

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Ευστάθεια - Μεταφορά Φορτίων

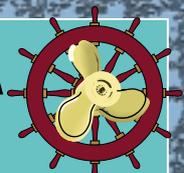
*Γρηγορόπουλος Γρηγόριος
Φωκός Δημήτριος
Βούλγαρης Στυλιανός*



ΤΕΧΝΙΚΑ - ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ

ΤΟΜΕΑΣ: **ΝΑΥΤΙΚΟΣ-ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟΣ**

ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ: **ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ**



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ • ΑΘΗΝΑ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΩΝ

Γρηγορόπουλος Γρηγόριος
Φωκάς Δημήτριος
Βούλγαρης Στυλιανός

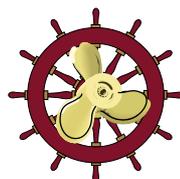
B
ΤΑΞΗ



ΤΕΧΝΙΚΑ - ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ

ΤΟΜΕΑΣ: **ΝΑΥΤΙΚΟΣ-ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟΣ**

ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ: **ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ**



ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

- Γρηγορόπουλος Γρηγόριος, Δρ. Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχ., Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.
- Φωκάς Δημήτριος, Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχ., Αντιπλοίαρχος Λ.Σ.
- Βούλγαρης Στυλιανός, Πλοίαρχος Β', Καθηγητής ΤΕΙ, Π.Ε. 18

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ

- Λουκάς Αθανάσιος, Ναυπηγός, Καθηγητής Τ.Ε.Ι.
- Καβάφης Ανδρέας, Πλοίαρχος Α' Ε.Ν.
- Χατζικωνσταντής Γεώργιος, Ναυπηγός, Καθηγητής ΤΕΕ, ΠΕ 12

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

- Γούναρη Ειρήνη, Φιλολόγος

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΕΙΜΕΝΩΝ

- Ψηλογιαννοπούλου Ειρήνη, Εκπαιδευτικός Δ.Ε.

ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

- Σπύρος Παπασπύρου, Καθηγητής Εφαρμογών Τ.Ε.Ι. Ηπείρου

ΑΤΕΛΙΕ

- Grafos

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αγαπητοί εκπαιδευτικοί και μαθητές του Ναυτικού-Ναυτιλιακού Τομέα,

Σίγουρα θα γνωρίζετε ότι η Ελλάδα, ως πρώτη ναυτική εμπορική δύναμη στον κόσμο, διανύει την 5η χιλιετία ναυτικής δράσης. Η θάλασσα ήταν και θα είναι πάντα πηγή ζωής και τρόπος εσωτερικής και διεθνούς επικοινωνίας για τους Έλληνες. Είναι ταυτισμένη με τη ζωή και την πορεία του λαού μας από την αρχαιότητα έως και σήμερα. Γνώση και πλούτος, δύναμη και βιοπορισμός, αλλά και δίψα για εμπειρίες και αναζήτηση διαφορετικού τρόπου ζωής ήταν τα κίνητρα που οδήγησαν τους Έλληνες να ασχοληθούν με το υγρό στοιχείο και να κατακτήσουν όλες τις θάλασσες του κόσμου.

Είναι γενικά παραδεκτό ότι ένας από τους βασικούς παράγοντες που συντέλεσε στην εντυπωσιακή ανάπτυξη της Ελληνικής ναυτιλίας είναι το ανθρώπινο δυναμικό της και για το λόγο αυτό η προσπάθεια της πολιτείας έχει επικεντρωθεί στη δημιουργία ικανών στελεχών γέφυρας και μηχανής, τα οποία, με συνεχιζόμενη κατάρτιση και επιμόρφωση θα ανταποκρίνονται καθ' όλη τη διάρκεια της ενεργού ζωής τους στις απαιτήσεις των διεθνών εξελίξεων στις ναυτικές μεταφορές και των υπερσύγχρονων πλοίων όλων των τύπων.

Οι νέοι που θα αποφασίσουν να σταδιοδρομήσουν ως στελέχη του εμπορικού ναυτικού, πρέπει να γνωρίζουν ότι το επάγγελμα αυτό απαιτεί αυξημένη ψυχική και σωματική αντοχή και αγάπη για τη θάλασσα. Από την πλευρά της, η εμπορική ναυτιλία τους προσφέρει μια δυναμική και αξιοπρεπή σταδιοδρομία με συγκριτικά πολύ υψηλότερες αποδοχές από αντίστοιχα επαγγέλματα της στεριάς. Επιπλέον, η πολιτεία, για την προσέλκυση των νέων στο ναυτικό επάγγελμα θεσμοθέτησε τη μείωση, από έξι έως δέκα μήνες, της στρατιωτικής θητείας των απόφοιτων των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού, στις οποίες φυσικά έχουν πρόσβαση οι απόφοιτοι των ΤΕΕ.

Για την άρτια εκπαίδευση και κατάρτιση των στελεχών της εμπορικής ναυτιλίας μεριμνά η πολιτεία, επιδιώκοντας την εξασφάλιση ικανών εκπαιδευτικών και διδακτικών μέσων. Στα διδακτικά αυτά μέσα περιλαμβάνονται και τα διδακτικά βιβλία όπως και το παρόν, που εκδόθηκαν από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο για τις ανάγκες των μαθητών των ΤΕΕ, με τη διαδικασία που καθόρισε το ΕΠΕΑΕΚ του Β' ΚΠΣ.

Πρώτος Υπεύθυνος για το Ναυτικό - Ναυτιλιακό Τομέα υπήρξε ο αείμνηστος συνάδελφος Ανάργυρος Μαυρομματάκος, Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, στη μνήμη του οποίου επιθυμούμε να αφιερώσουμε τα βιβλία της πρώτης αυτής εκδοτικής σειράς, για να τιμήσουμε την προσφορά του στη μελέτη και σύνταξη των νέων προγραμμάτων σπουδών.

Σταμάτης Παλαιοκρασάς,
Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου
Υπεύθυνος του Ναυτικού-Ναυτιλιακού Τομέα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ Α΄

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΡΟΛΟΓΙΑ, ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΛΟΙΟΥ
ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ.....11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΡΦΗΣ ΠΛΟΙΟΥ21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΑΝΟΝΕΣ SIMPSON. ΕΥΡΕΣΗ ΕΜΒΑΔΩΝ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΩΝ ΒΑΡΟΥΣ.....25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΩΣΗ. ΕΥΡΕΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΗΧΑΝΗΣ31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΩΣΗΣ. ΕΛΙΚΕΣ, ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗ, ΠΡΩΡΑΙΟΣ ΕΛΙΚΑΣ.....39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΠΛΟΙΟΥ. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΗΛΑΛΙΟΥ.....49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ. ΜΕΣΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥΣ55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

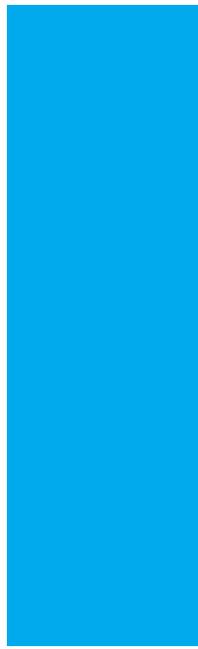
ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΟΙΟΥ. ΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ. ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΛΟΙΟΥ. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΝΑΥΠΗΓΕΙΟΥ.....67

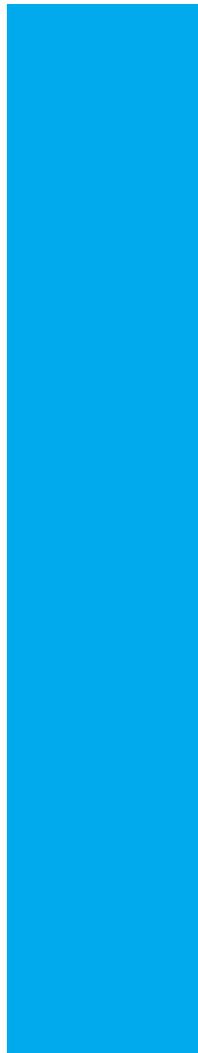
ΜΕΡΟΣ Β΄

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	
ΡΟΠΗ ΔΥΝΑΜΗΣ.....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11	
ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12	
ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ.....	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13	
ΑΡΧΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14	
ΓΡΑΜΜΕΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ.....	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15	
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΞΗΡΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	121
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16	
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ	127
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17	
ΟΡΙΣΜΟΙ	133



ΜΕΡΟΣ

A



1. ΟΡΟΛΟΓΙΑ, ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΛΟΙΟΥ - ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ.

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο θα μάθετε την ορολογία και ονοματολογία των βασικών στοιχείων που περιγράφουν ένα πλοίο. Τα στοιχεία αυτά σχετίζονται τόσο με τη γεωμετρία του γάστρας, του τμήματος δηλ. του πλοίου που έρχεται σε άμεση επαφή με το νερό, όσο και με τα χαρακτηριστικά των κατασκευών και συστημάτων, μέσα και πάνω από αυτήν, που συντελούν στη λειτουργία του και στην εκπλήρωση της αποστολής του.

Όπως όλοι σας γνωρίζετε, τα πλοία έχουν, γενικά, ένα ιδιόμορφο μη-κανονικό σχήμα που δεν αντιστοιχεί στα γνωστά γεωμετρικά σχήματα (κύβος, πυραμίδα, κώνος, πρίσμα) που έχετε γνωρίσει στη Γεωμετρία. Έτσι, για την περιγραφή της εξωτερικής επιφάνειας της γάστρας τους πρέπει να κατασκευαστεί το σχέδιο ναυπηγικών γραμμών.

Όροι που πρέπει να μάθετε:

- γάστρα
- κατάστρωμα
- τρόπιδα
- πλώρα
- πρύμνη
- υπερκατασκευές
- ίσαλος πλεύσης
- εκτόπισμα
- βύθισμα
- διαγωγή
- κοίλο αναφοράς
- έξαλα / ύφαλα
- μέση τομή
- ναυπηγικές γραμμές
- σταθμός / νομέας
- κυρτότητα καταστρώματος
- σιμότητα καταστρώματος

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- πώς περιγράφεται ένα πλοίο;
- ποιοι είναι οι πιο γνωστοί τύποι πλοίων;
- ποιες είναι οι κύριες διαστάσεις του πλοίου;
- τι παριστάνουν και πώς σχεδιάζονται οι ναυπηγικές γραμμές;
- γιατί το κύριο κατάστρωμα του πλοίου κατασκευάζεται με κυρτότητα και σιμότητα;
- γιατί η μέση τομή του πλοίου αποτελεί βασικό στοιχείο της περιγραφής του;

1.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ - ΟΡΙΣΜΟΙ

Αν παρατηρήσουμε πλευρικά ένα πλοίο (σχήμα 1.1) διακρίνουμε τα εξής κύρια μέρη του:

- το κοίλο τμήμα του πλοίου που έρχεται σε επαφή με το νερό και είναι υδατοστεγές. Το σώμα αυτό λέγεται **γάστρα** (hull).
- το πάνω μέρος της γάστρας που τη σκεπάζει στεγανά και καλείται **κύριο κατάστρωμα** (main deck). Κάτω από το συνεχές αυτό κατάστρωμα ένα πλοίο μπορεί να διαθέτει και άλλα καταστρώματα.
- το μπροστινό τμήμα της γάστρας χαρακτηρίζεται ως **πλώρη** ή **πρώρα** (bow) και το πίσω ως **πρύμνη** (stern).
- το κάτω μέρος της γάστρας αποτελεί τον **πυθμένα**. Το κεντρικό τμήμα του πυθμένα, που είναι ενισχυμένο και αποτελεί το πρώτο τμήμα που κατασκευάζεται κατά τη ναυπήγηση ενός πλοίου, χαρακτηρίζεται ως **τροπίδα** ή **καρίνα** (keel).
- πάνω από το κατάστρωμα, το πλοίο διαθέτει διάφορους χρήσιμους χώρους, τις λεγόμενες **υπερκατασκευές** (superstructures). Ειδικότερα, η υπερκατασκευή στην πρώρα ονομάζεται **πρόστεγο**, ενώ η αντίστοιχη στην πρύμνη **επίστεγο**.

Επιπλέον, αν παρατηρήσουμε τη μέση εγκάρσια τομή του πλοίου (σχήμα 1.2) διακρίνουμε τα παρακάτω μεγέθη:

- την **ίσαλο πλεύσης** (waterline) που αντιστοιχεί στη κατακόρυφη θέση όπου η επιφάνεια της θάλασσας τέμνει τη γάστρα. Η γραμμή αυτή καλείται και **ίσαλος σχεδίασης**, εφόσον ο σχεδιαστής

θεωρεί ότι το πλοίο θα ισορροπεί σ' αυτή τη θέση.

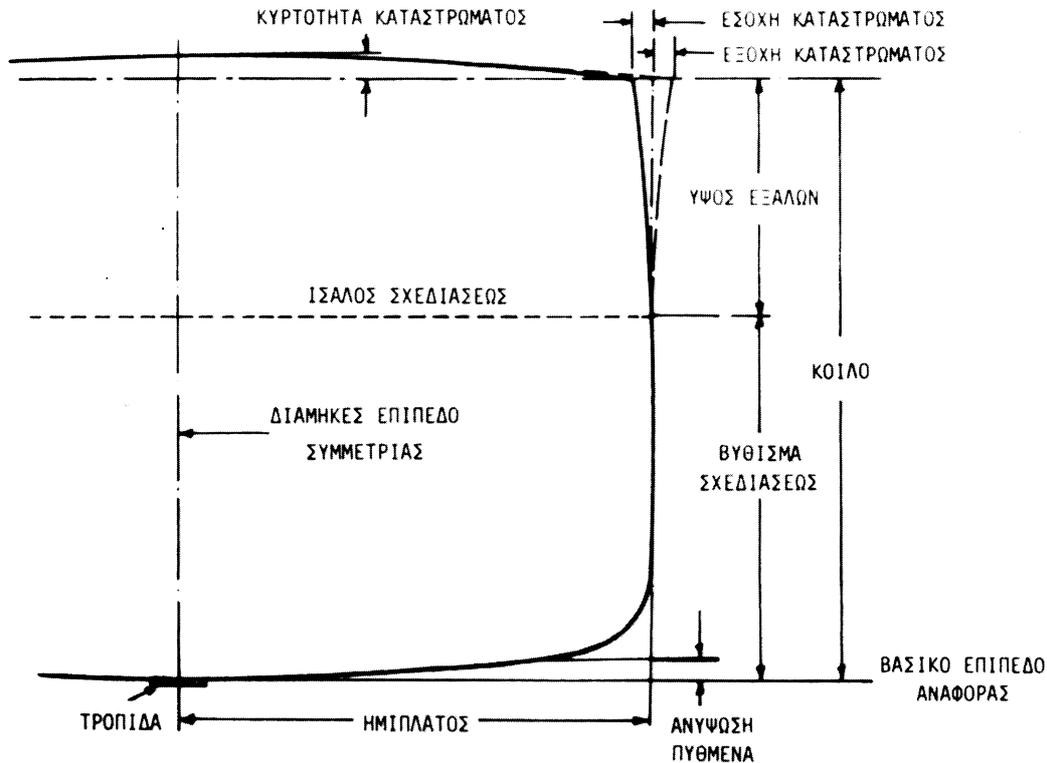
- το **(μέσο) βύθισμα** (draft) του πλοίου που προσδιορίζει το ύψος της γάστρας που είναι βυθισμένο στο νερό. Το μέρος του πλοίου που είναι μέσα στο νερό χαρακτηρίζεται ως **ύφαλα**.
- το **ύψος εξάλων** (freeboard) που αντιστοιχεί στο ύψος της γάστρας που είναι έξω από το νερό. Το συνολικό ύψος της γάστρας καλείται **κοίλο** (depth).
- δεδομένου ότι τα πλοία είναι συμμετρικά κατά την εγκάρσια διεύθυνση, συνήθως οι εγκάρσιες τομές σχεδιάζονται κατά το μισό, δεξιά ή αριστερά, του **διαμήκους επιπέδου συμμετρίας** τους.
- όλες οι κατακόρυφες διαστάσεις αναφέρονται στο οριζόντιο επίπεδο που περνάει από την τροπίδα και καλείται **βασικό επίπεδο αναφοράς**. Η τομή του με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας αποτελεί τη **βασική γραμμή αναφοράς** (base line).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2, το κατάστρωμα δεν είναι οριζόντιο αλλά έχει μια καμπυλότητα προς τα πάνω που ονομάζεται **κυρτότητα καταστρώματος** (camber). Η διαμόρφωση αυτή επιτρέπει στο νερό που πέφτει στο κατάστρωμα να αποχετεύεται από τα πλευρά.

Αντίστοιχη καμπυλότητα, με τα κοίλα όμως προς τα πάνω, εμφανίζει το κατάστρωμα και κατά το διάμηκες (σχήμα 1.1). Αυτή η διαμόρφωση, που ονομάζεται **σιμότητα** (sheer), αυξάνει το ύψος εξάλων στην περιοχή της πρώρας και περιορίζει τη διαβροχή (βρέξιμο) του καταστρώματος. Επιπλέον, χάρη στη σιμότητα, κάθε παρατηρητής που παρακολουθεί ένα πλοίο από μακριά διακρίνει ένα οριζόντιο



Σχήμα 1.1. Διάμηκες περιγράμμα πλοίου



Σχήμα 1.2. Μέση τομή πλοίου

κατάστρωμα και όχι ένα κατάστρωμα με τα κυρτά προς τα πάνω, λόγω οπτικής απάτης.

Από τα διάφορα γεωμετρικά μεγέθη ενός πλοίου, ξεχωρίζουμε τις κύριες διαστάσεις του που είναι:

- το μήκος
- το πλάτος
- το βύθισμα.

Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί και περιγραφές και των τριών αυτών μεγεθών. Έτσι, ορίζουμε το μήκος στην ίσαλο πλευσης, **το ολικό μήκος**, καθώς και το μήκος μεταξύ της προραίας καθέτου (στην τομή της ισάλου σχεδίασης με το περίγραμμα) και της αντίστοιχης πρυμναίας (στον άξονα περιστροφής του πηδαλίου). Το μήκος αυτό ονομάζεται μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου. Ομοίως, ορίζουμε το **μέγιστο πλάτος** του πλοίου και το **πλάτος ισάλου**. Τέλος, έχουμε το **μέσο βύθισμα** στη θέση της μέσης τομής, δηλ. στη μέση θέση ανάμεσα στην πρυμναία και την προραία κάθετο, το **προραίο βύθισμα** στην προραία κάθετο και το **πρυμναίο βύθισμα** στην πρυμναία κάθετο. Η διαφορά του προραίου από το πρυμναίο βύθισμα καλείται **διαγωγή** του πλοίου,

και χαρακτηρίζεται ως **έμπρυσμη** ή **έμπρωρη**, ανάλογα με το αν υπερτερεί το πρυμναίο ή το προραίο βύθισμα.

1.3 ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ

Η μορφή της γάστρας ενός πλοίου αποτελεί βασικό δεδομένο για τη σχεδίαση και τη λειτουργία του. Έτσι, η ευστάθειά του, η αντίστασή του, η συμπεριφορά του σε κυματισμούς καθώς και άλλες ιδιότητές του, που θα εξεταστούν λεπτομερώς σε επόμενα κεφάλαια, συνδέονται άμεσα με την εξωτερική μορφή της γάστρας του.

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε ήδη στην εισαγωγή, η μορφή της γάστρας δεν αντιστοιχεί σε κάποιο κανονικό γεωμετρικό σχήμα σαν αυτά που γνωρίζετε στο μάθημα της γεωμετρίας. Επομένως, η περιγραφή της δεν μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ενός ή περισσότερων κυρίων διαστάσεων. Ο ισχυρισμός αυτός μπορεί να διατυπωθεί και διαφορετικά: υπάρχουν άπειρες μορφές γάστρας πλοίων που έχουν τις ίδιες κύριες διαστάσεις και εν τούτοις είναι πολύ διαφορετικές μεταξύ τους.

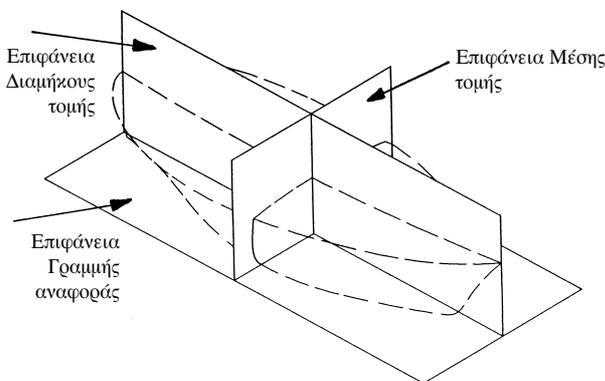
Για την απεικόνιση της μορφής της γάστρας απαι-

τείται η χάραξη του σχεδίου **ναυπηγικών γραμμών** (lines plan) (σχήμα 1.4). Οι γραμμές αυτές αποτελούν διάφορες τομές της επιφάνειας της γάστρας με τα επίπεδα του Σχήματος 1.3. Έτσι, προκύπτουν τα εξής επιμέρους σχέδια:

- **σχέδιο διαμήκων τομών** (sheer plan), το οποίο αντιστοιχεί στην πλάγια όψη
- **σχέδιο ισάλων** (half-breadth plan), το οποίο αντιστοιχεί στην κάτοψη
- **σχέδιο εγκαρσίων τομών** (body plan), που αντιστοιχεί στην πρόοψη.

Για τη χάραξή τους απαιτούνται τα εξής δεδομένα:

- οι κύριες διαστάσεις του πλοίου
- πίνακας συντεταγμένων ή ημι-πλατών (table of offsets) διαφόρων εγκαρσίων τομών της επιφάνειας που ονομάζονται **σταθμοί ή θεωρητικοί νομείς**.
- στοιχεία περιγραφής των περιγραμμάτων της πλώρας, της πρύμνης, της τρόπιδας και των καταστρωμάτων



Σχήμα 1.3. Επίπεδα αναφοράς του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών ενός πλοίου

Δεδομένου ότι η εξωτερική επιφάνεια της γάστρας είναι μια ομαλή επιφάνεια, το ίδιο ισχύει και για την τομή της με οποιοδήποτε επίπεδο. Στην παραπάνω παρατήρηση βασίζεται και η διαδικασία σχεδίασης των ναυπηγικών γραμμών. Προς τούτο χρησιμοποιούνται λεπτές λωρίδες από ξύλο ή συνθετικό υλικό, με επαρκή αντοχή και μεγάλη ελαστικότητα που λέγονται τερίτζια (battens). Τα τερίτζια στερεώνονται πάνω στο χαρτί σχεδίασης με τη βοήθεια

ειδικά διαμορφωμένων χυτοσιδηρών ή μολύβδινων **βαριδίων**. Επιπλέον, στο σχέδιο εγκαρσίων τομών χρησιμοποιούνται και ειδικά ναυπηγικά καμπυλόγραμμα.

Μετά τη χάραξή τους, οι ναυπηγικές γραμμές ελέγχονται για την **ομαλότητά** τους και τη **συμβατότητα** στις τρεις όψεις του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών. Η ομαλότητά τους ελέγχεται με τα τερίτζια, ενώ η συμβατότητα διαπιστώνεται με τη σύγκριση των συντεταγμένων μιας σειράς σημείων στις τρεις όψεις. Είναι προφανές ότι κάθε σημείο της γάστρας πρέπει να έχει τις ίδιες συντεταγμένες και στις τρεις όψεις. Για τη μεταφορά μηκών χρησιμοποιούνται λωρίδες χαρτιού. Η παραπάνω διαδικασία καλείται **εξομάλυνση**.

1.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΠΛΟΙΩΝ

Αν επισκεφτούμε ένα μεγάλο λιμάνι, θα δούμε πολλά και διαφορετικά είδη πλοίων. Αν θελήσουμε να κατατάξουμε όλα αυτά τα πλοία σε κατηγορίες, βλέπουμε ότι είναι πολύ δύσκολο, γιατί χρειαζόμαστε ένα κριτήριο.

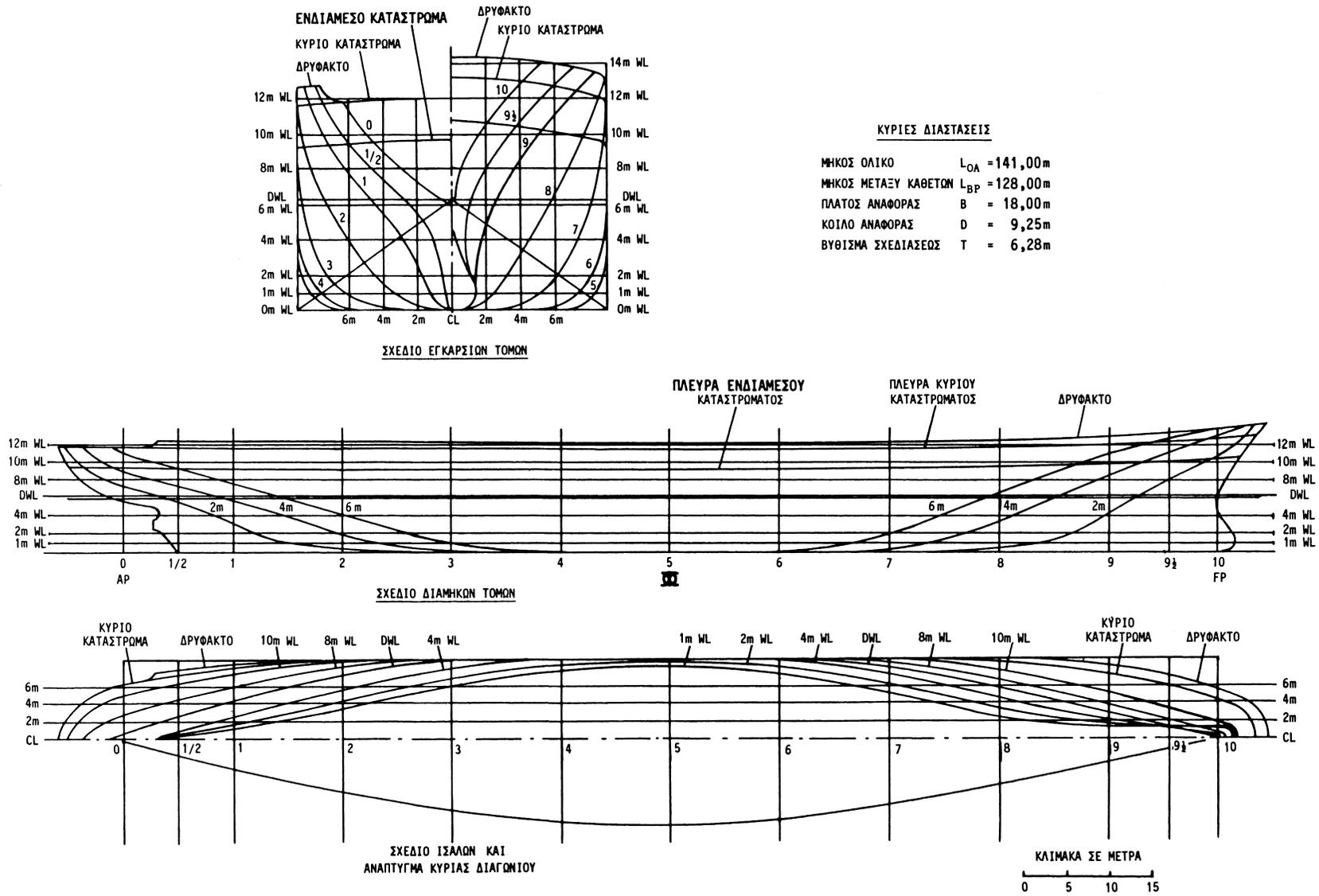
Μπορεί να είναι το μέγεθος τους (μικρά, μεγάλα), η ηλικία τους (παλιά, νέα), η σημαία της χώρας που ανήκουν (Ελληνικά, ξένα), ο τρόπος πρόωσής τους (ιστιοφόρα, κωπήλατα, ατμόπλοια, μηχανοκίνητα), η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύουν (ταχύπλοα, συμβατικά), οι περιοχές ταξιδιού (ωκεανοπόρα, ακτοπλοϊκά), το υλικό κατασκευής (πλαστικά, μεταλλικά, ξύλινα), ο τρόπος πλεύσης (υδροπτέρυγα, εκτοπίσματος, καταμαράν) κλπ. Υπάρχουν, όπως βλέπουμε, πολλά κριτήρια για να κατατάξουμε τα πλοία σε κατηγορίες.

Τα πιο συνηθισμένα όμως κριτήρια για να κατατάξουμε τα πλοία είναι δύο:

- 1) ο σκοπός για τον οποίο προορίζονται
- 2) το είδος της μεταφοράς ή εργασίας που μπορούν να κάνουν.

Ανάλογα με τον σκοπό τους τα πλοία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- 1) **εμπορικά πλοία** (merchant ships), που ο πλοιοκτήτης τους τα χρησιμοποιεί για εμπορικές πράξεις όπως μεταφορές, ναυλώσεις, εκτέλεση εργα-



Σχήμα 1.4. Σχέδιο ναυπηγικών γραμμών ενός πλοίου

Ξεις όπως μεταφορές, ναυλώσεις, εκτέλεση εργασιών κλπ.

- 2) **αναψυχής** (pleasure yachts), επιβατηγά πλοία που ο ιδιοκτήτης τους τα χρησιμοποιεί αποκλειστικά για δική του αναψυχή
- 3) **πολεμικά πλοία** (naval ships), κρατικά πλοία που χρησιμοποιεί το πολεμικό ναυτικό κάθε χώρας.

Ανάλογα με το είδος της μεταφοράς ή εργασίας τα πλοία χωρίζονται σε 4 βασικές κατηγορίες:

- 1) **φορτηγά πλοία** (cargo ships), που είναι και τα περισσότερα πλοία του κόσμου και χρησιμοποιούνται για την μεταφορά όλων των ειδών φορτίων όπως χύδην, υγρών, συσκευασμένων κλπ.
- 2) **επιβατηγά πλοία** (passenger ships), που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά επιβατών ή και οχημάτων, οπότε καλούνται επιβατηγά οχηματαγωγά (ferries). Τα επιβατηγά πλοία μπορεί να εκτελούν:
 - τακτικά δρομολόγια όπως π.χ. Πάτρα – Αγκόνα, Πειραιά – Κρήτη και ο επιβάτης πληρώνει εισιτήριο ή
 - κρουαζιέρες, δηλ. ταξίδια με επισκέψεις σε διάφορα λιμάνια για τουριστικούς λόγους.

Τα επιβατηγά πλοία, τα τελευταία χρόνια, έχουν αλλάξει πολύ. Κατασκευάζονται πιά με την μορφή πολύ μεγάλων κρουαζιερόπλοιων, μεταφορικής ικανότητας 3500 ατόμων και μήκους 250 μέτρων, ολόκληρες δηλ. πλωτές πολιτείες που οργάνουν τις θάλασσες.

Επίσης, ο ανταγωνισμός έχει οδηγήσει τους κατασκευαστές στην παραγωγή επιβατηγών-οχηματαγωγών πλοίων που εκτελούν δρομολόγια με ταχύτητες έως 30 κόμβων, πάνω δηλ. από 50 χιλιόμετρα την ώρα. Σημειώνεται ότι οι συνηθισμένες ταχύτητες ταξιδιού τη δεκαετία του 1980 ήταν μέχρι 20 κόμβους.

Στη φωτογραφία 1.4, φαίνεται ένα σύγχρονο ταχύπλοο επιβατηγό-οχηματαγωγό πλοίο που είναι δρομολογημένο στη γραμμή Ελλάδα – Ιταλία.

- 3) **πλοία ειδικού προορισμού** (special purpose ships), των οποίων η σχεδίαση και κατασκευή έ-

χει ως σκοπό την εκτέλεση ειδικού έργου. Τέτοια είναι τα αλιευτικά, τα πλοία θαλασσιών ερευνών, τα ναυαγοσωστικά, τα φαινοθηρικά, τα ωκεανογραφικά, τα καλωδιακά, τα εκπαιδευτικά, κλπ

- 4) **βοηθητικά πλοία** (auxiliary ships), όπως ρυμουλκά, πλωτοί γερανοί, φορηγίδες, πλωτές δεξαμενές στα ναυπηγεία κλπ.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε με περισσότερες λεπτομέρειες στα βασικά είδη φορηγών πλοίων καθώς και την ειδική ονοματολογία που χρησιμοποιείται σε αυτά.

Τα φορτία των πλοίων μπορεί να είναι ξηρά στερεά φορτία ή υγρά φορτία. Τα ξηρά στερεά φορτία μπορεί να είναι χύδην ή συσκευασμένα.

Η πρώτη μεγάλη κατηγορία φορηγών πλοίων είναι τα **πλοία μεταφοράς χύδην φορτίων (bulk carriers)**. Τέτοια φορτία είναι τα δημητριακά, τα μεταλλεύματα, τα λιπάσματα, τα χρώματα, κλπ.

Τα πλοία αυτά έχουν πολλά κύτη φορτίου (cargo holds) με μεγάλα καλύμματα στα στόμια των κυτών (hatch covers) που ανοίγουν για τη φορτοεκφόρτωση και κλείνουν στεγανά για το ταξίδι. Τα καλύμματα των κυτών είναι βαριές μεταλλικές κατασκευές και το πλοίο διαθέτει είτε υδραυλικά συστήματα είτε γεραμούς για να τα ανοιγοκλείνει. Η φόρτωση του φορτίου γίνεται από τις εγκαταστάσεις της ξηράς και το φορτίο χύνεται μέσα στα κύτη. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται, τότε, για την ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου, ώστε να μην επηρεάζεται η ευστάθεια του πλοίου στο ταξίδι.

Επίσης, προσοχή δίνεται στο ρυθμό της φόρτωσης, ώστε να μην καταπονείται η κατασκευή του πλοίου.

Σημειώνεται ότι πολλά πλοία έχουν πάθει σοβαρές ζημιές κατά τη διάρκεια της φόρτωσης και αναφέρουμε ως παράδειγμα το πλοίο “TRADE DARING” 145.000 TDW, που είχε βουλιάξει το 1994 σε λιμάνι της Βραζιλίας.

Η εκφόρτωση γίνεται, συνήθως, είτε από τις εγκαταστάσεις της ξηράς που ρουφάνε το χύδην φορτίο από τα κύτη είτε από τους γεραμούς του ίδιου του πλοίου, με ειδικές χούφτες που σηκώνουν το φορτίο αυτό.

Το πλοίο έχει πολλές δεξαμενές έρματος, ώστε, όταν ταξιδεύει χωρίς φορτίο, να ερματίζει αυτές τις δεξαμενές για να είναι βυθισμένη η έλικά του και

να έχει ευστάθεια. Οι δεξαμενές αυτές είναι είτε τα διπύθμενα του πλοίου είτε πάνω πλευρικές δεξαμενές. Στις φωτογραφίες 1.1 και 1.2 φαίνεται ένα πλοίο μεταφοράς χύμα φορτίου και τα ανοίγματα των κυτών του, αντίστοιχα.

Η δεύτερη μεγάλη κατηγορία φορηγών πλοίων είναι τα πλοία μεταφοράς υγρών φορτίων, τα λεγόμενα **δεξαμενόπλοια (tankers)**.

Τα δεξαμενόπλοια μεταφέρουν υγρά καύσιμα, αργό πετρέλαιο, προϊόντα πετρελαίου, κλπ. Σε αυτή την κατηγορία μπορούμε να κατατάξουμε και τα **χημικά δεξαμενόπλοια** και τα **υγραεριοφόρα**.

Το βασικό χαρακτηριστικό της κατασκευής τους είναι οι δεξαμενές φορτίου (cargo tanks).

Το φορτίο φορτώνεται στο πλοίο από τις εγκαταστάσεις ξηράς, μέσω σωληνώσεων, και εκφορτώνεται από τα μέσα του πλοίου, που είναι οι μεγάλες αντλίες στα αντλιοστάσια τους (pump rooms) και οι κατάλληλες σωληνώσεις. Σε αντίθεση με τα πλοία μεταφοράς χύμα φορτίων, δεν χρειάζονται ανοίγματα στο κατάστρωμα για την φόρτωση των υγρών φορτίων, αφού αυτή γίνεται με σωληνώσεις.

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στα μέτρα ασφαλείας κατά τη μεταφορά και φορτοεκφόρτωση καθώς και στην προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τους καθαρισμούς των δεξαμενών φορτίου.

Πανοραμική άποψη ενός δεξαμενοπλοίου με όλες τις σωληνώσεις και τις υπόλοιπες διατάξεις

φορτοεκφόρτωσης, παρουσιάζεται στη φωτογραφία 1.3.

Τέλος η τρίτη μεγάλη κατηγορία φορηγών πλοίων είναι τα **πλοία γενικού φορτίου (general cargo ship)**. Αυτά τα πλοία είναι μικρού σχετικά μεγέθους και έχουν, συνήθως, δικούς τους γερανούς για τη φορτοεκφόρτωση των φορτίων τους, που μπορεί να είναι όλα τα συσκευασμένα φορτία.

Η ιδιαιτερότητα αυτών των πλοίων είναι ότι μπορούν στο ίδιο κύτος να μεταφέρουν πολλές μικρές ποσότητες από διαφορετικά φορτία, κάτι που διευκολύνει τις θαλάσσιες μεταφορές.

Η κατηγορία, όμως, αυτή των πλοίων σταδιακά χάνεται και τη θέση της παίρνουν τα **πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (container ships)**. Ένα τέτοιο πλοίο φαίνεται στη φωτογραφία 1.5.

Τα πλοία αυτά εξυπηρετούνται σε μεγάλες εγκαταστάσεις, με γερανογέφυρες ξηράς για τη φορτοεκφόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων που περιέχουν διάφορα είδη ή φορτία.

Τα πλοία αυτά είναι ειδικά σχεδιασμένα για εμπορευματοκιβώτια που έχουν σταθερές διαστάσεις και στοιβάζονται σταθερά το ένα πάνω στο άλλο, μέσα στο πλοίο ή πάνω στο κατάστρωμα. Με αυτόν τον τρόπο, δεν γίνεται μετατόπιση φορτίου, αλλά υπάρχει πάντα ο κίνδυνος πιθανή θαλασσοταραχή να ρίξει μερικά από αυτά στη θάλασσα.



Φωτογραφία 1.1: Πλοίο μεταφοράς χύμα φορτίων (bulk carrier)



Φωτογραφία 1.2: Ανοίγματα κυτών του πλοίου μεταφοράς χύμα φορτίων της φωτογραφίας 1



Φωτογραφία 1.3: Πανοραμική άποψη του καταστρώματος ενός δεξαμενοπλοίου (tanker)



Φωτογραφία 1.4 : Σύγχρονο επιβατηγό-οχηματαγωγό πλοίο (ferry)



Φωτογραφία 1.5 : Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (container ship)

Ερωτήσεις επαναλήψως

1. Να δώσετε τον ορισμό του μήκους μεταξύ καθέτων ενός πλοίου.
2. Ποιες είναι οι βασικές απαιτήσεις που πρέπει να καλύπτουν οι τρεις όψεις του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών ενός πλοίου;
3. Γιατί το κατάστρωμα ενός πλοίου έχει κυρτότητα και σιμότητα;
4. Ποιες είναι οι κατηγορίες πλοίων ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο προορίζονται;
5. Ποιες είναι οι κατηγορίες πλοίων ανάλογα με το είδος μεταφοράς;
6. Να εξηγήσετε γιατί στο σχέδιο εγκαρσίων τομών σχεδιάζονται μόνο οι μισοί νομείς.
7. Ποιες είναι οι κύριες διαστάσεις ενός πλοίου;

Δραστηριότητες

1. Πάνω στο σχέδιο ναυπηγικών γραμμών του Σχήματος 1.4 να σημειώσετε τις τρεις όψεις ενός σημείου. Για ευκολία να διαλέξετε ένα σημείο που ορίζεται ως τομή δύο καμπυλών στη μία από τις όψεις.
2. Να σχεδιάσετε τις βασικές ναυπηγικές γραμμές (καμπύλες ισάλου σχεδίασης, καταστρώματος, μέσου νομέα, πλώρας, πρύμνης και τρόπιδας) δύο πλοίων με τις ίδιες κύριες διαστάσεις αλλά με διαφορετική μορφή.
3. Να σχεδιάσετε πάνω στις ναυπηγικές γραμμές του Σχήματος 1.4 ένα ενδιάμεσο νομέα, μια ενδιάμεση ίσαλο και μια ενδιάμεση διαμήκη τομή. Να χρησιμοποιήσετε λευκό χαρτί για τη μεταφορά μηκών.

2. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΡΦΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως γνωρίζετε, μπορείτε εύκολα να περιγράψετε με πληρότητα ένα κανονικό σχήμα με το όνομά του και μία ή περισσότερες χαρακτηριστικές διαστάσεις του. Έτσι, για να περιγράψετε ένα κύβο, αρκεί να αναφέρετε ότι πρόκειται περί κύβου με μήκος ακμής π.χ. 2 μέτρα. Αυτή η περιγραφή είναι πλήρης, διότι προσδιορίζει μονοσήμαντα το συγκεκριμένο σχήμα. Το ίδιο ισχύει στην περίπτωση ενός τριγώνου, εφόσον δοθούν τρία χαρακτηριστικά στοιχεία του, όπως τα μήκη των τριών πλευρών του ή το μήκος μιας πλευράς καθώς και οι τιμές των προσκείμενων στην πλευρά γωνιών.

Δυστυχώς, η παραπάνω δυνατότητα δεν υπάρχει στην περίπτωση των πλοίων. Η μορφή της εξωτερικής επιφάνειας του κύτους τους, της γάστρας όπως λέγεται, περιγράφεται μέσω του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 1. Επιπλέον, κάποια ολοκληρωμένα χαρακτηριστικά της μορφής εκφράζονται με τους συντελεστές μορφής της γάστρας

Όροι που πρέπει να μάθετε:

- συντελεστές μορφής
- συντελεστής γάστρας
- κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής
- οριζόντιος πρισματικός συντελεστής
- συντελεστής μέσης τομής
- συντελεστής ισάλου επιφανείας
- όγκος εκτοπίσματος

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

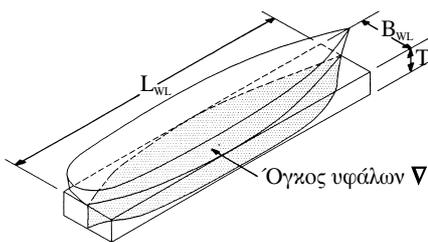
- πώς περιγράφεται η γάστρα;
- τι είναι οι συντελεστές μορφής;
- γιατί τους χρησιμοποιούμε;
- πώς σχετίζονται οι συντελεστές μορφής μεταξύ τους;
- πώς επιλέγονται οι συντελεστές αυτοί για διάφορους τύπους πλοίων;

2.2 Η ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Η εξωτερική επιφάνεια του πλοίου δεν έχει μια απλή κανονική μορφή που να μπορεί να εκφραστεί αποκλειστικά και μονοσήμαντα με ένα ή περισσότερους αριθμούς και το χαρακτηρισμό κάποιου σχήματος, όπως συμβαίνει με τα συνηθισμένα επίπεδα γεωμετρικά σχήματα, όπως π.χ. ένα τρίγωνο, ή τα αντίστοιχα τρισδιάστατα, όπως π.χ. ένα κύβο. Η ακριβής περιγραφή γίνεται μόνο με τις ναυπηγικές γραμμές, όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 1.

Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν ορισμένα χαρακτηριστικά των ναυπηγικών γραμμών που μπορούν να εκφραστούν μέσω απλών συντελεστών που ονομάζονται **συντελεστές μορφής**. Έτσι, αν θεωρήσουμε ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με μήκος και πλάτος, το μήκος L_{WL} και πλάτος B_{WL} , αντίστοιχα του πλοίου στη επιφάνεια του νερού (ισάλος επιφάνεια) και ύψος το βύθισμα T του πλοίου στο μέσο του μήκους του, ο όγκος υφάλων του πλοίου, που συμβολίζεται με ∇ , καταλαμβάνει μέρος μόνο του όγκου του παραλληλεπίπεδου. Ο όγκος αυτός αναφέρεται και σαν **όγκος εκτοπίσματος**. Ο λόγος των δύο όγκων ονομάζεται **συντελεστής γάστρας** C_B (σχ. 2.1). Προφανώς, ισχύει:

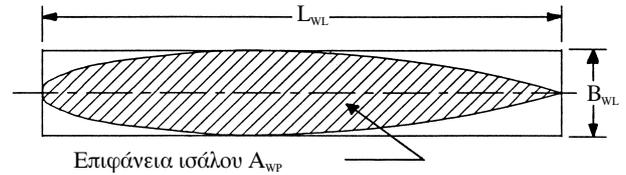
$$C_B = \frac{\nabla}{L_{WL} B_{WL} T}$$



Σχήμα 2.1. Συντελεστής γάστρας

Αντίστοιχα ορίζουμε στο σχήμα 2.2 το **συντελεστή της ισάλου επιφάνειας** C_{WP} ως το λόγο της επιφάνειας της ισάλου A_{WP} προς το γινόμενο του μήκους επί το πλάτος της ισάλου, δηλαδή:

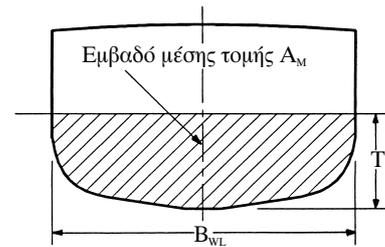
$$C_{WP} = \frac{A_{WP}}{L_{WL} B_{WL}}$$



Σχήμα 2.2. Συντελεστής ισάλου επιφάνειας.

Αν, επιπλέον, θεωρήσουμε μια τομή του πλοίου με εγκάρσιο επίπεδο που περνάει από το μέσο του μήκους του, ορίζουμε το **συντελεστή μέσου νομέα ή μέσης τομής** C_M ως το λόγο της επιφάνειας της τομής αυτής A_M , που ονομάζεται μέσος νομέας, προς το εμβαδόν του περιγεγραμμένου παραλληλόγραμμου (σχήμα 2.3), δηλαδή:

$$C_M = \frac{A_M}{B_{WL} T}$$



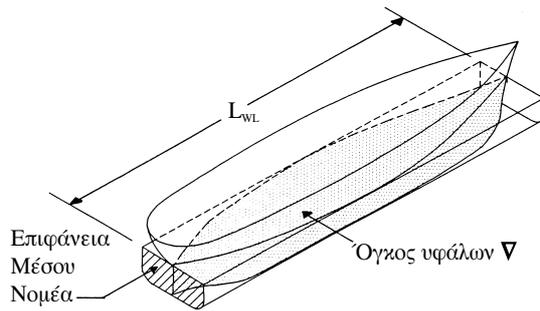
Σχήμα 2.3. Συντελεστής μέσης τομής.

Με βάση τους παραπάνω βασικούς συντελεστές μορφής, ορίζεται ο **οριζόντιος πρισματικός** C_{HP} και ο **κάθετος πρισματικός συντελεστής** C_{VP} . Ο πρώτος απ' αυτούς παριστάνει το λόγο του όγκου της γάστρας προς τον όγκο του πρίσματος, με βάση το μέσο νομέα, και ύψος το μήκος της ισάλου του πλοίου (σχήμα 2.4). Ο δεύτερος παριστάνει το λόγο του όγκου της γάστρας προς τον όγκο του πρίσματος, με βάση την ισάλο επιφάνεια, και ύψος το βύθισμα του πλοίου στο μέσο νομέα. Προφανώς, ισχύουν οι σχέσεις:

$$C_{HP} = \frac{\nabla}{A_M L_{WL}} = \frac{C_B}{C_M}$$

και

$$C_{VP} = \frac{\nabla}{A_{WP} T} = \frac{C_B}{C_{WP}}$$



Σχήμα 2.4. Οριζόντιος πρισματικός συντελεστής

2.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΜΟΡΦΗΣ

Ας συζητήσουμε τώρα λίγο περισσότερο τη σχέση που έχουν οι παραπάνω συντελεστές με τη μορφή των ναυπηγικών γραμμών του πλοίου. Ο **συντελεστής γάστρας** εκφράζει το πόσο γεμάτο είναι ένα πλοίο. Όσο ο συντελεστής αυτός πλησιάζει προς τη μονάδα, τόσο πιο πολύ προσεγγίζει το πλοίο προς το “κουτί” που ορίζεται από το γινόμενο των τριών κυρίων διαστάσεών του. Αντίστοιχα, αυξάνεται ο όγκος του για τις ίδιες κύριες διαστάσεις. Επιπλέον, το εκτόπισμα Δ του πλοίου ορίζεται ως το βάρος του νερού που εκτοπίζει (καταλαμβάνει) ο όγκος του που βρίσκεται κάτω από το νερό, δηλαδή:

$$\Delta = \gamma \nabla$$

όπου γ είναι το ειδικό βάρος του νερού ($\gamma = 1.025$ τόννοι/ m^3). Άρα με την αύξηση του συντελεστή γάστρας αυξάνεται αντίστοιχα και το εκτόπισμα του πλοίου, και, σύμφωνα με την αρχή του Αρχιμήδη, αυξάνεται και το βάρος του. Το βάρος του πλοίου, όμως, αποτελείται από το βάρος της κατασκευής του πλοίου και το βάρος του ωφέλιμου φορτίου που μεταφέρει. Συνεπώς, αν θεωρήσουμε ότι το βάρος της κατασκευής του πλοίου είναι (περίπου) αμετάβλητο για σταθερές κύριες διαστάσεις, το βάρος του ωφέλιμου φορτίου αυξάνεται ισόποσα με την αύξηση του συντελεστή γάστρας.

Εφόσον κατά τη σχεδίαση του πλοίου καθοριστεί το εκτόπισμα και οι κύριες διαστάσεις, τότε ο συντελεστής γάστρας είναι προσδιορισμένος. Ο σχεδιαστής πρέπει, στη συνέχεια, να αποφασίσει για τους συντελεστές C_M , C_{WP} , C_{HP} και C_{VP} . Στην πράξη, προσδιορίζεται πρώτα ο συντελεστής μέσης τομής C_M , οπότε συνάγεται ο οριζόντιος πρισματικός συντελεστής C_{HP} (πώς;). Γενικά, η μείωση του οριζόντιου πρισματικού συντελεστή οδηγεί σε συγκέντρωση του όγκου στο μέσο του πλοίου και σε πιο λεπτόγραμμα άκρα (πρώρα και πρύμνη). Οι μορφές αυτές έχουν μικρότερη αντίσταση και, επομένως, ενδείκνυνται για ταχύπλοα πλοία, όπως π.χ. τα επιβατηγά. Το αντίθετο ισχύει για σχετικά αργόπλοα πλοία, όπως π.χ. τα δεξαμενόπλοια.

Όσον αφορά το άλλο ζευγάρι των συντελεστών μορφής, τα C_{WP} και C_{VP} , επιλέγεται πρώτα ο συντελεστής ισάλου επιφανείας C_{WP} έτσι, ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική επιφάνεια καταστρωμάτων, ιδιαίτερα στα πλοία στα οποία η επιφάνεια των καταστρωμάτων είναι καθοριστική για τη μεταφορική τους ικανότητα, π.χ. επιβατηγά-οχηματαγωγά. Επίσης, η αύξηση της ισάλου επιφανείας βελτιώνει, όπως θα δούμε και στο σχετικό εδάφιο, την εγκάρσια ευστάθεια της γάστρας. Η ιδιότητα αυτή είναι πολύ χρήσιμη, κυρίως για πλοία με οριακή εγκάρσια ευστάθεια.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία πρέπει να τα παίρνει υπόψη του ο σχεδιαστής του πλοίου, ιδιαίτερα στα πρώτα βήματα της σχεδίασης του πλοίου, γιατί αφενός είναι κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου και αφετέρου δεν είναι εύκολο να μεταβληθούν, όταν προχωρήσει αρκετά η σχεδίαση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η τυχόν μεταβολή τους απαιτεί τροποποίηση των ναυπηγικών γραμμών και συνεπώς υπολογισμό εκ νέου όλων των παραμέτρων σχεδίασης του πλοίου που εξαρτώνται από τη γεωμετρία της γάστρας (ευστάθεια, στεγανή υποδιαίρεση, αντοχή, μεταφορική ικανότητα, στοιχεία οικονομικής εκμετάλλευσης κλπ.).

Ερωτήσεις επαναλήψεως

1. Να δώσετε τον ορισμό του οριζόντιου πρισματικού συντελεστή C_{HP} .
2. Να προσδιορίσετε τον κατακόρυφο πρισματικό συντελεστή πλοίου με συντελεστή γάστρας $C_B = 0.75$ και συντελεστή ισάλου επιφάνειας $C_{WP} = 0.91$.
3. Σε ένα ταχύπλοο σκάφος ο πρισματικός συντελεστής C_{HP} μπορεί να πάρει τις τιμές 0.51 ή 0.60. Ποιο συντελεστή θα επιλέγατε και γιατί;

Δραστηριότητες

1. Να προσδιορίσετε τον οριζόντιο και κατακόρυφο πρισματικό συντελεστή ενός κυλινδρικού κουτιού που πλέει στο νερό, με τον άξονά του οριζόντιο, και είναι βυθισμένο μέχρι τη μέση του.
2. Ποιες είναι οι τιμές των δύο πρισματικών συντελεστών στην περίπτωση που το κυλινδρικό κουτί πλέει με τον άξονά του κατακόρυφο και είναι, επίσης, βυθισμένο μέχρι τη μέση;

3. ΚΑΝΟΝΕΣ SIMPSON. ΕΥΡΕΣΗ ΕΜΒΑΔΩΝ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΩΝ ΒΑΡΟΥΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα πλοία έχουν γενικά ένα ιδιόμορφο, μη-κανονικό σχήμα που δεν αντιστοιχεί στα γνωστά γεωμετρικά σχήματα. Επομένως, η εξωτερική επιφάνεια της γάστρας τους περιγράφεται με το σχέδιο ναυπηγικών γραμμών.

