
| Πουλερικά               | 2,09/2,23                   | 75/80               |
| Πυρότουβλα              | 0,70/0,84                   | 25/30               |
| Ρέγγες                  | 1,26/1,67                   | 45/60               |
| Ρετοίνια                | 1,39/1,45                   | 50/52               |
| Ροδάκινα                | 2,56/2,92                   | 92/105              |
| Ρούμι                   | 1,53/1,67                   | 55/60               |
| Ρύζι                    | 1,26/1,39                   | 45/50               |
| Σανίδες                 | 1,39                        | 50                  |
| Σανός                   | 3,34/4,46                   | 120/160             |
| Σίδηρος γαλβανοσμένος   | 0,67/0,78                   | 24/28               |
| Σίκαλη                  | 1,39                        | 50                  |
| Σιτάρι                  | 1,32                        | 47                  |
| Σιτηρά γενικά σε σάκους | 1,39/1,81                   | 50/65               |
| Σιτηρά γενικά χύδην     | 1,20/1,67                   | 43/60               |
| Σκόρδα                  | 2,64                        | 95                  |
| Σμυριδόπετρες           | 1,67                        | 60                  |
| Σπορέλαια               | 1,06/1,09                   | 38/39               |
| Σπόροι                  | 1,39/1,95                   | 50/70               |
| Σταφίδα                 | 2,43                        | 87                  |
| Στουπί                  | 2,50/2,78                   | 90/100              |
| Σύκα                    | 1,26/1,39                   | 45/50               |
| Συμπυκνώματα μετάλλων   | 0,50/0,56                   | 18/20               |
| Συρματόσχοινα σε ρόλους | 0,70/0,98                   | 25/35               |
| Σχοινιά σε κουλούρες    | 2,23/2,78                   | 80/100              |
| Σωλήνες χαλύβδινοι      | 1,12/1,67                   | 40/60               |
| Υγιεινής είδη           | 4,18                        | 150                 |
| Υφασμα σε ρόλους        | 2,23/2,78                   | 80/100              |
| Φαλαινόλαδο             | 1,07/1,14                   | 38/41               |
| Φασόλια σε σάκους       | 1,39/1,95                   | 50/70               |
| Φασόλια χύδην           | 1,33                        | 48                  |
| Φελλός                  | 6,12                        | 220                 |
| Φοινικέλαιο             | 1,06                        | 38                  |

(συνεχίζεται)

| Περιγραφή φορτίου   | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                     |
|---------------------|-----------------------------|---------------------|
|                     | m <sup>3</sup> /MT          | ft <sup>3</sup> /LT |
| Φρούτα αποξηραμένα  | 1,39/1,45                   | 50/52               |
| Φρούτα σε κονσέρβες | 1,67                        | 60                  |
| Φρούτα σε ψύξη      | 2,56/2,92                   | 92/105              |
| Φρούτα φρέσκα       | 2,56/2,92                   | 92/105              |
| Φωσφάτο             | 0,92/0,98                   | 33/35               |
| Χαλιά               | ως 4,46                     | ως 160              |
| Χαλκός σε κελώνες   | 0,28/0,34                   | 10/12               |
| Χαρτί σε ρόλους     | 2,37/2,5                    | 85/90               |
| Χάρτου απορρίμματα  | 1,53/2,50                   | 55/90               |
| Χελώνες μετάλλων    | 0,22/0,33                   | 8/12                |
| Χημικά              | 1,12                        | 40                  |
| Χουρμάδες           | 1,12/1,26                   | 40/45               |
| Χρώματα             | 0,5/0,56                    | 18/20               |
| Ψαράλευρο           | 1,73/1,81                   | 62/65               |



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΤΕΤΑΡΤΟ

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΩΣΕΩΣ ΟΡΥΚΤΩΝ

| Ορυκτό                 | Προέλευση              | Γωνία αναπαύσεως σε μοίρες               | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                    | Σύντομη περιγραφή ορυκτού και κατανομή μεγέθους του               |
|------------------------|------------------------|--|-----------------------------|--------------------|---|
|                        |                        |  | ft <sup>3</sup> /LT         | m <sup>3</sup> /MT |   |
| Βωξίτης                | Αυστραλία              | 28° ξηρό<br>49° σε χώρο με<br>8% υγρασία | 27                          | —                  | Στρογγυλά χαλίκια διαμέτρου από 1/10" ως 5/8" Υγρασία γύρω στο 8% |
| Μαγγάνιο               | Ζαΐρ                   | 36° – 40°                                | 17                          | 0,472              | Βότσαλα 1 / 2" ως 10"   |
| Μαγγάνιο               | Βραζιλία               | 45°                                      | 17                          | 0,472              | 50% βότσαλα, 30% χαλίκια, 20% λεπτοί κόκκοι, υγρασία 10-12%       |
| Μαγγάνιο               | Γκάνα                  | 30°                                      | 17                          | 0,472              | Λεπτή σκόνη   |
| Μαγγάνιο               | Ελλάδα                 | 28°                                      | 17                          | 0,472              | Χοντρή σκόνη ως βότσαλα 6"  |
| Μαγγάνιο               | Μαρόκο                 | 33° – 43°                                | 20                          | 0,556              | Από λεπτή σκόνη ως βότσαλα 3'                                     |
| Μαγγάνιο               | Μεξικό                 | 37°                                      | 14,9                        | 0,414              | 63% βότσαλα, 20% χαλίκια, 15% σκόνη                               |
| Μαγγάνιο               | Ν. Αφρική              | 42°                                      | 11,4                        | 0,317              | 80% βότσαλα, 10% χαλίκια, 10% σκόνη, υγρασία 0,5 ως 1%            |
| Μαγγάνιο               | Ν. Αφρική              | 42°                                      | 12,8                        | 0,356              | 85% βότσαλα, 10% χαλίκια, 5% σκόνη, υγρασία 0,5 ως 1%             |
| Μαγγάνιο               | Περου                  | 37°                                      | 19,8                        | 0,55               | 40% βότσαλα, 30% χαλίκια, 30% σκόνη, υγρασία 3–10%                |
| Μαγγάνιο               | Σιγκαπούρη             | 37°                                      | 15,6                        | 0,433              | 40% βότσαλα, 30% χαλίκια, 30% σκόνη, υγρασία 8 ως 10%             |
| Μαγγάνιο               | Τουρκία                | 37°                                      | 17,5                        | 0,486              | 40% βότσαλα, 30% χαλίκια, 30% σκόνη, υγρασία 2–15%                |
| Μαγγάνιο               | Χιλή                   | 37°                                      | 19,8                        | 0,550              | 60% βότσαλα, 20% χαλίκια, 20% σκόνη                               |
| Μετάλλευμα σιδήρου     | Βορειοδυτική Αυστραλία | 34°                                      | 14,0                        | —                  | 72% λεπτοί κόκκοι – το υπόλοιπο 1 / 4"                            |
| Μετάλλευμα σιδήρου     | Νότιος Αυστραλία       | 33°                                      | 18,0                        | —                  |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου     | Κριμαία                | 30°–50°                                  | —                           | 0,66               |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου     | Ουκρανία               | 30°–50°                                  | —                           | 0,60               |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου     | Ουκρανία               | 30°–50°                                  | —                           | 0,5                |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου «Α» | Κριμαία                | 30°–50°                                  | —                           | 0,8                |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου «Α» | Ουκρανία               | 30°–50°                                  | —                           | 0,58               |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου «Α» | Ουκρανία               | 30°–50°                                  | —                           | 0,50               |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου «Α» | Ουκρανία               | 30°–50°                                  | —                           | 0,3                |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου «Κ» | Ουκρανία               | 30°–50°                                  | —                           | 0,4                |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου «Κ» | Ουκρανία               | 30°–50°                                  | —                           | 0,4                |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου «Ο» | Ουκρανία               | 30°–50°                                  | —                           | 0,35               |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου «Ο» | Ουκρανία               | 30°–50°                                  | —                           | 0,3–0,4            |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου «Ρ» | Ουκρανία               | 30°–50°                                  | —                           | 0,48               |   |
| Μετάλλευμα σιδήρου «Ρ» | Ουκρανία               | 30°–50°                                  | —                           | 0,35               |   |
| Πυρίτης                |                        | 40°–45°                                  | 14,0                        | 0,4                |   |
|                        |                        | 38°                                      | —                           | 0,4                | < 4 mm  |

