



Ε.Μ.Π

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΙ

ΔΙΑΛΕΞΗ 2
ΜΕΛΗ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ ΚΑΙ ΚΑΜΨΗ

2011



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Παραδείγματα μελών υπό θλίψη και κάμψη



ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΙ

ΔΙΑΛΕΞΗ 2
ΜΕΛΗ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ ΚΑΙ ΚΑΜΨΗ

2011

2



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Παραδείγματα μελών υπό θλίψη και κάμψη



ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΙ

ΔΙΑΛΕΞΗ 2
ΜΕΛΗ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ ΚΑΙ ΚΑΜΨΗ

2011

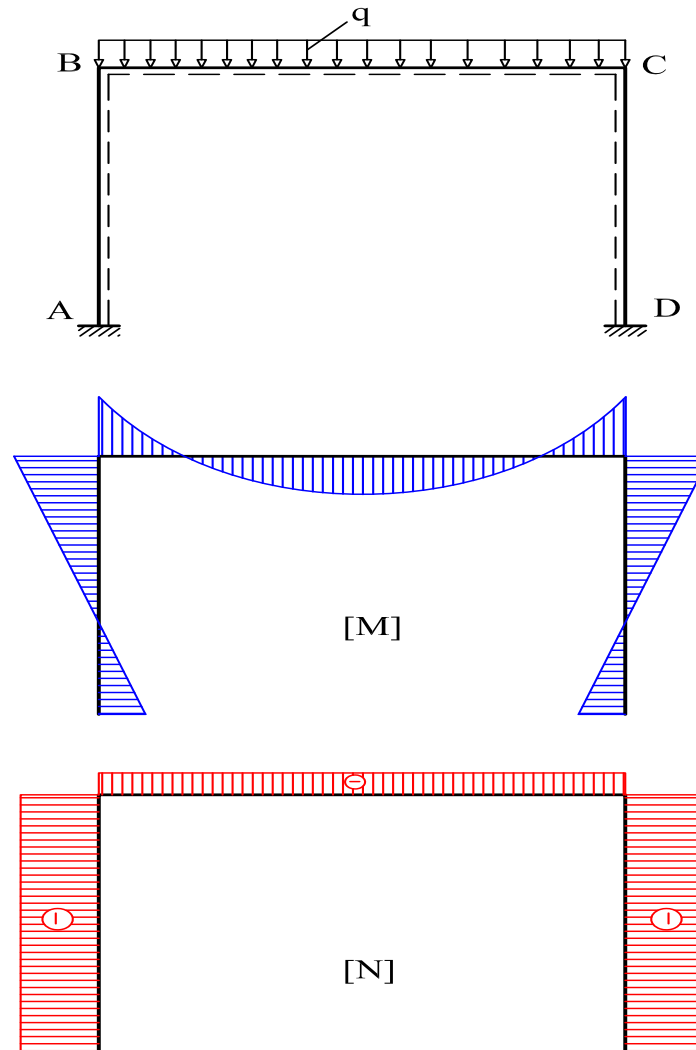
3



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Παραδείγματα μελών υπό θλίψη και κάμψη





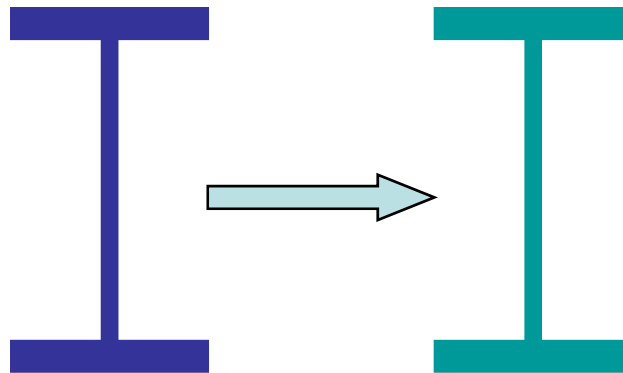
Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Τρόποι λυγισμού μελών υπό θλίψη



Καμπτικός λυγισμός περί τον ασθενή άξονα



Γενικά κρίσιμος



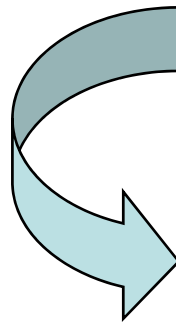
Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Τρόποι λυγισμού μελών υπό θλίψη



Καμπτικός λυγισμός περί τον ισχυρό άξονα



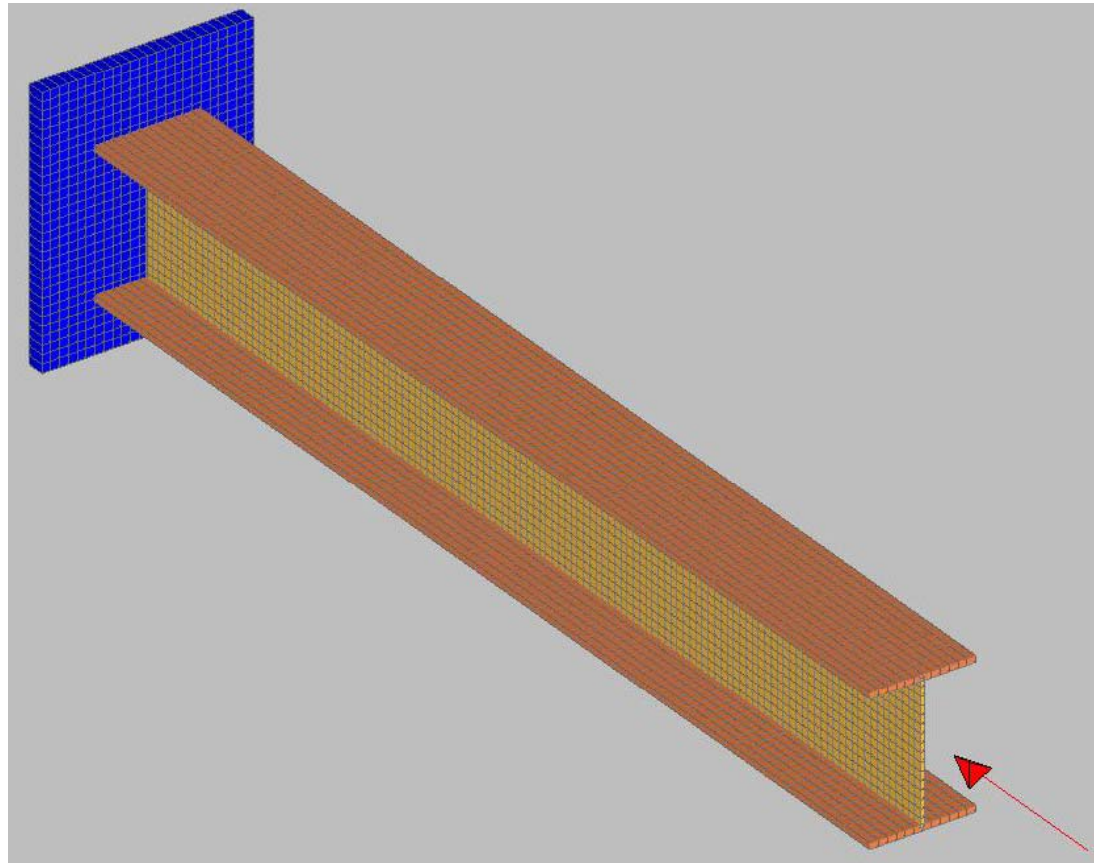
π.χ. κρίσιμος
για πλευρικά
εξασφαλισμένα
μέλη



