

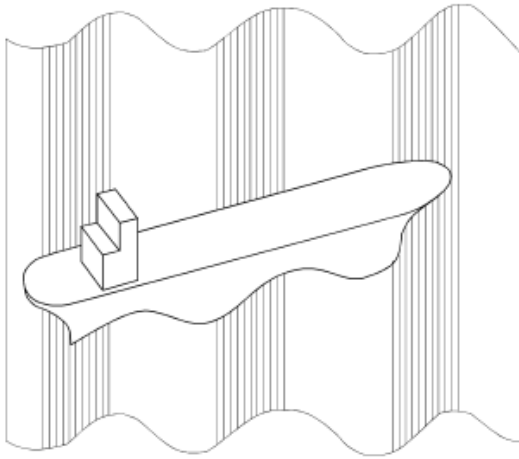
ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΟΙΟΥ

Ενότητα:

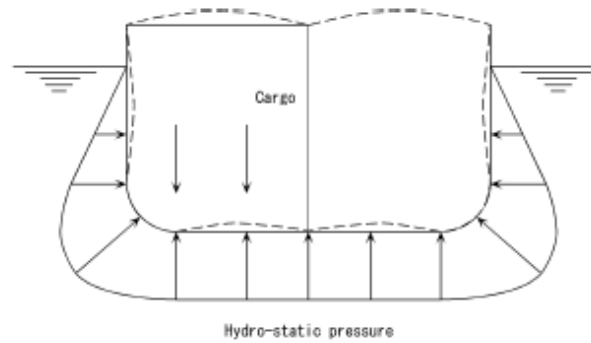
Διαμήκης Αντοχή Πλοίου-
Ορθές τάσεις λόγω κάμψης

A. Θεοδουλίδης

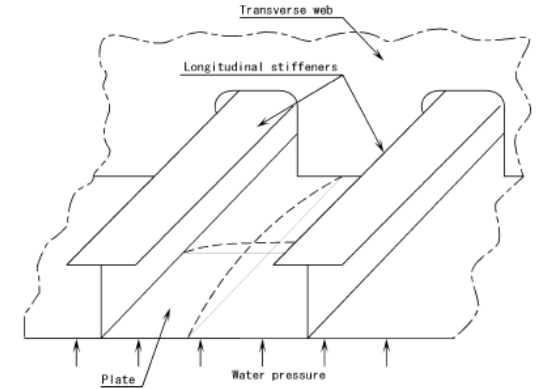
Η αντοχή του πλοίου



- Διαμήκης αντοχή

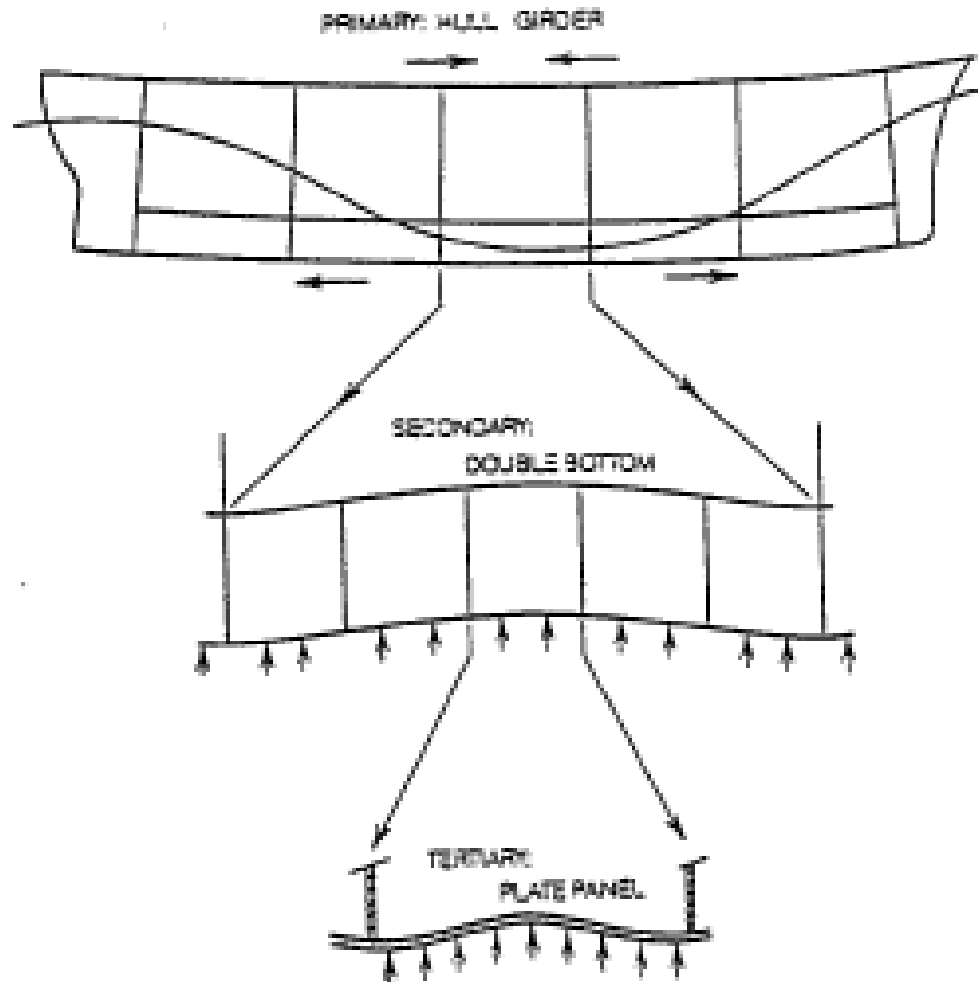


- Εγκάρσια αντοχή



- Τοπική αντοχή

Ανάλυση του σύνθετου εντατικού πεδίου



Primary, secondary and tertiary structure

- Πρωτεύουσες, δευτερεύουσες και τριτεύουσες τάσεις

Το πλοίο θεωρούμενο ως δοκός

General Ship's Behaviour

Relationship between ship's length
and wave period.