(συνεχίζεται)

| Ορυκτό                        | Προέλευση                  | Γωνία αναπαύσεως σε μοίρες | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                         | Σύντομη περιγραφή ορυκτού και κατανομής μεγέθους του   |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--|
|                               |                            |                            | ft <sup>3</sup> /LT         | m <sup>3</sup> /MT      |  |
| Σίδηρος                       | Βενεζουέλα<br>Puerto Ordaz | 44°                        | 14,0                        | 0,389                   | 40% βότσαλα, 30% χαλίκια, 30% σκόνη, υγρασία 7–8%  |
| Σίδηρος                       | Αίγυπτος                   | 38°                        | 15,8                        | 0,439                   | 40% βότσαλα, 30% χαλίκια, 30% σκόνη, υγρασία 3 - 5%  |
| Σίδηρος                       | Βενεζουέλα<br>Paula        | 38°                        | 13,5<br>12,5 12,4           | 0,375<br>0,347<br>0,344 | Χαλίκια  |
| Σίδηρος                       | Βραζιλία-<br>Βικτόρια      | 35°–40°                    | 11,2                        | 0,311                   | 70% βότσαλα, 15% χαλίκια, 10% σκόνη, υγρασία 2%  |
| Σίδηρος                       | Βραζιλία Ρίο               | 35°–40°                    | 14,2                        | 0,394                   | 80% βότσαλα, 10% χαλίκια, 10% σκόνη, υγρασία 1 – 2%  |
| Σίδηρος                       | Γκάνα                      | 38°                        | 18,8                        | 0,522                   | 55% βότσαλα, 25% χαλίκια, 20% σκόνη  |
| Σίδηρος                       | Ινδία                      | 35°                        | 2,0 2,3                     |                         | 250–350 mm 1%<br>150–250 mm 20%<br>75–150 mm 21%<br>50–75 mm 16%<br>25–50 mm 16%<br>12–25 mm 12%<br>6–12 mm 3%<br>0–6 mm 11% |
| Σίδηρος                       | Καλιφόρνια<br>Long Beach   | 40°–45°                    | 14,0                        | 0,391                   | 1" βότσαλα 80%, σκόνη 20%, μεταβλητή υγρασία, άοσμο  |
| Σίδηρος                       | Καλιφόρνια<br>Pittsburg    | 40°                        | 12-13                       | 0,334<br>-0,363         | Άμμος, υγρασία 1%–8%, μαύρο, άοσμο   |
| Σίδηρος                       | Καλιφόρνια<br>Stocton      | 35°                        | 12-13                       | 0,334 -<br>0,363        | 8" βότσαλα 60%, σκόνη 40%, υγρασία 1–8%, μαύρο, άοσμο  |
| Σίδηρος                       | Λαμπραντόρ                 | 38°                        | 13,8                        | 0,370                   | 35% βότσαλα, 35% χαλίκια, 75% σκόνη, υγρασία 16–18%, πάγος και χιόνι   |
| Σίδηρος                       | Περου                      | 38°–45°                    | 12,7                        | 0,347                   |  |
| Σίδηρος                       | Σουνδία<br>Narvic          | 36°                        | 10,6                        | 0,295                   | 50% βότσαλα, 25% χαλίκια, 25% σκόνη, υγρασία 3–4%  |
| Σίδηρος                       | Σουνδία<br>Narvic          | 45°                        | 10,7                        | 0,297                   | 50% βότσαλα, 25% χαλίκια, 2 5% σκόνη, υγρασία 3–4%   |
| Σίδηρος                       | Χιλή<br>Cruz Grande        | 38°                        | 11,1                        | 0,309                   | 40% βότσαλα, 30% χαλίκια 30% σκόνη, υγρασία 1%   |
| Σίδηρος                       | Χιλή<br>Valparaiso         | 38°                        | 13,8                        | 0,384                   | 40% βότσαλα, 30% χαλίκια 30% σκόνη, υγρασία 3–5%   |
| Σίδηρος (πλούσιος σε φωσφόρο) | Αλαμπάμα<br>ΗΠΑ            | 40°                        | 14,0                        | 0,391                   | 75% βότσαλα –25% σκόνη. Υγρασία μικρή, άοσμο   |
| Φθοριοξύχο ασβέστιο           | Μεξικό                     | 35°                        | 23,0                        | 0,639                   | Χοντρά σωματίδια   |
| Χρώμιο                        | Ζάμπια                     | 33°                        | 14,0                        | 0,390                   | Λεπτά σωματίδια ως χαλίκια 1 /4"   |
| Χρώμιο                        | Φιλιππίνες                 | 40°                        | 14,5                        | 0,403                   | Βότσαλα 5"–10"   |

**Σημείωση:**

Όπου η γωνία αναπαύσεως πλησιάζει τις 35°, θα πρέπει να γίνεται μέτρηση για τον ακριβή προσδιορισμό της, ώστε να διαπιστώνεται ποιοι ακριβώς κανονισμοί πρέπει να τηρηθούν.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΕΜΠΤΟ

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΩΣΕΩΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΧΥΔΗΝ

| Φορτίο                         | Προέλευση                   | Γωνία αναπαύσεως σε μοίρες | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                    | Σύντομη περιγραφή του και κατανομή μεγέθους του  |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|--|
|                                |                             |                            | ft <sup>3</sup> /LT         | m <sup>3</sup> /MT |  |
| Αλάτι                          | Καλιφόρνια ΗΠΑ              | 45°                        | 33,0                        | 0,92               | Τραχύ, λευκό, άοσμο, υγρασία 3%  |
| Αλάτι ακατέργαστο              | Λουιζιάνα ΗΠΑ               | 30°                        | 33,0–38,0                   | 0,976–1,059        | Μικροί κόκκοι, λευκό, άοσμο, υγρασία 0,02%   |
| Αλουμίνα                       | Γιοκοχάμα                   | 35°                        | 43,0–45,0                   | 1,198–1,124        | Λεπτόκοκκη σκόνη, άοσμο, λευκό   |
| Αλουμίνα                       | Αλαμπάμα ΗΠΑ                | 35°                        | 37,0                        | 1,032              | Λεπτόκοκκη σκόνη, άοσμο, λευκό, υγρασία 3%   |
| Αλουμίνα                       | Λουιζιάνα ΗΠΑ               | 35°                        | 45,0                        | 1,254              | 100% λευκή πούδρα, άοσμο, υγρασία 0–1%   |
| Αλουμίνα                       | Τέξας ΗΠΑ                   | 35°–40°                    | 45,0                        | 1,254              | Λευκή πούδρα, άοσμο, χωρίς υγρασία   |
| Ανθρακικό μαγνήσιο             | Μέριλαντ ΗΠΑ                | 35°                        | 30,0                        | 0,836              | Κόκκοι ως χαλίκια 1", κπρινωπό, άοσμο, χωρίς υγρασία   |
| Ανθρακικό μαγνήσιο (συνθετικό) | Φιλαδέλφεια ΗΠΑ             | 38°–40°                    | 16,6–18,0                   | 0,463–0,501        | 90% άμμος, 10% πούδρα, λευκό έως κίτρινο, άοσμο, χωρίς υγρασία                                       |
| Αντιμόνιο                      | Φιλαδέλφεια ΗΠΑ             | 40°                        | 12,0–15,0                   | 0,3346–0,4183      | 80% βότσαλα, 10"–20% πούδρα, σκούρο γκρι, άοσμο, χωρίς υγρασία                                       |
| Ασβεστόλιθος                   | Ν. Αυστραλία                | —                          | 22,0                        | —                  | —  |
| Βόρας                          | Καλιφόρνια ΗΠΑ              | 30°                        | 46                          | 1,282              | Με μορφή κόκκων, άσπρο έως γκρι, χωρίς υγρασία   |
| Γύψος                          | Νότιος και Δυτική Αυστραλία | Ξηρός 28,5°                | —                           | —                  | Μέτρια έως τραχιά πούδρα   |
|                                |                             | Υγρός 45°                  | —                           | —                  |  |
| Ζάχαρη                         | Αυστραλία                   | 32°                        | 41–45                       | —                  |  |
| Θεική αμμωνία                  | Αυστραλία Τασμανία          | >35°                       | 38,0                        | —                  |  |
| Θεική αμμωνία                  | Μέριλαντ ΗΠΑ                | 28°                        | 37,0                        | 1,032              | Λευκοί κρύσταλλοι, ελαφρά οσμή, υγρασία 1/2–1%   |
| Θεική αμμωνία                  | Τέξας ΗΠΑ                   | 32°                        | 33,0–35,0                   | 0,920–0,976        | Λεπτοί κρύσταλλοι, λευκοί ή καφέ, οσμή αμμωνίας, υγρασία 0,04–0,05%                                  |
| Θεική αμμωνία                  | Χιούστον ΗΠΑ                | 32°                        | 33,0–35                     | 0,920–0,976        | Λεπτοί κρύσταλλοι, λευκοί ή καφέ, οσμή αμμωνίας, υγρασία 0,04–0,05%                                  |
| Θείο                           | Λουιζιάνα ΗΠΑ               | 35°–40°                    | 28,0–29,0                   | 0,781–0,809        | 75% βότσαλα 1"–8", 25% πούδρα, κίτρινο, οσμή θείου, χωρίς υγρασία                                    |
| Θείο                           | Τέξας ΗΠΑ                   | 35°                        | 28,0–31,0                   | 0,781–0,865        | Κίτρινο, 90% σκόνη, 10% βότσαλα 1"–8" ή σκούρο, 80% σκόνη–20%, βότσαλα 10", οσμή θείου, υγρασία 0–1% |
| Κάρβουνο                       | Αυστραλία                   |                            | 45,0–38,0                   |                    | Μεγάλα κομμάτια, μικρά κομμάτια  |