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό απλή θλίψη



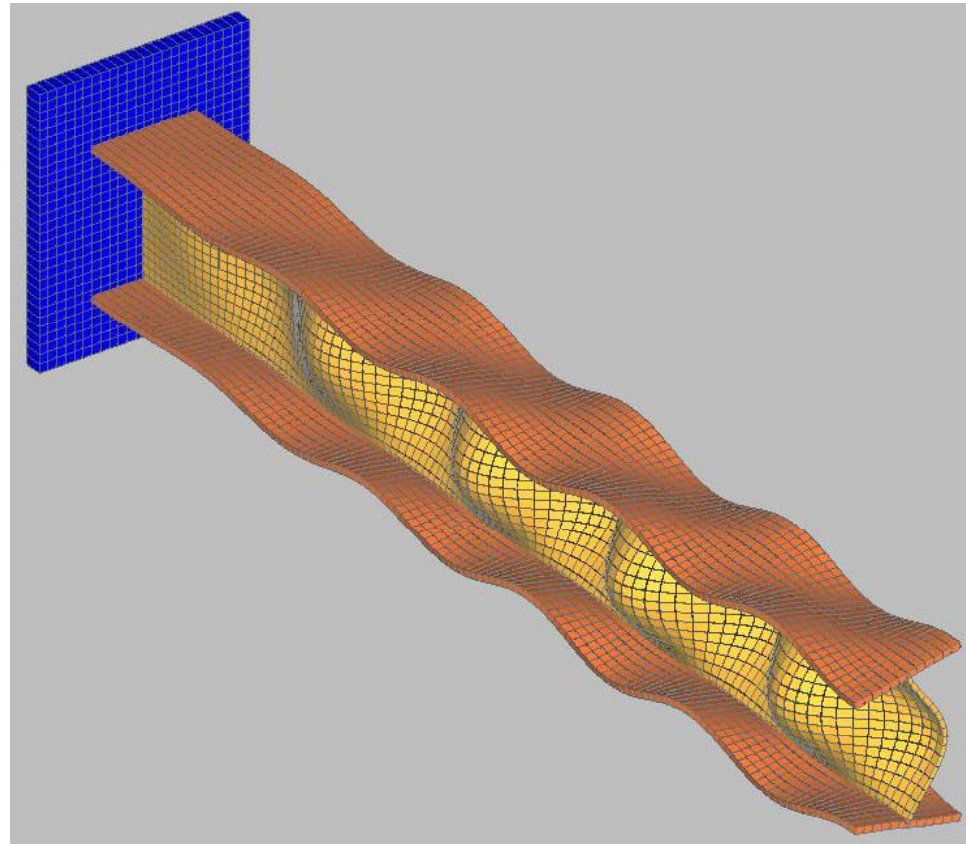
2011



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό απλή θλίψη



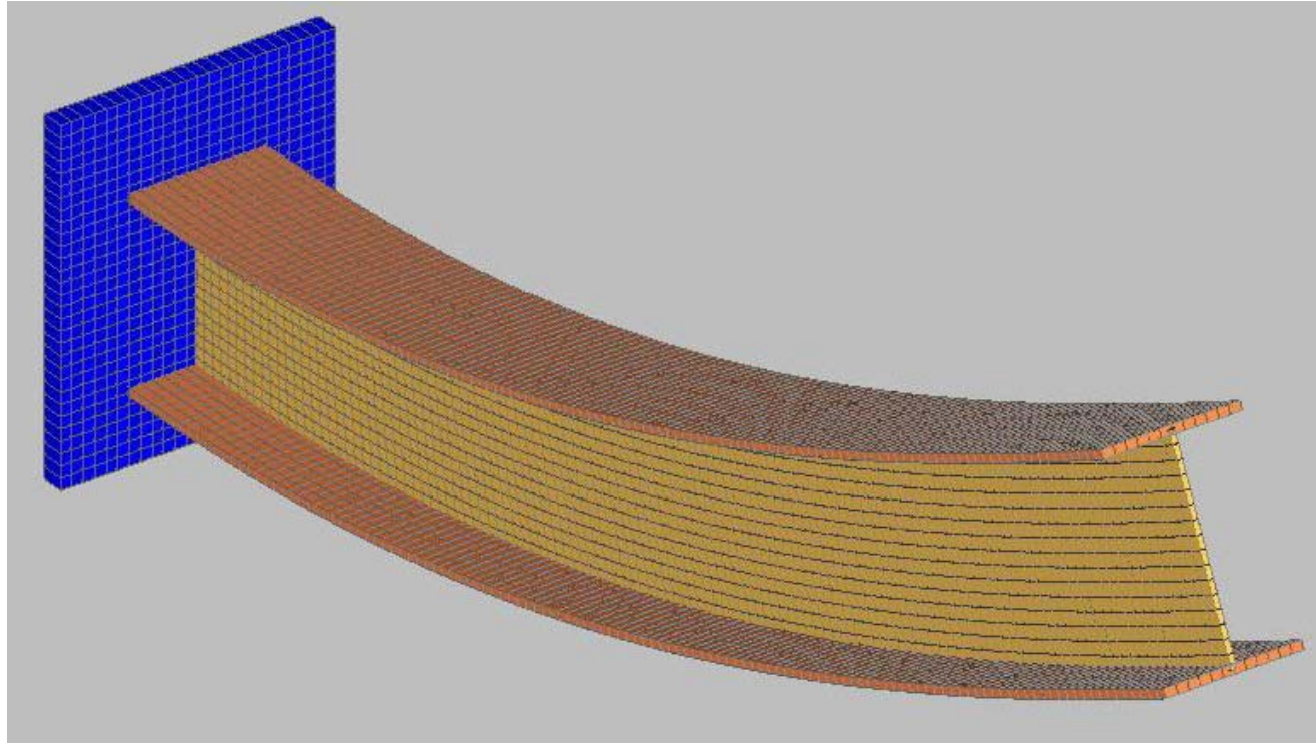
Τοπικός λυγισμός



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό απλή θλίψη



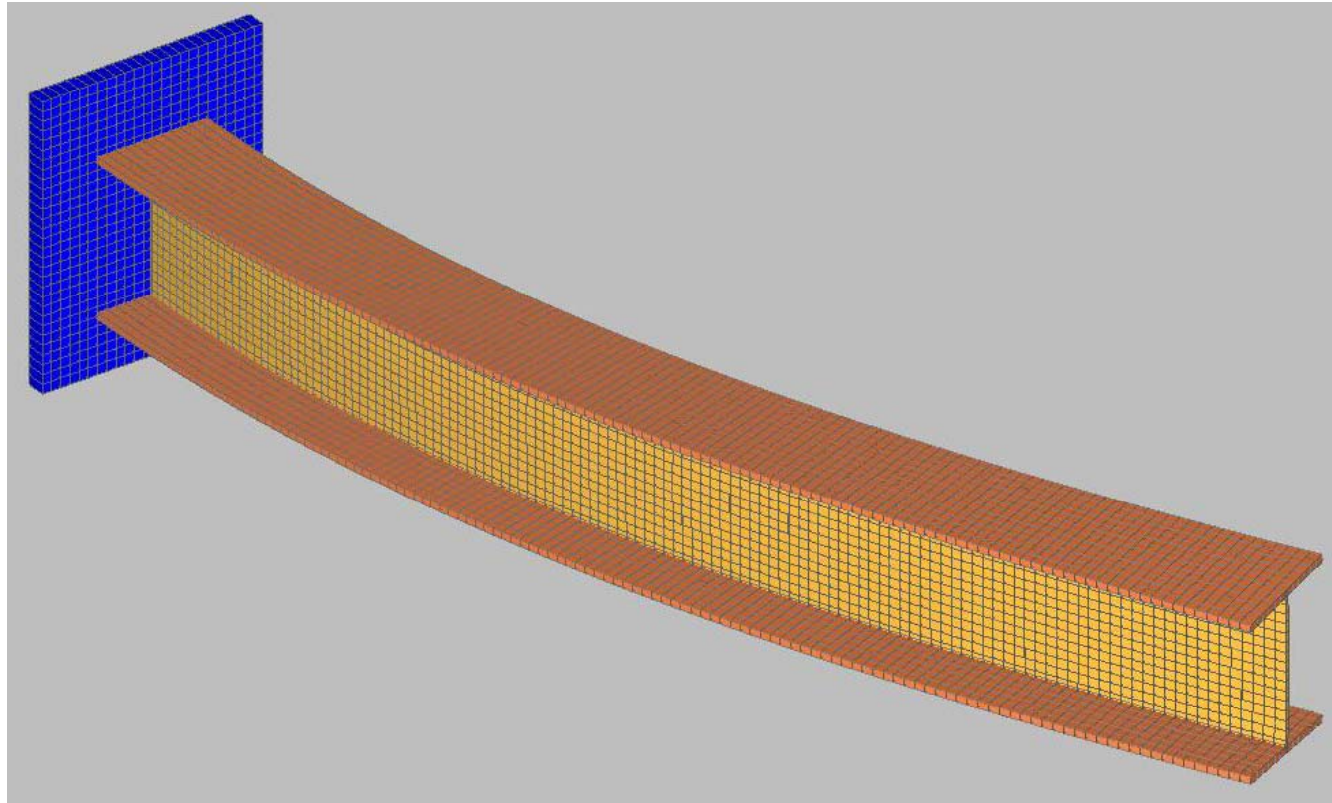
Καμπτικός λυγισμός περί τον ισχυρό άξονα