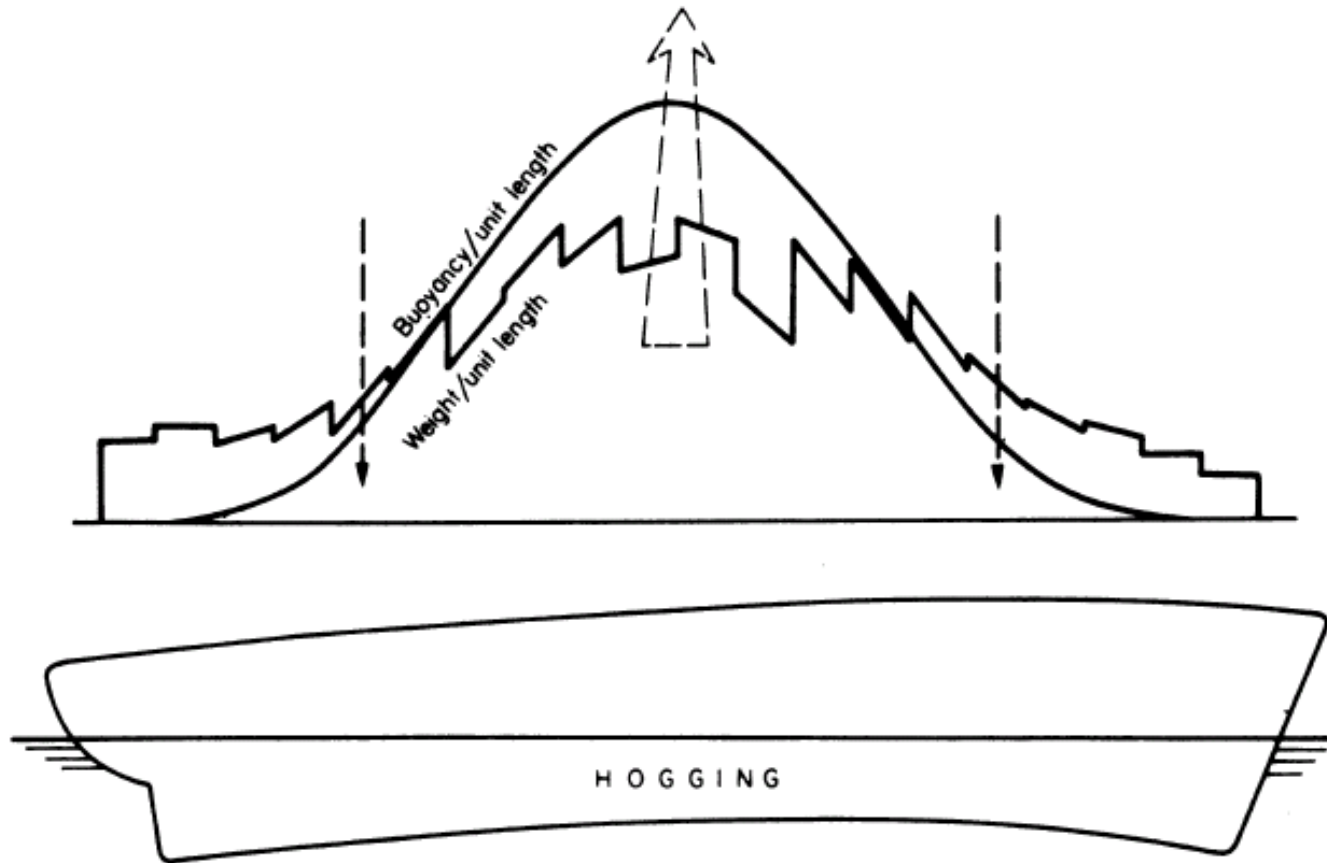
Το πλοίο θεωρούμενο ως δοκός



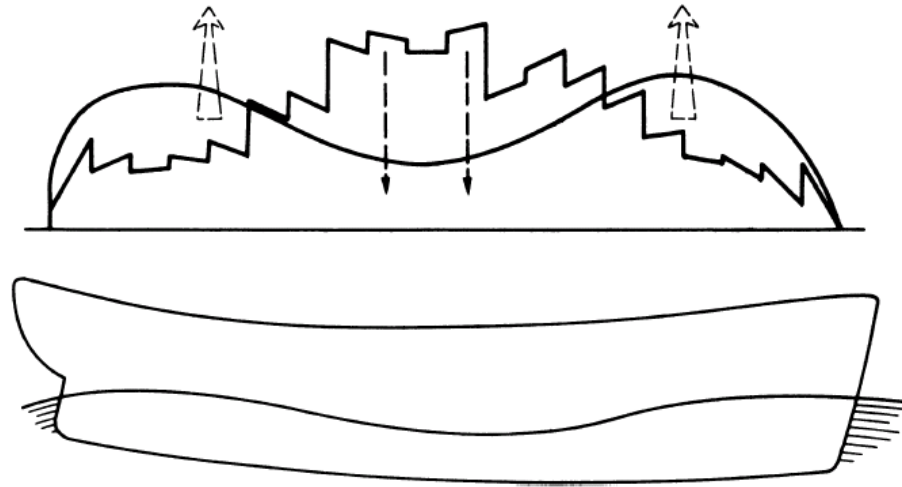
Το πλοίο θεωρούμενο ως δοκός



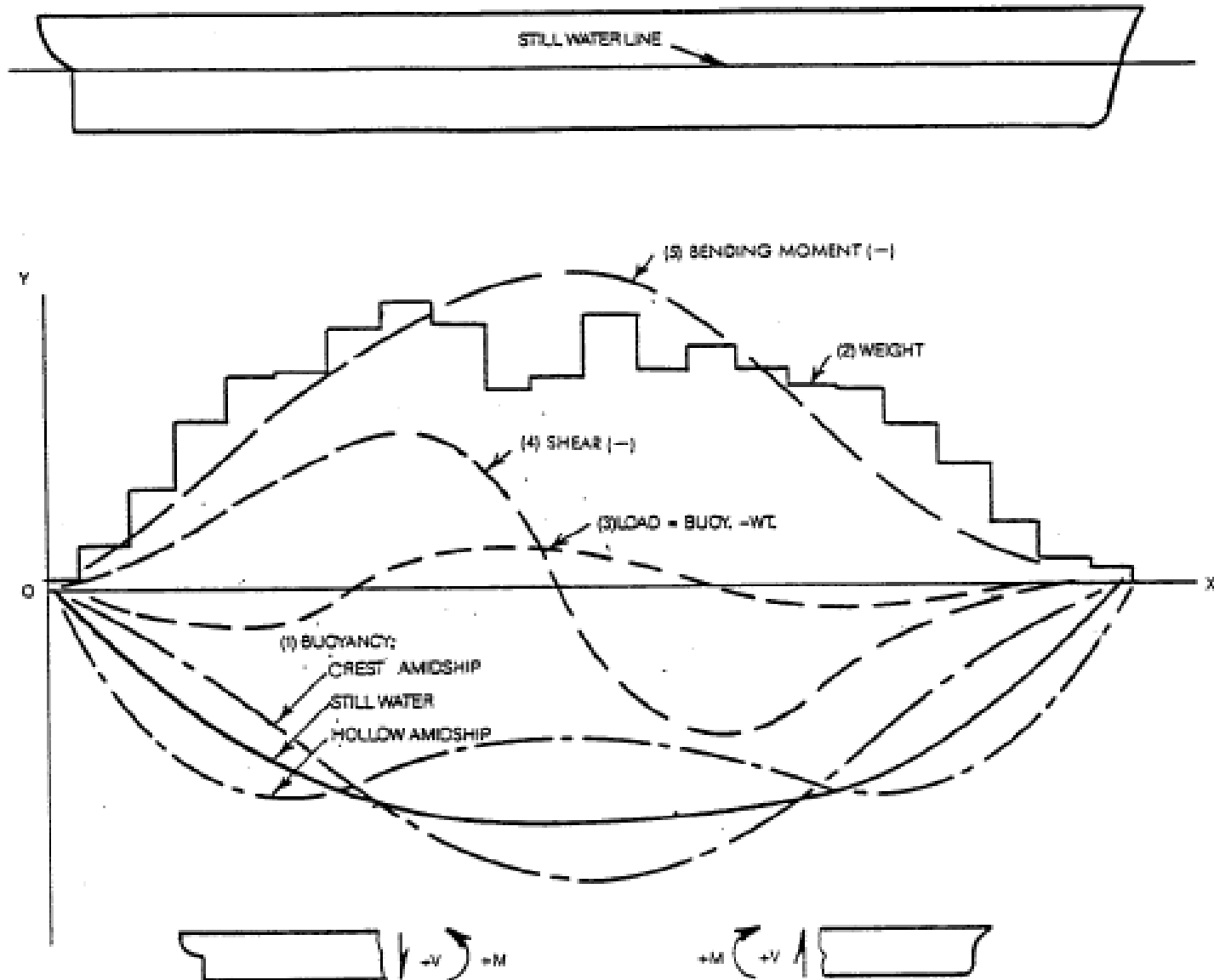
Το πλοίο θεωρούμενο ως δοκός – Κατάσταση Hogging