(συνεχίζεται)

| Φορτίο              | Προέλευση              | Γωνία αναπαύσεως σε μοίρες | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                    | Σύντομη περιγραφή του και κατανομή μεγέθους του                       |
|---------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|---|
|                     |                        |                            | ft <sup>3</sup> /LT         | m <sup>3</sup> /MT |   |
| Κάρβουνο            | Νορβηγία               | 38°                        |                             | 1,3                | <10 mm  |
| Κάρβουνο «Α»        | Ρωσία                  | 30°–45°                    | —                           | 0,99–0,79          | 0–100–200 mm  |
| Κάρβουνο «ΑΚ»       | Ρωσία                  | 30°–40°                    | —                           | 1,02–0,95          | 25–50–100 mm  |
| Κάρβουνο «Β»        | Άπω Ανατολή            | 30°–45°                    | —                           | 1,25–1,05          | 0–300 mm  |
| Κάρβουνο «Β»        | Ρωσία                  | 30°–45°                    | —                           | 1,43–1,25          |   |
| Κάρβουνο «D»        | Ρωσία                  | 30°–45°                    | —                           | 1,2–1,41           | 0–13–25 mm  |
| Κάρβουνο «D»        | Ρωσία                  | 30°–45°                    | —                           | 1,04–1,02          |   |
| Κάρβουνο «DK»       | Ρωσία                  | 30°–45°                    | —                           | 1,25–1,4           | 50–100 mm   |
| Κάρβουνο «DK»       | Ρωσία                  | 30°–45°                    | —                           | 1,25–1,17          | 13–50 mm  |
| Κάρβουνο «Κ»        | Ρωσία                  | 30°–40°                    | —                           | 1,1–1,03           | 0–20 mm   |
| Κάρβουνο «Τ»        | Άπω Ανατολή            | 30°–45°                    | —                           | 1,01–0,86          | 0–300 mm  |
| Κάρβουνο «Τ»        | Άπω Ανατολή            | 30°–45°                    | —                           | 1,1–1,0            |   |
| Κάρβουνο «Τ»        | Άπω Ανατολή            | 30°–45°                    | —                           | 1,05–1,1           |   |
| Κάρβουνο «Τ»        | Άπω Ανατολή            | 30°–45°                    | —                           | 0,94               |   |
| Κάρβουνο «Τ»        | Ρωσία                  | 30°–45°                    | —                           | 1,16–0,92          | 50–125 mm   |
| Κάρβουνο «Τ»        | Ρωσία                  | 30°–45°                    | —                           | 1,2–1,05           | 50–125 mm   |
| Καρβουνο-ανθρακίτης | Φιλαδέλφεια ΗΠΑ        | 25°–35°                    | 42,0–48,0                   | 1,171–1,339        | Σαν λεπτή άμμος, μαύρο, άοσμο   |
| Κάρβουνο ασφαλτώδες | Βιρτζίνια ΗΠΑ          | 30°–35°                    | 46,0–55,0                   | 1,282–1,533        | Ως 6", ποσοστό υγρασίας 1 ως 5%, άοσμο, μαύρο                         |
| Κάρβουνο ημίκαυστο  | Αλαμπάμα ΗΠΑ           | 37°                        | 105,0                       | 2,93               | Διάφορα μεγέθη 3" ως 5", μαύρο, άοσμο, αμελιπτεία υγρασία             |
| Κωκ από πετρέλαιο   | Αλαμπάμα ΗΠΑ           | 40°                        | 48,0–60,0                   | 1,339–1,673        | Διάφορα μεγέθη 3" ως 8", μαύρο, άοσμο, αμελιπτεία υγρασία             |
| Κωκ από πετρέλαιο   | Καλιφόρνια Λονγκ Μπιτς | 30°                        | 50,0–55,0                   | 1,394–1,533        | 90% βότσαλα 1/2" ως 1", 10% σκόνη, μαύρο ως γκρι, άοσμο, υγρασία 0,2% |
| Κωκ από πετρέλαιο   | Καλιφόρνια Στόκτον     | 35°                        | 48,0–60,0                   | 1,339–1,673        | 40% μικρά βότσαλα, 60% πούδρα, μαύρο, υγρασία 1–5%                    |
| Κωκ από πετρέλαιο   | Λουιζιάνα ΗΠΑ          | 35°                        | 45,0                        | 1,254              | 35% βότσαλα 3", 65% πούδρα, μαύρο, άοσμο, υγρασία 1%                  |
| Κωκ από πετρέλαιο   | Λουιζιάνα ΗΠΑ          | 35°                        | 50,0–55,0                   | 1,394–1,533        | 80% πούδρα–20% μικρά βότσαλα 4", μαύρο, άοσμο, υγρασία 5–10%          |
| Κωκ από πετρέλαιο   | Μέριλαντ ΗΠΑ           | 33°                        | 48,0                        | 1,339              | 25% βότσαλα 1"–75%, κόκκοι, γκρι, άοσμο, μεταβλητή υγρασία            |
| Κωκ από πετρέλαιο   | Όρεγκον ΗΠΑ            | 42°                        | 55,0–59,0                   | 1,533–1,645        | 60% βότσαλα 1"–3"<br>40% πούδρα, μαύρο, άοσμο, υγρασία 4–5%           |

(συνεχίζεται)



| Φορτίο                           | Προέλευση       | Γωνία αναπαύσεως σε μοίρες | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                    | Σύντομη περιγραφή του και κατανομή μεγέθους του  |
|----------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|--|
|                                  |                 |                            | ft <sup>3</sup> /LT         | m <sup>3</sup> /MT |  |
| Λίπασμα Α. ΝΡΚ 12,5-5,5-15       | Glomfjord       | 34°                        | —                           | 1,0                | Κρύσταλλοι 1–4,5 mm σε ομάδες  |
| Λίπασμα C. ΝΡΚ 14,5-4,7,11,7     | Glomfjord       | 34°                        | —                           | 1,0                | Κρύσταλλοι 1–4,5 mm σε ομάδες  |
| Λίπασμα ΝΡΚ 14-4-17              | Heroya          | 34°                        | —                           | 0,95               | Κρύσταλλοι 1–4,5 mm σε ομάδες  |
| Λίπασμα ΝΡΚ 16-5-12              | Heroya          | 34°                        | —                           | 1,0                | Κρύσταλλοι 1–4,5 mm σε ομάδες  |
| Λίπασμα ΝΡΚ 20-9-0               | Heroya          | 35°                        | —                           | 1,0                | Κρύσταλλοι 1–4,5 mm σε ομάδες  |
| Λίπασμα (ανάμεικτο)              | Φλώριδα ΗΠΑ     | 50°                        | 37,0                        | 1,032              | Μικροί κρύσταλλοι, γκρι ως καφέ, άοσμο, υγρασία 1%   |
| Μόλυβδος                         | Φιλαδέλφεια ΗΠΑ | 45°                        | 18,0                        | 0,302              | Βαριά σκόνη με περιεκτικότητα 58–62% μόλυβδο. Η σκόνη σε συγκέντρωση πάνω από 0,2 mg/m <sup>3</sup> είναι τοξική |
| Μόλυβδος                         | Καλιφόρνια ΗΠΑ  | 22°                        | 60,0                        | 1,673              | Ψαθυρά, μαύρο, άοσμο, χωρίς υγρασία  |
| Όξινο ανθρακικό ασβέστιο         | Καλιφόρνια ΗΠΑ  | 25°                        | 50,0                        | 1,394              | Λευκό, υγρασία 0,02%   |
| Όξινο ανθρακικό ασβέστιο (Dense) | Τέξας ΗΠΑ       | 40°                        | 45,0                        | 1,254              | Λευκή πούδρα, άοσμο, χωρίς υγρασία   |
| Πηλός                            | Τζόρτζια ΗΠΑ    | 30°                        | 48,0                        | 1,339              | 100% σκόνη, λευκό, άοσμο, υγρασία 60%  |
| Πηλός                            | Σικάγο ΗΠΑ      | 30°–35°                    | 36,0–46,0                   | 1,003–1,115        | Σκόνη, γκρι, άοσμο, υγρασία 6–7%   |
| Ποτάσα                           | Καλιφόρνια ΗΠΑ  | 35°                        | 35,0–37,0                   | 0,976–1,032        | Με μορφή κόκκων, λευκό, άοσμο, μεταβλητή υγρασία   |
| Ποτάσα                           | Τέξας ΗΠΑ       | 32°                        | 31                          | 0,861              | Με μορφή κόκκων, λευκό, άοσμο, υγρασία 1–2%  |
| Ποτάσα (Muriate of)              | Τέξας ΗΠΑ       | 45°–47°                    | 38,0–40,0                   | 1,059–1,115        | 85% κόκκοι, 15% πούδρα, μωροδιά ιωδίου, μεταβλητή υγρασία  |
| Ροδονίτης                        | Σαουδική Αραβία | ~45°                       |                             | 0,22±20%           | Διάφορα μεγέθη 0–300 mm, 0–100 mm, 0–50 mm, 0–25 mm, 0–6 mm.   |
| Σιδηρομαγνήσιο                   | Σαουδική Αραβία | ~45°                       |                             | 0,3±20%            | Διάφορα μεγέθη 0–300 mm, 0–100 mm, 0–50 mm, 0–25 mm, 0–6 mm  |
| Σιδηρομαγνήσιο                   | Τασμανία        | —                          | 9,0                         | —                  | —  |