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό απλή θλίψη

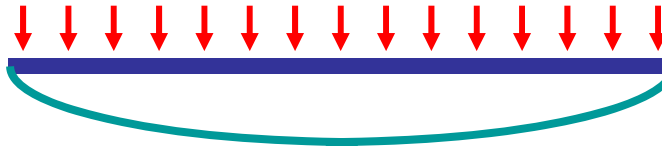


Καμπτικός λυγισμός περί τον ασθενή άξονα

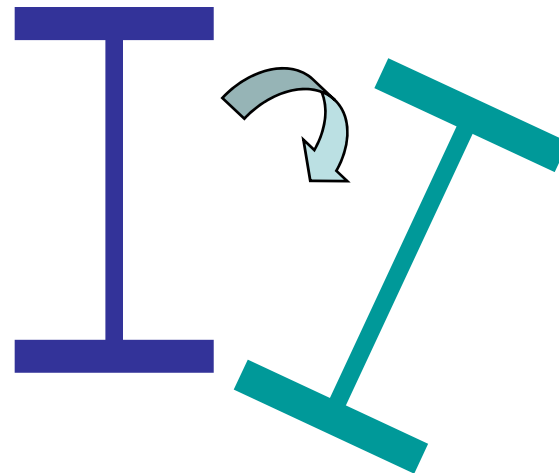


Ε.Μ.Π

Τρόποι λυγισμού μελών υπό απλή κάμψη



Πλευρικός (στρεπτοκαμπτικός) λυγισμός

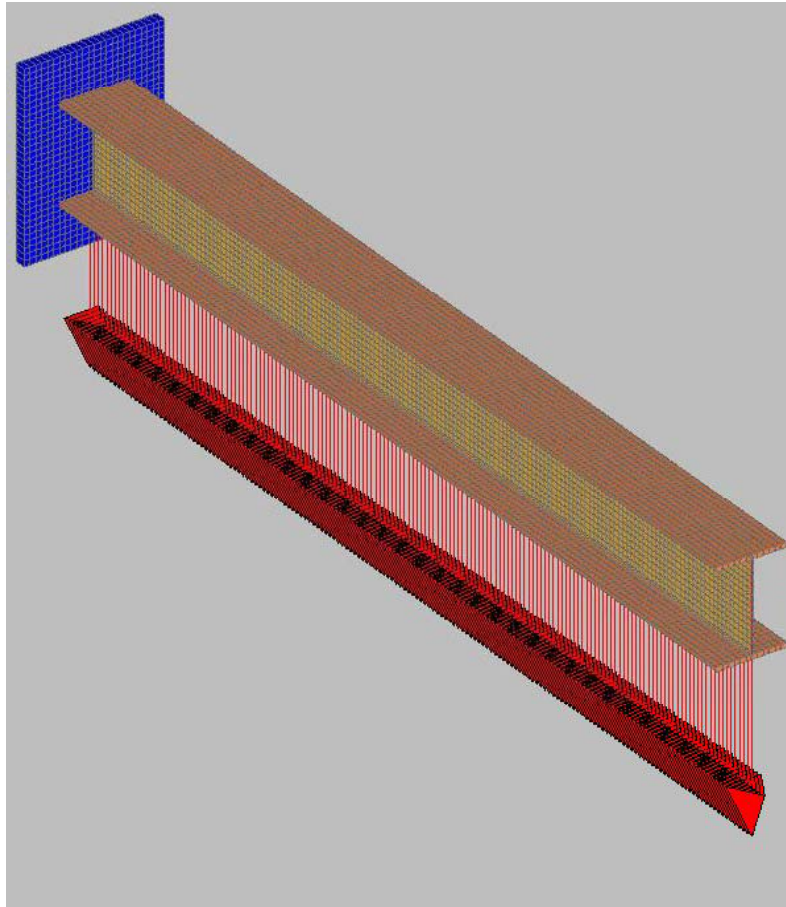




Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό απλή κάμψη

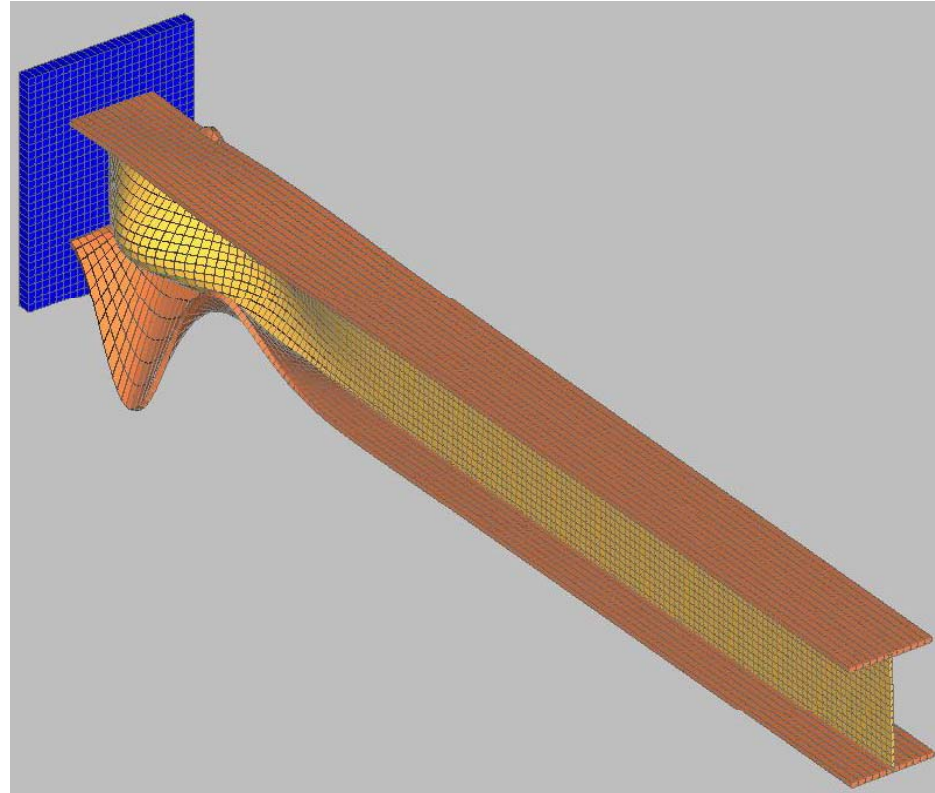




Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό απλή κάμψη



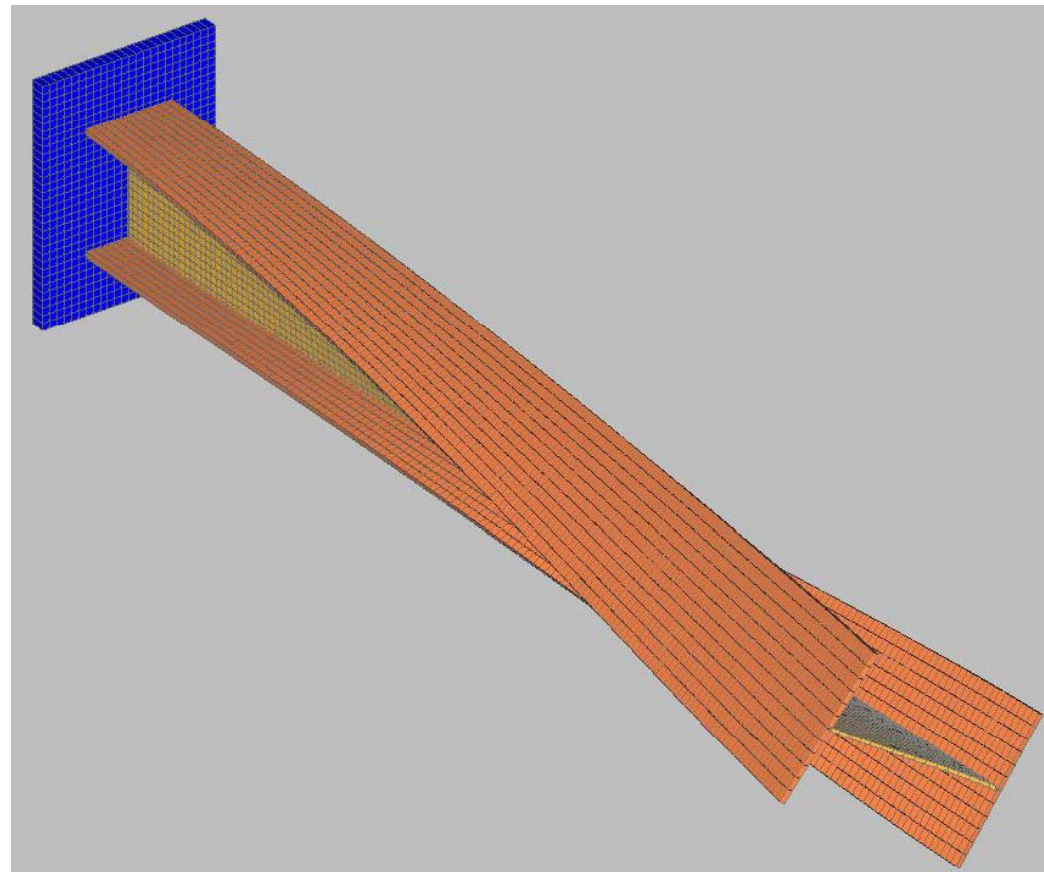
Τοπικός λυγισμός



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό απλή κάμψη



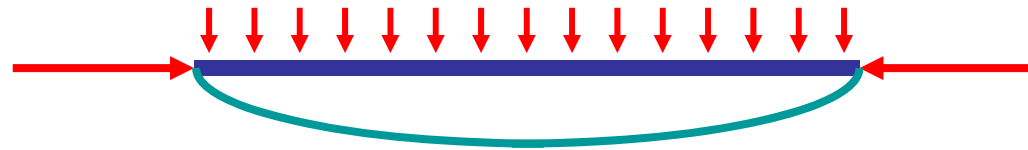
Πλευρικός (στρεπτοκαμπτικός) λυγισμός



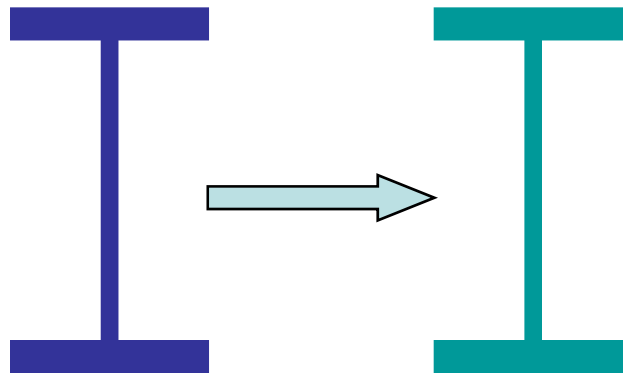
Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Τρόποι λυγισμού μελών υπό θλίψη και κάμψη



Καμπτικός λυγισμός περί τον ασθενή άξονα



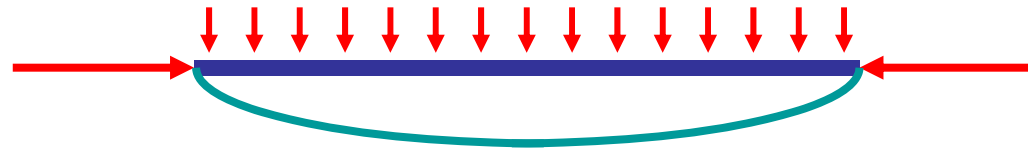
π.χ. κρίσιμος
για κυρίαρχη θλίψη
και μικρή ροπή



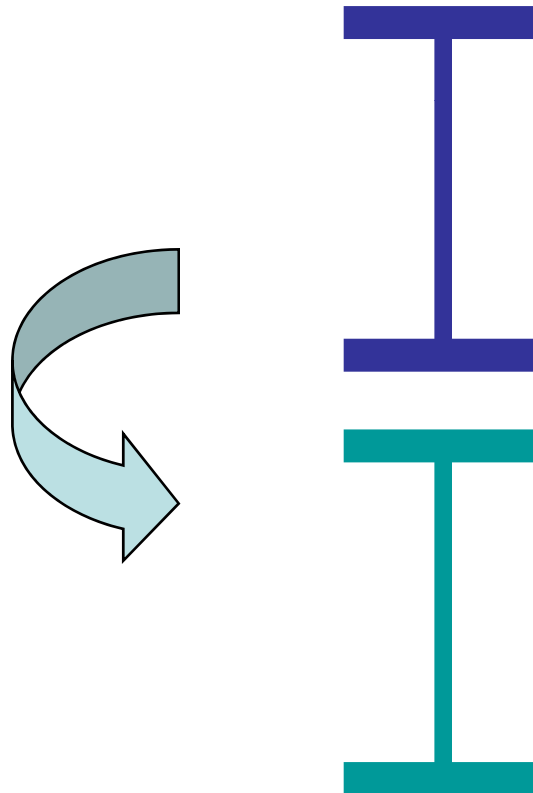
Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Τρόποι λυγισμού μελών υπό θλίψη και κάμψη