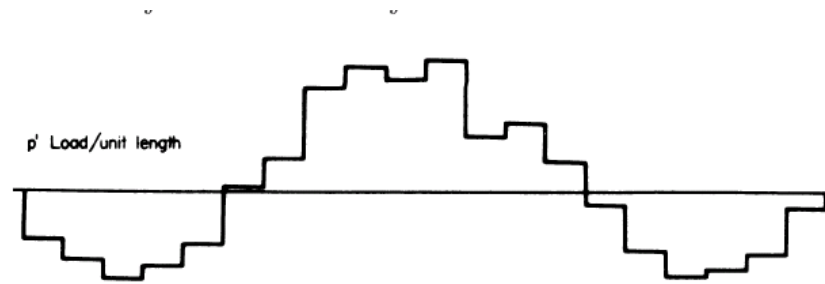
Το πλοίο θεωρούμενο ως δοκός – Κατάσταση Sagging



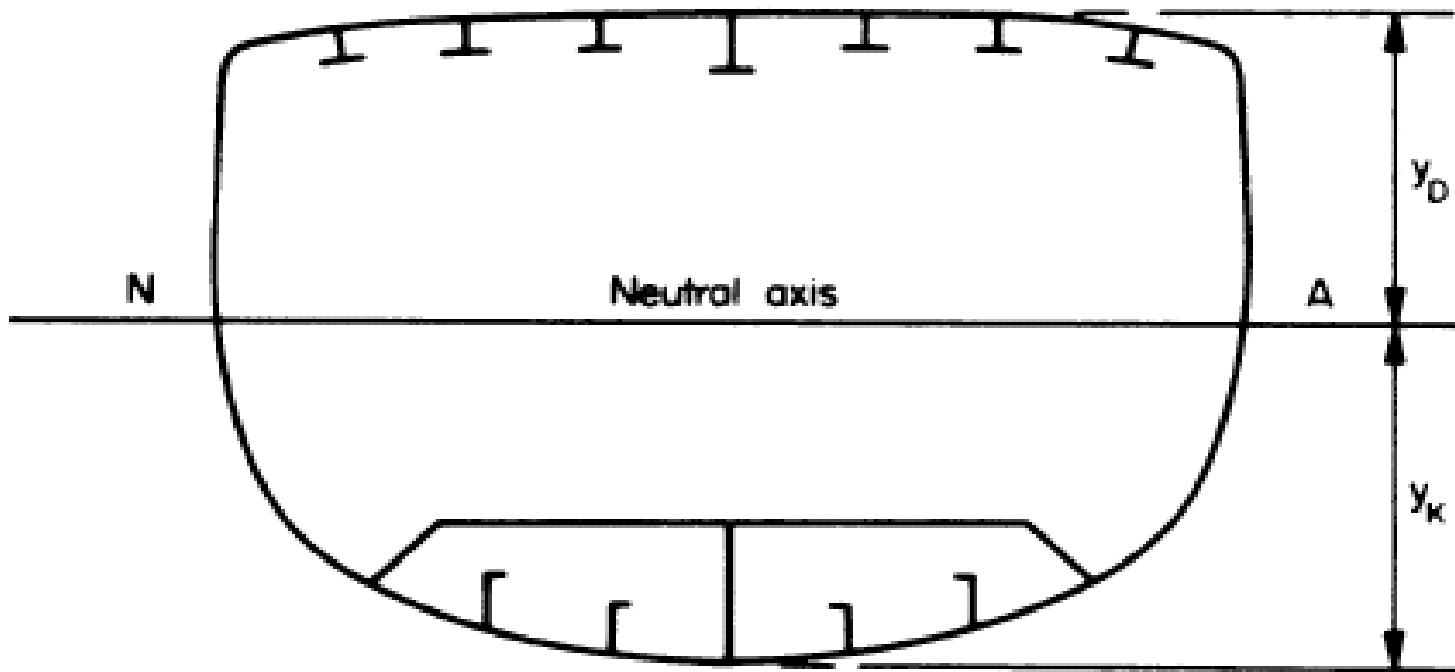
Το πλοίο θεωρούμενο ως δοκός
 Φόρτιση = Βάρος - Αντωση