(συνεχίζεται)

| Φορτίο            | Προέλευση       | Γωνία αναπαύσεως σε μοίρες | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                    | Σύντομη περιγραφή του και κατανομή μεγέθους του  |
|-------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|--|
|                   |                 |                            | ft <sup>3</sup> /LT         | m <sup>3</sup> /MT |  |
| Σιδηροχρώμιο      |                 | ~45°                       | 0,22± 20%                   |                    | Διάφορα μεγέθη 0–300 mm, 0–100 mm, 0–50 mm, 0–25 mm, 0–6 mm                                |
| Σπόρος μπαμπακιού | Καλιφόρνια ΗΠΑ  | 20°                        | 60,0–65,0                   | 1,673–1,812        | Κίτρινο, άοσμο, υγρασία 3%   |
| Σπόρος μπαμπακιού | Τέξας ΗΠΑ       | 32°-35°                    | 65,0                        | 1,812              | Λεπτές φλούδες, πάχος 1/8", μήκος 2–4" και πλάτος 3", κίτρινωπό, άοσμο, υγρασία 4–6%       |
| Σπόρος μπαμπακιού | Τέξας ΗΠΑ       | 32°                        | 60,0                        | 1,673              | Κίτρινωπό προς καφέ, άοσμο, υγρασία 5–8%   |
| Τοιμέντο          | Δανία           |                            |                             | 0,74               | Όλες οι ιδιότητες εξαρτώνται από την ποσότητα αέρα που παράγεται στο κύτος κατά τη φόρτωση |
| Τοιμέντο          | Καλιφόρνια ΗΠΑ  | 12°                        | 23,0                        | 0,6414             | Λεπτόκκοκο, γκρι, άοσμο, χωρίς υγρασία   |
| Τοιμέντο          | Ιαπωνία         | 40°                        | 24,0                        | 0,669              | Λεπτόκκοκο, γκρι, άοσμο, χωρίς υγρασία   |
| Τοιμέντο          | Νορβηγία        | ~ 60°                      | ~24,0                       |                    |  |
| Τοιμέντο          | Ιαπωνία         | 24°                        | 28,0                        | 0,78               | Χαλίκια > 40% 12% 40–5 mm 68% < 5 mm 20% χωρίς υγρασία                                     |
| Φωσφορικό άλας    | Φλώριδα ΗΠΑ     | 31°-34°                    | 20,0–28,0<br>40,0–45,0      | 0,725<br>0,78      |  |
| Φωσφορικό οξύ     | Μέριλαντ ΗΠΑ    | 35°                        | 34,0                        | 0,948              | Κόκκοι, γκρι, άοσμο, υγρασία 2–7%  |
| Χαλκός            | Φιλαδέλφεια ΗΠΑ | 45°                        | 8,9-11,6                    | 0,248<br>0,323     | Μικρές μεταλλικές πέτρες 1/8"–1" 75%, χαλκός 15% προσμείξεις μαύρο, άοσμο, χωρίς υγρασία   |

**Σημείωση.**

Όπου η γωνία αναπαύσεως πλησιάζει στις 35°, θα πρέπει να γίνεται μέτρηση για τον ακριβή προσδιορισμό της, ώστε να διαπιστώνεται ποιο ακριβώς κανονισμοί πρέπει να τηρηθούν.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΚΤΟ

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΩΣΕΩΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΩΝ

| Συμπύκνωμα                | Προέλευση                       | Γωνία αναπαύσεως σε μοίρες | Όριο υγρασίας για μεταφορά | Μέση υγρασία στο σημείο φορτώσεως | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                    | Σύντομη περιγραφή συμπυκνώματος και κατανομή μεγέθους του |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|---|
|                           |                                 |                            |                            |                                   | ft <sup>3</sup> /LT         | m <sup>3</sup> /MT |   |
| Αλάτι                     | Νότιος Αυστραλία                | —                          | —                          | —                                 | —                           | —                  | Οι πληροφορίες ποικίλλουν και δίνονται κατά περίπτωση     |
| Αλουμίνα                  | Δυτική Αυστραλία                | —                          | —                          | —                                 | —                           | —                  | »   |
| Άμμος                     | Νότιος Αυστραλία                | —                          | —                          | —                                 | —                           | —                  | »   |
| Θειικό βάριο              | Νότιος Αυστραλία, Νότιος Ουαλία | 30°                        | —                          | —                                 | 8,1                         | —                  | Χαλίκια 1 /8"   |
| Θειικός μόλυβδος          | Μεταλλεία Κασσάνδρας            | 38° σε υγρασία 9%          | 11%                        | 7–11%                             | 16,25                       | 0,46               |   |
| Θειικός σίδηρος           | Bleikvassli Grube Fosdalen      | ~41°                       | 9%                         | 5–9%                              | —                           | 0,45               |   |
| Θειικός σίδηρος           | Bergverks A/S Malm              | 40–45°                     | 8%                         | 4,5–9%                            | 13,06                       | 0,37               |   |
| Θειικός σίδηρος           | A/S Sulityelma Gruber           | ~43°                       | 9%                         | ~7%                               | —                           | 0,45               |   |
| Θειικός σίδηρος           | A/S Vigsnes Kobberverk          | 47°                        | 7%                         | 7,10%                             | 15,2                        | 0,43               |   |
| Θειικός σίδηρος           | A/S Stordo                      | 35°                        | 4%                         | 3,5%                              | 16,0                        | —                  | 0 ως 0,5 mm   |
| (Χωρίς χαλκό)             | Kisg ruber                      | πάνω                       | —                          | —                                 | —                           | —                  |   |
| Θείο                      | Killingdal Grube                | από 35°                    | 6%                         | 5%                                | —                           | 0,42               | 100% < 0,21 mm  |
| Θειώδες ψευδαργυρικό άλας | Μεταλλεία Κασσάνδρας            | 38° σε υγρασία 9%          | 11%                        | 7–11%                             | 16,25                       | 0,46               |   |

(συνεχίζεται)

| Συμπύκνωμα          | Προέλευση                   | Γωνία ανα-<br>παύσεως σε<br>μοίρες | Όριο υγρα-<br>σίας για<br>μεταφορά<br>φορά | Μέση<br>υγρασία<br>στο σημείο<br>φορτώσεως | Συντελεστής<br>στοιβασίας<br>S.F. |                    | Σύντομη περιγρα-<br>φή συμπυκνώ-<br>ματος και κατανο-<br>μή μεγέθους του |
|---------------------|-----------------------------|------------------------------------|--|--|-----------------------------------|--------------------|--|
|                     |                             |                                    |  |  | ft <sup>3</sup> /LT               | m <sup>3</sup> /MT |  |
| Μαγγάνιο            | Μαύρη<br>θάλασσα<br>Βαλτική |                                    |  |  |                                   |                    | Οι πληροφορίες<br>ποικίλλουν και<br>δίνονται κατά<br>περίπτωση           |
| Μαγνησίτης          | Δυτική<br>Αυστραλία         |                                    |  |  |                                   |                    | Λεπτή πούδρα   |
| Μόλυβδος            | Τασμανία                    | >35°                               | 10%  | 15%  | 18,0                              |                    | 0,3–0,07 mm  |
| Μόλυβδος            | Άπω Ανατολή                 | 40°                                | 10%  | 7–14%                                      | —                                 | 0,24               |  |
| Μόλυβδος            | Great Lakes<br>ΗΠΑ          | —                                  | 9,6%                                       | μεταβλητό                                  | —                                 | —                  | —  |
| Μόλυβδος            | New Castle                  | —                                  | 10,1%                                      | »  | —                                 | —                  | —  |
| Μόλυβδος            | New Foundland               | —                                  | 7,9%                                       | »  | —                                 | —                  | —  |
| Μόλυβδος            | New Westmin-<br>ster        | —                                  | —  | —  | —                                 | —                  | Χαρακτηριστικά<br>ποικίλλουν   |
| Μόλυβδος            | Quebec                      | —                                  | 10,4%                                      | μεταβλητό                                  | —                                 | —                  | —  |
| Μόλυβδος            | Quebec                      | —                                  | 8,3%                                       | »  | —                                 | —                  | —  |
| Μόλυβδος            | Bleikvassii                 | ~41°                               | 7%   | 6–8%                                       | —                                 | 0,4                | —  |
| Μόλυβδος-<br>χαλκός | New castle                  | —                                  | 11,2%                                      | μεταβλητό                                  | —                                 | —                  | —  |
| Μόλυβδος-<br>ασήμι  | Χάλιφαξ                     | —                                  | 8,2%                                       | μεταβλητό                                  | —                                 | —                  | —  |
| Νικέλιο             | Βανκούβερ                   | —                                  | 11,8%                                      | μεταβλητό                                  | —                                 | —                  | —  |
| Πυρίτης             | Τασμανία                    | —                                  | —  | —  | —                                 | —                  | Χαρακτηριστικά<br>ποικίλλουν   |
| Σίδηρος             | New Foundland               | —                                  | —  | —  | —                                 | —                  | Εμπλουτισμένο<br>ορυκτό  |
| Σίδηρος             | Μαύρη θάλασ-<br>σα Βαλτική  | 40°                                | 11,6%                                      | 6–10%                                      | —                                 | 0,38               | 0,99-0,05 mm   |
| Σίδηρος             | Quebec                      | —                                  | —  | —  | —                                 | —                  | Χαρακτηριστικά<br>ποικίλλουν   |
| Σίδηρος             | Prince Rupert               | 44°                                | 6,79%                                      | 5,9%                                       | 11,2                              | —                  | —  |
| Σίδηρος             | Βανκούβερ                   | —                                  | 7,7%                                       | μεταβλητό                                  | —                                 | —                  | —  |
| Σίδηρος             | Vancouver<br>Island B.C     | 35°                                | Δεν εφαρ-<br>μόζεται                       | 1%   | 12,5                              | —                  | —  |
| Σίδηρος             | Vancouver<br>Island B.C     | —                                  | 10,4%                                      | 8%   | —                                 | —                  | —  |
| Σίδηρος             | Vancouver<br>Island B.C     | —                                  | 7%   | μεταβλητό                                  | —                                 | —                  | —  |

