



Ε.Μ.Π.

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΙ

**ΔΙΑΛΕΞΗ 1
ΠΛΕΥΡΙΚΟΣ ΛΥΓΙΣΜΟΣ**

2011

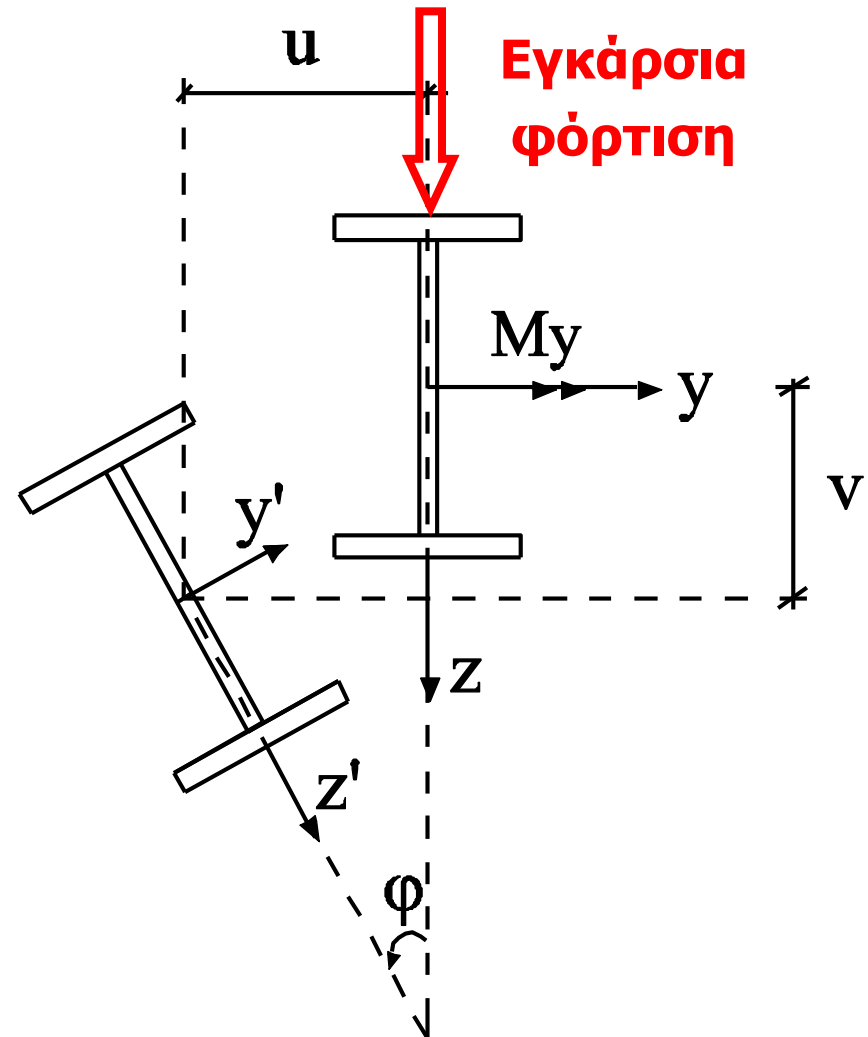


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Φαινόμενο πλευρικού λυγισμού

Πλευρικός λυγισμός είναι η μορφή αστάθειας ενός καμπτόμενου μέλους, κατά την οποία οι διατομές υπόκεινται, μετά το λυγισμό, σε στροφή περί το κέντρο διάτμησης και σε ταυτόχρονη πλευρική μετατόπιση.



2011



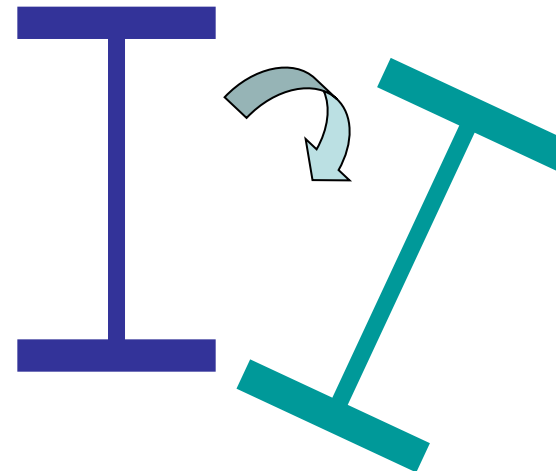
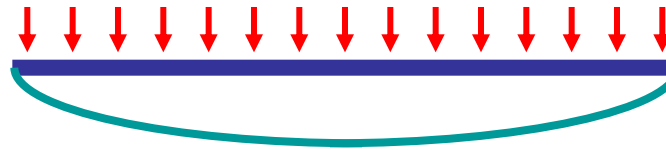
Ε.Μ.Π.

Φαινόμενο πλευρικού λυγισμού

Εγκάρσια
φόρτιση



Μέλος
υπό απλή
κάμψη

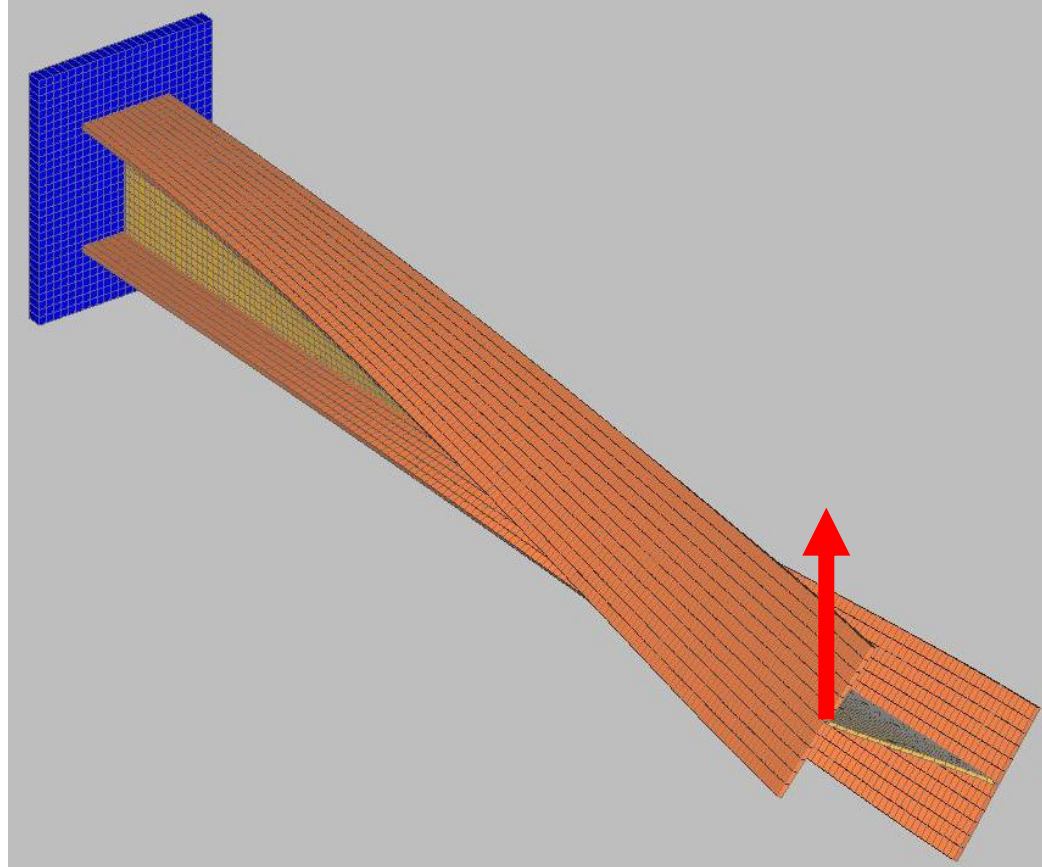




Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Φαινόμενο πλευρικού λυγισμού



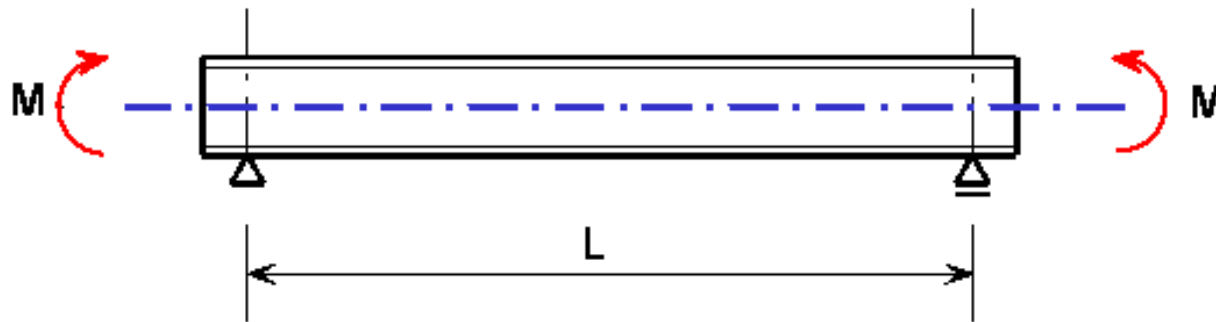
**Πλευρικός λυγισμός προβόλου
με συγκεντρωμένο φορτίο στο άκρο**



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

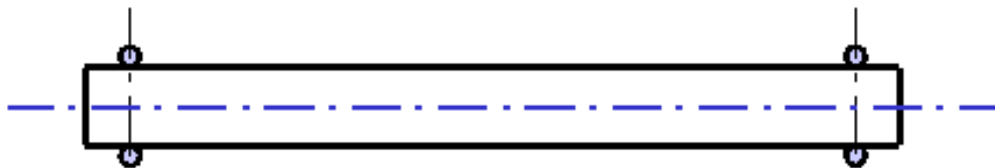
Φαινόμενο πλευρικού λυγισμού



(a)