Για την εύρεση των ολοκληρωμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός ιδιόμορφου σχήματος σαν τη γάστρα του πλοίου, απαιτούνται προσεγγιστικές μέθοδοι, όπως οι κανόνες του Simpson που θα περιγραφούν στο κεφάλαιο αυτό.

Για την καλύτερη κατανόηση της τεχνικής, θα δοθούν σχετικά παραδείγματα εφαρμογής των κανόνων και σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά που προκύπτουν με βάση τον απλούστερο τραπεζοειδή κανόνα.

Όροι που πρέπει να μάθετε:

- κέντρο όγκου
- διαμήκης θέση του κέντρου άνωσης
- διαμήκης θέση του κέντρου βάρους
- κέντρο πλευστότητας
- επιφάνεια ισάλου
- βρεχόμενη επιφάνεια
- τραπεζοειδής κανόνας
- 1^{ος} κανόνας Simpson
- 2^{ος} κανόνας Simpson

Καθώς θα διαβάσετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- πώς να βρίσκετε το εμβαδόν και το κέντρο βάρους μιας επιφάνειας;
- πώς να βρίσκετε τον όγκο και το κέντρο όγκου ενός στερεού σχήματος με μη-κανονική γεωμετρική μορφή;
- πώς επιλέγεται ο κανόνας με τον οποίο θα γίνουν οι υπολογισμοί;
- πώς μπορούν να συνδυαστούν οι κανόνες σε κάποιες περιπτώσεις;

3.2 ΓΕΝΙΚΑ

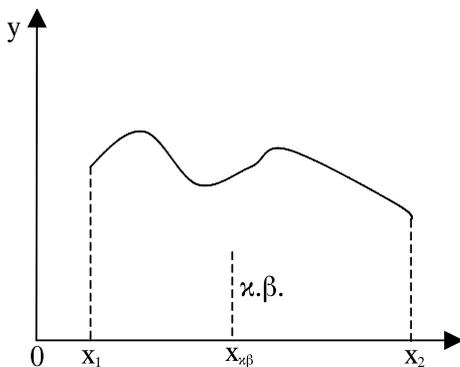
Για κάθε κανονικό γεωμετρικό σχήμα στο επίπεδο (τρίγωνο, παραλληλόγραμμο, κύκλο) ή στο χώρο (κύβο, παραλληλεπίπεδο, κύλινδρο, σφαίρα) μπορούμε να υπολογίσουμε, με απλές σχέσεις, το εμβαδόν και την περίμετρο ή τον όγκο και την εξωτερική του επιφάνεια, αντίστοιχα. Επίσης, στη γεωμετρία αναπτύχθηκαν σχέσεις για την εύρεση των συντεταγμένων του κέντρου βάρους ενός επίπεδου σχήματος ή ενός σώματος στο χώρο.

Δυστυχώς, στην περίπτωση του πλοίου, η γάστρα δεν έχει τη μορφή κάποιου κανονικού σχήματος σαν αυτά που γνωρίζετε στη γεωμετρία. Παρ' όλα αυτά, για την εύρεση μιας σειράς ιδιοτήτων του πλοίου (υδροστατικά στοιχεία, ευστάθεια, αντίσταση, συμπεριφορά σε κυματισμούς) που θα αναπτυχθούν στα επόμενα κεφάλαια, είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε τα ολοκληρωμένα γεωμετρικά στοιχεία της γάστρας.

Όλες οι περιπτώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να αντιμετωπιστούν με την επίλυση του παρακάτω προβλήματος:

Για δεδομένη επίπεδη καμπύλη τυχούσας μορφής (σχήμα 3.1) να υπολογιστεί το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη μέχρι τον οριζόντιο άξονα καθώς και η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους της επιφάνειας αυτής.

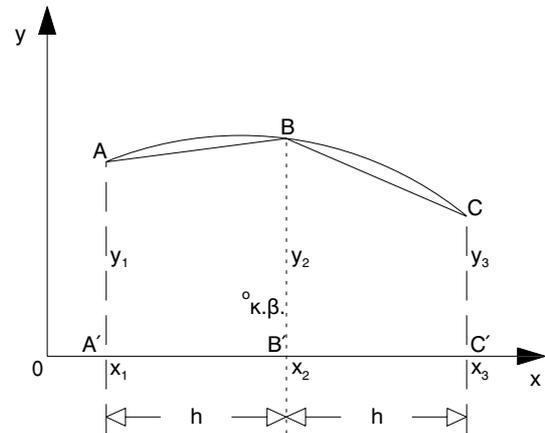
Το παραπάνω πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη βοήθεια κάποιων μεθόδων (κανόνων) που βασίζονται στην προσεγγιστική ανάλυση της επιφάνειας κάτω από την καμπύλη, με μια σειρά από κανονικά γεωμετρικά σχήματα με γνωστές ιδιότητες.



Σχήμα 3.1. Υπολογισμός επιφάνειας και κέντρου βάρους επίπεδης καμπύλης.

3.3 ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΗΣ ΚΑΝΟΝΑΣ

Ο **Τραπεζοειδής Κανόνας** βασίζεται στην προσέγγιση των τμημάτων της καμπύλης ανάμεσα σε δύο διαδοχικά σημεία με ευθείες.



Σχήμα 3.2. Εφαρμογή του Τραπεζοειδούς Κανόνα και του Α' Κανόνα του SIMPSON σε καμπύλη που ορίζεται από τρία σημεία.

Έτσι, στο Σχήμα 3.2, το τμήμα της επιφάνειας A_{12} , ανάμεσα στα σημεία A και B, προσεγγίζεται από το ορθογώνιο τραπέζιο $ABB'A'$. Όπως φαίνεται και στο σχήμα αυτό, το εμβαδόν του τραπεζίου είναι:

$$A_{12} = \frac{h(y_1 + y_2)}{2} \quad (3.1)$$

Ομοίως, το εμβαδόν της επιφάνειας A_{23} , ανάμεσα στα σημεία B και C, προσεγγίζεται από το ορθογώνιο τραπέζιο $BCC'B'$, οπότε:

$$A_{23} = \frac{h(y_2 + y_3)}{2} \quad (3.2)$$

Συνδυάζοντας (προσθέτοντας) τις σχέσεις (3.1) και (3.2) προκύπτει το συνολικό εμβαδόν A_{13} , ανάμεσα στα σημεία A και C:

$$A_{13} = \frac{h(y_1 + 2y_2 + y_3)}{2} \quad (3.3)$$

Η σχέση (3.3) μπορεί να επεκταθεί για τέσσερα σημεία στην παρακάτω σχέση:

$$A_{14} = \frac{h(y_1 + 2y_2 + 2y_3 + y_4)}{2} \quad (3.4)$$

Ομοίως για πέντε σημεία, η σχέση γίνεται:

$$A_{15} = \frac{h(y_1 + 2y_2 + 2y_3 + 2y_4 + y_5)}{2} \quad (3.5)$$

Αντίστοιχα επεκτείνεται για περισσότερα σημεία.

3.4 ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΟΥ SIMPSON

Όπως ασφαλώς θα παρατηρήσατε ήδη στο Σχήμα 3.2, ο Τραπεζοειδής Κανόνας δεν έχει πολύ μεγάλη ακρίβεια, ιδιαίτερα όταν η καμπύλη περιγράφεται με λίγα σημεία, που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση το ένα από το άλλο.

Για τη βελτίωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιούνται οι δύο Κανόνες του Simpson. Σύμφωνα με τον 1^ο από τους κανόνες αυτούς, η καμπύλη ABC προσεγγίζεται από ένα πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού. Αποδεικνύεται ότι το εμβαδόν της επιφάνειας κάτω από τη καμπύλη ABC μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση:

$$A_{13} = \frac{h}{3}(y_1 + 4y_2 + y_3) \quad (3.6)$$

Η σχέση (3.6) μπορεί να γενικευτεί για N ισαπέχοντα σημεία, όπου N περιττός αριθμός. Έτσι για πέντε σημεία η σχέση γίνεται:

$$A_{15} = \frac{h}{3}(y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + y_5) \quad (3.7)$$

Ο κανόνας αυτός λέγεται 1^{ος} Κανόνας του Simpson ή Κανόνας των Τριών Τεταγμένων.

Εφόσον ο αριθμός των τεταγμένων είναι πολλαπλάσιο του 3 συν 1, δηλ. $N=3n+1$, όπου n ακέραιος, τότε εφαρμόζεται ο 2^{ος} Κανόνας του Simpson, που προσεγγίζει μια καμπύλη που δίνεται με τέσσερα σημεία με πολυώνυμο 3^{ου} βαθμού. Ο κανόνας αυτός για τέσσερα ($4=3x1+1$) σημεία έχει τη μορφή:

$$A_{14} = \frac{3h}{8}(y_1 + 3y_2 + 3y_3 + y_4) \quad (3.8)$$

ενώ για επτά σημεία ($7=3x2+1$) σημεία γίνεται:

$$A_{17} = \frac{3h}{8}(y_1 + 3y_2 + 3y_3 + 2y_4 + 2y_5 + 3y_6 + y_7) \quad (3.9)$$

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλοι Κανόνες του Simpson, όπως π.χ. ο κανόνας 5, 8, -1 που αφορά την επιφάνεια A_{12} , όταν είναι γνωστές οι τεταγμένες y_1, y_2 και y_3 . Ο κανόνας αυτός, σε αντίθεση με τους δύο προαναφερθέντες κανόνες του Simpson, εφαρμόζεται μόνο για την εύρεση επιφανειών και όχι ροπών, εκφράζεται δε από τη σχέση:

$$A_{12} = \frac{h}{12}(5y_1 + 8y_2 - 1y_3) \quad (3.10)$$

Προσοχή απαιτείται στο γεγονός ότι με την παραπάνω σχέση (3.10) υπολογίζεται η επιφάνεια A_{12} ανάμεσα στα σημεία x_1 και x_2 και όχι η επιφάνεια A_{13} ανάμεσα στα σημεία x_1 και x_3 .

3.5 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΚΑΝΟΝΩΝ

Όπως ασφαλώς θα παρατηρήσατε ήδη, οι κανόνες που παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα αναφέρονται σε ισαπόσταση των τεταγμένων της καμπύλης. Στις περιπτώσεις που η απόσταση των τεταγμένων δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται, εφαρμόζεται τμηματικά ο ίδιος κανόνας με διαφορετικές ισαποστάσεις h ή διαφορετικοί κανόνες και αθροίζονται τα αποτελέσματά τους.

Στην περίπτωση που οι τεταγμένες των σημείων δεν δίνονται σε ισαποστάσεις ή πολλαπλάσια κάποιων ισαποστάσεων, τότε εφαρμόζουμε τον τραπεζοειδή κανόνα σε κάθε διάστημα χωριστά και αθροίζουμε τα επιμέρους αποτελέσματα. Γενικά, πάντως, η περίπτωση αυτή δεν είναι συνηθισμένη στους ναυτικούς υπολογισμούς, διότι απλώς τους δυσχεραίνει αλλά και μειώνει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

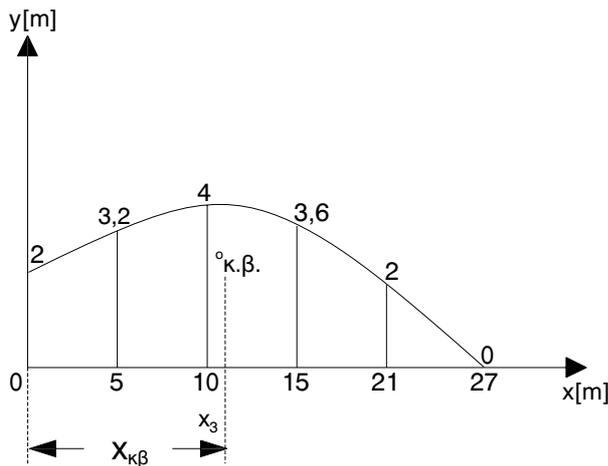
Ακολουθεί ένα αριθμητικό παράδειγμα εφαρμογής συνδυασμού δύο κανόνων για την εύρεση του συνολικού εμβαδού κάτω από καμπύλη που ορίζεται από έξι σημεία.

Παράδειγμα εφαρμογής συνδυασμού δύο κανόνων.

Ας θεωρήσουμε ότι η ίσαλος ενός πλοίου περιγράφεται από έξι σημεία. Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται η αριστερή πλευρά της ισάλου, η οποία είναι συμμετρική ως προς το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου. Οι

τετμημένες και οι τεταγμένες των έξι σημείων της αριστερής (μισής) της ισάλου σε μέτρα είναι:

$$\begin{aligned}(x_1, y_1) &= (0, 2), & (x_2, y_2) &= (5, 3,2), \\ (x_3, y_3) &= (10, 4), & (x_4, y_4) &= (15, 3,6), \\ (x_5, y_5) &= (21, 2), & (x_6, y_6) &= (27, 0).\end{aligned}$$



Σχήμα 3.3. Ημιτεταγμένες της ισάλου πλοίου (πάνω στα σημεία αναγράφονται οι τεταγμένες τους)

Παρατηρούμε ότι, στην περίπτωση αυτή, οι τέσσερις πρώτες τεταγμένες ισαπέχουν μεταξύ τους κατά 5 m, ενώ οι δύο τελευταίες κατά 6 m. Άρα μπορούμε να εφαρμόσουμε το 2^ο κανόνα του Simpson για την επιφάνεια A_{14} ανάμεσα στα τέσσερα πρώτα σημεία 1, 2, 3 και 4, από τη σχέση (3.8). Αντίστοιχα, εφαρμόζουμε τον 1^ο κανόνα του Simpson για την επιφάνεια A_{46} ανάμεσα στα τρία τελευταία σημεία 4, 5 και 6, από τη σχέση (3.6). Αναλυτικά:

$$A_{14} = \frac{3 \times 5}{8} x(2 + 3 \times 3,2 + 3 \times 4 + 3,6) = 51 \text{ m}^2$$

$$A_{46} = \frac{6}{3} x(3,6 + 4 \times 2 + 0) = 23,2 \text{ m}^2$$

Η συνολική επιφάνεια A_{16} θα είναι φυσικά το άθροισμα των παραπάνω δύο επιφανειών και η επιφάνεια της ισάλου A_{WP} θα είναι διπλάσια της επιφάνειας A_{16} . Άρα:

$$A_{WP} = 2 A_{16} = 2 (A_{14} + A_{46}) = 148,4 \text{ m}^2$$

3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΩΝ ΒΑΡΟΥΣ

Σύμφωνα με τον ορισμό του, το **κέντρο βάρους** είναι το σημείο του οποίου το γινόμενο της απόστασης $x_{κβ}$ (βλέπε σχήμα 3.1) από κάποιο σημείο, έστω το 0, ισούται με τη στατική ροπή M_x της επιφάνειας υπό την καμπύλη ως προς το ίδιο σημείο, δηλ.:

$$M_x = x_{κβ} A \rightarrow x_{κβ} = M_x / A \quad (3.11)$$

Επομένως, η εύρεση της θέσης του κέντρου βάρους ανάγεται στην εύρεση της στατικής ροπής και της επιφάνειας κάτω από την καμπύλη.

Στις προηγούμενες ενότητες, περιγράφηκε η εύρεση του εμβαδού της επιφάνειας με τον Τραπεζοειδή Κανόνα ή τους Κανόνες του Simpson. Η ίδια διαδικασία εφαρμόζεται και για την εύρεση της στατικής ροπής, με τη διαφορά ότι, αντί των τεταγμένων, χρησιμοποιούμε τα γινόμενά τους επί την απόστασή τους από το σημείο αναφοράς. Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζουμε τα γινόμενα αυτά επί τους συντελεστές των διαφόρων κανόνων.

Έτσι, για παράδειγμα στην περίπτωση του Σχήματος 3.2, η στατική ροπή M_{x13} υπολογίζεται με τη βοήθεια του 1^{ου} Κανόνα του Simpson, από τη σχέση:

$$M_{x13} = \frac{h}{3} (x_1 y_1 + 4 x_2 y_2 + x_3 y_3) \quad (3.12)$$

Με αντικατάσταση των σχέσεων (3.6) και (3.12) στην (3.11), προκύπτει η (προσεγγιστική) θέση του κέντρου βάρους της επιφάνειας:

$$x_{κβ} = \frac{x_1 y_1 + 4 x_2 y_2 + x_3 y_3}{y_1 + 4 y_2 + y_3} \quad (3.13)$$

Η όλη διαδικασία γενικεύεται και στην περίπτωση περισσότερων των τριών τεταγμένων καθώς και στη περίπτωση χρήσης συνδυασμού κανόνων.

Υπολογισμός της θέσης του κέντρου βάρους της ισάλου του Σχήματος 3.3

Το κέντρο βάρους της καμπύλης του Σχήματος 3.3, που αντιστοιχεί στο αριστερό τμήμα ισάλου πλοίου, ευρίσκεται με εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων. Λόγω της συμμετρίας της ισάλου ως προς τον άξο-

να Ox , το κέντρο βάρους θα βρίσκεται πάνω στον άξονα Ox . Άρα μας ενδιαφέρει μόνο η διαμήκης θέση $x_{κβ}$ του κέντρου βάρους.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, υπολογίζουμε τη στατική ροπή M_{x14} της επιφάνειας A_{14} ανάμεσα στα τέσσερα πρώτα σημεία 1, 2, 3 και 4, ως προς το σημείο 0, από τη σχέση (3.8) του 2ου κανόνα του Simpson. Επίσης, υπολογίζουμε τη στατική ροπή M_{x46} της επιφάνειας A_{46} ανάμεσα στα τρία τελευταία σημεία 4, 5 και 6, ως προς το ίδιο σημείο 0, από τη σχέση (3.6) του 1ου κανόνα του Simpson. Αναλυτικά:

$$M_{x14} = \frac{3 \times 5}{8} (2 \times 0 + 3 \times 3,2 \times 5 + 3 \times 4 \times 10 + 3,6 \times 15) = 416,25 \text{ m}^3$$

$$M_{x46} = \frac{6}{3} (3,6 \times 15 + 4 \times 2 \times 21 + 0 \times 27) = 444 \text{ m}^3$$

Η συνολική στατική ροπή M_{x16} της επιφάνειας A_{16} ως προς το σημείο 0 θα είναι το άθροισμα των παραπάνω δύο στατικών ροπών και η ροπή M_{xWP} της επιφάνειας της ισάλου A_{WP} θα είναι διπλάσια της ροπής M_{x16} . Άρα:

$$M_{xWP} = 2 M_{x16} = 2 (M_{x14} + M_{x46}) = 1720,5 \text{ m}^3$$

Η θέση $x_{κβ}$ του κ.β. προκύπτει από εφαρμογή της σχέσης (3.11):

$$x_{κβ} = M_{xWP} / A_{WP} = 1720,5 \text{ m}^3 / 148,4 \text{ m}^2 = 11,594 \text{ m}$$

Ερωτήσεις επαναλήψεως

1. Να εκφράσετε τον Κανόνα του Simpson 5, 8, -1 για τον υπολογισμό της επιφάνειας A_{23} .
2. Να εκφράσετε το 2^ο Κανόνα του Simpson για δέκα σημεία.
3. Τι αποτέλεσμα δίνει ο 2^{ος} Κανόνας του Simpson στην περίπτωση ενός ορθογώνιου παραλληλόγραμμου που το χωρίζουμε σε έξι ίσα τμήματα;
4. Να εφαρμόσετε τον 1^ο Κανόνα του Simpson στη περίπτωση της επιφάνειας ενός τριγώνου και να συγκρίνετε με το ακριβές αποτέλεσμα.

Δραστηριότητες

1. Να βρείτε την έκφραση της θέσης του κέντρου βάρους για τέσσερις τεταγμένες με τη βοήθεια του 2^ο Κανόνα του Simpson.
2. Οι τρεις τεταγμένες μιας καμπύλης είναι 4, 6 και 5. Να συγκρίνετε το εμβαδόν που προκύπτει με τον Τραπεζοειδή Κανόνα με αυτό που προκύπτει με τον 1^ο Κανόνα του Simpson.
3. Να εφαρμόσετε για τις τρεις πρώτες από τις τέσσερις τεταγμένες τον 1^ο Κανόνα του Simpson και για το διάστημα ανάμεσα στην τρίτη και την τέταρτη τεταγμένη τον Τραπεζοειδή Κανόνα. Να συγκρίνετε με το αποτέλεσμα που προκύπτει, εάν εφαρμόσουμε το 2^ο Κανόνα του Simpson.

4. ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΩΣΗ. ΕΥΡΕΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των πλοίων είναι ότι κινούνται με μία ή περισσότερες κύριες μηχανές που είναι εγκατεστημένες σ' αυτά. Το βασικό ερώτημα που τίθεται είναι τι ισχύ πρέπει να έχει η μηχανή, ώστε το πλοίο να πλέει με προδιαγεγραμμένη ταχύτητα;

Επιπλέον, για να μετατραπεί η ισχύς της μηχανής σε μια δύναμη που θα κινήσει το πλοίο προς τα εμπρός (ή και προς τα πίσω) απαιτείται ένα σύστημα πρόωσης, το οποίο πρέπει να επιλεγεί κατάλληλα. Την περιγραφή των διαφόρων μέσων πρόωσης καθώς και τη διαδικασία επιλογής τους θα δούμε λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 5.

Στο παρόν Κεφάλαιο θα εξετάσουμε τη φύση της αντίστασης, τις συνιστώσες από τις οποίες αποτελείται, καθώς και τον τρόπο καθορισμού της. Επίσης, θα μάθετε τον τρόπο υπολογισμού της ισχύος ρυμούλκησης και της εγκατεστημένης ισχύος.

Όροι που πρέπει να μάθετε:

- αντίσταση πλοίου
- αντίσταση τριβής
- αντίσταση κυματισμών
- αντίσταση αέρα
- υπόλοιπη αντίσταση
- πρόσθετη αντίσταση σε κυματισμούς
- ισχύς ρυμούλκησης
- πρόωση πλοίου
- ισχύς πρόωσης
- παρελκόμενα
- τριβή ρευστού
- οριακό στρώμα
- συστηματικές σειρές

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- ποιοι είναι οι μηχανισμοί με τους οποίους αναπτύσσονται οι διάφορες συνιστώσες της αντίστασης ενός πλοίου;
- ποιες είναι οι συνιστώσες της αντίστασης ενός πλοίου;
- ποια χαρακτηριστικά της γεωμετρίας και της μορφής ενός πλοίου επηρεάζουν την αντίστασή του;
- πώς συμπεριφέρεται το ρευστό, όταν το διασχίζει ένα σώμα γενικά, και ένα πλωτό μέσο ειδικότερα;
- πώς υπολογίζεται η αντίσταση και ισχύς ρυμούλκησης ενός πλοίου;

4.2 ΓΕΝΙΚΑ

Όταν ένα σώμα κινείται μέσα σε ένα ομοιογενές ρευστό αντιμετωπίζει δυνάμεις που αντιτίθενται στην κίνησή του. Επιπλέον, όταν το ίδιο σώμα κινείται στη διαχωριστική επιφάνεια νερού και αέρα, αναπτύσσονται κυματισμοί, ενώ δέχεται ανθιστάμενες δυνάμεις τόσο στο νερό όσο και στον αέρα.

Οι δυνάμεις αυτές οφείλονται σε διάφορες αιτίες όπως:

- στην τριβή που αναπτύσσεται ανάμεσα σε διαδοχικά στρώματα του νερού που βρίσκονται κοντύτερα ή μακρύτερα από το σώμα
- στους κυματισμούς που προκαλεί το πλοίο καθώς πλέει σε ήρεμο νερό
- στις δίνες που δημιουργούνται στην πρύμνη του πλοίου
- στα παρελκόμενα του πλοίου (πηδάλια, συστήματα στήριξης αξόνων εξωτερικά της γάστρας, παρατροπίδια κλπ.)
- στην πίεση που ασκεί ο ακίνητος αέρας, λόγω της σχετικής του ταχύτητας ως προς το κινούμενο πλοίο.

Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια τις διάφορες συνιστώσες της αντίστασης και θα προτείνουμε μεθόδους για τον υπολογισμό τους.

4.3 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Αντίσταση τριβής

Όταν ένα σώμα κινείται μέσα σε ένα συνεκτικό μέσο όπως το νερό, τα μόρια του νερού που είναι σε επαφή με το σώμα εξωθούνται σε κίνηση μαζί με το σώμα, λόγω των δυνάμεων τριβής ανάμεσα στο σώμα και το μέσο. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται ακόμη και όταν η επιφάνεια του σώματος είναι λεία, αν και στην περίπτωση αυτή η τριβή είναι μικρότερη.

Η συνεκτικότητα όμως του νερού οδηγεί στην ανάπτυξη δυνάμεων τριβής και ανάμεσα στα μόριά του. Έτσι, αν για κάποιο λόγο κινηθεί ένα μέρος του νερού, αναπτύσσονται δυνάμεις εσωτερικής τριβής με το γειτονικό, ακίνητο μέρος του ρευστού, που το αναγκάζουν να κινηθεί με μικρότερη, όμως, ταχύτητα. Το ίδιο επαναλαμβάνεται και μεταξύ του τμή-

ματος που κινήθηκε, λόγω τριβής, και του γειτονικού του τμήματος. Συνοψίζοντας το φαινόμενο, παρατηρούμε ότι τα μόρια του νερού που βρίσκονται σε επαφή με το σώμα έχουν την ταχύτητά του, ενώ τα απομακρυσμένα από αυτό είναι ακίνητα. Η περιοχή του νερού ανάμεσα στο σώμα και τις στρώσεις που είναι ακίνητες ονομάζεται **οριακό στρώμα**.

Το φαινόμενο αυτό μπορούμε να το δούμε και από μια άλλη σκοπιά: όταν κινείται ένα σώμα μέσα σε ένα συνεκτικό μέσο, συμπαρασύρει και ποσότητα μάζας νερού, οπότε συμπεριφέρεται ουσιαστικά σαν να έχει μεγαλύτερη μάζα από αυτήν που πραγματικά έχει.

Η δύναμη που αναπτύσσεται κατ' αυτόν τον τρόπο ονομάζεται **δύναμη τριβής** και είναι προφανώς ανάλογη της βρεχόμενης επιφάνειας του σώματος.

Αποδεικνύεται, επιπλέον, ότι η αντίσταση τριβής εξαρτάται από το τετράγωνο της ταχύτητας του σώματος καθώς και από τη συνεκτικότητα του μέσου. Η τελευταία ιδιότητα εκφράζεται μέσω του συντελεστή τριβής C_F . Ο συντελεστής τριβής είναι συνάρτηση του αδιάστατου αριθμού Reynolds Re που ορίζεται ως :

$$Re = V L / \nu \quad (4.1)$$

όπου:

V = η ταχύτητα του σώματος

L = ένα χαρακτηριστικό μήκος του σώματος

ν = η κινηματική συνεκτικότητα του μέσου, που εξαρτάται από το μέσο και τη θερμοκρασία.

Έχοντας υπολογίσει τον συντελεστή τριβής, η αντίσταση τριβής δίνεται από τη σχέση:

$$R_F = \frac{1}{2} \rho C_F S V^2 \quad (4.2)$$

όπου:

ρ = η πυκνότητα του νερού = 104,61 Kp/m³ για θαλασσινό νερό θερμοκρασίας 15°C.

S = η βρεχόμενη επιφάνεια

C_F = αδιάστατος συντελεστής τριβής που δίνεται υπό μορφή σχέσεων ή πινάκων σαν συνάρτηση του αριθμού Re .

V = ταχύτητα του πλοίου σε [m/sec]. Προκύπτει από την ταχύτητα σε [kn] με πολλαπλασιασμό επί 0,515.

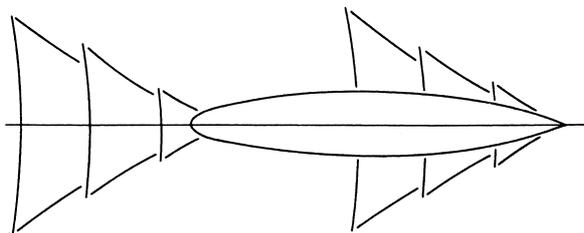
Το αποτέλεσμα προκύπτει σε Kp .

Αντίσταση κυματισμού

Όταν ένα σώμα κινείται με σταθερή ταχύτητα στην αδιατάρακτη διαχωριστική επιφάνεια νερού-αέρα δημιουργεί κυματισμούς. Οι κυματισμοί έχουν σταθερή μορφή και κινούνται μαζί με το σώμα. Πιο συγκεκριμένα, διακρίνουμε δύο συστήματα κυματισμών (σχήμα 4.1):

- τους αποκλίνοντες κυματισμούς, των οποίων οι κορυφές κινούνται υπό κλίση λίγο μικρότερη από τις 20° ως προς διεύθυνση κίνησης
- τους εγκάρσιους κυματισμούς, με καμπυλωμένες κορυφές που συναντούν τον άξονα συμμετρίας του πλοίου υπό ορθή γωνία.

Στην περίπτωση των πλοίων, έχουμε ουσιαστικά την παρουσία δύο συστημάτων κυματισμών, στην πλώρα και στην πρύμνη (σχήμα 4.1), τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, με πιο σημαντικό αυτό της πλώρας.



Σχήμα 4.1 Συστήματα κυματισμών στην πλώρα και την πρύμνη πλοίου

Στην περίπτωση του πλοίου, η ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία και τη συντήρηση των συστημάτων αυτών κυματισμών πρέπει να τροφοδοτηθεί από την προωστήρια μηχανή του πλοίου. Με άλλα λόγια, τα κύματα αυτά αποτελούν μια πηγή αντίστασης που πρέπει να αντισταθμιστεί από το σύστημα πρόωσης. Αυτή η δύναμη αντίστασης χαρακτηρίζεται ως **αντίσταση κυματισμού**.

Αντίσταση δινών

Λόγω της συνεκτικότητας του ρευστού, δημιουργούνται δίνες τόσο στην πρύμνη όσο και στα σημεία απότομης μεταβολής της γεωμετρίας του πλοίου.

Στα σημεία αυτά, η ροή του νερού δεν είναι ομαλή. Τα στρώματα της ροής, που είναι πολύ κοντά στη γάστρα, απομακρύνονται απ' αυτή, επειδή δεν μπορούν να ακολουθήσουν την απότομη αλλαγή της γεωμετρίας της, και κινούνται σε μια ελικοειδή πορεία, σε μια προσπάθεια να καλύψουν το κενό που διαφορετικά θα δημιουργούταν.

Οι δίνες απορροφούν ενέργεια που την παίρνουν από το πλοίο και τη διαχέουν στο θαλάσσιο περιβάλλον. Επομένως, οι δίνες αποτελούν άλλη μια πηγή αντίστασης για το πλοίο.

Είναι προφανές ότι όσο πιο ομαλές και στρωτές είναι οι γραμμές της γάστρας, τόσο μικρότερη θα είναι η αντίσταση λόγω δινών.

Αντίσταση παρελκόμενων

Τα παρελκόμενα ενός πλοίου περιλαμβάνουν τα πηδάλια, τα διάφορα συστήματα στήριξης που βρίσκονται εξωτερικά της γάστρας (μπρακέττα, καλύμματα αξόνων), τα παρατροπίδια, τα σταθεροποιητικά περύγια κλπ.

Η αντίσταση αυτών των εξαρτημάτων του πλοίου, που βρίσκονται στα ύφαλα του πλοίου, είναι κυρίως αντίσταση τριβής και δινών. Κάθε ένα από αυτά έχει τη δική του αντίσταση. Για τον υπολογισμό της αντίστασης τριβής χρησιμοποιείται η ίδια σχέση με αυτήν που δώσαμε προηγουμένως για την αντίσταση τριβής της γάστρας του πλοίου. Για τον υπολογισμό, όμως, του αριθμού Re πρέπει να χρησιμοποιείται το μήκος του παρελκόμενου και όχι αυτό της γάστρας.

Η αντίσταση των παρελκόμενων για ένα συμβατικό πλοίο είναι το 3-5% της συνολικής αντίστασης. Στα ταχύπλοα σκάφη, όπου η επιφάνεια των παρελκόμενων είναι συγκριτικά μεγαλύτερη, το ποσοστό αυτό μπορεί να φθάσει μέχρι το 10%.

Αντίσταση αέρα

Καθώς το πλοίο κινείται σε μια περιοχή με άπνοια, τα έξαλα και οι υπερχατασκευές του "αισθάνονται" ότι προσπίπτει σ' αυτά φαινόμενος αέρας που κινείται με ταχύτητα ίση και αντίθετη με την ταχύτητα του πλοίου. Το ίδιο φαινόμενο αισθάνεται και ο επιβάτης ενός ανοικτού αυτοκινήτου που κινείται στο δρόμο.

Στην πραγματικότητα, ο αέρας παρασυρόμενος από τη μετωπική επιφάνεια του πλοίου, συμπεριφέρεται σαν να προσπίπτει επί αυτής με την ταχύτητα του πλοίου. Η πίεση που ασκεί ο αέρας πάνω στη μετωπική επιφάνεια του πλοίου δημιουργεί μια δύναμη που αντιτίθεται στην πλεύση του και χαρακτηρίζεται ως αντίσταση αέρα. Η αντίσταση αυτή, που είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_w = \frac{1}{2} \rho C_w A_T V_R^2 \quad (4.3)$$

όπου:

R_w = αντίσταση αέρα

C_w = συντελεστής της αντίστασης αέρα που παίρνει τιμές 0,70-0,85 για άπνοια ή άνεμο από την πλώρα.

ρ = πυκνότητα αέρα (1,226 Kp/m³)

V_R = η σχετική ταχύτητα του πλοίου ως προς τον αέρα σε m/sec

Είναι προφανές, ότι όταν το πλοίο συναντά άνεμο στην περιοχή όπου πλέει, η ταχύτητα του ανέμου προστίθεται στην ταχύτητα του πλοίου για τον υπολογισμό της αντίστασης αέρα.

Υπόλοιπη αντίσταση

Για τη διευκόλυνση των υπολογισμών οι συνιστώσες της αντίστασης που οφείλονται στον κυματισμό και τις δίνες που δημιουργεί το πλοίο κατά την πλεύση του, χαρακτηρίζονται ως υπόλοιπη αντίσταση R_R . Η υπόλοιπη αντίσταση εκφράζεται μέσω της παρακάτω σχέσης που έχει ίδια μορφολογία με τη σχέση για την αντίσταση τριβής:

$$R_R = \frac{1}{2} \rho C_R S V^2 \quad (4.4)$$

όπου:

ρ = η πυκνότητα του νερού

S = η βρεχόμενη επιφάνεια

C_R = ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης, που είναι ένας αριθμός που χαρακτηρίζει ένα πλοίο σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης και ταχύτητα.

4.4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

Ο υπολογισμός των παραπάνω συνιστωσών της αντίστασης ενός πλοίου είναι μια πολύ δύσκολη διαδικασία. Ιδιαίτερη δυσχέρεια παρουσιάζει η εκτίμηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης C_R . Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων κατασκευάζονται ξύλινα ή πλαστικά πρότυπα των πλοίων υπό κλίμακα. Τα πρότυπα αυτά ρυμουλκούνται σε μακρόστενες πειραματικές δεξαμενές, ενώ ταυτόχρονα καταγράφεται η αντίσταση που εμφανίζουν κατά τη ρυμούλκησης τους με συγκεκριμένη ταχύτητα.

Στη Φωτογραφία 4.1 φαίνεται το ξύλινο πρότυπο υπό κλίμακα 1:25 ενός ταχύπλου επιβατηγού οχηματαγωγού πλοίου της ακτοπλοίας κατά τις δοκιμές ρυμούλκησης του στην Πειραματική Δεξαμενή. Στη Φωτογραφία 4.2 απεικονίζεται το πραγματικό πλοίο ενώ πλέει σε αντίστοιχη ταχύτητα.

Η αναγωγή των πειραματικών αποτελεσμάτων στο πλοίο σε φυσικό μέγεθος βασίζεται σε θεωρίες που έχουν αναπτυχθεί γι' αυτό το σκοπό. Ουσιαστικά από τα πειράματα συνάγεται ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης C_R συναρτήσει της ταχύτητας του πλοίου.

Επιπλέον, η χρήση των πειραματικών δεξαμενών επέτρεψε την ανάπτυξη *συστηματικών σειρών* αντίστασης, με την εκτέλεση πειραμάτων σε σειρές μορφών γάστρας πλοίων με συστηματική μεταβολή των παραμέτρων τους. Οι σειρές αυτές παρουσιάζουν τα αποτελέσματά τους σε μορφή διαγραμμάτων του συντελεστή C_R , συναρτήσει του αριθμού F_n . Πιο γνωστή από τις σειρές αυτές είναι η σειρά FORM-DATA που αναπτύχθηκε στο Πολυτεχνείο της Κοπεγχάγης.

4.5 ΙΣΧΥΣ ΡΥΜΟΥΛΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΠΡΟΩΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

Έχοντας υπολογίσει τη συνολική αντίσταση του πλοίου R_T ως άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών R_F , R_R και R_w :

$$R_T = R_F + R_R + R_w \quad (4.5)$$

μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ισχύ για τη ρυμούλκηση του πλοίου από τη σχέση:



Φωτογραφία 4.1 Το ξύλινο πρότυπο του πλοίου της φωτογραφίας 4.2 στην Πειραματική Δεξαμενή.



Φωτογραφία 4.2 Το πλοίο, του οποίου το πρότυπο δοκιμάστηκε στην Πειραματική Δεξαμενή, σε λειτουργία

$$EHP = \frac{R_T V}{75} \quad (4.6)$$

όπου:

R_T = η ολική αντίσταση σε (Kp)

V_s = η ταχύτητα σε (m/sec)
= η ταχύτητα σε (κόμβους) 0.515

EHP = η ισχύς ρυμούλκησης σε ίππους
(PS ή CV ή HP)

Η ισχύς ρυμούλκησης αντιστοιχεί στην ισχύ που πρέπει να διαθέσει ένα άλλο πλοίο για να ρυμουλκήσει το συγκεκριμένο πλοίο, με ταχύτητα V_s .

Η ισχύς που απαιτείται να δίνει η κύρια μηχανή, για να προωθήσει το πλοίο με την παραπάνω ταχύτητα V_s , είναι αρκετά μεγαλύτερη. Έτσι, αν με SHP συμβολίσουμε την ισχύ στον άξονα της / των κυρίων μηχανών του πλοίου και με η_T το συνολικό βαθμό απόδοσης του αξονικού συστήματος και του προωστήριου συστήματος (έλικες, συστήματα υδραυλικής αντίδρασης), τότε:

$$SHP = EHP / \eta_T \quad (4.7)$$

Ο συντελεστής η_T παίρνει τιμές της τάξης του 0,55÷0,65 για σύγχρονα πλοία, οπότε η συνεχής ισχύς που πρέπει να δίνει η κύρια μηχανή πρέπει να είναι:

$$SHP = (1,54 \div 1,82) \times EHP \quad (4.8)$$

Παράδειγμα υπολογισμού της ισχύος ρυμούλκησης πλοίου.

Ένα φορτηγό πλοίο έχει τα παρακάτω κύρια χαρακτηριστικά:

Μήκος L = 147 m

Πλάτος B = 22 m

Κοίλο D = 9 m

Ταχύτητα υπηρεσίας V = 16 knots

Εκτόπισμα Δ = 22.000 τόννοι

Ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης C_R στην παραπάνω ταχύτητα βρέθηκε ότι είναι 0,00122. Ο συντελεστής τριβής C_F στην ίδια ταχύτητα είναι 0,00153.

Δεδομένου ότι η βρεγόμενη επιφάνεια S του πλοίου είναι 4815 m², βρίσκουμε:

$$R_F = \frac{1}{2} \rho C_F S V^2 = 26.163 \text{ Kp}$$

$$R_R = \frac{1}{2} \rho C_R S V^2 = 20.862 \text{ Kp}$$

Εάν αγνοήσουμε την αντίσταση των παρελκομένων και την αντίσταση αέρα, η συνολική αντίσταση προκύπτει:

$$R_T = R_F + R_R = 47.025 \text{ Kp}$$

Η αντίστοιχη ισχύς ρυμούλκησης θα είναι σύμφωνα με τη σχέση (4.6):

$$EHP = \frac{47.025 \times (16 \times 0,515)}{75} = 5.166 \text{ PS}$$

Η παραπάνω ισχύς μπορεί να προσαυξηθεί, όταν ρυπανθεί η γάστρα του πλοίου ή όταν το πλοίο πλέει σε κυματισμένη θάλασσα, κατά ένα ποσοστό της τάξης του 20%.

Ερωτήσεις επαναλήψεως

1. Ποιες είναι οι συνιστώσες της αντίστασης ενός πλοίου;
2. Ποια από τις συνιστώσες της αντίστασης ενός πλοίου παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία στην εκτίμησή της;
3. Ποια χαρακτηριστικά της γεωμετρίας και της μορφής ενός πλοίου επηρεάζουν την αντίστασή του;
4. Πώς συμπεριφέρεται το ρευστό όταν το διασχίζει ένα σώμα γενικά, και ένα πλωτό μέσο ειδικότερα;

Δραστηριότητες

1. Πόσο αυξάνεται η ισχύς ρυμούλκησης του πλοίου στην ταχύτητα των 16 kn, αν λάβουμε υπόψη μας και την αντίσταση αέρα; (Θεωρήστε ότι δεν φυσάει άνεμος). Ήταν λογική η επιλογή μας στο παράδειγμα να αγνοήσουμε την αντίσταση αέρα;
2. Ποιος είναι ο μηχανισμός με τον οποίον αναπτύσσεται η αντίσταση λόγω δινών;
3. Να υπολογίσετε την ισχύ της κύριας μηχανής, εάν υποθέσουμε ότι ο συντελεστής $\eta_T = 0.60$.

5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΩΩΣΗΣ. ΕΛΙΚΕΣ, ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗ, ΠΡΩΡΑΙΑ ΕΛΙΚΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, εξετάσαμε τη διαδικασία με την οποία αναπτύσσονται δυνάμεις που αντιτίθενται στην κίνηση ενός πλοίου στο νερό καθώς και τα αίτια που τις προκαλούν. Η αφιέρωση ενός κεφαλαίου για το θέμα αυτό κρίθηκε απαραίτητη γιατί, όπως έχετε ακούσει στη φυσική (μηχανική), σύμφωνα με το νόμο του Νεύτωνα, μόνον όταν ένα σώμα επιταχύνει ή επιβραδύνει, αναπτύσσονται δυνάμεις και όχι όταν κινείται με σταθερή ταχύτητα.

Μια άλλη όμως ιδιαιτερότητα των πλοίων είναι ο τρόπος με τον οποίο αναπτύσσεται η απαραίτητη για την πρόωση του πλοίου δύναμη που εξισορροπεί την αντίσταση. Στο κεφάλαιο αυτό θα γνωρίσετε τα διάφορα μέσα που χρησιμοποιούνται για την πρόωση του πλοίου και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν. Ειδικότερα, για το πιο συνηθισμένο από αυτά τα μέσα, τον έλικα, θα εξετάσουμε τη γεωμετρία του και τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την απόδοσή του.

Όροι που πρέπει να μάθετε

- έλικας
- σύστημα υδραυλικής αντίδρασης
- βήμα έλικα
- μειωτήρας στροφών
- βαθμός απόδοσης έλικα
- προωραίος έλικας
- σύστημα πρόωσης με αέρα
- υδροτομή/αεροτομή
- πτερύγιο
- πλήμνη
- έλικες ρυθμιζόμενου βήματος
- σπηλαίωση
- υπερσπηλαιούμενοι έλικες
- πτερωτή

Καθώς θα διαβάσετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- ποια συστήματα χρησιμοποιούνται για την πρόωση των πλοίων;
- ποια είναι τα χαρακτηριστικά που τα καθιστούν κατάλληλα ή ακατάλληλα για συγκεκριμένες εφαρμογές;
- πώς επιλέγεται η διάμετρος, το βήμα και οι στροφές του έλικα;
- γιατί χρησιμοποιείται και πώς λειτουργεί ο προωραίος έλικας;

5.2 ΓΕΝΙΚΑ

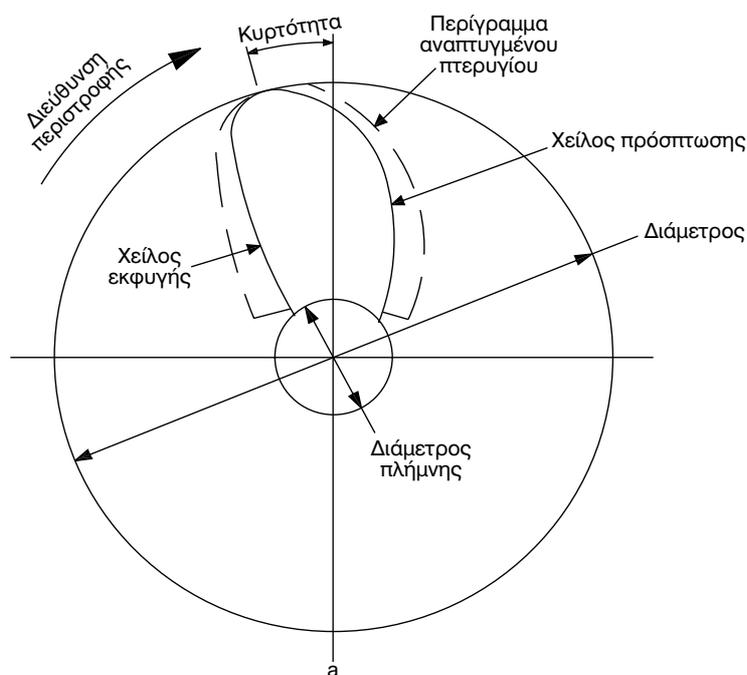
Για την πρόωση των μηχανοκίνητων πλοίων, βρίσκονται σήμερα σε χρήση οι εξής κατηγορίες συστημάτων:

- έλικες,
- συστήματα υδραυλικής αντίδρασης (water-jets),
- συστήματα πρόωσης με αέρα (air propulsion systems).

Οι **έλικες** είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα πρόωσης και χρησιμοποιείται τόσο σε μικρές όσο και σε μεγάλες ταχύτητες. Αντίθετα, τα άλλα δύο συστήματα χρησιμοποιούνται μόνο σε ταχύπλοα σκάφη, με μικρό σχετικά εκτόπισμα, όπου απαιτείται κατά κανόνα σχετικά μεγάλη ισχύς σε περιορισμένο χώρο.

Ειδικότερα, **τα συστήματα πρόωσης με αέρα** χρησιμοποιούνται κυρίως σε αερόστρωμνα σκάφη (hovercraft), που κινούνται πάνω σε στρώμα αέρα. Στις υπόλοιπες κατηγορίες ταχύπλοων σκαφών, χρησιμοποιούνται (ειδικοί) έλικες και, σε μικρότερη κλίμακα, **συστήματα υδραυλικής αντίδρασης**.

Επίσης, έλικες τοποθετούνται και εγκαρσία στην πλώρα του πλοίου για να διευκολύνουν τους ελιγμούς (**πρωοραίοι έλικες**).

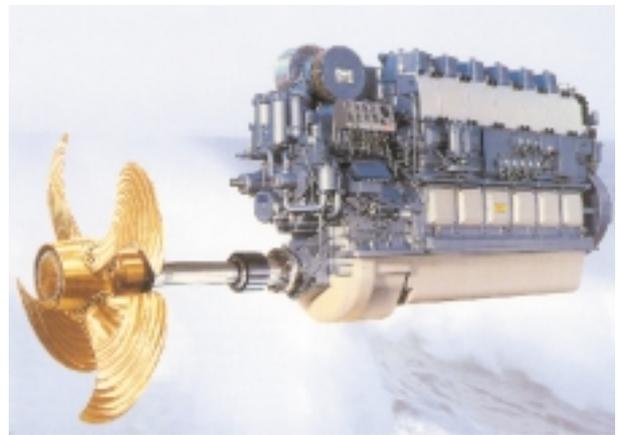


Τέλος, στα ιστιοπλοϊκά και τα ιστιοφόρα σκάφη χρησιμοποιείται ως μέσο πρόωσης η ιστιοφορία. Στα πρώτα από αυτά, τα πανιά αποτελούν το κύριο, ενώ στα δεύτερα, βοηθητικό σύστημα πρόωσης. Και οι δύο αυτές κατηγορίες σκαφών διαθέτουν και πρόωση με μηχανή και έλικα.

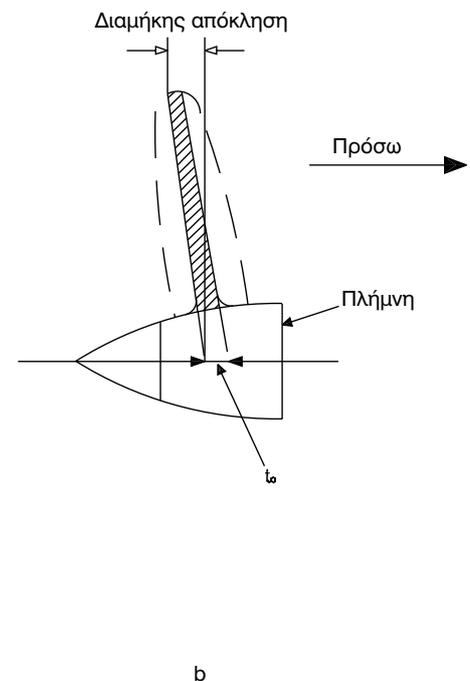
Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικότερα τα συστήματα πρόωσης των πλοίων.

5.3 ΠΡΟΩΣΗ ΜΕ ΕΛΙΚΕΣ

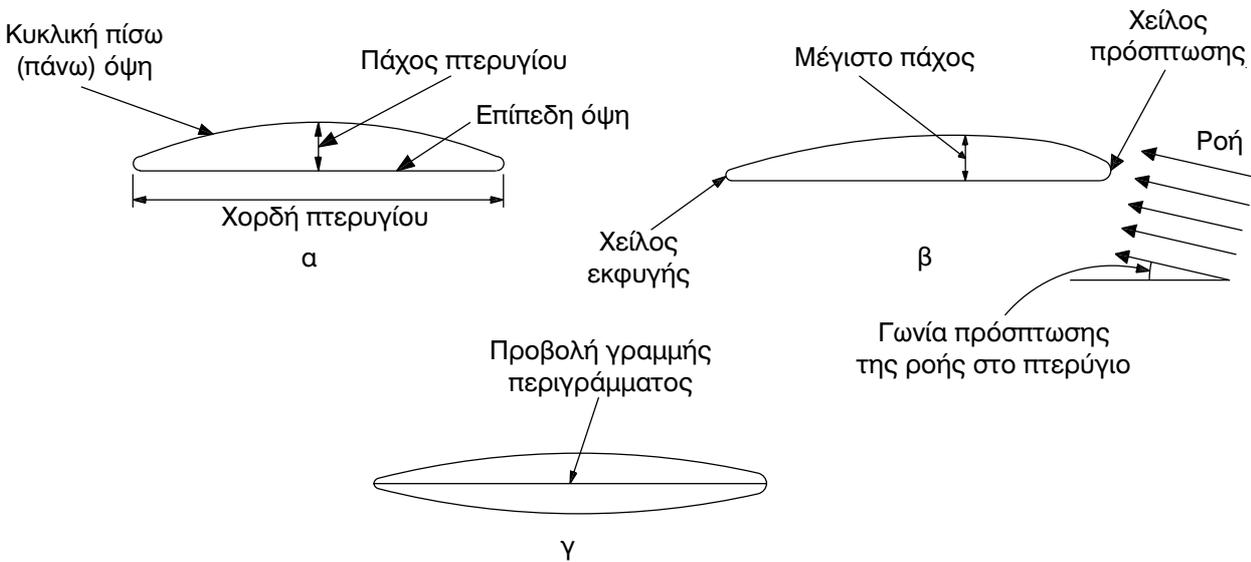
Τα συστήματα πρόωσης με έλικες (φωτ.5.1) απο-



Φωτογραφία 5.1 : Έλικα μεταβλητού βήματος κινούμενη από μηχανή Diesel



Σχήμα 5.1. Σχέδιο έλικα πλοίου.



Σχήμα 5.2. Πτερύγιο υπό κλίση σε ομοιόμορφη ροή.

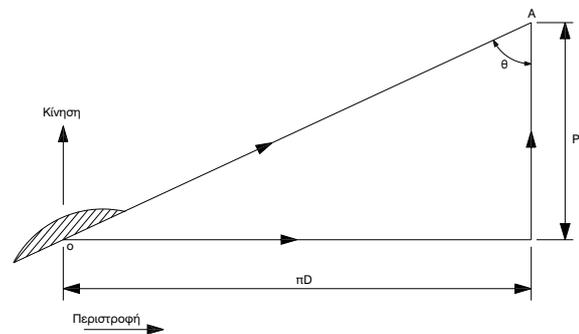
τελούνται από ένα ή περισσότερους **έλικες σταθερού βήματος** (fixed-pitch) ή **ρυθμιζόμενου βήματος** (controllable-pitch, CPP), τα παρελκόμενα στήριξης του έλικα, το **μειωτήρα στροφών** και τη μηχανή. Ο τύπος των ελίκων ποικίλει ανάλογα με το μέγεθος και, κυρίως, την ταχύτητα του πλοίου. Στις μικρότερες ταχύτητες, χρησιμοποιούνται έλικες υποσπηλαίωσης ή πλήρους διαβροχής (subcavitating ή fully-wetted). Στα ταχύπλοα πλοία χρησιμοποιούνται έλικες μερικής σπηλαίωσης (trans-cavitating) ή υπερσπηλαίωσης (super-cavitating).

