

ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΟΙΟΥ

Ενότητα: Θερμικές τάσεις σε πλοία

A. Θεοδουλίδης

Θερμικές τάσεις σε πλοία

Η ανάπτυξη θερμικών τάσεων σε πλοία οφείλεται:

- (α) στην επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας
- (β) στη μεταφορά ειδικών φορτίων (πίσσα, υγροποιημένα αέρια, κατεψυγμένα φορτία)

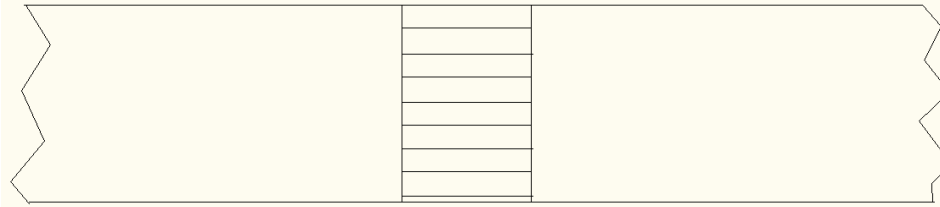
Σε κάποιες περιπτώσεις οι προκαλούμενες θερμικές τάσεις μπορεί να είναι πολύ σημαντικές και οπωσδήποτε θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη.

Έχουν παρατηρηθεί τάσεις οφειλόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία οι οποίες προσεγγίζουν τα 80 N/mm^2 .

Θερμική επιμήκυνση και παραμόρφωση χωρίς τάσεις

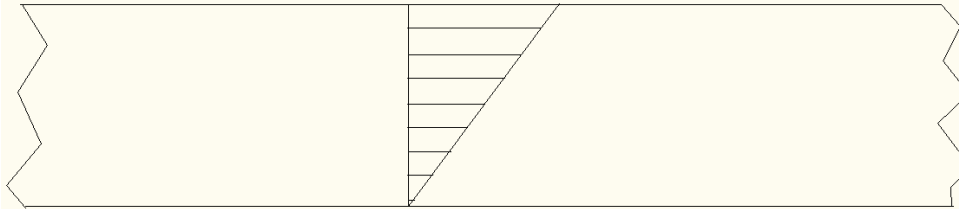
A. Κατασκευές χωρίς περιορισμούς

Ομοιόμορφη
θερμοκρασιακή
κατανομή

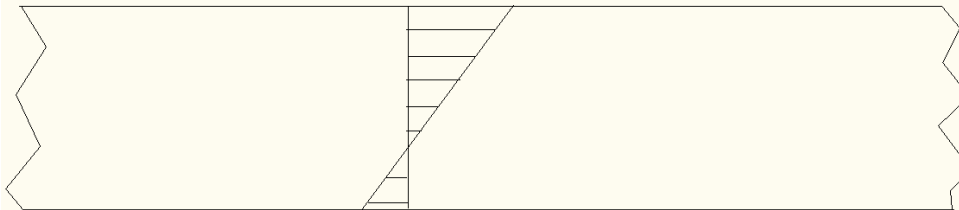


Επιμήκυνση
προς όλες τις
κατευθύνσεις
χωρίς την
παρουσία
τάσεων

γραμμική
θερμοκρασιακή
κατανομή



Επιμήκυνση και
κάμψη χωρίς την
παρουσία τάσεων

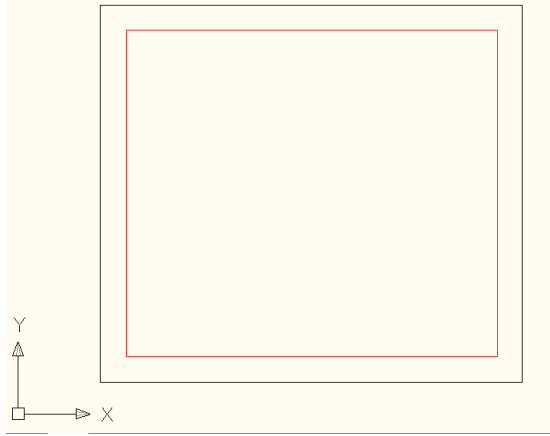


Θερμική επιμήκυνση και παραμόρφωση χωρίς τάσεις

Θερμικές τάσεις αναπτύσσονται όταν υπάρχουν εξωτερικοί περιορισμοί ή μη-γραμμική κατανομή θερμοκρασιακών διαφορών στο σώμα.