(b)

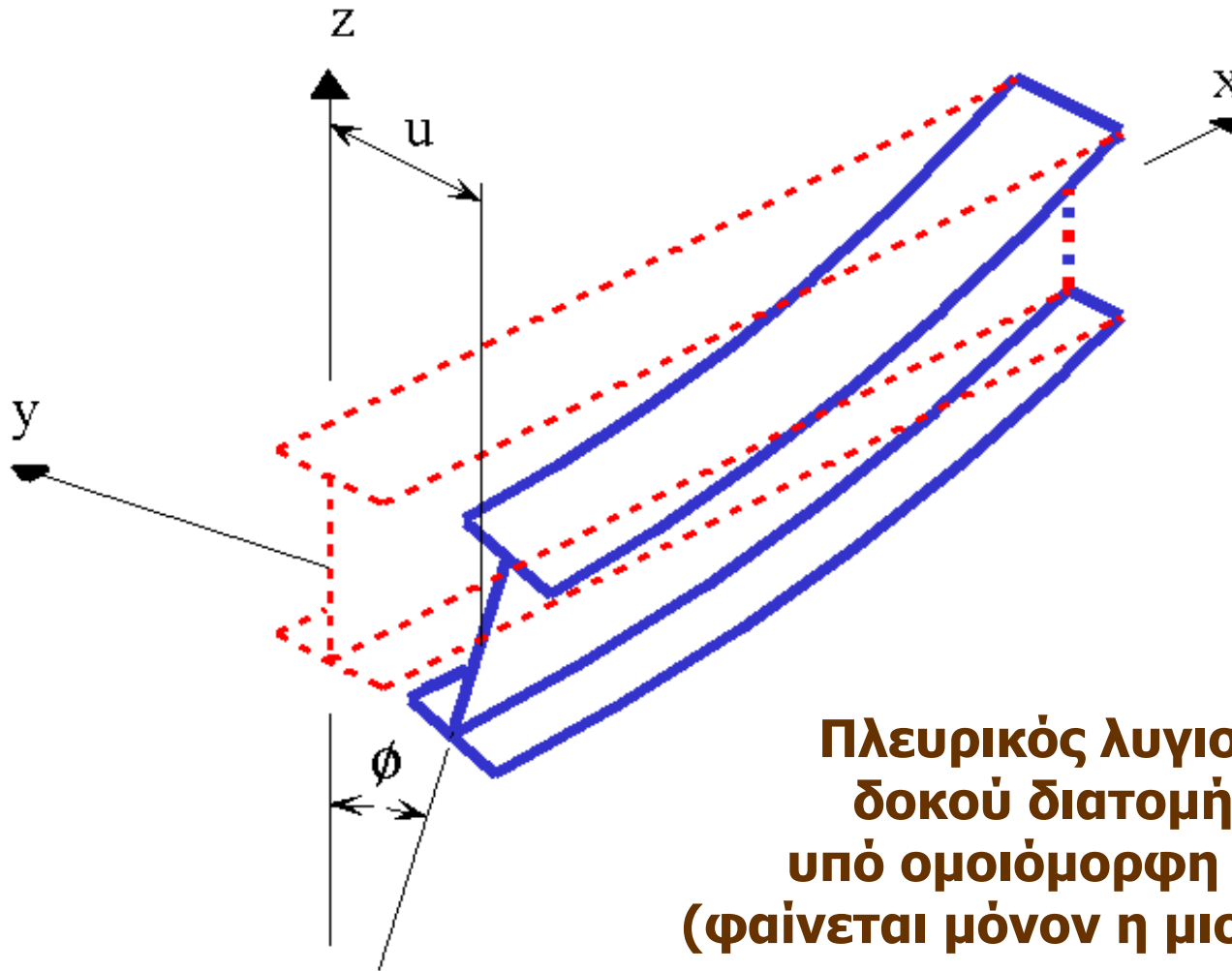


(c)

**Δοκός διατομής I
υπό ομοιόμορφη ροπή**



Φαινόμενο πλευρικού λυγισμού



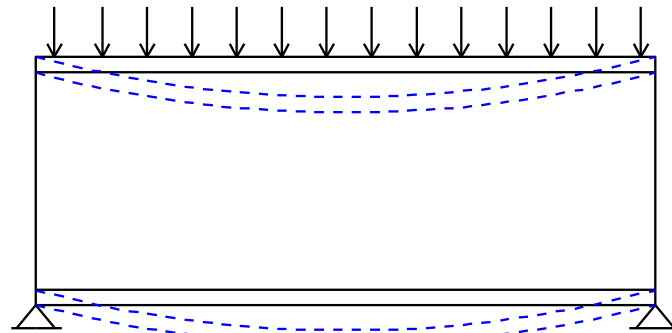
**Πλευρικός λυγισμός
δοκού διατομής I
υπό ομοιόμορφη ροπή
(φαίνεται μόνον η μισή δοκός)**



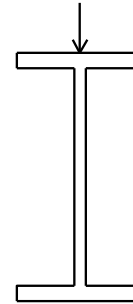
Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

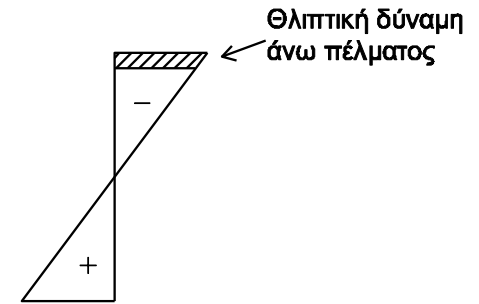
Ποιοτική ερμηνεία πλευρικού λυγισμού



ΟΨΗ



ΤΟΜΗ



Διάγραμμα
τάσεων σ

Στο άνω πέλμα δοκού διατομής I αναπτύσσονται λόγω κάμψης διαμήκεις ορθές θλιπτικές τάσεις



Το άνω πέλμα λειτουργώντας ως θλιβόμενη πλάκα έχει την τάση να λυγίσει



Ε.Μ.Π.

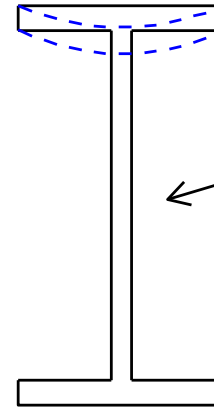
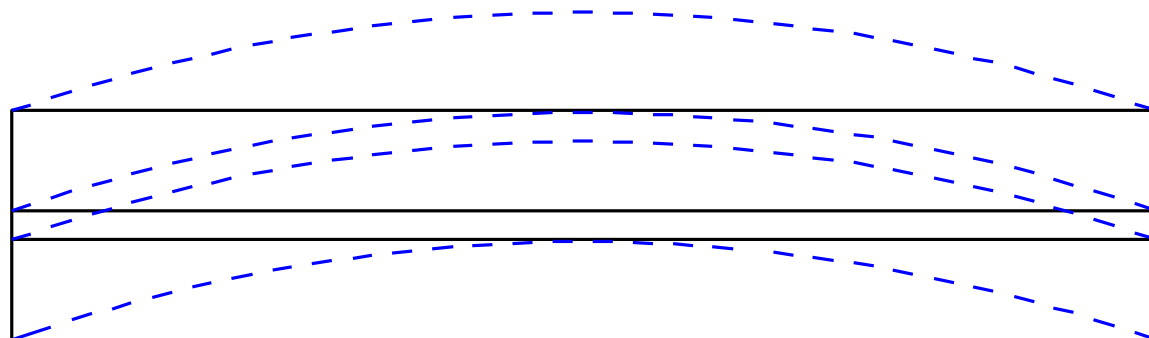
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ποιοτική ερμηνεία πλευρικού λυγισμού

**Ο κορμός παρεμποδίζει
τον λυγισμό
του θλιβόμενου άνω πέλματος
περί τον ασθενή του άξονα**



**Για αρκετά υψηλότερες τιμές του φορτίου,
το άνω πέλμα λυγίζει περί τον ισχυρό του άξονα,
δηλαδή εκτρέπεται πλευρικά**



Ο κορμός εμποδίζει
τον λυγισμό

2011



Ε.Μ.Π.