Θα εξηγήσουμε, στη συνέχεια, τι είναι η σπηλαίωση και γιατί πρέπει να αποφεύγεται. Πρώτα, όμως, θα δούμε πώς λειτουργεί ο έλικας.

Το κάθε πτερύγιο του έλικα (σχήμα 5.1) αποτελείται από υδροτομές σαν αυτή του Σχήματος 5.2. Καθώς ο έλικας περιστρέφεται, τα πτερύγια συναντούν το νερό υπό γωνία, οπότε το εκτρέπουν προς τα πίσω με ταχύτητα. Αν θεωρήσουμε ένα παρατηρητή ακίνητο πάνω στο πτερύγιο, αυτός, αντί να παρατηρεί τον έλικα που κινείται στο νερό, βλέπει το νερό να προσπίπτει στο πτερύγιο με την ίδια σε μέτρο και αντίθετη σε φορά ταχύτητα. Αυτή η κατάσταση δημιουργεί μεγάλες ταχύτητες και κατά συνέπεια χαμηλές πιέσεις (αρχή του Bernoulli) στην πάνω (πίσω) επιφάνεια του πτερύγιου. Η διαφορά πιέσεων οδηγεί στην ανάπτυξη ανωστικών δυνάμεων, κάθετων στη ροή. Οι δυνάμεις αυτές,

στην περίπτωση του έλικα, έχουν κατεύθυνση προς τα εμπρός και ουσιαστικά προωθούν το πλοίο.

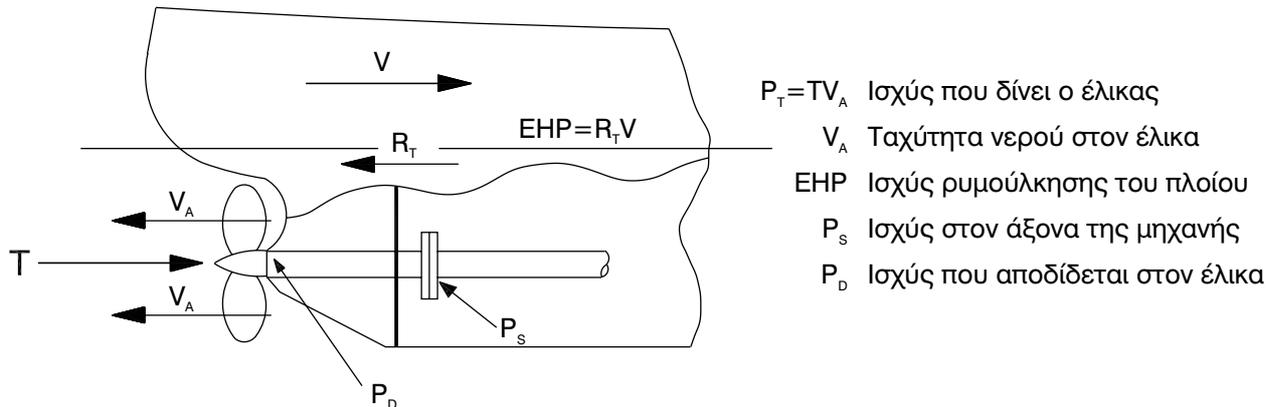
Η κλίση του πτερυγίου του έλικα ως προς το εγκάρσιο επίπεδο, εκφράζεται με το **βήμα P** του έλικα. Το βήμα του έλικα ορίζεται ως η απόσταση που θα προχωρούσε, κατά μήκος του άξονα του έλικα, το πτερύγιο σε μια περιστροφή του (σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3. Ορισμός του βήματος P του έλικα (D είναι η διάμετρος του έλικα).

Όπως φαίνεται στο σχήμα, κατά την περιστροφή του, το πτερύγιο διανύει, εγκάρσια, απόσταση μιας περιμέτρου κύκλου πD (όπου D η διάμετρος του δίσκου του έλικα) και διαμήκη απόσταση P . Άρα, η εφαπτομένη της γωνίας κλίσης θ του πτερύγιου θα είναι:

$$\epsilon\phi \theta = P / (\pi D)$$



Σχήμα 5.4. Διάταξη πρύμνης συμβατικού πλοίου.

Πιο συνηθισμένος είναι ο λόγος του βήματος προς τη διάμετρο P/D .

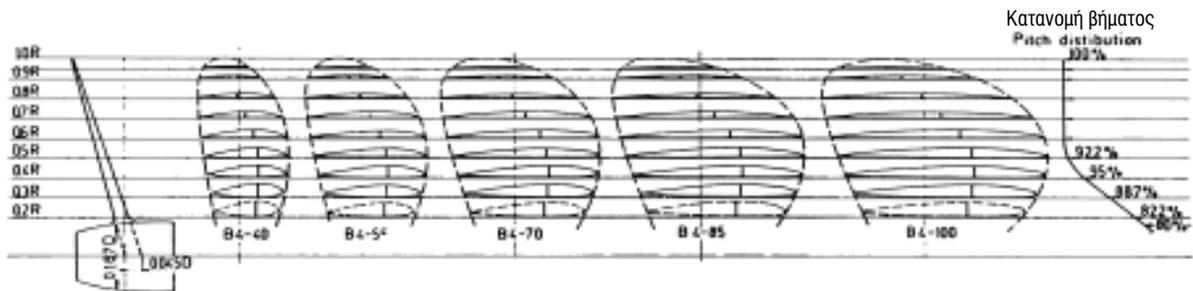
Μερικές φορές, όταν η ταχύτητα περιστροφής του έλικα είναι υψηλή και η κλίση της υδροτομής σχετικά μεγάλη, η ταχύτητα του νερού, στην πάνω πλευρά του, θα αυξηθεί πολύ. Όμως η εξίσωση του Bernoulli, προβλέπει ότι κατά μήκος μιας γραμμής ροής (της τροχιάς δηλ. ενός μικρού τμήματος του νερού) η συνολική πίεση παραμένει σταθερή. Η πίεση αυτή είναι το άθροισμα της στατικής και της δυναμικής πίεσης (λόγω ταχύτητας) και δίνεται από τη σχέση:

$$p + \rho V^2/2 = \text{σταθερή ποσότητα}$$

Έτσι, όταν αυξάνεται η ταχύτητα (λίγο μετά το χείλος πρόσπτωσης στο μπροσινό άκρο της υδροτομής), μειώνεται η στατική πίεση p . Όταν η p πέσει κάτω από κάποια τιμή, τότε το νερό ατμοποιείται. Το φαινόμενο αυτό λέγεται *σπηλαίωση*. Αν, στη συνέχεια, η στατική πίεση αυξηθεί πάλι (προς το

χείλος εκφυγής, στο πίσω μέρος της υδροτομής) τότε ο υδρατμός γίνεται πάλι νερό. Η υδροποίηση του υδρατμού συνοδεύεται από έντονο κρουστικό φαινόμενο που καταστρέφει την επιφάνεια του περουργίου και χαρακτηρίζεται ως *μηχανική διάβρωση λόγω σπηλαίωσης*. Το φαινόμενο της σπηλαίωσης πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε υπόψη, γιατί καταστρέφει τον έλικα.

Συνήθως, στα συμβατικά σκάφη ή σκάφη εκποίσματος όπως λέγονται, αφού ισορροπούν στο νερό χάρη στην υδροστατική άνωση (αρχή του Αρχιμήδη), οι έλικες τοποθετούνται στη συνέχεια της πρύμνης (σχήμα 5.4). Αντίθετα, στα ταχύπλοα σκάφη, με καθρέφτη στην πρύμνη ο οποίος είναι στεγνός στις μεγάλες ταχύτητες, οι έλικες είτε τοποθετούνται σε κεκλιμένους άξονες κάτω από τον πυθμένα του σκάφους, στην περιοχή της πρύμνης, είτε στηρίζονται σε κατακόρυφα πόδια στα οποία η μετάδοση, με σύστημα κωνικών οδοντωτών τροχών, αλλάζει την κατεύθυνση του άξονα περιστροφής κατά 90° . Μάλιστα, στο τελευταίο σύστημα, σε ορισμένες



Σχήμα 5.5. Η γεωμετρία της σειράς ελίκων Wageningen B-Series

περιπτώσεις, οι άξονες περιστροφής των ελίκων μπορούν, ελεγχόμενα, να περιστραφούν, αυξάνοντας, ανάλογα προς την περίπτωση των water-jet, τις ελκτικές ικανότητες του σκάφους.

Έλικες υποσπηλαίωσης

Οι *έλικες υποσπηλαίωσης* σχεδιάζονται για δεδομένες συνθήκες λειτουργίας, με την απαίτηση ότι η στατική πίεση, σε οποιοδήποτε σημείο της επιφανείας των πτερυγίων της, δεν θα πέφτει κάτω ή δεν θα πλησιάζει πολύ την πίεση ατμοποίησης του νερού, σ' αυτές τις συνθήκες.

Αν ικανοποιείται το παραπάνω κριτήριο σχεδίασης, τότε φυσαλίδες σπηλαίωσης, που περιέχουν υδρατμό ή αέρα διαλυμένο στο νερό, δεν θα σχηματίζονται πουθενά πάνω στην επιφάνεια των πτερυγίων.

Είναι επιθυμητό να αποφεύγονται οι φυσαλίδες σπηλαίωσης, γιατί η καταστροφή τους, καθώς μετακινούνται σε περιοχή υψηλότερης πίεσης πάνω στη επιφάνεια του πτερυγίου, μπορεί να προκαλέσει σοβαρή μηχανική διάβρωση καθώς και ταλαντώσεις.

Μια επιτυχημένη σχεδίαση έλικα υποσπηλαίωσης δίνει ικανοποιητική ταχύτητα πρόωσης, ώσης και απορροφούμενης ισχύος, με αρκετά μικρό ρυθμό μηχανικής διάβρωσης, λόγω σπηλαίωσης. Έτσι, διασφαλίζεται ικανοποιητικός χρόνος ζωής του έλικα και απουσία απαράδεκτων ταλαντώσεων. Για την ελαχιστοποίηση των βλαβών λόγω σπηλαίωσης, λαμβάνονται τα εξής μέτρα:

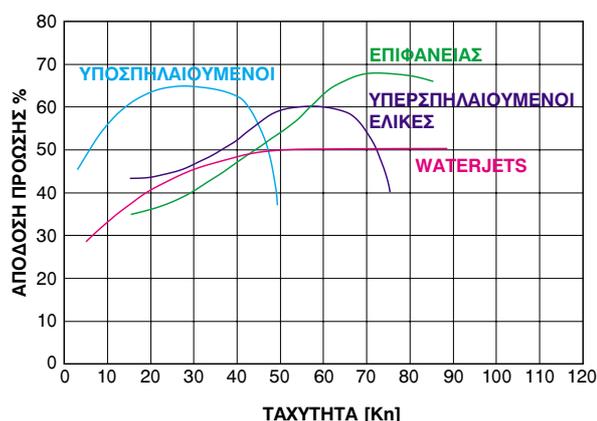
- επιλέγεται υλικό του έλικα με καλή αντοχή σε σπηλαίωση,
- γίνεται καλή υδροδυναμική σχεδίαση της γάστρας του σκάφους, των παρελκόμενων και του ίδιου του έλικα,
- επικαλύπτεται ο έλικας με υλικό που παρουσιάζει αντοχή στη σπηλαίωση.

Ο στόχος είναι να σχεδιαστεί ένας αποδοτικός έλικας, με τη μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρο έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή ταχύτητα του σκάφους, με την ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου και με ικανοποιητική διάρκεια ζωής του έλικα. Οι κύριες παράμετροι σχεδίασης ενός έλικα είναι, εκτός της διαμέτρου D , το βήμα P , ο *λόγος εκτεταμέ-*

νης επιφάνειας του έλικα (συνολική επιφάνεια των πτερυγίων της) προς το εμβαδόν του δίσκου της α_E , και οι στροφές λειτουργίας RPM.

Η συμπεριφορά, στο νερό, των ελίκων υποσπηλαίωσης είναι ανάλογη με τη συμπεριφορά των (αερο)ελίκων (υποχηητικών αεροσκαφών) στον αέρα. Για το λόγο αυτό, οι κυριότερες συστηματικές σειρές ελίκων υποσπηλαίωσης χρησιμοποιούν αεροτομές τύπου NACA (σειρά ελίκων Wageningen Troost B-series) (σχήμα 5.5) ή απλοποιημένες αεροτομές, με μορφή κυκλικών τμημάτων (σειρά ελίκων Gawn-Burrill).

Οι έλικες υποσπηλαίωσης, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 5.6, είναι ακατάλληλες για ταχύτητες άνω των 40 κόμβων, οπότε παρουσιάζουν αυξημένη μηχανική διάβρωση, λόγω σπηλαίωσης.



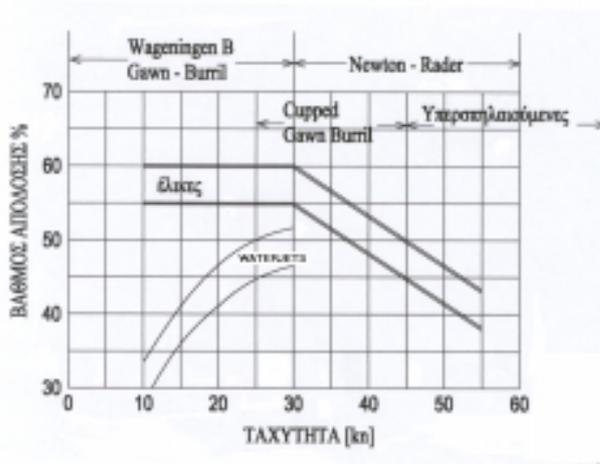
Σχήμα 5.6. Σχετική μέγιστη απόδοση διαφόρων συστημάτων πρόωσης.

Έλικες σε συνθήκες μερικής σπηλαίωσης

Με την αύξηση των στροφών ενός κανονικού έλικα υποσπηλαίωσης, η ώση του αρχικά αυξάνεται. Πάνω από κάποια ταχύτητα περιστροφής, όμως, η ώση δεν θα συνεχίσει να αυξάνεται, αλλά, αντίθετα θα έχει την τάση να μειωθεί. Μετά από κάποια παραπέρα αύξηση της ταχύτητας περιστροφής, η ώση θα αυξηθεί και πάλι. Έχει παρατηρηθεί ότι η απότομη απώλεια της ώσης συνοδεύεται από εξάπλωση της σπηλαίωσης, που, τελικά, καλύπτει την πλευρά χαμηλής πίεσης των πτερυγίων. Όταν η ώση αρχίζει να αυξάνεται πάλι, λέμε ότι ο έλικας υπερσπηλαιώ-

νει, ενώ μέχρι το σημείο ο έλικας λειτουργεί σε κατάσταση *μερικής σπηλαίωσης*.

Σε συνθήκες μερικής σπηλαίωσης, μπορούν να λειτουργήσουν και οι κοινοί έλικες υποσπηλαίωσης Wageningen και Gawn-Burrill, με μειωμένη απόδοση και διάρκεια ζωής. Στις τελευταίες για βελτίωση της απόδοσης εφαρμόζεται μια διαδικασία κύρτωσης του άκρου του πτερυγίου που λέγεται *cupping*.



Σχήμα 5.7. Ολικός βαθμός απόδοσης (OPC) επί τοις εκατό διαφόρων συστημάτων πρόωσης.

Πολύ καλά αποτελέσματα, σε συνθήκες μερικής σπηλαίωσης αλλά και υπερσπηλαίωσης, έχει η γνωστή συστηματική σειρά έλικων Newton-Rader. Στο Σχήμα 5.7 απεικονίζεται η διακύμανση του ολικού βαθμού απόδοσης για συστήματα πρόωσης ταχύπλων με έλικες ή με υδραυλική αντίδραση, με τους προτεινόμενους τύπους έλικων στις διάφορες περιοχές ταχυτήτων. Σύμφωνα με το σχήμα αυτό, οι έλικες Newton-Rader προτείνονται για ταχύτητες μεταξύ 30 και 60 κόμβων.

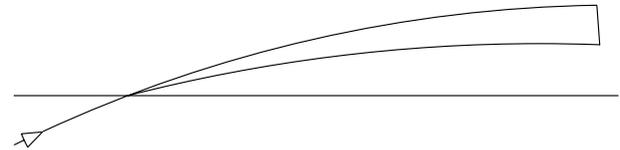
Έλικες υπερσπηλαίωσης

Λέμε ότι ένας έλικας λειτουργεί σε κατάσταση υπερσπηλαίωσης, όταν παρουσιάζει φυσαλίδα σπηλαίωσης στα πτερύγιά του, η οποία πηγάζει από το χείλος πρόσπτωσης του πτερυγίου, καλύπτει **πλήρως** την πίσω (πάνω) πλευρά του πτερυγίου, και καταλήγει με τη ροή **πίσω** από το χείλος εκφυγής. Όταν, επιπλέον, σε πολύ χαμηλές τιμές υποπίεσης, ο συντελεστής ώσης (και συνεπώς η απόδοση) του έλικα δεν εξαρτάται πλέον από την υποπίεση, τότε

λέμε ότι ο έλικας λειτουργεί σε κατάσταση **πλήρους υπερσπηλαίωσης**.

Ένα πλεονέκτημα των έλικων που λειτουργούν σε κατάσταση υπερσπηλαίωσης είναι ακριβώς η απουσία μηχανικής διάβρωσης, λόγω σπηλαίωσης, στην πίσω πλευρά των πτερυγίων. Οι έλικες, τα πτερύγια των οποίων είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να λειτουργούν σε κατάσταση υπερσπηλαίωσης, ονομάζονται έλικες υπερσπηλαίωσης. Η πιο συνηθισμένη μορφή τομής πτερυγίων είναι η σφήνα, της οποίας το αιχμηρό άκρο είναι το χείλος πρόσπτωσης (βλ. σχήμα 5.8).

Οι έλικες υπερσπηλαίωσης χρησιμοποιούνται, επιτυχώς, σ' όλες τις ταχύτητες πάνω από 40 κόμβους, αν και, βεβαίως, η απόδοσή τους είναι πολύ χαμηλή σε ταχύτητες πάνω από 100 κόμβους. Αν η φυσαλίδα σπηλαίωσης είναι γεμάτη κυρίως με αέρα, που προσάγεται κατάλληλα, και όχι με υδρατικό, τότε έχουμε τους **υπεραεριζόμενους έλικες** (super-ventilated propellers), οι οποίοι βέβαια συμπεριφέρονται ανάλογα με τους έλικες υπερσπηλαίωσης.



Σχήμα 5.8 Σφηνοειδής τομή πτερυγίου έλικα υπερσπηλαίωσης.

Μια κατηγορία υπεραεριζόμενων έλικων είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν μερικά βυθισμένοι στο νερό, ώστε να αερίζεται το κεντρικό τους τμήμα όπου στηρίζονται τα πτερύγια, το οποίο λέγεται **πλήμνη** του έλικα. Οι έλικες αυτοί λέγονται και έλικες επιφάνειας (surface piercing propellers) και, συνήθως, τοποθετούνται σε άξονες που εξέρχονται από τον καθρέπτη της πρύμνης του σκάφους.

Έλικες ρυθμιζόμενου βήματος

Αρκετά πλοία χρησιμοποιούν έλικες στους οποίους το βήμα μπορεί να μεταβληθεί με ηλεκτρο-υδραυλικό σύστημα περιστροφής των πτερυγίων τους. Οι έλικες αυτοί λέγονται **έλικες ρυθμιζόμενου**

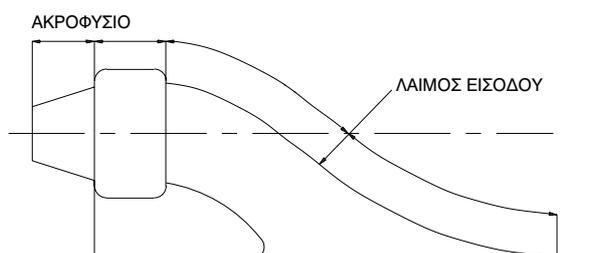
βήματος σε αντίθεση με τους *έλικες σταθερού βήματος*.

Οι έλικες ρυθμιζόμενου βήματος έχουν το πλεονέκτημα να λειτουργούν σε κάθε ταχύτητα περιστροφής της μηχανής με το σωστό βήμα. Επίσης, για να κινηθεί το πλοίο ανάποδα, δεν απαιτείται κίνηση της μηχανής ανάποδα, αλλά απλή αντιστροφή του βήματος.

Στα μειονεκτήματα των ελίκων αυτών συγκαταλέγονται η ακριβή κατασκευή, η μειωμένη απόδοσή τους, σε σχέση με τον αντίστοιχο έλικα σταθερού βήματος που έχει σχεδιαστεί για το συγκεκριμένο βήμα, και το αυξημένο μέγεθος της πλήμνης για να ενσωματώσει τον υδραυλικό μηχανισμό περιστροφής των περυγίων.

5.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

Στα συστήματα πρόωσης υδραυλικής αντίδρασης γίνεται εισροή νερού με ειδική διαμόρφωση εισόδου (inlet), μεταβλητού ή σταθερού εμβαδού, επί της γάστρας (συνήθως στον πυθμένα) του σκάφους. Το νερό οδηγείται μέσω γωνιακού σωληνωτού αγωγού σε μία αντλία που αποτελείται, συνήθως, από μια περωτή (impeller). Η ροή επιταχύνεται στην περωτή και, ακολούθως, εκτονώνεται, στην πρύμνη, μέσω ενός ακροφύσιου (nozzle), στην αμμόσφαιρα (Σχήμα 5.9).



Σχήμα 5.9. Σύστημα υδραυλικής αντίδρασης.

Συνήθως, στο στάδιο της εκτόνωσης, υπάρχει μηχανισμός ελεγχόμενης αλλαγής της κατεύθυνσης (ακόμη και αντιστροφής) της ροής του νερού, άρα και της παρεχόμενης ώσης, βελτιώνοντας έτσι τις ελκτικές ικανότητες του σκάφους. Επιπλέον, επειδή

η όλη διάταξη πρόωσης βρίσκεται εσωτερικά της γάστρας, επιτρέπει την κίνηση του σκάφους και σε ιδιαίτερα ρηγά νερά.

Βέβαια, το γεγονός ότι η όλη διάταξη πρόωσης βρίσκεται εσωτερικά της γάστρας είναι και μειονέκτημα, αφού ελαττώνεται ο ωφέλιμος όγκος του σκάφους.

Γενικά, η απόδοση πρόωσης των συστημάτων υδραυλικής αντίδρασης είναι χαμηλότερη από την απόδοση των συστημάτων με έλικες (σχήμα 5.6), αν και, τα τελευταία χρόνια, γίνονται προσπάθειες να αυξηθεί.

5.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΩΣΗΣ ΜΕ ΑΕΡΑ

Υπάρχουν διάφορα συστήματα πρόωσης με αέρα, κατάλληλα για χρήση κυρίως σε ταχύπλοα σκάφη, όπως οι ελεύθερες ή μέσα σε δακτύλιο (αερο)έλικες και τα συστήματα με φυγοκεντρικές ή αξονικές αεραντλίες.

Όλα τα συστήματα πρόωσης αέρα παρουσιάζουν δύο πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συστήματα πρόωσης που λειτουργούν στο νερό: την καλή απόδοση σε χαμηλές ταχύτητες και την έλλειψη σπηλαιώσης, αφού δεν υπάρχουν βυθισμένα μέρη.

Παρουσιάζουν όμως και το μειονέκτημα ότι εκτίθενται στη μηχανική διάβρωση, λόγω του αφρού, και στη χημική διάβρωση, λόγω του αλατιού.

Τόσο οι ελεύθεροι όσο και οι μέσα σε δακτύλιο έλικες εφαρμόζονται, κυρίως, στην πρόωση αερόστρωμων, τα οποία δεν διαθέτουν στερεές κατασκευές στο νερό. Οι έλικες αυτοί προσφέρουν τη δυνατότητα υψηλών βαθμών απόδοσης, μολονότι, πρακτικά, απαιτούνται υπερβολικές διαμέτροι για την επίτευξη απόδοσης μεγαλύτερης του 60%. Ένα σημαντικό μειονέκτημα των αεροελίκων είναι ο εκπαιρόμενος θόρυβος.

5.6 ΠΡΟΩΣΗ ΜΕ ΙΣΤΙΟΦΟΡΙΑ

Η πρόωση με πανιά αποτελούσε για πολλούς αιώνες τον αποκλειστικό τρόπο πρόωσης των πλοίων. Σήμερα εφαρμόζεται κυρίως σε ιστιοφόρα και ιστιοπλοϊκά σκάφη. Στα ιστιοφόρα, αποτελεί βοηθητικό τρόπο πρόωσης, παράλληλα με τις εγκατεστημένες σ' αυτά μηχανές. Εξάλλου, υπάρχει σχετική



Φωτογραφία 5.2 Σύγχρονο ιστιοπλοϊκό σκάφος

διάταξη της Επιθεώρησης Εμπορικών Πλοίων (ΕΕΠ) του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας (ΥΕΝ) που επιτρέπει την τοποθέτηση μιας μόνο κύριας μηχανής, αντί για δύο, σε επιβατηγά πλοία, υπό την προϋπόθεση ότι θα διαθέτουν ικανοποιητική ιστιοφορία, ώστε να μπορούν να πλεύσουν με ταχύτητα 4 κόμβων, μόνο με τα πανιά.

Όσον αφορά τα ιστιοπλοϊκά σκάφη (φωτογραφία 5.2), αυτά αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία σκάφων. Όσα από αυτά συμμετέχουν σε αγώνες, ενσωματώνουν, γενικά, πολύ υψηλή τεχνολογία, τόσο στη σχεδίαση όσο και στην κατασκευή τους.

Τα σύγχρονα πανιά λειτουργούν ως αεροτομές, οι οποίες παράγουν δυνάμεις τόσο κατά μήκος του πλοίου για την πρόωσή του, όσο και εγκάρσια που δίνει κλίση στο πλοίο και κατακόρυφη που αυξάνει ουσιαστικά το εκτόπισμα. Για την αντιμετώπιση της εγκάρσιας κλίσης, τα ιστιοπλοϊκά διαθέτουν καρίνα και μεγάλο πηδάλιο. Επιπλέον, προς βελτίωση της ευστάθειας, λαμβάνεται μέριμνα για μετατόπιση του κέντρου βάρους όσον γίνεται χαμηλότερα, με την τοποθέτηση έρματος 40-50% του βάρους του σκάφους στην καρίνα. Αντίστοιχα, τοποθετείται έρμα και στον πυθμένα των ιστιοφόρων σκαφών.

Ερωτήσεις επαναλήψεως

1. Ποια συστήματα χρησιμοποιούνται για την πρόωση των πλοίων;
2. Πώς επιλέγεται η διάμετρος, το βήμα και οι στροφές του έλικα;
3. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ελίκων ρυθμιζόμενου βήματος;
4. Τι μορφή έχουν τα περύγια των υπερσπηλαιούμενων ελίκων;
5. Γιατί χρησιμοποιείται και πώς λειτουργεί ο πρωραίος έλικας;
6. Ποια χαρακτηριστικά των συμβατικών ελίκων τους καθιστούν ακατάλληλους για συγκεκριμένες εφαρμογές;

Δραστηριότητες

1. Να υπολογίσετε τη γωνία κλίσης των περυνγίων έλικα που έχει λόγο βήματος προς διάμετρο $P/D=1,20$.
2. Να συντάξετε πίνακα καταγραφής των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των ελίκων ρυθμιζόμενου βήματος.
3. Να κατασκευάσετε έναν πίνακα με τα χαρακτηριστικά των διαφόρων συστημάτων πρόωσης.

6. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΠΛΟΙΟΥ. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΗΔΑΛΙΟΥ.

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο Κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με έναν άλλο τομέα της λειτουργίας του πλοίου, τον έλεγχο της πορείας του. Ο όρος αυτός εμπεριέχει δύο άλλους βασικούς όρους, την ευστάθεια πορείας και την πηδαλιονυχία του. Για τον έλεγχο της πορείας ενός πλοίου, ρόλο παίζουν τόσο σταθερές επιφάνειες όπως η κεντρική τρόπιδα (skeg), όσο και κινητές όπως το/τα πηδάλια. Ιδιαίτερη σημασία αποκτά ο έλεγχος της πορείας σε πλοία που πλέουν σε περιορισμένες περιοχές ή σε ποτάμια.

Στη συνέχεια του Κεφαλαίου, θα αναλύσουμε τις παραπάνω έννοιες, θα διερευνήσουμε τη σχέση μεταξύ τους και θα δώσουμε τις βασικές αρχές για τη σχεδίαση του πηδάλιου. Θα ασχοληθούμε μόνο με τον έλεγχο της πορείας ενός πλοίου σε ήρεμο νερό, αν και έχει, σήμερα, αρχίσει να εκδηλώνεται ενδιαφέρον και για την αντίστοιχη συμπεριφορά του πλοίου σε κυματισμούς.

Όροι που πρέπει να μάθετε

- έλεγχος πορείας
- ευστάθεια πορείας
- πηδαλιονυχία
- πηδάλιο
- εξισορροπημένο πηδάλιο
- κρεμαστό πηδάλιο
- κεντρική τρόπιδα
- ελιγμός ζιγκ-ζαγκ
- τακτική διάμετρος
- κύκλος στροφής
- οφιοειδής ελιγμός
- σπειροειδής ελιγμός
- ελιγμός σταματήματος
- πρωραίος έλικας
- αυτόματος πιλότος

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- ποια στοιχεία της μορφής των πλοίων επηρεάζουν την ικανότητα ελέγχου της πορείας;
- ποιες δοκιμές εκτελούνται για τον έλεγχο των ελκτικικών ικανοτήτων πλοίων;
- πώς μπορούν να βελτιωθούν οι ελκτικές ικανότητες ενός πλοίου και πώς επηρεάζεται η ευστάθεια πορείας σ' αυτήν την περίπτωση;
- ποιους τύπους πηδαλίων συναντά κανείς στα πλοία και ποια είναι τα πλεονεκτήματά του κάθε τύπου;
- πώς σχεδιάζεται το πηδάλιο ενός πλοίου;

6.2 ΓΕΝΙΚΑ

Όταν ένα πλοίο ταξιδεύει από το λιμάνι αναχώρησης Α στο λιμάνι προορισμού Β, πρέπει να ακολουθήσει μια πορεία, ελέγχοντας ταυτόχρονα την ταχύτητά του, ώστε να φθάσει έγκαιρα στον προορισμό του. Επιπλέον, όταν διέρχεται από πολυσύχναστους διαύλους και λιμάνια πρέπει να είναι σε θέση να ελέγχει τη θέση του με ακρίβεια.

Για να επιτύχει αυτόν τον έλεγχο, το πλοίο πρέπει να διαθέτει μέσα παραγωγής ώσης προς τα πρόσω και προς τα πίσω, ροπής περιστροφής και εγκάρσιας ώσης. Την ευθύνη για τις δύο πρώτες δυνατότητες αναλαμβάνουν οι κύριες μηχανές του καθώς και το σύστημα πρόωσης, ενώ τις δύο τελευταίες δυνατότητες εξασφαλίζουν τα πηδάλια και οι **εγκάρσιοι έλικες** στη πλώρα ή / και στην πρύμνη, που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Επιπλέον, επειδή τα πηδάλια βρίσκονται, συνήθως, κοντά στα προωστήρια συστήματα, υπάρχει αλληλεπίδραση των δύο συστημάτων.

Εκτός, όμως, από τη **δυνατότητα πηδαλιουχίας**, τη δυνατότητα δηλαδή αλλαγής πορείας, πολύ σημαντική είναι και η **ευστάθεια πορείας**. Η ιδιότητα αυτή εκφράζει την ευκολία με την οποία ένα πλοίο διατηρεί την (συνήθως ευθύγραμμη) πορεία του, παρά τις εξωτερικές επιδράσεις από τον άνεμο, τα θαλάσσια ρεύματα, τα κύματα ή άλλες δυνάμεις διαταραχής. Ιδιαίτερα η επίδραση του ανέμου μπορεί να είναι έντονη σε πλοία με μεγάλες υπερκατασκευές, όπως τα επιβατηγά και τα κρουαζιερόπλοια.

Η παρουσίαση περιορίζεται σε πλοία επιφάνειας, οπότε ο έλεγχος περιορίζεται στο οριζόντιο επίπεδο. Τα υποβρύχια, τα οποία έχουν ανάγκη ελέγχου

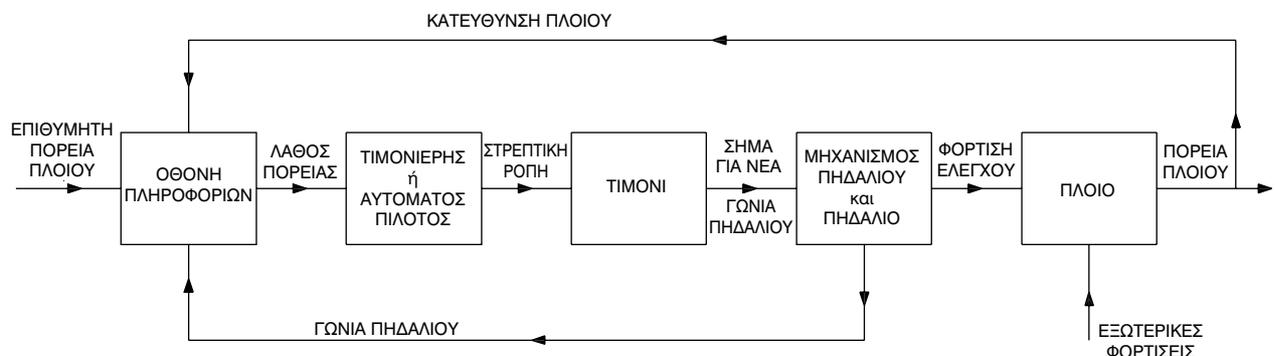
της πορείας τους και στις τρεις διευθύνσεις, δεν θα εξεταστούν.

6.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΟΡΕΙΑΣ

Όπως ξέρουμε, τα πλοία είναι, γενικά, συμμετρικές κατασκευές στο εγκάρσιο επίπεδο. Έστω, τώρα, ένα πλοίο που πλέει σε ήρεμο νερό, με το πηδάλιο του παράλληλο προς τον άξονα συμμετρίας του. Αν στο πλοίο αυτό επενεργήσει μια δύναμη ή ροπή διαταραχής, π.χ. από εκτροπή του πηδαλίου δεξιά ή αριστερά, τότε το πλοίο θα στραφεί, αντίστοιχα, δεξιά ή αριστερά. Εάν το πλοίο, μετά την παύση της διαταραχής, συνεχίσει να πλέει κατά μήκος μιας νέας σταθερής πορείας, τότε διαθέτει **ευστάθεια πορείας ή δυναμική ευστάθεια**. Η νέα πορεία θα διαφέρει φυσικά από την αρχική. Το πλοίο μπορεί να επανέλθει στην αρχική πορεία, μόνο με κατάλληλη διορθωτική κίνηση του πηδαλίου, που εκτελεί ο τιμονιέρης του πλοίου.

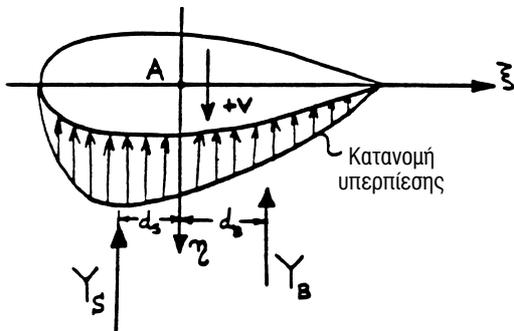
Σήμερα, τα πλοία, για τη διατήρηση της αρχικής τους πορείας, διαθέτουν κατάλληλα ηλεκτρονικά όργανα, τους **αυτόματους πιλότους**. Οι αυτόματοι πιλότοι αντιλαμβάνονται τη διαφορά της επιθυμητής πορείας από την πραγματική και δίνουν οδηγία στο πηδάλιο για στροφή και διόρθωση της πορείας. Στο σχήμα 6.1 φαίνεται το διάγραμμα ελέγχου πορείας του πλοίου με τη βοήθεια αυτόματου πιλότου.

Πώς όμως εξασφαλίζεται η δυναμική ευστάθεια ενός πλοίου; Αν προσπαθήσουμε να κινήσουμε εγκάρσια ένα πλοίο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2, πρέπει να εξασκήσουμε την εγκάρσια δύναμη σε ένα συγκεκριμένο σημείο, κατά μήκος του πλοίου. Αν η δύναμη αυτή εξασκηθεί πλώραθεν αυτού του σημείου, τότε το πλοίο εκτός της εγκάρσιας κίνη-



Σχήμα 6.1. Διάγραμμα ελέγχου πορείας του πλοίου

σης, θα περιστραφεί περί τον κατακόρυφο άξονα. Το σημείο αυτό ονομάζεται **κέντρο εγκάρσιας αντίστασης**. Αποδεικνύεται ότι για να είναι δυναμικά ευσταθές ένα πλοίο πρέπει το κέντρο εγκάρσιας αντίστασης να βρίσκεται πρύμνηθεν του κέντρου βάρους του πλοίου. Για να μετακινήσουμε το κέντρο εγκάρσιας αντίστασης προς την πρύμνη, αρκεί να αυξήσουμε την αντίσταση του πρυμναίου μέρους του πλοίου στην εγκάρσια κίνησή του, μέσα στο νερό. Αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση της έμπρομνης διαγωγής, την τοποθέτηση κεντρικής τρόπιδας στην πρύμνη ή την χρήση νομέων με βαθύ "V" στην πρύμνη.



Σχήμα 6.2. Το κέντρο εγκάρσιας αντίστασης ενός πλοίου (Για ευστάθεια πορεία πρέπει η δύναμη στην πρύμνη Y_s να υπερτερεί της δύναμης στην πλώρα Y_b)

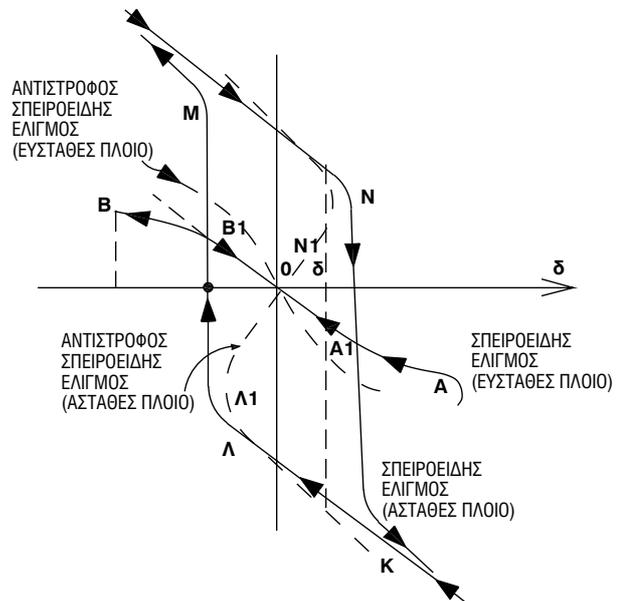
Γενικά, ο σχεδιαστής επιδιώκει να εξασφαλίζει ένα ικανοποιητικό επίπεδο δυναμικής ευστάθειας στο πλοίο, ώστε να μην είναι απαραίτητη η συχνή διόρθωση της πορείας του. Εφόσον η μορφή του πλοίου δεν εξασφαλίζει αυτό το επίπεδο ευστάθειας, χρησιμοποιούνται κεντρικές σταθμίδες ή / και άλλες διαμήκεις επιφάνειες, που έχουν μικρή αντίσταση στην προς τα πρόσω κίνηση και μεγάλη αντίσταση στην εγκάρσια κίνηση. Το πηδάλιο χωρίς εκτροπή αποτελεί μια από αυτές τις επιφάνειες.

6.4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑΣ

Όταν το πλοίο κατασκευαστεί, απαιτείται ο έλεγχος των πραγματικών ελικτικών ικανοτήτων και της ευστάθειας πορείας αυτού. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με τη βοήθεια ορισμένων δοκιμών, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι:

- ο **σπειροειδής ελιγμός** (spiral manuever). Ο ελιγμός αυτός γίνεται στις εξής φάσεις:

1. το πλοίο σταθεροποιείται σε ευθεία πορεία με την ταχύτητα υπηρεσίας του.
2. το πηδάλιο εκτρέπεται απότομα κατά μεγάλη γωνία, έστω $\delta_1 = 20^\circ$ προς τα αριστερά, που διατηρείται σταθερή μέχρι το πλοίο να αποκτήσει σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω_1 .
3. η διαδικασία επαναλαμβάνεται με μικρότερη γωνία εκτροπής του πηδαλίου και προς τις δύο κατευθύνσεις. Έτσι, παίρνουμε και άλλα ζευγάρια τιμών (δ, ω).
4. η διαδικασία μπορεί να ξεκινήσει και από τα δεξιά.
5. τα προκύπτοντα αποτελέσματα καταχωρίζονται σε διάγραμμα, με άξονες την εκτροπή του πηδαλίου και τη γωνιακή ταχύτητα του πλοίου.
6. η μορφή του διαγράμματος, που φαίνεται στο Σχήμα 6.3 καθορίζει αν το πλοίο είναι ευσταθές ή ασταθές. Όταν παρουσιάζεται ο βρόχος υστέρησης, το πλοίο είναι ασταθές.



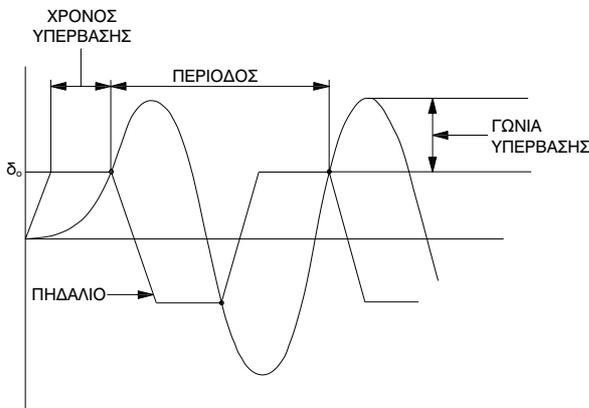
Σχήμα 6.3 Σπειροειδής και αντίστροφος σπειροειδής ελιγμός

- ο **αντίστροφος σπειροειδής ελιγμός** που βασίζεται στον προσδιορισμό της εκτροπής του πηδαλίου ώστε το πλοίο να αποκτήσει την επιθυμητή γωνιακή ταχύτητα. Η εκτροπή αυτή πετυχαίνεται με δοκιμές.

- **Ο οφιοειδής ελιγμός** (zig-zag maneuver). Ο ελιγμός αυτός γίνεται με τη βοήθεια χρονόμετρου και γυροσκοπικής πυξίδας, είναι δηλαδή εύκολα υλοποιήσιμος. Διεξάγεται στις εξής φάσεις:
 1. το πλοίο σταθεροποιείται σε ευθεία πορεία με την ταχύτητα υπηρεσίας του.
 2. το πηδάλιο εκτρέπεται γρήγορα και ομαλά κατά μία γωνία, έστω $\delta_0 = 20^\circ$ προς τα δεξιά.
 3. όταν, με τη βοήθεια της γυροπυξίδας, διαπιστωθεί ότι το πλοίο έχει στρίψει κατά προκαθορισμένη γωνία ψ_0 , το πηδάλιο εκτρέπεται αριστερά κατά γωνία δ_0 .
 4. το πηδάλιο διατηρείται σ' αυτή τη θέση μέχρι το πλοίο να έχει στρίψει αριστερά, κατά γωνία ψ_0 .
 5. η διαδικασία επαναλαμβάνεται 4-5 φορές. Στο διάγραμμα του Σχήματος 6.4 καταγράφονται οι χρονικές φάσεις των εκτροπών του πηδαλίου και του πλοίου.

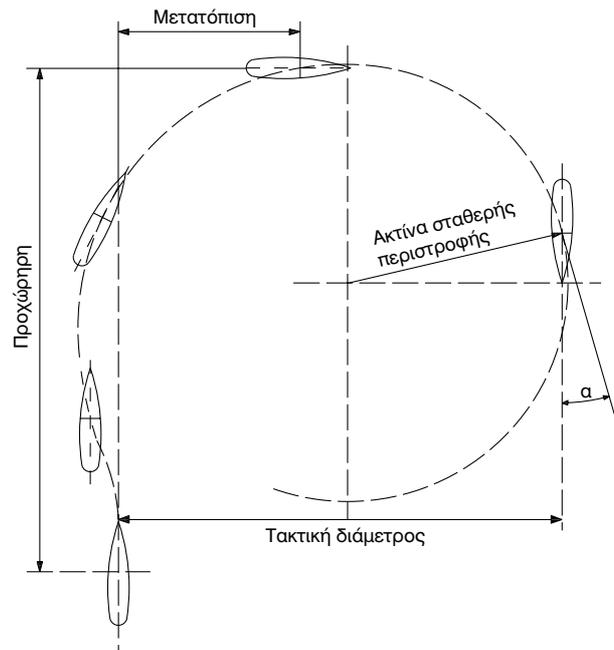
Τα χρήσιμα μεγέθη που μετρούνται στον οφιοειδή ελιγμό είναι:

- ♦ η **γωνία υπέρβασης**, που ορίζεται ως η γωνία πέραν της δ_0 , που στρέφει το πλοίο, ενώ έχει ήδη αναστραφεί η εκτροπή του πηδαλίου.
- ♦ η **περίοδος**, ο χρόνος δηλαδή μεταξύ δύο διαδοχικών στιγμών κατά τις οποίες η εκτροπή του πλοίου είναι δ_0 .
- ♦ ο **χρόνος υπέρβασης**, που απαιτείται, ώστε η γωνία στροφής του πλοίου να γίνει ίση με τη γωνία του πηδαλίου δ_0 , για πρώτη φορά.



Σχήμα 6.4 Οφιοειδής ελιγμός

- ο **κύκλος στροφής** (turning circle). Ο ελιγμός αυτός είναι η πιο διαδεδομένη δοκιμή πηδαλιονχίας και συνίσταται στην εκτέλεση, από πλοίο που κινείται σε ευθεία πορεία με την ταχύτητα υπηρεσίας, κύκλου στροφής με τη μέγιστη εκτροπή του πηδαλίου. Τα μεγέθη που μετρούνται (σχήμα 6.5) είναι:



Σχήμα 6.5 Κύκλος στροφής.

- ♦ η **τακτική διάμετρος**, που ορίζεται ως η απόσταση του πλοίου από την αρχική του πορεία.
- ♦ η **προχώρηση**, η απόσταση δηλαδή κατά τη διεύθυνση της αρχικής πορείας, μεταξύ του σημείου όπου έγινε η στροφή του πηδαλίου και του σημείου στο οποίο η γωνία στροφής του πλοίου είναι 90° .
- ♦ η **μετατόπιση**, η απόσταση δηλαδή του πλοίου από την αρχική πορεία, όταν αυτό έχει στραφεί κατά 90° .
- ♦ η **ακτίνα στροφής**, που ορίζεται ως η ακτίνα της σταθερής κυκλικής τροχιάς επί της οποίας κινείται το πλοίο, μετά την απόσβεση των μεταβατικών φαινομένων.
- ο **ελιγμός σταματήματος** (stopping maneuver). Σκοπός του ελιγμού αυτού είναι να διαπιστωθεί η ικανότητα ενός πλοίου να ακινητοποιηθεί, ενώ

κινείται με την ταχύτητα υπηρεσίας. Εξετάζονται οι εξής περιπτώσεις:

1. ελεύθερης περιστροφής του έλικα (**φυσικό σταμάτημα**),
2. αναστροφή της φοράς περιστροφής του έλικα ή αναστροφή του βήματος (**συμβατικό σταμάτημα**)
3. εφαρμογή όλης της διαθέσιμης ισχύος στην εντολή "ανάποδα ολοταχώς" (**επείγον σταμάτημα**).

Τα μεγέθη που προκύπτουν από τη δοκιμή περιλαμβάνουν **το μήκος της τροχιάς** μέχρι το πλοίο να σταματήσει, **το χρόνο σταματήματος** από τη στιγμή που δίνεται η σχετική εντολή και τον **ολικό νεκρό χρόνο** ανάμεσα στην χρονική στιγμή της εντολής και τη στιγμή που η ώση της έλικας ενεργεί με φορά αντίθετη της κίνησης.

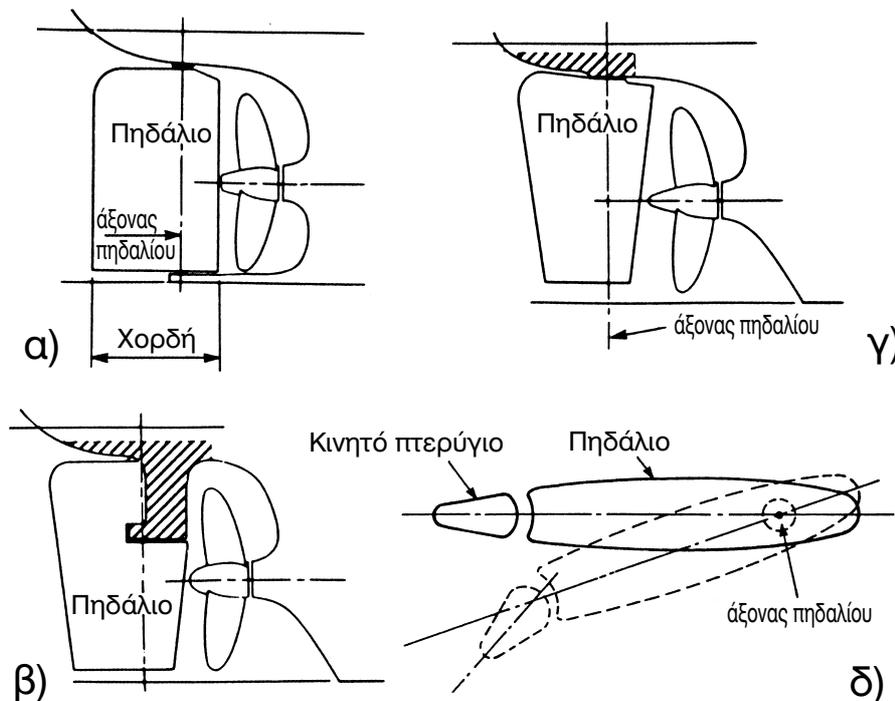
6.5 ΤΟ ΠΗΔΑΛΙΟ

Σήμερα βρίσκονται σε χρήση διάφοροι τύποι πηδαλίων, ανάλογα με τη μορφή και τις απαιτήσεις πηδαλιουχίας του πλοίου.

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι πηδαλίου είναι (σχήμα 6.6):

- πηδάλιο αμφιέρειστο ή κρεμαστό και **εξισοροπημένο**. Στο πηδάλιο αυτό, ο άξονας στήριξης διέρχεται από το κέντρο των πιέσεων, οπότε το πηδάλιο εκτρέπεται εύκολα (με την εφαρμογή μικρής ροπής).
- πηδάλιο **ημι-εξισοροπημένο**, που περιλαμβάνει εκτός από κινητό και ακίνητο μέρος (horn rudder).
- πηδάλιο με δύο ανεξάρτητα κινούμενα τμήματα (flap rudder).

Οι οριζόντιες τομές των πηδαλίων είναι αεροτομές τύπου NACA. Ο τρόπος λειτουργίας των πηδαλίων βασίζεται στην ίδια αρχή με αυτήν των περυσίων των ελίκων. Έτσι, όταν εκτρέπεται το πηδάλιο κατά γωνία δ , αναπτύσσεται δύναμη άωσης που είναι ανάλογη με τη γωνία εκτροπής. Η οριζόντια αυτή δύναμη έχει φορά αντίθετη της διεύθυνσης εκτροπής του πηδαλίου, εξασκεί δε ροπή στο πλοίο, ως προς το σημείο εγκάρσιας αντίστασης, που το στρέφει προς τη πλευρά εκτροπής του πηδαλίου. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη του τετράγωνου της ταχύτητας του πλοίου.



Σχήμα 6.6 Τύποι πηδαλίων: (α) αμφιέρειστο, (β) κρεμαστό (γ) με ακίνητο τμήμα και (δ) με δύο τμήματα.

Ερωτήσεις επαναλήψεως

1. Ποια στοιχεία της μορφής των πλοίων επηρεάζουν τη δυνατότητα ελέγχου της πορείας;
2. Ποιες δοκιμές εκτελούνται για τον έλεγχο των ελκτικών ικανοτήτων των πλοίων;
3. Πώς μπορούν να βελτιωθούν οι ελκτικές ικανότητες ενός πλοίου και πώς επηρεάζεται η ευστάθεια πορείας σ' αυτήν την περίπτωση;
4. Ποιους τύπους πηδαλίων συναντά κανείς στα πλοία και ποια είναι τα πλεονεκτήματά του κάθε τύπου;
5. Πώς σχεδιάζεται το πηδάλιο ενός πλοίου;

Δραστηριότητες

1. Πώς μπορεί ένας σχεδιαστής να βελτιώσει την ευστάθεια πορείας ενός πλοίου, διατηρώντας σε ικανοποιητικό επίπεδο τις ελκτικές του ικανότητες;
2. Να εξηγήσετε πώς μπορεί να στρέψει ένα διπλέμικο πλοίο, χωρίς να στρίψει το πηδάλιό του.
3. Σε ποιες περιπτώσεις είναι χρήσιμος ο προωραίος έλικας;
4. Να εξηγήσετε πώς στρέφουν τα πλοία με συστήματα υδραυλικής αντίδρασης, χωρίς πηδάλια.

7. ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ. ΜΕΣΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥΣ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τη συμπεριφορά ενός πλοίου σε κυματισμένη θάλασσα. Η συμπεριφορά των πλοίων σε κυματισμούς σχετίζεται τόσο με την ασφάλεια του πλοίου, του φορτίου, του πληρώματος και των επιβατών καθώς και με την άνεση των δύο τελευταίων.

Όταν ένα πλοίο συναντά κυματισμούς αποκρίνεται ως ένα σώμα ελεύθερο να εκτελέσει μεταφορικές κινήσεις και κατά τους τρεις άξονες ενός τρισσορθογώνιου συστήματος συντεταγμένων στον χώρο. Επιπλέον, το πλοίο είναι ελεύθερο να εκτελεί περιστροφικές κινήσεις περί τους παραπάνω άξονες. Η διερεύνηση της συμπεριφοράς του πλοίου περιλαμβάνει την εκτίμηση των κινήσεων αυτών, σε σχέση με την κατάσταση της θάλασσας που συναντά, την κατεύθυνσή της αναφορικά προς το πλοίο, την κατάσταση φόρτωσής του όπως προσδιορίζεται από το βύθισμα και τη διαγωγή του και, φυσικά, τη μορφή της γάστρας του.

Τέλος, εφόσον διαπιστωθεί, κατά τη σχεδίαση ενός πλοίου, ότι οι κινήσεις του στις ποικίλες θαλάσσιες καταστάσεις της περιοχής όπου θα λειτουργεί είναι υπερβολικές, εφαρμόζονται ορισμένες διατάξεις που τις περιορίζουν και, επομένως, βελτιώνουν τη συμπεριφορά του. Θα παρουσιάσουμε σε συντομία αυτές τις διατάξεις και τον τρόπο ενέργειάς τους.

Όροι που πρέπει να μάθετε

- μήκος κύματος
- πλάτος κύματος
- περίοδος κύματος
- φυσική περίοδος ταλάντωσης
- κατάσταση θάλασσας
- φάσμα κυματισμών
- σημαντικό ύψος κυματισμών
- περίοδος κορυφής κυματισμών
- γωνία πρόσπτωσης κυματισμών
- βαθμοί ελευθερίας
- διατοιχισμός
- προνευτασμός
- αντιδιατοιχιστική συσκευή
- πρόσθετη αντίσταση σε κυματισμούς
- σφυρόκρουση πλώρας
- διαβροχή καταστρώματος

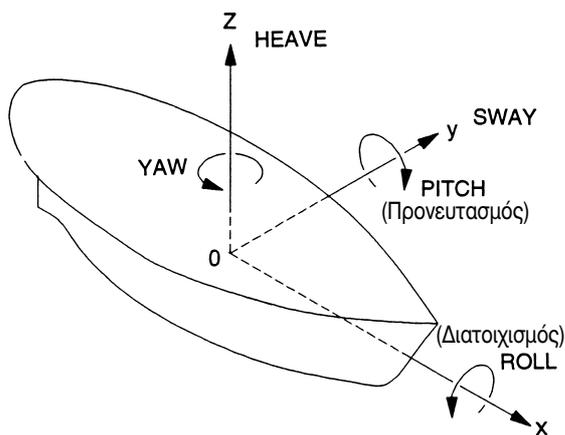
Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- Πώς περιγράφεται ένα ημιτονικό κύμα;
- Πώς περιγράφονται οι φυσικοί κυματισμοί και πώς εκφράζεται η έντασή τους;
- Ποιες είναι οι πιο σημαντικές αποκρίσεις του πλοίου στα κύματα και τι συνέπειες έχουν στους επιβαίνοντες και το φορτίο;
- Πώς βελτιώνεται η δυναμική συμπεριφορά με τη βοήθεια αντιδιατοιχιστικών συσκευών;
- Γιατί το μήκος των κυματισμών (ή ισοδύναμα η περίοδός τους) είναι κρίσιμο μέγεθος για την εκτίμηση των αποκρίσεων του πλοίου;

7.2 ΓΕΝΙΚΑ

Η δυναμική συμπεριφορά σε κυματισμούς αναφέρεται σε όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά του πλοίου που επηρεάζουν την ικανότητά του να φέρει σε πέρας την αποστολή του σε όλες τις καταστάσεις καιρού και θάλασσας. Περιλαμβάνει, δηλαδή, την ευστάθεια, την αντοχή, τις ελικτικές ικανότητες και φυσικά τις κινήσεις του και τα συναφή φαινόμενα.

Αν το πλοίο θεωρηθεί ως στερεό σώμα, είναι ελεύθερο να εκτελέσει μεταφορικές κινήσεις και κατά τους τρεις άξονες ενός τρισσορθογώνιου συστήματος συντεταγμένων στον χώρο (σχήμα 7.1). Επιπλέον, το πλοίο είναι ελεύθερο να εκτελεί περιστροφικές κινήσεις περί τους παραπάνω άξονες. Εφόσον το πλοίο έχει δυνατότητα να εκτελεί έξι κινήσεις, λέμε ότι αυτό έχει έξι βαθμούς ελευθερίας.



Σχήμα 7.1. Βαθμοί ελευθερίας πλοίου.

Πιο σημαντικές από τις παραπάνω κινήσεις είναι:

- η περιστροφή περί διαμήκη άξονα, που καλείται διατοιχισμός (roll)
- η περιστροφή περί εγκάρσιο άξονα που ονομάζεται προνευτασμός (pitch), και
- η κατακόρυφη μεταφορική ταλάντωση (heave)

Η παρουσίαση, στη συνέχεια του κεφαλαίου, θα περιοριστεί σ' αυτές τις κινήσεις.

Στην πραγματικότητα το πλοίο δεν συμπεριφέρεται ως στερεό, αλλά ως ελαστικό (εύκαμπτο) σώμα. Έτσι, υπάρχουν και άλλες κινήσεις (βαθμοί ελευθερίας) που διεγείρονται, όπως π.χ. κρδασμοί. Η ε-

ξέτασή τους, όμως, ξεφεύγει από το αντικείμενο του παρόντος βιβλίου.

Εξάλλου, το πλοίο, λόγω των κινήσεών του στους κυματισμούς, εμφανίζει μεγαλύτερη αντίσταση στην πλεύση του. Επιπλέον, το προωστήριο σύστημά του λειτουργεί υπό δυσμενείς συνθήκες και παρουσιάζει μειωμένη απόδοση λόγω των κυματισμών (π.χ. εφόσον ξενερίζει μέρος του έλικα). Έτσι, το πλοίο απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ από την κύρια μηχανή για την πρόωσή του, στην ταχύτητα πλεύσης, απ' ό,τι σε ήρεμο νερό ή μειώνει την ταχύτητα πλεύσης.

7.3 ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΛΟΙΟΥ ΣΤΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

Βασικό στοιχείο για την κατανόηση της απόκρισης ενός πλοίου στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι οι φυσικές περιόδους ταλάντωσης του πλοίου σ' αυτές τις κινήσεις. Οι περιόδους αυτοί αντιστοιχούν προς την περίοδο ταλάντωσης ενός πλοίου *σε ήρεμο νερό*, αν διαταραχθεί *στιγμιαία* από κάποια εξωτερική δύναμη ή ροπή. Αν π.χ. σε πλοίο εξασκηθεί στιγμιαία ροπή ανατροπής του θα αποκτήσει εγκάρσια κλίση. Μετά την άρση της ροπής, το πλοίο θα ταλαντωθεί περιστροφικά περί το κέντρο βάρους του, μέχρι να ισορροπήσει στην όρθια θέση. Η κίνηση είναι καθαρά ημιτοειδής. Η περίοδος αυτής της ταλάντωσης του πλοίου ονομάζεται *φυσική περίοδος διατοιχισμού*. Όμοια ορίζονται οι φυσικές περιόδους ταλάντωσης του προνευτασμού και της κατακόρυφης κίνησης.

Σημειώνεται εδώ, ότι το πλάτος της ταλάντωσης του πλοίου, μετά την άρση του αιτίου διαταραχής, βαίνει μειούμενο μέχρι μηδενισμού του. Η κίνηση, δηλαδή, διαφέρει από την καθαρά ημιτονική κίνηση που παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.2 και περιγράφεται από τη σχέση:

$$y(t) = A \eta\mu(2\pi t/T + \varphi) \quad (7.1)$$

όπου:

$y(t)$ = η στιγμιαία τιμή της απόκρισης

A = το πλάτος της ταλάντωσης

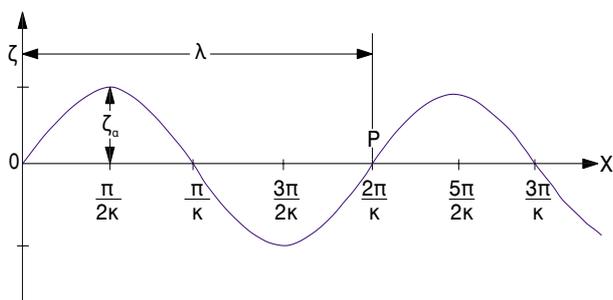
T = η περίοδος της ταλάντωσης

λ = το μήκος του κύματος

φ = η αρχική φάση της κίνησης

t = η στιγμιαία χρονική στιγμή

Αυτή η μείωση του πλάτους της ταλάντωσης οφείλεται στην ανάπτυξη δυνάμεων τριβής στη βρεχόμενη επιφάνεια του καθώς και στη δημιουργία κυμάτων που απομακρύνονται από το ταλαντούμενο πλοίο. Και τα δύο αυτά φαινόμενα απορροφούν μέρος της ενέργειας της κίνησης και οδηγούν σε μείωση του πλάτους της μέχρις ακινησίας. Η ιδιότητα αυτή των κινήσεων μέσα στο νερό λέγεται *απόσβεση*.



Σχήμα 7.2. Η ημιτονική κίνηση

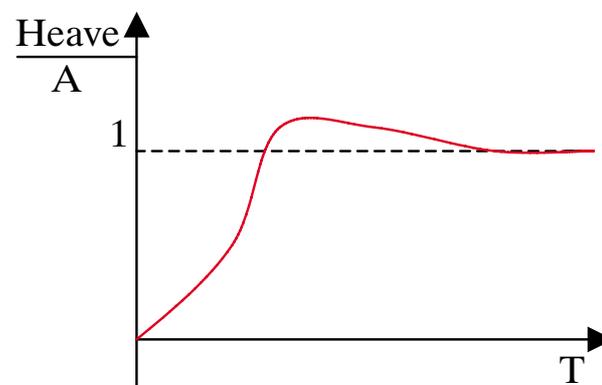
7.4 ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΕ ΗΜΙΤΟΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Η τυχούσα επιφάνεια του νερού μπορεί να αναπαρασταθεί ως άθροισμα (επαλληλία) μεγάλου αριθμού ημιτονικών (αρμονικών) κυμάτων, με διαφορετικά πλάτη, συχνότητες, αρχικές φάσεις και διευθύνσεις. Επιπλέον, το πλοίο θεωρείται ότι, για μικρές τιμές των διεγέρσεων, συμπεριφέρεται ως ένα γραμμικό σύστημα. Όπως δε ισχύει σε όλα τα γραμμικά συστήματα, η απόκρισή του σε μια αρμονική διεγέρση είναι, επίσης, ημιτονική με την ίδια περίοδο. Επίσης, η απόκριση σε επάλληλες διεγέρσεις ισούται με το άθροισμα των αποκρίσεών του στις επί μέρους (συνιστώσες) διεγέρσεις.

Με βάση τα παραπάνω, εάν υπολογίσουμε τις αποκρίσεις ενός πλοίου σε ημιτονικούς κυματισμούς, μπορούμε, με βάση την αρχή της επαλληλίας, να εκτιμήσουμε τις αποκρίσεις του σε πραγματικές καταστάσεις θάλασσας.

Πράγματι, όλες οι μέθοδοι υπολογισμού της δυναμικής συμπεριφοράς πλοίων σε κυματισμούς βασίζονται στην εύρεση των αποκρίσεων για διάφορες

συχνότητες διεγέρσεων. Κατόπιν σχηματίζονται οι λόγοι των αποκρίσεων προς τις διεγέρσεις, οι οποίοι και παριστάνονται γραφικά. Οι λόγοι αυτοί λέγονται συντελεστές απόκρισης (**Response Amplitude Operators, RAO**). Φυσικά, ο μεγαλύτερος λόγος απόκρισης προς διεγέρση εμφανίζεται στη φυσική συχνότητα της συγκεκριμένης ταλάντωσης. Στο Σχήμα 7.3 δίνεται ένα παράδειγμα καμπύλης συντελεστών απόκρισης, που αφορά την κατακόρυφη ταλάντωση. Ο συντελεστής κατακόρυφης απόκρισης σε μεγάλες περιόδους τείνει στη μονάδα, αφού στην περίπτωση αυτή το πλοίο ακολουθεί το πολύ μεγάλο μήκος κύμα.

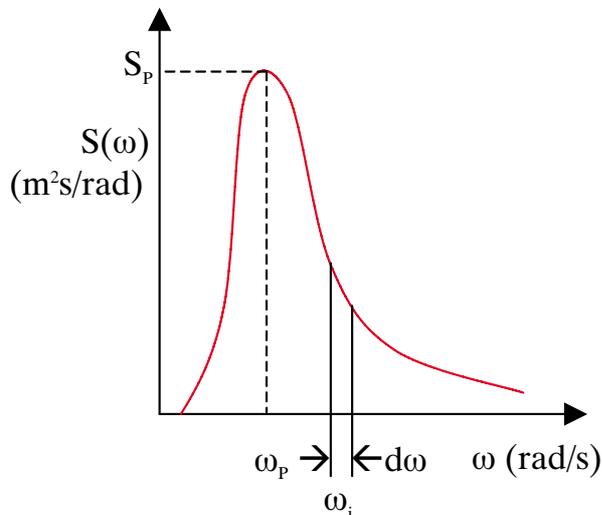


Σχήμα 7.3. Συντελεστής απόκρισης κατακόρυφης ταλάντωσης πλοίου. (A είναι το πλάτος του κύματος, ενώ «Heave» το πλάτος της κατακόρυφης μεταφορικής ταλάντωσης)

7.5 ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΕ ΤΥΧΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

Αν και οι αποκρίσεις ενός πλοίου στους ημιτονικούς κυματισμούς αποτελούν τη βάση των υδροδυναμικών υπολογισμών, οι αποκρίσεις του στους φυσικούς (τυχαίους) κυματισμούς αποτελούν το πρακτική έκφραση της συμπεριφοράς ενός πλοίου σε κυματισμούς. Η μετάβαση από τους ημιτονικούς στους τυχαίους κυματισμούς γίνεται, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο εδάφιο, με βάση την υπόθεση ότι οι φυσικοί κυματισμοί μπορούν να συντεθούν από πολλούς αρμονικούς διαφόρων περιόδων, πλατών, διευθύνσεων και αρχικών φάσεων. Αν θεωρήσουμε ότι καταρχήν αναφερόμαστε σε κύματα που διαδίδονται σε μια κατεύθυνση, τότε τα αρμονικά κύματα κάποιων περιόδων συμμετέχουν με μεγάλύ-

τερα πλάτη σε σχέση με άλλες συνιστώσες. Επειδή δε η ενέργεια των αρμονικών κυμάτων στην μονάδα επιφάνειας είναι ανάλογη του τετραγώνου του πλάτους A^2 , η παραπάνω αναλογία καθορίζει και την κατανομή της ενέργειας στη μονάδα επιφάνειας. Η καμπύλη που παριστάνει αυτή την κατανομή ονομάζεται *συνάρτηση φασματικής πυκνότητας* $S(\omega)$ ή *φάσμα ενέργειας* ή απλώς *φάσμα* (spectrum). Ένα τέτοιο φάσμα παρατίθεται στο Σχήμα 7.4 συναρτήσει της κυκλικής συχνότητας ω , όπου $\omega = 2\pi/T$.



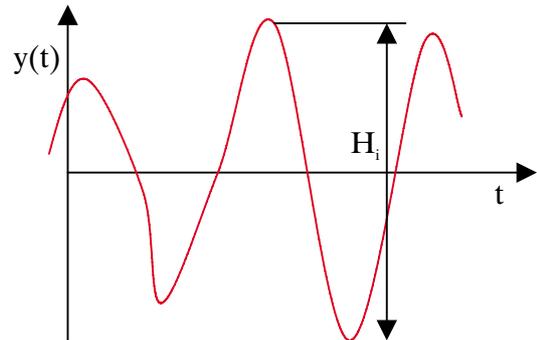
Σχήμα 7.4. Συντελεστής φασματικής πυκνότητας.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.4, κάθε λωρίδα πλάτους $d\omega$ στη θέση ω_i μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιστοιχεί σε ημιτονικό κύμα συχνότητας ω_i . Το πλάτος A του κύματος αυτού αποδεικνύεται ότι είναι $2\sqrt{S(\omega_i)d\omega}$. Έτσι, το μεγαλύτερο πλάτος εμφανίζεται στη *συχνότητα κορυφής* $\omega_p = 2\pi/T_p$, όπου T_p είναι η *περίοδος κορυφής* του φάσματος. Η περίοδος αυτή, ή το αντίστοιχο μήκος, είναι αυτό που βλέπει ένας παρατηρητής όταν παρατηρεί τη θάλασσα που περιγράφεται από το συγκεκριμένο φάσμα.

Επιπλέον, αν θεωρήσουμε μια καταγραφή τυχαίων κυματισμών, όπως αυτή του Σχήματος 7.5, μπορούμε να μετρήσουμε όλα τα διαδοχικά ύψη κύματος H_i . Εάν τα κατατάξουμε κατά σειρά φθίνοντος μεγέθους και πάρουμε τη μέση τιμή των 1/3 υψηλότερων από αυτά, η τιμή αυτή ορίζει το *σημαντικό ύψος* H_s των κυματισμών. Το μέγεθος αυτό αποδεικνύεται ότι συνδέεται με το εμβαδόν της επιφάνειας κάτω από το φάσμα m_0 , μέσω της σχέσης:

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad (7.2)$$

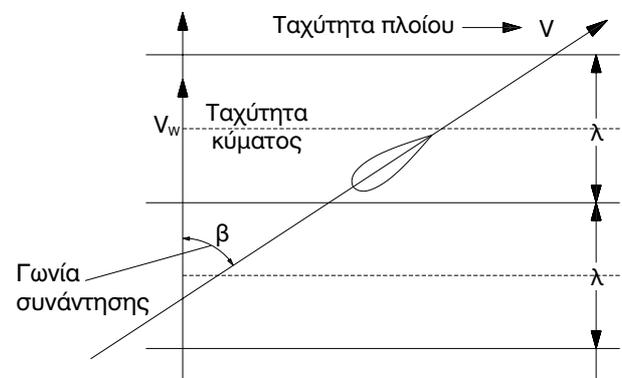
Τα δύο αυτά μεγέθη (περίοδος κορυφής και σημαντικό ύψος κύματος) περιγράφουν και χαρακτηρίζουν την *κατάσταση θάλασσας*, σύμφωνα με το φασματικό μοντέλο Bretschneider. Το μοντέλο αυτό περιγράφει θάλασσες που αναπτύσσονται με την πνοή του ανέμου, είναι αναπτυσσόμενες ή αποσβήνονται, αφού έχει πάψει να πνέει ο άνεμος.



Σχήμα 7.5. Χρονική ιστορία τυχαίων κυματισμών.

Σήμερα, χρησιμοποιείται εκτεταμένα, αντί της σημαντικής τιμής, η rms τιμή της απόκρισης, που ισούται με $\sqrt{m_0}$.

Τα παραπάνω ισχύουν για κύματα μιας κατεύθυνσης. Όταν πλέει το πλοίο με ταχύτητα U , συναντά τα κύματα αυτά υπό τη *γωνία συνάντησης* β που φαίνεται στο Σχήμα 7.6. Ας σημειωθεί ότι, αν το πλοίο πλέει κόντρα στο κύμα, "αισθάνεται" ότι η περίοδος των κυματισμών είναι μικρότερη από την πραγματική. Το αντίθετο "αισθάνεται" όταν κινείται στην ίδια κατεύθυνση με αυτή των κυματισμών.



Σχήμα 7.6. Γωνία συνάντησης των κυματισμών.

Η κάθε απόκριση του πλοίου σε τυχαίους κυματι-

σμούς έχει μια χρονική ιστορία όπως αυτή της ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας. Επομένως, κατ' αναλογία, περιγράφεται με ένα φάσμα που έχει μια περίοδο κορυφής και μια σημαντική τιμή ή μια τιμή rms.

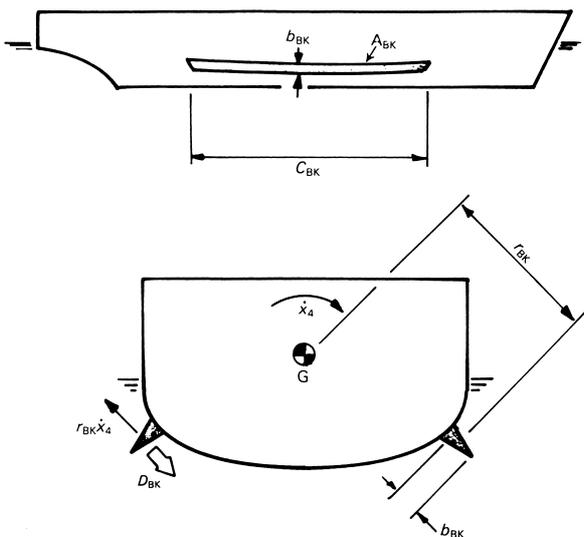
Εκτός από τις βασικές δυναμικές αποκρίσεις του πλοίου που περιγράφηκαν παραπάνω, μετράται και η μέση τιμή της (ταλαντευόμενης) συνολικής αντίστασης του πλοίου σε κυματισμούς. Μετά την αφαίρεση της αντίστασης στο ήρεμο νερό, προκύπτει η **πρόσθετη αντίσταση** στους κυματισμούς.

Τέλος, αναφέρονται και μερικά τυχαία συμβάντα, για τα οποία μετράται μόνο η συχνότητα εμφάνισης στη μονάδα του χρόνου, αλλά όχι και η έντασή τους. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται:

- η διαβροχή του καταστρώματος
- η σφυρόκρουση στον πυθμένα ή/και τη μάσκα της πλώρας
- η ανάδυση του έλικα.

7.6 ΜΕΣΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

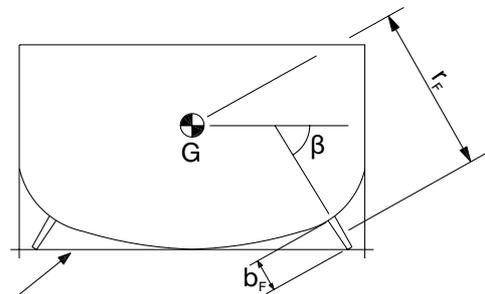
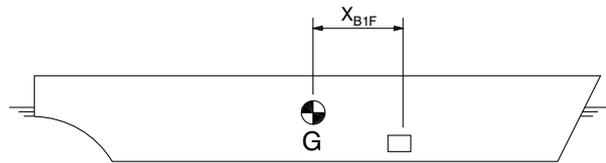
Από τις δυναμικές αποκρίσεις των πλοίων στους κυματισμούς, η πιο έντονη και επικίνδυνη είναι ο διατοιχισμός. Η αντιμετώπισή του, επομένως, αποτελεί το κύριο μέλημα του σχεδιαστή ενός πλοίου.



Σχήμα 7.7. Παρατροπίδια.

Αντιδιατοιχιστικές συσκευές που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι τα παρατροπίδια (σχήμα 7.7), τα ενεργά πτερύγια (σχήμα 7.8) και οι παθητικές αντιδιατοιχιστικές δεξαμενές. Τα πρώτα (παρατροπίδια) είναι πιο αποτελεσματικά στις μικρές ταχύτητες. Τα ενεργά (κινητά) πτερύγια κινούνται έτσι ώστε να δημιουργούν ροπές επαναφοράς στη γάστρα και είναι πιο δραστικά στις μεγάλες ταχύτητες.

Τέλος, οι παθητικές δεξαμενές περιέχουν νερό που κινείται μέσω αντλιών, ώστε να δημιουργεί ροπή επαναφοράς του πλοίου. Οι δεξαμενές αυτές καταλαμβάνουν μέρος του χώρου φορτίου. Σε αρκετές περιπτώσεις αυτές, πάντως, δεν επαρκούν για την ουσιαστική μείωση του διατοιχισμού.



Τα πτερύγια πρέπει να βρίσκονται μέσα στα όρια του ορθογώνιου

Σχήμα 7.8. Ενεργά αντιδιατοιχιστικά σταθεροποιητικά πτερύγια.

Η επιλογή της κατάλληλης αντιδιατοιχιστικής συσκευής γίνεται ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, την υπηρεσιακή του ταχύτητα και το θαλάσσιο περιβάλλον, όπου λειτουργεί.

Ερωτήσεις επαναλήψως

1. Πώς περιγράφεται ένα ημιτονικό κύμα;
2. Πώς περιγράφονται οι φυσικοί κυματισμοί και πώς εκφράζεται η έντασή τους;
3. Ποιες είναι οι πιο σημαντικές αποκρίσεις του πλοίου στα κύματα και τι συνέπειες έχουν στους επιβαίνοντες και το φορτίο;
4. Πώς βελτιώνεται η δυναμική συμπεριφορά με τη βοήθεια αντιδιατοιχιστικών συσκευών;
5. Γιατί το μήκος των κυματισμών (ή, ισοδύναμα, η περίοδός τους) είναι κρίσιμο μέγεθος για την εκτίμηση των αποκρίσεων του πλοίου;
6. Γιατί τα πλοία μειώνουν την ταχύτητά τους στα κύματα;

Δραστηριότητες

1. Να καταγράψτε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διαφόρων τύπων αντιδιατοιχιστικών συσκευών. Τι είδους συσκευή θα διαλέγατε για ένα ταχύπλοο επιβατηγό οχηματαγωγό πλοίο;
2. Ποιος είναι ο συντελεστής απόκρισης κατακόρυφης κίνησης ενός μικρού κομματιού φελλού, που επιπλέει στη θάλασσα, και γιατί;
3. Ποια πρέπει να είναι η γωνία συνάντησης του κύματος, ώστε να περιορίσουμε το διατοιχισμό στο ελάχιστο; Όμοια, σε ποια γωνία συνάντησης ελαχιστοποιείται ο προνευτασμός; Ποιες είναι οι αντίστοιχες ελάχιστες τιμές των παραπάνω αποκρίσεων;

8. ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ. ΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ. ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τα βασικά στοιχεία, που αφορούν την αντοχή της κατασκευής του πλοίου στις καταπονήσεις που υφίσταται. Προς τούτο, θα διερευνήσουμε, αρχικά, τις καταπονήσεις που υφίσταται ένα πλοίο κατά την πλεύση του καθώς και τα αίτια που τις προκαλούν. Στη συνέχεια, θα αναλύσουμε τον τρόπο με τον οποίο κατασκευάζεται ένα πλοίο, ώστε να ανθίσταται στις καταπονήσεις αυτές, χωρίς να καταρρέει.

Βασικό αντικείμενο στην κατασκευή ενός πλοίου αποτελούν τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του. Η επιλογή των υλικών αποτελεί προϋπόθεση για τον υπολογισμό των διαστάσεων, του βάρους της κατασκευής και του κόστους της ναυπήγησης. Πρόσθετα κριτήρια, κατά την επιλογή των ναυπηγικών υλικών, αποτελούν η αντοχή στη διάβρωση, η ευκολία της επεξεργασίας, οι απαιτήσεις συντήρησης, η διαθεσιμότητα κλπ.

Εκτός των καταπονήσεων σε ήρεμο νερό, ένα πλοίο που ταξιδεύει σε κυματισμένη θάλασσα υφίσταται πρόσθετα φορτία που προέρχονται από τα κύματα. Τα φορτία αυτά δεν είναι σταθερά αλλά μεταβαλλόμενα συναρτήσει του χρόνου. Γι' αυτό ονομάζονται **δυναμικά φορτία** και αντίστοιχα οι καταπονήσεις του πλοίου χαρακτηρίζονται ως **δυναμικές καταπονήσεις**

Όροι που πρέπει να μάθετε

- αντοχή πλοίου
- τάση
- παραμόρφωση
- ελαστική περιοχή καταπόνησης
- πλαστική περιοχή καταπόνησης
- κατάρρευση κατασκευής
- ροπή αντίστασης
- μέτρο ελαστικότητας
- ουδέτερος άξονας
- δυναμική καταπόνηση
- σύστημα ναυπήγησης
- ενισχύσεις κατασκευής
- ροπή κάμψης
- καμπύλη καμπτικών ροπών
- ναυπηγικά υλικά
- όσμωση

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- Πώς κατασκευάζεται ένα πλοίο, ώστε να αντέχει στις καταπονήσεις που υφίσταται;
- Πώς υπολογίζονται τα βασικά κατασκευαστικά στοιχεία ενός πλοίου;
- Ποια είναι τα πιο κρίσιμα σημεία του πλοίου, όπου αναπτύσσονται οι μέγιστες τάσεις;
- Πώς επιλέγονται τα ναυπηγικά υλικά και ποιες είναι οι βασικές ιδιότητές τους;
- Πώς υπολογίζεται η ροπή αντιστάσεως της μέσης τομής του πλοίου;

8.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα προηγούμενα κεφάλαια αντιμετωπίσαμε το πλοίο ως ένα στερεό (μη-παραμορφώσιμο) σώμα, το οποίο ισορροπεί υπό την επενέργεια του βάρους του και της υδροστατικής άνωσης. Το πλοίο, όμως, στην πραγματικότητα είναι μια σύνθετη κατασκευή, που αποτελείται από την εξωτερική επένδυση (ελάσματα, στην περίπτωση των χαλύβδινων πλοίων) και τις εσωτερικές ενισχύσεις. Η κατασκευή αυτή καταπονείται υπό την επίδραση της κατανομής του βάρους του και της άνωσης, γι' αυτό και παραμορφώνεται. Επιπλέον, στην περίπτωση που το πλοίο πλέει σε κυματισμένη θάλασσα, τα κύματα δημιουργούν πρόσθετες δυναμικές (μεταβαλλόμενες δηλαδή συναρτήσει του χρόνου) καταπονήσεις στην κατασκευή.

Η κατασκευή του πλοίου αποκρίνεται στις παραπάνω καταπονήσεις παραμορφούμενη. Έτσι, εφόσον οι καταπονήσεις είναι μικρές, η παραμόρφωση είναι *ελαστική*. Εφόσον, δηλαδή, παύσει η εξάσκηση του εξωτερικού φορτίου, η παραμόρφωση της κατασκευής εξαλείφεται και η κατασκευή επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση, πριν εξασκηθεί η συγκεκριμένη φόρτιση.

Εάν, όμως, η φόρτιση της κατασκευής υπερβεί κάποιο μέγεθος που εξαρτάται από το υλικό, τότε η κατασκευή υφίσταται μόνιμες παραμορφώσεις. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι η κατασκευή βρίσκεται στην *πλαστική* περιοχή.

Τέλος, σε ακόμη μεγαλύτερες καταπονήσεις, η κατασκευή *καταρρέει* υπό την επίδραση του φορτίου, παύει δηλαδή να εκτελεί την αποστολή της. Το φαινόμενο της *κατάρρευσης της κατασκευής* συνοδεύεται από μόνιμη παραμόρφωσή της ή θραύση σε κάποιο σημείο της ή ασταθή συμπεριφορά της που εκδηλώνεται με πολύ μεγάλες παραμορφώσεις υπό την επίρεια μικρών σχετικά φορτίων.

Η συμπεριφορά της κατασκευής του πλοίου στις καταπονήσεις εξετάζεται σε δύο επίπεδα:

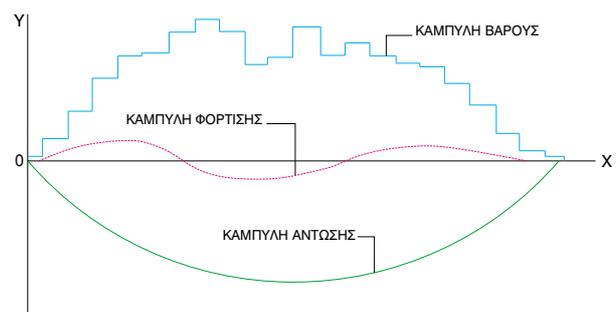
- στο επίπεδο της συμπεριφοράς της κατασκευής ως συνόλου, ευρισκόμενου υπό την επίδραση της φόρτισης
- στο επίπεδο της τοπικής συμπεριφοράς τμημάτων

της κατασκευής, υπό την επίδραση τοπικών φορτίων.

Στο επόμενο εδάφιο θα εξετάσουμε, κυρίως, τη συμπεριφορά της κατασκευής ως συνόλου, ενώ θα περιγράψουμε, σε συντομία, και την τοπική αντοχή της.

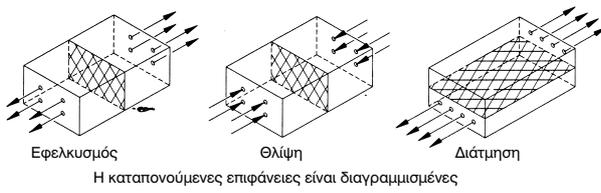
8.3 ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Η κατασκευή του πλοίου, εξεταζόμενη ως σύνολο συμπεριφέρεται ως μια δοκός που υποβάλλεται σε μία κατανομή φόρτισης. Οι κύριες πηγές της φόρτισης αυτής προέρχονται, σύμφωνα με τα γνωστά από την υδροστατική, από την επαλληλία της δράσης του βάρους του πλοίου και της υδροστατικής άνωσης. Φυσικά, σύμφωνα με την αρχή του Αρχιμήδη, το συνολικό βάρος του πλοίου πρέπει να ισούται με την συνολική άνωση, ώστε το πλοίο να ισορροπεί στην ίσαλο πλευσής. Όπως φαίνεται, όμως, στο Σχήμα 8.1, η κατανομή των δύο αυτών φορτίσεων, κατά μήκος του πλοίου, δεν είναι η ίδια. Επομένως, στα διαστήματα όπου υπερτερεί το βάρος, η συνισταμένη φόρτιση της δοκού του πλοίου είναι προς τα κάτω, ενώ το αντίθετο συμβαίνει εκεί όπου υπερτερεί η άνωση. Στο Σχήμα 8.1 φαίνεται και η συνισταμένη φόρτιση της δοκού του πλοίου.



Σχήμα 8.1. Διαμήκης κατανομή της φόρτισης της δοκού του πλοίου

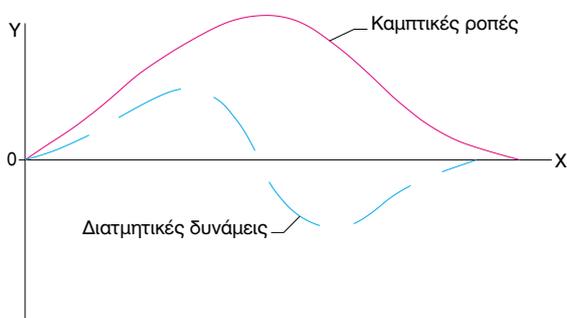
Υπό την επίδραση της παραπάνω φόρτισης, αναπτύσσονται εσωτερικές αντιδράσεις στη δομή της κατασκευής, που αντιτίθενται στην παραμόρφωσή της. Οι αντιδράσεις αυτές στη μονάδα της επιφανείας του στοιχείου της κατασκευής που μεταφέρει το φορτίο χαρακτηρίζονται ως *τάσεις* (σχήμα 8.2).



Σχήμα 8.2. Ανάπτυξη τάσεων σε μια διατομή της δοκού του πλοίου

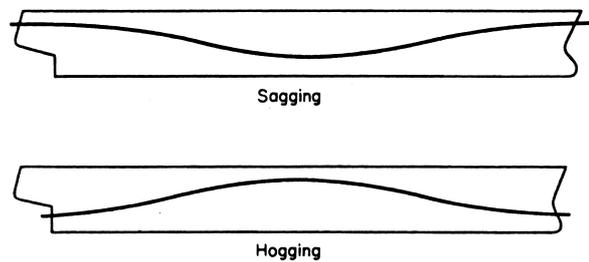
Δεδομένου ότι η δοκός φορτίζεται μόνο από κατακόρυφο φορτίο, δεν αναπτύσσονται σ' αυτήν αξονικές δυνάμεις. Αντίθετα, αναπτύσσονται **τέμνουσες δυνάμεις** και **καμπτικές ροπές**. Η τέμνουσα δύναμη Q μιας διατομής της δοκού είναι ίση με το αλγεβρικό άθροισμα όλων των αριστερά της διατομής δυνάμεων, που ενεργούν στη δοκό κάθετα προς το γεωμετρικό άξονά της. Η καμπτική ροπή M μιας διατομής της δοκού είναι ίση με το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών όλων των δυνάμεων, που ενεργούν αριστερά της διατομής, ως προς το κέντρο βάρους αυτής. Φυσικά, για τον ορισμό των δύο παραπάνω εντατικών μεγεθών, μπορούμε αντί του αριστερού, να χρησιμοποιήσουμε το δεξιό τμήμα της δοκού, καταλήγοντας στα ίδια αποτελέσματα.

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς, μπορούμε τα κατασκευάσουμε τα διαγράμματα κατανομής των τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών κατά μήκος του πλοίου. Τα διαγράμματα αυτά, για την περίπτωση του πλοίου του Σχήματος 8.1, φαίνονται στο Σχήμα 8.3. Αποδεικνύεται ότι στο σημείο, κατά μήκος του πλοίου, όπου μηδενίζεται η τέμνουσα δύναμη, η καμπτική ροπή εμφανίζει τη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή της. Γενικά, το σημείο αυτό είναι κοντά στο μέσον του πλοίου.



Σχήμα 8.3. Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών στη δοκό του πλοίου.

Εάν η φόρτιση είναι τέτοια, ώστε να υπάρχει περίσσεια άντωσης περί το μέσο του πλοίου και περίσσεια βάρους στα άκρα, τότε η δοκός του πλοίου κάμπτεται με τα κοίλα της προς τα κάτω (**hogging**), όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.4. Η περίπτωση αυτή συμβαίνει και όταν το πλοίο βρίσκεται στην κορυφή ενός κύματος. Αντίθετα, όταν υπερτερεί το βάρος περί το μέσον του πλοίου και η άντωση περί τα άκρα, η δοκός του πλοίου κάμπτεται με τα κοίλα προς τα πάνω (**sagging**). Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει, όταν το πλοίο βρίσκεται στην κοιλάδα, ανάμεσα σε δύο κορυφές κυμάτων.

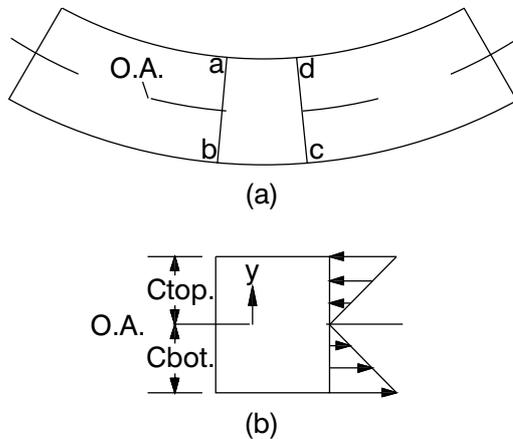


Σχήμα 8.4. Κάμψη της δοκού του πλοίου με τα κοίλα προς τα κάτω (hogging) και προς τα πάνω (sagging).

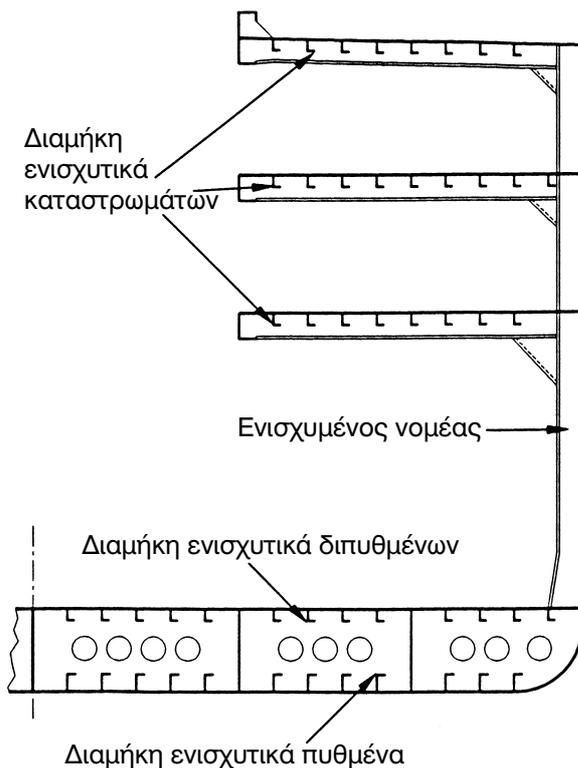
8.4 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Στο προηγούμενο εδάφιο εξετάσαμε τη συμπεριφορά της κατασκευής του πλοίου ως συμπαγούς δοκού από ομογενές υλικό, με διαστάσεις τις κύριες διαστάσεις του πλοίου. Καταπονούμενη μια εγκάρσια διατομή μια τέτοιας δοκού κάμπτεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.5. Η κάμψη αυτή επιτυγχάνεται, με την ανάπτυξη τάσεων εφελκυσμού στο κάτω μέρος και θλίψεως στο πάνω. Αντίστοιχα, το υλικό της δοκού επιμηκύνεται στο κάτω μέρος και επιβραχύνεται (συμπιέζεται) στο πάνω. Ανάμεσα στο τμήμα της δοκού που επιμηκύνεται και εκείνο που συμπιέζεται (επιβραχύνεται), υπάρχει μια διαχωριστική επιφάνεια (καμπύλη στο Σχήμα 8.5), η οποία διατηρεί το αρχικό της μήκος. Η ευθεία αυτή ονομάζεται **ουδέτερος άξονας** και στην περίπτωση δοκού ορθογωνικής διατομής συμπίπτει με το διαμήκη άξονα συμμετρίας της. Όσο περισσότερο απέχει ένα στοιχείο του υλικού από τον ουδέτερο άξονα, τόσο περισσότερο παραμορφώνεται. Τη μεγαλύτερη θλι-

πικί και εφελκυστική παραμόρφωση υφίστανται η άνω και η κάτω πλευρά, αντίστοιχα.



Σχήμα 8.5. Καθαρή κάμψη δοκού από ομογενές υλικό. (O.A. είναι ο ουδέτερος άξονας, ενώ Ctop. και Cbot. είναι οι μέγιστες αποστάσεις από αυτόν.)



Σχήμα 8.6. Κατασκευαστικό σχέδιο εγκάρσια διατομής πλοίου.

Στην περίπτωση του πλοίου, η διατομή δεν είναι πλέον ορθογωνική, αλλά έχει τη μορφή του Σχήματος 8.6. Την αντίσταση της κατασκευής του στα καμπικά φορτία αναλαμβάνουν η εξωτερική επένδυ-

σή του, τα δάπεδα των καταστρωμάτων του και τα **διαμήκη ενισχυτικά** της κατασκευής του. Ο ουδέτερος άξονας δεν είναι πλέον στο μέσον του κοίλου του πλοίου. Τα διαμήκη ενισχυτικά συγκρατούνται στη θέση τους, μέσω των **εγκάρσιων ενισχυτικών**, των ενισχυμένων νομέων (web frames) και των εγκάρσιων φρακτών του. Γενικά, στα πλοία, διακρίνουμε το **εγκάρσιο** και το **διάμηκες σύστημα ναυπήγησης**, ανάλογα με το εάν η ενίσχυση της κατασκευής του πλοίου βασίζεται στις διαμήκεις ή στις εγκάρσιες ενισχύσεις, αντίστοιχα. Ενδιάμεσο σύστημα ναυπήγησης είναι το **μικτό**.

8.5 ΤΑ ΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Στα προηγούμενα εδάφια αυτού του Κεφαλαίου, αναφερθήκαμε αρκετές φορές στις τάσεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή του πλοίου καθώς και στις παραμορφώσεις που εμφανίζει αυτή από τη δράση των φορτίων. Γενικά, η παραμόρφωση ενός σώματος εξαρτάται από τις τάσεις που αναπτύσσονται. Ειδικά, όταν το σώμα βρίσκεται στην ελαστική περιοχή, οι τάση σ συνδέεται με την παραμόρφωση ϵ (τη μεταβολή δηλαδή του μήκους του υλικού, ανά μονάδα μήκους), μέσω της σχέσης:

$$\sigma = E \epsilon \quad (8.1)$$

όπου η σταθερά E ονομάζεται μέτρο ελαστικότητας και αποτελεί μια χαρακτηριστική ιδιότητα του υλικού.

Για την κατασκευή των πλοίων, χρησιμοποιούνται συνήθως ναυπηγικοί χάλυβες, χάλυβες υψηλής αντοχής, διάφορα κράματα αλουμίνιου, συνθετικά υλικά, όπως το πλαστικό (πολυεστέρας) που είναι ενισχυμένο με ίνες γυαλιού (GRP), και το ξύλο.

Οι **χάλυβες** έχουν το υψηλότερο μέτρο ελαστικότητας, αλλά είναι και το βαρύτερο υλικό. Οι χάλυβες υψηλής αντοχής έχουν υψηλότερο μέτρο ελαστικότητας και επιτρέπουν τον περιορισμό του πάχους των ελασμάτων και τη μείωση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής, ενώ αυξάνεται, ταυτόχρονα, το κόστος της κατασκευής. Ο χάλυβας κυριαρχεί στα μεγαλύτερα πλοία.

Αντίθετα, το **αλουμίνιο** και τα συνήθη κράματά του έχουν το 1/3 του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα, επιβάλλουν μεγαλύτερα πάχη ελασμάτων, είναι ό-

μως ελαφρύτερα. Επιπλέον, το αλουμίνιο είναι ακριβότερο ναυπηγικό υλικό και δεν αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες (σημείο τήξεως περί τους 700°C), ενώ είναι πιο ανθεκτικό στη διάβρωση μέσα σε θαλάσσιο περιβάλλον (δημιουργεί ένα επιφανειακό στρώμα οξειδίου που εμποδίζει την περαιτέρω διάβρωση). Γενικά, το αλουμίνιο χρησιμοποιείται σε σκάφη αναψυχής και άλλα ελαφρά σκάφη, μήκους 15-80 m.

Το *ενισχυμένο με ίνες γυαλιού πλαστικό* χρησιμοποιείται στα μικρότερα των σκαφών (2-30 m), όπου απαιτείται, γενικά, μικρό βάρος. Η χρήση του συνίσταται στην τοποθέτηση επάλληλων στρώσεων από ίνες γυαλιού που επικολλώνται μεταξύ τους με κάποια ρητίνη, όπως π.χ. ο πολυεστέρας. Το ενισχυμένο πλαστικό και ιδιαίτερα διάφορες ποικιλίες του, που κάνουν χρήση ανθρακονημάτων και kevlar, επιτυγχάνουν εξαιρετικά υψηλές τιμές του λόγου αντοχής προς βάρος. Μεγάλα πλεονεκτήματά τους αποτελούν η δυνατότητα αύξησης της παραγωγικότητας στην κατασκευή, με τη βοήθεια *καλουπιών*, και το περιορισμένο κόστος της συντήρησής τους. Μειονεκτούν λόγω της χαμηλής αντοχής στις υψηλές θερμοκρασίες και της εμφάνισης του φαινομένου της *όσμωσης*, όταν παραμείνουν για μεγάλα διαστήματα στη θάλασσα. Το φαινόμενο της όσμωσης εμφανίζεται με τον εγκλωβισμό υδρατμών ανάμεσα στις στρώσεις του γυαλιού, που μειώνουν την αντοχή του υλικού.

Τέλος, το *ξύλο* αποτελεί το παραδοσιακό ναυπηγικό υλικό, που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα. Πλεονεκτήματά του είναι η φυσική του προέλευση και η αντοχή του στο θαλάσσιο περιβάλλον. Μειονεκτεί, όμως, έναντι των άλλων υλικών λόγω της ανομοιομορφίας που παρουσιάζει η δομή του (π.χ. η παρουσία ρόζων), της δυσκολίας ανεύρεσης κατάλληλης ξυλείας, όπως συμβαίνει με πολλά φυσικά προϊόντα, της δύσκολης κατεργασίας του και της μικρής αντοχής του στις υψηλές θερμοκρασίες. Η τροπική ξυλεία προτιμάται της εγχώριας, λόγω της βελτιωμένης ποιότητάς της και της απουσίας ρόζων. Χρησιμοποιείται σε σκάφη μήκους μέχρι 35 m.

8.6 Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΚΥΜΑΤΑ. ΤΟΠΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ.

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του παρόντος Κεφαλαίου, εκτός των στατικών φορτίων που αναπτύσσονται σε ένα πλοίο, σε ήρεμο νερό, όταν το πλοίο ταξιδεύει σε κυματισμένη θάλασσα βρίσκεται υπό την επίδραση δυναμικών (δηλαδή μεταβαλλόμενων, συναρτησει του χρόνου) φορτίων. Τα φορτία αυτά καταπονούν ακόμη περισσότερο τη κατασκευή του πλοίου. Έτσι, σε ένα πλοίο ευρισκόμενο στη κορυφή ενός κύματος ή στην κοιλάδα, ανάμεσα σε δύο κορυφές κυμάτων, αναπτύσσονται μεγάλες καμπτικές ροπές περί το μέσον του, που μπορούν να οδηγήσουν ακόμη και στην αποκοπή του πρωραίου από το πρυμναίο τμήμα.

Εκτός από αυτό, η επίδραση των κυμάτων θέτει σε δοκιμασία την *τοπική αντοχή* των διαφόρων στοιχείων της κατασκευής του πλοίου, ιδιαίτερα στην περιοχή της πλώρας, όπου εμφανίζεται το φαινόμενο της σφουροόκρουσης. Σ' αυτήν την περίπτωση, αν και η κατασκευή ως σύνολο ανθίσταται επαρκώς στα επιβαλλόμενα φορτία, υπάρχει ο κίνδυνος τοπικής διαρροής ενός (κατασκευαστικού) τμήματος της κατασκευής, π.χ. το λύγισμα ενός τμήματος ελάσματος που περικλείεται από διαμήκεις και εγκάρσιες ενισχύσεις. Το φαινόμενο είναι εντονότερο σε χαλύβδινα και αλουμινένια πλοία, όπου η αντοχή της συνολικής κατασκευής εξασφαλίζεται με λεπτά ελάσματα, κατάλληλα ενισχυμένα. Η τοπική αντίσταση, όμως, των ελασμάτων είναι περιορισμένη. Τυχόν τοπική διαρροή του υλικού μπορεί να οδηγήσει ή να επισπεύσει την ολική αστοχία της κατασκευής, όπως συμβαίνει π.χ με τη δημιουργία ρήγματος στα ύφαλα του πλοίου και την εισροή νερού στα διαμερίσματα του πλοίου.

Τέλος, παρατηρούνται σοβαρά ρήγματα σε διάφορα σημεία της κατασκευής ενός πλοίου, που οφείλονται στην τοπική συγκέντρωση τάσεων και εξασθενούν τη συνολική αντοχή της κατασκευής.

Ερωτήσεις επαναλήψεως

1. Πώς κατασκευάζεται ένα πλοίο, ώστε να αντέχει στις καταπονήσεις που υφίσταται;
2. Πώς υπολογίζονται τα βασικά κατασκευαστικά στοιχεία ενός πλοίου;
3. Ποια είναι τα πιο κρίσιμα σημεία του πλοίου, όπου αναπτύσσονται οι μέγιστες τάσεις;
4. Πώς επιλέγονται τα ναυπηγικά υλικά και ποιες είναι οι βασικές ιδιότητές τους;
5. Πώς υπολογίζεται η ροπή αντιστάσεως της μέσης τομής του πλοίου;

Δραστηριότητες

1. Να υπολογίσετε τη ροπή αντιστάσεως της μέσης τομής πλοίου, πλάτους 25 m και κοίλου 8 m, όπου ο πυθμένας έχει πάχος 10 mm, οι πλευρές 8 mm και ο πυθμένας 15 mm. Να αγνοήσετε τα διαμήκη ενισχυτικά. Ποια είναι η κατακόρυφη θέση του ουδέτερου άξονα;
2. Ποια είναι η ροπή αδράνειας της τομής της δραστηριότητας 1, αν κατασκευαστεί από ναυπηγικό χάλυβα ή αλουμίνιο; Να συγκρίνετε το λόγο ροπής αδράνειας προς βάρος, ανά μέτρο μήκους, και στις δύο περιπτώσεις.
3. Να υπολογίσετε τη μέγιστη καμπτική ροπή σε φορηγίδα μορφής ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου, μήκους 30 m, πλάτους 6 m και βυθίσματος 1,5 m. Να θεωρήσετε ότι η φορηγίδα έχει έξι ισομεγέθη αμπάρια, εκ των οποίων τα δύο ενδιάμεσα είναι άδεια, ενώ τα δύο προωαία και τα δύο ακραία είναι γεμάτα με θαλασσινό νερό.

9. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΛΟΙΟΥ. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΝΑΥΠΗΓΕΙΟΥ.

9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έχοντας ήδη γνωρίσει τα βασικά χαρακτηριστικά ενός πλοίου, θα έρθετε σε επαφή, σ' αυτό το κεφάλαιο, με τη διαδικασία σχεδίασης και κατασκευής του καθώς και τις δοκιμές παραλαβής του.

Στα πλαίσια αυτής της παρουσίασης, θα γνωρίσετε τη δομή του ναυπηγείου, όπου κατασκευάζονται τα πλοία. Δεδομένου ότι το ίδιο το πλοίο είναι μια σύνθετη κατασκευή, καταλαβαίνετε ότι το εργοστάσιο που παράγει πλοία θα είναι ένα πολύπλοκο συγκρότημα, με ποικίλες δυνατότητες. Στην ουσία πρόκειται για μια σειρά μικρών ή μεγάλων παραγωγικών μονάδων, που είναι κατάλληλα διαταγμένες, ώστε να διευκολύνεται η παραγωγή των πλοίων.