Το πλοίο θεωρούμενο ως δοκός –
Φόρτιση = Βάρος - Αντωση



Το πλοίο θεωρούμενο ως δοκός – Μέση Τομή



Προϋποθέσεις ισχύος της απλής θεωρίας κάμψης (simple beam theory)

- Πρισματική δοκός (ομοιόμορφες τομές / μεγάλο παράλληλο τμήμα)
- Οι επίπεδες τομές παραμένουν επίπεδες
- Εγκάρσιες παραμορφώσεις αμελητέες
- Το υλικό είναι ελαστικό και το μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό και θλίψη είναι ίδιο
- Δεν υπάρχει αλληλεπίδραση των διατμητικών τάσεων/παραμορφώσεων με τις καμπτικές

Βασικές εξισώσεις απλής θεωρίας κάμψης

$$q = \frac{dQ}{dx} = \frac{d^2M}{dx^2}$$

$$Q = \int q \cdot dx$$

$$M = \int Q \cdot dx$$

$$EI \frac{d^2w}{dx^2} = M(x)$$

$$\sigma_x = \frac{M(x)}{I} z = \frac{M(x)}{SM}$$

Όπου

q = φορτίο ανά τρέχον μέτρο

Q = διατμητική δύναμη

M = καμπτική ροπή

w = βέλος κάμψης

I = ροπή αδράνειας της διατομής

SM = ροπή αντίστασης της διατομής

E = μέτρο ελαστικότητας

Υπολογισμός της θέσης του ουδέτερου άξονα

$$\int_A E(z) \cdot z \cdot dA = 0$$

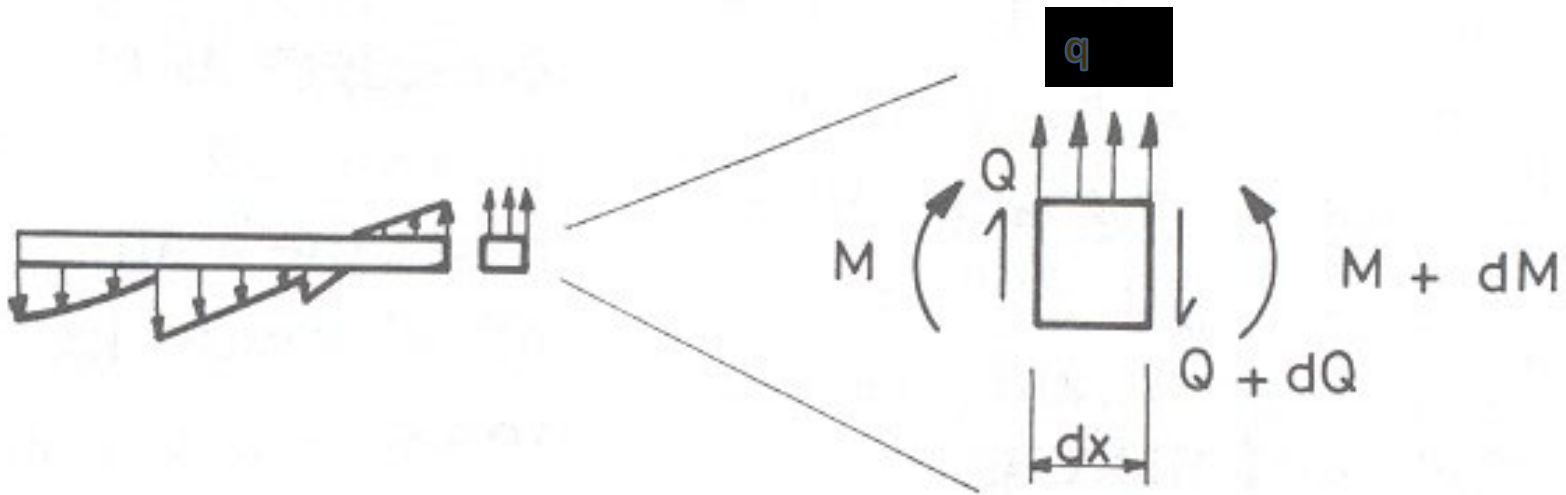
ή στην περίπτωση διατομής με ένα υλικό:

$$\int_A z \cdot dA = 0$$

Βασικές υποθέσεις στη θεώρηση της διαμήκους αντοχής πλοίου

- Ακίνητο σκάφος σε κατακόρυφη θέση
- Οι μόνες εξωτερικές αντιδράσεις από το νερό είναι οι κατακόρυφες δυνάμεις άντωσης $b(x)$
- Συμμετρία ως προς το διάμηκες κατακόρυφο επίπεδο
- Το σκάφος συμπεριφέρεται σαν μια απλή δοκός με βάρος ανά μονάδα μήκους $w(x)$