Καμπτικός λυγισμός περί τον ισχυρό άξονα

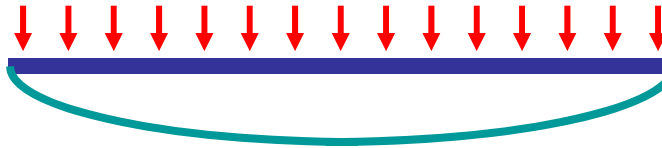


π.χ. κρίσιμος
για πλευρικά
εξασφαλισμένα
μέλη

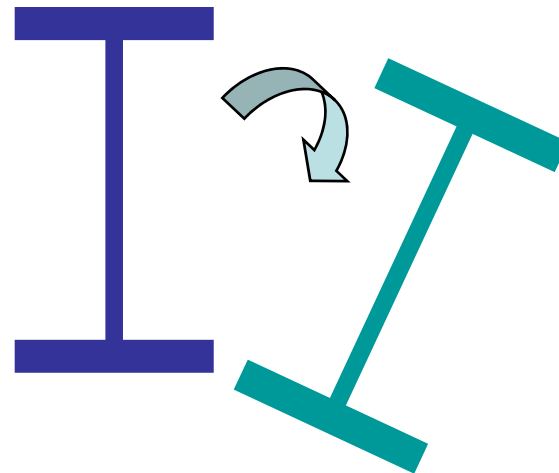


Ε.Μ.Π

Τρόποι λυγισμού μελών υπό θλίψη και κάμψη



Πλευρικός (στρεπτοκαμπτικός) λυγισμός



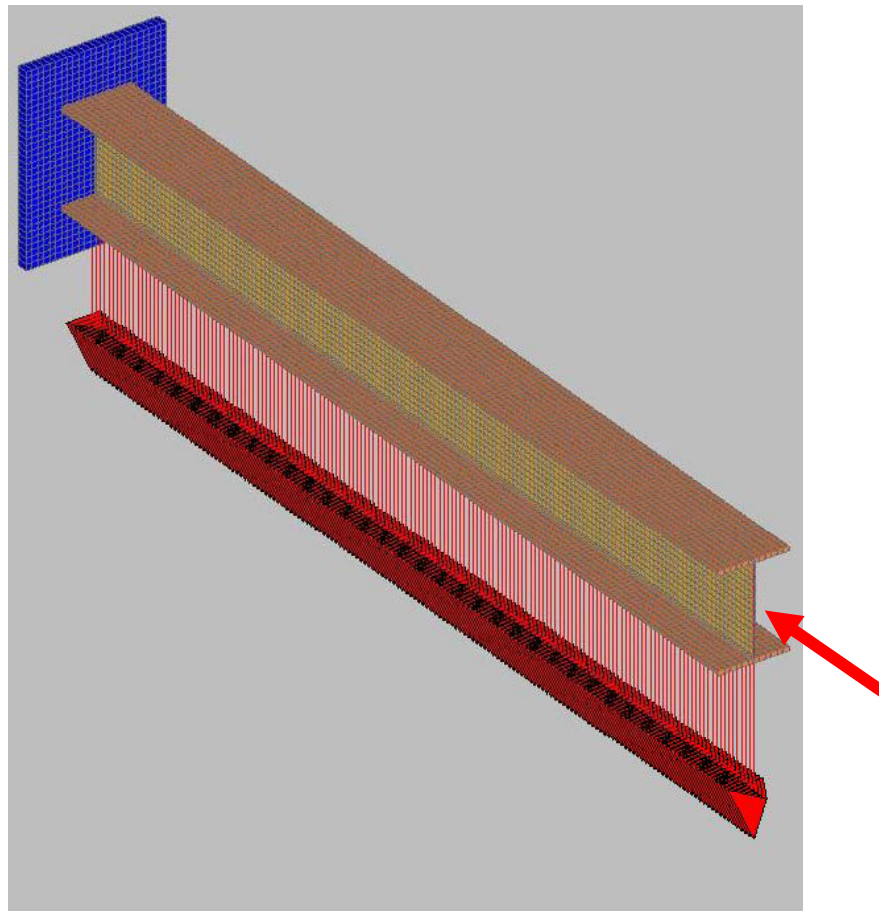
π.χ. κρίσιμος
για κυρίαρχη ροπή
και μικρή θλίψη