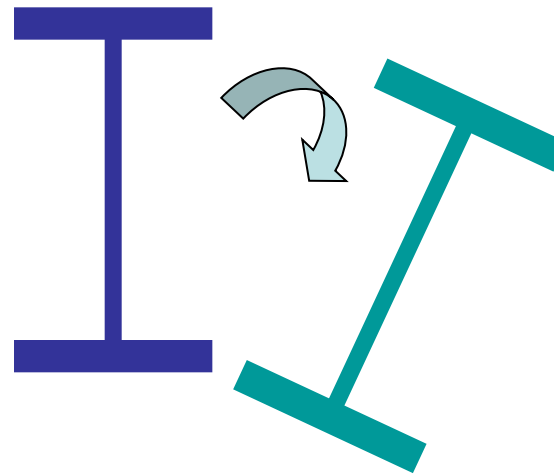
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ποιοτική ερμηνεία πλευρικού λυγισμού

Το εφελκυόμενο κάτω πέλμα δεν έχει την τάση να λυγίσει, συνδέεται όμως μέσω του κορμού με το θλιβόμενο άνω πέλμα, το οποίο εκτρέπεται πλευρικά



Η διατομή στρέφεται περί τον διαμήκη άξονα

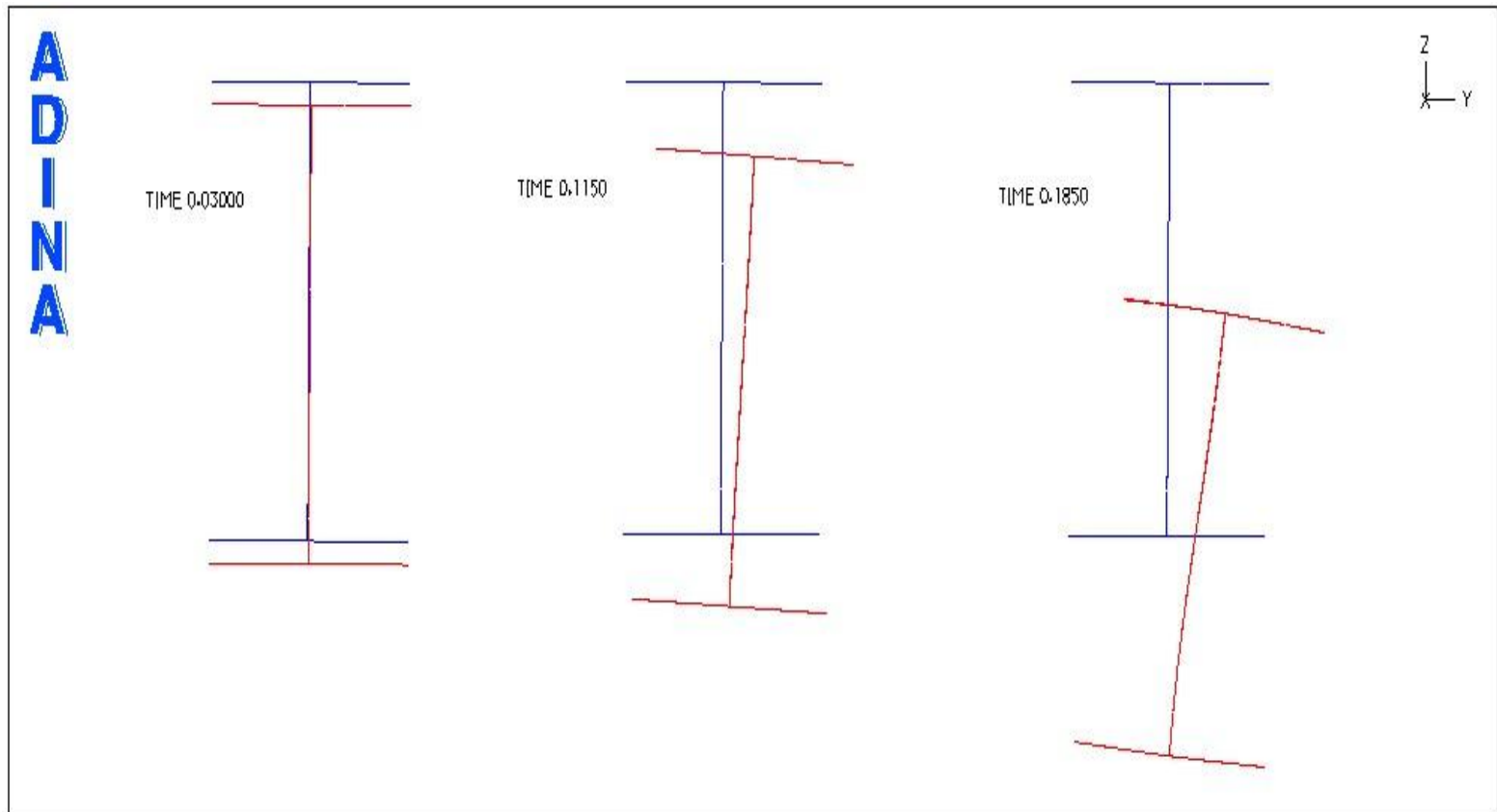




Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η έννοια του πλευρικού λυγισμού



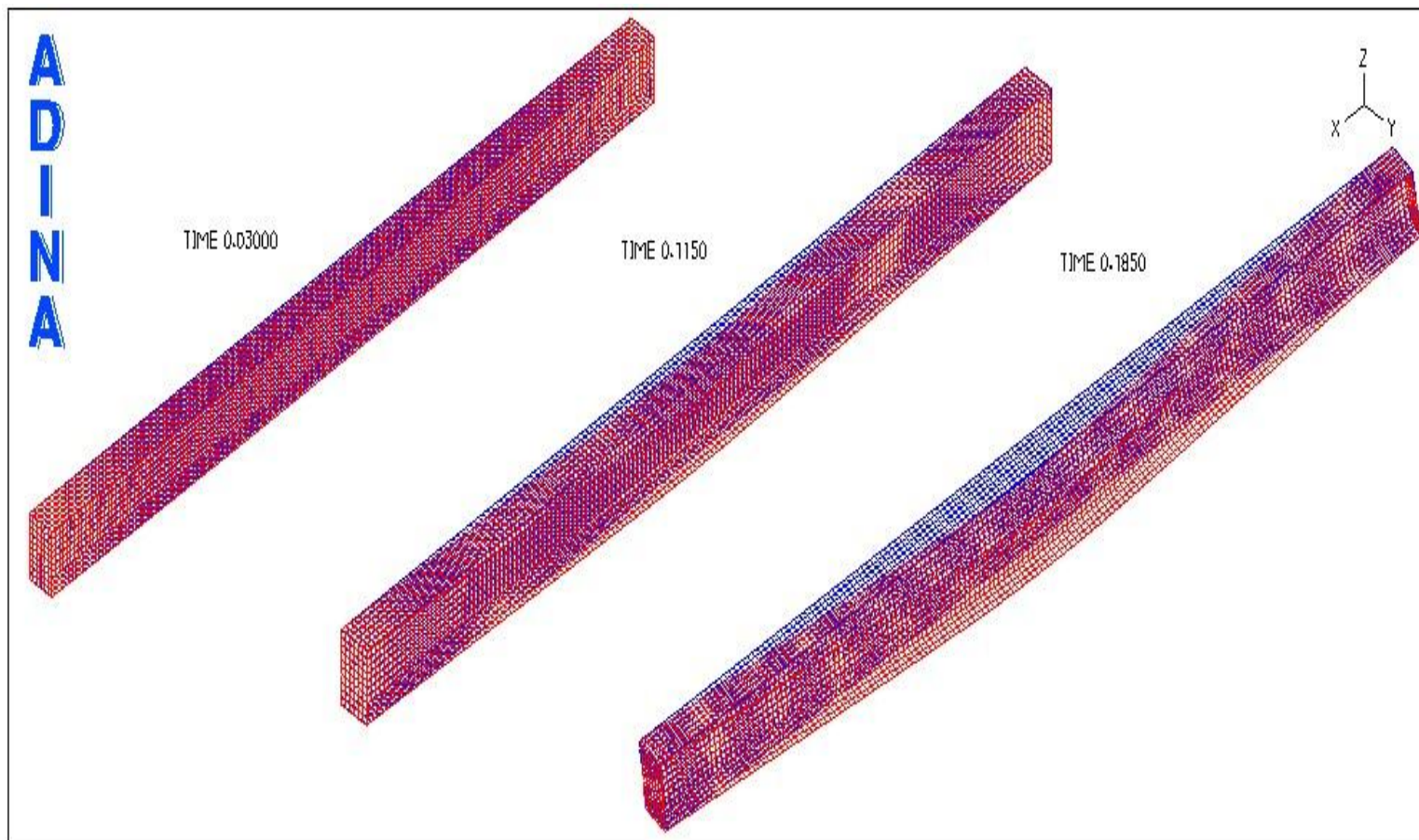
Μεσαία διατομή αμφίπακτης δοκού



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η έννοια του πλευρικού λυγισμού