Σύμβαση προσήμου – Βασικές εξισώσεις ισορροπίας στοιχειώδους μήκους

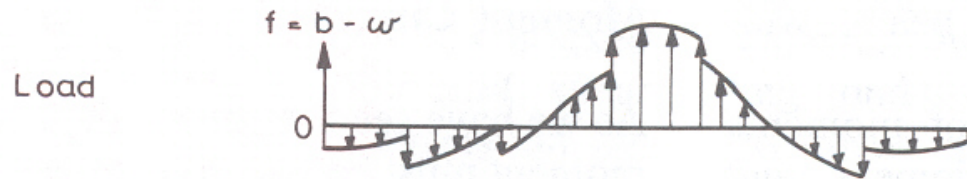
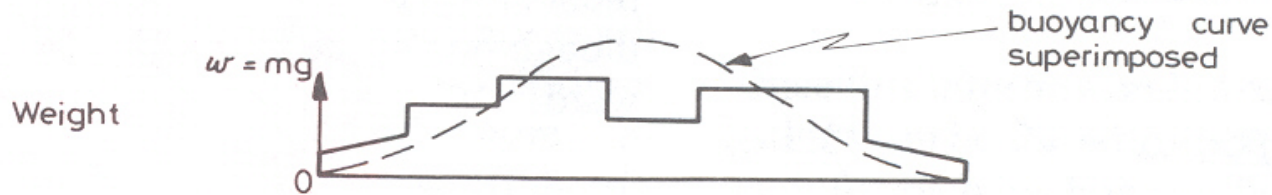
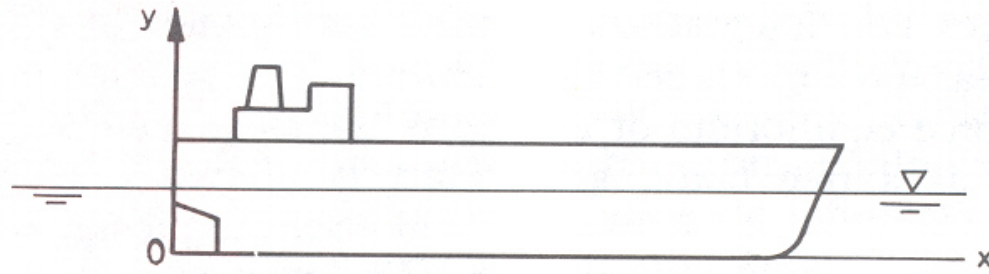


$$q(x) = b(x) - w(x)$$


$$Q + q(x)dx = Q + dQ \rightarrow q(x) = \frac{dQ}{dx} \rightarrow Q(x) = \int_0^x q(x)dx$$

$$M + Qdx + q(x)dx \frac{dx}{2} = M + dM \rightarrow Q = \frac{dM}{dx} \rightarrow M(x) = \int_0^x Q(x)dx$$

Φόρτιση του πλοίου ως δοκού



SIGN CONVENTION

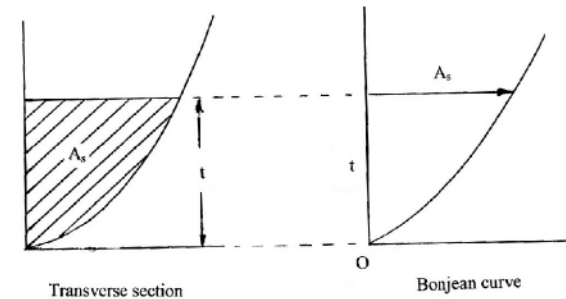
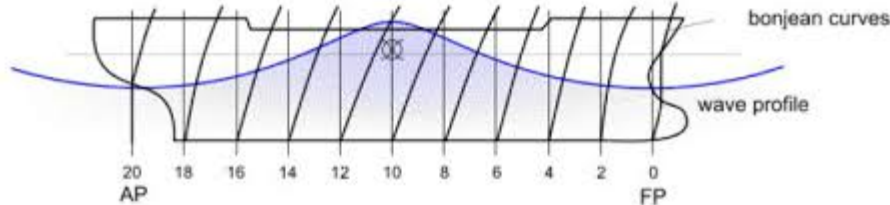
$+f$:  POSITIVE UPWARDS

Φόρτιση του πλοίου ως δοκού

- Το εμβαδό κάτω από την καμπύλη άντωσης πρέπει να είναι ίσο με το εμβαδό κάτω από την καμπύλη βάρους
- Τα κέντρα βάρους των εμβαδών αυτών πρέπει να βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφο

Κατανομή άντωσης

- Η καμπύλη άντωσης εξαρτάται από τη γεωμετρία των υφάλων του πλοίου και κατά συνέπεια επηρεάζεται από το βύθισμα και την διαγωγή του πλοίου.
- Για τον υπολογισμό της κατανομής άντωσης απαιτείται η γνώση των καμπύλων Bonjean



Υπολογισμός της κατανομής βάρους

- Κατηγορίες βαρών
 - Lightship weight (hull structure, machinery, furnishings, etc.)
 - Variable weight (cargo, fuel & lube, water, stores, etc.)
- Κατανομή βαρών
 - Πίνακας βαρών: για κάθε βάρος περιλαμβάνονται
 - Συνολικό βάρος
 - Θέση κέντρου βάρους (vcg, tcg, and lcg)
 - Διαμήκης έκταση
 - Μέθοδοι κατανομής βαρών κατά το διάμηκες
 - Συγκεντρωμένα φορτία (machinery, transverse bulkheads, etc.)
 - Κατανεμημένα φορτία (hull structure, cargo, fuel, etc.)
 - Ομοιόμορφη κατανομή (παράλληλο τμήμα)
 - Τραπεζοειδής κατανομή (εκτός παραλλήλου τμήματος)

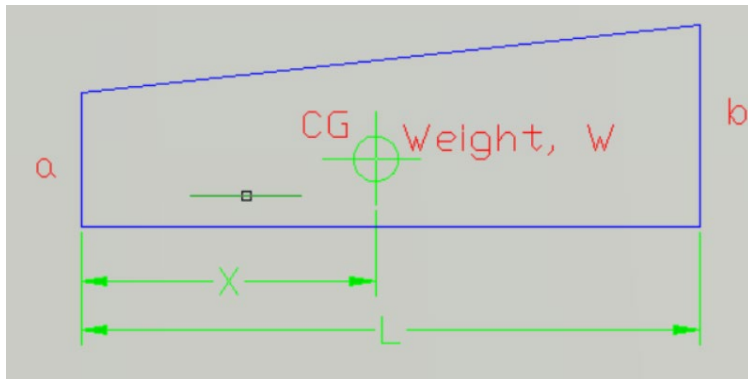
Σταθερή κατανομή βάρους

- Υποθέτουμε ότι ένα βάρος W κατανέμεται μεταξύ των θέσεων x_a και x_b και ότι το κέντρο βάρους βρίσκεται στο κέντρο του διαστήματος $[x_a, x_b]$.
- Σε αυτή την περίπτωση στην καμπύλη βάρους προστίθεται μεταξύ των θέσεων x_a και x_b σταθερή κατανομή ίση με W/l , όπου l το μήκος του διαστήματος $[x_a, x_b]$.
- Αν η θέση του κέντρου βάρους δεν βρίσκεται στο κέντρο του διαστήματος $[x_a, x_b]$, τότε είναι σωστότερο να χρησιμοποιήσουμε την τραπεζοειδή κατανομή.