(συνεχίζεται)

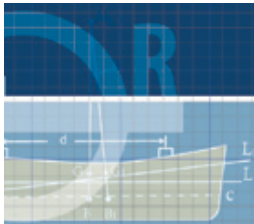
| Συμπύκνωμα       | Προέλευση                      | Γωνία αναπαύσεως σε μοίρες | Όριο υγρασίας για μεταφορά | Μέση υγρασία στο σημείο φορτώσεως | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                    | Σύντομη περιγραφή συμπυκνώματος και κατανομή μεγέθους του |
|------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|---|
|                  |                                |                            |                            |                                   | ft <sup>3</sup> /LT         | m <sup>3</sup> /MT |   |
| Σίδηρος          | Vancouver Island B.C           | —                          | 7,2%                       | μεταβλητό                         | —                           | —                  | —   |
| Σίδηρος          | Vancouver Island B.C           | 45°                        | 6,7%                       | 5%                                | 11,4                        | —                  | —   |
| Σιδηρομετάλλευμα | Brastad Gruber Oyestad Arendal | 75°                        | 7%                         | 6%                                | —                           | ~0,33              | 0–2 mm  |
| Σιδηρομετάλλευμα | Ats Rodsand Gruber Fosdalen    | 40°                        | 7%                         | 6,0%                              | —                           | 0,33               |   |
| Σιδηρομετάλλευμα | Bergrerks Als Malm             | 40-45°                     | 9,5%                       | 6,0–9,5%                          | 14,12                       | 0,40               |   |
| Σιδηρομετάλλευμα | Titania A/S Tellnes            | 40°                        | 8,5%                       | 6,7%                              | —                           | ~0,41              |   |
| Τιτάνιο          | Μαύρη Θάλασσα Βαλκική          | 35°                        | 10%                        | 7%                                | —                           | 0,36               | 0,5–0,12 mm   |
| Χαλκός           | Βόρεια Αυστραλία               | 43°                        | 7%                         | μεταβλητό                         | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Νότιος Αυστραλία               | 43°                        | 7%                         | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Δυτική Αυστραλία               | 43°                        | 7%                         | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Dahlousie                      | —                          | 11,1%                      | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Great Lakes, ΗΠΑ               | —                          | —                          | —                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | New Castle                     | —                          | 11,9%                      | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | New Foundland                  | —                          | 11,2%                      | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Quebec                         | —                          | 10,4%                      | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Quebec                         | —                          | 10,9%                      | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Βανκούβερ                      | —                          | 10,1%                      | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Βανκούβερ                      | —                          | 10,3%                      | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Βανκούβερ                      | —                          | 10,2%                      | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Vancouver Island B.C           | —                          | 9,8%                       | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Vancouver Island B.C           | —                          | 9,4%                       | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Vancouver Island B.C           | —                          | 9,9%                       | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός           | Vancouver Island B.C           | —                          | 9,6%                       | »                                 | —                           | —                  | —   |

(συνεχίζεται)

| Συμπύκνωμα  | Προέλευση                     | Γωνία αναπαύσεως σε μοίρες | Όριο υγρασίας για μεταφορά | Μέση υγρασία στο σημείο φορτώσεως | Συντελεστής στοιβασίας S.F. |                    | Σύντομη περιγραφή συμπυκνώματος και κατανομή μεγέθους του |
|-------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|---|
|             |                               |                            |                            |                                   | ft <sup>3</sup> /LT         | m <sup>3</sup> /MT |   |
| Χαλκός      | Vancouver Island B.C          | —                          | 9,4%                       | μεταβλητό                         | —                           | —                  | —   |
| Χαλκός      | Folldal gruber                | 45°                        | 9%                         | 9-10%                             | —                           | 0,4                |   |
| Χαλκός      | Killingdal gruber             | >35°                       | 11,5%                      | 10%                               | —                           | 0,5                | 100% < 0,21 mm<br>70% < 0,074 mm                          |
| Χαλκός      | A/S Vigsnes Kobberverk        | 50°                        | 8%                         | 6%                                | 18,0                        | 0,51               |   |
| Ψευδάργυρος | Άπω Ανατολή                   | 40°                        | 12%                        | 12%                               | 10-14%                      | 0,43               | 0,3-0,071 mm  |
| Ψευδάργυρος | Dahlousie                     | —                          | 11,2%                      | μεταβλητό                         | —                           | —                  | 0   |
| Ψευδάργυρος | Montreal                      | 40°                        | 10,6%                      | 9,5%                              | 18,0                        | —                  | 0   |
| Ψευδάργυρος | New Castle                    | —                          | 11,4%                      | μεταβλητό                         | —                           | —                  |   |
| Ψευδάργυρος | New foundland                 | —                          | 10,2%                      | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Ψευδάργυρος | Quebec                        | »                          | 11,0%                      | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Ψευδάργυρος |                               | —                          | 9,8%                       | »                                 | —                           | —                  | —   |
| Ψευδάργυρος |                               | 35°-40°                    | 9,5%                       | 5,5%                              | 16,0-17,0                   | —                  | —   |
| Ψευδάργυρος |                               | —                          | 10,8%                      | μεταβλητό                         | —                           | —                  | —   |
| Ψευδάργυρος |                               | 50°                        | 10,0%                      | 6,4%                              | 17,4                        | —                  | —   |
| Ψευδάργυρος |                               | —                          | 10,0%                      | μεταβλητό                         | —                           | —                  | —   |
| Ψευδάργυρος |                               | 45°                        | 9,9%                       | 8,63%                             | 15,3                        | —                  | —   |
| Ψευδάργυρος |                               | 40°                        | 10,4%                      | 10,2%                             | 20,0                        | —                  | —   |
| Ψευδάργυρος | Νότιος Αυστραλία              | >35°                       | 7%                         | 4,2%                              |                             |                    |   |
| Ψευδάργυρος | Bleikvassei Grube             | ~ 42°                      | 9,5%                       | 7-10%                             |                             | 0,5                | —   |
| Ψευδάργυρος | Folldal Gruber                | 45°                        | 10,5%                      | 9-10%                             | —                           | 0,4                | —   |
| Ψευδάργυρος | Killindal Grube A/S           | >35°                       | 9,5%                       | 8%                                |                             | 0,5                | 100% < 0,231 mm<br>70% < 0,074 mm                         |
| Ψευδάργυρος | Sulitzelma Gruber A/S Vigsnes | ~43°                       | 12%                        | ~8,5%                             |                             | 0,5                |   |
| Ψευδάργυρος | Kobberverk                    | 50°                        | 8,5%                       | 8,5%                              | 16,0                        | 16,0               |   |

**Σημείωση.**

Όπου η γωνία αναπαύσεως πλησιάζει τις 35°, θα πρέπει να γίνεται μέτρηση για τον ακριβή προσδιορισμό της, ώστε να διαπιστώνεται ποιοι ακριβώς κανονισμοί πρέπει να τηρηθούν.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

### 1. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ – ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.1 | Γενικά                                 | 9  |
| 1.2 | Άξονες και επίπεδα αναφοράς του πλοίου | 9  |
| 1.3 | Απλοποιημένη μορφή πλοίου              | 10 |
| 1.4 | Επιφάνεια και διαστάσεις αναφοράς      | 11 |
| 1.5 | Ορισμοί βασικών διαστάσεων πλοίου      | 11 |
| 1.6 | Βασική ονοματολογία                    | 13 |
| 1.7 | Σχέδιο γραμμών                         | 15 |

