

Συστήματα ενίσχυσης πλοίων

2.1 Διαμήκη, εγκάρσια και μικτά συστήματα σκελετών

Το πλοίο αποτελείται από ένα σύνολο κατασκευαστικών στοιχείων, που όλα μαζί συνθέτουν την μεταλλική κατασκευή. Η αρχική επιδίωξη της μεταλλικής κατασκευής είναι το πλοίο να είναι στεγανό και η μορφή της γάστρας του να έχει θετική πλευστότητα. Θα πρέπει όμως η μεταλλική αυτή κατασκευή να ανταποκρίνεται και στις απαιτήσεις αντοχής των καταπονήσεων που δέχεται το πλοίο. Οι καταπονήσεις αυτές προέρχονται από το ίδιο το βάρος της κατασκευής, την άντωση από την θάλασσα, το φορτίο, τα κύματα και μπορεί να καταπονούν την κατασκευή συνολικά ή τοπικά.

Κατά την σχεδίαση της μεταλλικής κατασκευής πρέπει να λάβουμε υπόψη και τα εξής **κριτήρια**:

- 1) Την αντοχή της κατασκευής στα πλαίσια των μέγιστων επιτρεπόμενων καταπονήσεων.
- 2) Το μικρότερο δυνατό βάρος που καλύπτει την αντοχή.
- 3) Το μικρότερο δυνατό κόστος που εξαρτάται από το βάρος και τα υλικά της κατασκευής.
- 4) Την λειτουργικότητα της κατασκευής, δηλαδή το πλοίο να μπορεί να φορτοεκφορτωθεί.
- 5) Την εύκολη κατασκευή, συντήρηση και επισκευή της κατασκευής.
- 6) Το κατά το δυνατόν καλύτερο αισθητικά αποτέλεσμα.
- 7) Την πρόβλεψη για φθορές κατά την διάρκεια της ζωής του πλοίου.

Η **μεταλλική κατασκευή αποτελείται** από:

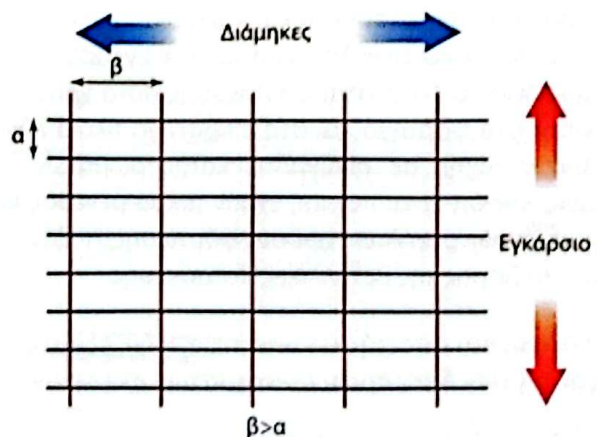
- 1) Τα ελάσματα του εξωτερικού περιβλήματος.
- 2) Τα ελάσματα των καταστρωμάτων.
- 3) Τα ελάσματα των διαφραγμάτων ή φρακτών, που μπορεί να είναι στεγανά ή μη στεγανά.
- 4) Τα ελάσματα της τρόπιδας, του ποδοστήματος και της στείρας.
- 5) Τα διαμήκη ή εγκάρσια ενισχυτικά.

Εξέχουσα σημασία στην αντοχή της μεταλλικής κατασκευής έχουν τα ενισχυτικά. Παρόλο που δεν αποτελούν μεγάλο μέρος ως προς το βάρος της κατασκευής (10-20% του συνολικού βάρους), εξασφαλίζουν στην

μεταλλική κατασκευή την επαρκή αντοχή.

Στα πλοία μπορούμε να διακρίνουμε **τρία συστήματα σκελετών**, δηλαδή συστημάτων ενισχύσεων, που ορίζονται από την τοποθέτηση των ενισχυτικών. Αυτά είναι:

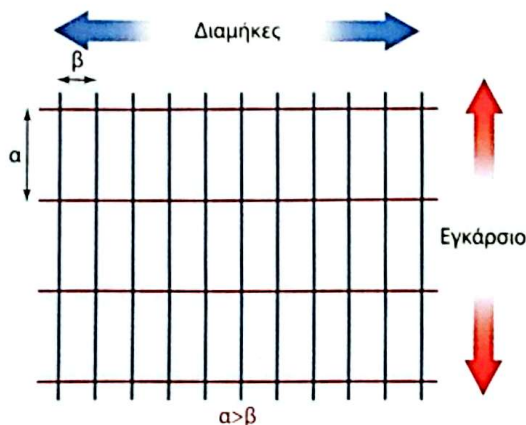
1) Το **διάμηκες σύστημα ενίσχυσης**, όπου τα διαμήκη ενισχυτικά είναι πολύ περισσότερα από τα εγκάρσια και κυριαρχούν στην κατασκευή (σχ. 2.1). Τα διαμήκη ενισχυτικά που συναντάμε περισσότερο στα πλοία αυτά είναι οι **σταθμίδες** (girders), οι **διαδοκίδες** (deck girders) και οι **λώροι** (stringers). Τα εγκάρσια ενισχυτικά που είναι οι **νομείς**, τα **ζυγά** και οι **έδρες** των νομέων, και τοποθετούνται μόνο με μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Το διάμηκες σύστημα ενίσχυσης θα το συναντήσουμε κυρίως σε Δ/Ξ, που έχουν μεγάλες απαιτήσεις διαμήκους αντοχής. Στα φορτηγά Φ/Γ πλοία, επειδή τα λίγα εγκάρσια ενισχυτικά έχουν μεγάλο μέγεθος, μειώνουν τους χώρους κυβισμού των φορτίων. Στα επιβατηγά (Ε/Γ) πλοία επίσης λόγω των εγκάρσιων ενισχυτικών έχουμε μειωμένους τους χώρους κάτι που προκαλεί δυσκολία στη τοποθέτηση των μηχανημάτων ενδιαίτησης. Επίσης στην κατασκευή τα πολλά διαμήκη ενισχυτικά δυσκολεύουν την διέλευσή τους από τα διαφράγματα, καθιστώντας την κατασκευή χρονοβόρα και πολύπλοκη.