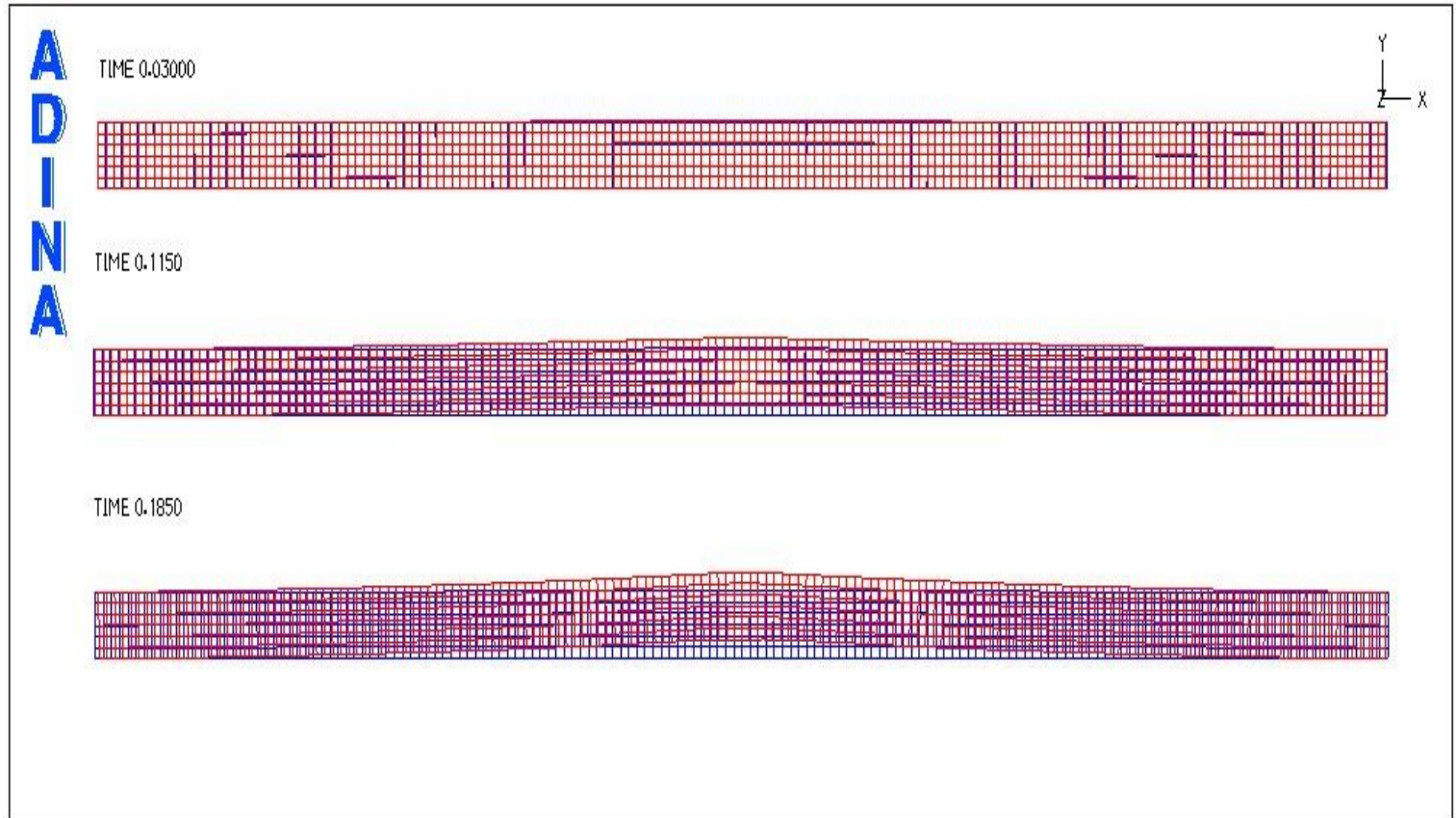
Προοπτικές εικόνες αμφίπακτης δοκού



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η έννοια του πλευρικού λυγισμού



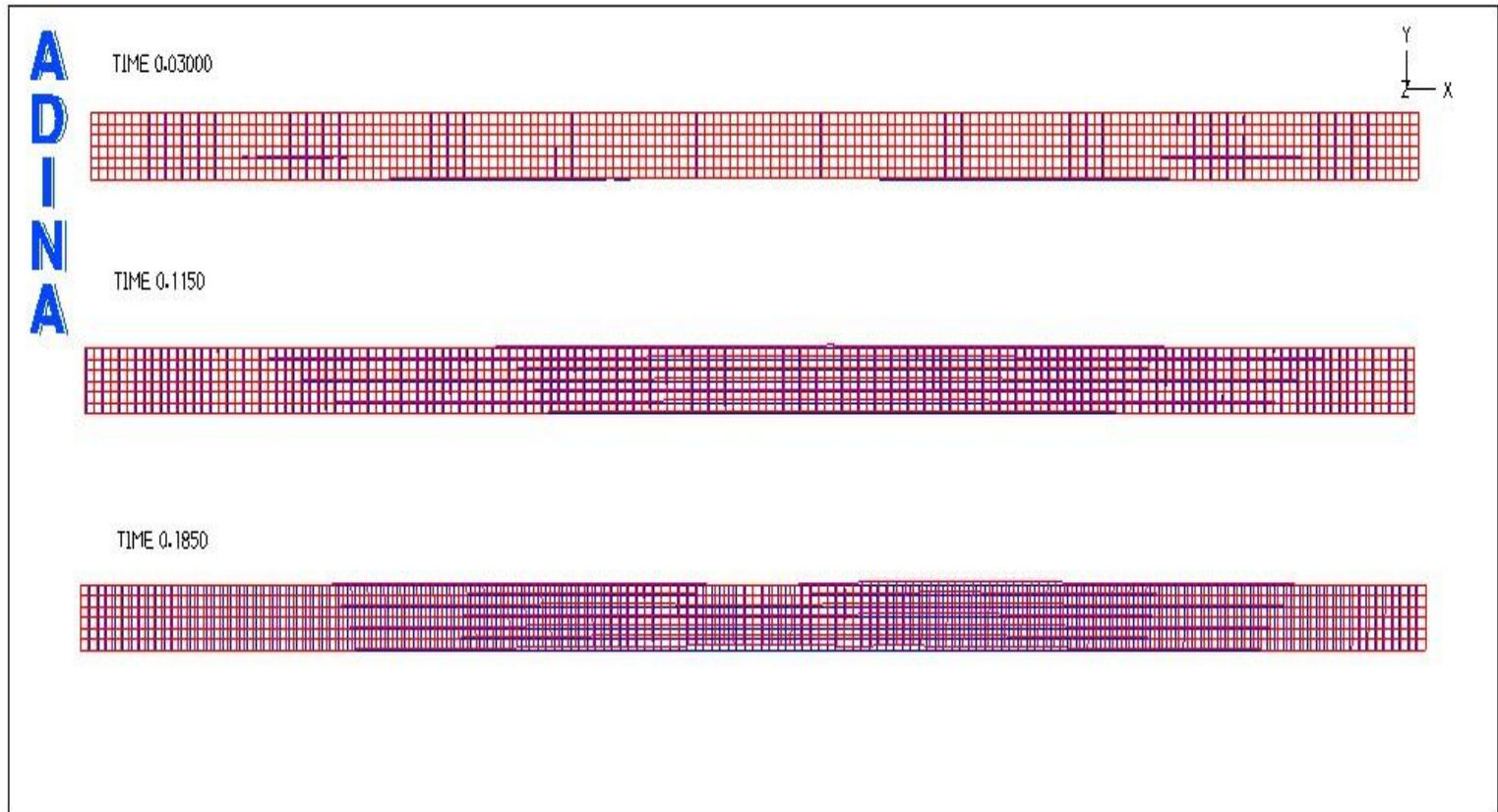
Άνω πέλμα αμφίπακτης δοκού



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η έννοια του πλευρικού λυγισμού



Κάτω πέλμα αμφίπακτης δοκού



Ε.Μ.Π.

Ε
Ρ
Γ
Α
Σ
Τ
Η
Ρ
Ι
Ο

Μ
Ε
Τ
Α
Λ
Λ
Ι
Κ
Ω
Ν

Κ
Α
Τ
Α
Σ
Κ
Ε
Υ
Ω
Ν

Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός

Αν το μέλος υπόκειται όχι μόνον σε εγκάρσια φορτία αλλά και σε αξονική θλίψη, το θλιβόμενο τμήμα της διατομής επεκτείνεται, και η ένταση των θλιπτικών τάσεων αυξάνεται



Ο κίνδυνος πλευρικού λυγισμού είναι μεγαλύτερος

Στην περίπτωση αυτή ο λυγισμός λέγεται **στρεπτοκαμπτικός λυγισμός** (lateral- torsional buckling)



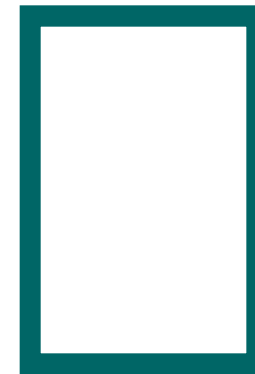
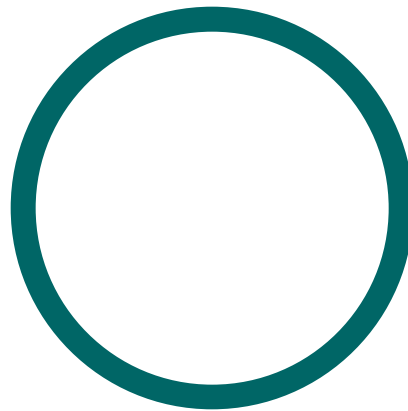
Ε.Μ.Π.

Ε
Ρ
Γ
Α
Σ
Τ
Η
Ρ
Ι
Ο

Μ
Ε
Τ
Α
Λ
Λ
Ι
Κ
Ω
Ν

Κ
Α
Τ
Α
Σ
Κ
Ε
Υ
Ω
Ν

Διατομές μη ευπαθείς σε πλευρικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό



**Κοίλες κυκλικές και κοίλες ορθογωνικές διατομές,
που διαθέτουν μεγάλη στρεπτική δυσκαμψία**



Ε.Μ.Π.

Ε
Ρ
Γ
Α
Σ
Τ
Η
ΡΙ
Ο

Μ
Ε
Τ
Α
Λ
Λ
ΙΚ
Ω
Ν

Κ
Α
Τ
Α
Σ
Κ
Ε
Υ
Ω
Ν

Διατομές ευπαθείς σε πλευρικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό



**Ανοικτές διατομές διπλού ταυ ή U,
που διαθέτουν μικρή στρεπτική δυσκαμψία
και είναι ευαίσθητες σε στρέβλωση**



Ε.Μ.Π.