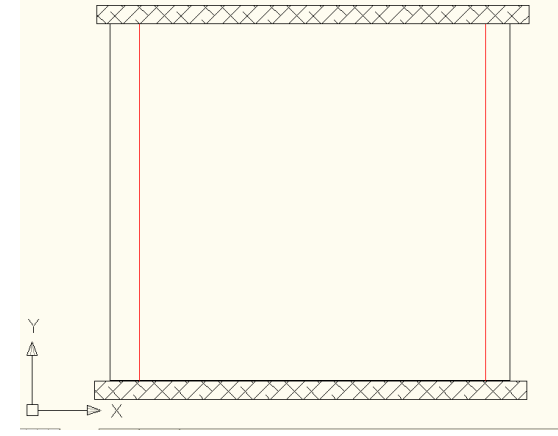
Αρχική κατάσταση



Ομοιόμορφη
θερμοκρασιακή διαφορά T

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \alpha T$$

$$\sigma_x = \sigma_y = 0$$



Περιορισμός μετακινήσεων
κατά y .

$$\varepsilon_x = \alpha T + \nu \alpha T \quad \varepsilon_y = 0$$

$$\sigma_x = 0 \quad \sigma_y = -E \alpha T$$

Θερμική διαστολή και σχέσεις τάσεων – παραμορφώσεων – Θερμοκρασιακής διαφοράς

Ο συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής ενός υλικού είναι η μεταβολή μήκους ανά μονάδα μήκους για μεταβολή θερμοκρασίας ίση με τη μονάδα.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L \cdot (T - T_0)}$$

όπου ΔL = μεταβολή του μήκους

L = αρχικό μήκος

T_0 = αρχική θερμοκρασία

T = νέα θερμοκρασία

Παραδείγματα μέσω των τιμών του α σε θερμοκρασία δωματίου:

Αλουμίνιο: $11,1 - 13,4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{F}$

Χάλυβας: $5,5 - 7,1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{F}$

Θερμική διαστολή και σχέσεις τάσεων – παραμορφώσεων – Θερμοκρασιακής διαφοράς

Για ισότροπο υλικό οι θερμικές παραμορφώσεις μπορεί να είναι μόνο απλή διαστολή ή συστολή. Δηλ. δεν υπάρχουν διατμητικές θερμικές παραμορφώσεις:

$$\varepsilon_x^t = \varepsilon_y^t = \varepsilon_z^t = \alpha \cdot (T - T_0)$$

$$\gamma_{xy}^t = \gamma_{yz}^t = \gamma_{zx}^t = 0$$

Συνολική παραμόρφωση = Ελαστική παραμόρφωση + Θερμική παραμόρφωση

Θερμική διαστολή και σχέσεις τάσεων – παραμορφώσεων – Θερμοκρασιακής διαφοράς

Για πλήρη περιορισμό, η θερμική τάση είναι:

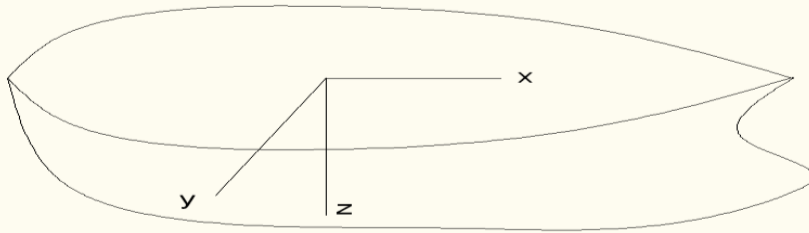
$$\sigma = -\alpha \cdot E \cdot (T - T_0)$$