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό θλίψη και κάμψη

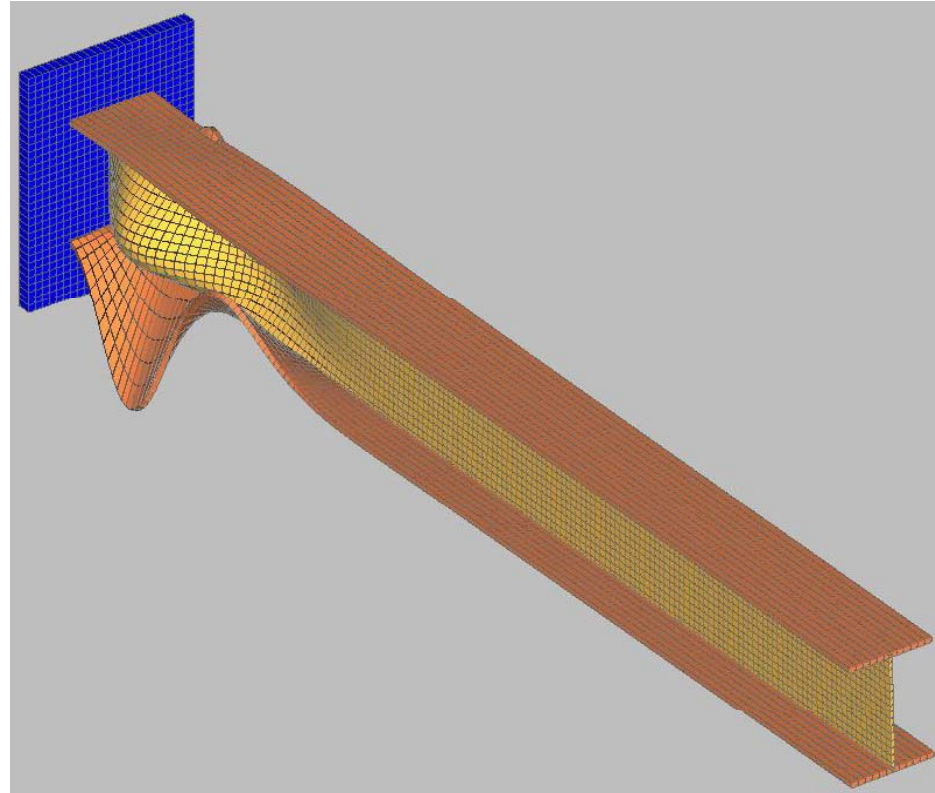




Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό θλίψη και κάμψη



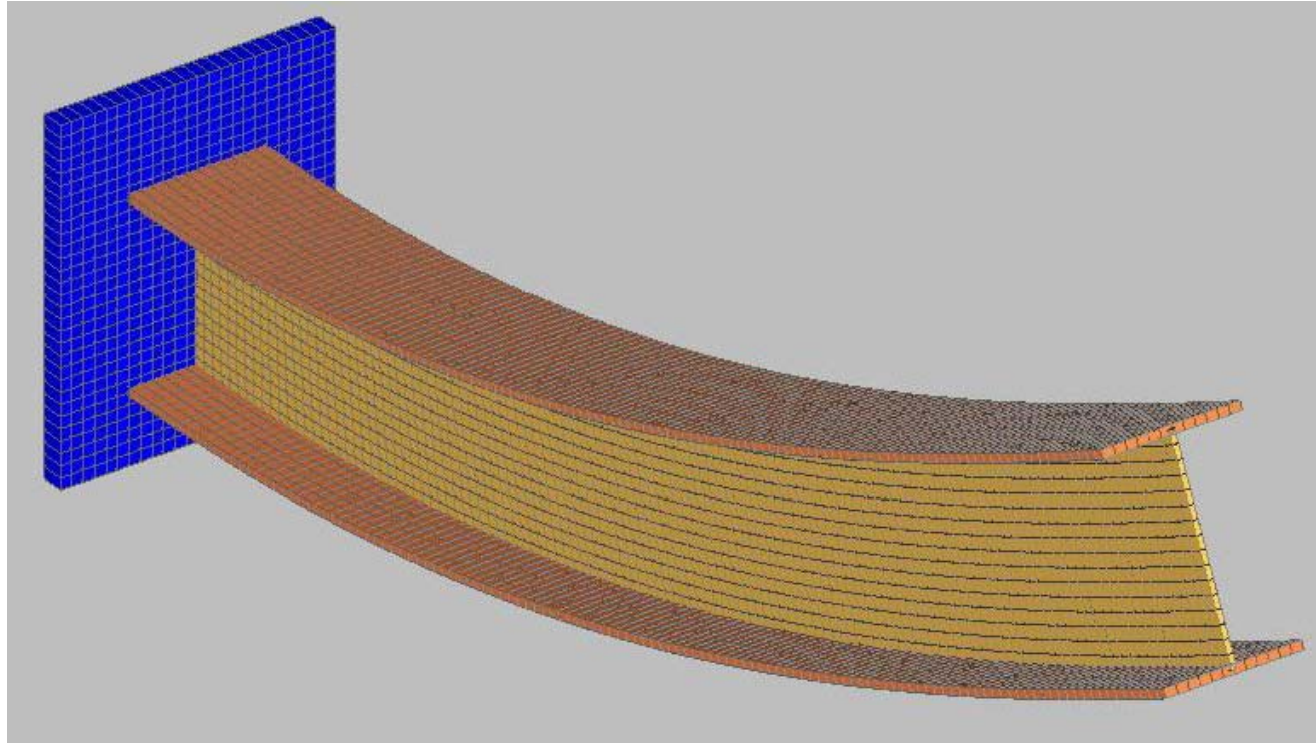
Τοπικός λυγισμός



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό θλίψη και κάμψη



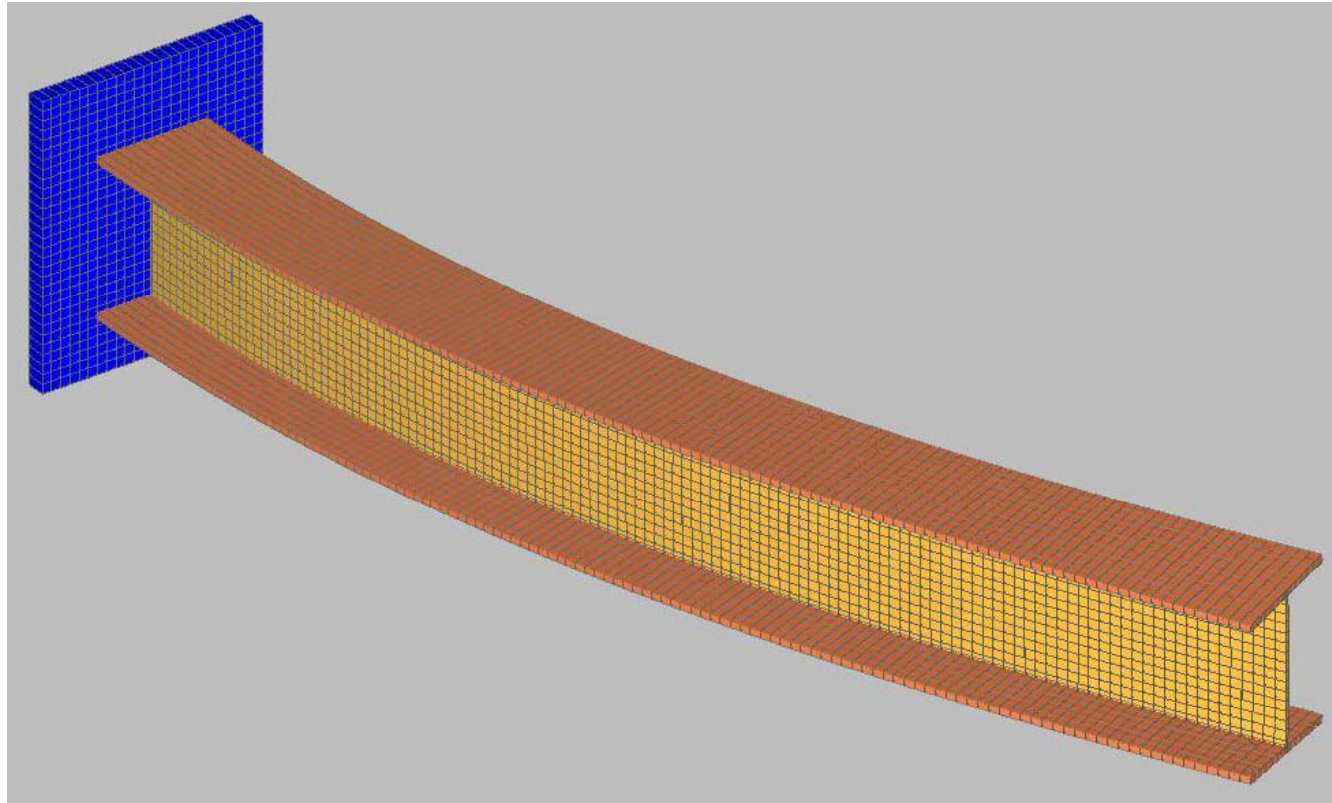
Καμπτικός λυγισμός περί τον ισχυρό άξονα



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό θλίψη και κάμψη



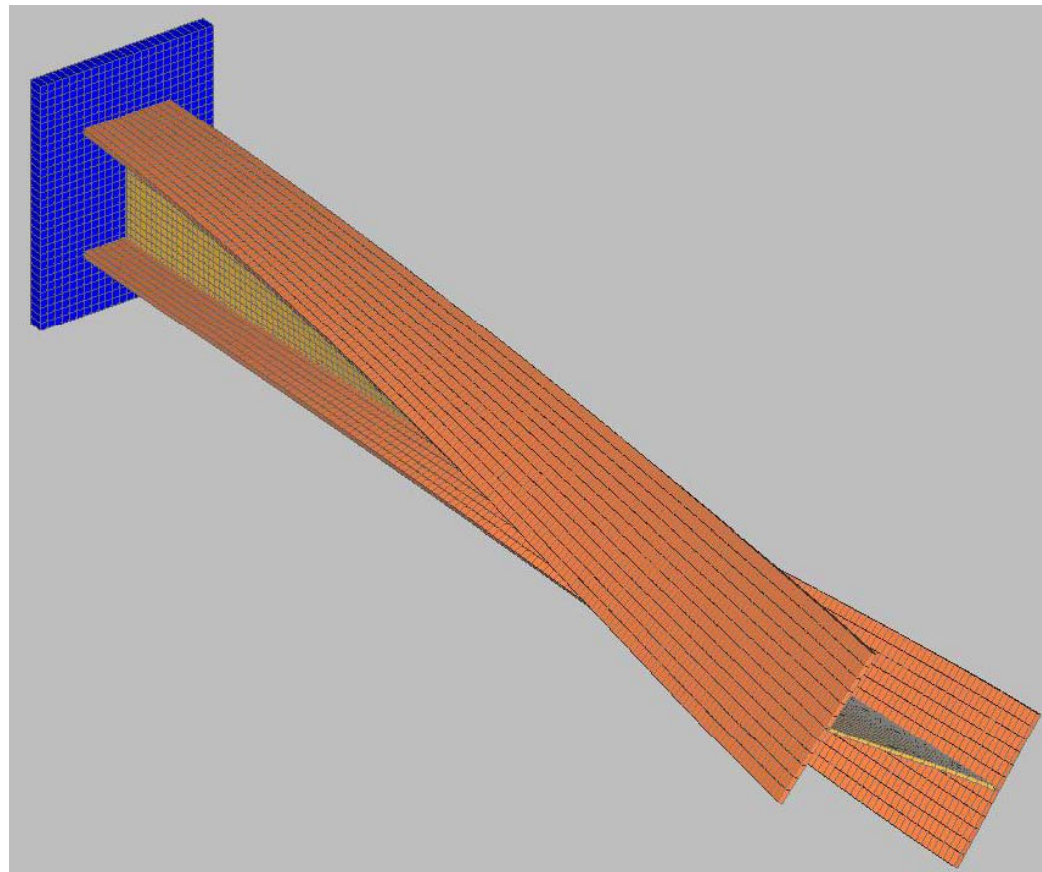
Καμπτικός λυγισμός περί τον ασθενή άξονα



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εικόνες λυγισμού μελών υπό θλίψη και κάμψη



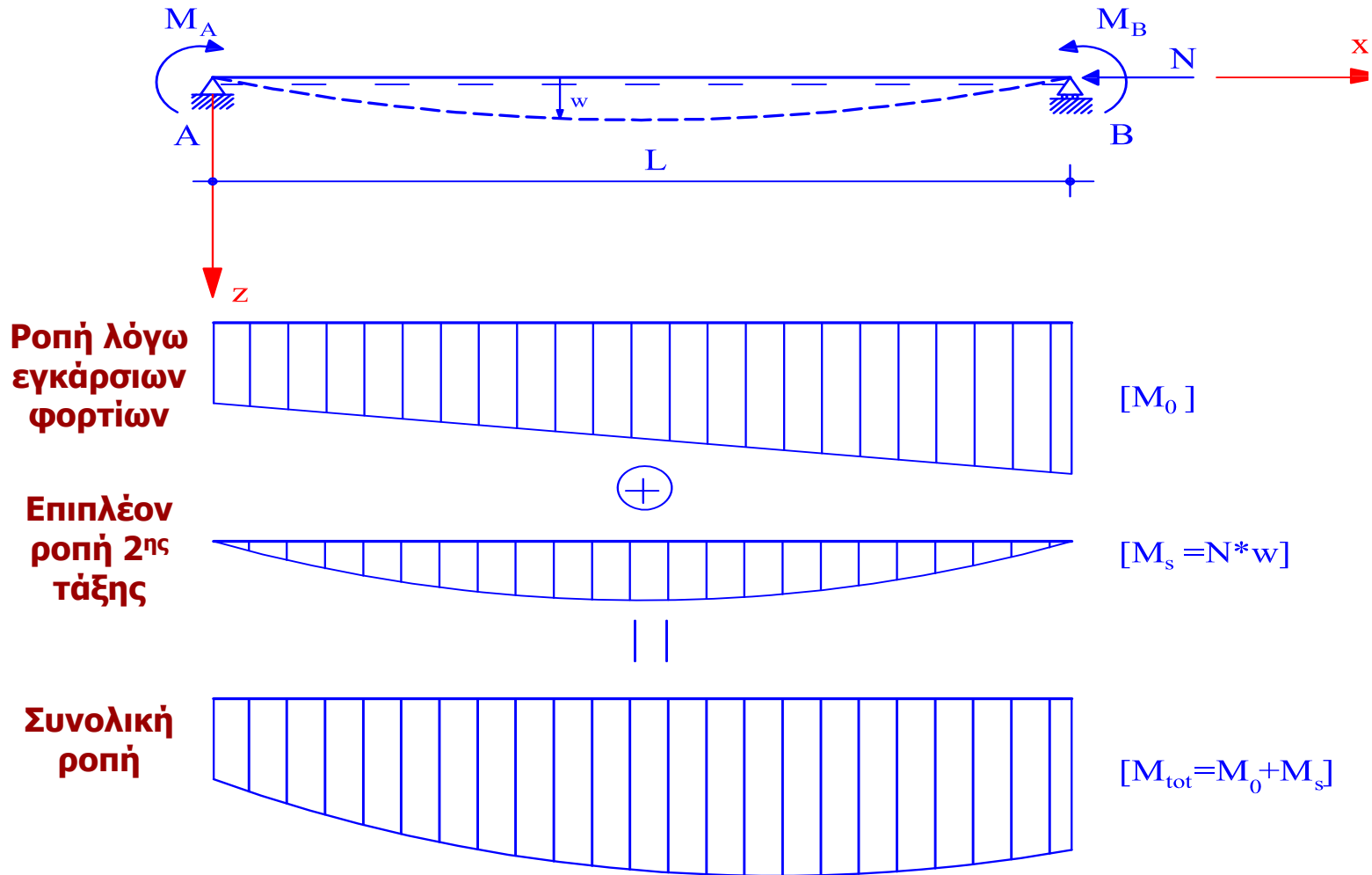
Πλευρικός (στρεπτοκαμπτικός) λυγισμός



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης





Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης

Ροπή λόγω εγκάρσιων φορτίων

$$M_o(x) = M_A + \frac{(M_B - M_A)}{L} \cdot x$$

Συνολική ροπή

$$M_{tot}(x) = M_o(x) + N \cdot w(x)$$

$$M_{tot}(x) = M_A + \frac{(M_B - M_A)}{L} \cdot x + N \cdot w(x)$$



Ε.Μ.Π

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης

Εσωτερικά αναπτυσσόμενη ροπή

$$M_{\text{int}}(x) = -EIw''$$

Εξίσωση ισορροπίας ροπών

$$-EIw'' = M_A + \frac{(M_B - M_A)}{L} \cdot x + N \cdot w(x)$$



$$EIw'' + N \cdot w(x) = -M_A - \frac{(M_B - M_A)}{L} \cdot x$$



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

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης

Γενική λύση μη ομογενούς δ.ε.

=

Γενική λύση ομογενούς δ.ε.