### 2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΓΡΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

|       |                                      |    |
|-------|--------------------------------------|----|
| 2.1   | Μάζα και βάρος                       | 17 |
| 2.2   | Πυκνότητα και ειδικό βάρος           | 18 |
| 2.2.1 | Διαπίστωση στάθμης υγρού σε δεξαμενή | 20 |
| 2.3   | Συντελεστές στοιβασίας               | 20 |
| 2.4   | Η πυκνότητα του νερού                | 22 |

### 3. ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ – ΚΕΝΤΡΑ ΒΑΡΟΥΣ

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.1  | Βασικοί ορισμοί  | 25 |
| 3.2  | Αξιώματα της στατικής  | 25 |
| 3.3  | Συνισταμένη παραλλήλων δυνάμεων                                | 26 |
| 3.4  | Ανάλυση δυνάμεως σε συνιστώσες                                 | 27 |
| 3.5  | Ροπή δυνάμεως ως προς άξονα                                    | 28 |
| 3.6  | Ζεύγος δυνάμεων  | 29 |
| 3.7  | Ισορροπία δυνάμεων   | 29 |
| 3.8  | Εύρεση συνισταμένης παραλλήλων δυνάμεων                        | 30 |
| 3.9  | Κέντρο βάρους σώματος  | 31 |
| 3.10 | Πρακτικοί τρόποι ευρέσεως του κέντρου βάρους επιπέδων σχημάτων | 32 |

### 4. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.1 | Εισαγωγή   | 35 |
| 4.2 | Γεωμετρικές ιδιότητες επίπεδης επιφάνειας                                    | 35 |
| 4.3 | Γεωμετρικές ιδιότητες μη κανονικού (ακανόνιστου) όγκου                       | 37 |
| 4.4 | Τύποι και μεθοδολογία ευρέσεως γεωμετρικών ιδιοτήτων μη κανονικής επιφάνειας | 38 |
| 4.5 | Τύποι και μεθοδολογία ευρέσεως γεωμετρικών ιδιοτήτων μη κανονικού όγκου      | 43 |
| 4.6 | Μονάδες που χρησιμοποιούνται στη διεθνή ναυτιλιακή πρακτική                  | 43 |

### 5. ΕΥΡΕΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 5.1 | Εισαγωγή   | 45 |
| 5.2 | Εύρεση ιδιοτήτων ισάλων πλοίου                           | 45 |
| 5.3 | Εύρεση ιδιοτήτων εγκάρσιων τομών του πλοίου              | 48 |
| 5.4 | Εύρεση ιδιοτήτων όγκου της γάστρας με διαμήκη ολοκλήρωση | 48 |
| 5.5 | Εύρεση ιδιοτήτων όγκου με κατακόρυφη ολοκλήρωση          | 49 |
| 5.6 | Υδροστατικό διάγραμμα                                    | 50 |
| 5.7 | Υδροστατικά στοιχεία πλοίου με διαγωγή                   | 56 |
| 5.8 | Γεωμετρικές ιδιότητες χώρων του πλοίου                   | 58 |
| 5.9 | Χωρητικότητα κυτών                                       | 61 |

## 6. ΕΥΡΕΣΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΣΕΩΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 6.1 | Γενικά. . . . .  | 65 |
| 6.2 | Εύρεση βάρους και θέσεως κέντρου βάρους άφορτου πλοίου. . . . .                            | 65 |
| 6.3 | Εύρεση βάρους και θέσεως κέντρου βάρους του πλοίου μετά από προσθαφαίρεση βαρών. . . . .   | 66 |
| 6.4 | Εύρεση βάρους και θέσεως κέντρου βάρους πλοίου σε τυχούσα κατάσταση φορτώσεώς του. . . . . | 67 |
| 6.5 | Μη ομοιόμορφο φορτίο σε κύτος. . . . .   | 72 |
| 6.6 | Επίδραση μεταφοράς φορτίου στη θέση του κέντρου βάρους. . . . .                            | 73 |
| 6.7 | Αναρτημένα βάρη. . . . .   | 75 |

## 7. ΑΝΩΣΗ - ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ - ΠΛΕΥΣΤΟΤΗΤΑ

|      |   |    |
|------|---|----|
| 7.1  | Ορισμός του εκτοπίσματος – Αρχή του Αρχιμήδη. . . . .                                     | 77 |
| 7.2  | Προσδιορισμός της πυκνότητας του θαλάσσιου νερού – Όργανα μετρήσεώς της. . . . .          | 78 |
| 7.3  | Συσχετισμός εκτοπιζόμενου όγκου υγρού με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου. . . . . | 79 |
| 7.4  | Επίδραση της πυκνότητας στα βυθίσματα του πλοίου. . . . .                                 | 79 |
| 7.5  | Πλευστότητα – Εφεδρική πλευστότητα – Ύψος εξάλων – Μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα. . . . .  | 79 |
| 7.6  | Ορισμός και χρήση της ανοχής γλυκού νερού. . . . .  | 80 |
| 7.7  | Ορισμός και χρήση της ανοχής υφάλμυρου νερού. . . . .                                     | 81 |
| 7.8  | Εύρεση εκτοπίσματος (βάρους) ισοβύθιστου πλοίου που δεν έχει υποσθει κάμψη. . . . .       | 81 |
| 7.9  | Τόνοι ανά cm ή ανά in βυθίσεως. . . . .   | 82 |
| 7.10 | Παράγοντες που επηρεάζουν το TPC και την ακρίβεια της χρήσεώς του. . . . .                | 84 |
| 7.11 | Εκτίμηση της μεταβολής του βυθίσματος με χρήση του TPC. . . . .                           | 84 |
| 7.12 | Κλίμακα φορτώσεως. . . . .  | 85 |

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

### 8. ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΜΙΚΡΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΚΛΙΣΕΩΣ (ΑΡΧΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ)

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 8.1 | Γενικά. Σκοπός μελέτης της ευστάθειας. . . . .   | 87  |
| 8.2 | Ροπή υδροστατικής προελεύσεως. Η έννοια του εγκάρσιου μετακέντρου. . . . .                     | 89  |
| 8.3 | Αιτίες δημιουργίας εγκάρσιων κλίσεων. Σημασία του εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους. . . . .       | 92  |
| 8.4 | Προσδιορισμός του μετακεντρικού ύψους. . . . .   | 94  |
| 8.5 | Εύρεση στοιχείων άφορτου πλοίου. Το πείραμα ευστάθειας. . . . .                                | 94  |
|     | 8.5.1 Μέθοδος ευρέσεως στοιχείων του άφορτου πλοίου. . . . .                                   | 94  |
|     | 8.5.2 Θεωρία του πειράματος ευστάθειας. . . . .  | 95  |
|     | 8.5.3 Προετοιμασία για την πραγματοποίηση του πειράματος ευστάθειας. . . . .                   | 96  |
|     | 8.5.4 Εκτέλεση του πειράματος ευστάθειας. . . . .  | 97  |
|     | 8.5.5 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του πειράματος ευστάθειας. . . . .                          | 97  |
|     | 8.5.6 Αναφορά πειράματος ευστάθειας. . . . .   | 98  |
|     | 8.5.7 Συχνότητα πραγματοποιήσεως του πειράματος. . . . .                                       | 99  |
|     | 8.5.8 Πρόχειρο πείραμα ευστάθειας. . . . .   | 99  |
|     | 8.5.9 Πείραμα ευστάθειας με μηδενικό ή αρνητικό μετακεντρικό ύψος. . . . .                     | 99  |
| 8.6 | Προσδιορισμός μετακεντρικού ύψους από την περίοδο διατοιχισμού. . . . .                        | 99  |
| 8.7 | Διαγράμματα περιόδου διατοιχισμού – μετακεντρικού ύψους. . . . .                               | 100 |
| 8.8 | Εγκάρσια κλίση λόγω ασυμμετρίας στην εγκάρσια κατανομή βαρών. Μέθοδος διορθώσεως . . . . .     | 103 |
| 8.9 | Υπολογισμός εγκάρσιας κλίσεως κατά τη διάρκεια της φορτώσεως και από τη χρήση γερανών. . . . . | 104 |

### 9. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΥΓΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 9.1 | Γενικά για τις ελεύθερες επιφάνειες υγρών. . . . .                          | 109 |
| 9.2 | Επίδραση ελευθέρων επιφανειών υγρών στην ευστάθεια. . . . .                 | 109 |
| 9.3 | Τρόποι υπολογισμού ελευθέρων επιφανειών. . . . .                            | 111 |
| 9.4 | Προφυλάξεις και αντιμετώπιση του κινδύνου ελευθέρων επιφανειών. . . . .     | 114 |
| 9.5 | Νομογράφημα για τον υπολογισμό της επιδράσεως ελευθέρων επιφανειών. . . . . | 115 |