Η πολυπλοκότητα και η πληθώρα των συστημάτων με τα οποία εξοπλίζεται ένα πλοίο επιβάλλουν και την εκτέλεση μιας σειράς δοκιμών κατά την παραλαβή του. Με τις δοκιμές αυτές ελέγχεται το κατά πόσον το πλοίο ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανόνων και κανονισμών των ελεγκτικών αρχών καθώς επίσης και τις προδιαγραφές κατασκευής του, όπως αναγράφονται στο συμβόλαιο ναυπήγησης.

Όροι που πρέπει να μάθετε

- προδιαγραφές κατασκευής
- γενική διάταξη
- εξοπλισμός καταστρώματος
- εξοπλισμός μηχανοστασίου
- χώροι ενδιαίτησης
- φάσεις κατασκευής πλοίου
- δομή ναυπηγείου
- δοκιμές παραλαβής

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- ποια σχέδια υποβάλλονται κατά την κατασκευή ενός πλοίου;
- ποια συστήματα περιλαμβάνουν τα διάφορα μέρη του εξοπλισμού ενός πλοίου;
- ποια είναι η δομή ενός τυπικού ναυπηγείου χαλύβδινων σκαφών;
- ποιες είναι οι βασικές φάσεις ναυπήγησης ενός πλοίου;
- ποιες είναι οι δοκιμές που γίνονται κατά την παραλαβή ενός πλοίου;

9.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ

Η κατασκευή ενός πλοίου γίνεται στο ναυπηγείο, σύμφωνα με τις **προδιαγραφές κατασκευής (building specifications)** που καθορίζει ο πλοιοκτήτης και αποδέχεται το ναυπηγείο.

Πριν αρχίσει η κατασκευή του πλοίου, το ναυπηγείο υποβάλλει, τμηματικά, στον πλοιοκτήτη και στον νηογνώμονα, που θα το παρακολουθήσει και θα εκδώσει τα πιστοποιητικά του, τα κατασκευαστικά σχέδια για έγκριση. Κάθε σχέδιο επιστρέφεται στο ναυπηγείο σε προκαθορισμένο χρόνο που, συνήθως, είναι 15 ημέρες, συνοδευόμενο από παρατηρήσεις, σχόλια και αλλαγές που ο πλοιοκτήτης ή ο νηογνώμονας θεωρούν απαραίτητες. Συνήθως, λίγες από τις προτεινόμενες αλλαγές γίνονται αμέσως δεκτές. Για τις περισσότερες, επακολουθεί ανταλλαγή αλληλογραφίας όπου το κάθε μέρος προσπαθεί να τεκμηριώσει την άποψή του, έως ότου υπάρξει συμφωνία. Επίσης, υποβάλλονται και οι απαραίτητες μελέτες αντοχής, που περιλαμβάνουν τον υπολογισμό μέσης τομής, τον υπολογισμό διαμήκους αντοχής και γραμμής φόρτωσης.

Τα σχέδια που υποβάλλονται για έγκριση, στην περίπτωση ενός φορητού πλοίου, μπορούν να χωριστούν σε 6 κύριες ομάδες που είναι:

- A. γενικά σχέδια, που δείχνουν τα ναυπηγικά χαρακτηριστικά του πλοίου, χωρίς, όμως, να περιέχουν κατασκευαστικές λεπτομέρειες
 - B. σχέδια χαλύβδινης κατασκευής, που αναλυτικά δείχνουν την κατασκευή της γάστρας, τα πάχη ελασμάτων και ενισχυτικών, τα ιδιαίτερα μέρη του πλοίου κ.λ.π.
 - Γ. σχέδια εξοπλισμού καταστρώματος, που δίνουν οδηγίες για το είδος και την τοποθέτηση του εξοπλισμού
 - Δ. σχέδια εξοπλισμού του μηχανοστάσιου, που αφορούν τα κύρια και βοηθητικά μηχανήματα που υπάρχουν σ' αυτό
 - Ε. σχέδια ενδιαίτησης, που δείχνουν τους χώρους παραμονής και διαβίωσης του πληρώματος
- ΣΤ. σχέδια ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, που

δείχνουν τις πηγές ηλεκτρικού ρεύματος, τις καλωδιώσεις, τους πίνακες κ.λ.π.

Τα κυριότερα σχέδια κάθε κατηγορίας είναι:

A. ΓΕΝΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ

Γενική διάταξη (General Arrangement)

Υδροστατικό διάγραμμα
Υπολογισμός εξάλων
Χωρητικότητες δεξαμεμών

Υπολογισμός διαγωγής και ευστάθειας (trim and stability)

Πρόγραμμα δοκιμών
Σχέδιο ασφάλειας εξαρτισμού

B. ΧΑΛΥΒΔΙΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Μέση τομή (midship section)

Πλάγιες όψεις και καταστρώματα
Ανάπτυγμα ελασμάτων περιβλήματος (shell expansion)
Κατασκευή πλώρης
Κατασκευή πρύμνης
Κατασκευή μηχανοστάσιου
Έδραση κυρίας μηχανής
Έδραση βοηθητικών μηχανημάτων

Γ. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Δίκτυο σωληνώσεων καταστρώματος
Χειρισμός και διάταξη άγκυρας
Εξοπλισμός καταστρώματος
Μέσα φορτοεκφόρτωσης
Σκάλες επιβίβασης/αποβίβασης
Σωσίβιοι λέμβοι
Καθοδική προστασία
Προδιαγραφές χρωματισμών

Δ. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΟΣΤΑΣΙΟΥ

Δίκτυο σωληνώσεων μηχανοστάσιου

Θερμικός ισολογισμός
 Κύρια μηχανή
 Κύριες ηλεκτρομηχανές
 Ηλεκτρομηχανή ανάγκης
 Βοηθητικός λέβητας
 Αεροσυμπιεστές
 Αντλίες
 Μηχανισμός πηδαλιουχίας
 Αξονικό σύστημα
 Έλικας
 Υπολογισμός στρεπτικών ταλαντώσεων
 Σύστημα πυρόσβεσης

Ε. ΧΩΡΟΙ ΕΝΔΙΑΙΤΗΣΗΣ

Διάταξη χώρων ενδιαίτησης
 Μόνωση-πυρασφάλεια
 Θέρμανση και κλιματισμός
 Εξοπλισμός μαγειρείου
 Εξοπλισμός πλυντηρίων
 Αποθήκες συντήρησης τροφίμων

ΣΤ. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Υπολογισμός ηλεκτρικών φορτίων
 Σχέδια συνδεσμολογίας
 Διάταξη ηλεκτρολογικού εξοπλισμού
 Πίνακες κατανομής
 Σύστημα GMDSS
 Φανοί ναυσιπλοίας
 Ραντάρ
 Μαγνητική και γυροσκοπική πυξίδα
 Αυτοματισμοί γέφυρας/μηχανοστάσιου

9.3 ΔΟΜΗ ΝΑΥΠΗΓΕΙΟΥ

Η δομή και η οργάνωση ενός σύγχρονου ναυπηγείου, παρά το γεγονός ότι εξαρτάται από το εάν το αντικείμενό του είναι οι νέες κατασκευές ή οι επι-

σκευές, ακολουθεί προκαθορισμένες γραμμές, σύμφωνα με το Σχήμα 9.1.

Είναι φανερό ότι το τμήμα παραγωγής αποτελεί το ζωτικότερο κομμάτι ενός ναυπηγείου και ότι όλα τα άλλα τμήματα έχουν σκοπό τη σωστή υποστήριξη του. Είναι το τμήμα εκείνο το οποίο παράγει το προϊόν για πώληση, δηλαδή εξασφαλίζει το εισόδημα του ναυπηγείου.

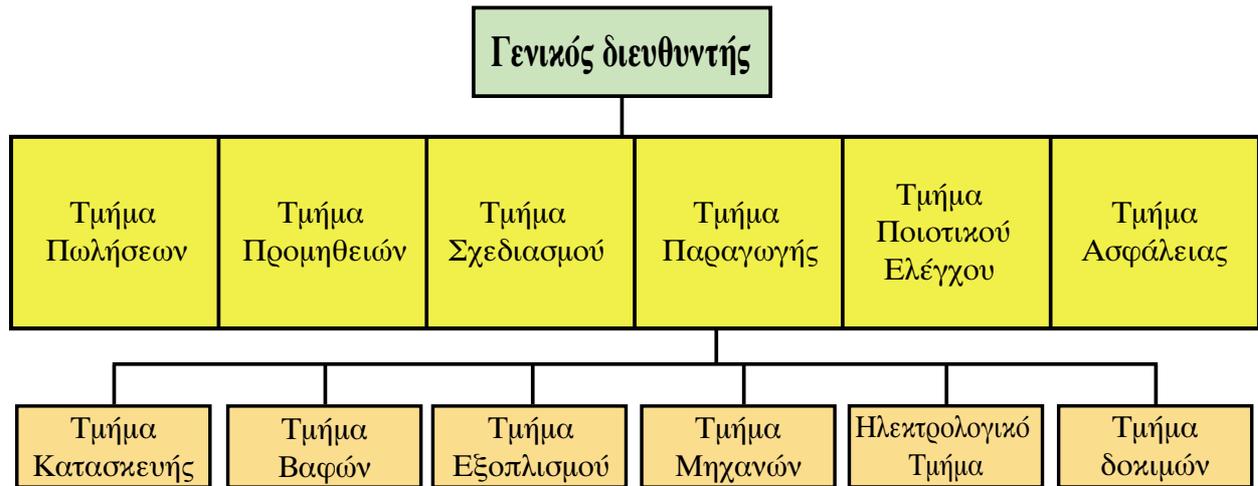
Σημαντική είναι η γεωγραφική θέση ενός ναυπηγείου, η οποία για την περίπτωση επισκευών πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να εξυπηρετεί τους πλοιοκτήτες, δηλαδή πάνω ή κοντά σε θαλάσσιες γραμμές μεγάλης κυκλοφορίας, ώστε να ελαχιστοποιείται η παρέκκλιση του πλοίου για να φτάσει εκεί. Αντίθετα, τα ναυπηγεία που έχουν ως αντικείμενο τις νέες κατασκευές πρέπει να βρίσκονται σε περιοχές με άρτια υποδομή και εύκολη πρόσβαση στις πηγές πρώτων υλών και υπηρεσιών.

9.4 ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η κατασκευή ενός πλοίου αρχίζει με την εκφόρτωση των ελασμάτων που θα χρησιμοποιηθούν, τα οποία καθαρίζονται με αμμοβολή, ώστε να αφαιρεθούν οι σκουριές, και βάφονται με ειδική προστατευτική βαφή (shop primer) που αργότερα αφαιρείται, για να γίνει ο τελικός χρωματισμός.

Στη συνέχεια, κόβονται τα ελάσματα και τα ανοίγματα τους, όπως ανθρωποθυρίδες, τρύπες για τις σωληνώσεις, κ.λ.π. Η εργασία αυτή γίνεται με αυτόματα μηχανήματα κοπής, τα οποία ελέγχονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Από τα ίδια ελάσματα κόβονται και τα ενισχυτικά, όπως νομείς, διαδοκίδες υποστηρίγματα, κ.λ.π σύμφωνα με **σχέδια κοπής (cutting plans)** ώστε να μειώνονται οι απώλειες πρώτης ύλης.

Μετά τη φάση της κοπής των ελασμάτων, αρχίζει η συναρμολόγηση των κομματιών του πλοίου (blocks). Με την ολοκλήρωση κάθε τμήματος και πριν από τη βαφή του, γίνεται επιθεώρησή του από τον υπεύθυνο διασφάλισης ποιότητας του ναυπηγείου, τον επιθεωρητή του Πλοιοκτήτη καθώς και από το Νηογνώμονα, με βάση τα εγκεκριμένα σχέδια. Οι ατέλειες/ παραλήψεις και τυχόν κακοτεχνίες που αποκαλύπτονται αποκαθίστανται, ενώ, σε μερικές περιπτώσεις, απαιτείται η διενέργεια επισκευ-



- | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1. Προβλήτα εκφόρτωσης | 8. Δεξαμενή Νο. 2 | 15. Χώρος ειδικών κατασκευών |
| 2. Χώρος αποθήκευσης ελασμάτων | 9. Βοηθητικοί χώροι εξοπλισμού | 16. Δεξαμενή Νο. 3 |
| 3. Υπόστεγα αμμοβολής | 10. Γραφεία | 17. Χώροι βαφής |
| 4. Υπόστεγα σιδηροκατασκευών | 11. Προβλήτα εξοπλισμού | 18. Υπόστεγα σιδηροκατασκευών |
| 5. Σωληνοργείο | 12. Λογισμικό / μεταφορικό κέντρο | 19. Χώρος προανέγερσης |
| 6. Χώροι εξοπλισμού | 13. Χώροι βαφής | 20. Ελικοδρόμιο |
| 7. Δεξαμενή Νο. 1 | 14. Γραφεία | 21. Χώρος επιβατηγών πλοίων |

Σχήμα 9.1. Δομή σύγχρονου ναυπηγείου



Φωτ. 9.1 Δεξαμενή ναυπήγησης



Φωτ. 9.2 Αρχικά στάδια κατασκευής - Διπύθμενα πλοίου



Φωτ. 9.3 Πουρναίο μέρος, λίγο πριν την ολοκλήρωσή του



Φωτ. 9.4 Τοποθέτηση πλευρικού block και άνω πλευρικής δεξαμενής έρματος



Φωτ. 9.5 Τοποθέτηση προραίου block



Φωτ. 9.6 Τοποθέτηση γέφυρας



Φωτ. 9.7 Ανοίγματα καασρώματος

ών για τις οποίες πρέπει να συμφωνήσουν όλα τα συμβαλλόμενα μέρη. Μετά την βαφή, γίνεται ο εξοπλισμός δηλαδή η τοποθέτηση σωληνώσεων, στηριγμάτων, καλωδιώσεων μηχανημάτων κ.λ.π.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής αρκετών κομματιών, γίνεται η τοποθέτησή τους στην δεξιαμενή ναυπήγησης, πάνω σε στηρίγματα που έχουν ήδη τοποθετηθεί, σύμφωνα με το μέγεθος και την μορφή του πυθμένα καθώς και σύμφωνα με την κατανομή του βάρους. Τα κομμάτια συγκολλώνται μεταξύ τους και έτσι δημιουργείται το σκάφος. Η τοποθέτηση του αξονικού συστήματος, της μηχανής, του έλικα, του πηδάλιου και των χώρων ενδιαίτησης γίνεται στη φάση αυτή.

Όταν ολοκληρωθούν οι συγκολλήσεις και εξασφαλισθεί η στεγανότητα και αντοχή του σκάφους, γίνεται η τελική βαφή των υφάλων, η μέτρηση των διαστάσεών του και στη συνέχεια η κατέλκυση. Με το πλοίο πλέον για πρώτη φορά στη θάλασσα, ολοκληρώνεται, σταδιακά, όλες οι υπολειπόμενες εργασίες και αρχίζουν οι δοκιμές των μηχανημάτων / συ-

στημάτων που έχουν ήδη τοποθετηθεί. Οι κυριότερες δοκιμές που γίνονται στο στάδιο αυτό είναι οι δοκιμές της κύριας μηχανής στην προβλήτα (dock trials), η μέτρηση του νεκρού βάρους και ο προσδιορισμός του κέντρου βάρους με πείραμα ευστάθειας. Στη συνέχεια, το πλοίο είναι έτοιμο για τις **επίσημες δοκιμές του (official sea trials)** στη θάλασσα.

Στις φωτογραφίες 9.1-9.7 φαίνεται η σταδιακή ανέγερση ενός πλοίου μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην (dry bulk carrier), 70.000 τόνων νεκρού φορτίου, σε ναυπηγείο της Νότιας Κορέας.

Η κατασκευή αυτού του πλοίου το 1999, κράτησε περίπου 6 μήνες και φεύγοντας το πλοίο είχε μαζί του περισσότερα από 300 κατασκευαστικά σχέδια του ναυπηγείου.

9.5 ΔΟΚΙΜΕΣ

Όταν η κατασκευή σχεδόν ολοκληρωθεί και αφού γίνουν οι δοκιμές που αναφέρθηκαν προηγου-

μένως, αρχίζουν οι επίσημες δοκιμές του πλοίου στην ανοιχτή θάλασσα, σύμφωνα με προσυμφωνημένο πρόγραμμα. Οι δοκιμές προγραμματίζονται, συνήθως, περίπου 2 εβδομάδες πριν από την ημέρα παράδοσης, ώστε να υπάρχει χρόνος, μετά το τέλος τους, να διορθωθούν τα προβλήματα που ενδεχομένως παρουσιαστούν και να ολοκληρωθούν οι υπολειπόμενες εργασίες.

Οι δοκιμές, τις οποίες παρακολουθούν αντιπρόσωποι του πλοιοκτήτη και του νηογνώμονα και ορισμένες φορές και της αρχής (σημαίας που θα υψωθεί στο πλοίο), μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες.

1. Μέτρηση ιπποδύναμης/ταχύτητας

Γίνονται διαδοχικές μετρήσεις της ταχύτητας σε προκαθορισμένες ιπποδυνάμεις της κυρίας μηχανής. Ο υπολογισμός της ταχύτητας γίνεται με την μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για την κάλυψη ενός ναυτικού μιλίου. Γίνεται, πάντοτε, ίσος αριθμός διαδρομών σε αντίθετες κατευθύνσεις (συνήθως 2), ώστε να εξαλειφθούν επιδράσεις ανέμου, ρευμάτων κ.λπ και λαμβάνεται ο μέσος όρος της ταχύτητας.

Η ιπποδύναμη της κύριας μηχανής μετράται σύμφωνα με τον τρόπο που συνιστά ο κατασκευαστής της και επιπλέον με **μετρητή ροπής (torquemeter)**, ο οποίος έχει τοποθετηθεί στον ελικοφόρο άξονα.

2. Δοκιμές συνεχούς λειτουργίας (endurance) και μέτρηση κατανάλωσης

Σκοπός των δοκιμών αυτών είναι να διαπιστωθεί αν το σύστημα πρόωσης και τα βοηθητικά μηχανήματα μπορούν να λειτουργήσουν ικανοποιητικά, σε πλήρη ισχύ, κάτω από πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Συνήθως, οι δοκιμές αυτές διαρκούν τουλάχιστον 4 ώρες. Συγχρόνως, μετράται και η κατανάλωση καυσίμου.

3. Δοκιμές ελιγμών, αγκυροβολίας, μέτρηση ταλαντώσεων κ.λπ.

Ορισμένες από τις δοκιμές που μπορούν να υπαχθούν στην κατηγορία αυτή είναι:

A. αναστροφή από πρόσω ολοταχώς σε ανάποδα ολοταχώς, για να διαπιστωθεί ο χρόνος που χρειάζεται το πλοίο για να σταματήσει και η απόσταση που διανύει.

B. δοκιμή αγκυροβολίας κατά την οποία ποντίζεται κάθε άγκυρα και μετράται ο χρόνος που απαιτείται για την ανέλκυσή της, ενώ, συγχρόνως, διαπιστώνεται η καλή λειτουργία όλου του συστήματος.

Γ. δοκιμές ελιγμών:

Γίνονται στροφές 360 μοιρών δεξιά-αριστερά, καθώς και ελιγμοί ζιγκ-ζάγκ. Γίνεται χρήση του κυρίου συστήματος και του συστήματος πηδαλιουχίας ανάγκης.

Δ. μέτρηση αξονικών ταλαντώσεων και επιπέδων θορύβου

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών γίνεται συνεχής συλλογή στοιχείων, τα οποία αξιολογούνται επί τόπου, ώστε να είναι δυνατή η επανάληψη κάποιων από αυτές, εφόσον κριθεί απαραίτητο.

Στην περίπτωση ομοίων πλοίων (σειράς), ορισμένες από τις δοκιμές γίνονται μόνο στο πρωτότυπο.

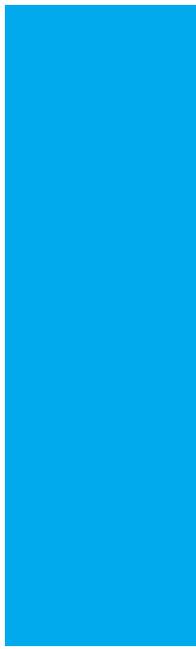
Μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών και αφού αποκατασταθούν όλα τα προβλήματα που συναντήθηκαν και ολοκληρωθούν και οι τελευταίες λεπτομέρειες της κατασκευής, γίνεται η παράδοση του πλοίου. Το ναυπηγείο παραδίδει στον αγοραστή τα πιστοποιητικά, τα ναυτιλιακά έγγραφα, τα σχέδια-οδηγίες καθώς και τα κλειδιά των διαφόρων χώρων και μηχανημάτων. Συγχρόνως, υπογράφονται τα έγγραφα παράδοσης/παραλαβής, κυριότερα από τα οποία είναι το πρωτόκολλο παράδοσης/αποδοχής (protocol of delivery and acceptance) και το πιστοποιητικό του κατασκευαστή (builder's certificate), από τους αντιπροσώπους του ναυπηγείου και του πλοιοκτήτη. Βεβαιώνεται η καταβολή του υπολειπόμενου αντίτιμου από την τράπεζα του ναυπηγείου και το πλοίο περιέρχεται στην κυριότητα του πλοιοκτήτη και αναχωρεί για το πρώτο λιμάνι προορισμού του.

Ερωτήσεις επαναλήψεως

1. Ποια σχέδια υποβάλλονται κατά την κατασκευή ενός πλοίου;
2. Ποια συστήματα περιλαμβάνουν τα διάφορα μέρη του εξοπλισμού ενός πλοίου;
3. Ποια είναι η δομή ενός τυπικού ναυπηγείου χαλύβδινων σκαφών;
4. Ποιες είναι οι βασικές φάσεις ναυπήγησης ενός πλοίου;
5. Ποιες είναι οι δοκιμές που γίνονται κατά την παραλαβή ενός πλοίου;

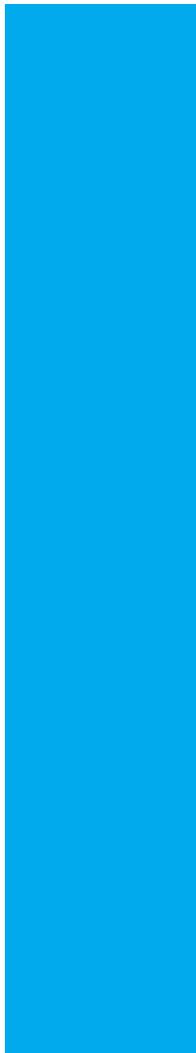
Δραστηριότητες

1. Πάνω στο σχέδιο της κάτοψης ενός ναυπηγείου, που δίνεται στο Σχήμα 9.1, να χαράξετε την πορεία ναυπήγησης ενός χαλύβδινου πλοίου.
2. Να κατασκευάσετε ένα πρόγραμμα δοκιμών παραλαβής ενός πλοίου.



ΜΕΡΟΣ

B



10 ΡΟΠΗ ΔΥΝΑΜΗΣ - ΙΣΑΛΟΣ ΓΡΑΜΜΗ

10.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάρκεια της ζωής ενός σκάφους, φορτοεκφορτώνονται ποικίλες ποσότητες βαρών (φορτία, καύσιμα, κλπ.), τα οποία προκαλούν διάφορες ροπές, που κι'αυτές, με την σειρά τους, μπορούν να προκαλέσουν ποικίλες κοπώσεις στην κατασκευή του σκάφους.

Το γεγονός αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να προκαλούνται προβλήματα στην ευστάθεια και αντοχή του πλοίου, τη φόρτωση, αλλά και στις ελικτικές του ικανότητες. Είναι, λοιπόν, σκόπιμο να δούμε τι είναι οι ροπές και πώς επηρεάζουν το σκάφος.

Όροι που πρέπει να μάθετε

- ροπή δύναμης
- τάση περιστροφής
- ίσαλος γραμμή
- έμφορτη ίσαλος
- ίσαλος σχεδίασης

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- Τι προκαλεί η ροπή σε ένα σώμα;
- Τι θεωρούμε δυνάμεις πάνω στο πλοίο;
- Πώς μεταβάλλεται η ίσαλος γραμμή;

10.2 ΡΟΠΗ ΔΥΝΑΜΗΣ

Ροπή δύναμης, κατά τη Φυσική, ως προς άξονα ή προς σημείο, είναι ένα διανυσματικό μέγεθος που έχει μέτρο το γινόμενο της έντασης της δύναμης επί την απόστασή της από τον άξονα ή το σημείο. Εκφράζει, δηλαδή, την τάση, που έχει η δύναμη που ενεργεί πάνω σε ένα σώμα να το περιστρέψει.

Δυνάμεις, στο πλοίο, θεωρούμε τα βάρη που τοποθετούνται σε αυτό και απόσταση από άξονα ή σημείο, την απόσταση του κέντρου βάρους κάθε χώρου από τον εγκάρσιο, διαμήκη ή κατακόρυφο άξονα. Επίσης υπάρχουν και οι εξωτερικές δυνάμεις όπως η επίδραση ανέμου ή κυματισμού, η προσάραξη κλπ.

Για να καταλάβουμε καλύτερα πώς επενεργούν οι ροπές σε ένα σκάφος, ας μελετήσουμε τα παρακάτω παραδείγματα της ράβδου που ισορροπεί σε ένα σημείο.

Και στα δύο άκρα μιας ράβδου, μήκους 40m τοποθετούμε βάρη 3t (σχ. 10.1).

Η ράβδος, στη μέση, στηρίζεται με σφήνα, ώστε οι δύο βραχίονες να είναι ίσοι. Εκεί η ράβδος ισορροπεί και αυτό είναι το κέντρο βάρους της, G (center Gravity).

Το σύστημα ισορροπεί, γιατί οι ροπές που δημιουργούνται δεξιά και αριστερά από το G είναι ίσες, εφ' όσον έχουμε τα βάρη τοποθετημένα σε ίση απόσταση από το σημείο στήριξης, δηλαδή $3t \times 20m = 60tm$ (σχ. 10.1α).

Στο Σχ. 10.1β το βάρη στο δεξί άκρο μετακινήθηκε

κατά 8 μέτρα αριστερά, ώστε ο δεξιός μοχλοβραχίονας έγινε $20-8=12m$.

Οι ροπές που προκύπτουν είναι

$$\text{Αριστερή ροπή} : 3 \times 20 = 60 \text{ tm}$$

$$\text{Δεξιά ροπή} : 3 \times 12 = 36 \text{ tm}$$

Αποτέλεσμα της μετακίνησης αυτής είναι να διαταραχθεί η ισορροπία, εφ' όσον ελαττώθηκε η δεξιά ροπή, και η ράβδος να κλίνει προς τα αριστερά (σχ. 10.1γ).

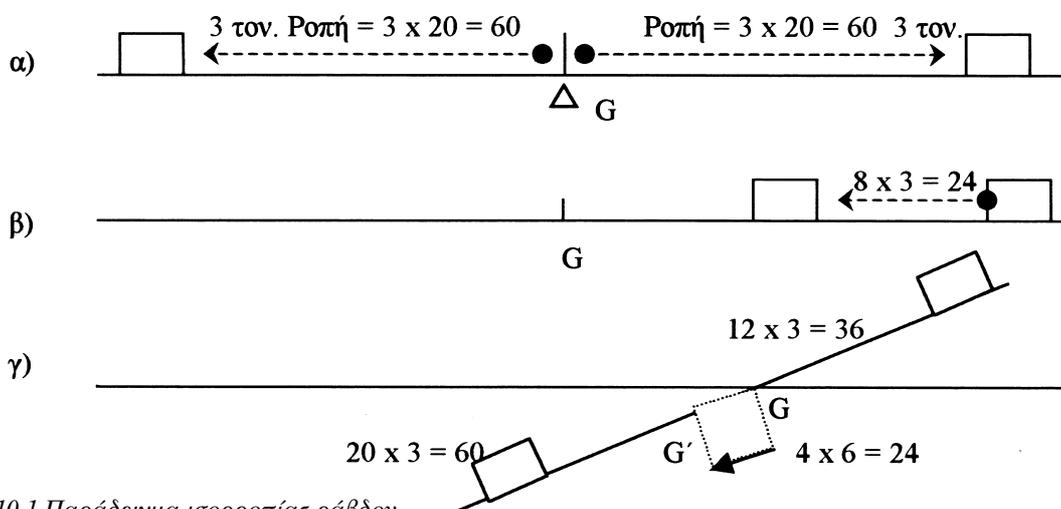
Για να ισορροπήσει πάλι το σύστημα, θα πρέπει να προκληθεί μια αντίθετη ροπή 24 tm, είτε προσθέτοντας βάρη προς τη δεξιά πλευρά, είτε μετακινώντας το αριστερό βάρη, είτε, τέλος, μετακινώντας το G στη θέση G', ώστε να καταλάβει το μέσο του νέου μήκους της ράβδου που είναι τώρα $(40-8=)$ 32 m. Με τη μετακίνηση του G κατά 4 m, προκλήθηκε μια ροπή 24 tm, κατά τρόπο ώστε GG'x βάρους=24 tm.

10.3 ΙΣΑΛΟΣ ΓΡΑΜΜΗ

Όπως αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 1, η **ίσαλος γραμμή (waterline)** είναι μια νοητή γραμμή, στην οποία η επιφάνεια της θάλασσας τέμνει τα πλευρά του πλοίου.

Η ίσαλος είναι μεταβλητό μέγεθος και εξαρτάται από την ποσότητα και θέση των φορτίων (βάρη) που υπάρχουν στο πλοίο κάθε φορά.

Έτσι, όταν το πλοίο βρίσκεται σε κατάσταση πλή-



Σχήμα 10.1 Παράδειγμα ισορροπίας ράβδου

ρους φόρτου (full load), τότε η ίσαλος γραμμή λέγεται **έμφορτη ίσαλος (full load waterline)**.

Ίσαλος σχεδίασης είναι η ίσαλος στην οποία θα επιπλέει το πλοίο, σύμφωνα με εκτιμήσεις κατά τα στάδια της σχεδίασης του πλοίου, με τα φορτία και άλλα βάρη όπως εκτιμώνται στη φάση αυτή.

Αν θεωρήσουμε ένα πλοίο χωρίς φορτία που μόλις έχει καθελκυστεί μετά την ναυπήγηση του. Τότε το πλοίο θα πλέει στην άφορτη ίσαλο. Αν αρχίσουμε να τοποθετούμε βάρη το πλοίο θα αρχίσει να βυθίζεται σιγά-σιγά. Αν τα βάρη αυτά τοποθετούνται σωστά μοιρασμένα, το πλοίο κάθε φορά θα είναι πίο βυθισμένο, δηλ. θα πλέει σε μία άλλη ίσαλο γραμμή υψηλότερη της πρώτης. Όταν φτάσουμε στο μέγιστο φορτίο που μπορεί να φορτωθεί στο πλοίο τότε το πλοίο θα πλέει στην έμφορτη ίσαλο.

Το αντίθετο θα συμβεί αν από κάποιο φορτωμένο πλοίο αρχίσουμε να αφαιρούμε βάρη. Το πλοίο θα πλέει κάθε φορά σε μία ίσαλο παράλληλη της πρώτης αλλά όλο και πίο κάτω από την αρχική.

Οι ίσαλοι είναι στην πραγματικότητα άπειρες γραμμές. Το μέρος του πλοίου κάτω από τη θάλασσα είναι διαφορετικό για κάθε ίσαλο. Πρακτικά όμως οι ίσαλοι μετρούνται ανά ορισμένα διαστήματα, π.χ. 0,1 - 0,5 μέτρα, ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου. Συνήθως, σηματοδοτούνται τα βυθίσματα στην πλώρη και την πρύμνη του πλοίου και στις δύο πλευρές του σκάφους.

10.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ας θεωρήσουμε ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος που ταξιδεύει με τα ιστία του όρτσα δηλ. σχεδόν αντίθετα στην κατεύθυνση του ανέμου. (Φωτ. 10.1)

Η δύναμη που ασκείται

από τον άνεμο πάνω στα ιστία δημιουργεί μία ροπή που προκαλεί εγγάρσια κλίση στο σκάφος.

Στην φωτογραφία βλέπουμε το σκάφος να ταξιδεύει με κλίση και ξεχωρίζει η ίσαλος σχεδίασης του. Συνήθως στα σκάφη τα ύφαλα έχουν διαφορετικό χρωματισμό από τα έξαλα.

Τα ιστιοπλοϊκά σκάφη σπάνια πλέουν στην ίσαλο σχεδίασης. Πρακτικά αυτό συμβαίνει μόνο όταν το σκάφος είναι στο λιμάνι.

Όταν ταξιδεύουν στην ανοικτή θάλασσα η ίσαλος πλεύσης αλλάζει συνέχεια ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου, την κλίση του σκάφους και τους κυματισμούς.

Παρατηρούμε στη φωτογραφία ότι το πλήρωμα του σκάφους έχει μαζευτεί στην προσήνεμη πλευρά και μάλιστα έχει κρεμαστεί έξω από την πλευρά του σκάφους.

Αυτό γίνεται για να δημιουργηθεί λόγω του βάρους τους μία αντίθετη ροπή που θα βοηθήσει το σκάφος να ταξιδεύσει με μικρότερη κλίση. Το πλεονέκτημα τότε είναι ότι το σκάφος θα πλέει πίο κοντά στην ίσαλο σχεδίασης του, όπου και τα ναυπηγικά χαρακτηριστικά του σκάφους είναι καλύτερα.



Φωτ. 10.1 Ιστιοπλοϊκό σκάφος υπό κλίση

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ

1. Ποια είναι η έννοια της ροπής;
2. Ποιες είναι οι δυνάμεις που επιδρούν στο πλοίο;
3. Ποια η επίδραση των ροπών πάνω στο πλοίο;
4. Τι είναι η ίσαλος γραμμή και σε ποιες κατηγορίες διακρίνεται;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Προσπάθησε να επαναλάβεις το πείραμα της ράβδου με σημείο στήριξης και βάρη.
2. Σε επίσκεψη στο λιμάνι, προσπάθησε να προσδιορίσεις την ίσαλο γραμμή κάποιου πλοίου.

11. ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ

11.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κάθε στερεό σώμα, μικρό ή μεγάλο, αποτελείται από μεγάλο αριθμό τμημάτων ύλης. Το κάθε ένα από αυτά έλκεται από την γή με δύναμη ίση με το βάρος του, η συνισταμένη δε όλων αυτών των δυνάμεων είναι το βάρος του σώματος.

Είναι γνωστό σε όλους, από τα καθημερινά παραδείγματα, πόσο σημαντικό είναι βάρος κάθε στερεού σώματος, καθώς και η επίδραση των τυχόν μεταβολών του.

Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να εξετάσουμε τα ιδιαίτερα προβλήματα που έχουν σχέση με το βάρος ενός πλοίου που επιπλέει στην θάλασσα.

Όροι που πρέπει να μάθετε

- κέντρο βάρους κατά το εγκάρσιο
- κέντρο βάρους κατά το διάμηκες
- συνολική ροπή
- θετικές - αρνητικές ροπές

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- Γιατί πρέπει να μπορούμε να προσδιορίζουμε το κέντρο βάρους του πλοίου;
- Ποια η σημασία του G στην ευστάθεια του πλοίου;
- Τι συμβαίνει όταν μετακινηθεί κάποιο βάρος κατά τον εγκάρσιο ή διαμήκη άξονα;

11.2 ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ

Όπως είναι γνωστό, **κέντρο βάρους** ενός σώματος θεωρείται το σημείο, στο οποίο η δύναμη του βάρους του σώματος ενεργεί κάθετα προς τα κάτω. Έτσι, λοιπόν, για το πλοίο, ως κέντρο βάρους G (center of gravity) θεωρείται το σημείο, στο οποίο ενεργεί κάθετα προς τα κάτω η συνισταμένη όλων των επιμέρους βαρών του πλοίου. Η θέση του G, ενδιαφέρει άμεσα την ασφάλεια του πλοίου, γιατί συνδέεται απευθείας με την ευστάθειά του.

Ο προσδιορισμός της θέσης του κέντρου βάρους G αποτελεί βασικό στοιχείο για την ασφάλεια του πλοίου. Παίρνοντας, λοιπόν, ως δεδομένο ότι το πλοίο δεν παρουσιάζει εγκάρσια κλίση, τότε το G βρίσκεται πάνω στο διαμήκη άξονα. Αυτό, λοιπόν, που απομένει είναι να προσδιοριστεί η κάθετη απόσταση του G από την τρόπιδα (keel), δηλαδή το **KG ή το VCG (vertical center of gravity)** στις διάφορες καταστάσεις φόρτου του πλοίου καθώς και η οριζόντια, διαμήκης απόσταση του G από την πρυμναία κάθετο, δηλαδή το **διαμήκες κέντρο βάρους LCG (longitudinal center of gravity)**. Αν πάρουμε τη ροπή όλων των βαρών πάνω στο πλοίο ως προς οποιονδήποτε άξονα, αυτή θα είναι ίση με το συνολικό βάρος του πλοίου (εκτόπισμα) επί την απόσταση του κ.β. από τον άξονα. Επομένως, για να υπολογιστούν, το KG και το LCG ενός πλοίου ως προς κάποιον άξονα, πρέπει να υπολογιστεί η συνολική ροπή όλων των βαρών ως προς τον άξονα αυτόν. Στην περίπτωση δηλ. του KG, πρέπει να υπολογιστεί η ροπή που έχει το συνολικό βάρος του πλοίου (W, έμφορτο εκτόπισμα) ως προς την τρόπιδα (K), που λαμβάνεται ως άξονας αναφοράς (KG). Στην περίπτωση του LCG, η ροπή που δημιουργείται από τα συνολικά βάρη (W) ως προς την πρυμναία κάθετο, που λαμβάνεται ως άξονας αναφοράς (LCG).

Το συνολικό βάρος του πλοίου όπως και το KG και LCG, τα γνωρίζουμε από τα υδροστατικά διαγράμματα του πλοίου. Το σημείο της θέσης G για το άφορτο πλοίο (light ship) μας δίνεται και αυτό από τις υδροστατικές καμπύλες του πλοίου.

Το σημείο εφαρμογής του G για κάθε αποθηκευτικό χώρο του πλοίου το γνωρίζουμε από τους πίνακες χωρητικότητας (capacity tables) των κυτών του πλοίου. Τα βάρη που τοποθετούνται στο πλοίο μπορούμε να τα υπολογίσουμε βρίσκοντας το cargo (ω-

φέλιμο φορτίο) και κάνοντας κατανομή στα αμπάρια (με τον τρόπο που θα μάθουμε αργότερα). Το ίδιο και τις ποσότητες καυσίμων και νερού, που θα τοποθετήσουμε στις δεξαμενές καυσίμων και νερού, αντίστοιχα.

Η συνολική ροπή (total moment) του βάρους ενός πλοίου ως προς την τρόπιδα, αποτελεί το άθροισμα των ροπών των επιμέρους βαρών.

Εφ' όσον, λοιπόν, όπως αναφέραμε παραπάνω, είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε τα βάρη που τοποθετούνται στο πλοίο και την απόσταση του G του κάθε χώρου χωριστά από την τρόπιδα K μπορούμε να υπολογίσουμε όλες τις ροπές των επιμέρους βαρών, και προσθέτοντας να υπολογίσουμε τη συνολική ροπή (total moment).

Παράδειγμα 1

Ένα πλοίο έχει light ship=5.000t με KG=6m.

Φορτώνονται στα υποφράγματα (twin decks) των κυτών φορτία 500t των οποίων το κέντρο βάρους G απέχει από την τρόπιδα 5m, στο κατάστρωμα (deck cargo) 300t με το G να απέχει από την τρόπιδα 8m και καύσιμα 400t στα διπύθμενα (double bottoms) με το G να απέχει από την τρόπιδα 1m.

Να βρεθεί η τελική απόσταση του G από την τρόπιδα (KG) (Πίνακας 1).

Λύση:

ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΠΙΝΑΚΑ 1

ΧΩΡΟΣ	ΒΑΡΟΣ	ΡΟΠΗ	
ITEMS	WEIGHT	KG	
		MOMENT (WxKG)	
Light ship	5000t	6m	30.000 tonmeters
Twin decks	500t	5m	2.500 tonmeters
Deck cargo	300t	8m	2.400 tonmeters
Double bottom	400t	1m	400 tonmeters
TOTAL	6.200 t	-	35.300 tonmeters

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

$$KG(\tau \text{ ελ}) = \frac{\text{ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΡΟΠΩΝ (TOTAL MOMENT)}}{\text{ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ (DISPLACEMENT)}}$$

$$KG = \frac{35.300}{6.200} = 5,69 \text{ m.}$$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1:

Αν οι διαστάσεις του πλοίου δίνονται σε μέτρα, τότε η μονάδα της ροπής είναι σε τονόμετρα (ton-metres). Αν δίνονται σε πόδια, τότε η μονάδα είναι οι τονόποδες (tonesfeet).

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2:

Το άφορτο πλοίο (light ship) και βάρη που φορτώνονται στο πλοίο είναι θετικές ποσότητες. Βάρη που εκφορτώνονται καθώς και καύσιμα που καταναλώνονται είναι αρνητικές ποσότητες. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει στον πίνακα να γίνουν, στη θέση βαρών και ροπών, δύο στήλες, για τα θετικά και αρνητικά βάρη και ροπές, αντίστοιχα.

Παράδειγμα 2

Ένα πλοίο αποπλέει από τον Πειραιά με εκτόπιση (displacement) 15.000t και KG=19ft. Το πλοίο καταπλέει στη Ν. Ορλεάνη μετά από 17 ημέρες και καταναλώνει καύσιμα 60t ημερησίως από KG=4ft. Στην Ν. Ορλεάνη ξεφορτώνει 500t από το κατάστρωμα (deck cargo) και KG=30ft. Επίσης, φορτώνει στο κατάστρωμα (deck cargo) 300t και KG=32ft, στο υπόφραγμα (twin deck) φορτώνει 1.000t και KG=20ft και στα αμπάρια 2.000t και KG=10ft. Να βρεθεί το τελικό KG (απόπλου) από την Ν. Ορλεάνη (Πίνακας 2).

Λύση:

ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΠΙΝΑΚΑ 2

ITEMS	WEIGHTS		KG	MOMENTS	
	+	-		+	-
DISPLACEMENT	15.000t	----	19ft	285.000tft	----
BUNKERS (17X60)	----	1.020t	4ft	----	4.080tft
DECK CARGO (1)	----	500t	30ft	----	15.000tft
DECK CARGO (2)	300t	----	32ft	9.600tft	----
TWIN DECKS	1.000t	----	20ft	20.000tft	----
HOLDS	2.000t	----	10ft	20.000tft	----
	18.300t	1.520t		334.600tft	19.080tft
TOTALS	16.780t			315.520tft	
			18,80		

$$KG(\text{τελ}) = \frac{315.520}{16.780} = 18,80\text{ft (feet, πόδια)}$$

Παράδειγμα 3ο:

Ένα πλοίο φόρτωσε από τη Rouen (Γαλλία) καλαμπόκι για το Abitzan (Ivory Coast) σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Να βρεθεί το KG απόπλου (Πίνακας 3)

Λύση:

ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΠΙΝΑΚΑ 3

ITEMS	WEIGHTS	KG	MOMENTS
Light ship	9.000t	9,75m	87.750tft
Constants	100t	12,20m	1.220tft
Double bottom	200t	3,00m	600tft
F.O. Tank	450t	4,60m	2.070tft
D.O. Tank	300t	4,60m	1.380tft
F.W. Tank P	100t	10,66m	1.066 tft
F.W. Tank S	50t	6,00m	300 tft
No1 hold	8.000t	6,10m	48.800 tft
No2 hold	10.000t	4,60m	46.000 tft
No3 hold	3.000t	4,90m	14.700 tft
No4 hold	9.000t	4,26m	38.340 tft
No5 hold	10.500t	4,60m	48.300 tft
No6 hold	4.000t	4,90m	19.600 tft
TOTAL	54.700t		310.126 tft
		5,67	

$$KG = \frac{\text{TOTAL MOMENTS}}{\text{TOTAL WEIGHT}} = \frac{310.126}{54.700} = 5,67\text{m}$$

Παράδειγμα 4ο:

Ένα πλοίο έχει light ship=5000t, με LCG=85m από την πρυμναία κάθετο. Φορτώνονται:

α) 200t νερό στην προωαία δεξαμενή έρματος (fore peak tk) με LCG=180m

- β) 1500t φορτίου στο κύτος (hold) No2 με LCG=150m
 γ) 2500t φορτίου στο κύτος (hold) No4 με LCG=70m
 δ) 300t φορτίου στο κύτος (hold) No5 με LCG=30m

Να προσδιορισθεί το τελικό LCG από την προυναιία κάθετο. (Πίνακας 4)

Λύση:

ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΠΙΝΑΚΑ 4

ITEMS	WEIGHT	LCG	MOMENT
Light ship	5.000t	85m	425.000 tft
Fore peak	200t	180m	36.000 tft
Hold No2	1.500t	150m	225.000 tft
Hold No4	2.500t	70m	175.000 tft
Hold No5	300t	30m	9.000 tft
TOTAL	9.500t	91,57m	870.000 tft

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$LCG(\text{τελ}) = \frac{\text{TOTAL MOMENTS}}{\text{DISPLACEMENT}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow LCG(\text{τελ}) = \frac{870.000}{9.500} = 91,57\text{m}$$

Άρα, το κέντρο βάρους κατά το διάμηκες απέχει από την κάθετο 91,57m.

Γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τη θέση του KG.

- α) Αν τα κέντρα βάρους των διαφόρων φορτίων που παραλαμβάνει το πλοίο έχουν μικρότερο KG από το KG του άφορτου πλοίου, τότε το τελικό KG του έμφορτου πλοίου θα είναι μικρότερο, δηλαδή το κέντρο βάρους θα κατέρχεται χαμηλότερα προς την τρόπιδα.
 Αντίθετα, όταν το KG των φορτίων είναι μεγαλύτερο από το KG του άφορτου πλοίου, τότε το τελικό KG θα είναι μεγαλύτερο, δηλαδή το τελικό κέντρο βάρους θα ανέλθει ψηλότερα από την τρόπιδα.

- β) Το KG του άφορτου πλοίου δίνεται από τα στοι-

χεία του πλοίου. Εμπειρικά, όμως, μπορούμε να το υπολογίσουμε, ως περίπου τα 70% του πλευρικού ύψους του πλοίου.

- γ) Τα κέντρα βάρους των κυτών και των άλλων δεξαμενών του σκάφους δίνονται από τους πίνακες χωρητικότητας των κυτών και δεξαμενών του πλοίου (capacity plan), για κάθε χώρο ξεχωριστά. Από τους πίνακες αυτούς, ανάλογα με το ύψος είτε του φορτίου στο κύτος είτε του υγρού στη δεξαμενή, βρίσκουμε τα στοιχεία KG, LCG για το κέντρο βάρους του κάθε χώρου. (βλ. ως παράδειγμα τον πίνακα 11.1).

Σημείωση 1:

Και σε αυτή την περίπτωση, βάρη που φορτώνονται προκαλούν θετικές ροπές (+), ενώ βάρη που εκφορτώνονται προκαλούν αρνητικές (-).

Σημείωση 2:

Αν άξονας αναφοράς είναι η μέση του πλοίου ⊗ και όχι η ΠΜ κάθετος, τότε τα βάρη των οποίων το LCG βρίσκεται πρύμα από τη ⊗ θα δημιουργούν προυναιίες ροπές, ενώ βάρη των οποίων το LCG βρίσκεται προς πλώρα της ⊗, θα δημιουργούν πρωραίες ροπές.

Η τελική ροπή θα είναι η διαφορά ΠΡ και ΠΜ.

11.3 ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΩΣΗ Η΄ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ΒΑΡΩΝ.

Στο πλοίο προκύπτει πάρα πολύ συχνά η ανάγκη να μετακινηθούν βάρη, είτε για λόγους καθαρά ευκολίας στην φόρτωση - εκφόρτωση, είτε για να επιτύχουμε μια νέα κατάσταση του πλοίου σε σχέση με την αρχική.

Όταν, λοιπόν, γίνεται αυτή η μετακίνηση, είναι βέβαιο ότι θα αλλάξει και η θέση εφαρμογής του κέντρου βάρους G.

Για την εύρεση της νέας θέσης του G, χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$GG' = \frac{w \times d}{W}$$

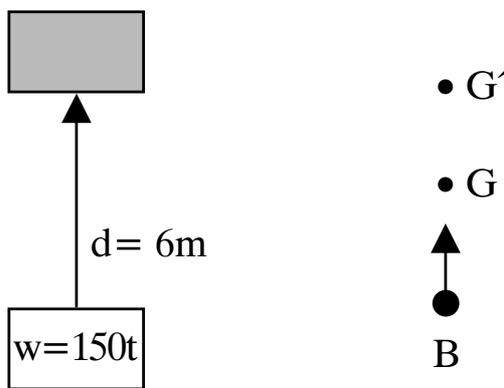
όπου G η αρχική θέση, G' η νέα θέση μετά την με-

τακίνηση, w το βάρος που μετακινείται, d η απόσταση στην οποία μετακινείται το βάρος και W το εκτόπισμα του πλοίου.

Οποιαδήποτε μετακίνηση βάρους στο πλοίο μπορεί να γίνει πάνω στον εγκάρσιο, το διαμήκη ή και τον κατακόρυφο άξονα.

α) Μετακίνηση κατά τον κατακόρυφο άξονα (σχ. 11α)

Ένα πλοίο έχει εκτόπισμα $W=5.000t$. Βάρος $w=150t$ μεταφέρεται από το αμπάρι στο καπάστρωμα, κατά $6m$ ψηλότερα. Να βρεθεί η μετακίνηση του G .



Σχήμα 11α

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W} = \frac{150 \times 6}{5.000} = \frac{900}{5.000} = 0,18m$$

Άρα, το G μετακινήθηκε ψηλότερα, στη θέση G' , κατά $0,18m$.

β) Μετακίνηση κατά τον εγκάρσιο άξονα (σχ. 11β)

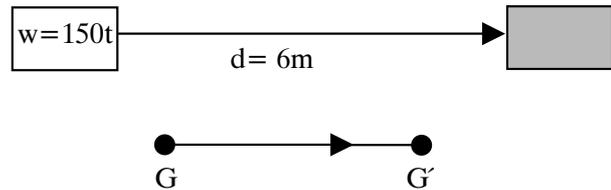
Σε πλοίο με εκτόπισμα $W=3.000t$ ένα βάρος $w=150t$ μετακινείται από την αριστερή πλευρά προς την δεξιά κατά $6m$. Να βρεθεί η μετακίνηση GG' του κέντρου βάρους.

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W} = \frac{150 \times 6}{3.000} = \frac{900}{3.000} = 0,3m$$

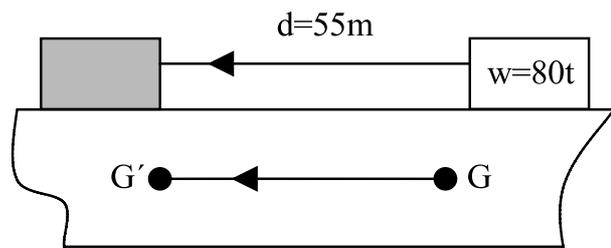
Άρα, το G μετακινήθηκε προς τα δεξιά, στη θέση G' κατά $0,3m$.



Σχήμα 11β

γ) Μετακίνηση κατά το διαμήκη άξονα (σχ. 11γ)

Σε πλοίο με εκτόπισμα $W=6.000t$ ένα βάρος $w=80t$ μετακινείται προς πρύμνη κατά $d=55m$. Να βρεθεί η μετακίνηση GG' του κέντρου βάρους.



Σχήμα 11γ

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W} = \frac{80 \times 55}{6.000} = \frac{4.400}{6.000} = 0,73m$$

δ) Φορτοεκφόρτωση βαρών

Για την εύρεση της νέας θέσης του G στην περίπτωση φορτοεκφόρτωσης βαρών, χρησιμοποιούμε τον ίδιο τύπο:

$$GG' = \frac{w \times d}{W}$$

μόνο που τώρα, όταν φορτώνουμε βάρη, μεγαλώνει το εκτόπισμα, δηλαδή γίνεται $W+w$, ενώ όταν αφαιρούμε γίνεται $W-w$. Η φορτοεκφόρτωση μπορεί να γίνει και κατά τους τρεις άξονες: κατακόρυφο, διαμήκη και εγκάρσιο.

δ.1) Φόρτωση κατά τον κατακόρυφο άξονα

Σε πλοίο με $W=5.000t$ ένα βάρος $w=200t$ φορτώνεται στο κατάστρωμα σε ύψος $4,5m$ πάνω από το κέντρο βάρους. Να υπολογιστεί η μετακίνηση GG' .

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W+w} = \frac{200 \times 4,5}{5.000+200} = \frac{900}{5.200} = 0,17m$$

Άρα, το G ανήλθε κατά $0,17m$.

δ.2) Εκφόρτωση κατά τον εγκάρσιο άξονα

Σε πλοίο με $W=4.000t$ ένα βάρος $w=150t$ εκφορτώνεται από την αριστερή πλευρά και από $d=4,5m$. Να υπολογιστεί η μετακίνηση GG' .

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W-w} = \frac{150 \times 4,5}{4.000-150} = \frac{675}{3.850} = 0,17m$$

Άρα, το G μετακινήθηκε προς τα δεξιά σε G' , κατά $0,17m$.