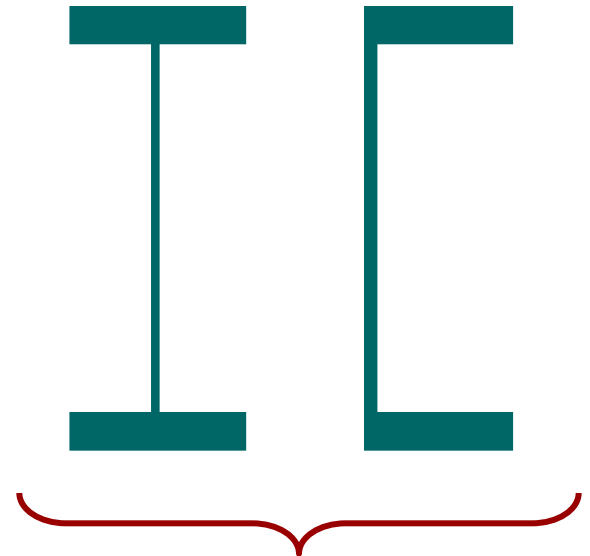
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Διατομές ευπαθείς σε πλευρικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Περισσότερο ευαίσθητες σε πλευρικό λυγισμό είναι οι διατομές με μεγαλύτερο λόγο I_y/I_z



λιγότερο
ευαίσθητες



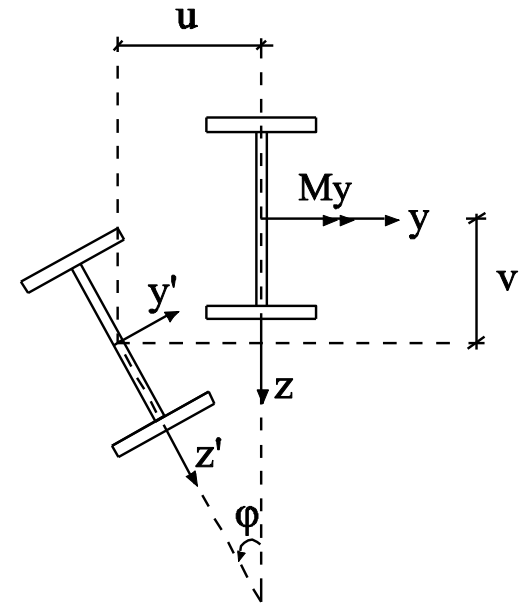
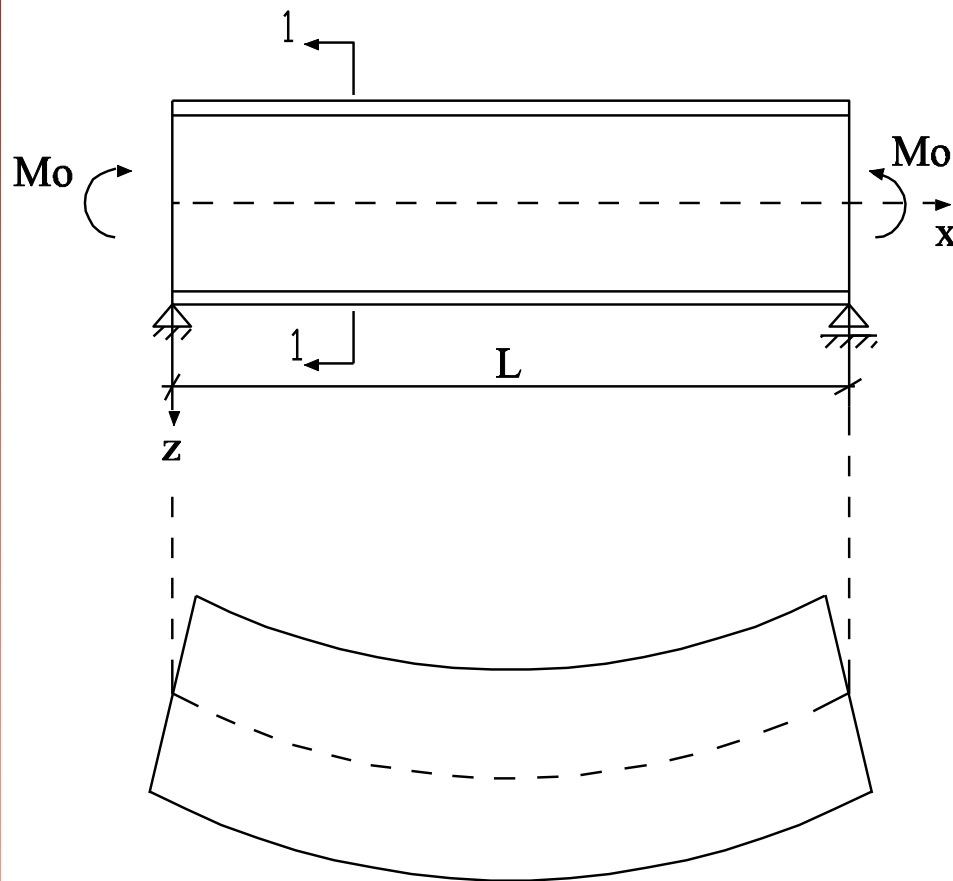
περισσότερο
ευαίσθητες



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Διαφορική εξίσωση ισορροπίας



Τομή 1-1

**Επειδή η δοκός φορτίζεται μόνο στο επίπεδο zx
αναπτύσσεται αρχικά ροπή κάμψης M_y**



Διαφορική εξίσωση ισορροπίας

πρόβλημα λυγισμού \Rightarrow εξισώσεις ισορροπίας στην παραμορφωμένη κατάσταση

διαφορική εξίσωση
κάμψης περί τον άξονα y

$$E \cdot I_y \cdot \frac{d^2 v}{dx^2} = M_y \cdot \cos \varphi \approx M_y \quad (1)$$

διαφορική εξίσωση
κάμψης περί τον άξονα z

$$E \cdot I_z \cdot \frac{d^2 u}{dx^2} = M_y \cdot \sin \varphi \approx M_y \cdot \varphi \quad (2)$$

διαφορική εξίσωση
στρέψης περί τον άξονα x

$$G \cdot I_t \cdot \frac{d\varphi}{dx} - E \cdot I_w \cdot \frac{d^3 \varphi}{dx^3} = -M_y \cdot \frac{du}{dx} \quad (3)$$



Διαφορική εξίσωση ισορροπίας

Παραγωγίζοντας την (3) ως προς x προκύπτει:

$$G \cdot I_t \cdot \frac{d^2 \varphi}{dx^2} - E \cdot I_w \cdot \frac{d^4 \varphi}{dx^4} = -M_y \cdot \frac{d^2 u}{dx^2} \quad (4)$$

και από τις (2) και (4):

$$E \cdot I_w \cdot \frac{d^4 \varphi}{dx^4} - G \cdot I_t \cdot \frac{d^2 \varphi}{dx^2} - \frac{M_y^2}{E \cdot I_z} \cdot \varphi = 0$$

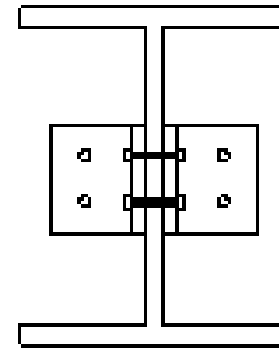
που είναι η διαφορική εξίσωση πλευρικού λυγισμού



Συνοριακές συνθήκες

Για απλή στρεπτική στήριξη ή διχαλωτή στήριξη

$$\varphi=0, \quad \frac{d^2\varphi}{dx^2}=0$$



Για πλήρη πάκτωση

$$\varphi=0, \quad \frac{d\varphi}{dx}=0$$

Για ελεύθερο άκρο

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2}=0, \quad G \cdot I_t \cdot \frac{d\varphi}{dx} - E \cdot I_w \cdot \frac{d^3\varphi}{dx^3}=0$$

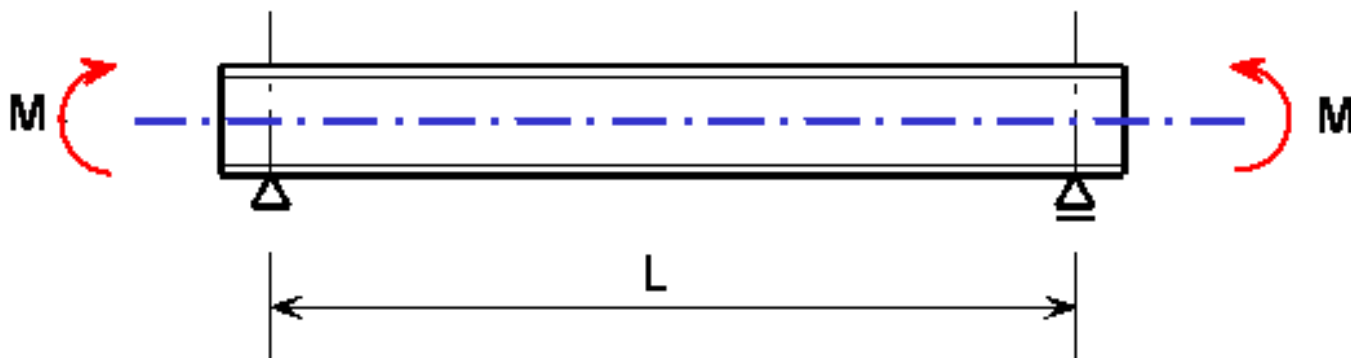


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

Για δοκό με διατομή συμμετρικού διπλού ταυ με απλές στρεπτικές στηρίξεις στα άκρα υπό ομοιόμορφη ροπή



$$M_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}}$$



Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

Παράγοντες που την επηρεάζουν:

Οι συνοριακές συνθήκες

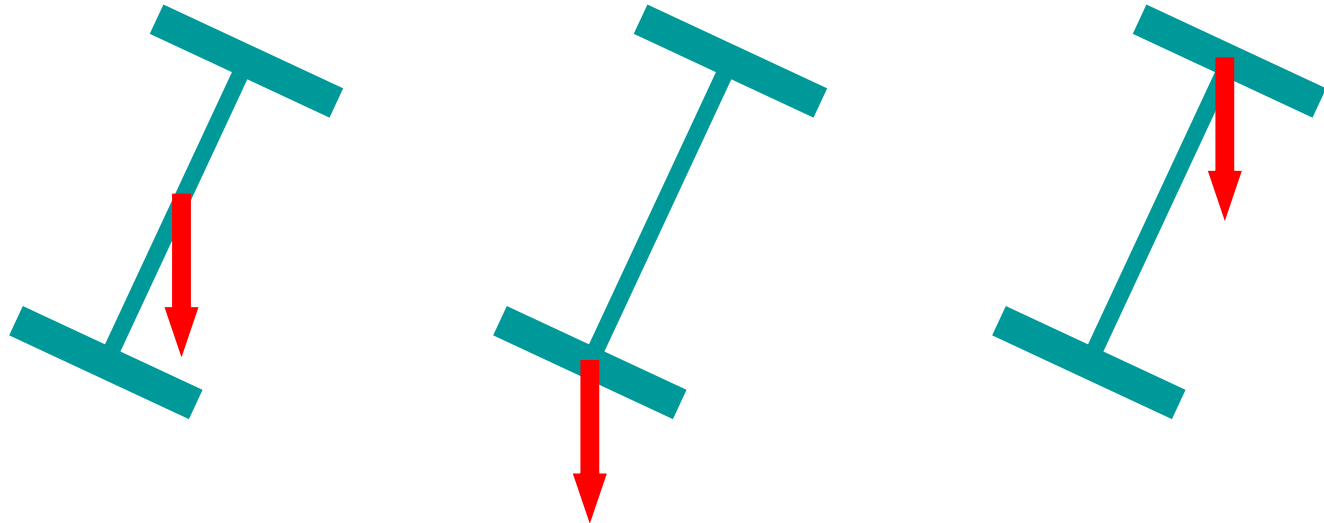
Το είδος και η θέση των φορτίων, τα οποία επηρεάζουν την κατανομή της ροπής κατά μήκος της δοκού (δηλαδή τη μορφή του διαγράμματος καμπτικών ροπών)

Το σημείο εφαρμογής των φορτίων καθ' ύψος της διατομής (κέντρο βάρους, άνω πέλμα, κάτω πέλμα)



Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

Επίδραση του σημείου εφαρμογής των φορτίων καθ' ύψος της διατομής (κέντρο βάρους, άνω πέλμα, κάτω πέλμα)

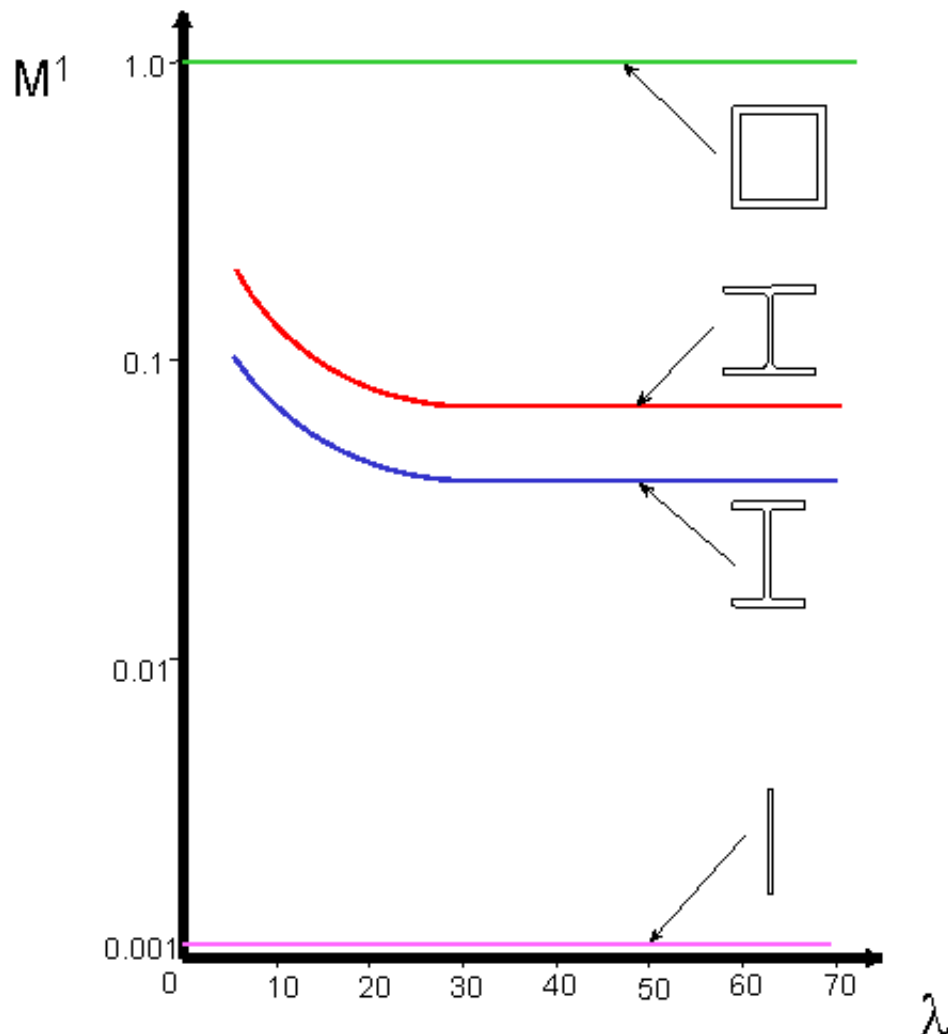




Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού



$$M^1 = \frac{M_{cr}}{M_{cr,box}}$$

Διατομές
ίσου
εμβαδού



Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

Για δοκό σταθερής διατομής, συμμετρική ως προς τον ασθενή άξονα αδρανείας και υποκείμενη σε κάμψη περί τον ισχυρό άξονα αδρανείας, η κρίσιμη ελαστική ροπή πλευρικού λυγισμού δίνεται από το γενικό τύπο

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{0.5} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\}$$



Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

Για δοκό σταθερής διατομής, συμμετρική ως προς τον ασθενή άξονα αδρανείας και υποκείμενη σε κάμψη περί τον ισχυρό άξονα αδρανείας y , η κρίσιμη ελαστική ροπή πλευρικού λυγισμού δίνεται από το γενικό τύπο

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{0.5} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\}$$

L το μήκος της δοκού μεταξύ σημείων πλευρικά εξασφαλισμένων

I_t σταθερά στρέψης

I_w σταθερά στρέβλωσης

I_z ροπή αδράνειας περί ασθενή άξονα



Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{0.5} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\}$$

E μέτρο ελαστικότητας

G μέτρο διάτμησης

C₁, C₂, C₃ συντελεστές εξαρτώμενοι από τις συνθήκες φόρτισης και στρεπτικής στήριξης

k, k_w συντελεστές εξαρτώμενοι από το είδος των στηρίξεων ως προς την ελευθερία στροφής και στέβλωσης των άκρων του εξεταζόμενου πλευρικά μη προστατευόμενου τμήματος



Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

Οι συντελεστές k και k_w :

για πλήρη πάκτωση λαμβάνουν τιμή 0.5

για απλές στηρίξεις λαμβάνουν τιμή 1.0

για περιπτώσεις που έχουμε το ένα άκρο απλά
στηριζόμενο και το άλλο πακτωμένο λαμβάνουν
τιμή 0.7.

Ο συντελεστής k αφορά τη στροφή του άκρου στο εγκάρσιο προς
τη φόρτιση επίπεδο και είναι ανάλογος του
συντελεστή ισοδύναμου μήκους λυγισμού θλιβόμενου
στοιχείου.

Ο συντελεστής k_w αφορά τη στρέβλωση του άκρου. και
λαμβάνεται ίσος προς 1.0 εκτός και εάν έχουμε λάβει
ειδικά μέτρα πάκτωσης έναντι στρέβλωσης.



Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right\}^{0.5} - (C_2 z_g - C_3 z_j)$$

$z_g = z_a - z_s$ απόσταση του κέντρου διάτμησης από το σημείο εφαρμογής του φορτίου

z_a τεταγμένη του σημείου εφαρμογής του φορτίου ως προς τον κεντροβαρικό άξονα y

z_s τεταγμένη του κέντρου διάτμησης ως προς τον κεντροβαρικό άξονα y

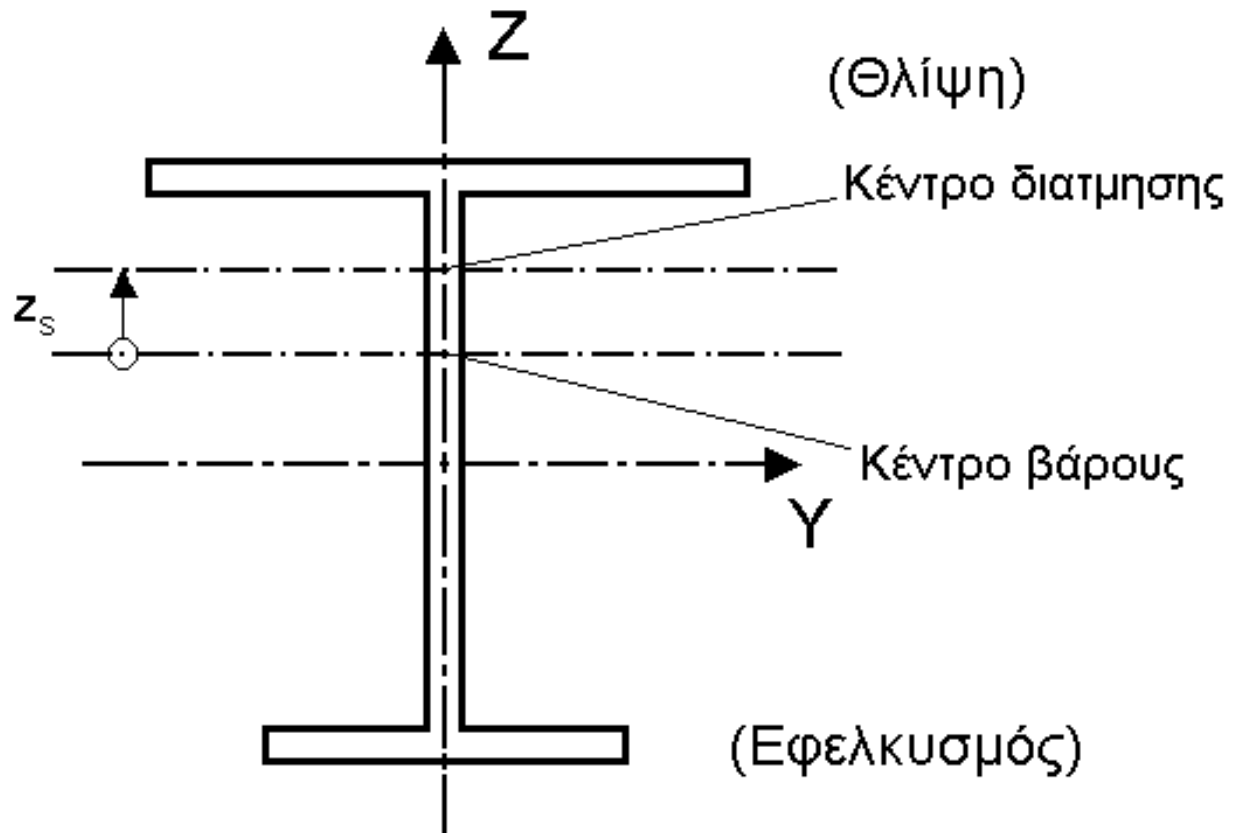
Οι τεταγμένες μετρώνται με αφετηρία το κέντρο βάρους της διατομής και είναι προσημασμένες με θετική φορά προς το θλιβόμενο πέλμα της διατομής



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού





Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right\}^{0.5} - (C_2 z_g - C_3 z_j)$$

$$z_j = z_s - \frac{0.5 \int z(y^2 + z^2) dA}{I_y}$$

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή z_j μπορούμε να ακολουθήσουμε τις ακόλουθες προσεγγίσεις:

$$\text{αν } \beta_f > 0.5 \text{ τότε } z_j = 0.8 \cdot \frac{(2 \cdot \beta_f - 1) \cdot h_s}{2}$$

$$\text{αν } \beta_f < 0.5 \text{ τότε } z_j = 1.0 \cdot \frac{(2 \cdot \beta_f - 1) \cdot h_s}{2}$$

Για διατομή διπλού ταν με άνισα πέλματα ισχύει:

$$I_w = \beta_f \cdot (1 - \beta_f) \cdot I_x \cdot h_s^2$$

$$\text{όπου: } \beta_f = \frac{I_{f0}}{I_{f0} - I_{f1}}$$

**για διατομές διπλής
συμμετρίας $z_j = 0$**



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

Φόρτιση και συνθήκες στήριξης	Διάγραμμα <u>καμπτικών</u> ροπών	Τιμές του συντελεστή k	Συντελεστές		
			C_1	C_2	C_3
		1.0	1.132	0.459	0.525
		0.5	0.972	0.304	0.980
		1.0	1.285	1.562	0.753
		0.5	0.712	0.652	1.070
		1.0	1.365	0.553	1.730
		0.5	1.070	0.432	3.050
		1.0	1.565	1.267	2.640
		0.5	0.938	0.715	4.800
		1.0	1.046	0.430	1.120
		0.5	1.010	0.410	1.890

για $k_w=1$



Ε.Μ.Π.

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

Φόρτιση και συνθήκες στήριξης	Διάγραμμα καμπτικών ροπών	Τιμές του συντελεστή k	Συντελεστές		
			C ₁	C ₂	C ₃
		1.0	1.000	-	1.000
		0.7	1.000	-	1.113
		0.5	1.000	-	1.114
		1.0	1.141	-	0.998
		0.7	1.270	-	1.565
		0.5	1.305	-	2.283
		1.0	1.323	-	0.992
		0.7	1.473	-	1.556
		0.5	1.514	-	2.271
		1.0	1.563	-	0.977
		0.7	1.739	-	1.531
		0.5	1.788	-	2.235
		1.0	1.879	-	0.939
		0.7	2.092	-	1.473
		0.5	2.150	-	2.150
		1.0	2.281	-	0.855
		0.7	2.538	-	1.340
		0.5	2.609	-	1.975
		1.0	2.704	-	0.676
		0.7	3.009	-	1.059
		0.5	3.093	-	1.546
		1.0	2.927	-	0.366
		0.7	3.258	-	0.575
		0.5	3.348	-	0.837
		1.0	2.752	-	0.000
		0.7	3.063	-	0.000
		0.5	3.149	-	0.000

Φόρτιση μόνον με
ακραίες ροπές, για $k_w=1$

για $k=1$

$$C_1 = 1.88 - 1.40 \cdot \psi - 0.52 \cdot \psi^2 \leq 2.70$$



Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

για διατομές διπλής συμμετρίας $z_j=0$, οπότε

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} + (C_2 z_g)^2 - C_2 z_g \right]$$



Η ροπή αντοχής σε λυγισμό μιας πλευρικά μη προστατευμένης δοκού πρέπει να λαμβάνεται ως:

$$M_{b,Rd} = \frac{X_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

W_y είναι η κατάλληλη ροπή αντίστασης της διατομής ως εξής:

- $W_y = W_{ply}$ για διατομές κατηγορίας 1 ή 2
- $W_y = W_{ely}$ για διατομές κατηγορίας 3
- $W_y = W_{eff,y}$ για διατομές κατηγορίας 4



$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

χ_{LT} ο μειωτικός συντελεστής για πλευρικό λυγισμό που υπολογίζεται για ανηγμένη λυγηρότητα :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$



$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

χ_{LT} ο μειωτικός συντελεστής για πλευρικό λυγισμό που υπολογίζεται για ανηγμένη λυγηρότητα :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{αλλά } \chi_{LT} \leq 1,0$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$



Συνιστώμενες τιμές των συντελεστών ατελειών για καμπύλες πλευρικού λυγισμού

Καμπύλη λυγισμού	a	b	c	d
Συντελεστής ατελειών α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Σύσταση για την επιλογή καμπύλης πλευρικού λυγισμού

Διατομή	Όρια	Καμπύλη λυγισμού
Ελατές διατομές I	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Συγκολλητές διατομές I	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Άλλες διατομές	-	d



Εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού χ_{LT}

Ειδική περίπτωση για ελατές διατομές ή ισοδύναμες συγκολλητές διατομές

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{αλλά} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$\text{όπου } \Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 - \beta = 0,75$$

Διατομή	Όρια	Καμπύλη λυγισμού
Ελατές διατομές I	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
Συγκολλητές διατομές I	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d



Ε.Μ.Π.

Εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού χ_{LT}

Για να ληφθεί υπόψη η κατανομή της ροπής μεταξύ των πλευρικών στηρίξεων των μελών, ο μειωτικός συντελεστής χ_{LT} μπορεί να τροποποιηθεί ως εξής

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \leq 1$$

όπου

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c)[1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2]$$

αλλά $f \leq 1$


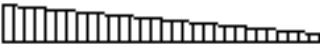


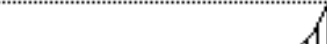



k_c είναι διορθωτικός συντελεστής σύμφωνα με τον πίνακα της επόμενης σελίδας



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού χ_{LT}

Κατανομή ροπής	k_ϵ
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Μέλη με διακριτή πλευρική στήριξη στο θλιβόμενο πέλμα

2011

Μέλη με διακριτή πλευρική στήριξη στο θλιβόμενο πέλμα δεν είναι ευαίσθητα σε πλευρικό λυγισμό εάν το μήκος L_c μεταξύ των πλευρικών στηρίξεων ή η προκύπτουσα λυγηρότητα του ισοδυνάμου θλιβόμενου πέλματος ικανοποιεί τη σχέση:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

όπου

$M_{y,Ed}$ είναι η μέγιστη τιμή της καμπτικής ροπής στο τμήμα μεταξύ των πλευρικών στηρίξεων

$$M_{c,Rd} = W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

W_y είναι η κατάλληλη ροπή αντίστασης της διατομής που αντιστοιχεί στο θλιβόμενο πέλμα



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Μέλη με διακριτή πλευρική στήριξη στο θλιβόμενο πέλμα

2011

k_c είναι διορθωτικός συντελεστής της λυγνότητας ανάλογα με την κατανομή της ροπής μεταξύ των στηρίξεων που δίνεται από τον πίνακα εναλλακτικού τρόπου υπολογισμού του χ_{LT}

$\bar{\lambda}_{c0}$ είναι το όριο λυγνότητας του ισοδύναμου θλιβόμενου πέλματος, αποτελούμενου από το θλιβόμενο πέλμα συν το 1/3 του θλιβόμενου τμήματος της επιφάνειας του κορμού