Αν η θερμική διαστολή ή συστολή περιορίζεται μερικώς, τότε:

$$\sigma = -K \cdot \alpha \cdot E \cdot (T - T_0)$$

όπου K ο συντελεστής περιορισμού (restraint coefficient)

Πρωτεύουσες διαμήκειες τάσεις σε πλοίο από θερμικές επιδράσεις



$$\sigma_{x1} = -\alpha \cdot E \cdot T$$

Ροπή κάμψης περί τον άξονα των y λόγω των ανωτέρω τάσεων (κατακόρυφη ροπή κάμψης):

$$M_y = -\int_A \sigma_{x1} \cdot z \cdot dA$$

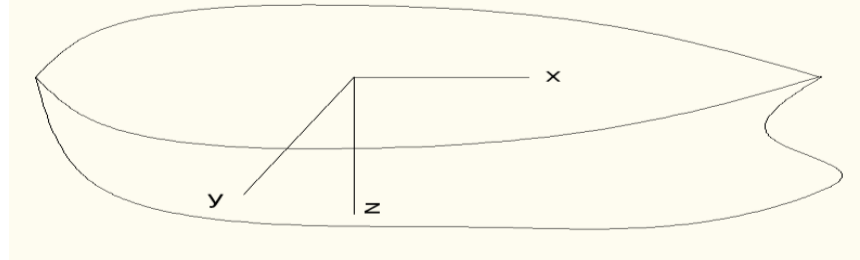
Ροπή κάμψης περί τον άξονα των z λόγω των ανωτέρω τάσεων (οριζόντια ροπή κάμψης):

$$M_z = -\int_A \sigma_{x1} \cdot y \cdot dA$$

Συνολική αξονική δύναμη:

$$P_x = -\int_A \sigma_{x1} \cdot dA$$

Πρωτεύουσες διαμήκειες τάσεις σε πλοίο από θερμικές επιδράσεις



Με βάση την αρχή της επαλληλίας (θεωρία ελαστικότητας), η συνολική διαμήκειες τάση στο πλοίο δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= -E \cdot \alpha \cdot T + \frac{P_x}{A_T} + \frac{y \cdot M_z}{I_z} + \frac{z \cdot M_y}{I_y} = \\ &= \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4\end{aligned}$$

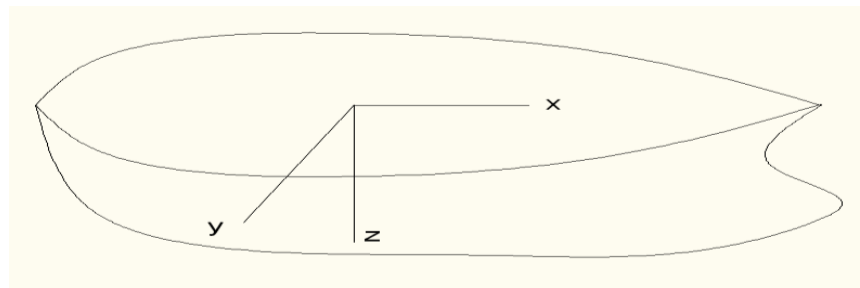
όπου:

I_y = ροπή αδράνειας της διατομής ως προς τον άξονα y

I_z = ροπή αδράνειας της διατομής ως προς τον άξονα z

A_T = συνολική επιφάνεια της διατομής

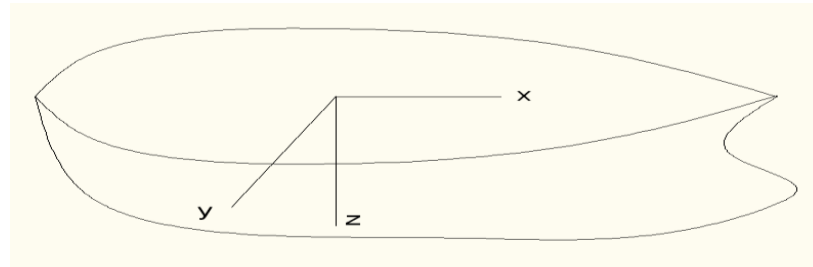
Πρωτεύουσες διαμήκειες τάσεις σε πλοίο από θερμικές επιδράσεις