δ.3) Εκφόρτωση κατά το διαμήκη άξονα

Σε πλοίο με $W=5.000t$ ένα βάρος $w=300t$ φορτώνεται στο No1 Hold κατά απόσταση $46m$ από το κέντρο βάρους. Να βρεθεί το GG' .

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W+w} = \frac{300 \times 46}{5.000+300} = \frac{13.800}{5.300} = 2,60m$$

Άρα, το G μετακινήθηκε προς πλώρα στο G' κατά $2,60m$.

DIESEL OIL SERVICE TANK

ULLAGE (m)	DEPTH (m)	VOLUME (m4)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FREE SURFACE MOMENT (m4)
2.050	1.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.000	1.650	0.054	0.707	3.065	1.625	0.053
1.950	1.700	0.110	0.708	3.071	1.651	0.058
1.900	1.750	0.168	0.710	3.078	1.676	0.064
1.850	1.800	0.229	0.711	3.085	1.702	0.071
1.800	1.850	0.291	0.712	3.092	1.729	0.077
1.750	1.900	0.355	0.713	3.099	1.755	0.085
1.700	1.950	0.421	0.714	3.106	1.782	0.093
1.650	2.000	0.489	0.715	3.113	1.809	0.101
1.600	2.050	0.560	0.716	3.120	1.836	0.110
1.550	2.100	0.632	0.717	3.127	1.863	0.119
1.500	2.150	0.706	0.718	3.135	1.891	0.129
1.450	2.200	0.782	0.719	3.142	1.919	0.139
1.400	2.250	0.861	0.720	3.149	1.946	0.150
1.350	2.300	0.941	0.721	3.157	1.974	0.161
1.300	2.350	1.023	0.721	3.164	2.003	0.173
1.250	2.400	1.108	0.722	3.172	2.031	0.186
1.200	2.450	1.194	0.723	3.179	2.060	0.199
1.150	2.500	1.282	0.724	3.187	2.088	0.213
1.100	2.550	1.372	0.724	3.194	2.117	0.220
1.050	2.600	1.463	0.725	3.201	2.145	0.228
1.000	2.650	1.555	0.726	3.208	2.174	0.235
0.950	2.700	1.648	0.726	3.214	2.202	0.243
0.900	2.750	1.742	0.727	3.220	2.230	0.250
0.850	2.800	1.837	0.728	3.226	2.258	0.258
0.800	2.850	1.933	0.728	3.232	2.286	0.266
0.750	2.900	2.030	0.729	3.237	2.314	0.275
0.700	2.950	2.128	0.729	3.243	2.343	0.283
0.650	3.000	2.227	0.730	3.248	2.371	0.292
0.600	3.050	2.326	0.730	3.253	2.399	0.301
0.550	3.100	2.427	0.731	3.258	2.427	0.310
0.500	3.150	2.529	0.731	3.263	2.455	0.319
0.450	3.200	2.632	0.732	3.268	2.483	0.328
0.400	3.250	2.736	0.732	3.272	2.511	0.338
0.350	3.300	2.841	0.733	3.277	2.540	0.348
0.300	3.350	2.947	0.733	3.282	2.568	0.358
0.250	3.400	3.054	0.734	3.286	2.596	0.368
0.200	3.450	3.162	0.734	3.291	2.624	0.378
0.150	3.500	3.271	0.735	3.295	2.653	0.389
0.100	3.550	3.381	0.735	3.300	2.681	0.400
0.050	3.600	3.492	0.736	3.304	2.710	0.411
0.000	3.650	3.604	0.736	3.309	2.738	0.000

Πίνακας 11.1 Χωρητικότητα δεξαμενής πετρελαίου

Ερωτήσεις επανάληψης

1. Τι είναι το κέντρο βάρους ενός πλοίου. Ποιο το σημείο εφαρμογής του πάνω στο πλοίο;
2. Ποια η σημασία του κέντρου βάρους για την ευστάθεια του πλοίου;
3. Τι συμβαίνει με το G , όταν φορτοεκφορτώνονται βάρη πάνω στο πλοίο;

Δραστηριότητες

1. Ένα πλοίο έχει εκτόπισμα $W=35.000t$ και φορτώνει στο κατάστρωμα βάρος $500t$ και σε ύψος $5m$ από το κέντρο βάρους. Να βρεθεί η GG' .
2. Σε επίσκεψη στο λιμάνι, προσπαθήστε να δείτε τι συμβαίνει στο πλοίο, όταν φορτοεκφορτώνονται ποσότητες βαρών.
3. Να βρείτε την θέση του κέντρου βάρους της δεξαμενής πετρελαίου του πίνακα 11.1 για ullage $1,8$ και $0,5 m$. Τι σημαίνει ullage $2,050$ και $0 m$;

12 ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ

12.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ερώτημα γιατί αντικείμενα βαρύτερα από το νερό μπορούν να επιπλέουν σ' αυτό έχει ήδη απαντηθεί από αρχαιοτάτων χρόνων. Από τότε έχουν επίσης απαντηθεί και όλα τα σχετικά με τους υπολογισμούς της φόρτωσης ερωτήματα που απασχολούν τους πλοιάρχους των πλοίων. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε γιατί επιπλέουν τα πλοία, τι συμβαίνει κατά τη φόρτωση του πλοίου και ποιά είναι τα βάρη που μπορεί να τοποθετηθούν σε αυτό. Επίσης δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι ουσιαστικά το πλοίο μοιάζει από πλευράς αντοχής με μία δοκό ή ένα χάρακα, που αν φορτωθεί υπερβολικά στην μέση ή στα άκρα θα κυρτωθεί ανάλογα με κίνδυνο να σπάσει.

Όροι που πρέπει να μάθετε

- εκτόπισμα άφορτο, έμφορτο
- άντωση, μόνιμο βάρος
- πρόσθετο ή νεκρό βάρος
- αναγκαία ταξιδιού, ωφέλιμο φορτίο
- dead weight scale
- βύθισμα
- καμπύλωση (Sagging)
- κύρτωση (Hogging)
- πυκνόμετρο
- ανοχή γλυκού νερού

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- Τι συμβαίνει όταν ένα πλοίο πέφτει στο νερό;
- Πώς υπολογίζουμε το ωφέλιμο φορτίο σε ένα πλοίο;
- Τι μέγεθος είναι το βύθισμα;
- Πώς υπολογίζουμε την αλλαγή βυθίσματος με την φορτοεκφόρτωση βαρών;
- Τι πρόβλημα δημιουργεί στο πλοίο το sagging ή το hogging;
- Πώς μετράμε την πυκνότητα του νερού;

12.2 ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ

Σύμφωνα με την αρχή του Αρχιμήδη, είναι γνωστό ότι:

- α) κάθε σώμα εμβαπτιζόμενο μέσα στο νερό χάνει από το βάρος του τόσο, όσο και το βάρος του εκτοπιζόμενου νερού.
- β) κάθε σώμα εμβαπτιζόμενο μέσα στο νερό υφίσταται μια άντωση από κάτω προς τα επάνω, που είναι ίση με το βάρος του νερού που εκτοπίζει αυτό το σώμα.

Η πρώτη από τις δύο διατυπώσεις μας δείχνει ότι το βάρος του πλοίου (σώμα που εμβαπτιζείται) ισούται με το βάρος του εκτοπιζόμενου (από το πλοίο) νερού. Άρα, λοιπόν, το **εκτόπισμα** του πλοίου (displacement) ισούται με το συνολικό βάρος του πλοίου.

(1) ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ = ΒΑΡΟΣ ΠΛΟΙΟΥ (DISPLACEMENT = WEIGHT)

Η δεύτερη διατύπωση μας δείχνει ότι η δύναμη που υφίσταται το πλοίο από κάτω προς τα πάνω, δηλαδή η **άντωση** (buoyancy) είναι ίση με το βάρος του πλοίου. Δηλαδή:

(2) ΑΝΤΩΣΗ = ΒΑΡΟΣ (BUOYANCY = WEIGHT)

Αν, λοιπόν, συνδυαστούν οι σχέσεις (1) και (2) προκύπτει η σχέση (3).

(3) ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ = ΑΝΤΩΣΗ = ΒΑΡΟΣ ΠΛΟΙΟΥ

Τα μεγέθη εκτόπισμα (displacement) και βάρος (weight) εκφράζονται σε τόννους, είτε μετρικούς (metric tonnes = 1.000 kgr), όταν οι διαστάσεις του πλοίου δίνονται σε μέτρα, είτε σε αγγλικούς τόνους (long tons = 1.016 kgr), όταν οι διαστάσεις δίνονται σε πόδια (feet).

Το εκτόπισμα διακρίνεται σε **έμφορτο** και **άφορτο**, ανάλογα με την κατάσταση φόρτου του πλοίου. Αυτό σημαίνει ότι ανάλογα με την κατάσταση φόρτου, το πλοίο έχει και ανάλογο βύθισμα, ώστε όταν είναι έμφορτο να παρουσιάζει μεγαλύτερο βύθισμα (περισσότερο βυθισμένο στο νερό) και, όταν είναι άφορτο, μικρότερο βύθισμα (λιγότερο βυθισμένο μέ-

σα στο νερό). Αυτό έχει ως συνέπεια, το πλοίο στην έμφορτη κατάσταση να εκτοπίζει περισσότερο νερό από ό,τι στην άφορτη κατάσταση. Άρα, το εκτόπισμα ενός πλοίου μεταβάλλεται ανάλογα με το βύθισμά του κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να ισχύει πάντοτε η σχέση (3) δηλ. εκτόπισμα = άντωση = βάρος πλοίου (displacement = weight = buoyancy).

Εφ' όσον, λοιπόν, το βύθισμα μεταβάλλεται ανάλογα με το φορτίο του πλοίου, από ένα μέγιστο βύθισμα στην έμφορτη κατάσταση μέχρι ένα ελάχιστο στην άφορτη κατάσταση, συνεπάγεται ότι και το εκτόπισμα θα μεταβάλλεται μεταξύ μιας μέγιστης τιμής, που αντιπροσωπεύει το έμφορτο εκτόπισμα (loaded displacement) και μιας ελάχιστης τιμής, που αντιπροσωπεύει το άφορτο εκτόπισμα (light displacement).

Εκτόπισμα, όμως, είναι το βάρος του εκτοπιζόμενου νερού, άρα σύμφωνα με τη σχέση (1), εκτόπισμα είναι το βάρος του πλοίου, δηλαδή το βάρος κατασκευής του πλοίου, καθώς και τα επιρόσθετα πάνω σε αυτή βάρη. Ουσιαστικοί λόγοι, λοιπόν, κυρίως οικονομικής εκμετάλλευσης του πλοίου, επιβάλλουν το διαχωρισμό του συνολικού βάρους του σκάφους (total weight) σε βάρη δύο κατηγοριών:

1. μόνιμο ή ιδιον βάρος πλοίου (light weight ή light ship ή light vessel).
2. πρόσθετο ή νεκρόν βάρος πλοίου (dead weight).

Μόνιμο βάρος πλοίου (light ship)

Αποτελείται από τα παρακάτω επιμέρους βάρη:

- α) **βάρος κατασκευής σκάφους** (σκελετός, καταστρώματα, χωρίσματα, μπουλμέδες, κλπ).
- β) **βάρος εξαρτισμού** (άγκυρες, αλυσίδες αγκύρων, εργάτες αγκύρας, μέσα φορτοεκφόρτωσης, κλπ).
- γ) **βάρος επιπλώσεως χώρων επιβατών και πληρώματος, βάρος μόνιμου στερεού έρματος** κλπ.

Τα βάρη αυτά, κατά τη ναυπήγηση του πλοίου, ζυγίζονται πριν την τοποθέτησή τους στο πλοίο και υπολογίζονται επακριβώς από το ναυπηγό που σχεδιάζει το σκάφος, ώστε να είναι γνωστό εκ των προτέρων το συνολικό μόνιμο βάρος του πλοίου.

Τα παραπάνω βάρη θεωρείται ότι συμβάλλουν στην

ετοιμότητα του σκάφους και στην εκπλήρωση του προορισμού του. Είναι κατά κάποιο τρόπο στερεά και μόνιμα συνδεδεμένα με το σκάφος και αποτελούν το *αξιόμαχο τμήμα* του πλοίου, δηλαδή το τμήμα που "μάχεται" για να κινηθεί το πλοίο και να φέρει σε πέρας την αποστολή του.

Το **μόνιμο βάρος** (light ship) αντιστοιχεί στην άφορτη κατάσταση του πλοίου, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\text{ΑΦΟΡΤΟ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ} = \text{ΜΟΝΙΜΟ ΒΑΡΟΣ} \\ (\text{LIGHT DISPLACEMENT} = \text{LIGHT SHIP})$$

Πρόσθετο ή νεκρό βάρος πλοίου (dead weight)

Αυτό αποτελείται από το σύνολο των επιμέρους μεταβλητών βαρών που μπορεί να φορτώσει ένα τελείως κενό πλοίο. Ο όρος **νεκρό βάρος** είναι πιστή μετάφραση του αγγλικού όρου dead weight και εννοεί τα βάρη τα οποία δεν συμβάλλουν στο αξιόμαχο του πλοίου (όπως προηγουμένως αναφέραμε για το μόνιμο βάρος), αλλά αποτελούν "άχρηστο και περιττό" βάρος, που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναγκαίο στοιχείο της λειτουργίας του σκάφους. Όπως θα δούμε και παρακάτω, αυτά τα επιμέρους βάρη είναι ουσιαστικά εκείνα στα οποία θα στηριχθεί σχεδόν αποκλειστικά η οικονομική εκμετάλλευση του πλοίου.

Είναι βάρη μεταβλητά, σε αντίθεση με το μόνιμο βάρος, και μεταβάλλονται ανά πάσα στιγμή, ανάλογα με τη χρήση του πλοίου.

Αυτά τα επιμέρους βάρη είναι:

1. **βάρος καυσίμων** (bunkers) και **λιπαντικών**
2. **βάρος υλικών συντήρησης** (paints, spares, κλπ)
3. **βάρος ωφέλιμου φορτίου**, που για τα φορτηγά πλοία είναι το βάρος κάθε φορτίου που φορτώνεται για να μεταφερθεί, για δε τα επιβατηγά το βάρος των επιβατών και των οχημάτων που θα φορτωθούν
4. **βάρος πόσιμο νερού**

Αν, λοιπόν, στο άφορτο εκτόπισμα του πλοίου προσθέσουμε το νεκρό βάρος, θα έχουμε το έμφορτο ε-

κτόπισμα, δηλαδή το έμφορτο (συνολικό) βάρος του πλοίου σύμφωνα με τη σχέση:

$$\text{ΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ} = \text{ΜΟΝΙΜΟ ΒΑΡΟΣ} + \text{ΝΕΚΡΟ ΒΑΡΟΣ} =$$

$$\text{ΕΜΦΟΡΤΟ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ}$$

$$(\text{TOTAL WEIGHT} = \text{LIGHT SHIP} + \text{DEAD WEIGHT} =$$

$$\text{LOADED DISPLACEMENT})$$

Άρα:

$$\text{ΕΜΦΟΡΤΟ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ} =$$

$$\text{ΑΦΟΡΤΟ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ} + \text{ΝΕΚΡΟ ΒΑΡΟΣ} \text{ ή}$$

$$(\text{LOADED DISPLACEMENT} =$$

$$\text{LIGHT DISPLACEMENT} + \text{DEAD WEIGHT})$$

$$\text{ΝΕΚΡΟ ΒΑΡΟΣ} =$$

$$\text{ΕΜΦΟΡΤΟ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ} - \text{ΑΦΟΡΤΟ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ}$$

$$(\text{DEAD WEIGHT} =$$

$$\text{LOADED DISPLACEMENT} - \text{LIGHT DISPLACEMENT})$$

Το **νεκρό βάρος DW** είναι, συμπερασματικά, το βάρος που απαιτείται για να βυθιστεί το πλοίο από την άφορτη ίσαλο στην έμφορτη ίσαλο. Το εκτόπισμα είναι βασικό στοιχείο του πλοίου και περιλαμβάνεται **στην κλίμακα νεκρού βάρους και εκτοπίσματος** του πλοίου, όπου για κάθε βύθισμα του πλοίου έχουμε τόσο το συνολικό εκτόπισμα όσο και το νεκρό βάρος του. (**deadweight scale**) (βλ. ως παράδειγμα τον πίνακα 12.1)

Για κοινού τύπου φορτηγά πλοία, μπορεί να θεωρηθεί κατά προσέγγιση ότι το DW είναι τα 2/3 του εκτοπίσματος.

Ωφέλιμο φορτίο (cargo)

Το νεκρό βάρος του πλοίου έχει μεγάλη σημασία για τα φορτηγά, κυρίως, πλοία, επειδή περιέχει τα περιθώρια εκμετάλλευσης του πλοίου, εφ' όσον με βάση το DW μπορούμε να βρούμε τη μεταφορική ικανότητα του πλοίου σε τόνους φορτίου, για το συγκεκριμένο ταξίδι, πράγμα που ενδιαφέρει άμεσα τον πλοιοκτήτη.

Άλλωστε, είναι γνωστό ότι αγορές, πωλήσεις, κατα-

σκευές και ναυλώσεις αναφέρονται βασικά σε τόνους DW.

Όμως, δεν είναι δυνατό όλο το DW να διατεθεί για το μεταφερόμενο φορτίο, γιατί πρέπει οπωσδήποτε να περιλαμβάνει και τα αναγκαία εφόδια για την εκτέλεση του συγκεκριμένου ταξιδιού.

Είναι, λοιπόν, φανερό ότι το διαθέσιμο για την μεταφορά φορτίου βάρος (το ωφέλιμο φορτίο) θα είναι πάντοτε μικρότερο του dead weight, κατά το ποσό των αναγκαίων υλικών και εφοδίων για την εκτέλεση του ταξιδιού, κατά τη σχέση:

ΩΦΕΛΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ = ΝΕΚΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΑΝΑΓΚΑΙΑ ΤΑΞΙΔΙΟΥ
(CARGO = DEAD WEIGHT - NECESSITIES)

Αναγκαία εφόδια ταξιδιού

Είναι τα παρακάτω:

1. Καύσιμα (bunkers) και λιπαντικά (lubricants).

Η κατανάλωση καυσίμων στα εμπορικά πλοία υπολογίζεται ανά 24ωρο. Για το λόγο αυτό, έγκαιρα, πριν τον απόπλου, πρέπει να είναι γνωστό το αμέσως επόμενο λιμάνι ανεφοδιασμού.

Έτσι, μετρώνται, σε ναυτικά μίλια, οι αποστάσεις μεταξύ λιμένων απόπλου και λιμένος ανεφοδιασμού ή κατάπλου του σκάφους και διαιρούνται με την ωριαία ταχύτητα του πλοίου. Η διαίρεση της απόστασης με την ωριαία ταχύτητα μας δίνει τις ώρες ταξιδιού. Αν οι ώρες διαιρεθούν με το 24, μας δίνουν τις ημέρες ταξιδιού. Άρα, μπορούμε, για συγκεκριμένες ημέρες ταξιδιού και γνωρίζοντας την ημερήσια κατανάλωση του πλοίου σε καύσιμα, να υπολογίσουμε την ολική ποσότητα καυσίμων για το συγκεκριμένο ταξίδι. Μπορούμε, επίσης, να πολλαπλασιάσουμε την ωριαία ταχύτητα επί 24 ώρες για να δούμε πόσα μίλια καλύπτει το σκάφος ημερησίως. Τότε, διαιρούμε τα μίλια της απόστασης μεταξύ των δύο λιμένων με την ημερήσια διανυόμενη απόσταση και, έτσι, βρίσκουμε κατευθείαν τις ημέρες ταξιδιού.

Παράδειγμα

1. Ημερήσια κατανάλωση
(daily consumption) = 25 t

2. Μέση ωριαία ταχύτητα (speed) = 15 knots

3. Ημερήσια διανυθείσα απόσταση (miles per day) = $(15 \times 24) = 360 \text{ miles}$

4. Απόσταση A-B σε μίλια (distance) = 3.600 miles

5. Μέρες ταξιδιού (days of voyage) = $(3.600:360) = 10 \text{ days}$

6. Απαραίτητα καύσιμα (bunkers) = $(10 \times 25) = 250 \text{ t}$

Κατά τον ίδιο τρόπο μπορούμε να υπολογίσουμε και το νερό που θα καταναλωθεί για τις ανάγκες του πλοίου αλλά και του πληρώματος κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Όπως, όμως, είναι γνωστό, οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν άμεσα και σημαντικά τη διάρκεια του ταξιδιού. Αν, λοιπόν, δεν έχουμε εφοδιαστεί με επιπλέον καύσιμα, είναι πολύ πιθανό, εφ' όσον επιμηκυνθεί η διάρκεια του ταξιδιού, λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών, να κινδυνεύσουμε να μείνουμε χωρίς καύσιμα, με δυσάρεστες συνέπειες για την ασφάλεια του πλοίου. Έτσι, είναι απαραίτητο να εφοδιαστούμε και με μια επιπλέον ποσότητα καυσίμων που ανέρχεται σε ορισμένο ποσοστό της προβλεπόμενης κατανάλωσης. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται, κυρίως, από την περιοχή του πλου και τις επικρατούσες σε αυτή καιρικές συνθήκες.

Στην πράξη τα ποσοστά ασφαλείας (safety margins) ανέρχονται στον Ατλαντικό περίπου στο 20% και στην Αφρική, Άπω Ανατολή στο 15%. Για μικρές αποστάσεις, το ποσοστό ασφαλείας δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το 10%.

2. Σταθερά βάρη του πλοίου (constants)

Σε αυτά τα βάρη περιλαμβάνεται το βάρος των μετακινουμένων αλλά μονίμως πάνω στο πλοίο ευρισκομένων υλικών, όπως: χρώματα, στουπιά και κουρέλια, σχοινιά, αμοιβά υλικά καταστρώματος και μηχανής, εργαλεία και όργανα εκτέλεσης διάφορων εργασιών, βιβλία, χάρτες, είδη ενδιαίτησης, κλπ). Τα βάρη αυτά θεωρούνται σταθερά και περιλαμβάνονται στη μελέτη ευσταθείας του πλοίου.

Το μέγεθος των σταθερών βαρών αλλάζει μόνο αν το πλοίο υποστεί μετασκευή, οπότε αλλάζουν και όλα τα χαρακτηριστικά του.

3. Αναλώσιμα, τρόφιμα και νερό που υπολογίζονται

σε περίπου 3kg τρόφιμα ημερησίως και 6kg νερό, για κάθε μέλος του πληρώματος.

Είναι, λοιπόν, φανερό ότι ο λεπτομερής υπολογισμός του ωφέλιμου φορτίου διαφέρει από ταξίδι σε ταξίδι, λόγω των μεταβλητών στοιχείων πράγμα που απαιτεί μεγάλη προσοχή από τον αρμόδιο αξιωματικό φόρτωσης.

Άσκηση λεπτομερούς υπολογισμού ωφέλιμου φορτίου

Ένα πλοίο έχει, σε πλήρη φόρτο, DW=10.000t και πρόκειται να αναλάβει ταξίδι απόστασης (distance) 4.500miles με ταχύτητα (speed) 15knots. Ημερήσια κατανάλωση καυσίμων (daily bunkers consumption) 25t, ημερήσια κατανάλωση νερού (daily fresh water consumption) 8t, σταθερά (constants) 80t, ποσοστό ασφαλείας (safety margin) 15%.

Να υπολογιστεί το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να φορτώσει.

Λύση:

Distance running daily = 15 x 24 = 360 miles D.R.D.

Days of voyage = 4.500 : 360 = 12,5 days o.v.

D.C. => Bunkers	= 25x12,5=
	312,5x15% = 359,37t
	F.W.= 8x12,5 = 100t
Constants	= 80t
TOTAL	= 539,37t

Cargo= DW-TOTAL (ΑΝΑΓΚΑΙΑ) =
10.000 - 539,37 = 9.460,63t

Σημείωση 1:

Το DW μπορούμε να το βρούμε στην Dead weight scale που έχει κάθε πλοίο, εισερχόμενοι σε αυτήν με το μέσο βύθισμα (DM), όπως θα δούμε παρακάτω.

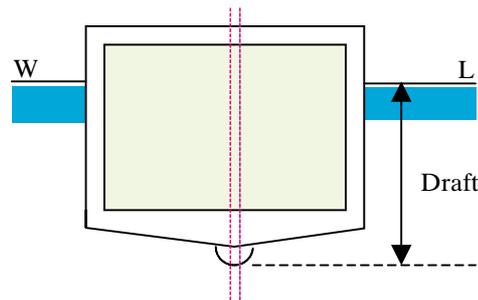
Σημείωση 2:

Αν το πλοίο έχει μηχανή αφαλάτωσης (Vaporeta), τότε και εφ' όσον χρησιμοποιείται, θα πρέπει να α-

φαιρεθεί η δυνατότητα παραγωγής του από την ημερήσια κατανάλωση πόσιμου νερού του πλοίου.

12.3 ΒΥΘΙΣΜΑ ΠΛΟΙΟΥ

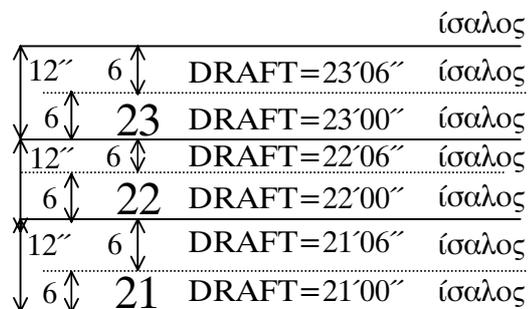
Βύθισμα πλοίου (Draft ή Draught), ονομάζεται η κάθετη απόσταση μεταξύ του εξωτερικού μέρους της τρόπιδας (Keel) και της ισάλου γραμμής (water line) του πλοίου.



Σχ. 12.1 Βύθισμα.

Το μετράμε σε πόδια (feet) ή μέτρα (m) από την τρόπιδα και προς την ίσαλο και αναγράφεται και στις δύο πλευρές του πλοίου με αραβικούς ή λατινικούς αριθμούς.

Γι' αυτό, αν το πλοίο έχει ελαφρά κλίση προς μια πλευρά, ως βύθισμα θα πρέπει να λαμβάνεται ο μέσος όρος των ενδείξεων και των δύο πλευρών. Στο Σχ. 12.2 φαίνεται συνήθης αναγραφή κλίμακας βυθίσματος σε πόδια, στην οποία το ύψος του αριθμού είναι 6 ίντσες και το κενό, από την κορυφή του αριθμού μέχρι την βάση του επόμενου, άλλες 6 ίντσες. Έχουμε δηλ. σύνολο 1ft από την βάση ενός αριθμού μέχρι την βάση του αμέσως επόμενου αριθμού.



Σχ. 12.2 Χάραξη βυθισμάτων

Το βύθισμα, ανάλογα με το σημείο του πλοίου στο οποίο είναι χαραγμένο, παίρνει τις παρακάτω ονομασίες:

α) **προωαίο βύθισμα** (ΠΡΒ, Draft Fore, DF). Είναι χαραγμένο στην πλώρη (στείρα) κατά τρόπο μόνιμο και ανεξίτηλο.

β) **πρυμναίο βύθισμα** (ΠΜΒ, Draft Aft, DA). Είναι χαραγμένο στην πρύμνη του πλοίου (ποδόστια).

γ) **βύθισμα μέσης** (BM⊗, Draft Middle, D⊗). Είναι χαραγμένο στη μέση του μήκους του πλοίου (σύμφωνα με την Δ.Σ. Γ.Φ./66). Το βύθισμα μέσης (D⊗) χρησιμοποιείται για έλεγχο πιθανής κάμψης του πλοίου στην τρόπιδα και για τον έλεγχο της ποσότητας του φορτίου που παραλαμβάνει το πλοίο σε συνδυασμό με το μέσο βύθισμα.

δ) **μέσο βύθισμα** (MB, Draft Mean, DM), που είναι το βύθισμα που προκύπτει από το ημίθροισμα των βυθισμάτων DF και DA, σύμφωνα με τη σχέση:

$$DM = \frac{DF+DA}{2}$$

$$(\text{Μέσο βύθισμα} = \frac{\text{προωαίο βύθισμα} + \text{πρυμναίο βύθισμα}}{2})$$

Το μέσο βύθισμα είναι το κλειδί με το οποίο εισερχόμαστε στην κλίμακα φορτώσεων (dead weight scale) του πλοίου, από όπου μπορούμε να βρούμε και άλλα στοιχεία, όπως το εκτόπισμα, το ωφέλιμο φορτίο, το TPC ή το TPI κλπ. (βλ. πίνακες DWS).

Το πλοίο, του οποίου τα DF, D⊗ και DA έχουν την ίδια τιμή, ονομάζεται **ισοβύθιστο (even keel)**. Το πλοίο, του οποίου το DF είναι μεγαλύτερο του DA, ονομάζεται **έμπρωρο (By head)** και το πλοίο, του οποίου το DA είναι μεγαλύτερο του DF, ονομάζεται **έμπρυστο (By stern)**. Αυτή η κατάσταση του πλοίου, δηλαδή το αν είναι ισοβύθιστο, έμπρυστο ή έμπρωρο, ονομάζεται **διαγωγή (trimming)** και ανάλογα διακρίνεται σε **μηδενική, προωαία και πρυμναία**.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΥΡΕΣΗΣ DM

α) Ένα πλοίο έχει DF=37'00" και DA=39'00". Ζητείται το DM.

ΛΥΣΗ:

ΤΥΠΟΣ:

$$DM = \frac{DF+DA}{2} = \frac{37'00" + 39'00"}{2} = 38'00"$$

β) Ένα πλοίο έχει DF=9,8m και DA=10,8m. Ζητείται το DM.

ΛΥΣΗ:

ΤΥΠΟΣ:

$$DM = \frac{DF + DA}{2} = \frac{9,8 + 10,8}{2} = 10,3 \text{ m}$$

12.4 ΤΟΝΟΙ ΑΝΑ ΕΚΑΤΟΣΤΟ ΚΑΙ ΙΝΤΣΑ ΒΥΘΙΣΜΑΤΟΣ TPC - TPI

Τόνοι ανά εκατοστό βυθίσματος (Tons per Centimeter, TPC) είναι ο αριθμός που μας δείχνει πόσοι τόνοι απαιτούνται να φορτοεκφορτωθούν, ώστε να μεταβληθεί το βύθισμα (draft) του πλοίου κατά 1 εκατοστό.

Τόνοι ανά ίντσα βυθίσματος (Tons per Inch, TPI) είναι ο αριθμός που μας δείχνει πόσοι τόνοι απαιτούνται να φορτοεκφορτωθούν στο πλοίο, ώστε να μεταβληθεί το βύθισμα (draft) κατά 1 ίντσα.

Παραδείγματα χρησιμοποίησης TPC - TPI

α) Ένα πλοίο, κατά τη διάρκεια φόρτωσης, έχει βύθισμα 8,40m. Το επιτρεπόμενο μέγιστο βύθισμα είναι 9,00m και το TPC=50t. Πόσοι τόνοι φορτίου μπορεί να φορτωθούν μέχρι το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα;

ΛΥΣΗ:

$$1) \text{ διαφορά draft} = 9,00 - 8,40 = 0,60\text{m} = 60\text{cm}$$

$$2) \text{ υπόλοιπο φορτίο} = 60\text{cm} \times 50 = 300\text{t}$$

Άρα, θα φορτωθούν 300t μέχρι το Μ.Ε.Β

β) Αν η ημερήσια κατανάλωση ενός πλοίου είναι 25t και οι ημέρες ταξιδιού 14, το TPI=50 και το

draft απόπλου = 28'00", ποιο θα είναι το draft κατάπλου;

ΛΥΣΗ:

- 1) Κατανάλωση = $25 \times 14 = 350\text{tons}$
- 2) Μείωση draft = $350 : 50 = 7''$ (ίντσες)

Άρα, draft κατάπλου = $28'00'' - 00'07'' = 27'05''$

Στην πράξη, αντιμετωπίζεται καθημερινά στο πλοίο η περίπτωση της φορτοεκφόρτωσης μικρών ποσοτήτων φορτίου. Αυτή η προσθαφαίρεση βαρών μεταβάλλει το συνολικό του βάρους, το εκτόπισμα και κατά συνέπεια και το βύθισμα του πλοίου.

Βέβαια, τις μεγάλες μεταβολές εκτοπίσματος, DW και DRAFT, μπορούμε να τις παρακολουθήσουμε εύκολα από το DWS, όταν είναι γνωστό ένα από τα παραπάνω στοιχεία.

Για μικροποσότητες, όμως, που προκαλούν αντίστοιχα μικρομεταβολές, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το DWS.

Με άλλα λόγια, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε πόσοι τόνοι χρειάζεται να φορτοεκφορτωθούν στο πλοίο για να μεταβληθεί το βύθισμά του κατά ένα εκατοστό, όταν οι διαστάσεις του πλοίου δίνονται σε μέτρα (TPC), ή κατά μία ίντσα (TPI), όταν δίνονται σε πόδια. Επειδή αυτό το στοιχείο χρησιμοποιείται ευρύτατα στην πράξη καθημερινά, περιλαμβάνεται και στη DWS, αλλά και στο υδροστατικό διάγραμμα του πλοίου.

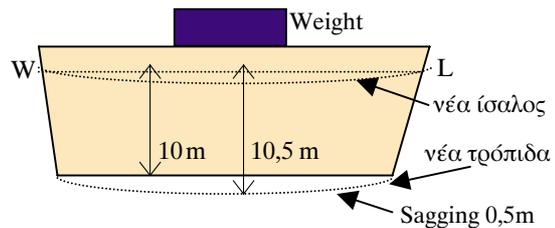
12.5 ΣΧΕΣΗ DM και D⊗, SAGGING - HOGGING.

Όπως ήδη αναφέραμε, το DM είναι λογιστικό μέγεθος και ισούται με το ημίθροισμα προωραίου και πρυμναίου βυθίσματος, ενώ το Βύθισμα Μέσης (D⊗) είναι χαραγμένο στα πλευρά του πλοίου και στην μέση του μήκους του. Αν στο πλοίο έχει εκτελεσθεί η φόρτωση κατά τον καλύτερο τρόπο, τότε η τιμή του DM δεν θα πρέπει να διαφέρει από την ένδειξη του βυθίσματος στη μέση του πλοίου. Πρέπει δηλαδή $DM = D⊗$. Αν όμως, παρ' ελπίδα, διαπιστωθεί ότι οι τιμές των δύο αυτών μεγεθών διαφέρουν, τότε είναι σίγουρο ότι το πλοίο, λόγω κακής φόρτωσης κυρίως, έχει υποστεί μια κάμψη, που μπορεί

να είναι είτε sagging (καμπύλωση) είτε hogging (κύρτωση).

Η ένδειξη δηλ. του βυθίσματος μέσης D⊗ είναι εκείνη που, συγκρινόμενη με την τιμή του λογιστικά υπολογιζόμενου DM, θα μας δείξει αν το πλοίο μας έχει υποστεί sagging ή hogging.

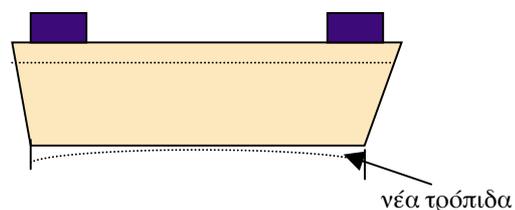
Καμπύλωση (Sagging)



Σχ. 12.3 Καμπύλωση (Sagging)

Είναι το φαινόμενο που παρατηρείται, συνήθως, κατά τη φόρτωση, όταν στο τμήμα της μέσης της τρόπιδας του πλοίου έχει φορτωθεί πολύ περισσότερο φορτίο, σε σχέση με τα άκρα του πλοίου (σχ.12.3). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τρόπιδα, και κατ' επέκταση ολόκληρη η κατασκευή στη μέση του πλοίου, να υποστεί μία καμπύλωση (κάθισμα), ώστε ο δίσκος ασφάλειας (plimsoll) και η κλίμακα Βυθίσματος Μέσης να βυθιστούν περισσότερο μέσα στο νερό. Τότε, παρατηρείται το φαινόμενο οι τιμές των DM και D⊗ να διαφέρουν, με την τιμή του D⊗ να είναι μεγαλύτερη.

Κύρτωση (Hogging)



Σχ. 12.4 Κύρτωση (Hogging)

Είναι το φαινόμενο που παρατηρείται, συνήθως, όταν, κατά τη φόρτωση τα άκρα της τρόπιδας έχουν φορτωθεί πολύ περισσότερο σε σχέση με την μέση του πλοίου.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τρόπιδα και η κατασκευή του πλοίου στην μέση να εμφανίσουν μια

κύρτωση (καμπούριασμα) με αποτέλεσμα να ανέρχεται ο δίσκος ασφαλείας και τα Βυθίσματα Μέσης. Τότε, οι τιμές του DM και D⊗ διαφέρουν, με την τιμή του D⊗ να είναι μικρότερη.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

α) SAGGING :

DF=18'00", DA=18'00" & D⊗=18'05". Να γίνει σύγκριση με το DM.

ΛΥΣΗ:

$$DM = \frac{DF+DA}{2} = \frac{18'00''+18'00''}{2} = 18'00''$$

D⊗ > DM κατά 5", άρα έχουμε sagging.

β) HOGGING :

DF = 10m, DA= 11m & D⊗= 10,3m.

Να γίνει σύγκριση με DM.

ΛΥΣΗ:

$$DM = \frac{DF+DA}{2} = \frac{10+11}{2} = 10,5m$$

D⊗ < DM, άρα έχουμε hogging 2cm.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ :

D⊗ > DM = SAGGING

D⊗ < DM = HOGGING

Εύρεση πραγματικού DM σε περίπτωση SAG ή HOG.

Όπως ήδη αναφέραμε, για να εισέλθουμε στην dead weight scale, χρειαζόμαστε το λογιστικό μέγεθος DM, ευρισκόμενο από το γνωστό τύπο.

$$DM = \frac{DF+DA}{2}$$

Εφ' όσον, όμως, το πλοίο μας έχει υποστεί sag ή hog, τότε η τιμή του DM, που θα προκύψει, δεν θα είναι η πραγματική.

Πρέπει, λοιπόν, να γίνει διόρθωση του λογιστικού, γιατί αν εισέλθουμε στο DWS χωρίς διόρθωση, θα προκύψουν προβλήματα στον υπολογισμό του ωφέ-

λιμου φορτίου (cargo). Βέβαια, στα περισσότερα πλοία, που μεταφέρουν είτε στερεά είτε υγρά φορτία και έχουν ενεργήσει μεγάλο αριθμό φορτώσεων, είναι γνωστός ο τρόπος που θα πρέπει να γίνει η κατανομή του φορτίου, ώστε να μη προκληθεί SAG ή HOG.

Η διόρθωση SAG ή HOG βρίσκεται με τον εμπειρικό τύπο :

$$\text{διόρθωση } \delta = (DM - D\otimes) \times \frac{4}{5}$$

Αυτή η δ, όταν έχουμε sagging θα προστεθεί στο λογιστικό DM και όταν έχουμε hogging θα αφαιρεθεί.

Δηλαδή:

$$\text{πραγματικό DM} = DM_{(\text{λογ})} + \delta \text{ (SAG)}$$

$$\text{πραγματικό DM} = DM_{(\text{λογ})} - \delta \text{ (HOG)}$$

Επίσης, το ακριβές DM μας δίδεται και από τον τύπο:

$$\text{πραγματικό DM} = \frac{DF+DA+6D\otimes}{8}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ SAGGING

Μετά από φόρτωση, μετρήσαμε στα πλευρά του πλοίου τα παρακάτω βυθίσματα:

F=38'06", DA= 38'10" & D⊗= 39'01".

Ποιο το πραγματικό DM του πλοίου;

ΛΥΣΗ:

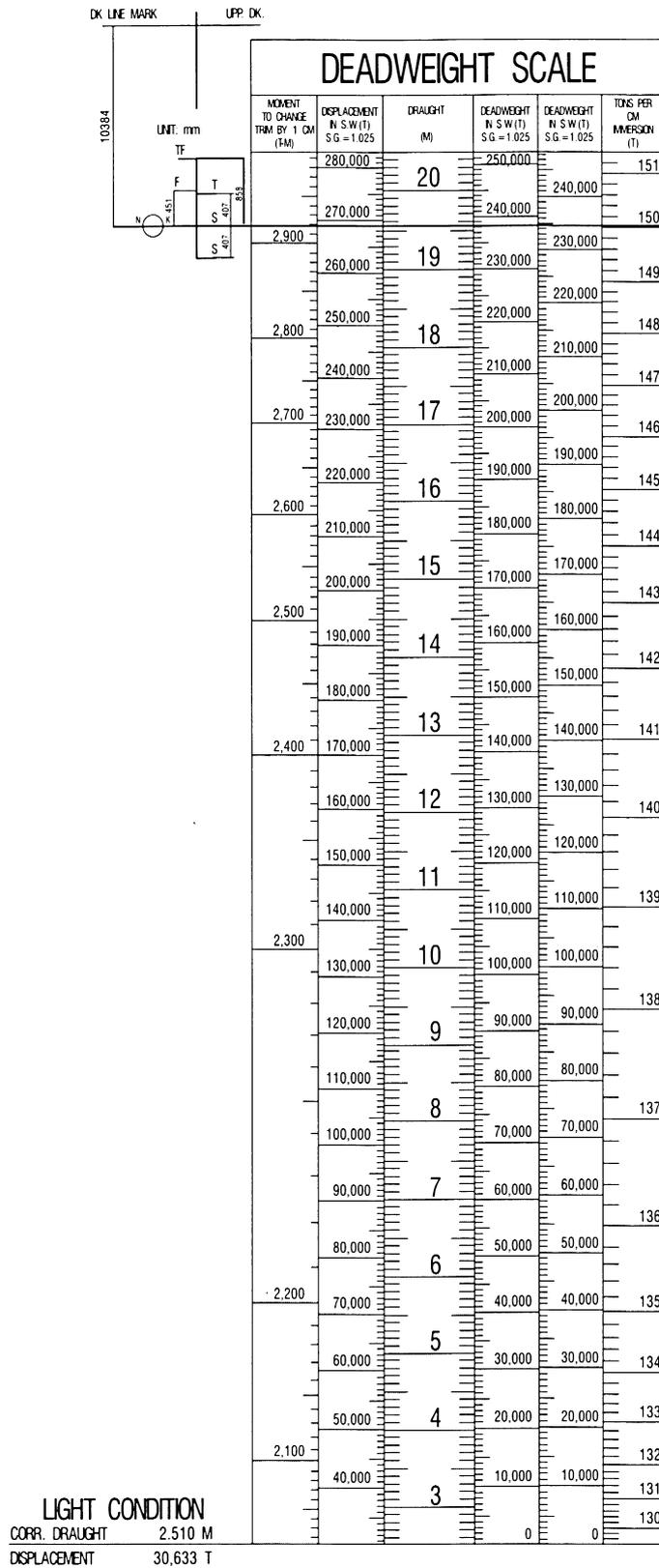
$$DM = \frac{DF+DA}{2} = \frac{38'06''+38'10''}{2} = 38'08''$$

D⊗ > DM άρα έχουμε SAGGING 5"

$$\begin{aligned} \delta &= (DM-D\otimes) \times \frac{4}{5} = (38'08'' - 39'01'') \times \frac{4}{5} = \\ &= 0'5'' \times \frac{4}{5} = \frac{20}{5} = 4'' \text{ άρα,} \end{aligned}$$

$$P\text{r}DM = DM + \delta = 38'08'' + 0'0'04'' = 38'12''$$

Με αυτό το διορθωμένο DM, θα εισέλθουμε στο DWS.



Πίνακας 12.1: Πίνακας εκτοπίσματος - νεκρού βάρους σε συνάρτηση με το βύθισμα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ HOGGING

Μετά από φόρτωση πλοίου μετρήσαμε τα παρακάτω βυθίσματα:

$DM=38'06''$, $DA=38'10''$ & $D\otimes=38'03''$. Ποιο το πραγματικό DM;

ΛΥΣΗ:

$$DM = \frac{DF+DA}{2} = \frac{38'06''+38'10''}{2} = 38'08''$$

$D\otimes < DM$, άρα έχουμε HOGGING

$$\begin{aligned} \delta &= (DM-D\otimes) \times \frac{4}{5} = (38'08'' - 38'03'') \times \frac{4}{5} = \\ &= 0'5'' \times \frac{4}{5} = \frac{20}{5} = 4'' \text{ άρα,} \end{aligned}$$

$$PrDM = DM_{(avg)} - \delta = 38'08'' - 00'04'' = 38'04''$$

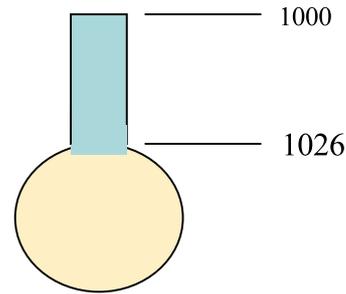
12.6 ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟ, ΣΑΛΙΝΟΜΕΤΡΟ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ

Όπως είναι γνωστό, το γλυκό νερό έχει πυκνότητα 1000 και το θαλασσινό 1026. Αυτή η διαφορά πυκνότητας προκαλεί, για το ίδιο εκτόπισμα, διαφορετικό βύθισμα, όταν το πλοίο πλέει από το γλυκό νερό (ποτάμια και λιμναία λιμάνια) σε θαλασσινό και αντίστροφα. Υπάρχει, όμως, και η περίπτωση το πλοίο να πλέει σε υφάλμυρο νερό (brackish water), συνήθως σε λιμάνια που βρίσκονται σε εκβολές ποταμών, του οποίου η πυκνότητα κυμαίνεται μεταξύ του 1000 και 1026. Τις περισσότερες φορές, η πυκνότητα του λιμανιού φόρτωσης ή εκφόρτωσης μας δίνεται από βιβλία που περιέχουν κάθε είδους πληροφορίες για το λιμάνι (Pilot books).

Μπορούμε, όμως, και μόνοι μας, στο πλοίο να υπολογίσουμε, αν χρειασθεί, την πυκνότητα του νερού με ένα όργανο που ονομάζεται **πυκνόμετρο**, πιο γνωστό ως **σαλινόμετρο** (salinometer).

Το σαλινόμετρο είναι ένα όργανο που φέρει μία κλίμακα 26 υποδιαίρεσεων δηλαδή από το 1026 (χαμηλότερο σημείο) μέχρι 1000 (υψηλότερο σημείο).

Η κατώτερη υποδιαίρεση 1026 αντιστοιχεί στο θαλασσινό νερό και η ανώτερη στο γλυκό (σχ. 12.5).



Σχ. 12.5 Σαλινόμετρο

Χρήση σαλινόμετρου

Για να βρούμε την πυκνότητα του νερού χρησιμοποιούμε το σαλινόμετρο ως εξής:

1. παίρνουμε από τη θάλασσα ποσότητα νερού μέσα σε ένα κάδο (μπουγιέλο). Χρειάζεται προσοχή ώστε το νερό του κάδου να μην είναι από την επιφάνεια της θάλασσας αλλά συνήθως από βάθος νερού που αντιστοιχεί στο μισό του βυθίσματος πλοίου.
2. Καθαρίζουμε εξωτερικά το πυκνόμετρο και το αφήνουμε να πλεύσει ελεύθερα μέσα στο νερό του κάδου.
3. Η γραμμή στην οποία η επιφάνεια του νερού τέμνει μια από τις ενδείξεις του πυκνόμετρου, όταν αυτό σταματήσει να ταλαντεύεται πάνω κάτω, είναι η ένδειξη της πυκνότητας του νερού.

12.7 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΘΑΛΑΣΣΑΣ - ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ

Η πυκνότητα της θάλασσας εξαρτάται βασικά από δύο παράγοντες: τη θερμοκρασία και την αλμυρότητα του νερού.

Η **Θερμοκρασία** του θαλασσινού νερού στην ανοικτή θάλασσα ποικίλει, από 31,6°C περίπου κοντά στον Ισημερινό μέχρι -2°C στις πολικές θάλασσες. Ως μέσος όρος της θερμοκρασίας των Ωκεανών μπορούν να ληφθούν οι 18,5°C.

Αλμυρότητα: ο όρος αλμυρότητα σημαίνει την περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε άλατα και εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις χιλίοις. Στην ανοικτή θάλασσα, η αλμυρότητα ποικίλει ανάλογα με τις

περιοχές και κυμαίνεται μεταξύ 32‰ στα ψηλά πλάτη, όπου η εξάτμιση είναι μικρότερη, και 37‰ στα τροπικά, όπου η εξάτμιση είναι μεγαλύτερη. Ως μέσος όρος της αλμυρότητας θεωρείται το 35‰.

Σε μερικές κλειστές και θερμές θάλασσες όπως η Ερυθρά και ο Περσικός, η αλμυρότητα είναι ακόμα μεγαλύτερη, δηλαδή περίπου 41‰ ανά m³.

Ανοχή γλυκού νερού - υφάλμυρου

Λόγω της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ γλυκού (fresh water) και θαλασσινού νερού (salt water), παρατηρείται το φαινόμενο ένα πλοίο με το ίδιο εκτόπισμα (total weight) να παρουσιάζει διαφορετικά βυθίσματα: μεγαλύτερο στο γλυκό νερό και μικρότερο στο θαλασσινό.

Παράδειγμα:

Για displacement = 15.000t έχουμε salt water draft = 30ft και fresh water draft = 31ft.

Αυτή ακριβώς η διαφορά βυθισμάτων ονομάζεται **ανοχή** (Allowance) γλυκού νερού, με την έννοια ότι είναι ανεκτό το θαλάσσιο βύθισμα να αυξηθεί κατά την διαφορά αυτή.

Αυτό ενδιαφέρει άμεσα την ασφάλεια και την οικονομική εκμετάλλευση του πλοίου, γιατί η επιτρεπόμενη γραμμική φόρτωση θάλασσας θα πρέπει να καλυφθεί τόσο, όταν φορτώνουμε σε γλυκό νερό, ώστε, όταν το πλοίο βρεθεί στο θαλασσινό νερό, η γάστρα να αναδυθεί μέχρι το σημείο που η ίσαλος θα φθάσει ακριβώς στην επιτρεπόμενη γραμμική φόρτωσης.

Γι' αυτούς τους σοβαρούς λόγους, η διαφορά αυτή των βυθισμάτων γλυκού και θαλασσινού νερού προβλέπεται από το Άρθρο 40 της τροποποιημένης Διεθνούς Σύμβασης Γραμμής Φόρτωσης (Δ.Σ.Γ.Φ.) του 1966, όπως περιγράφεται στο κεφ. 14, και υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$ANOXH = \frac{\text{ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ ΕΜΦΟΡΤΟ } (\Delta)}{40 \cdot \text{TPI ή } 4 \cdot \text{TPC}}$$

(FRESH WATER ALLOWANCE, FWA)

$$\text{FWA} = \frac{\text{LOADED DISPLACEMENT } (\Delta)}{40 \cdot \text{TPI ή } 4 \cdot \text{TPC}}$$

Παράδειγμα 1:

Ένα πλοίο έχει στην έμφορτη κατάσταση (γραμμική βάρους) DISP=15.000t και TPI=50t. Ποια είναι η FWA;

Λύση:

$$\text{FWA} = \frac{\Delta}{40 \cdot \text{TPI}} = \frac{15.000}{40 \cdot 50} = \frac{15.000}{2000} = 7,5 \text{ inches.}$$

Παράδειγμα 2:

Ένα πλοίο αποπλέει από το Houston (USA) με DM=28'00" για το Antwerps (Belgium), που βρίσκεται σε ποτάμι με γλυκό νερό. Αν η ημερήσια κατανάλωση του πλοίου είναι 40t και οι ημέρες ταξιδιού 15, TPI=50t, DISP=15.000t, να βρεθεί με ποιο βύθισμα το πλοίο θα καταπλεύσει στο Antwerps;

Λύση:

$$\text{Total consumption} = 40 \times 15 = 600t$$

$$\text{Ελάττωση draft λόγω κατανάλωσης} = 600t : 50 = 12 \text{ inches} = 1 \text{ ft.}$$

$$\text{Άρα, Displacement} = 14.400t$$

$$\text{Draft κατάπλου στα θάλασσα έξω από το λιμάνι} = 28'00'' - 1'00'' = 27'00''$$

$$\text{FWA} = \frac{\Delta}{40 \cdot \text{TPI}} = \frac{14.400}{40 \cdot 50} = \frac{14.400}{2.000} = 7,2''$$

$$\text{Άρα, Draft}_{(\text{λιμάνος})} = \text{Draft}_{(\text{θάλασσα})} + \text{FWA} = 27'00'' + 00'7,2'' = 27'07,2''$$

Για την εύρεση της ανοχής σε υφάλμυρο νερό (brackish water) ανατρέχουμε σε ειδικούς πίνακες, με στοιχεία εισόδου την FWA και την πυκνότητα του υφάλμυρου νερού, που την βρίσκουμε με το σαλινόμετρο.