### 10. ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΚΛΙΣΕΩΣ

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 10.1 | Εισαγωγή. . . . .  | 117 |
| 10.2 | Μέθοδοι υπολογισμού των μοχλοβραχιόνων επαναφοράς. . . . . | 117 |
|      | 10.2.1 Μέθοδος Atwood. . . . .                             | 118 |
|      | 10.2.2 Μέθοδος Scribanti. . . . .                          | 119 |



|   |     |
|---|-----|
| 10.2.3 Άλλες μέθοδοι υπολογισμού. . . . .   | 119 |
| 10.3 Παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας. . . . .  | 120 |
| 10.4 Διεθνείς απαιτήσεις για τους υπολογισμούς των παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας. . . . .    | 120 |
| 10.5 Πίνακες μοχλοβραχιόνων επαναφοράς. . . . .   | 121 |
| 10.6 Καμπύλες ευστάθειας. . . . .   | 122 |
| 10.7 Εύρεση στοιχείων της καμπύλης ευστάθειας από τις παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας. . . . . | 123 |
| 10.8 Ιδιότητες της καμπύλης ευστάθειας. . . . .   | 125 |
| 10.9 Διορθώσεις καμπυλών ευστάθειας. . . . .  | 126 |
| 10.10 Συσχετισμός της αρχικής ευστάθειας με την ευστάθεια μεγάλων γωνιών κλίσεως. . . . .       | 134 |
| 10.11 Καμπύλη ευστάθειας πλοίου με αρνητικό μετακεντρικό ύψος. . . . .                          | 136 |
| 10.12 Συνδυασμός αρνητικού μετακεντρικού ύψους και ασύμμετρης κατανομής βαρών. . . . .          | 137 |
| 10.13 Συσκευές υπολογισμού και ενδείκτες ευστάθειας. . . . .                                    | 137 |

## 11. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

|  |     |
|--|-----|
| 11.1 Ορισμός. Πρακτική εξήγηση της έννοιας της δυναμικής ευστάθειας. . . . .                       | 139 |
| 11.2 Γωνία εγκάρσιας κλίσεως του πλοίου κάτω από την επίδραση εξωτερικής ροπής. . . . .            | 140 |
| 11.3 Σημασία της δυναμικής ευστάθειας για την ασφάλεια του πλοίου. . . . .                         | 141 |
| 11.4 Υπολογισμοί της δυναμικής ευστάθειας. Η έννοια του μετροακτινίου και της μετρομοίρας. . . . . | 141 |
| 11.5 Απομένουσα δυναμική ευστάθεια. . . . .  | 143 |
| 11.6 Σύγχρονος διατοικισμός και παραμετρικός συντονισμός. . . . .                                  | 143 |

## 12. ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ - ΔΙΑΓΩΓΗ

|  |     |
|--|-----|
| 12.1 Διαμήκης ευστάθεια. . . . .   | 145 |
| 12.2 Διαγωγή, ορισμός, σημασία της διαγωγής, επιπτώσεις στην εγκάρσια ευστάθεια. . . . .   | 145 |
| 12.3 Διαμήκης θέση κέντρου βάρους. . . . .   | 147 |
| 12.4 Διαμήκης θέση κέντρου ανώσεως. . . . .  | 147 |
| 12.5 Μεταβολές της θέσεως των ανωτέρω και λόγοι που τις προκαλούν. . . . .   | 147 |
| 12.6 Συνθήκες διαμήκου ευστάθειας και διαμήκου ισορροπίας. . . . .   | 148 |
| 12.7 Μεταβολές της διαγωγής. . . . .   | 149 |
| 12.8 Σημασία της σχετικής θέσεως των Β και G. . . . .  | 149 |
| 12.9 Ροπή διαγωγής και ροπή που μεταβάλλει τη διαγωγή κατά μία μονάδα (MTC). . . . .   | 150 |
| 12.10 Υπολογισμοί για τον προσδιορισμό του διαμήκου κέντρου βάρους, της διαγωγής και των βυθισμάτων, όταν δίνεται η άφορη κατάσταση (light ship) και τα διάφορα φορτία, χωρίς να είναι γνωστά τα αρχικά βυθίσματα. . . . . | 151 |
| 12.11 Υπολογισμός του LCG από τη διαγωγή. . . . .  | 153 |
| 12.12 Κέντρο ζυγοσταθμίσσεως, έννοια, θέση του, μετακινήσεις του, σημασία του για τη μεταβολή βυθισμάτων. . . . .  | 153 |
| 12.13 Σχευκοί υπολογισμοί επί των ανωτέρω. . . . .   | 154 |
| 12.14 Μέθοδοι υπολογισμού των τελικών βυθισμάτων όταν είναι γνωστά τα αρχικά βυθίσματα πλοίου και εκτελείται φορτοεκφόρτωση ενός ή πολλών βαρών. Χρήση σχετικών πινάκων. . . . .   | 157 |
| 12.15 Ολοκλήρωση φορτώσεως με επιθυμητή διαγωγή. . . . .   | 162 |
| 12.16 Προϋπολογισμός βυθισμάτων κατάπλου. . . . .  | 164 |
| 12.17 Κατάπλου με επιθυμητή διαγωγή. . . . .   | 166 |
| 12.18 Μεταβολή βυθίσματος μόνο στο ένα άκρο. . . . .   | 167 |
| 12.19 Επίδραση της πυκνότητας στη διαγωγή. . . . .   | 168 |
| 12.20 Διορθώσεις διαγωγής με τη βοήθεια νομογραφημάτων που υπάρχουν στα πλοία. . . . .   | 171 |
| 12.21 Στοιχεία που χρειάζονται για την εύρεση της διαγωγής. . . . .  | 173 |
| 12.22 Ακριβής προσδιορισμός του εκτόπισματος. . . . .  | 174 |
| 12.22.1 Γενικά. . . . .  | 174 |
| 12.22.2 Αναγωγή βυθισμάτων στις καθέτους. . . . .  | 174 |
| 12.22.3 Επίδραση της κάμψεως. . . . .  | 175 |
| 12.22.4 Διόρθωση εκτόπισματος λόγω διαγωγής. . . . .   | 177 |
| 12.22.5 Διόρθωση λόγω μεταβολής ειδικού βάρους του νερού. . . . .  | 179 |
| 12.22.6 Σύνοψη διορθώσεων στο εκτόπισμα. . . . .   | 179 |
| 12.23 Εκτίμηση φορτίου που έχει παραληφθεί στη φόρτωση. . . . .  | 180 |

## ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ: ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

### 13. ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΜΑΤΑ

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 13.1 Γενικά. . . . . | 183 |
|----------------------|-----|

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 13.2    | Αιτίες και επιπτώσεις εγκάρσιων κλίσεων. . . . .  | 183 |
| 13.3    | Εγκάρσια κλίση λόγω αρνητικού μετακεντρικού ύψους. . . . .  | 184 |
| 13.4    | Εγκάρσια κλίση λόγω εγκάρσιων ροπών. . . . .  | 185 |
| 13.4.1  | Εύρεση μικρών γωνιών εγκάρσιας κλίσεως με χρησιμοποίηση του μετακεντρικού ύψους. . . . .            | 188 |
| 13.4.2  | Εύρεση μικρών ή μεγάλων γωνιών εγκάρσιας κλίσεως με χρησιμοποίηση της καμπύλης ευστάθειας . . . . . | 189 |
| 13.5    | Αύξηση βυθίσματος με την εγκάρσια κλίση. . . . .  | 192 |
| 13.6    | Πρακτικά στοιχεία σχετικά με τη διόρθωση εγκάρσιων κλίσεων. . . . .                                 | 192 |
| 13.7    | Πρακτικά στοιχεία σχετικά με την ευστάθεια. Ερματισμός. . . . .                                     | 194 |
| 13.8    | Το καλοθάλασσο του πλοίου και η ευστάθεια. . . . .  | 195 |
| 13.9    | Δεξαμενισμός και προσάραξη. . . . .   | 195 |
| 13.9.1  | Γενικά. . . . .   | 195 |
| 13.9.2  | Δυνατότητα επαναπλεύσεως. . . . .   | 196 |
| 13.9.3  | Η αντοχή του πλοίου κατά την προσάραξη. . . . .   | 196 |
| 13.9.4  | Η ευστάθεια του πλοίου κατά την προσάραξη. . . . .  | 196 |
| 13.9.5  | Η ευστάθεια του πλοίου κατά το δεξαμενισμό. . . . .   | 198 |
| 13.10   | Έλεγχος βλαβών – Απαιτήσεις στεγανής υποδιαίρεσης. . . . .  | 200 |
| 13.10.1 | Έλεγχος βλαβών. Γενικά. . . . .   | 200 |
| 13.10.2 | Συνοπτικές απαιτήσεις στεγανής υποδιαίρεσης φορτηγών πλοίων. . . . .                                | 200 |
| 13.10.3 | Συνοπτικές απαιτήσεις στεγανής υποδιαίρεσης επιβατικών πλοίων. . . . .                              | 201 |
| 13.10.4 | Πρακτικά μέτρα προστασίας από ενδεχόμενη διαρροή. . . . .   | 205 |
| 13.11   | Επακόλουθα της κατακλύσεως. . . . .   | 205 |
| 13.12   | Απώλεια πλευστότητας και πιθανότητα βυθίσεως του πλοίου μετά από κατάκλυση. . . . .                 | 213 |
| 13.13   | Προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση διαρροής. . . . .   | 213 |
| 13.14   | Γενικές αρχές για τα μέτρα αντιμετώπισης των επιπτώσεων της κατακλύσεως. . . . .                    | 214 |
| 13.15   | Εκτίμηση καταστάσεως μετά την κατάκλυση. . . . .  | 215 |
| 13.16   | Επιλογή διορθωτικών μέτρων. . . . .   | 216 |
| 13.17   | Εφαρμογή διορθωτικών μέτρων. . . . .  | 217 |
| 13.18   | Πρακτικά μέτρα για την αντιμετώπιση της κατακλύσεως. . . . .  | 217 |
| 13.19   | Σχέδια και μελέτες για επιβατικά πλοία σχετικά με την προστασία από διαρροή. . . . .                | 219 |
| 13.20   | Σχέδια και μελέτες ειδικά για φορτηγά πλοία. . . . .  | 222 |