Τραπεζοειδής κατανομή

Για τον υπολογισμό της τραπεζοειδούς κατανομής απαιτείται η γνώση:

- Του συνολικό βάρος W και η διαμήκης θέση CG του κέντρου βάρους, ή
- Το βάρος ανά τρέχον μέτρο στην αρχή και το τέλος



Το συνολικό βάρος W ισούται με το εμβαδό του τραπεζίου. Επίσης, το κέντρο βάρους θα πρέπει να συμπίπτει με το ΚΒ του τραπεζίου. Οι δύο αυτές συνθήκες μας δίνουν το ακόλουθο σύστημα εξισώσεων:

$$W=L(a+b)/2$$

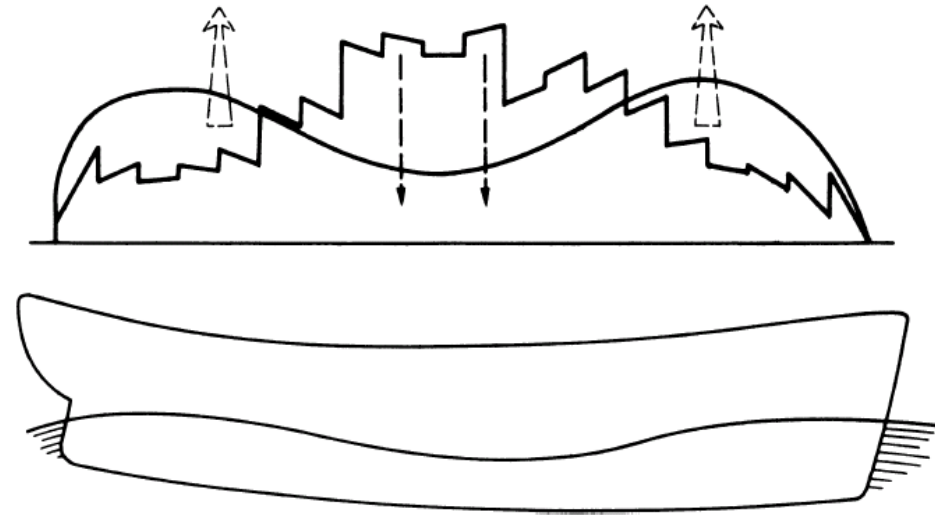
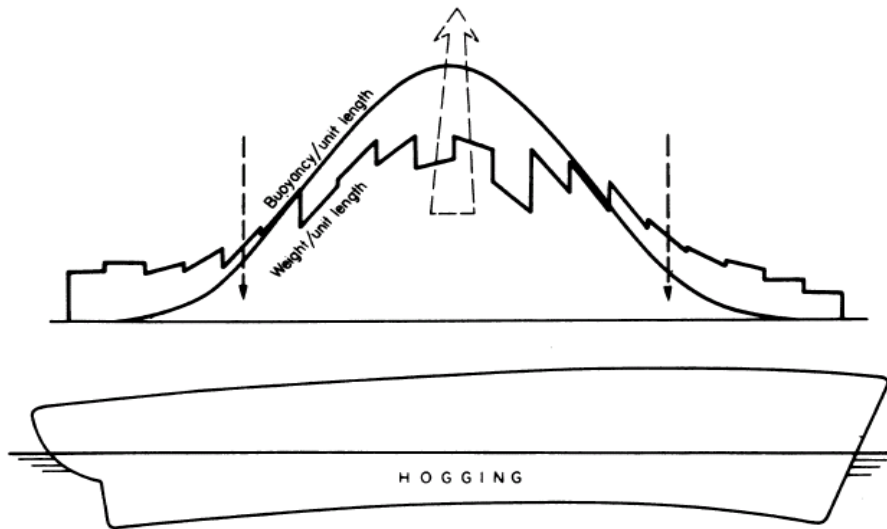
$$X=(L/3)(a+2b)/(a+b)$$

από την επίλυση του οποίου προκύπτουν οι τιμές a και b .

$$a = \frac{4W}{L} - \frac{6Wx}{L^2}$$

$$b = -\frac{2W}{L} + \frac{6Wx}{L^2}$$

Καταπόνηση σε κύμα



Μορφή κύματος:

$$y_w(x) = \frac{H_w}{2} \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

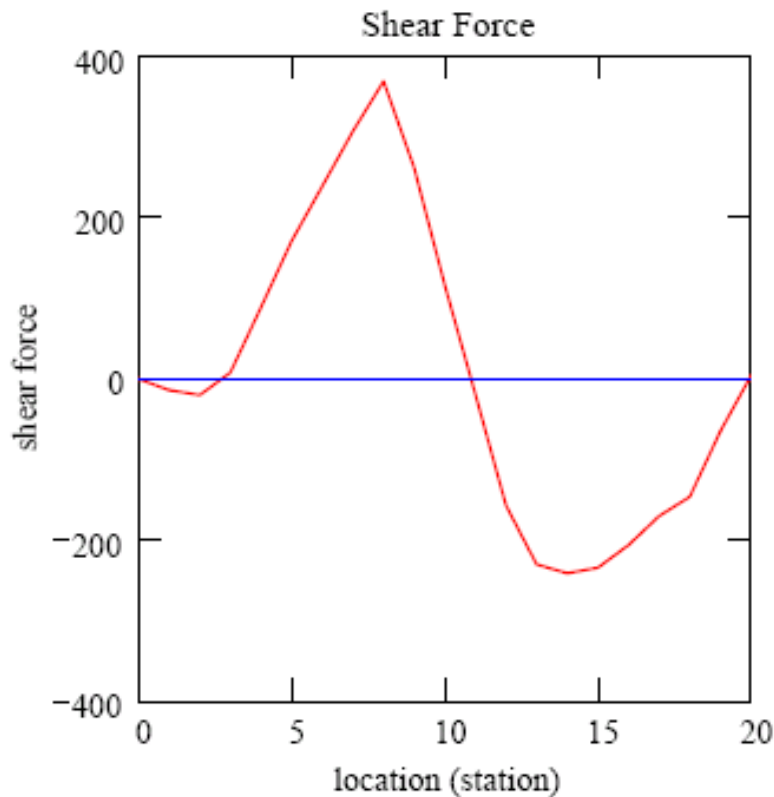
Μήκος κύματος:

$$\lambda = L_{BP}$$

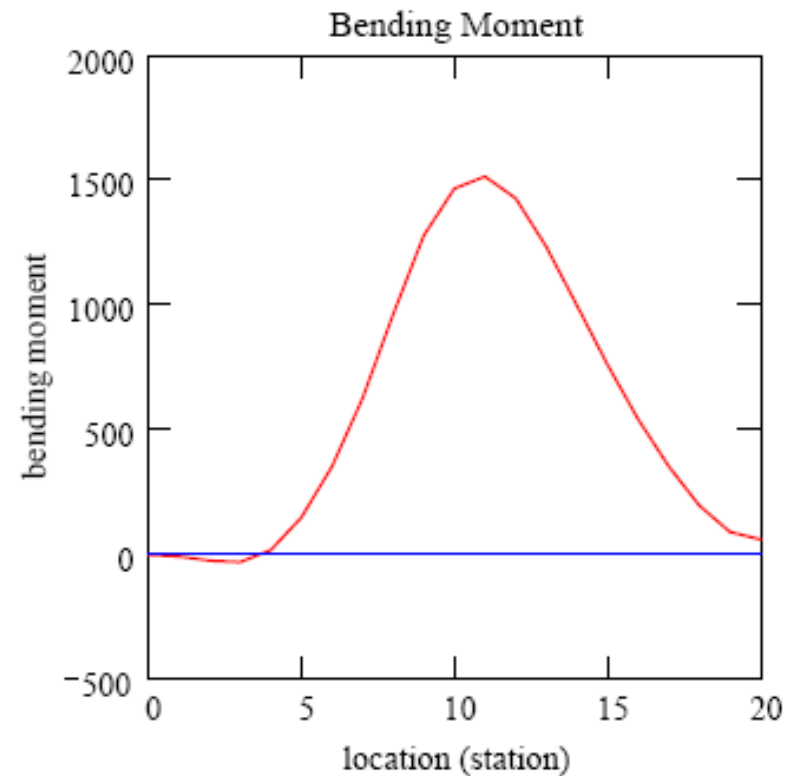
Ύψος κύματος:

$$H_w = 1.1 \cdot \sqrt{L_{BP}}, \text{ η } H_w = \frac{L_{BP}}{20}$$

Καμπύλες διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών



Διατμητική δύναμη



Καμπτική ροπή

Καμπύλες διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών

Θα πρέπει να ισχύουν τα ακόλουθα:

- Στα σημεία μηδενισμού του κατανεμημένου φορτίου η διατμητική δύναμη παρουσιάζει ακρότατο και η καμπτική ροπή σημείο καμπής.
- Στα σημεία μηδενισμού της διατμητικής δύναμης η καμπτική ροπή παρουσιάζει ακρότατο.
- Στα σημεία που έχουμε μέγιστα στο φορτίο εμφανίζεται σημείο καμπής στη διατμητική δύναμη

Καμπύλες διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών

Οι καμπύλες Q και M πρέπει να μηδενίζονται στα άκρα του πλοίου. Αν αυτό δε συμβαίνει υπάρχουν δύο δυνατές αιτίες:

- Λάθη λόγω των αριθμητικών προσεγγίσεων
- Δεν είναι σωστή η καμπύλη $q(x)$ (το βάρος δεν ισορροπεί την άντωση)

Στη δεύτερη περίπτωση γίνεται διόρθωση στο βυθισμα και τη διαγωγή:

$$\Delta T = \frac{Q_{FE}}{A_{WL} \cdot \rho \cdot g} \quad \Delta \phi = \frac{M_{FE} - Q_{FE} \cdot r}{I_{WL} \cdot \rho \cdot g}$$

Καμπύλες διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών

Όπου:

Q_{FE} και M_{FE} οι τιμές των Q και M στο προωραίο άκρο,

A_{WL} και I_{WL} η επιφάνεια και η ροπή αδράνειας της ισάλου

r η απόσταση του κέντρου πλευστότητας από το προωραίο άκρο

ρg το ειδικό βάρος του νερού

Καμπύλες διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών

Όταν

$$Q_{FE} < 0.03 Q_{\max} \text{ και } M_{FE} < 0.06 M_{\max}$$

αρκεί απλή αριθμητική διόρθωση με κατανομή του τελικού λάθους σε ολόκληρη την καμπύλη με τη βοήθεια των σχέσεων:

$$Q_{\text{cor}}(x) = Q(x) - Q_{FE} \frac{x}{L}$$

$$M_{\text{cor}}(x) = M(x) - M_{FE} \frac{x}{L}$$

Καμπύλες διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών

Για τον αριθμητικό υπολογισμό των συναρτήσεων $Q(x)$, $M(x)$ χρησιμοποιείται η ανάπτυξη τους κατά Taylor οπότε και προκύπτει:

$$Q(x + \Delta x) = Q(x) + \frac{q(x + \Delta x) + q(x)}{2} \cdot \Delta x$$

$$M(x + \Delta x) = M(x) + Q(x) \cdot \Delta x + \frac{q(x + \Delta x) + 2 \cdot q(x)}{6} \cdot (\Delta x)^2$$

Υπολογισμός ορθών τάσεων λόγω κάμψης

Από την απλή θεωρία της κάμψης προκύπτει ότι η ορθή τάση λόγω κάμψης δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_b(y) = \frac{M_z y}{I}$$

Εφόσον η τάση λόγω κάμψης αυξάνεται γραμμικά με την απόσταση από τον ουδέτερο άξονα, οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στον πυθμένα και το κατάστρωμα

$$\sigma_{deck} = \frac{M_z}{Z_{deck}}, \quad \sigma_{keel} = \frac{M_z}{Z_{keel}}$$

$$Z_{deck} \equiv \frac{I}{y_{deck}}, \quad Z_{keel} \equiv \frac{I}{y_{keel}}$$

Υπολογισμός ροπής αντίστασης

- Τα ακόλουθα κατασκευαστικά στοιχεία συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό της ροπής αντίστασης:
 - Ελασμα καταστρωμάτων
 - Πλευρικά ελάσματα και εσωτερικός πυθμένας
 - Διαμήκεις φρακτές και σταθμίδες
 - Διαμήκη ενισχυτικά
 - Ορισμένα από τα ανωτέρω στοιχεία μπορεί να μην ληφθούν υπ' όψη αναλόγως του μήκους τους, της στήριξής τους και της ακαμψίας τους.