+

Μερική λύση μη ομογενούς δ.ε.

$$w(x) = A \cdot \sin[k \cdot x] + B \cdot \cos[k \cdot x] + C \cdot x + D$$

$$k = \sqrt{\frac{N}{E \cdot I}}$$



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης

Συνοριακές συνθήκες

$$w(0)=0 \rightarrow B+D=0$$

$$w(L)=0 \rightarrow A \cdot \sin[k \cdot L] + B \cdot [k \cdot L] + C \cdot L + D = 0$$

$$w''(0) = -\frac{M_A}{E \cdot I}$$

$$w''(L) = -\frac{M_B}{E \cdot I}$$



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης

Σταθερές ολοκλήρωσης

$$A = \frac{M_B - M_A \cdot \cos(k \cdot L)}{N \cdot \sin(k \cdot L)}$$

$$B = \frac{M_A}{N}$$

$$C = \frac{M_A - M_B}{N \cdot L}$$

$$D = -\frac{M_A}{N}$$



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης

Έκφραση βέλους

$$w(x) = \frac{M_B - M_A \cdot \cos(k \cdot L)}{N \cdot \sin(k \cdot L)} \cdot \sin(k \cdot x) + \frac{M_A}{N} \cdot \cos(k \cdot x) + \frac{M_A - M_B}{N \cdot L} \cdot x - \frac{M_A}{N}$$

Έκφραση ροής

$$M_{\text{tot}}(x) = \left[\frac{M_B - M_A \cdot \cos(k \cdot L)}{\sin(k \cdot L)} \right] \cdot \sin(k \cdot x) + M_A \cdot \cos(k \cdot x)$$



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης

Μέγιστη ροπή

$$M_{\text{tot,max}} = a \cdot M_B$$

Μεγεθυντικός συντελεστής

$$a = \frac{\sqrt{1 - 2 \cdot \psi \cdot \cos(k \cdot L) + \psi^2}}{\sin(k \cdot L)} > 1$$

$$\psi = \frac{M_A}{M_B}$$



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης

Αν

$$M_A = M_B \rightarrow \psi = 1$$

Μεγεθυντικός συντελεστής

$$a = \frac{\sqrt{2 - 2 \cdot \cos(k \cdot L)}}{\sin(k \cdot L)} = \frac{1}{\cos\left(\frac{k \cdot L}{2}\right)}$$

ή

$$a = \frac{1}{\cos\left(\frac{\pi \cdot \sqrt{n}}{2}\right)}, \quad n = \frac{N}{N_E}, \quad N_E = \pi^2 \frac{E \cdot I}{L^2}$$

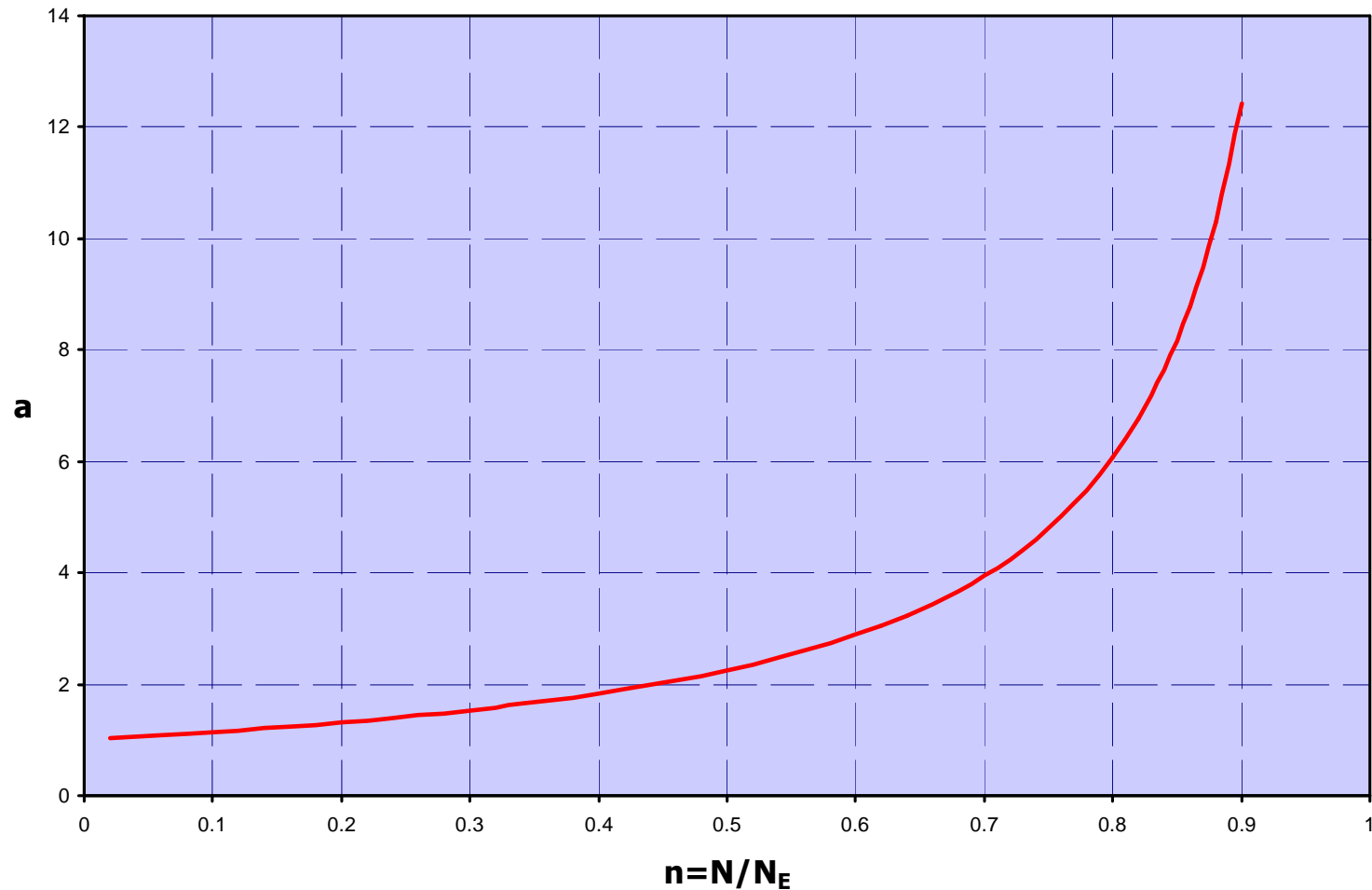


Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης

Συντελεστής μεγέθυνσης ροπής λόγω αξονικής
Περίπτωση ομοιόμορφης ροπής

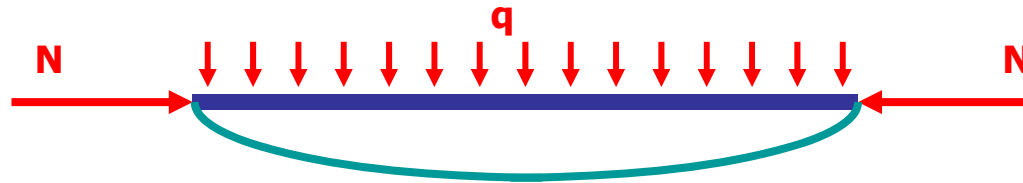




Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης



Μέγιστη ροπή

$$M_{\text{tot,max}} = a \cdot \left(\frac{q \cdot L^2}{8} \right)$$

Μεγεθυντικός συντελεστής

$$a = \frac{8}{(\pi \cdot \sqrt{n})^2} \cdot \left[\frac{1}{\cos\left(\frac{\pi \cdot \sqrt{n}}{2}\right)} - 1 \right]$$

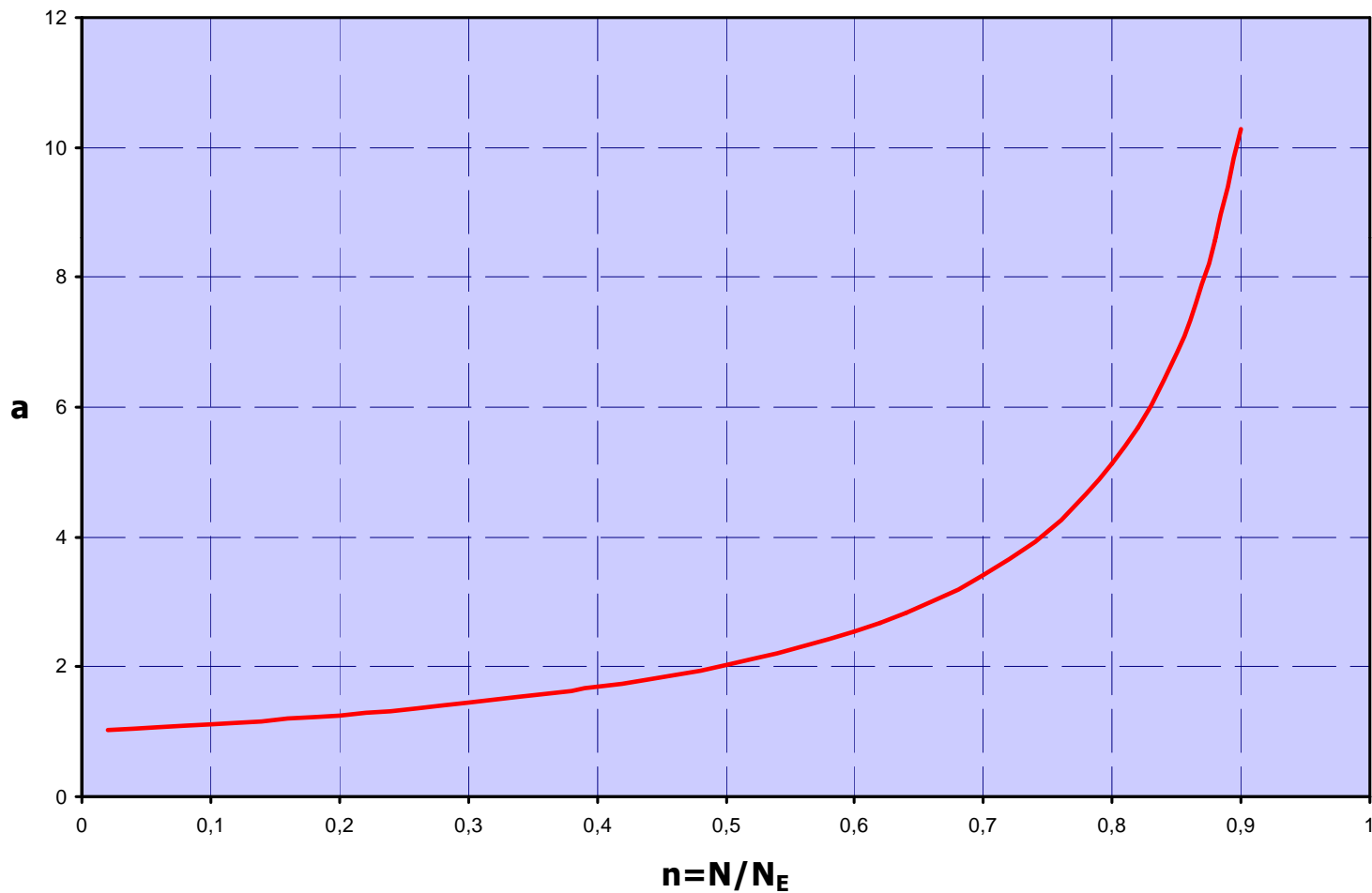


Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης

Συντελεστής μεγέθυνσης ροπής λόγω αξονικής
Περίπτωση αμφιέριστης δοκού με ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο

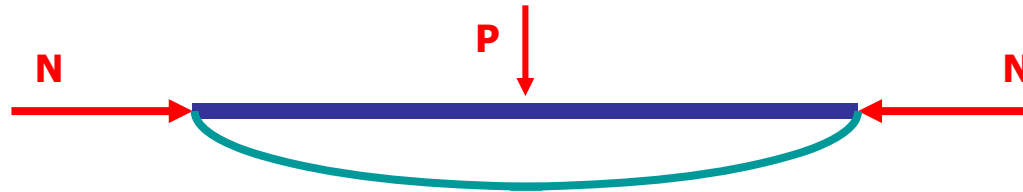




Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης



Μέγιστη ροπή

$$M_{\text{tot,max}} = a \cdot \left(\frac{P \cdot L}{4} \right)$$

Μεγεθυντικός συντελεστής

$$a = \frac{\tan\left(\frac{\pi \cdot \sqrt{n}}{2}\right)}{\frac{\pi \cdot \sqrt{n}}{2}}$$

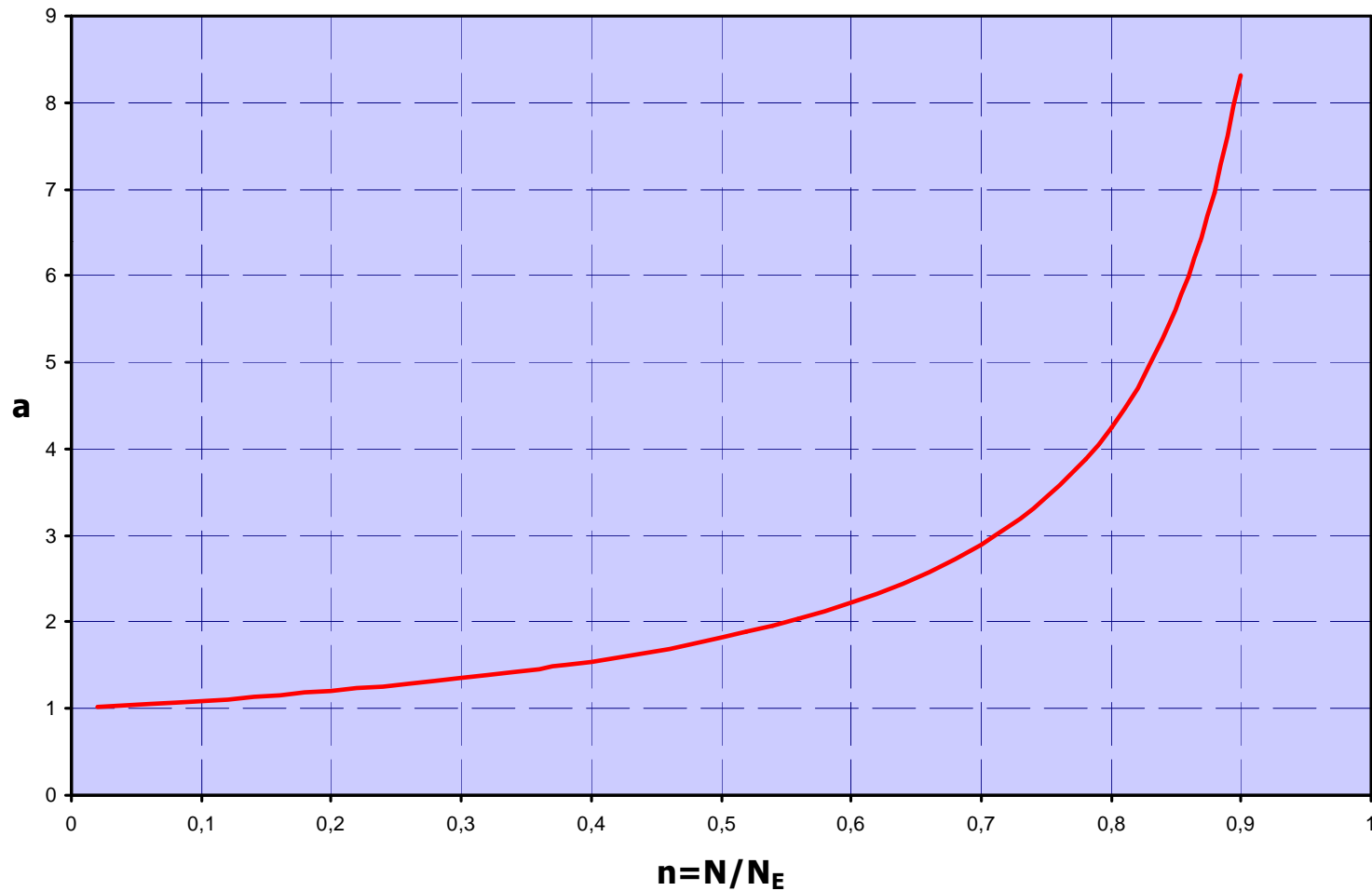


Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ελαστική αλληλεπίδραση θλίψης και κάμψης

Συντελεστής μεγέθυνσης ροπής λόγω αξονικής
Περίπτωση αμφιέριστης δοκού με συγκεντρωμένο φορτίο στο μέσον

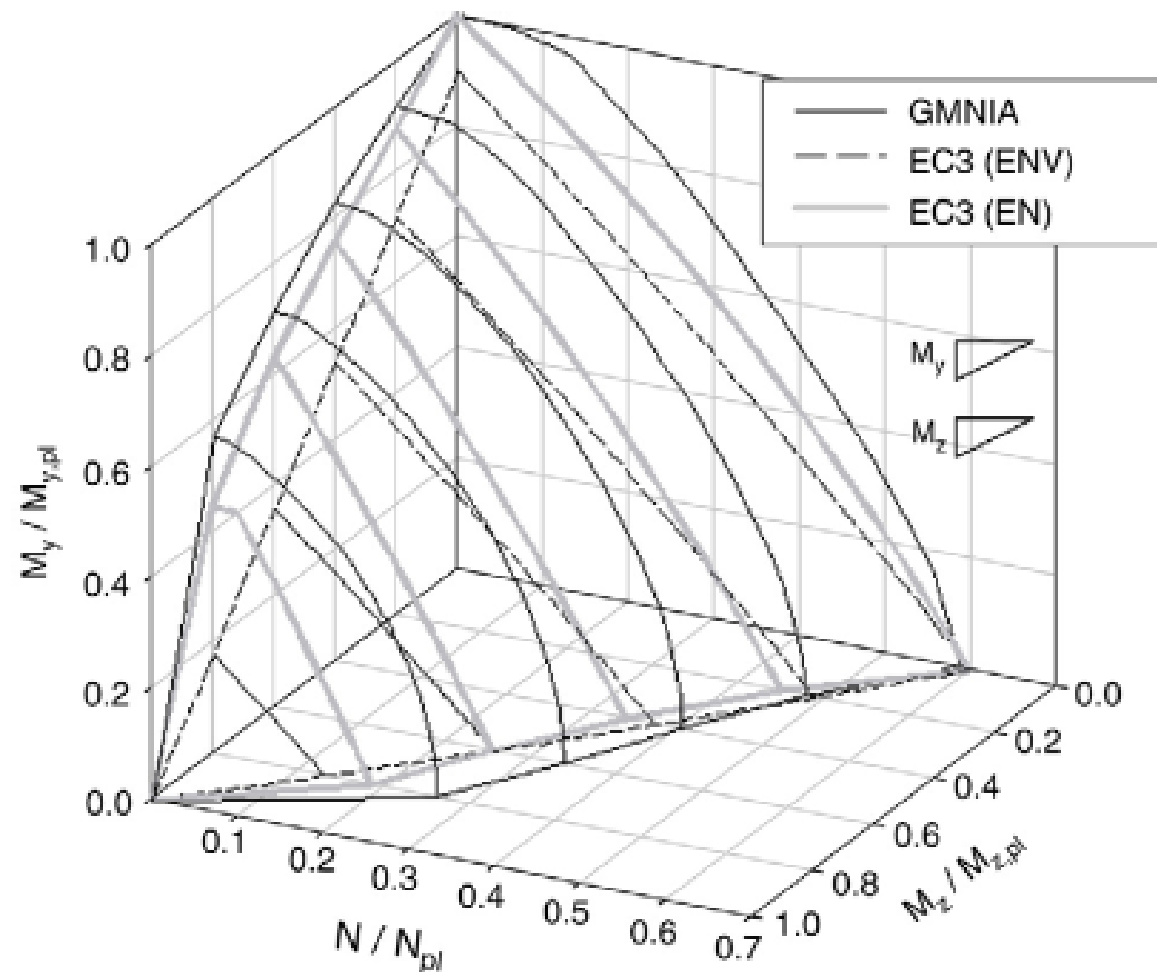




Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Αλληλεπίδραση θλίψης και διαξονικής κάμψης





Ε.Μ.Π

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Εκτός εάν εκτελείται ανάλυση δεύτερης τάξης χρησιμοποιώντας αρχικές ατέλειες, η ευστάθεια μελών σταθερής διατομής διπλής συμμετρίας ελέγχεται σύμφωνα με τα παρακάτω, όπου διάκριση γίνεται μεταξύ:

- μελών που δεν είναι ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις, π.χ. κοίλες κυκλικές διατομές ή διατομές όπου η στρέψη παρεμποδίζεται
- μελών που είναι ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις, π.χ. μέλη με ανοιχτές διατομές, στα οποία δεν παρεμποδίζεται η στρέψη