Ακόμη, δίνεται από τον τύπο:

$$\text{BWA} = \frac{\Delta(1,025 - \rho)}{\text{TPI}} \quad \text{ή}$$

$$\text{BWA} = \frac{\text{FWA}(1,025 - \rho)}{0,025} \quad \text{ή}$$

$$\text{BWA} = \frac{10\Delta(1,025 - \rho)}{\text{TPC}}$$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ

1. Τι είναι το εκτόπισμα πλοίου; Ποια η σχέση του με το βάρος και την άντωση;
2. Τι είναι το μόνιμο βάρος ενός πλοίου; Σε ποιο εκτόπισμα αντιστοιχεί;
3. Τι είναι το νεκρό βάρος πλοίου; Ποια επιμέρους βάρη περιλαμβάνει;
4. Τι είναι το ωφέλιμο φορτίο; Τι είναι τα σταθερά βάρη;
5. Τι ονομάζουμε αναγκαία ταξιδίου;
6. Τι είναι βύθισμα πλοίου και πόσων ειδών βυθίσματα υπάρχουν;
7. Τι είναι TPC και TPI; Πού χρησιμεύουν;
8. Ποια σχέση υπάρχει μεταξύ DM και DΔ;
9. Τι γνωρίζετε για τα φαινόμενα sagging και hogging;
10. Τι είναι το πυκνόμετρο και σε τι χρησιμεύει;
11. Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την πυκνότητα της θάλασσας;
12. Τι σημαίνει ανοχή γλυκού νερού (FWA);
13. Πώς υπολογίζουμε την ανοχή υφάλμυρου νερού (BWA);

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Σε επίσκεψη στο λιμάνι προσπάθησε να διακρίνεις τα βυθίσματα στο πλευρό του πλοίου και να συγκρίνεις το DM με το DΔ.
2. Προσπάθησε, σε δεξαμενόπλοιο που φορτώνει, να δεις πόσο αυξάνεται το βύθισμά του σε σχέση με τη ροή πετρελαίου στις δεξαμενές του.
3. Στον πίνακα 12.1 να βρείτε το εκτόπισμα και το νεκρό βάρος του πλοίου για βυθίσματα 5 και 7 m.

13 ΑΡΧΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

13.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, στο πλοίο, όπως και σε κάθε αντικείμενο που επιπλέει στην επιφάνεια του νερού, ασκούνται δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις. Το βάρος του και η άντωση. Η ισορροπία αυτών των δύο δυνάμεων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να επιπλέει το πλοίο, δεν εξασφαλίζει, όμως, την ευστάθεια του. Τονίζεται ότι οι δύο αυτές δυνάμεις είναι ίσες και αντίθετες, τόσο στην περίπτωση ενός σκάφους που επιπλέει όρθιο όσο και ενός σκάφους που έχει ανατραπεί. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εξετάσουμε την ευστάθεια ενός πλοίου, από ποιους παράγοντες εξαρτάται και πώς ο πλοίαρχος του πλοίου μπορεί να την υπολογίσει πριν από τον απόπλου και, αν απαιτείται, να τη βελτιώσει

Όροι που πρέπει να μάθετε:

- κέντρο άντωσης
- μετακεντρικό ύψος
- πείραμα ευστάθειας
- μοχλοβραχίονας επαναφοράς

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- Τι είναι η ροπή επαναφοράς και πώς δημιουργείται;
- Ποιες είναι οι καταστάσεις ισορροπίας;
- Πώς υπολογίζεται ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς;
- Τι είναι τα κριτήρια ευστάθειας;

13.2 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Με τον όρο "ισορροπία" εννοούμε ότι η συνισταμένη των δυνάμεων και ροπών που ασκούνται σε ένα στερεό σώμα είναι μηδενική.

Στο πλοίο που επιπλέει, ασκούνται δύο ίσες, κατακόρυφες και αντίθετες δυνάμεις, το βάρος και η άντωση.

Το βάρος W ασκείται στο κέντρο βάρους G με φορά προς τα κάτω και υπολογίζεται όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Η **άντωση** A είναι η συνισταμένη όλων των υδροστατικών δυνάμεων που ασκούνται στο πλοίο από το νερό και ασκείται στο **κέντρο άντωσης** B , με φορά προς τα πάνω. Οι υδροστατικές αυτές δυνάμεις είναι ουσιαστικά μοιρασμένες σε όλα τα ύψαλα του πλοίου, αλλά υποθέτουμε ότι η συνισταμένη τους A ενεργεί σε ένα σημείο B , που ταυτίζεται με το γεωμετρικό κέντρο του βυθισμένου μέρους του πλοίου.

Ας θεωρήσουμε ένα βυθισμένο σώμα, όπου το βάρος και η άντωση είναι ίσες και αντίθετες. Σε αυτή την περίπτωση, το κέντρο βάρους και το κέντρο άντωσης δεν μεταβάλλονται από τις κινήσεις του σώματος μέσα στο νερό. Υπάρχουν τότε τρεις περιπτώσεις:

1) το κέντρο βάρους και κέντρο άντωσης να συμπίπτουν. Σε αυτήν την περίπτωση, οι δύο δυνάμεις δεν δημιουργούν ροπή, γιατί ασκούνται στο ίδιο σημείο. Η ισορροπία λέγεται αδιάφορη, γιατί, σε

οποιαδήποτε θέση ή εγκάρσια κλίση βρεθεί το σώμα, δεν δημιουργείται ροπή. (σχ. 13.1α)

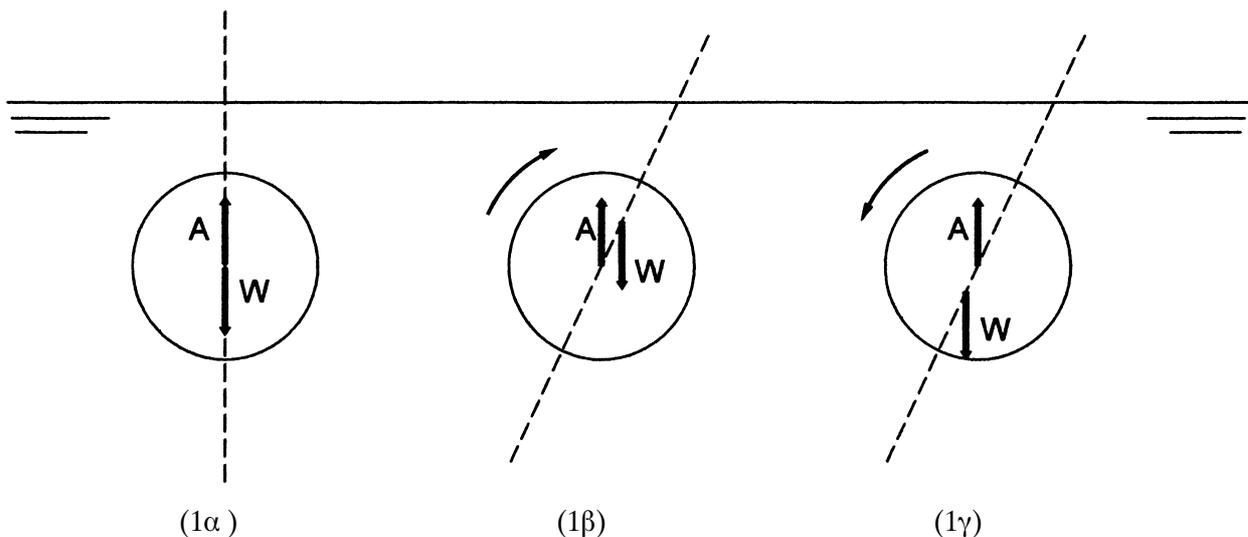
2) το κέντρο βάρους να είναι ψηλότερα από το κέντρο άντωσης. Σε αυτήν την περίπτωση, μικρή εγκάρσια κλίση του σώματος δημιουργεί ροπή ανατροπής και η ισορροπία λέγεται ασταθής. (σχ. 13.1β)

3) το κέντρο βάρους να είναι χαμηλότερα από το κέντρο άντωσης. Σε αυτήν την περίπτωση, μικρή εγκάρσια κλίση δημιουργεί ροπή επαναφοράς στην αρχική θέση και η ισορροπία λέγεται ευσταθής. (σχ. 13.1γ)

Στην περίπτωση ενός πλοίου που επιπλέει, η κατάσταση είναι διαφορετική. Συνήθως, το κέντρο βάρους είναι ψηλότερα από το κέντρο άντωσης. (σχ. 13.2α) Είναι σπάνιες οι περιπτώσεις, όπως στα ιστιοπλοϊκά σκάφη με την βαριά καρίνα, όπου το κέντρο βάρους είναι κάτω από το κέντρο άντωσης.

Οι εξωτερικές δυνάμεις που μπορεί να ασκηθούν σε ένα πλοίο είναι πολλές και διαφόρων ειδών, όπως η επίδραση ανέμου ή κύματος, η φορτοεκφόρτωση, η στροφή, η προσάραξη, η ρυμούλκηση, η πρόσδεση κλπ. Επίσης, υπάρχουν και εσωτερικές δυνάμεις, όπως η μετατόπιση φορτίου, έρματος, επιβατών κλπ., που επίσης προκαλούν κλίση στο πλοίο.

Ας θεωρήσουμε μία εξωτερική δύναμη που προκαλεί κλίση στο πλοίο. (σχ. 13.2β) Το σχήμα του βυθι-



Σχ. 13.1 Καταστάσεις ισορροπίας βυθισμένου σώματος

σμένου τμήματος του πλοίου αλλάζει γιατί μία τριγωνική σφήνα βυθίζεται και μία τριγωνική σφήνα αναδύεται. Το κέντρο άντωσης, όπως είναι φυσικό, μετατοπίζεται προς την πλευρά της κλίσης στην νέα θέση Β'.

Το κέντρο βάρους παραμένει σταθερό, γιατί θεωρούμε ότι δεν έγινε μετατόπιση βαρών.

Πρέπει να τονίσουμε ότι αν το κέντρο άντωσης δεν μετακινούταν και παρέμενε στην αρχική του θέση, θα είχαμε ασταθή ισορροπία, όπως στην περίπτωση του βυθισμένου σώματος, και το πλοίο θα ανατρεπόταν.

Στην νέα θέση, το βάρος και η άντωση δεν είναι στην ίδια κατακόρυφο και, κατά συνέπεια, δημιουργείται μία ροπή μέχρι να βρεθούν στην ίδια κατακόρυφο. Το ζεύγος των δύο δυνάμεων είναι δυνατό να προκαλέσει **ροπή επαναφοράς**, οπότε η ισορροπία λέγεται **ευσταθής** (σχ. 13.2β) ή ροπή ανατροπής, οπότε η ισορροπία λέγεται **ασταθής** (σχ. 13.2γ).

Αδιάφορη ισορροπία είναι σπάνιο να υπάρξει, γιατί το κέντρο βάρους και άντωσης δεν συμπίπτουν παρά μόνο περιστασιακά και κατά σύμπτωση.

13.3 ΜΕΤΑΚΕΝΤΡΙΚΟ ΥΨΟΣ

Ας θεωρήσουμε ένα πλοίο που παίρνει μία μικρή κλίση φ και είναι σε κατάσταση ευσταθούς ισορροπίας (σχ. 13.3). Το κέντρο άντωσης μετατοπίζεται

στη νέα θέση Β' και δημιουργείται μία ροπή επαναφοράς. Η απόσταση GZ ανάμεσα στην κατακόρυφο του βάρους και της άντωσης ονομάζεται **μοχλοβραχίονας επαναφοράς (righting arm)**. Αυτή η απόσταση δημιουργεί τη ροπή επαναφοράς που είναι $W \cdot GZ$.

Το σημείο Μ, όπου η άντωση τέμνει τον άξονα του πλοίου, λέγεται **μετάκεντρο (metacenter)**. Το μετάκεντρο παραμένει πρακτικά σταθερό για μικρές κλίσεις του πλοίου μέχρι περίπου 10° , υπό την προϋπόθεση ότι οι ναυπηγικές γραμμές του πλοίου είναι ομαλές γύρω από την ίσαλο.

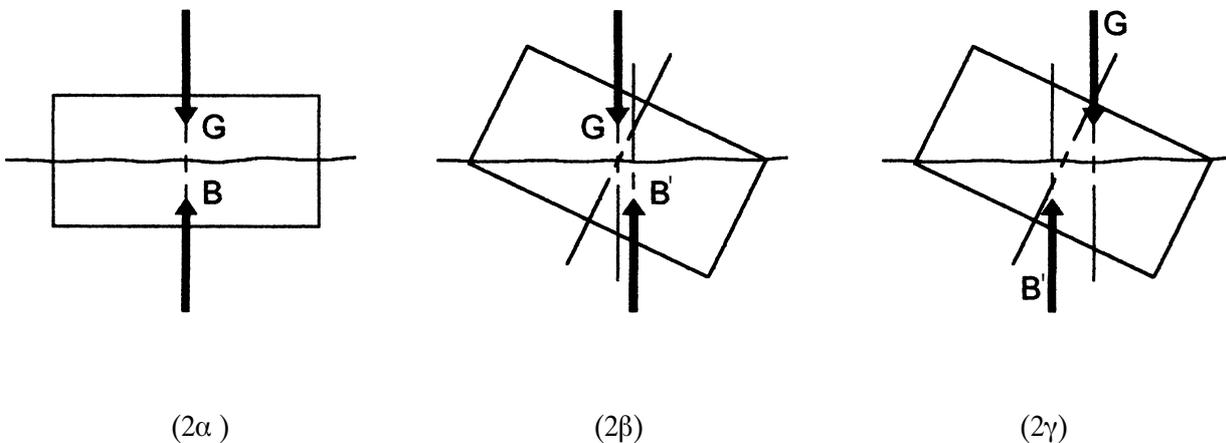
Αν οι θέσεις των Μ και G είναι γνωστές, τότε ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς GZ μπορεί να υπολογιστεί με τον τύπο $GZ = GM \cdot \sin \varphi$.

Η απόσταση GM είναι, κατά συνέπεια, σημαντική ως κριτήριο της ευστάθειας σε μικρές γωνίες κλίσης. Η απόσταση αυτή ονομάζεται **μετακεντρικό ύψος (metacentric height)**. Το GM είναι θετικό στην ευσταθή ισορροπία, όταν το Μ είναι πάνω από το G, και αρνητικό στην ασταθή, οπότε το G είναι πάνω από το Μ.

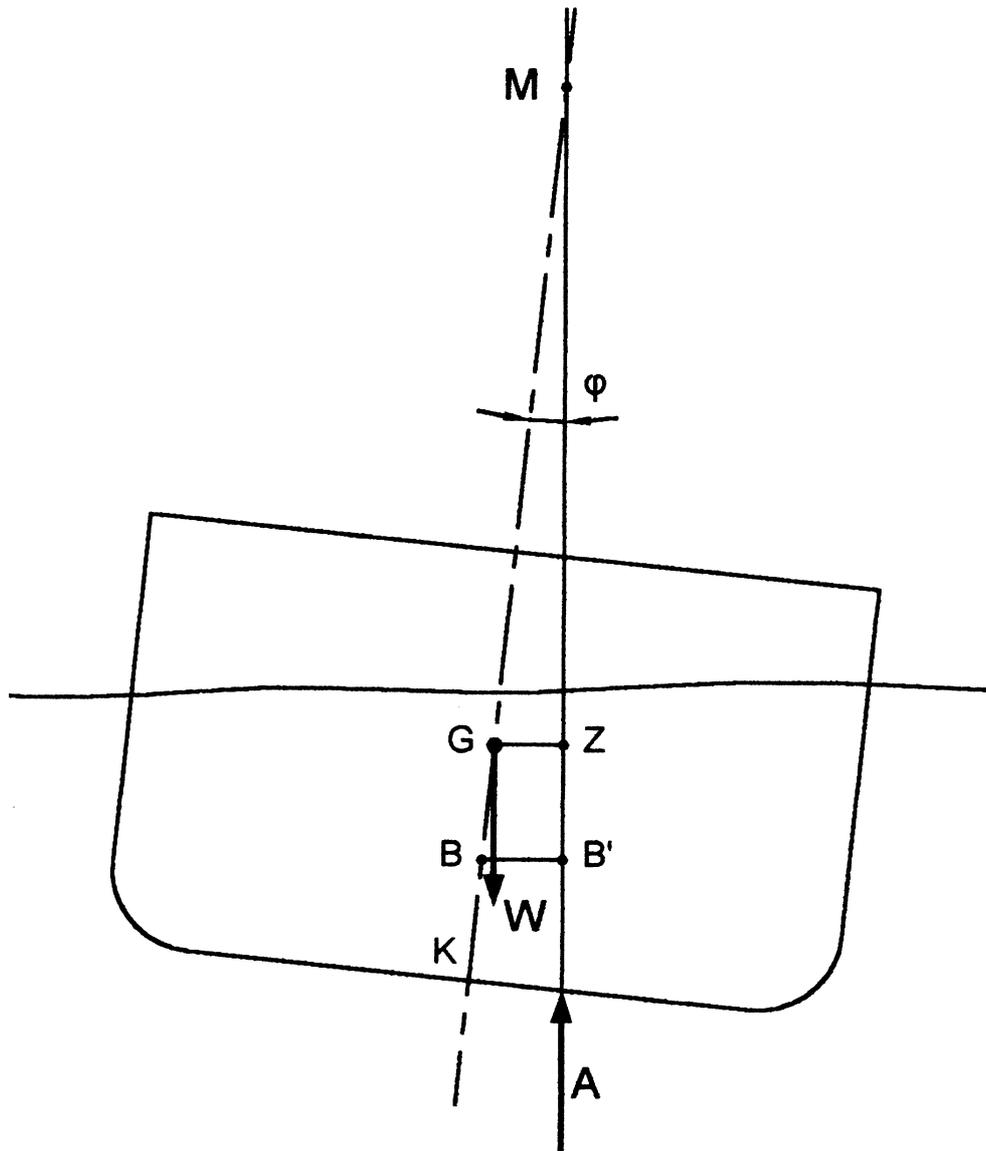
Ο τύπος που δίνει το GM είναι

$$GM = KM - KG$$

Η απόσταση KM δίνεται από τις υδροστατικές καμπύλες του πλοίου, γιατί έχει σχέση με τη μορφή της γάστρας και τις ναυπηγικές γραμμές.



Σχ. 13.2 Καταστάσεις ισορροπίας σώματος που επιπλέει



Σχ. 13.3 Μετακεντρικό ύψος

Η απόσταση KG υπολογίζεται με βάση τη φόρτωση του πλοίου.

Η πρώτη λοιπόν εκτίμηση για την ευστάθεια του πλοίου δίνεται αν το GM είναι θετικό και αν υπάρχει ικανοποιητικό ύψος εξάλων.

Από την τιμή του μετακεντρικού ύψους εξαρτάται η περίοδος διατοιχισμού του πλοίου και η αντίσταση που προβάλλει στις μικρές κλίσεις. Πλοίο δηλ. με μεγάλο μετακεντρικό ύψος, άρα και μεγάλο GZ , διατοιχίζεται γρήγορα και κλίνει δύσκολα, γιατί η ροπή επαναφοράς είναι μεγάλη. Αντίθετα, πλοίο με μικρά GM και GZ διατοιχίζεται αργά και κλίνει εύκολα. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, στην πρώτη

περίπτωση, το πλήρωμα και οι επιβάτες θα ταλαιπωρούνται από τη γρήγορη επαναφορά του πλοίου. Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση, οι συνθήκες του ταξιδιού θα είναι πιο άνετες αλλά μικρότερα τα περιθώρια ευστάθειας. Η επιλογή του μετακεντρικού ύψους δεν είναι εύκολη και εξαρτάται από το αποτέλεσμα που επιδιώκεται. Σημειώνεται, όμως, ότι έχουν καθοριστεί διεθνή κριτήρια για το ελάχιστο μετακεντρικό ύψος, ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια στο ταξίδι.

13.4 ΠΕΙΡΑΜΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

Ο υπολογισμός του κέντρου βάρους του πλοίου, ό-

πως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, γίνεται, κάθε φορά, ανάλογα με τη φόρτωση ή τον ερματισμό του πλοίου. Σε κάθε περίπτωση, όμως, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη θέση του κέντρου βάρους του άφορτου πλοίου, δηλ. του light ship.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του πλοίου είναι υποχρεωτικό να γίνεται το πείραμα ευστάθειας, με βάση το οποίο υπολογίζεται το κέντρο βάρους του άφορτου πλοίου. Προκειμένου να εκτελεστεί το πείραμα ευστάθειας, πρέπει να χαραχθούν τα βυθίσματα πλώρης, μέσης και πρύμης, δεξιά και αριστερά.

Στη μέση του άφορτου πλοίου τοποθετούμε ένα μεγάλο βάρος w ικανό να δώσει στο πλοίο κλίση 2° , αν μετακινηθεί από τη μέση στις πλευρές. Πρακτικά, το βάρος αυτό μπορεί να είναι τσουβάλια, βαρέλια, ένα φορτηγό αυτοκίνητο κλπ.

Στην αρχή, μετρείται το εκτόπισμα W με βάση τα βυθίσματα και τις υδροστατικές καμπύλες του πλοίου.

Στην συνέχεια, μετακινούμε εγκάρσια το βάρος σε απόσταση d και δημιουργούμε μικρή κλίση στο πλοίο που την μετράμε με ακρίβεια, χρησιμοποιώ-

ντας μεγάλο εκκρεμές τοποθετημένο επίτηδες γι' αυτόν τον σκοπό.

Η ίδια κίνηση γίνεται αρκετές φορές δεξιά και αριστερά, ώστε να έχουμε το μέσο όρο των αποτελεσμάτων.

Στη θέση ισορροπίας με κλίση, η ροπή ανατροπής από το βάρος θα ισούται με τη ροπή επαναφοράς. Η ροπή επαναφοράς είναι $W \cdot GZ = W \cdot GM \cdot \eta\mu\phi$.

Η ροπή ανατροπής, για βάρος w που μετακινήθηκε εγκάρσια κατά d , είναι $w \cdot d \cdot \sigma\upsilon\eta\phi$.

Δηλ. $W \cdot GM \cdot \eta\mu\phi = w \cdot d \cdot \sigma\upsilon\eta\phi$ δηλ.

$$GM = w \cdot d / W \cdot \epsilon\phi\phi$$

Με αυτόν τον τρόπο, υπολογίζεται το GM του άφορτου πλοίου.

Στην συνέχεια με τον τύπο $KG = KM - GM$ υπολογίζουμε το κέντρο βάρους του άφορτου πλοίου.

Κατά την εκτέλεση του πειράματος ευστάθειας πρέπει να επικρατεί άπνοια και καλές καιρικές συνθήκες, ώστε να μην υπάρχει εξωγενής κλίση στο πλοίο. Επίσης, πρέπει, στο πλοίο, να επιβαίνουν μόνο τα απαραίτητα άτομα για την εκτέλεση του πει-



Σχ. 13.4 Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς

ράματος και, αν είναι δυνατόν, να μην υπάρχουν άλλα βάρη, καύσιμα, φορτία κλπ.

13.5 ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Το κριτήριο για την ύπαρξη επαρκούς ευστάθειας είναι κατ'αρχήν το θετικό GM, δηλ. η ύπαρξη θετικού μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ. Ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς, όταν το πλοίο παίρνει εγκάρσιες κλίσεις, δεν παραμένει σταθερός, αλλά μεταβάλλεται και δημιουργείται μία καμπύλη του GZ σε σχέση με την γωνία εγκάρσιας κλίσης. Η καμπύλη αυτή είναι διαφορετική για κάθε πλοίο και κάθε κατάσταση φόρτωσης του. Γενικά, όμως, έχει τη μορφή της καμπύλης του σχήματος 13.4.

Η καμπύλη αυτή πρέπει να υπολογίζεται πριν από κάθε ταξίδι από τον πλοίαρχο με βάση τα στοιχεία της φόρτωσης.

Η καμπύλη αυτή είναι πολύ σημαντική για την ευστάθεια του πλοίου και όλα τα διεθνή κριτήρια ευστάθειας παραπέμπουν σε αυτή.

Συγκεκριμένα:

- 1) η μέγιστη τιμή του GZ πρέπει να είναι σε γωνία ίση ή μεγαλύτερη των 30°
- 2) το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη, που ουσιαστικά μας δείχνει το έργο που απαιτείται για την κλίση του πλοίου, πρέπει να είναι μεγαλύτερο από ορισμένη τιμή για διάφορες γωνίες κλίσης και
- 3) το GZ πρέπει να έχει τιμή τουλάχιστον 0,20 μ., σε γωνία κλίσης πάνω από 30°.

Στο σημείο όπου η καμπύλη τέμνει τον άξονα των γωνιών μηδενίζεται το GZ και, κατά συνέπεια, το πλοίο ανατρέπεται.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η γωνία ανατροπής, σε περίπτωση άθικτης ευστάθειας, όταν δηλ. δεν έχουμε εισροή νερού στο πλοίο ή μετακίνηση φορτίου, είναι πράγματι της τάξεως των 60 - 70 μοιρών. Υπάρχουν δε πολλά πλοία όπως τα ναυαγοσωστικά ή ιστιοπλοϊκά, όπου η γωνία ανατροπής ξεπερνά τις 120°, δηλ. το πλοίο μπορεί να είναι σχεδόν ανάποδα και παρόλα αυτά να επανέρχεται στην όρθια θέση.

Επίσης, θα σημειώσουμε ότι η μορφή αυτή της καμπύλης εξασφαλίζει το ότι σε μικρές γωνίες κλίσης μέχρι 30°, το πλοίο έχει πολλά περιθώρια ευστάθειας, καθώς το GZ και η επιφάνεια από κάτω του συνεχώς μεγαλώνουν. Απαιτείται δηλ. περισσότερο έργο για να μεγαλώσει η γωνία κλίσης του πλοίου.

Αν τα αποτελέσματα του υπολογισμού που έχει κάνει ο πλοίαρχος δεν ικανοποιούν τα κριτήρια ευστάθειας πρέπει να αλλάξει η φόρτωση και να γίνει νέος υπολογισμός ευστάθειας.

13.6 ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΕΥΡΕΣΗΣ GM

Παράδειγμα 1:

Ένα πλοίο φορτώνει σιτάρι από New Orleans (USA) για Rostok (Germany) με τα παρακάτω δεδομένα. Να υπολογισθεί το GM (απόπλου), όταν το KM, για το έμφορτο εκτόπισμα, είναι 6,5m (από τις υδροστατικές καμπύλες).

ITEMS	WEIGHT	KG	MOMENT
Light ship	9.000	9,80 m	88.200
Constants	100	12,20m	1.220
D.B. 1o	200	3,00m	600
D.O. tank	300	4,60m	1.380
F.O. tank	450	4,60m	2.070
F.W. tank P	100	10,70m	1.070
F.W. tank S	50	6,00m	300
Hold No 1	8.000	6,00m	48.000
Hold No 2	10.000	4,60m	46.000
Hold No 3	3.000	4,90m	14.700
Hold No 4	9.000	4,30m	38.700
Hold No 5	10.500	4,60m	48.700
Hold No 6	4.000	4,90m	19.600
TOTAL	54.700	5,66m	310.140

$$KG_{(\text{απόπλου})} = \frac{\text{TOTAL MOMENTS}}{\text{TOTAL WEIGHT}} = \frac{310.140}{54.700} = 5,66$$

Άρα, $KG=5.66m$.

Εφ' όσον KM (από τα υδροστατικά διαγράμματα) = $6,5m$, τότε:

$$GM = KM - KG = 6,5m - 5,66m = 0,84m.$$

$$GM_{(απόπλου)} = 0,84m.$$

Παράδειγμα 2:

Ένα πλοίο είχε κατά τον απόπλου $GM = 2ft$, $KG = 20ft$ και $W = 15.000L/T$. Φθάνοντας στο λιμάνι κατάπλου θα έχει καταναλώσει:

α) 100t Diesel από $KG1 = 22ft$

β) 400t Fuel από $KG2 = 10ft$

γ) 200t Fuel από $KG3 = 15ft$

δ) 150t Fresh water από $KG4 = 20ft$

Να υπολογισθεί το $GM_{(κατάπλου)}$.

Λύση:

Κατάστροση πίνακα:

ITEMS	WEIGHT		KG	MOMENTS	
	+	-		+	-
Displacement	15.000	---	20	300.000	---
Diesel	---	100	22	---	2.200
F.O. tank P	---	400	10	---	4.000
F.O. tank S	---	200	15	---	3.000
F.W. tank	---	150	20	---	3.000
TOTAL	15.000	850		300.000	12.200
FINAL	14.150		20,34	287.800	

$$KG_{(κατάπλου)} = 20,34$$

$$KG_{(απόπλου)} = 20,00$$

Άρα, λόγω καταναλώσεων, το G ανήλθε κατά $0,34ft$. Εφ' όσον το $GM_{(απόπλου)}$ είναι $2ft$ και ελαττώθηκε κατά $0,34ft$, συνεπάγεται ότι το $GM_{(κατάπλου)}$ θα είναι $GM_{(απόπλου)}$ μείον την ελάττωση, δηλαδή:

$$GM_{(κατάπλου)} = GM_{(απόπλου)} - 0,34ft \text{ ή}$$

$$GM_{(κατάπλου)} = 2ft - 0,34ft = 1,66ft.$$

14 ΓΡΑΜΜΕΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

14.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ασφάλεια ενός πλοίου εξαρτάται, μεταξύ άλλων, και από την ποσότητα του φορτίου που μεταφέρει κάθε φορά. Αυτό συμβαίνει γιατί, αν μεταφερθεί πολύ μεγάλη ποσότητα φορτίου, τότε το πλοίο βυθίζεται περισσότερο και ταυτόχρονα η μεταλλική κατασκευή του καταπονείται υπερβολικά. Η πέρα από τα όρια βύθιση του πλοίου μειώνει τον όγκο των εξάλων του που πρέπει να υπάρχουν και αποτελούν την εφεδρική πλευστότητά του. Χάρη σε αυτή, το πλοίο μπορεί να αντιμετωπίσει τη στιγμιαία επιπλέον βύθιση του από τα κύματα που το σκεπάζουν, το νερό που παραμένει στο κατάστρωμα, την κατάκλυση ενός χώρου κλπ. Η εφεδρική πλευστότητα εξαρτάται από τα στεγανά μέρη των εξάλων του πλοίου που, όταν βυθιστούν κάτω από την επιφάνεια του νερού, όχι μόνο δεν κατακλύζονται, αλλά αντίθετα συνεισφέρουν στην άντωση του. Η στεγανότητα της κατασκευής είναι απαραίτητη. Σκεφτείτε τι θα γινόταν, αν κάθε φορά που τα κύματα σκέπαζαν το κατάστρωμα, ποσότητα του νερού έμπαινε στα κύτη. Σιγά σιγά, το πλοίο θα βυθιζόταν όλο και περισσότερο μέχρις ότου:

- 1) δεν θα άντεχε η μεταλλική κατασκευή το επιπλέον βάρος ή
- 2) θα έχανε το πλοίο την ευστάθεια του ή
- 3) θα βυθιζόταν, γιατί το βάρος του θα γινόταν μεγαλύτερο από την άντωση.

Μέτρο της εφεδρικής πλευστότητας είναι το ύψος εξάλων, δηλ. η κατακόρυφη απόσταση από την έμφορτη ίσαλο μέχρι το κατάστρωμα.

Όροι που πρέπει να μάθετε

- εφεδρική πλευστότητα
- ύψος εξάλων
- γραμμή φόρτωσης
- γραμμή καταστρώματος
- Διεθνής Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης 1966

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε αυτό το κεφάλαιο, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- Πόσο μπορεί να φορτωθεί ένα πλοίο;
- Εξαρτάται το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο από την περιοχή ταξιδιού;
- Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τη χάραξη της γραμμής φόρτωσης;

14.2 ΔΙΕΘΝΗΣ ΣΥΜΒΑΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

Ο καθορισμός του **ύψους εξάλων (freeboard)** ήταν αναγκαίο να γίνει, ώστε να προφυλαχθούν οι επιβαίνοντες από την αυθαιρεσία του πλοιοκτήτη που θα υπερφόρτωνε το πλοίο του. Το 1875, ζητήθηκε από τους πλοιοκτήτες να χαράξουν στην πλευρά του πλοίου τους ένα δίσκο με μια οριζόντια γραμμή που να δείχνει το μέγιστο βύθισμα μέχρι το οποίο θα ήταν ασφαλής η φόρτωση του πλοίου. Η γραμμή αυτή είναι γνωστή με το όνομα **γραμμή του Plimsoll**.

Σήμερα, σε όλα τα πλοία πάνω από 24 m εφαρμόζεται η Διεθνής Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης 1966. Η αρχική μοναδική οριζόντια γραμμή του Plimsoll έχει συμπληρωθεί με άλλες, που δείχνουν το επιτρεπόμενο βύθισμα για διάφορες συνθήκες πλεύσης, όπως γραμμή θέρους, χειμώνα, γλυκού νερού κλπ.

Τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν την ασφάλεια του πλοίου, σε σχέση με το επιτρεπόμενο βύθισμα είναι;

- 1) αποφυγή εισόδου νερού στο πλοίο,
- 2) επαρκής εφεδρική άντωση,
- 3) προστασία του πληρώματος,
- 4) επαρκής αντοχή της κατασκευής.

Με βάση τα παραπάνω, το ύψος εξάλων εξαρτάται από διάφορες προϋποθέσεις, που ονομάζονται **όροι χορήγησης γραμμής φόρτωσης**.

Το κατάστρωμα εξάλων είναι, κατά κανόνα, το ανώτατο συνεχές κατάστρωμα του πλοίου. Το **ύψος εξάλων** μετρείται στη μέση του πλοίου και είναι η κατακόρυφη απόσταση από την πάνω ακμή της γραμμής καταστρώματος μέχρι την πάνω ακμή της γραμμής φόρτωσης.

1) Αποφυγή εισόδου νερού στο πλοίο.

Η προστασία των ανοιγμάτων του καταστρώματος και των πλευρών του πλοίου για την αποφυγή εισόδου νερού στο κύτος και η δυνατότητα γρήγορης απομάκρυνσης του νερού, που προέρχεται από κύ-

ματα στο κατάστρωμα, είναι πολύ σημαντικά θέματα.

Μία κατασκευή λέγεται **καιροστεγής (weather-tight)**, όταν σε οποιαδήποτε κατάσταση θάλασσας το νερό δεν μπορεί να περάσει στο εσωτερικό της κατασκευής.

Οι κάθοδοι από το κατάστρωμα προς προφυλαγμένους χώρους πρέπει να είναι καιροστεγείς και το κατώφλι της πόρτας να έχει ύψος 600 χιλ.

Τα στόμια των κυτών φορτίου πρέπει να έχουν ύψος 600 χιλ. πάνω από το κατάστρωμα. Τα στόμια των κυτών πρέπει να κλείνουν καιροστεγανά, είτε με διπλές στρώσεις από μουσαμάδες είτε με χαλύβδινα καλύμματα.

Οι αεραγωγοί πρέπει να είναι ισχυρής κατασκευής. Τα εξαεριστικά των δεξαμενών που εκτείνονται πάνω από το κατάστρωμα πρέπει να έχουν ύψος 760 χιλ.

Επίσης, προβλέπονται ειδικές διατάξεις ασφάλειας για τους σωλήνες αποχέτευσης του πλοίου που τελειώνουν κάτω από το κατάστρωμα εξάλων. Σκοπός είναι να εμποδίζεται το θαλασσινό νερό να μπει στο πλοίο από αυτούς τους σωλήνες. Κατά κανόνα, κάθε τέτοιος σωλήνας είναι εφοδιασμένος με μία ανεπίστροφη βαλβίδα, με χειρισμό από ψηλότερο κατάστρωμα ή με δύο ανεπίστροφες βαλβίδες.

Για να επανακτά το πλοίο όλη την εφεδρική πλευστότητα του, πρέπει το νερό από το κατάστρωμα να απομακρύνεται γρήγορα. Σε όλο το κατάστρωμα εξάλων υπάρχουν ανοίγματα ή υδρορρόδες για την απομάκρυνση του νερού και πρέπει να αποφεύγεται ο σχηματισμός χαβούζας, όπου συγκεντρώνεται μεγάλη ποσότητα νερού.

2) Εφεδρική άντωση

Οι βασικοί λόγοι που καθορίζουν ένα ελάχιστο ύψος εξάλων είναι η εξασφάλιση, στο πλοίο, μίας εφεδρικής άντωσης αλλά, και η δυνατότητα απρόσκοπτης εργασίας των ναυτικών.

Ο καθορισμός του ύψους εξάλων εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του.

Στην κατηγορία Α ανήκουν τα πλοία που προορίζονται αποκλειστικά για τη μεταφορά υγρών φορτίων

(π.χ. δεξαμενόπλοια) Τα πλοία αυτά είναι από κατασκευής διαιρεμένα σε πολλές στεγανές δεξαμενές. Αυτή η κατασκευή, σε συνδυασμό με τα μικρά ανοίγματα του καταστρώματος, εξασφαλίζει αυτόματα αυξημένη ασφάλεια σε περίπτωση κατάκλισης. Αυτά τα πλοία επιτρέπεται να έχουν μικρότερο ύψος εξάλων.

Στην κατηγορία Β ανήκουν όλα τα πλοία που δεν υπάγονται στην κατηγορία Α.

Με βάση το μήκος του πλοίου και τον τύπο του, έχουν καθοριστεί, σε πίνακες, τα βασικά ύψη εξάλων. Ορισμένες ενδεικτικές τιμές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 14.1

Μήκος πλοίου m	Ύψος εξάλων Κατ. Α mm	Ύψος εξάλων Κατ. Β mm
30	250	250
50	443	443
100	1135	1271
150	1968	2315
200	2612	3264
250	3012	4018
300	3262	4630

Πίνακας 14,1 Βασικά ύψη εξάλων

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η ύπαρξη υπερεκτασκευών και υπερστεγασμάτων αυξάνει την εφεδρική πλευστότητα. Απαραίτητη προϋπόθεση, βέβαια, είναι τα διαμερίσματα αυτά να είναι καιροστεγανά.

Επίσης, σημαντικό είναι και το ύψος της πλώρης, γιατί περιορίζει την ποσότητα του νερού που βρέχει το κατάστρωμα από τους κυματισμούς. Το ελάχιστο ύψος της πλώρης καθορίζεται από το μήκος του πλοίου και το συντελεστή γάστρας. Το αναγκαίο ύψος της πλώρης μπορεί να επιτευχθεί, κυρίως, με την προσθήκη πρόστεγου, με πρωραία σιμότητα του καταστρώματος ή με μεγαλύτερο ύψος εξάλων στο μέσον του πλοίου.

3) Προστασία πληρώματος

Βασικό μέλημα της σύμβασης είναι η προστασία του πληρώματος και η ασφαλής πρόσβαση στους χώρους εργασίας. Γύρω γύρω στο κατάστρωμα, είναι υποχρεωτικό να υπάρχουν κιγκλιδώματα (ρέλια) ή δρύφακτο. Επίσης η πρόσβαση στην πλώρη πρέπει να είναι ασφαλής και να υπάρχουν προφυλαγμένοι διάδρομοι.

4) Αντοχή της μεταλλικής κατασκευής.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χάραξη της γραμμής φόρτωσης είναι η επαρκής αντοχή της μεταλλικής κατασκευής σε αυτό το βύθισμα. Πρέπει δηλ. το πλοίο από πλευράς αντοχής να μπορεί να μεταφέρει το φορτίο και ταυτόχρονα να αντιμετωπίζει τις καταπονήσεις από την θαλασσοταραχή. Η αντοχή της κατασκευής ελέγχεται από τον νηογνώμονα που σύμφωνα με τους κανονισμούς του κατασκευάστηκε και παρακολουθείται το πλοίο.

14.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΦΟΡΤΩΣΕΩΣ

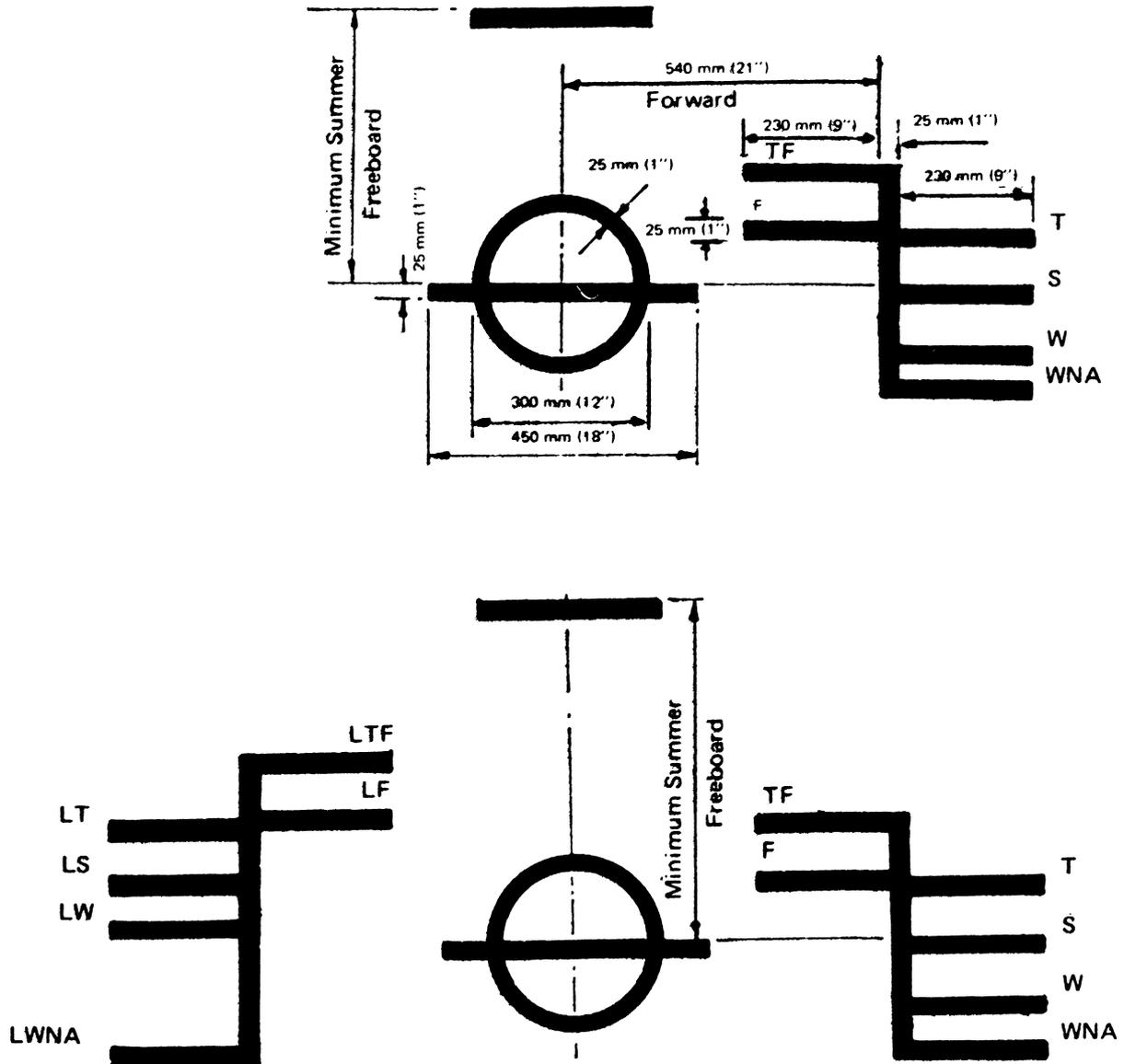
Ο υπολογισμός της γραμμής φόρτωσης γίνεται από το ναυπηγό, κατά την κατασκευή του πλοίου, με βάση τα κατασκευαστικά σχέδια και εγκρίνεται από την Κρατική Αρχή.

Ξεκινώντας από το βασικό πίνακα και ανάλογα με τον τύπο και το μήκος του πλοίου, υπολογίζεται το αρχικό ύψος εξάλων. Στην συνέχεια, υπολογίζεται το ύψος εξάλων, αφού γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις ανάλογα με:

- το συντελεστή γάστρας του πλοίου,
- το πλευρικό ύψος,
- τις υπερεκτασκευές,
- την σιμότητα του καταστρώματος και
- το ελάχιστο ύψος πλώρης.

Το αποτέλεσμα του υπολογισμού λέγεται ύψος εξάλων θέρους.

Κάθε πλοίο είναι υποχρεωμένο να έχει ένα πιστοποιητικό Γραμμής Φόρτωσης. Σε αυτό το πιστοποιητικό



Σχ. 14.1 Χάραξη των γραμμών φορτώσεως

ητικό, γράφεται ο τύπος του πλοίου και το ύψος εξάλων θέρους. Κατά την έκδοση του πιστοποιητικού και την ετήσια ανανέωση του, ο επιθεωρητής ελέγχει ότι οι προϋποθέσεις χορήγησης της γραμμής φόρτωσης δεν έχουν αλλάξει και η γραμμή φόρτωσης είναι χαραγμένη, όπως απαιτείται.

14.4 ΧΑΡΑΞΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΦΟΡΤΩΣΕΩΣ

Στην αρχή χαράσσεται η γραμμή καταστρώματος (deck line). Η γραμμή καταστρώματος είναι οριζό-

νια, μήκους 300 mm και πάχους 25 mm, και είναι χαραγμένη στις πλευρές στην μέση του πλοίου. Η πάνω ακμή της γραμμής καταστρώματος χαράσσεται στο ύψος όπου η νοητή προέκταση της πάνω πλευράς του καταστρώματος τέμνει την εξωτερική πλευρά του πλοίου. Η γραμμή καταστρώματος είναι το σημείο αναφοράς, με βάση το οποίο χαράσσεται ο δίσκος γραμμής φόρτωσης.

Στη συνέχεια χαράσσεται ο δίσκος της γραμμής φόρτωσης (load line mark). Το σήμα αυτό αποτελείται από ένα κύκλο, διαμέτρου 300 mm, και πάχους 25 mm., που τέμνεται στο κέντρο από οριζό-

ντια γραμμή, μήκους 450 mm. και πάχους 25 mm. Η πάνω ακμή της οριζόντιας γραμμής περνάει από το κέντρο του κύκλου και βρίσκεται κάτω από την πάνω ακμή της γραμμής καταστρώματος, σε απόσταση ίση με το ύψος εξάλων θέρους.

Με βάση το δίσκο γραμμής φόρτωσης, χαράσσονται, στη συνέχεια, οι γραμμές φόρτωσης. Οι γραμμές φόρτωσης είναι οριζόντιες γραμμές, μήκους 230 mm και πάχους 25 mm, κάθετες σε μία κατακόρυφη γραμμή, πάχους 25 mm, που είναι χαραγμένη 540 mm από το κέντρο του δίσκου προς την πλώρη του πλοίου.

Η Γραμμή Φόρτωσης Θέρους (summer load line) είναι στο ίδιο ύψος με τη γραμμή του δίσκου γραμμής φόρτωσης, χρησιμοποιείται στις περιοχές της ζώνης θέρους ή στις εποχιακές ζώνες το καλοκαίρι και συμβολίζεται με το γράμμα S.

Η Γραμμή Φόρτωσης Χειμώνα (winter load line) χρησιμοποιείται στις εποχιακές ζώνες το χειμώνα και χαράσσεται κάτω από την Γραμμή Φόρτωσης Θέρους, σε απόσταση 1/48 του βυθίσματος που αντιστοιχεί στο ύψος εξάλων θέρους. Συμβολίζεται με το γράμμα W.

Η Γραμμή Φόρτωσης Χειμώνα Βόρειου Ατλαντικού (winter North Atlantic load line) χαράσσεται 50 mm κάτω από την Γραμμή Φόρτωσης Χειμώνα και συμβολίζεται με το γράμμα WNA. Εφαρμόζεται σε πλοία μήκους μέχρι 100 m, όταν ταξιδεύουν στο Β. Ατλαντικό ωκεανό το χειμώνα..

Η Γραμμή Φόρτωσης Τροπικών Περιοχών (tropical load line) χρησιμοποιείται σε περιοχές της τροπικής ζώνης και χαράσσεται πάνω από τη Γραμμή Φόρτωσης Θέρους, σε απόσταση 1/48 του βυθίσματος που αντιστοιχεί στο ύψος εξάλων θέρους. Συμβολίζεται με το γράμμα T.

Η Γραμμή Φόρτωσης Γλυκού Νερού (fresh water load line) χρησιμοποιείται σε ποτάμια ή λίμνες και χαράσσεται πάνω από την Γραμμή Φόρτωσης Θέρους, σε απόσταση $\Delta / 40 \cdot TPC$, όπου Δ το εκτόπισμα του πλοίου σε θαλασσινό νερό που αντιστοιχεί στην Γραμμή Φόρτωσης Θέρους, και TPC η μεταβολή του εκτοπίσματος για αύξηση του βυθίσματος κατά 1 cm. Αν αυτά τα στοιχεία δεν υπάρχουν, τότε η Γραμμή Φόρτωσης Γλυκού Νερού χαράσσεται στο ίδιο ύψος με τη Γραμμή Φόρτωσης Τροπικών Περιοχών. Συμβολίζεται με το γράμμα F.

Τέλος χαράσσεται η Γραμμή Φόρτωσης Γλυκού Νερού Τροπικών Περιοχών (tropical fresh water load line), υπολογισμένη με εκτόπισμα Δ και TPC του βυθίσματος της Γραμμής Φόρτωσης Τροπικών Περιοχών. Συμβολίζεται με το γράμμα TF.

Λεπτομέρειες για τη χάραξη τους φαίνονται στο σχήμα 14.1.

Η αιτιολογία της χάραξης πέραν της μίας γραμμών φόρτωσης είναι ότι, αν πλοίο ταξιδεύει σε περιοχές με κακές καιρικές συνθήκες όπως π.χ. τον χειμώνα στον Β. Ατλαντικό ωκεανό, τότε χρειάζεται περισσότερο ύψος εξάλων για να αντιμετωπίσει τις κακοκαιρίες. Αντίθετα, σε περιοχές με καλοκαιρία, δίνεται στο πλοίο η δυνατότητα να φορτώσει περισσότερο φορτίο και να έχει μικρότερα έξαλα.

Αν ένα πλοίο πρόκειται να ταξιδέψει σε περιοχές με διαφορετική γραμμή φόρτωσης, θα πρέπει να φροντίσει ο πλοίαρχος ώστε σε κάθε περιοχή να μην ξεπερνά τη γραμμή φόρτωσης που αντιστοιχεί στην περιοχή αυτή.

Αν ένα πλοίο δεν πρόκειται να χρησιμοποιήσει κάποια από τις γραμμές φόρτωσης, δεν είναι υποχρεωμένο να την έχει χαραγμένη.

Σε κάθε περίπτωση, οι γραμμές φόρτωσης που απαιτούνται, ο δίσκος γραμμής φόρτωσης και η γραμμή καταστρώματος πρέπει να είναι μόνιμα χαραγμένες και χρωματισμένες με ένα χρώμα αντίθετο προς το χρώμα του πλοίου.

14.5 ΕΥΛΕΙΑ

Το φορτίο **ξυλείας στο ανοικτό κατάστρωμα (timber deck cargo)** δίνει στο πλοίο επιπλέον άντωση και μεγαλύτερο βαθμό προστασίας απέναντι στην κακοκαιρία, δηλ. επιπλέον εφεδρική πλευστότητα. Αυτό συμβαίνει, γιατί το ξύλο είναι ελαφρότερο του νερού.

Γι' αυτόν τον λόγο, τα πλοία που μεταφέρουν ξυλεία στο ανοικτό κατάστρωμα δικαιούνται να έχουν μικρότερα έξαλα, δηλ. να μεταφέρουν περισσότερο φορτίο και να χρησιμοποιούν άλλες γραμμές φόρτωσης.

Απαραίτητες, μεταξύ άλλων, προϋποθέσεις για τη χάραξη αυτών των γραμμών φόρτωσης είναι:

- 1) τα ανοίγματα των στομιών κυτών να κλείνονται στεγανά, πριν φορτωθεί πάνω τους ξυλεία
- 2) οι ανεμοδόχοι να είναι προστατευμένοι
- 3) να διατίθενται ορθοστάτες για τη στήριξη του φορτίου, που θα στερεώνονται στέρεα στο κατάστρωμα
- 4) το φορτίο ξυλείας να στοιβάζεται δεμένο με ασφαλή τρόπο, με αλυσίδες ή σύρματα
- 5) στον υπολογισμό της ευστάθειας του πλοίου, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, να λαμβάνεται υπόψη η αύξηση του βάρους της ξυλείας από την απορρόφηση νερού καθώς και η κατανάλωση καυσίμων και εφοδίων.
- 6) προσοχή πρέπει να δίνεται στην ασφαλή πρόσβαση του πληρώματος στους χώρους του καταστρώματος.

Στην περίπτωση αυτή, υπολογίζεται με διαφορετικό τρόπο το ύψος εξάλων θέρους και χαράσσονται οι εξής γραμμές φόρτωσης για τη μεταφορά ξυλείας στο κατάστρωμα:

Γραμμή Φόρτωσης Ξυλείας Θέρους (summer timber load line) με σύμβολο LS,

Γραμμή Φόρτωσης Ξυλείας Χειμώνα (winter timber load line) με σύμβολο LW

Γραμμή Φόρτωσης Ξυλείας Χειμώνα Β. Ατλαντικού (winter N. Atlantic timber load line) με σύμβολο L-WNA

Γραμμή Φόρτωσης Ξυλείας Τροπικών Περιοχών (tropical timber load line) με σύμβολο LT

Γραμμή Φόρτωσης Ξυλείας Γλυκού Νερού (fresh water timber load line) με σύμβολο LF

Γραμμή Φόρτωσης Ξυλείας Γλυκού νερού Τροπικών Περιοχών (tropical fresh water timber load line) με σύμβολο LTF

Λεπτομέρειες για την χάραξή τους φαίνονται στο σχήμα 14.1.

14.6 ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Η Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης 1966 συνοδεύεται από ένα παγκόσμιο χάρτη, όπου έχουν σημειωθεί οι ζώνες, οι περιοχές και οι εποχές.

Οι περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ως Ζώνη Θέρους είναι περιοχές όπου οι άνεμοι έντασης πάνω από 8 της κλίμακας Beaufort (Μπωφόρ) αποτελούν ποσοστό μέχρι 10%.

Αντίθετα στην Τροπική Ζώνη επικρατεί περισσότερη καλοκαιρία και οι άνεμοι έντασης πάνω από 8 Μπωφόρ αποτελούν ποσοστό 1%.