Υπολογισμός ροπής αντίστασης

TABLE 3.5 SECTION MODULUS CALCULATION

Item	Scantlings m × mm	Area a (m ²)	Height h (m)	Moment ah	2nd Moment ah^2	Local 2nd Moment i (m ⁴)
Strength Deck Plating	2.5 × 14	0.0350	9.0	0.3150	2.835	
S.D. stringer plate	1.5 × 16	0.0240	9.0	0.2160	1.944	
S.D. longitudinals (mm)	W160 × 14; F40 × 14	0.0084	8.9	0.0748	0.666	
Sheer strake	1.0 × 16	0.0160	8.5	0.1360	1.156	0.001
Side plating	7.2 × 14	0.1008	4.4	0.4435	1.951	0.435
2nd deck plating	4.0 × 12	0.0480	5.5	0.2640	1.452	
Bilge (curved portion)	$R = 0.8; t = 14$	0.0176	0.29	0.0051	0.001	0.001
Inner Bottom plating	6.5 × 14	0.0910	1.0	0.0910	0.091	
I.B. margin plate	1.5 × 16	0.0240	1.0	0.0240	0.024	
I.B. longitudinals (mm)	W200 × 10; F66 × 15	0.0150	0.86	0.0129	0.011	
Side girders	1.0 × 12	0.0240	0.5	0.0120	0.006	0.002
Center girder ($\frac{1}{2}$)	1.0 × 6	0.0060	0.5	0.0030	0.001	0.001
Bottom plating	7.2 × 14	0.1008	0	0	0	
Bottom longitudinals (mm)	W200 × 10; F66 × 15	0.0150	0.14	0.0021	0.000	
Upper hatch side girder	W0.5 × 25; F0.4 × 25	0.0225	8.64	0.1944	1.680	
Lower hatch side girder	W0.5 × 25; F0.4 × 25	0.0225	5.14	0.1157	0.595	
Totals (for half section)		0.5706		1.9095	12.413	0.440

$$\text{Height of neutral axis: } h_{NA} = \frac{\sum a_i h_i}{\sum a_i} = \frac{1.9095}{0.5706} = 3.346 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} I_{zz} = 12.413 + 0.440 = 12.853 \text{ m}^4$$

$$\text{Parallel axis term} = -(\sum a_i) h_{NA}^2 = -6.390 \text{ m}^4$$

$$\frac{1}{2} I = 6.463 \text{ m}^4$$

$$\text{Full values: } A = 1.142 \text{ m}^2$$

$$I = 12.93 \text{ m}^4$$

$$Z_D = \frac{I}{h_D - h_{NA}} = \frac{12.93}{9.000 - 3.346} = 2.287 \text{ m}^3$$

$$Z_K = \frac{I}{h_{NA}} = \frac{12.93}{3.346} = 3.864 \text{ m}^3$$

Υπολογισμός ροπής αντίστασης

Οριζόντια ή κατακόρυφα επίπεδα ελάσματα πάχους t :

$$i = \frac{b \cdot t^3}{12} \quad \text{ή} \quad i = \frac{t \cdot b^3}{12}$$

Κεκλιμένα επίπεδα ελάσματα :

$$i = \frac{ad^2}{12} \quad (a = \text{εμβαδό})$$

Καμπύλα ελάσματα σε σχήμα τεταρτοκυκλίου:

$$i = \left(\frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2} \right) ar^2, \quad \bar{y} = \frac{(\pi - 2) \cdot r}{\pi}$$

Υπολογισμός ροπής αντίστασης

Η ροπή αδράνειας I μιας τομής υπολογίζεται ως ακολούθως:

- Καταγράφουμε σε πινακοποιημένη μορφή εκείνα τα στοιχεία τα οποία θεωρούμε ότι συμμετέχουν στη διαμήκη αντοχή με τις διαστάσεις τους (scantlings)
 - Υπολογίζουμε το εμβαδό κάθε στοιχείου (a)
 - Υπολογίζουμε την απόσταση κάθε στοιχείου από την βασική γραμμή (h)
 - Υπολογίζουμε την πρώτη ροπή επιφάνειας κάθε στοιχείου ως προς τη βασική γραμμή (ah)
 - Υπολογίζουμε τη ροπή αδράνειας (δεύτερη ροπή επιφάνειας) κάθε στοιχείου ως προς τη βασική γραμμή (ah^2)
 - Υπολογίζουμε τη ροπή αδράνειας κάθε στοιχείου ως προς τον ίδιο ουδέτερο άξονα (i)

Υπολογισμός ροπής αντίστασης

Η ροπή αδράνειας I μιας τομής υπολογίζεται ως ακολούθως:

- Υπολογίζουμε την απόσταση του ουδέτερου άξονα από τη βασική γραμμή
- Υπολογίζουμε τη ροπή αδράνειας της διατομής ως προς τη βασική γραμμή

$$I_{BL} = \sum (i) + \sum (ah^2)$$

- Υπολογίζουμε τη ροπή αδράνειας της διατομής ως προς τον ουδέτερο άξονα

$$I_{NA} = I_{BL} - Ah_{NA}^2$$

- Υπολογίζουμε τη ροπή αντίστασης της διατομής ως προς το κατάστρωμα και ως προς τον πυθμένα

$$Z_{\text{deck}} = \frac{I_{NA}}{y_{\text{deck}}} = \frac{I_{NA}}{(h_{\text{deck}} - h_{NA})}$$

$$Z_{\text{keel}} = \frac{I_{NA}}{y_{\text{keel}}} = \frac{I_{NA}}{h_{NA}}$$

Loading Manual Calculations