Ε.Μ.Π

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Μέλη που υπόκεινται σε συνδυασμένη διαξονική κάμψη και θλίψη πρέπει να ικανοποιούν:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ και $M_{z,Ed}$ είναι οι τιμές σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης και των μεγίστων ροπών ως προς τους άξονες y-y και z-z

$\Delta M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ είναι οι ροπές λόγω της μετατόπισης του κεντροβαρικού άξονα για διατομές κατηγορίας 4

χ_y and χ_z είναι οι μειωτικοί συντελεστές λόγω καμπτικού λυγισμού

χ_{LT} είναι ο μειωτικός συντελεστής λόγω στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} είναι οι συντελεστές αλληλεπίδρασης



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Τιμές για $N_{Rk} = f_y A_i$, $M_{i,Rk} = f_y W_i$ και $\Delta M_{i,Ed}$

Κατηγορία	1	2	3	4
A_i	A	A	A	A_{eff}
W_y	W_{ply}	W_{ply}	W_{ely}	$W_{eff,y}$
W_z	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

Για μέλη που δεν υπόκεινται σε στρεπτική παραμόρφωση $\chi_{LT} = 1,0$



Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Μέλη κατηγορίας 1, 2 ή 3 που υπόκεινται σε συνδυασμένη διαξονική κάμψη και θλίψη πρέπει να ικανοποιούν:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$



Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Μέλη κατηγορίας 1, 2 ή 3 που υπόκεινται σε συνδυασμένη διαξονική κάμψη και θλίψη και δεν είναι ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις πρέπει να ικανοποιούν:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$



Ε.Μ.Π

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Μέλη κατηγορίας 1, 2 ή 3 που υπόκεινται σε συνδυασμένη μονοαξονική κάμψη και θλίψη και δεν είναι ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις πρέπει να ικανοποιούν:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} \leq 1$$



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Μέθοδος 1: Συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij}

Συντελεστές αλληλεπίδρασης	Παραδοχές σχεδιασμού	
	ελαστικές ιδιότητες διατομής κατηγορία 3, κατηγορία 4	πλαστικές ιδιότητες διατομής κατηγορία 1, κατηγορία 2
k_{yy}	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$
k_{yz}	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} 0,6 \sqrt{\frac{W_z}{W_y}}$
k_{zy}	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{W_y}{W_z}}$
k_{zz}	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{zz}}$



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Μέθοδος 1: Συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij}

Βοηθητικοί συντελεστές	
$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{\sigma,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{\sigma,y}}}$	$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{eLy}}{W_{ply}}$
$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{\sigma,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{\sigma,z}}}$	$\mu \varepsilon \ b_{LT} = 0,5 \ a_{LT} \ \bar{\lambda}_0^2 \ \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \ M_{ply,Rd}} \ \frac{M_{z,Ed}}{M_{plz,Rd}}$
$w_y = \frac{W_{ply}}{W_{eLy}} \leq 1,5$	$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \frac{W_{eLz}}{W_{plz}}$
$w_z = \frac{W_{plz}}{W_{eLz}} \leq 1,5$	$\mu \varepsilon \ c_{LT} = 10 \ a_{LT} \ \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \ \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \ M_{ply,Rd}}$
$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}}$	$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{eLy}}{W_{ply}}$
C_{my} βλέπε Πίνακα Α.2	$\mu \varepsilon \ d_{LT} = 2 \ a_{LT} \ \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \ \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \ \chi_{LT} \ M_{ply,Rd}} \ \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} \ M_{plz,Rd}}$
$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} \geq 0$	$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right] \geq \frac{W_{eLz}}{W_{plz}}$
	$\mu \varepsilon \ e_{LT} = 1,7 \ a_{LT} \ \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \ \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \ \chi_{LT} \ M_{ply,Rd}}$



Ε.Μ.Π

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Μέθοδος 1: Συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij}

$$\bar{\lambda}_{max} = \max \left\{ \bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z \right\}$$

$\bar{\lambda}_0$ = ανηγμένη λυγνρότητα για στρεπτοκαμπτικό (πλευρικό) λυγισμό λόγω σταθερής καμπτικής ροπής, δηλ.
 $\psi_y = 1,0$ στον Πίνακα Α.2

$\bar{\lambda}_{z,T}$ = ανηγμένη λυγνρότητα για στρεπτοκαμπτικό (πλευρικό) λυγισμό

Εάν $\bar{\lambda}_0 \leq 0,2 \sqrt{C_{1,z}} \sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$: $C_{my} = C_{my,0}$
 $C_{mz} = C_{mz,0}$
 $C_{mz,T} = 1,0$

Εάν $\bar{\lambda}_0 > 0,2 \sqrt{C_{1,z}} \sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$: $C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\epsilon_y} a_{z,T}}{1 + \sqrt{\epsilon_y} a_{z,T}}$
 $C_{mz} = C_{mz,0}$
 $C_{mz,T} = C_{my}^2 \frac{a_{z,T}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$

$\epsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{pl,y}}$ για διατομές κατηγορίας 1, 2 και 3

$\epsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}}$ για διατομές κατηγορίας 4

$N_{cr,z,y}$ = ελαστική δύναμη καμπτικού λυγισμού περί τον άξονα y-y

$N_{cr,z,z}$ = ελαστική δύναμη καμπτικού λυγισμού περί τον άξονα z-z

$N_{cr,T}$ = ελαστική δύναμη στρεπτικού λυγισμού

i_T = σταθερά στρέψης St. Venant

i_y = ροπή αδράνειας ως προς τον άξονα y-y

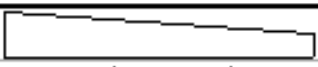
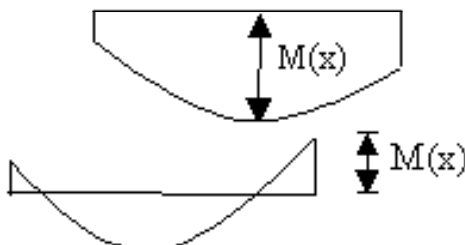
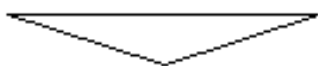



Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Μέθοδος 1: Συντελεστές $C_{mi,0}$ ισοδύναμης ομοιόμορφης ροπής

Διάγραμμα ροπής			$C_{mi,0}$
M_1		ψM_1	$C_{mi,0} = 0,79 + 0,21\psi_i + 0,36(\psi_i - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{\sigma i}}$
	$-1 \leq \psi \leq 1$		
			$C_{mi,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 EI_i \delta_x }{L^2 M_{i,Ed}(x) } - 1 \right) \frac{N_{Ed}}{N_{\sigma i}}$ <p>$M_{i,Ed}(x)$ είναι η μέγιστη ροπή $M_{y,Ed}$ ή $M_{x,Ed}$ δ_x είναι η μέγιστη μετατόπιση του μέλους κατά το μήκος του</p>
			$C_{mi,0} = 1 - 0,18 \frac{N_{Ed}}{N_{\sigma i}}$
			$C_{mi,0} = 1 + 0,03 \frac{N_{Ed}}{N_{\sigma i}}$



Ε.Μ.Π

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Μέθοδος 2: Συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij} για μέλη που δεν υπόκεινται σε στρεπτικές παραμορφώσεις

Συντελεστές αλληλεπίδρασης	Τύπος διατομών	Παραδοχές σχεδιασμού	
		ελαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 3, κατηγορία 4	πλαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 1, κατηγορία 2
k_{yy}	διατομές I διατομές RHS	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	διατομές I διατομές RHS	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{xy}	διατομές I διατομές RHS	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	διατομές I	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	διατομές RHS		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Για διατομές I και H και ορθογωνικές κοίλες διατομές με αξονική θλίψη και μονοαξονική κάμψη $M_{y,Ed}$ ο συντελεστής k_{xy} μπορεί να είναι $k_{xy} = 0$.



Ε.Μ.Π

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Μέθοδος 2: Συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij} για μέλη που υπόκεινται σε στρεπτικές παραμορφώσεις

Συντελεστές αλληλεπίδρασης	Παραδοχές σχεδιασμού	
	ελαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 3, κατηγορία 4	πλαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 1, κατηγορία 2
k_{yy}	k_{yy} από τον Πίνακα Β.1	k_{yy} από τον Πίνακα Β.1
k_{yz}	k_{yz} από τον Πίνακα Β.1	k_{yz} από τον Πίνακα Β.1
k_{xy}	$\left[1 - \frac{0,05\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ <p>για $\bar{\lambda}_z < 0,4$:</p> $k_{xy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$
k_{zz}	k_{zz} από τον Πίνακα Β.1	k_{zz} από τον Πίνακα Β.1


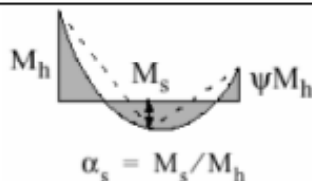
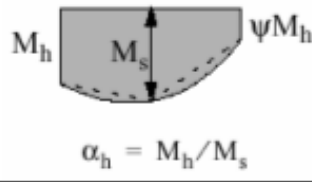


Ε.Μ.Π

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη και κάμψη κατά ΕΚ3

Μέθοδος 2: Συντελεστές C_m ισοδύναμης ομοιόμορφης ροπής

Διάγραμμα ροπής	Περιοχή		C_{my} και C_{mz} και C_{mLT}	
			Ομοιόμορφο φορτίο	Συγκεντρωμένο φορτίο
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 - 0,10\alpha_h(1+2\psi)$
Για μέλη με λυγισμό από μετάθεση ο συντελεστής ισοδύναμης ομοιόμορφης ροπής πρέπει να λαμβάνεται $C_{my} = 0,9$ ή $C_{mz} = 0,9$ αντίστοιχα.				
Τα C_{my} , C_{mz} και C_{mLT} πρέπει να λαμβάνονται σύμφωνα με το διάγραμμα ροπών μεταξύ των αντίστοιχων πλευρικά στηριζόμενων σημείων ως εξής:				
συντελεστής ροπής	άξονας κάμψης	σημεία εξασφαλιζόμενα κατά τη διεύθυνση		
C_{my}	y-y	z-z		
C_{mz}	z-z	y-y		
C_{mLT}	y-y	y-y		