#### **14. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΕΓΑΝΗ ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ**

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 14.1 | Γενικά. . . . .  | 223 |
| 14.2 | Απαιτήσεις ευστάθειας φορτηγών πλοίων. . . . .   | 223 |
| 14.3 | Απαιτήσεις στεγανής υποδιαίρεσης φορτηγών πλοίων. . . . .                                      | 224 |
| 14.4 | Απαιτήσεις ευστάθειας των ελληνικών επιβατικών πλοίων στην άθικτη κατάσταση. . . . .           | 224 |
| 14.5 | Απαιτήσεις στεγανής υποδιαίρεσης και ευστάθειας επιβατικών πλοίων σε κατάσταση βλάβης. . . . . | 226 |
| 14.6 | Ενοποιημένες απαιτήσεις ευστάθειας. . . . .  | 227 |
| 14.7 | Απλοποιημένη προσέγγιση ευστάθειας. . . . .  | 227 |

#### **15. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΨΟΥΣ ΕΞΑΛΛΩΝ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑ ΤΥΠΟΥ Α ΚΑΙ Β**

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 15.1 | Γενικά. . . . .  | 231 |
| 15.2 | Καθορισμός ύψους εξάλων για πλοία τύπου Α και Β. . . . .                                     | 231 |
| 15.3 | Χάραξη των γραμμών φορτώσεως. . . . .  | 232 |
| 15.4 | Εφαρμογή κανονισμών γραμμής φορτώσεως. . . . .   | 234 |
| 15.5 | Υποχρεώσεις του πλοίαρχου ως προς την εφαρμογή της συμβάσεως περί Γραμμής Φορτώσεως. . . . . | 236 |

#### **16. ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΦΟΡΤΩΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΕΙΔΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ**

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 16.1   | Γενικά. . . . .   | 237 |
| 16.2   | Μεταφορά σιτηρών. . . . .                                   | 237 |
| 16.2.1 | Γενικές αρχές. . . . .                                      | 237 |
| 16.2.2 | Κανονισμοί φορτώσεως σιτηρών της SOLAS 1974. . . . .        | 239 |
| 16.2.3 | Υπολογισμοί που πραγματοποιούνται από τον πλοίαρχο. . . . . | 243 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 16.2.4 | Διευθέτηση του φορτίου – Πλοία ειδικά διαρρυθμισμένα για μεταφορά σιτηρών. . . . .               | 248 |
| 16.3   | Μεταφορά ξυλείας. . . . .  | 249 |
| 16.3.1 | Γενικά. Μονάδες μετρήσεως. . . . .   | 249 |
| 16.3.2 | Ύψος εξάλων για μεταφορά ξυλείας. . . . .  | 251 |
| 16.3.3 | Προϋποθέσεις για την εφαρμογή μειωμένου ύψους εξάλων. . . . .                                    | 251 |
| 16.3.4 | Η ξυλεία ως φορτίο πάνω στο κατάστρωμα. . . . .  | 254 |
| 16.3.5 | Προϋπολογισμός φορτίου ξυλείας που μπορεί να φορτωθεί στο πλοίο. . . . .                         | 254 |
| 16.4   | Φορτία πάνω στο κατάστρωμα . . . . .   | 260 |
| 16.4.1 | Γενικά. . . . .  | 260 |
| 16.4.2 | Παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη μεταφορά φορτίων πάνω στο κατάστρωμα. . . . . | 261 |
| 16.4.3 | Αντοχή του καταστρώματος. . . . .  | 261 |
| 16.5   | Μεταφορές ορυκτών και μεταλλευμάτων. . . . .   | 262 |
| 16.5.1 | Γενικά. . . . .  | 262 |
| 16.5.2 | Διατάξεις ΙΜΟ ως προς τη μεταφορά φορτίων χύδην. . . . .   | 263 |
| 16.5.3 | Καθήκοντα πλοιάρχου . . . . .  | 266 |
| 16.6   | Κατάταξη και χαρακτηριστικά αργού πετρελαίου και προϊόντων πετρελαίου. . . . .                   | 266 |
| 16.6.1 | Γενική περιγραφή και συστήματα δεξαμενόπλοιου. . . . .   | 269 |

### ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΚΟΠΩΣΕΙΣ ΠΛΟΙΟΥ 17. Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΩΣ ΡΑΒΔΟΥ

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 17.1   | Γενικά. . . . .  | 271 |
| 17.2   | Κριτήριο κατασκευαστικής αστοχίας του πλοίου. . . . .                | 272 |
| 17.3   | Στοιχεία από την αντοχή των υλικών. . . . .                          | 272 |
| 17.3.1 | Ορισμοί. . . . .   | 272 |
| 17.3.2 | Ισορροπία δοκού. . . . .   | 273 |
| 17.3.3 | Τάσεις εφελκυσμού και θλίψεως, λόγω κάμψεως της δοκού. . . . .       | 276 |
| 17.3.4 | Διατμητικές τάσεις σε δοκούς που κάμπτονται. . . . .                 | 286 |
| 17.4   | Η μελέτη της αντοχής του πλοίου ως δοκού. . . . .                    | 289 |
| 17.4.1 | Γενικά. . . . .  | 289 |
| 17.4.2 | Δυνάμεις βάρους. . . . .   | 289 |
| 17.4.3 | Δυνάμεις ανώσεως. . . . .  | 291 |
| 17.4.4 | Καμπύλη φορτίσεως. . . . .   | 292 |
| 17.4.5 | Καμπύλες τέμνουσας δυνάμεως και ροπής κάμψεως. . . . .               | 292 |
| 17.5   | Εύρεση των τάσεων. . . . .   | 293 |
| 17.6   | Συνθήκες υπολογισμού της αντοχής του πλοίου. . . . .                 | 294 |
| 17.7   | Σημασία των υπολογισμών. . . . .                                     | 294 |
| 17.8   | Προσεγγιστικός τρόπος εκτιμήσεως της μέγιστης ροπής κάμψεως. . . . . | 295 |
| 17.9   | Απαιτήσεις νηογνωμόνων για την αντοχή του πλοίου. . . . .            | 295 |
| 17.10  | Προσεγγιστική μέθοδος υπολογισμού μέγιστης ροπής Murray. . . . .     | 296 |

### 18. ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 18.1 | Εγκάρσια αντοχή. . . . .                               | 299 |
| 18.2 | Άλλες καταπονήσεις κατά την κίνηση του πλοίου. . . . . | 299 |
| 18.3 | Τοπική αντοχή. . . . .                                 | 299 |
| 18.4 | Κοπώσεις από σφυροκρούσεις . . . . .                   | 299 |
| 18.5 | Συσκευές υπολογισμού κοπώσεως. . . . .                 | 300 |

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

|                      |  |     |
|----------------------|--|-----|
| Παράρτημα Πρώτο:     | Μετρήσεις ύψους και βάθους στάθμης σε δεξαμενές πλοίων . . . . .                         | 301 |
| Παράρτημα Δεύτερο:   | Συστήματα μετρήσεως και μετατροπές μονάδων . . . . .                                     | 303 |
| Παράρτημα Τρίτο:     | Αλφαβητικός πίνακας συνηθισμένων φορτίων και αντίστοιχοι συντελεστές στοιβασίας. . . . . | 305 |
| Παράρτημα Τέταρτο:   | Πίνακας χαρακτηριστικών φορτώσεως ορυκτών. . . . .                                       | 309 |
| Παράρτημα Πέμπτο:    | Πίνακας χαρακτηριστικών φορτώσεως φορτίων χύδην . . . . .                                | 311 |
| Παράρτημα Έκτο:      | Πίνακας χαρακτηριστικών φορτώσεως συμπακνωμάτων. . . . .                                 | 315 |
| Περιεχόμενα. . . . . |  | 319 |