Σχ. 2.1

Διάμηκες σύστημα ενίσχυσης. Η απόσταση μεταξύ των ενισχυτικών κατά το διάμηκες α είναι μικρότερη από ό,τι κατά το εγκάρσιο β

2) Το **εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης**, όπου τα εγκάρσια ενισχυτικά είναι πολύ περισσότερα από τα διαμήκη (σχ. 2.2). Τα εγκάρσια ενισχυτικά (νομείς, ζυγά και έδρες των νομέων) είναι πολύ περισσότερα από τα διαμήκη ενισχυτικά (δηλ. τις σταθμίδες, τις διαδοκίδες και τους λώρους). Το εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης χρησιμοποιείται μόνο σε μικρά πλοία, που το μήκος τους είναι περίπου 50 m. Θα λέγαμε ότι τα πλοία με εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης υστερούν σε διαμήκη αντοχή γι' αυτό και δεν μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλο μήκος. Σύγχρονες τέτοιες κατασκευές σπανίζουν παρόλο που είναι πιο εύκολη η κατασκευή τους.



Σχ. 2.2

Εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης. Η απόσταση μεταξύ των ενισχυτικών κατά το διάμηκες α είναι μεγαλύτερη από ό,τι κατά το εγκάρσιο β

3) Το **μικτό σύστημα ενίσχυσης** είναι συνδυασμός των δύο παραπάνω συστημάτων. Στα πλοία αυτά βλέπουμε περισσότερες σταθμίδες και διαδοκίδες στον πυθμένα και στα καταστρώματα και νομείς στα πλευρικά ελάσματα του πλοίου. Ο συνδυασμός αυτός προσδίδει στην κατασκευή και καλή διαμήκη αντοχή, καθώς επίσης και μεγάλη αντίσταση σε εγκάρσιες παραμορφώσεις. Το σύστημα ενίσχυσης αυτό χρησιμοποιείται στα φορτηγά και στα επιβατηγά πλοία λόγω καλής αντοχής σε ανοίγματα καταστρωμάτων. Οι νομείς, επειδή είναι πυκνοί, έχουν μικρό μέγεθος και δημιουργούν μεγάλους χώρους φόρτωσης, αυξάνουν όμως το βάρος της μεταλλικής κατασκευής.

2.2 Λόγοι και απαιτήσεις από τις οποίες εξαρτάται η χρήση των διαφόρων συστημάτων σκελετών

Για να μπορέσουμε να αντιληφθούμε τους λόγους για τους οποίους επιλέγουμε το σύστημα ενίσχυσης, θα πρέπει πρώτα να εξετάσουμε την αντοχή του πλοίου συνολικά.

2.2.1 Στοιχεία αντοχής πλοίου

Όπως προαναφέραμε (§ 2.1), το πλοίο αποτελείται από πάρα πολλά στοιχεία μεταλλικής κατασκευής. Παρ' όλα αυτά θεωρούμε ότι λειτουργεί σαν ένα αντικείμενο. Η ανάλυση της αντοχής γίνεται με την θεωρία της δοκού. Το πλοίο εξετάζεται σαν μια δοκός μεγάλου μήκους, αφού το μήκος του υπερτερεί έναντι των άλλων δύο διαστάσεων. Η θεωρία αυτή, παρόλο που είναι απλοποιημένη για την εξέταση αντοχής ενός πλοίου, δίνει μια καλή προσέγγιση στο πρόβλημα.

Στο σημείο αυτό ας δούμε ορισμένες βασικές έννοιες της Αντοχής Υλικών:

1) **Τάση** είναι το αποτέλεσμα της δύναμης που ασκείται σε μια επιφάνεια εξωτερικά ή εσωτερικά του υλικού.

2) **Παραμόρφωση** είναι η μεταβολή του σχήματος της κατασκευής που προκαλείται όταν πάνω της επιδρά τάση.

3) **Τάση εφελκυσμού** έχουμε όταν δύο δυνάμεις ενεργούν πάνω σε ένα σώμα με αντίθετη φορά και τείνουν να επιμηκύνουν το σώμα.

4) **Τάση θλίψης** έχουμε όταν δύο δυνάμεις ενεργούν πάνω σε ένα σώμα με αντίθετη φορά και τείνουν να επιβραχύνουν το σώμα. Όταν οι δυνάμεις θλίψης ασκούνται στο σώμα με μικρό πάχος σε σχέση με το μήκος τους (ελάσματα) έχουμε **λυγισμό**.

5) **Τάση κάμψης** εμφανίζεται σε ένα σώμα, όταν ενεργούν σε αυτό φορτία κάθετα στον άξονά του. Τα φορτία δημιουργούν ροπή που βρίσκεται σε επίπεδο κάθετο στη διατομή του και διέρχεται από τον γεωμετρικό άξονα του σώματος.