Το κατακόρυφο βέλος κάμψης δίνεται από τη σχέση:

$$w'' = \frac{M_y}{E \cdot I_y}$$

Πρωτεύουσες διαμήκειες τάσεις σε πλοίο από θερμικές επιδράσεις



Για τον υπολογισμό των ολοκληρωμάτων διαιρούμε τη διατομή σε στοιχεία όπως κάνουμε και για τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης. Τα ολοκληρώματα δίνονται από τις σχέσεις:

$$M_y = -\sum \sigma_{x1} \cdot z \cdot \Delta A = \sum E \cdot \alpha \cdot T \cdot z \cdot \Delta A$$

$$M_z = -\sum \sigma_{x1} \cdot y \cdot \Delta A = \sum E \cdot \alpha \cdot T \cdot y \cdot \Delta A$$

$$P_x = -\sum \sigma_{x1} \cdot \Delta A = \sum E \cdot \alpha \cdot T \cdot \Delta A$$

$$I_y = \sum \Delta A \cdot z^2$$

$$I_z = \sum \Delta A \cdot y^2$$

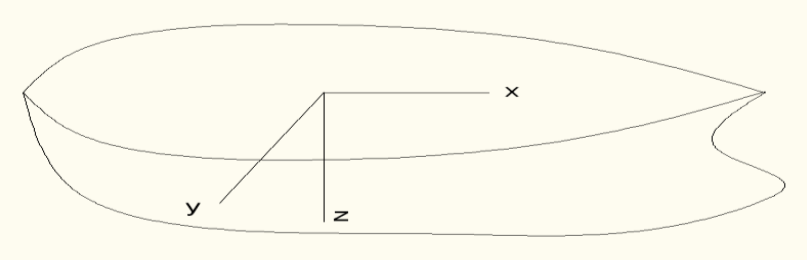
$$A_T = \sum \Delta A$$

Πρωτεύουσες θερμικές τάσεις – Πινακοποίηση υπολογισμών

Στοιχείο	ΔA	y	z	T	$-\sigma_1$	$\sigma_1 \cdot \Delta A$	$\sigma_1 \cdot \Delta A \cdot y$	$\sigma_1 \cdot \Delta A \cdot z$	$\sigma_1 + \sigma_2$	σ_3	σ_4	σT	$\sigma T \cdot \Delta A$	$\sigma T \cdot \Delta A \cdot y$	$\sigma T \cdot \Delta A \cdot z$
						$\Sigma(\sigma_1 \cdot \Delta A)$	$\Sigma(\sigma_1 \cdot \Delta A \cdot y)$	$\Sigma(\sigma_1 \cdot \Delta A \cdot z)$					$\Sigma(\sigma T \cdot \Delta A)$	$\Sigma(\sigma T \cdot \Delta A \cdot y)$	$\Sigma(\sigma T \cdot \Delta A \cdot z)$



Πρέπει να μηδενίζονται αν είναι σωστοί οι υπολογισμοί



Πρωτεύουσες θερμικές τάσεις – πινακοποίηση υπολογισμών

$$\sigma_1 = -E \cdot \alpha \cdot T$$

$$\sigma_2 = \frac{-\sum (\sigma_1 \cdot \Delta A)}{\sum (\Delta A)}$$

$$\sigma_3 = \frac{-\sum (\sigma_1 \cdot \Delta A \cdot y) \cdot y}{I_z}$$

$$\sigma_4 = \frac{-\sum (\sigma_1 \cdot \Delta A \cdot z) \cdot z}{I_y}$$

$$\sigma_T = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4$$