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1 = 0,4 + 0,1 = 0,5$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\epsilon$$



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Μέλη με διακριτή πλευρική στήριξη στο θλιβόμενο πέλμα

2011

$i_{f,z}$ είναι η ακτίνα αδρανείας του ισοδύναμου θλιβόμενου πέλματος, αποτελούμενου από το θλιβόμενο πέλμα συν το 1/3 του θλιβόμενου τμήματος της επιφάνειας του κορμού, ως προς τον ασθενή άξονα της διατομής

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{\text{eff},f}}{A_{\text{eff},f} + \frac{1}{3} A_{\text{eff},w,c}}}$$

$I_{\text{eff},f}$ είναι η ενεργός ροπή αδρανείας του θλιβόμενου πέλματος ως προς τον ασθενή άξονα της διατομής

$A_{\text{eff},f}$ είναι η ενεργός επιφάνεια του θλιβόμενου πέλματος

$A_{\text{eff},w,c}$ είναι η ενεργός επιφάνεια του θλιβόμενου τμήματος του κορμού



Μέλη με διακριτή πλευρική στήριξη στο θλιβόμενο πέλμα

Εάν η λυγηρότητα του θλιβόμενου πέλματος υπερβαίνει το προηγούμενο όριο, η ροπή αντοχής σε λυγισμό μπορεί να λαμβάνεται ως:

$$M_{b,Rd} = k_{f\ell} \times M_{c,Rd} \leq M_{c,Rd}$$

όπου

$k_{f\ell}$ είναι τροποποιητικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη το συντηρητισμό της μεθόδου του ισοδύναμου θλιβόμενου πέλματος και συνιστάται να είναι $k_{f\ell} = 1,10$



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Μέλη με διακριτή πλευρική στήριξη στο θλιβόμενο πέλμα

2011

χ είναι ο μειωτικός συντελεστής του ισοδύναμου θλιβόμενου πέλματος υπολογιζόμενος για λυγηρότητα $\bar{\lambda}_f$

Οι καμπύλες λυγισμού που θα χρησιμοποιούνται λαμβάνονται ως εξής:

- καμπύλη d για συγκολλητές διατομές υπό την προϋπόθεση ότι:

$$\frac{h}{t_f} \leq 44\epsilon$$

- καμπύλη c για όλες τις άλλες διατομές

h είναι το συνολικό ύψος της διατομής

t_f είναι το πάχος του θλιβόμενου πέλματος

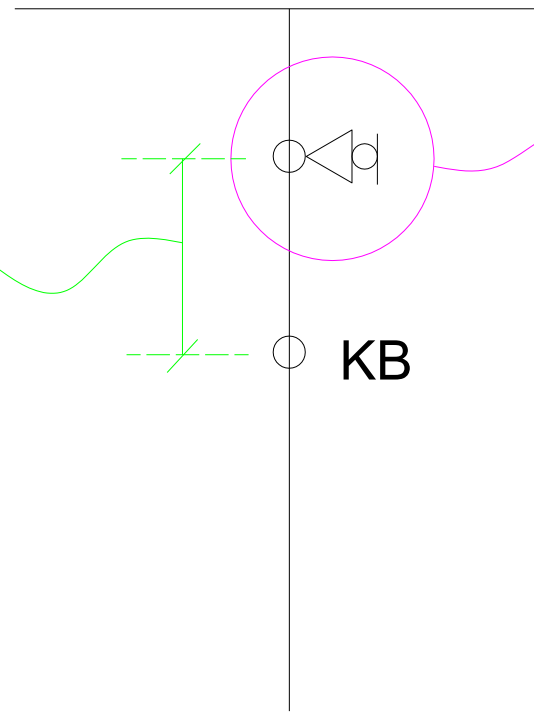


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Επιρροή ύψους πλευρικής εξασφάλισης

ύψος πλευρικής
εξασφάλισης σε
σχέση με το ΚΒ της
διατομής



πλευρική
εξασφάλιση με
κύλιση

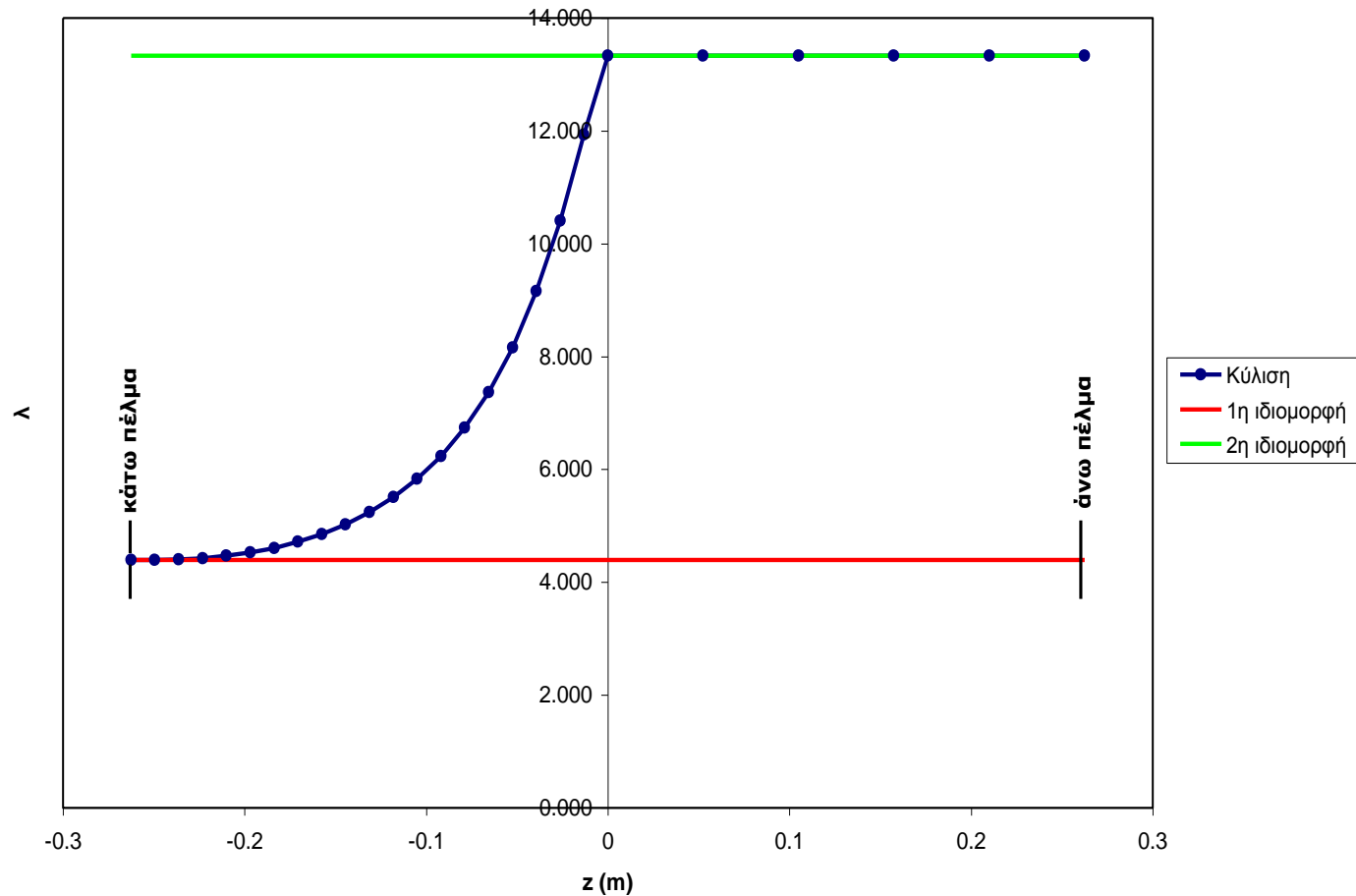


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Επιρροή ύψους πλευρικής εξασφάλισης

ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΚΥΛΙΣΗ



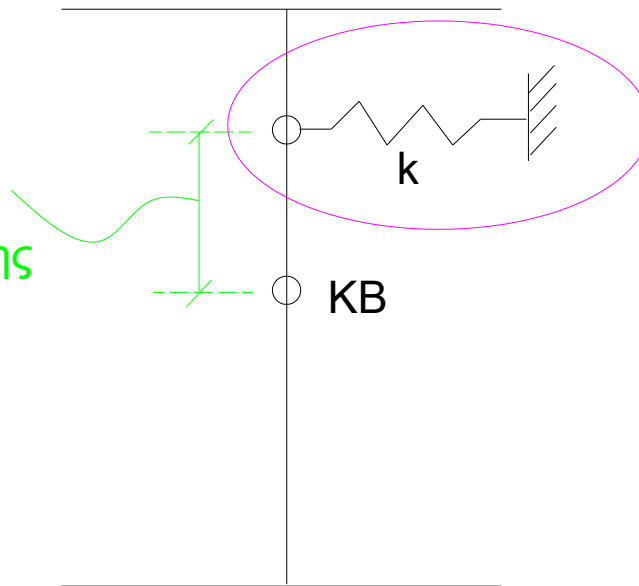


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Επιρροή δυσκαμψίας πλευρικής εξασφάλισης

ύψος πλευρικής
εξασφάλισης σε
σχέση με το ΚΒ της
διατομής



πλευρική
εξασφάλιση με
ελαστική στήριξη



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Επιρροή δυσκαμψίας πλευρικής εξασφάλισης

ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΗΡΙΞΗ