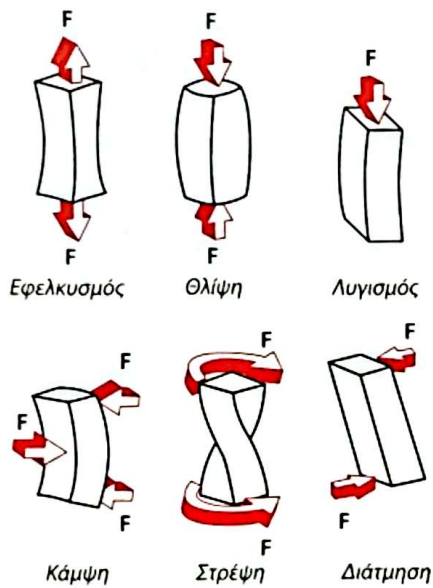
6) **Τάση στρέψης** προκαλείται σε ένα σώμα όταν ασκείται ροπή στον άξονά του που τείνει να τον στρίψει.

7) **Τάση διάτμησης** ονομάζεται η καταπόνηση που εμφανίζεται σε ένα σώμα όταν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις ενεργούν κάθετα στον άξονά του και οι διευθύνσεις τους βρίσκονται πολύ κοντά η μία στην άλλη (σχ. 2.3).

Οι βασικές καταστάσεις καταπόνησης είναι οι παρακάτω:

1) Αντοχή πλοίου σε κάμψη με ήρεμη θάλασσα

Όταν το πλοίο πλέει σε ήρεμη θάλασσα, τότε ασκούνται σε αυτό οι δυνάμεις άντωσης και βάρους. Το πλοίο παραμένει στην επιφάνεια της θάλασσας λόγω ισορροπίας των δυνάμεων αυτών. Εάν εξετάσουμε όμως την κατασκευή του πλοίου κατά μήκος

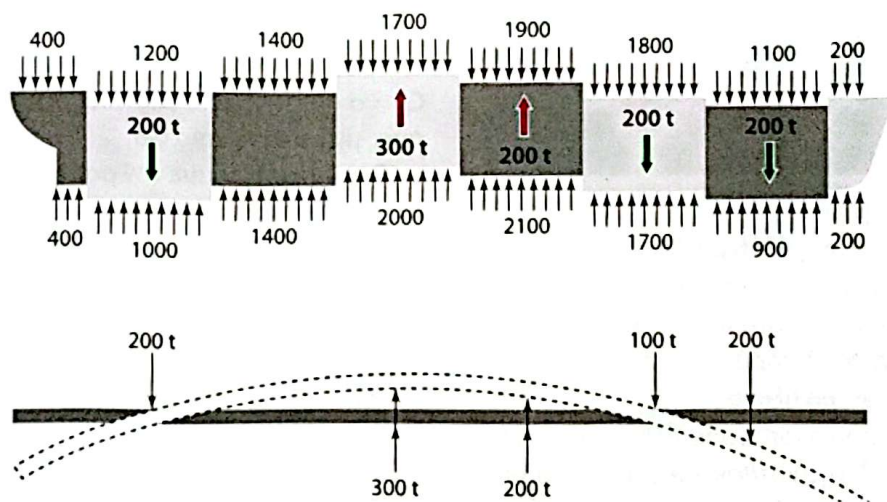


Σχ. 2.3
Καταπονήσεις

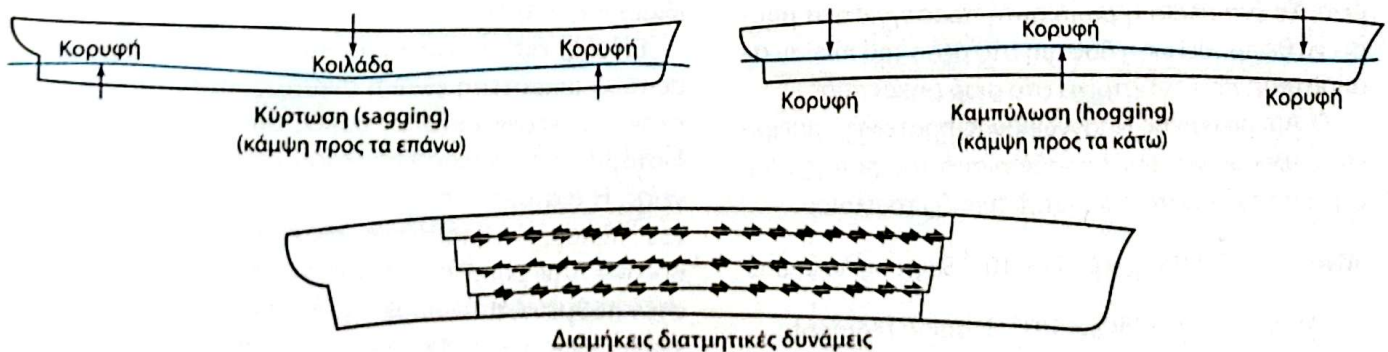
μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι σε κάποια μέρη υπερτερεί η άντωση και σε άλλα το βάρος. Αυτό μπορεί να προκαλέσει την ανάπτυξη κατακόρυφων διατμητικών τάσεων. Η εμφάνισή τους μπορεί να προκαλέσει και κάμψη του πλοίου όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.4.

2) Αντοχή πλοίου σε κάμψη με κυματισμούς

Τι συμβαίνει όμως όταν το πλοίο κινείται σε κύματα; Η ύπαρξη κορυφών και κοιλάδων (crest and trough) στην θάλασσα έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της άνωσης κατά μήκος του πλοίου. Στο σημείο που είμαστε σε κορυφή, η άνωση αυξάνεται, ενώ όταν είμαστε σε κοιλάδα συμβαίνει το αντίθετο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη καταπόνηση της κατασκευής, αφού εμφανίζονται δυνάμεις διάτμησης παρόμοιες στις κατακόρυφες δυνάμεις διάτμησης θα υπάρχουν στο διάμηκες επίπεδο (σχ. 2.5).



Σχ. 2.4
Δυνάμεις βάρους και άνωσης σε ήρεμο νερό



Σχ. 2.5
Κορυφές και κοιλάδες κυμάτων κατά μήκος του πλοίου

Οι κατακόρυφες και διαμήκεις διατμητικές τάσεις είναι συμπληρωματικές και εμφανίζονται σε συνδυασμό με μια μεταβολή της ροπής κάμψης μεταξύ γειτονικών τμημάτων της δοκού του σκάφους. Η χειρότερη καταπόνηση εμφανίζεται όταν έχουμε κύματα μήκους όσο το μήκος του πλοίου.

Χαρακτηριστικό της καταπόνησης από τα κύματα είναι τα φαινόμενα hogging και sagging. Στο φαινόμενο hogging η κορυφή του κύματος είναι στο μέσο του πλοίου, ενώ οι κοιλάδες στην πλώρη και στην πρύμνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το πλοίο να κάμπτεται με το μέσο του να παραμορφώνεται προς τα πάνω, αφού η δύναμη της άνωσης είναι μεγάλη στο κέντρο. Στο φαινόμενο sagging συμβαίνει το αντίθετο, με το πλοίο να κάμπτεται και το μέσο του να παραμορφώνεται προς τα κάτω, αφού εκεί υπερτερεί η δύναμη του βάρους (σχ. 2.6).

3) Ανάπτυξη καμπτικών τάσεων

Από την θεωρία της Αντοχής Υλικών γνωρίζουμε ότι η τάση που αναπτύσσεται λόγω κάμψης δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma = \frac{M}{I} \times y$$

όπου:

M είναι η ροπή κάμψης,

y η απόσταση από τον ουδέτερο άξονα. Ο ουδέτερος άξονας σε δοκό με ομοιόμορφη διατομή κατά το μήκος της είναι στο μέσο του ύψους της δοκού,

I η δευτερεύουσα ροπή αδράνειας της κατασκευής ως προς τον ουδέτερο άξονα.

Η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται εξαρτάται από την ροπή κάμψης **M** της κατασκευής, αλλά και από την ροπή αδράνειας **I** της κατασκευής. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλοίο σε μήκος τόσο μεγαλύτερη είναι και η ροπή κάμψης **M**. Η ροπή κάμψης προκαλείται από την δύναμη που ενεργεί σε απόσταση από ένα σημείο. Σε ένα πλοίο η ροπή αυτή προσεγγιστικά μπορεί να θεωρηθεί ως η δύναμη στο μέσο του πλοίου σε απόσταση που αντιστοιχεί στο μισό μήκος του.

Ο Αμερικανικός Νηογνώμονας προτείνει εμπειρικούς τύπους για τον προσδιορισμό της ροπής κάμψης από τα κύματα που αντιμετωπίζει το πλοίο:

$$M_{ws} = -k_1 \dot{C}_1 L^2 B (C_b + 0.7) \times 10^{-3} \text{ Sagging Moment}$$

$$M_{wh} = +k_2 C_1 L^2 B C_b \times 10^{-3} \text{ Hogging Moment}$$

όπου:

$$k_1 = 110$$



Σχ. 2.6

Αστοχία πλοίου από κακή φόρτωση

$$k_2 = 190$$

L = το μήκος σχεδίασης

B = το πλάτος σχεδίασης

$$C_1 = 0.044L + 3.75 \text{ για πλοία με } 61 \leq L \leq 90 \text{ m}$$

$$= 10.75 - ((300 - L)/100)^{1.5} \text{ για πλοία με } 90 < L < 300 \text{ m}$$

$$= 10.75 \text{ για πλοία με } 300 < L < 350 \text{ m}$$

$$= 10.75 - ((L - 350)/150)^{1.5} \text{ για πλοία με } 350 \leq L \leq 500 \text{ m}$$

C_b = ο συντελεστής γάστρας που δεν πρέπει να έχει τιμές μικρότερες από 0,6.

Εάν υπολογίσουμε την ροπή κάμψης από τα κύματα για ένα πλοίο 200 m και για ένα πλοίο 300 m, και για αντίστοιχα πλάτη και συντελεστές γάστρας, βρίσκουμε ότι:

$$M_{ws_{200m}} = -1.801.800 \text{ Nm Sagging Moment}$$

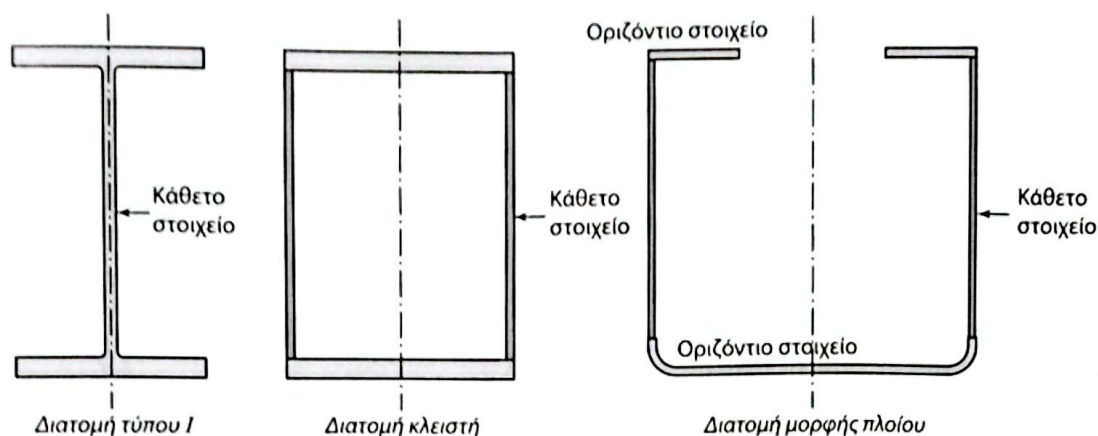
$$M_{wh_{200m}} = +1.556.100 \text{ Nm Hogging Moment}$$

$$M_{ws_{300m}} = -5.214.825 \text{ Nm Sagging Moment}$$

$$M_{wh_{300m}} = +4.503.712 \text{ Nm Hogging Moment}$$

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η ροπή κάμψης τριπλασιάζεται από το πλοίο των 200 m στο πλοίο των 300 m.

Επίσης, όσο μεγαλύτερη είναι η ροπή αδράνειας τόσο μικρότερη είναι η αναπτυσσόμενη τάση. Το πλοίο συμπεριφέρεται ως δοκός, οπότε η μορφή της διατομής του πλοίου επηρεάζει και τη ροπή αδράνειας. Η διατομή αυτή είναι ουσιαστικά η μέση τομή του πλοίου. Η τοποθέτηση ενισχυτικών κατά μήκος αυξάνει την ροπή αδράνειας. Το ίδιο συμβαίνει και στον πυθμένα, στον οποίο όμως πιθανότατα θα υπάρχει και διπύθμενο. Άρα σε πλοία μεγάλου μήκους η ύπαρξη διαδοκίδων και σταθμίδων (σε ποσότητα και πάχος) συμβάλλει θετικά στην αντοχή του πλοίου. Τυ-

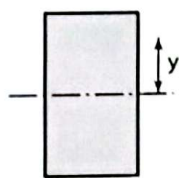


Σχ. 2.7

Διατομές δοκών (πηγή: ship construction 7th Edition D.J.Eyres G.J.Bruce)

πικές διατομές για την αντιμετώπιση των καμπτικών τάσεων παρουσιάζονται στο σχήμα 2.7.

Στον ουδέτερο άξονα, όπου $y = 0$, η τάση είναι μηδενική. Όσο πλησιάζουμε στην πάνω και στην κάτω πλευρά, η τάση λαμβάνει μέγιστες τιμές (σχ. 2.8).



Σχ. 2.8

Διατομή, απόσταση y από τον ουδέτερο άξονα.



Σχ. 2.9

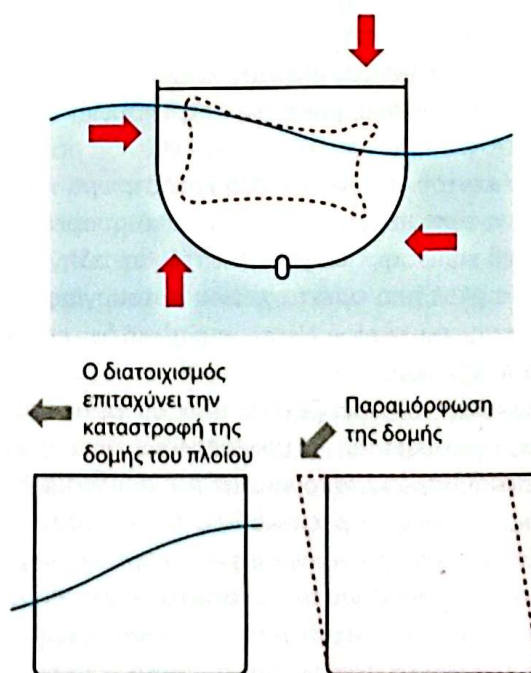
Πλοίο σε κάμψη hogging

Κάθε υλικό έχει μια μέγιστη τάση για την οποία αντέχει. Για παράδειγμα, για τον κοινό χάλυβα έχουμε $\sigma_{\max} = 250 \text{ N/m}^2$. Εάν η αναπτυσσόμενη τάση υπερβεί την μέγιστη τάση του υλικού, τότε το υλικό, άρα και το πλοίο, αστοχεί.

Όταν το πλοίο είναι σε κατάσταση sagging, τότε το κατάστρωμα θλίβεται, ενώ ο πυθμένας εφελκύζεται. Ουσιαστικά στον τύπο της αναπτυσσόμενης τάσης σ το y έχει την μεγαλύτερη τιμή. Στην κατάσταση hogging συμβαίνει το αντίθετο (σχ. 2.9). Στην περίπτωση του καταστρώματος ή του πυθμένα που θλίβεται έχουμε και φαινόμενα λυγισμού των ελασμάτων.

4) Εγκάρσιες τάσεις

Οι τάσεις παραμόρφωσης Racking, προκαλούνται από την διαφορά της άνωσης που δέχονται οι πλευρές του πλοίου όταν κινείται σε εγκάρσια κύματα. Οι εγκάρσιες φρακτές, οι νομείς, οι έδρες των φρακτών και τα ζυγά είναι αυτά που παραλαμβάνουν την καταπόνηση αυτή. Τα τρία αυτά ενισχυτικά μαζί με τους αγκώνες δημιουργούν έναν δακτύλιο που αντιστέκεται στις εγκάρσιες παραμορφώσεις (σχ. 2.10). Οπότε



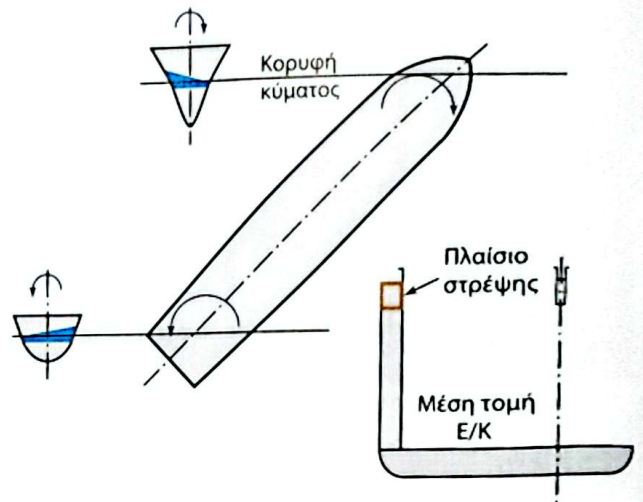
Σχ. 2.10

Εγκάρσιες παραμορφώσεις

ένα πλοίο με πολλά εγκάρσια ενισχυτικά αντιστέκεται στις παραμορφώσεις αυτές.

5) Στρεπτικές τάσεις

Προκαλούνται όταν το πλοίο αντιμετωπίζει κύματα με την πλώρη υπό γωνία στο μήκος τους. Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 2.11, η πλώρη δέχεται πλευρική δύναμη αντίθετη σε σχέση με την πρύμνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη στρεπτικών τάσεων. Ένα συγκεκριμένο παράδειγμα ανάπτυξης στρεπτικών τάσεων έχουμε στα μεγάλα πλοία μεταφοράς Ε/Κ, όπου στην πλευρική κατασκευή υπάρχει **κιβώτιο στρέψης** (torsion box) για να μπορεί να παραλάβει στρεπτικές τάσεις.



Σχ. 2.11

Στρεπτικές παραμορφώσεις

(πηγή: ship construction 7th Edition D.J.Eyres G.J.Bruce)

6) Τοπικές στατικές φορτίσεις

Εκτός από τις φορτίσεις που προκαλούν τις παραπάνω καταπονήσεις θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι **τοπικές στατικές φορτίσεις** όπως είναι το βάρος της μεταλλικής κατασκευής, η εξωτερική υδροστατική πίεση και το βάρος του φορτίου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.12 η διαφορά βάρους φορτίου και υδροστατικής πίεσης προκαλεί κάμψη των ελασμάτων.

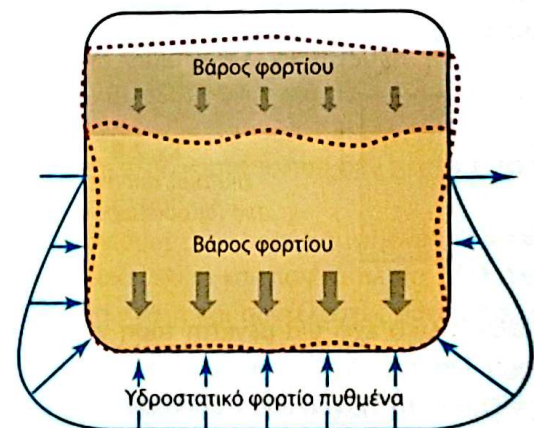
7) Κόπωση

Ένας άλλος λόγος αστοχίας της κατασκευής του πλοίου είναι από **κυκλική κόπωση** (fatigue). Τα υλικά, μετά από επαναλαμβανόμενη περιοδική φόρτισή τους π.χ. hogging-sagging, οδηγούνται σε αστοχία. Οπότε υπάρχει για κάθε υλικό ένα διάγραμμα κόπωσης, το οποίο μας δείχνει σε πόσους κύκλους φόρτισης θα μειώνεται δραστικά η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση του υλικού (σχ. 2.13).

Στο κέντρο του πλοίου στο κατάστρωμα και στον πυθμένα είναι περιοχές όπου το υλικό μπορεί να έχει υποστεί κόπωση. Προφανώς αυτή θα οδηγήσει σε αστοχία μετά από αρκετά χρόνια λειτουργίας και καταπόνησης του πλοίου. Νεότευκτα πλοία δεν κινδυνεύουν από κόπωση.

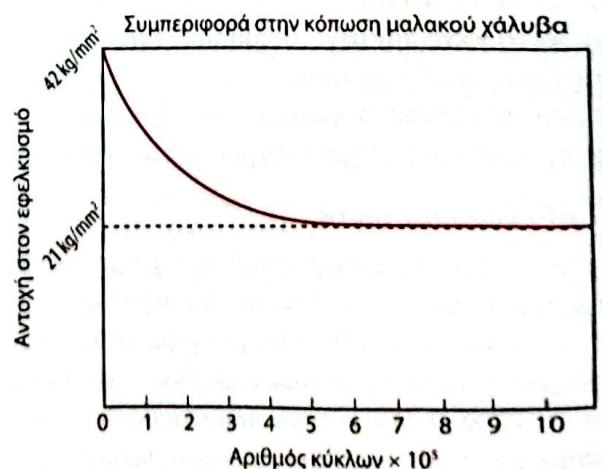
Συνολικά το πλοίο δέχεται όλες αυτές τις καταπονήσεις. Η αστοχία της κατασκευής μπορεί να προέλθει από συνδυασμό καταπονήσεων, π.χ. συνδυασμό κάμψης και στρέψης. Προφανώς για λόγους αξιοπιστίας της κατασκευής γίνεται χρήση συντελεστών ασφαλείας, που εξασφαλίζουν ότι η κατασκευή δεν θα αστοχήσει. Οπότε όταν λέμε ότι έχουμε συντελεστή ασφαλείας 2 εννοούμε ότι η κατασκευή αντέχει το διπλάσιο της μέγιστης υπολογιζόμενης αναπτυσσόμενης τάσης.

Η αλλαγή πορείας του πλοίου, η μεταβολή της γωνί-



Σχ. 2.12

Στατικές φορτίσεις



Σχ. 2.13

Μείωση επιτρεπόμενης τάσης από κόπωση

ας συνάντησης των κυματισμών η φόρτωση του πλοίου και ο ερματισμός επηρεάζουν τις καταπονήσεις της κατασκευής. Τα σύγχρονα πλοία διαθέτουν και αισθητήρες παραμορφώσεων, οπότε μπορεί να ελέγχεται ανά πάσα στιγμή εάν η κατασκευή φτάνει σε οριακά σημεία.

2.2.2 Χρήση συστημάτων ενίσχυσης σκελετών

Η κατάλληλη επιλογή του συστήματος ενίσχυσης σκελετού του πλοίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Ο τύπος του πλοίου, το φορτίο και οι απαιτήσεις των κανονισμών σε θέματα ασφάλειας και ευστάθειας επηρεάζουν την μορφή της κατασκευής. Οι νηογνώμονες ορίζουν τον αριθμό των φρακτών από το μήκος του πλοίου για θέματα κατάκλυσης και τις απαιτήσεις ευστάθειας μετά από βλάβη. Επίσης η ύπαρξη διπυθμένων και διπλών τοιχωμάτων επηρεάζει την κατασκευή και όλη την ενίσχυση του πλοίου. Ο χώρος φόρτωσης σε πλοία ξηρού φορτίου απαιτεί μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των φρακτών για φόρτωση μεγάλων σε διάσταση αντικειμένων. Στα πλοία υγρών φορτίων η ύπαρξη φρακτών σε μικρή απόσταση βοηθά και στον διαχωρισμό των φορτίων και στην μείωση των ελεύθερων επιφανειών που βοηθούν στην ευστάθεια του πλοίου.

Οπότε η επιλογή του κατάλληλου συστήματος σκελετού είναι μια σύνθετη διαδικασία, που πρέπει να συνυπολογίζει όλους τους παραπάνω παράγοντες.

1) Πλοία με διάμηκες σύστημα σκελετού

Σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο, η ύπαρξη ενισχυτικών κατά μήκος όπως οι σταθμίδες στον πυθμένα, οι διαδοκίδες στο κατάστρωμα και οι λώροι στις πλευρές του πλοίου ενισχύουν την ροπή αντίστασης του πλοίου, οπότε και δεν αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις από την κάμψη.

Η ύπαρξη ενισχυτικών κατά το διάμηκες οδηγεί σε μειωμένο πάχος ελασμάτων πυθμένα και καταστρώματος. Πλοία που χρησιμοποιούν το σύστημα ενίσχυσης είναι τα Δ/Ξ. Είναι ίσως και τα πλοία που έχουν τις μεγαλύτερες τάσεις από κάμψη λόγω μήκους. Επίσης τα διπύθμενα καθώς και τα διπλά τοιχώματα ενισχύουν ακόμη περισσότερο την διάμηκη αντοχή. Τα εγκάρσια ενισχυτικά είναι λίγα και τα πλοία αυτά δεν υπόκεινται σε εγκάρσιες καταπονήσεις ούτε δέχονται εξωτερικές δυνάμεις από πλαγιοδοτήσεις. Οι εγκάρσιες φρακτές συνεισφέρουν στην εγκάρσια αντοχή. Συνολικά η χρήση του διαμήκους συστήματος σκελετού οδηγεί σε κατασκευές μειωμένου βάρους.

Σε σχετικά μικρά πλοία δεν απαιτείται τόσο μεγάλη διάμηκη αντοχή, οπότε και γενικά το διάμηκες σύστημα δεν επιλέγεται και παρουσιάζει επίσης και τα εξής μειονεκτήματα:

1) Απαιτείται η διάτρηση των εγκάρσιων στεγανών φρακτών από τα διαμήκη ενισχυτικά.

2) Μειώνεται ο χώρος στοιβάδας στα φορτηγά λόγω των λίγων, αλλά μεγάλων σε μέγεθος εγκάρσιων ενισχυτικών (ενισχυμένων νομέων).

3) Τα διαμήκη ενισχυτικά δυσκολεύουν και στις διελεύσεις των δικτύων σωληνώσεων.

2) Πλοία με εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης σκελετού

Το σύστημα αυτό θα το συναντήσουμε σπάνια. Η λογική του προέρχεται από την κατασκευή των παλιών ξύλινων σκαφών, όπου οι νομείς τοποθετούνται πάνω στην τροπίδα. Η όλη κατασκευή στηριζόταν στους εγκάρσιους νομείς και τα εξωτερικά ξύλα (πέτσωμα) έδεναν την κατασκευή. Τα πλοία αυτά δεν είχαν μεγάλες απαιτήσεις διαμήκους αντοχής λόγω μήκους, οπότε και δεν είχαν διαμήκη ενισχυτικά. Στα σύγχρονα πλοία θα δούμε εγκάρσια ενίσχυση σκελετού μόνο σε μικρά πλοία κάτω των 40 m (αλιευτικά, ρυμουλκά, μικρά φορτηγά) λόγω ευκολίας της κατασκευής και από μη σύγχρονα ναυπηγεία.

3) Πλοία με μικτό σύστημα σκελετού

Το σύστημα αυτό είναι το συνηθέστερο και το συναντάμε στα περισσότερα σύγχρονα πλοία. Στην συνήθη μορφή του αποτελείται από διαμήκη ενίσχυση, το κατάστρωμα και τον πυθμένα. Στις πλευρές έχουμε την χρήση πολλών εγκάρσιων νομέων. Με αυτόν τον τρόπο το πλοίο έχει μεγάλη διάμηκη αντοχή, αλλά και μεγάλη εγκάρσια αντοχή ιδίως σε περιπτώσεις που δέχεται εξωτερικές εγκάρσιες δυνάμεις. Τα διαμήκη ενισχυτικά του πυθμένα σε πλοίο με διπύθμενο περιορίζονται στον χώρο αυτό και δεν υπάρχουν στον χώρο φόρτωσης. Η χρήση του μικτού συστήματος σκελετού είναι η ιδανική λύση για πλοία ξηρού φορτίου (bulk carriers, containership, general cargo), αφού ο χώρος των κυτών φόρτωσης έχει μεγάλες διατάσεις. Επίσης τα επιβατηγά πλοία, τα επιβατηγά οχηματαγωγά, τα Ro-Ro χρησιμοποιούν το μικτό σύστημα, καθώς βοηθά στην λειτουργικότητα του φορτίου και την εγκάρσια αντοχή των πλευρών. Το βασικό μειονέκτημα του μικτού συστήματος είναι ότι η κατασκευή παρουσιάζει αυξημένο βάρος σε σύγκριση με το διάμηκες σύστημα.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της ενίσχυσης είναι και η απόσταση μεταξύ των ενισχυτικών μεταξύ τους. Σύμφωνα με τον Αμερικανικό Νηογνώμονα η ισαπόσταση μεταξύ των νομέων, που έχει εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης από την πυρμαία φρακτή και 0,2L πρύμνηθεν της πρωραίας φρακτής, μπορεί να δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S = 2,08L + 438 \text{ mm για } L \leq 270 \text{ m}$$