Επίσης, υπάρχουν και οι εποχιακές περιοχές χειμώνα - θέρους (seasonal winter) και θέρους - τροπική (seasonal tropical) όπου, ανάλογα με την ημερομηνία, χρησιμοποιούνται οι γραμμές φόρτωσης χειμώνα ή θέρους και θέρους ή τροπική, αντίστοιχα. Οι ημερομηνίες χαρακτηρισμού κάθε ζώνης δεν είναι κοινές, αλλά καθορίζονται χωριστά για κάθε ζώνη και είναι γραμμένες πάνω στο χάρτη. (Ο χάρτης επισυνάπτεται στο τέλος).

14.7 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

1) Όλη η Μεσόγειος είναι στην Ζώνη Θέρους. Τα πλοία που ταξιδεύουν μόνο στην Μεσόγειο μπορούν να έχουν χαραγμένη και να χρησιμοποιούν μόνο την Γραμμή Φόρτωσης Θέρους (S), ανεξάρτητα αν είναι χειμώνας ή καλοκαίρι.

Μία μικρή περιοχή στην Ν.Γαλλία θεωρείται εποχιακή περιοχή χειμώνα, για το διάστημα από 16/12 έως 15/3, για πλοία μήκους κάτω από 100 m. Αυτά τα πλοία, σε αυτήν την περιοχή και γι' αυτό το διάστημα, πρέπει να χρησιμοποιούν την Γραμμή Φόρτωσης Χειμώνα (W).

Τα ελληνικά επιβατηγά πλοία, που ταξιδεύουν στα νησιά μας, έχουν χαραγμένο μόνο τον δίσκο Γραμμής Φόρτωσης, γιατί μόνο αυτό το βύθισμα θέρους χρησιμοποιούν όλο το χρόνο.

2) Ένα μεγάλο πλοίο που ξεκινά από την Β.Αγγλία για τον Β.Καναδά στις 3 Φεβρουαρίου θα μπορεί να φορτώσει μέχρι την Γραμμή Φόρτωσης Χειμώνα, γιατί το ταξίδι του είναι σε εποχιακή περιοχή χειμώνα - θέρους.

Το ίδιο πλοίο, αν ξεκινήσει στις 3 Αυγούστου, θα

μπορεί να μεταφέρει περισσότερο φορτίο, αφού θα φορτώσει μέχρι την Γραμμή Φόρτωσης Θέρους.

Το ίδιο πλοίο, αν ξεκινήσει από Ν.Ισπανία για Κεντρική Αμερική θα φορτώσει μέχρι την Γραμμή Φόρτωσης Θέρους ανεξάρτητα από την ημερομηνία ταξιδιού, γιατί το ταξίδι του είναι όλο σε περιοχή θέρους.

Τέλος, αν το ίδιο πλοίο ξεκινήσει από Βραζιλία για Δ.Αφρική θα μπορεί να φορτώσει ακόμα περισσότερο, γιατί θα χρησιμοποιήσει την Γραμμή Φόρτωσης Τροπικών Περιοχών, αφού όλο το ταξίδι του είναι στην τροπική ζώνη.

3) Ένα πλοίο που ξεκινάει από την Ν. Ιαπωνία για το λιμάνι Port Darwin της Β.Αυστραλίας στις 10 Ιουνίου θα φορτώσει μέχρι την Γραμμή Φόρτωσης Θέρους, γιατί περνάει από εποχιακή περιοχή θέρους-τροπική.

Το ίδιο πλοίο, αν φορτώσει από Σιγκαπούρη για το ίδιο λιμάνι, ανεξάρτητα από την ημερομηνία ταξιδιού, θα φορτώσει περισσότερο μέχρι την Τροπική Γραμμή Φόρτωσης, γιατί όλο το ταξίδι είναι στην τροπική ζώνη.

14.8 ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Παρατήρηση: στην περίπτωση που το λιμάνι απόπλου βρίσκεται στην ίδια ζώνη με το λιμάνι κατάπλου, δεν υπάρχει πρόβλημα και ο υπολογισμός βυθισμάτων απόπλου και κατάπλου, καθώς και το ωφέλιμο φορτίο βρίσκονται κατά τα γνωστά. Πρόβλημα υπάρχει, όταν τα δύο λιμάνια βρίσκονται σε διαφορετικές ζώνες. Οι ασκήσεις που ακολουθούν επιλύουν το παραπάνω πρόβλημα.

Παράδειγμα 1:

Λιμένας απόπλου σε ζώνη μικρότερου βυθίσματος από την ζώνη λιμένος κατάπλου.

Ένα πλοίο έχει constants = 250t, daily consumption = 110t και T.P.I. = 150t. Το πλοίο πρόκειται να φορτώσει μέταλλευμα (mineral) στην 15/12, από Quebec (Canada) για Piraeus (Greece). Ημέρες ταξιδιού 15, Safety margin = 20%.

Ζητούνται:

α) Ωφέλιμο φορτίο, β) Βύθισμα (draft) κατάπλου.

Κατάστρωση σχεδίου

ZONE	DRAFT	DISTANCE	DW
Sailing Port WZ	40'06"	3.240	53.300
Arriving Port SZ	41'03"	2.000	54.650

Βλέπουμε από τον πίνακα ότι κατά τον απόπλου δεν επιτρέπεται να ξεπεράσουμε το Draft τις 40'06" και DW τους 53.300, που αντιστοιχούν στην Winter Zone, για το συγκεκριμένο πλοίο. Άρα, το cargo θα είναι

WDW - Αναγκαία Ταξιδιού

Cargo = WDW - (Bunkers + SM + Constants)

Bunkers + SM = 15 x 110 + 20% = 1.980t. Άρα:

Cargo = 53.300 - (1.980+250) = 53.300 - 2.230 = **51.070 t**

και Draft κατάπλου είναι: Draft απόπλου μείον την διαφορά από την κατανάλωση, δηλαδή:

Διαφορά κατανάλωσης = 1.980/150 = 13,2"

Draft_(κατάπλου) = Draft_(απόπλου) - Διαφ. Καταν. = 40'06" - 00'13,2" = 29'04,8"

Παράδειγμα 2:

Λιμένας απόπλου σε ζώνη μεγαλύτερου βυθίσματος από το λιμένα κατάπλου

Πλοίο έχει SDW=54.650t και Sdraft=41'03", Constants=250t, Speed=15 και DC=110t. Πρόκειται να φορτώσει σε SZ για λιμάνι σε WZ. T.P.I.=150t, SM=15%, WDW=53.300 και WDraft=40'06". Να βρεθεί το ωφέλιμο φορτίο. Distance= 5.400'.

Λύση:

Κατάστρωση σχεδίου

ZONE	DRAFT	DW
Sailing port SZ	41'03"	54.650
Arrival port WZ	40'06"	53.300

Βλέπουμε ότι από το λιμάνι απόπλου μπορούμε να

Ξεκινήσουμε με $DW = 54.650$ και $Draft = 41'03''$.
Επομένως, μπορούμε να φορτώσουμε ωφέλιμο φορτίο με βάση το SDW.

Υπολογισμός

$15 \times 24 = 360$ Distance running daily

$5.400 : 360 = 15$ Days of voyage

Total Consumption = $110 \times 15 = 1.650 + 15\% = 1.897t$

Άρα:

Cargo = SDW - (Αναγκαία + Constants) =

$$54.650 - (1.897 + 250) =$$

$$54.650 - 2.145 = \mathbf{52.505 \text{ L/T Cargo}}$$

Για να υπολογίσουμε το Draft κατάπλου πρέπει να διαιρέσουμε τις καθαρές καταναλώσεις με το TPI και, στη συνέχεια, να αφαιρέσουμε τη διαφορά που προκύπτει από το Draft απόπλου.

Δηλαδή:

$$1.650 : 150 = 11''$$

$$Draft_{(κατάπλου)} = 41'03'' - 00'11'' = 40'04''$$

Βλέπουμε, λοιπόν, ότι εισερχόμενοι στο λιμάνι κατάπλου με $Draft = 40'04''$, είμαστε $2''$ πιο χαμηλά από το επιτρεπόμενο $40'06''$. Άρα, δεν έχουμε πρόβλημα εισόδου.

Ερωτήσεις επανάληψης

- 1) Γιατί υπάρχει η γραμμή φόρτωσης;
- 2 Τι είναι η γραμμή καταστρώματος;
- 3) Τι είναι η εφεδρική πλευστότητα ;
- 4) Τι είναι ο δίσκος της γραμμής φόρτωσης;
- 5) Γιατί υπάρχουν πολλές γραμμές φόρτωσης;
- 6) Γιατί υπάρχουν γραμμές φόρτωσης ξυλείας;

Δραστηριότητες

- 1) Σε πλοία που βρίσκονται στο λιμάνι σας να εντοπίσετε τον δίσκο γραμμής φόρτωσης και τις τυχόν γραμμές φόρτωσης;
- 2) Ένα πλοίο που ξεκινάει από την Νορβηγία για τον Περσικό κόλπο μέσω Ν.Αφρικής πόσες ζώνες θα περάσει.;
Έχουν σημασία οι ημερομηνίες του ταξιδιού;
- 3) Ένα ελληνικό επιβατηγό πλοίο που εκτελεί την γραμμή Πειραιά - Ρόδο ποια γραμμή φόρτωσης πρέπει υποχρεωτικά να έχει χαραγμένη;
- 4) Αν το παραπάνω πλοίο ταξιδέψει μέχρι την Δανία ποιες γραμμές φόρτωσης πρέπει να έχει χαραγμένες;
- 5) Ένα πλοίο μπορεί να μεταφέρει περισσότερο φορτίο αν ταξιδεύει στην Μεσόγειο ή στην Ερυθρά θάλασσα ;

15. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΞΗΡΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

15.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ας υποθέσουμε ότι κρατάμε ένα μεγάλο χάρτινο κουτί. Μέσα σε αυτό μπορούμε εύκολα να βάλουμε άμμο ή φρούτα. Στην πρώτη περίπτωση μπορούμε να γεμίσουμε όλο το κουτί, στην δεύτερη όμως θα μείνει αρκετός ανεκμετάλετος χώρος.

Αν θελήσουμε να γεμίσουμε το κουτί με σίδηρα το πιθανότερο είναι να μην αντέξει το κουτί το μεγάλο βάρος και είτε θα σπάσει είτε θα πρέπει να αφαιρέσουμε βάρος από μέσα. Τα ίδια ακριβώς ισχύουν και στα πλοία κατά τις μεταφορές των ξηρών φορτίων, θέμα που θα αναλύσουμε σε αυτό το κεφάλαιο.

Όροι που πρέπει να μάθετε

- συντελεστής στοιβασίας
- συντελεστής φόρτωσης
- bale & grain capacity
- βαριά και ελαφριά φορτία
- απώλεια κυβικών

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- Τι συμβαίνει με τα φορτία που καταλαμβάνουν μεγάλο όγκο μέσα στο αμπάρι;
- Τι συμβαίνει με τα φορτία που καταλαμβάνουν μικρό όγκο;
- Γιατί το πλοίο έχει δύο capacity plans;
- Πώς αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα της απώλειας κυβικών;

15.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ (STOWAGE FACTOR, SF)

Ο **συντελεστής στοιβασίας** αποτελεί βασικό στοιχείο κάθε φορτίου και είναι ο αριθμός που μας δείχνει, στο μεν Αγγλικό σύστημα, πόσα κυβικά πόδια θα καταλάβει ένας τόνος ($L/T=1.016\text{kg}$) φορτίου μέσα στο χώρο αποθήκευσης (αμπάρι), στο δε μετρικό σύστημα πόσα κυβικά μέτρα θα καταλάβει, αντίστοιχα, ένας μετρικός τόννος ($M/T = 1.000 \text{ kg}$). Ο Σ.Σ. (SF) είναι διαφορετικός όχι μόνο για διαφορετικά φορτία, αλλά πολλές φορές και για το ίδιο είδος φορτίου, ανάλογα με το πώς επιδρά στο φορτίο η συγκεκριμένη κατάσταση του, η θερμοκρασία, η πυκνότητα και ο τρόπος συσκευασίας του.

Με άλλα λόγια ο SF εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, που καθορίζουν τελικά την τιμή του για συγκεκριμένη περίπτωση φόρτωσης.

Ο χώρος που θα καταλάβει το φορτίο είναι το γινόμενο του cargo επί τον SF.

Αυτό σημαίνει ότι φορτία που έχουν μεγάλο SF θα καταλάβουν μεγάλο όγκο, με αποτέλεσμα ο χώρος των αμπαριών να μην επαρκέσει για την παραλαβή ολόκληρου του ωφέλιμου φορτίου.

Αντίθετα, φορτία με μικρό SF θα καταλάβουν μικρό όγκο, με αποτέλεσμα να παραλάβουμε όλο το προς μεταφορά φορτίο, αλλά να μην καταληφθεί όλη η χωρητικότητα των κυτών του πλοίου.

Για τον αξιωματικό φόρτωσης προκύπτει, λοιπόν, το πρόβλημα αν, για συγκεκριμένο φορτίο, θα μπορέσει να εκμεταλλευθεί πλήρως την μεταφορική ικανότητα του πλοίου σε βάρος (cargo), αλλά και την διατιθέμενη **χωρητικότητα (capacity)**.

Με άλλα λόγια, αν το πλοίο μπορεί να παραλάβει ολόκληρο το φορτίο (DW - Αναγκαία), και ταυτόχρονα να καλυφθεί πλήρως η χωρητικότητα των κυτών. Αυτό αποτελεί την επιθυμία και τον στόχο του αξιωματικού φόρτωσης, πρώτον για λόγους ευστάθειας (κάλυψη της χωρητικότητας) και δεύτερον για λόγους οικονομικής εκμετάλλευσης (full cargo). Αυτή η συνθήκη φόρτωσης λέγεται **Ιδανική Συνθήκη Φόρτωσης (Full and Down Condition)**.

Για να συμβεί αυτό θα πρέπει ο **συντελεστής φόρτωσης (Loading Factor, LF)**, που προκύπτει από τον τύπο:

$$LF = \frac{\text{Total Capacity}}{\text{Cargo}}$$

να έχει την ίδια τιμή με τον συντελεστή στοιβασίας SF.

Όπως είναι γνωστό, τα διάφορα ξηρά φορτία φορτώνονται στο πλοίο με δύο κυρίως τρόπους: είτε **συσκευασμένα (bale cargoes)**, είτε **χύδην (bulk cargoes)**. Ιδιαίτερα για τα σιτηρά (φορτία που η υφή τους είναι σπόροι, κόκκοι, γεννήματα) χρησιμοποιείται ο όρος grain cargoes.

Είναι ευνόητο, λοιπόν, ότι άλλη χωρητικότητα (όγκο) θα καταλάβει ένα φορτίο συσκευασμένο (bale), όπως παλέτες, σάκοι, κούτες, κλπ, και άλλη χωρητικότητα ένα φορτίο χύδην (grain).

Γι' αυτό και κάθε φορηγό πλοίο έχει δύο πίνακες χωρητικότητας κυτών, δηλαδή δύο capacity plans. Ένα για φορτία bale, το bale capacity plan, και ένα για φορτία grain, το grain capacity plan. Σε αυτούς τους πίνακες χωρητικότητας μπορούμε να βρούμε τη χωρητικότητα κάθε κύτους χωριστά και για τα είδη φορτίων (βλ. capacity plan, στο τέλος του κεφαλαίου).

15.3 ΒΑΡΙΑ ΚΑΙ ΕΛΑΦΡΑ ΦΟΡΤΙΑ - ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΥΒΙΚΩΝ

Αν ο SF είναι ίσος με το LF, τότε θα παραλάβουμε ολόκληρο το φορτίο και τα αμπάρια θα καλυφθούν πλήρως από τον όγκο του φορτίου. Τότε, μιλάμε για κατάλληλο φορτίο και ισχύει η συνθήκη Full and Down Condition.

Αν ο SF είναι μεγαλύτερος από τον LF, τότε η χωρητικότητα των κυτών φθάνει για να παραλάβουμε μόνο μέρος του cargo. Τότε, μιλάμε για **ελαφρύ φορτίο**.

Αν ο SF είναι μικρότερος από τον LF, τότε θα παραλάβουμε ολόκληρο το προς μεταφορά φορτίο, αλλά δεν θα καταληφθεί πλήρως η υπάρχουσα σε αμπάρια χωρητικότητα. Τότε μιλούμε για **βαρύ φορτίο**.

Για τον υπολογισμό του φορτίου, όταν το φορτίο είναι ελαφρό, διαιρούμε την χωρητικότητα με το SF, δηλαδή:

$$\text{Cargo} = \frac{\text{Capacity}}{\text{SF}}$$

Όταν το φορτίο είναι βαρύ είναι σίγουρο ότι θα παραλάβουμε όλο ο φορτίο και απλώς ζητούμε να βρούμε πώς θα το κατανειμουμε σε κάθε αμπάρι. Τότε, χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$\text{Hold Cargo} = \text{Total cargo} \frac{\text{Hold Capacity}}{\text{Total Capacity}}$$

Στην πράξη έχει επικρατήσει ο διαχωρισμός, κατά τον οποίο φορτία που έχουν SF μεγαλύτερο από 40 ft³ θεωρούνται ελαφρά, ενώ όσα έχουν μικρότερο SF να θεωρούνται βαριά. Αυτό έχει σημασία για τις ναυλώσεις, όπου τα μεν ελαφρά φορτία πληρώνονται με βάση την χωρητικότητα σε ft³, τα δε βαριά πληρώνονται με τον τόνο, δηλαδή το βάρος.

Φορτία βαριά, κατά κανόνα, θεωρούνται τα σιδηρομεταλλεύματα (12ft³ ή 0,34m³), τα steel coils (10ft³ ή 0,28m³), οι σιδηροτροχιές (15ft³ ή 0,42m³), τα φωσάτα (30ft³ ή 0,84m³), και άλλα.

Φορτία ελαφρά θεωρούνται η ξυλεία (από 63 ft³ έως 75/80 ft³ ή 2m³ ή και αρκετά παραπάνω αν πρόκειται για ακατέργαστη ξυλεία), το βαμβάκι σε μπάλες ή άλλη συσκευασία (περίπου 145 ft³ ή 4m³), τα φρούτα γενικώς, κλπ.

Τον SF πρέπει να τον γνωρίζουμε πριν από την έναρξη της φόρτωσης, ώστε να είμαστε σε θέση να πραγματοποιήσουμε τη σωστή κατανομή του φορτίου στα αμπάρια.

Απώλεια κυβικών (Broken stowage).

Ειδικά για γενικά φορτία (general cargoes) έχουμε σοβαρή απώλεια κυβικών στο κύτος, γιατί, λόγω ακριβώς του διαφορετικού μεγέθους και σχήματος της συσκευασίας, δεν είναι εφικτό να γίνει πλήρης εκμετάλλευση του χώρου. Η απώλεια κυβικών μπορεί μερικές φορές να φτάσει και μέχρι το 30% της χωρητικότητας του κύτους. Αυτή η ανεκμετάλλευτη χωρητικότητα είναι γνωστή ως "λανθάνουσα χωρητικότητα" (broken stowage) ή κενό στοιβασίας.

Σημειώνεται ότι το ποσοστό απώλειας των κυβικών προστίθεται στον SF και τον αυξάνει ανάλογα. Δηλαδή, αν έχουμε broken stowage 10% και SF=50, τότε ο SF, με τον οποίο θα υπολογίσουμε το φορτίο, θα είναι 50+10%= 55ft³.

15.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΑ ΚΥΤΗ

Έχουμε ήδη αναφέρει το πώς βρίσκεται το ωφέλιμο φορτίο (cargo) αλλά και η διατιθέμενη χωρητικότητα του πλοίου σε m³ ή ft³.

Αυτό που απομένει στον αξιωματικό φόρτωσης να κάνει είναι η κατανομή του φορτίου στα κύτη. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται ανάλογα με το αν το φορτίο είναι ελαφρό ή βαρύ, σύμφωνα με τους τύπους της παραγράφου 3. Γνωρίζουμε, λοιπόν, ότι για ελαφρά φορτία θα χρησιμοποιήσουμε την σχέση :

$$\text{Βάρος φορτίου κύτους} = \frac{\text{Χωρητικότητα κύτους}}{\text{Συντελεστής στοιβασίας}}$$

Έτσι, μπορούμε να υπολογίσουμε πόσο, τελικά, φορτίο θα παραλάβουμε, καλύπτοντας όλη τη χωρητικότητα των κυτών.

Αντίθετα, για βαριά φορτία, που γνωρίζουμε ότι θα παραλάβουμε όλο το προς μεταφορά φορτίο αλλά δεν θα καλυφθεί η χωρητικότητα, θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο:

$$\text{Βάρος φορτ. κύτους} = \text{ωφέλ. φορτίο} \frac{\text{Χωρ/τα κύτους}}{\text{Ολική χωρ/τα σιάφους}}$$

15.5 ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

Άσκηση 1

Ένα πλοίο έχει 4 κύτη χωρητικότητας: N°1= 15.000ft³, N°2=25.000ft³, N°3=23.000ft³, N°4=17.000ft³. Να βρεθεί: α) για φορτίο σιδηρομεταλλεύματος με SF= 12ft³, και β) για φορτίο σιτηρών με SF= 50ft³, πόσοι τόνοι θα φορτωθούν σε κάθε κύτος και ποια χωρητικότητα θα καλύψει κάθε φορτίο χωριστά.

Λύση:

$$\Sigma. \Phi. (LF) = \frac{\text{Total Capacity}}{\text{Cargo}} = \frac{80.000}{3.000} = 26,7 \text{ ft}^3.$$

Άρα, το πρώτο φορτίο με SF= 12ft³ είναι βαρύ και το δεύτερο φορτίο με SF= 50ft³ είναι ελαφρό.

α)

$$\text{No1: Hold cargo} = \text{Cargo} \cdot \frac{\text{Hold Cap}}{\text{Total Cap}} = 3.000 \cdot \frac{15.000}{80.000} = 562,5 \text{ t}$$

$$\text{Χωρ.}: 562,5 \times 12 = 6.750 \text{ ft}^3$$

$$\text{No2: Hold cargo} = \text{Cargo} \cdot \frac{\text{Hold Cap}}{\text{Total Cap}} = 3.000 \cdot \frac{25.000}{80.000} = 937,5 \text{ t}$$

$$\text{Χωρ.}: 937,5 \times 12 = 12.250 \text{ ft}^3$$

$$\text{No3: Hold cargo} = \text{Cargo} \cdot \frac{\text{Hold Cap}}{\text{Total Cap}} = 3.000 \cdot \frac{23.000}{80.000} = 862,5 \text{ t}$$

$$\text{Χωρ.}: 862,5 \times 12 = 10.350 \text{ ft}^3$$

$$\text{No4: Hold cargo} = \text{Cargo} \cdot \frac{\text{Hold Cap}}{\text{Total Cap}} = 3.000 \cdot \frac{17.000}{80.000} = 637,5 \text{ t}$$

$$\text{Χωρ.}: 637,5 \times 12 = 7.650 \text{ ft}^3$$

$$\text{Total Cargo} = 3.000 \text{ t}$$

$$\text{Capacity (που θα καταληφθεί)} = 37.000 \text{ ft}^3$$

Άρα, παραλαμβάνεται όλο το φορτίο και μένει ανεκμετάλλευτη χωρητικότητα

$$(80.000 - 37.000) = 43.000 \text{ ft}^3$$

β)

$$\text{Total Cargo} = \frac{\text{Total Capacity}}{\text{SF}} = \frac{80.000 \text{ ft}^3}{50 \text{ ft}^3} = 1.600 \text{ t}$$

Άρα, το φορτίο που θα παραλάβουμε στη δεύτερη περίπτωση, θα είναι μόνο 1.600t και η κατανομή στα κύτη θα γίνει ως εξής:

$$\text{N}^{\circ}1 : \text{Total Cargo} = \frac{\text{Hold Capacity}}{\text{SF}} = \frac{15.000 \text{ ft}^3}{50 \text{ ft}^3} = 300 \text{ t}$$

$$\text{N}^{\circ}2 : \text{Total Cargo} = \frac{\text{Hold Capacity}}{\text{SF}} = \frac{25.000 \text{ ft}^3}{50 \text{ ft}^3} = 500 \text{ t}$$

$$\text{N}^{\circ}3 : \text{Total Cargo} = \frac{\text{Hold Capacity}}{\text{SF}} = \frac{23.000 \text{ ft}^3}{50 \text{ ft}^3} = 460 \text{ t}$$

$$\text{N}^{\circ}4 : \text{Total Cargo} = \frac{\text{Hold Capacity}}{\text{SF}} = \frac{17.000 \text{ ft}^3}{50 \text{ ft}^3} = 340 \text{ t}$$

Άσκηση 2

Ένα πλοίο έχει DW= 17.179 Μ.Τ., Bunkers= 2.850Μ.Τ., Χωρητικότητα ολική= 21.171 m³, Χωρητικότητα κυτών: N^ο1= 3.795m³, N^ο2= 4.625m³, N^ο3= 3.958m³, N^ο4= 4.579m³, N^ο5= 4.214m³. Πρόκειται να παραλάβει φορτίο με SF= 1,8m³. Να βρεθεί πόσο φορτίο θα παραλάβει και να γίνει η κατανομή στα κύτη.

Λύση:

$$\text{Cargo} = \text{DW} - \text{Bunkers} = 17.179 - 2.850 = 14.329$$

Άρα, ωφέλιμο προς παραλαβή φορτίο = 14.329ΜΤ

$$\text{LF} = \frac{\text{Capacity}}{\text{Cargo}} = \frac{21.171}{14.329} = 1,47$$

Άρα, το φορτίο είναι ελαφρό, επομένως δεν θα παραληφθεί όλη η ποσότητα, αλλά θα καλυφθεί όλη η χωρητικότητα του σκάφους.

$$\text{N}^{\circ}1: \frac{\text{Hold Cap}}{\text{SF}} = \frac{3.795 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3} = 2.108,33 \text{ m}^3$$

$$\text{N}^{\circ}2: \frac{\text{Hold Cap}}{\text{SF}} = \frac{4.625 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3} = 2.569,44 \text{ m}^3$$

$$\text{N}^{\circ}3: \frac{\text{Hold Cap}}{\text{SF}} = \frac{3.958 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3} = 2.198,88 \text{ m}^3$$

$$\text{N}^{\circ}4: \frac{\text{Hold Cap}}{\text{SF}} = \frac{4.579 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3} = 2.543,88 \text{ m}^3$$

$$\text{N}^{\circ}5: \frac{\text{Hold Cap}}{\text{SF}} = \frac{4.214 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3} = 2.341,11 \text{ m}^3$$

$$\text{Total Cargo} = 11.761,64 \text{ MT}$$

**Πίνακες χωρητικότητας κυτών πλοίου τύπου FREEDOM για χύδην και
συσκευασμένα φορτία (capacity plans)**

CARGO HOLD GRAIN CAPACITY PLAN					
ITEM	POSITION	CAPACITY (100% FULL)		LCG	KG
	Fr No	M ³	Ft ³	M	M
No 1 cargo hold	144-172	3795,1	134022	115,43	7,06
No 2 cargo hold	116-144	4625,6	163351	95,31	6,81
No 3 cargo hold	92-116	3958,6	139796	75,75	6,78
No 4 cargo hold	64-92	4579,3	161716	56,34	6,82
No 5 cargo hold	36-64	4214,5	148834	36,05	7,09
TOTAL		21173,1	747719		

CARGO HOLD BALE CAPACITY PLAN					
ITEM	POSITION	CAPACITY (100% , FULL)		LCG	KG
	Fr No	M ³	Ft ³	M	M
No 1 cargo hold	144-172	3742,0	132147	115,48	7,39
No 2 cargo hold	116-144	4584,5	161901	95,33	7,16
No 3 cargo hold	92-116	3962,9	139949	75,75	7,16
No 4 cargo hold	64-92	4591,3	162141	56,14	7,18
No 5 cargo hold	36-64	4192,2	148047	35,59	7,45
TOTAL		21072,9	744185		

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ

1. Τι είναι ο stowage factor και ο loading factor;
2. Ποια φορτία ονομάζονται bale και ποια grain;
3. Τι είναι capacity plan ενός φορτηγού πλοίου; Πόσα είδη υπάρχουν;
4. Ποια φορτία θεωρούνται ελαφρά και ποια βαριά, και γιατί;
5. Τι είναι η απώλεια κυβικών (Broken Stowage) πότε συμβαίνει και πώς αντιμετωπίζεται;
6. Τι είναι η Ιδανική Συνθήκη Φόρτωσης;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Φτιάξε ένα κύβο διαστάσεων 0,30 x 0,30 x 0,30 και τοποθέτησε μέσα, διαδοχικά, ένα κιλό άμμο και ένα κιλό πορτοκάλια για να καταλάβεις τη διαφορά των δύο φορτίων.
2. Μελέτησε με τον καθηγητή σου ένα Capacity Plan ενός φορτηγού πλοίου γενικού φορτίου.

16 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ

16.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος διαγωγή αναφέρεται στη σχέση του προωραίου και του προμναίου βυθίσματος του πλοίου. Δηλαδή, πόσο βυθισμένη στο νερό είναι η πλώρη ή η πρύμνη. Είναι σημαντικό μέγεθος του πλοίου, που αφορά άμεσα και την ασφάλεια ναυσιπλοίας και την διαμήκη ευστάθεια του πλοίου.

Σ' αυτό λοιπόν το κεφάλαιο, θα μάθουμε πως πρέπει να φορτώνουμε το πλοίο έτσι ώστε να επιτυγχάνουμε τη διαγωγή που εμείς επιθυμούμε, αλλά και πώς σε κάποια δεδομένη στιγμή μπορούμε να προκαλέσουμε με τη θέλησή μας κάποια συγκεκριμένη διαγωγή, με τη μετακίνηση βαρών από ένα σημείο του πλοίου σε ένα άλλο.

Όροι που πρέπει να μάθετε

- διαγωγή, αρχική - τελική
- μεταβολή διαγωγής
- διάμηκες κέντρο βάρους (LCG)
- διάμηκες κέντρο άντωσης (LCB)
- μονάδα ροπής διαγωγής

Καθώς θα διαβάζετε και θα μελετάτε το κεφάλαιο αυτό, θα βρείτε απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως:

- Πώς μπορούμε να μεταβάλουμε κατά την επιθυμία μας, τη διαγωγή του πλοίου;
- Τι συμβαίνει όταν μετακινήσουμε ένα βάρος κατά το διάμηκες;

16.2 ΓΕΝΙΚΑ

Διαγωγή (Trimming) του πλοίου ονομάζεται η διαφορά βυθισμάτων ΠΡ και ΠΜ.

Όπως ήδη αναφέραμε και στο κεφάλαιο 12 περί βυθισμάτων, όταν το ΠΡ είναι μεγαλύτερο από το ΠΜ βύθισμα, τότε λέμε ότι το πλοίο έχει **προωραία διαγωγή** (έμπροωρο - by head). Όταν το ΠΜ είναι μεγαλύτερο από το ΠΡ βύθισμα, τότε το πλοίο έχει **πρυμναία διαγωγή** (έμπρυμνο - by stern). Ενώ, όταν η διαγωγή είναι μηδέν, δηλαδή $DF = DA$, τότε λέμε ότι το πλοίο είναι **ισοβύθιστο** (even keel).

16.3 ΑΡΧΙΚΗ-ΤΕΛΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΙΑΓΩΓΗΣ

α) **Αρχική διαγωγή** (initial trimming) ονομάζεται η διαγωγή που έχει το πλοίο, πριν από οποιαδήποτε μεταβολή της διαμήκους κλίσης, που επηρεάζει τη διαφορά μεταξύ του ΠΡ και του ΠΜ βυθίσματος, όπως π.χ. η διαγωγή μετά από μερική φόρτωση ή εκφόρτωση ή ερματισμό.

β) **Τελική διαγωγή** (final trimming) είναι η διαγωγή που προκύπτει μετά από γενόμενη διαμήκη κλίση του πλοίου που επηρεάζει την αρχική διαφορά ΠΡ και ΠΜ βυθίσματος όπως π.χ. η ολοκλήρωση φόρτωσης.

γ) **Μεταβολή διαγωγής** (change of trimming) ονομάζεται η διαφορά μεταξύ αρχικής και τελικής διαγωγής, δηλαδή η συνολική διαφορά μεταξύ τελικών και αρχικών βυθισμάτων.

Η μεταβολή διαγωγής προκαλείται λόγω της διαμήκους μεταφοράς βαρών.

Χαρακτηρίζεται ως **προωραία**, αν αυξηθεί το ΒΠΡ, και ως **πρυμναία**, αν αυξηθεί το ΒΠΜ.

Στα προβλήματα που αντιμετωπίζει καθημερινά ο αξιωματικός φόρτωσης στο πλοίο, το ζητούμενο, συνήθως, είναι ο υπολογισμός είτε της τελικής διαγωγής είτε της μεταβολής διαγωγής.

Τα δύο αυτά ποσά συνδέονται με τους τύπους:

$$I) \text{ Τελ. διαγωγή} = \text{Αρχ. διαγωγή} \pm \text{Μεταβ. Διαγωγής} \\ \text{OM} \\ \text{ET}$$

Μεταβολή διαγωγής **ομόνυμη** προς την αρχική αυξάνει την τελική διαγωγή, ενώ μεταβολή **ετερόνυμη** προς την αρχική ελαττώνει την τελική διαγωγή.

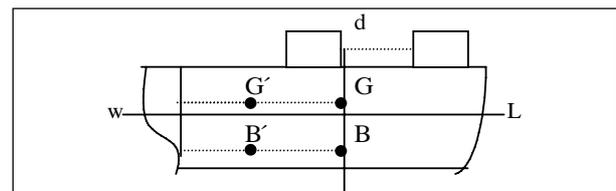
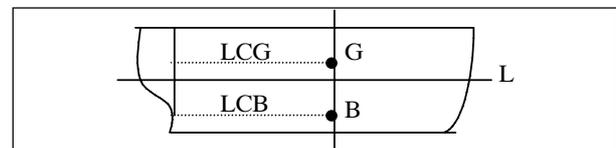
$$II) \text{ Μεταβ. διαγωγής} = \text{Αρχ. διαγωγή} \pm \text{Τελ. Διαγωγή} \\ \text{OM}$$

Όταν η αρχική και η τελική διαγωγή είναι **ετερόνυμες**, η μεταβολή παίρνει το χαρακτηρισμό της τελικής. Όταν η τελική είναι μικρότερη της αρχικής, τότε η μεταβολή είναι ετερόνυμη της τελικής.

16.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ ΜΕ LCB ΚΑΙ LCG

Όταν ένα πλοίο ισορροπεί στο νερό, τότε το G είναι ακριβώς πάνω από το B, ώστε η δύναμη του βάρους G να εξισορροπείται πλήρως από τη δύναμη της άνωσης B και να μην αναπτύσσονται ροπές κατά το διάμηκες.

Στην περίπτωση αυτή $LCB = LCG$, δηλαδή η διαμήκης διαφορά B και G είναι μηδενική (σχήμα 16.1).



Σχ. 16.1 Μεταβολή της διαγωγής λόγω διαμήκους μετακίνησης βαρών

Η παραπάνω συνθήκη ισορροπίας μπορεί να διαταραχθεί μόνο, όταν μεταβληθεί η διαμήκης θέση είτε του G είτε του B, δηλαδή όταν το LCG γίνει μικρότερο ή μεγαλύτερο του LCB, οπότε και θα σχηματιστεί ζεύγος δυνάμεων.

Στην καθημερινή πρακτική πάνω στο πλοίο, είναι συνηθισμένη η περίπτωση της μεταβολής της θέσης του G, που μπορεί να προκύψει λόγω της διαμήκους μεταφοράς βαρών (φορτίου ή έρματος ή καυσίμων).

Όταν, λοιπόν, συμβεί αυτή η διαμήκης μεταφορά, θα μεταβληθεί η θέση του G και θα δημιουργηθεί το ζεύγος δυνάμεων που αναφέρουμε παραπάνω. Ζεύγος δυνάμεων, όμως, είναι γνωστό ότι προκαλεί ροπή. Άρα, η προκαλούμενη ΠΡ ή ΠΜ κλίση και, άρα, η προκαλούμενη μεταβολή διαγωγής εξαρτώνται από το μέγεθος της ροπής που προκαλεί η μεταφορά του βάρους κατά το διάμηκες.

Η θέση του LCB βρίσκεται από τις υδροστατικές καμπύλες του πλοίου, ενώ το LCG κατά τα γνωστά. Η διαμήκης διαφορά LCB και LCG μας δίνει τον μοχλοβραχίονα GB.

Έτσι, γνωρίζοντας, για ορισμένη κατάσταση φόρτου του πλοίου, το GB και το εκτόπισμα (W), βρίσκουμε τη ροπή GB x W σε τοννόμετρα ή τονόποδες, που θα είναι προς ΠΡ, αν το G είναι πύωρα του B, ή προς ΠΜ, αν το G είναι πύμα του B. Οι ροπές αυτές, βεβαίως, θα προκαλέσουν και την αντίστοιχη διαγωγή. Έχοντας γνωστό, από τις υδροστατικές καμπύλες, και τη ροπή διαγωγής ανά μονάδα, δηλαδή το MTI ή το MTC, ανάλογα αν αναφερόμαστε σε μία ίντσα ή σε ένα εκατοστό, μπορούμε να βρούμε την τελική διαγωγή με τον τύπο:

$$\text{Τελ. διαγωγή} = \frac{\text{Τελική Ροπή}}{\text{Ροπή Διαγωγής Μονάδος}}$$

$$\text{Trim} = \frac{\text{GB} \times \text{W}}{\text{MTI ή MTC}}$$

MTI = Moments of Change of Trimming per inch, δηλ. ροπή για να μεταβληθεί η διαγωγή κατά μία ίντσα.

MTC = Moments of Change of Trimming per centimeter, δηλ. τι ροπή πρέπει να δημιουργηθεί, ώστε το πλοίο να αλλάξει διαγωγή κατά ένα εκατοστό.

Κατάστρωση σχεδίου

ITEM	WEIGHT	LCG	MOMENT
Light ship	9.144,0	70,10	640.994,40
Constants	101,6	45,72	4.645,15
DB 1	203,2	137,16	27.870,91

DB 2	304,8	106,68	32.516,06
F.W.T.	101,6	76,2	7.741,92
Hold No1	8.128,0	134,11	1.090.046,00
Hold No2	10.160,0	103,63	1.052.880,80
Hold No3	7.112,0	79,25	563.626,00
Hold No4	9.144,0	51,82	473.842,08
Hold No5	6.096,0	30,48	185.806,08
Hold No6	4.064,0	15,24	61.935,36
	54.559,2	75,91	4.141.904,50

$$\text{LCG} = \frac{\text{Total Moments}}{\text{Total Weight}} = \frac{4.141.904,5}{53.559,2} = 75,91\text{m}$$

$$\text{GB} = \text{LCG} - \text{LCB} = 75,91 - 73,15 = 2,76 \text{ Πρωραία (γιατί LCG} > \text{LCB)}$$

$$\text{Από τα στοιχεία του πλοίου έχουμε MTC} = 1.464 \text{ tm και DM} = 10,67\text{m}$$

Εύρεση διαγωγής

$$\text{Trim} = \frac{\text{GB} \times \text{W}}{\text{MTC}} = \frac{2,76 \times 54.559,2}{1.464} = 102,85\text{cm} = 1,03 \text{ m}$$

$$\text{Trim} = 1,03 \text{ ΠΡ}$$

$$\begin{aligned} \text{Επομένως: DF} &= \text{DM} + \frac{\text{Trim}}{2} = \frac{1,03}{2} = \\ &= 10,67 + 0,51 = 11,18 \text{ και} \end{aligned}$$

$$\text{DA} = \text{DM} - \frac{\text{Trim}}{2} = 10,67 - 0,51 = 10,16$$

Το πλοίο είναι, δηλαδή, περίπου 1m εμπροωρο, πράγμα γενικά μη επιθυμητό, άρα θα πρέπει να επανεξετασθεί η φόρτωση, ώστε το πλοίο να αποκτήσει εμπρομνη διαγωγή, τουλάχιστον 0,50cm. Πρέπει να διορθώσουμε τη διαγωγή με τη μεταφορά βαρών από προωραίους χώρους σε πρυμναίους. Ενεργούμε, λοιπόν, ως εξής:

$$\text{Final Trim} = 1,03 \text{ ΠΡ}$$

$$\text{Wanted Trim} = 0,50 \text{ ΠΜ}$$

Απαιτούμενα Μετ. Trim = 1,03 + 0,50 ΠΡ = 1,53
ΠΜ

Άρα:

Μετ. Ροπής = Μετ. Trim · MTC = 153cm x 1.464t
= 2.239,92 tm

Αποφασίζουμε να μεταφέρουμε βάρη από το Νο1
στο Νο6 κύτος, των οποίων η διαμήκης απόσταση
είναι 134,11 - 15,24 = 118,9m.

Δηλαδή:

$$\text{Moment} = w \cdot d \Rightarrow w = \frac{\text{Moment}}{d} = \frac{2.239,92}{118,9} = 1.883,87t$$

τα οποία πρέπει να μεταφερθούν από το Νο1 στο
Νο6 κύτος.

Επομένως, στο αρχικό πλάνο φόρτωσης πρέπει να
αλλάξουν και οι ποσότητες των κυτών Νο1 και Νο6.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ

1. Τι ονομάζεται διαγωγή ενός πλοίου;
2. Πώς μπορεί ένα πλοίο να αποκτήσει διαγωγή;
3. Πότε ένα πλοίο λέγεται ότι έχει προραία ή πρυμναία διαγωγή;
4. Πότε ένα πλοίο είναι ισοβύθιστο;
5. Τι είναι αρχική διαγωγή, τελική διαγωγή και τι μεταβολή διαγωγής;
6. Τι συμβαίνει όταν μετακινηθεί ένα βάρος και το διάμηκες πάνω στο πλοίο;
7. Τι είναι ΜΤC και ΜΤΙ;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Να επιλύσετε και άλλες ασκήσεις με τη βοήθεια του καθηγητή.

17. ΟΡΙΣΜΟΙ

- **άντωση** (buoyancy). Είναι η συνισταμένη όλων των υδροστατικών δυνάμεων που ασκούνται στο πλοίο από το νερό και είναι κατακόρυφη με φορά προς τα πάνω.
- **βήμα του έλικα** (pitch). Η απόσταση που θα προχωρούσε, κατά μήκος του άξονα του έλικα, το πτερύγιο σε μια πλήρη περιστροφή του.
- **βοηθητικά πλοία** (auxiliary ships), όπως ρυμουλκά, πλωτοί γερανοί, φορηγίδες, πλωτές δεξαμενές στα ναυπηγεία κλπ.
- **βύθισμα** (draft). Το ύψος της γάστρας που είναι βυθισμένο στο νερό.
 - **πρωραίο βύθισμα**. Το βύθισμα στην πρωραία κάθετο
 - **πρυμναίο βύθισμα**. Το βύθισμα στην πρυμναία κάθετο.
 - **μέσο βύθισμα**. Το βύθισμα στη θέση της μέσης τομής, δηλ. στη μέση θέση ανάμεσα στην πρυμναία και την πρωραία κάθετο.
- **γάστρα** (hull). Το κοίλο τμήμα του πλοίου που έρχεται σε επαφή με το νερό και είναι υδατοστεγές.
- **γραμμή καταστρώματος** (deck line). Η γραμμή που χαράσσεται στις πλευρές του πλοίου στο ύψος όπου η νοητή προέκταση της πάνω πλευράς του καταστρώματος τέμνει την εξωτερική πλευρά του πλοίου.
- **γραμμή φόρτωσης του Plimsoll** (load line). Είναι ένας δίσκος με μια οριζόντια γραμμή, χαράγμένα στις πλευρές του πλοίου, που δείχνει το μέγιστο βύθισμα μέχρι το οποίο επιτρέπεται από πλευράς ασφαλείας η φόρτωση του πλοίου.
- **δεξαμενόπλοιο** (tanker). Είδος πλοίου που μεταφέρει υγρά φορτία όπως καύσιμα, πετρέλαιο κλπ
- **διαγωγή** (trim). Η διαφορά του πρωραίου από το πρυμναίο βύθισμα. Χαρακτηρίζεται ως έμπρυσμη ή έμπρωςρη, ανάλογα με το αν υπερτερεί το πρυμναίο ή το πρωραίο βύθισμα.
- **διατοιχισμός** (roll). Η περιστροφή του πλοίου περί διαμήκη άξονα.
- **εκτόπισμα πλοίου** (displacement). Το βάρος του νερού που εκτοπίζει (καταλαμβάνει) ο όγκος του πλοίου που βρίσκεται κάτω από το νερό. Το εκτόπισμα ισούται σύμφωνα με την αρχή του Αρχιμήδη, με το βάρος του πλοίου.
- **εμπορικά πλοία** (merchant ships). Πλοία που ο πλοιοκτήτης τους τα χρησιμοποιεί για εμπορικές πράξεις όπως μεταφορές, ναυλώσεις, εκτέλεση εργασιών κλπ
- **επιβατηγά πλοία** (passenger ships). Πλοία που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά επιβατών.
- **επιβατηγά-οχηματαγωγά** (ferries). Πλοία που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά επιβατών και οχημάτων.
- **ίσαλος γραμμή**. (waterline). Η γραμμή όπου η επιφάνεια της θάλασσας τέμνει τη γάστρα στα πλευρά του πλοίου. Η γραμμή αυτή καλείται και ίσαλος σχεδίασης, εφόσον ο σχεδιαστής θεωρεί ότι το πλοίο θα ισορροπεί σ' αυτή τη θέση. Ανάλογα με τη φόρτωση του πλοίου διακρίνεται σε άφορτη ή έμφορτη ίσαλο.
- **καιροστεγής κατασκευή** (weathertight). Σε οποιαδήποτε κατάσταση θάλασσας το νερό δεν μπορεί να περάσει στο εσωτερικό της κατασκευής. Ο όρος αυτός αναφέρεται σε κατασκευές πάνω από την ίσαλο γραμμή.
- **κέντρο βάρους G** (center of gravity). Είναι το σημείο στο οποίο η δύναμη του βάρους του σώματος ενεργεί κάθετα προς τα κάτω.
- **κέντρο αντώσεως B** (center of buoyancy). Το σημείο που ασκείται η άντωση με φορά προς τα πάνω.

- **κοίλο** (depth). Το συνολικό ύψος της γάστρας
- **κύριο κατάστρωμα** (main deck). Το πάνω μέρος της γάστρας που τη σκεπάζει στεγανά.
- **κυρτότητα καταστρώματος** (camber). Η καμπυλότητα προς τα πάνω που παρουσιάζει το κατάστρωμα του πλοίου κατά το εγκάρσιο.
- **κύτος** (hold). Το μέρος του πλοίου που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά φορτίων.
- **μετάκεντρο** (metacenter). Το σημείο M όπου η άντωση τέμνει τον εγκάρσιο άξονα του πλοίου. Είναι το σημείο περί το οποίο κλίνει το πλοίο κατά το εγκάρσιο.
- **μοχλοβραχίονας επαναφοράς** (righting arm). Η απόσταση GZ ανάμεσα στην κατακόρυφο του βάρους και της αντήσεως.
- **μετακεντρικό ύψος** (metacentric height). Η απόσταση GM ανάμεσα στο κέντρο βάρους G και το μετάκεντρο M. Η απόσταση αυτή είναι κριτήριο της ευστάθειας σε μικρές γωνίες κλίσεως.
- **νεκρό βάρος** (dead weight) Ο όρος είναι πιστή μετάφραση του αγγλικού όρου και είναι το σύνολο των επιμέρους βαρών και φορτίων που μπορεί να φορτώσει ένα τελείως κενό πλοίο.
- **οριακό στρώμα**. Η περιοχή του νερού ανάμεσα στο σώμα του πλοίου και τις στρώσεις του νερού που είναι ακίνητες. Εναλλακτικά είναι οι στρώσεις του νερού που συμπαρασύρει το πλοίο κατά την πλεύση του.
- **πλήμνη του έλικα**. Το κεντρικό του τμήμα όπου στηρίζονται τα πτερύγια του.
- **πλοία αναψυχής** (pleasure yachts). Επιβατηγά πλοία που ο ιδιοκτήτης τους τα χρησιμοποιεί αποκλειστικά για αναψυχή.
- **πλοία μεταφοράς χύδην φορτίων** (bulk carriers). Τα πλοία που μεταφέρουν χύδην φορτία όπως είναι τα δημητριακά, τα μεταλλεύματα, τα λιπάσματα, τα χρώματα, κλπ.
- **πλώρη ή πλώρα** (bow). Το μπροστινό τμήμα της γάστρας.
- **πολεμικά πλοία** (naval ships). Κρατικά πλοία που χρησιμοποιεί το πολεμικό ναυτικό κάθε χώρας.
- **προνευτασμός** (pitch). Η περιστροφή του πλοίου περί εγκάρσιο άξονα
- **πρύμνη** (stern). Το πίσω τμήμα της γάστρας.
- **πυθμένας** (bottom). Το κάτω μέρος της γάστρας.
- **ροπή δύναμης** (moment). Είναι ένα διανυσματικό μέγεθος, που έχει μέτρο το γινόμενο της έντασης της δύναμης επί την απόστασή της από άξονα ή σημείο.
- **σιμότητα** (sheer). Η καμπυλότητα, με τα κοίλα προς τα πάνω, που εμφανίζει το κατάστρωμα κατά το διάμηκες. Αυτή η διαμόρφωση αυξάνει το ύψος εξάλων στην περιοχή της πλώρας και περιορίζει τη διαβροχή (βρέξιμο) του καταστρώματος.
- **σημαντικό ύψος κύματος** (significant wave height). Η μέση τιμή των 1/3 υψηλότερων κυμάτων όταν τα κατατάξουμε σε σειρά φθίνοντος μεγέθους.
- **σπηλαιώση** (cavitation). Το φαινόμενο όπου το νερό στην πίσω (πάνω) πλευρά των πτερυγίων του έλικα, ατμοποιείται λόγω χαμηλής στατικής πίεσης. Το φαινόμενο της σπηλαιώσης πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε υπόψη γιατί καταστρέφει τον έλικα. Αν, στη συνέχεια, η στατική πίεση αυξηθεί πάλι (προς το χείλος εκφυγής, στο πίσω μέρος της υδροτομής) τότε ο υδρατμός γίνεται πάλι νερό. Η υγροποίηση του υδρατμού συνοδεύεται από έντονο κρουστικό φαινόμενο που καταστρέφει την επιφάνεια του έλικα και χαρακτηρίζεται ως μηχανική διάβρωση λόγω σπηλαιώσης
- **συντελεστής γάστρας** C_B . Ο λόγος του όγκου του πλοίου ∇ προς τον όγκο του ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου με μήκος το μήκος L_{WL} του πλοίου, πλάτος το πλάτος B_{WL} και ύψος το βύθισμα T του πλοίου.
- **συντελεστής της ισάλου επιφανείας** C_{WP} . Ο λόγος της επιφάνειας της ισάλου προς το γινόμενο του μήκους επί το πλάτος της ισάλου.
- **συντελεστής μέσου νομέα ή μέσης τομής** C_M . Ο

λόγος της επιφάνειας του μέσου νομέα προς το εμβαδόν του περιγεγραμμένου παραλληλόγραμμου με πλάτος το πλάτος B_{WL} και ύψος το κοίλο του πλοίου.

- **συντελεστής στοιβασίας**. (Stowage factor). Αποτελεί βασικό στοιχείο κάθε φορτίου και είναι ο αριθμός που μας δείχνει τον όγκο που θα καταλάβει ένας τόννος φορτίου.
- **τρόπιδα ή καρίνα** (keel). Το κεντρικό τμήμα του πυθμένα, που είναι ενισχυμένο και αποτελεί το πρώτο τμήμα που κατασκευάζεται κατά τη ναυπήγηση ενός πλοίου.
- **υπερκατασκευές** (superstructures). Οι χώροι του πλοίου πάνω από το κατάστρωμα.
- **ύφαλα**. Το μέρος του πλοίου που είναι μέσα στο νερό.
- **ύψος εξάλων** (freeboard). Το ύψος της γάστρας που είναι έξω από το νερό, δηλ. η κατακόρυφη απόσταση από την έμφορτη ίσαλο μέχρι το κατάστρωμα. Το ύψος εξάλων της Σύμβασης περί Γραμμών Φορτώσεως μετριέται στη μέση του πλοίου και είναι η κατακόρυφη απόσταση από την πάνω ακμή της γραμμής καταστρώματος μέχρι την πάνω ακμή της γραμμής φόρτωσης.
- **φορηγά πλοία** (cargo ships). Πλοία που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά όλων των ειδών φορτίων όπως χύδην, υγρών, συσκευασμένων κλπ.
- **φυσική περίοδος διατοιχισμού**. Η περίοδος της ταλάντωσης του πλοίου περί διαμήκη άξονα εφόσον εξασκηθεί μια ροπή εγκάρσιας κλίσης για μικρό χρονικό διάστημα.
- **sagging**. Η κάμψη της δοκού του πλοίου με τα κοίλα προς τα πάνω, όταν υπερτερεί το βάρος περί το μέσον του πλοίου και η άντωση περί τα άκρα.
- **hogging**. Η κάμψη της δοκού του πλοίου με τα κοίλα προς τα κάτω, όταν υπερτερεί το βάρος περί τα άκρα του πλοίου και η άντωση περί το μέσον.
- **TPI**. Το βάρος που απαιτείται για να μεταβληθεί το βύθισμα κατά μία ίντσα.
- **TPC**. Το βάρος που απαιτείται για να μεταβληθεί το βύθισμα κατά ένα εκατοστό.
- **MTI**. Η ροπή που απαιτείται για να μεταβληθεί η διαγωγή κατά μία ίντσα.
- **MTC**. Η ροπή που απαιτείται για να μεταβληθεί η διαγωγή κατά ένα εκατοστό.

60°

0°

60°

CHART OF ZONES