$$S = 1000 \text{ mm για } 270 < L \leq 427 \text{ m}$$

όπου L το μήκος σχεδίασης.

Η ισαπόσταση των ενισχυτικών και στο διάμηκες σύστημα μπορεί να ορίζεται και από τον παραπάνω τύπο, αλλά δεν μπορεί να είναι μικρότερη των δύο παρακάτω τιμών:

$$0,88 \cdot S \text{ ή } 813 \text{ mm}$$

Οπότε για παράδειγμα σε πλοίο 200 m μήκους σχεδίασης έχουμε ισαπόσταση:

$$S = 2,08 \cdot 200 + 438 = 416 + 438 = 854 \text{ mm για το εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης}$$

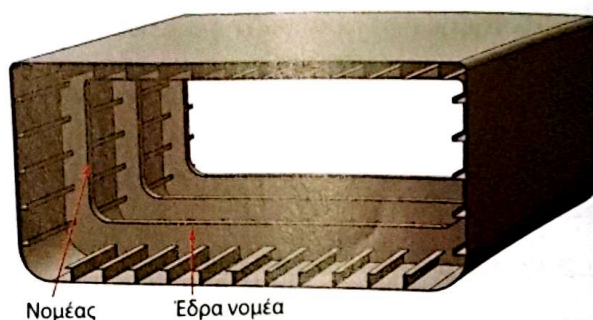
$$0,88 \cdot S = 854 \cdot 0,88 = 752 \text{ mm για το διάμηκες σύστημα ενίσχυσης}$$

Και οι υπόλοιποι Νηογνώμονες προτείνουν τιμές αντίστοιχες με τον Αμερικανικό Νηογνώμονα.

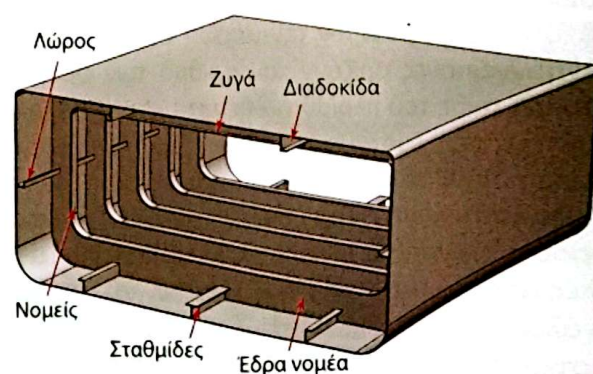
2.3 Περιγραφική επεξήγηση της διάταξης των νομέων, διαδοκίδων, σταθμίδων και εγκάρσιων μελών σε κάθε σύστημα σκελετού

Στο σχήμα 2.14 βλέπουμε την διάταξη διάμηκους συστήματος ενίσχυσης σκελετού. Βλέπουμε ότι υπάρχουν πολλά ενισχυτικά κατά μήκος του πλοίου, δηλαδή, σταθμίδες στον πυθμένα, λώροι στις πλευρές και διαδοκίδες κάτω από το κατάστρωμα. Οι νομείς, οι έδρες και τα ζυγά είναι αραιά, αλλά έχουν μεγάλο μέγεθος.

Στο σχήμα 2.15 βλέπουμε την διάταξη εγκάρσιου συστήματος ενίσχυσης. Βλέπουμε ότι υπάρχουν πολλές έδρες νομέα σε κάθε ισαπόσταση στον πυθμένα, νομείς, στην πλευρά και στο κατάστρωμα πολλά ζυγά. Οι σταθμίδες, οι λώροι και οι διαδοκίδες είναι λιγότερες από τα εγκάρσια ενισχυτικά.



Σχ. 2.14
Διάμηκες σύστημα ενίσχυσης



Σχ. 2.15
Εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης

Ερωτήσεις - Ασκήσεις επανάληψης κεφαλαίου

1. Τι κριτήρια πρέπει να λάβουμε υπόψη στην κατασκευή του πλοίου;
2. Τι είναι ένα διάμηκες, ένα εγκάρσιο και ένα μικτό σύστημα ενίσχυσης;
3. Ποιες είναι οι βασικές καταπονήσεις ενός πλοίου;
4. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η αντοχή του πλοίου σε κάμψη;
5. Σε τι πλοία έχουμε διάμηκες σύστημα ενίσχυσης; Σε τι πλοία έχουμε εγκάρσιο και σε τι πλοία μικτό σύστημα;
6. Γιατί ένα μεγάλο πλοίο δεν μπορεί να έχει εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης;
7. Ποια είναι τα μειονεκτήματα ενός πλοίου με διάμηκες σύστημα ενίσχυσης;
8. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα ενός πλοίου με μικτό σύστημα ενίσχυσης;
9. Να φτιάξετε σε σκαρίφημα ένα πλοίο με μικτό σύστημα ενίσχυσης.