



Ε.Μ.Π.

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

ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΙ

**ΔΙΑΛΕΞΗ 6
ΚΟΜΒΟΙ ΠΛΑΙΣΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

2008



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Κόμβοι πλαισιακών κατασκευών



ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΙ

ΔΙΑΛΕΞΗ 6
ΚΟΜΒΟΙ ΠΛΑΙΣΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

2008

2



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Κόμβοι πλαισιακών κατασκευών

- Κόμβοι δοκού-υποστυλώματος
- Κόμβοι δοκού-δοκού
- Βάσεις υποστυλωμάτων
- Κοχλιωτοί
- Συγκολλητοί

2008



Ε.Μ.Π.

Κόμβοι δοκού - υποστυλώματος

Με μετωπική πλάκα



Με γωνιακά



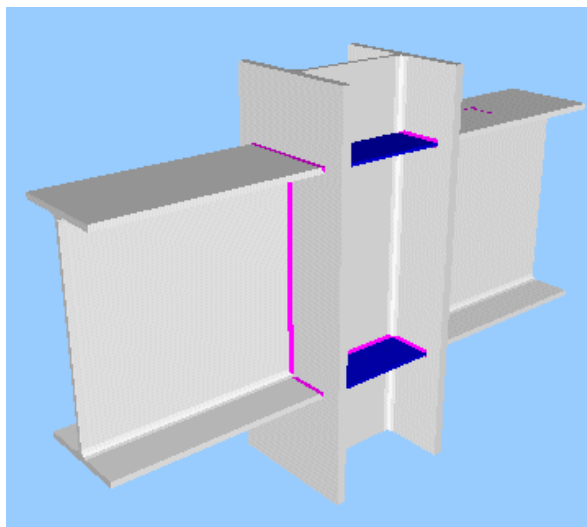


Ε.Μ.Π.

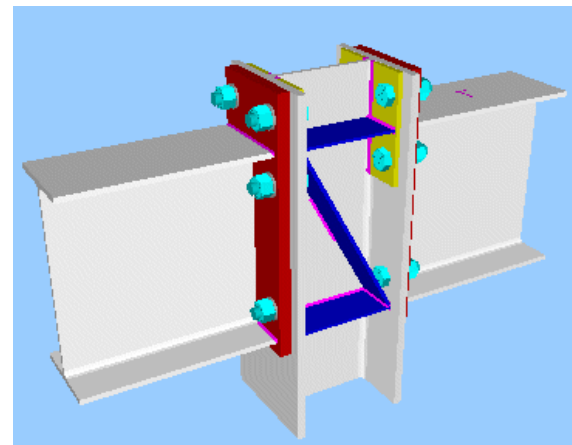
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Κόμβοι δοκού - υποστυλώματος

Συγκολλητός
με ενισχύσεις



Με μετωπική πλάκα
με ενισχύσεις

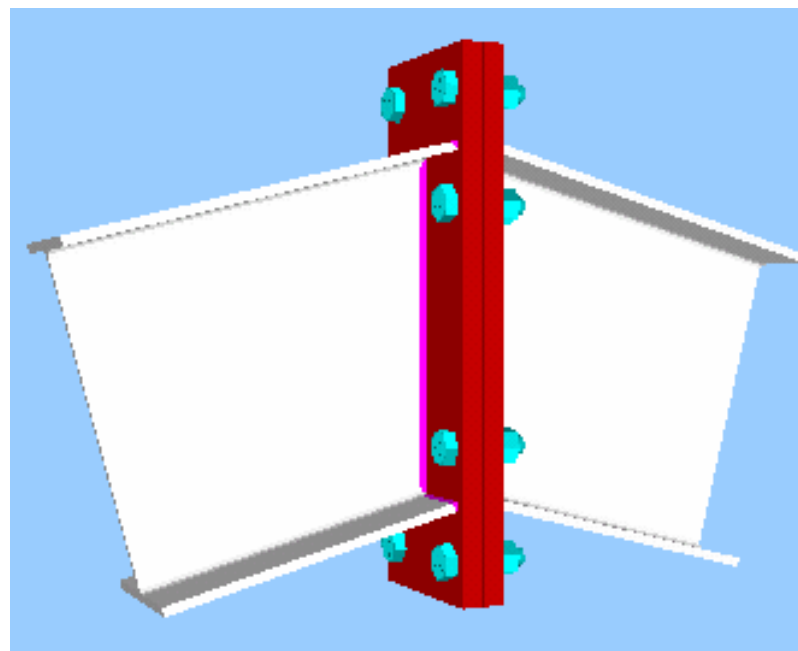




Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Κόμβοι δοκού - δοκού

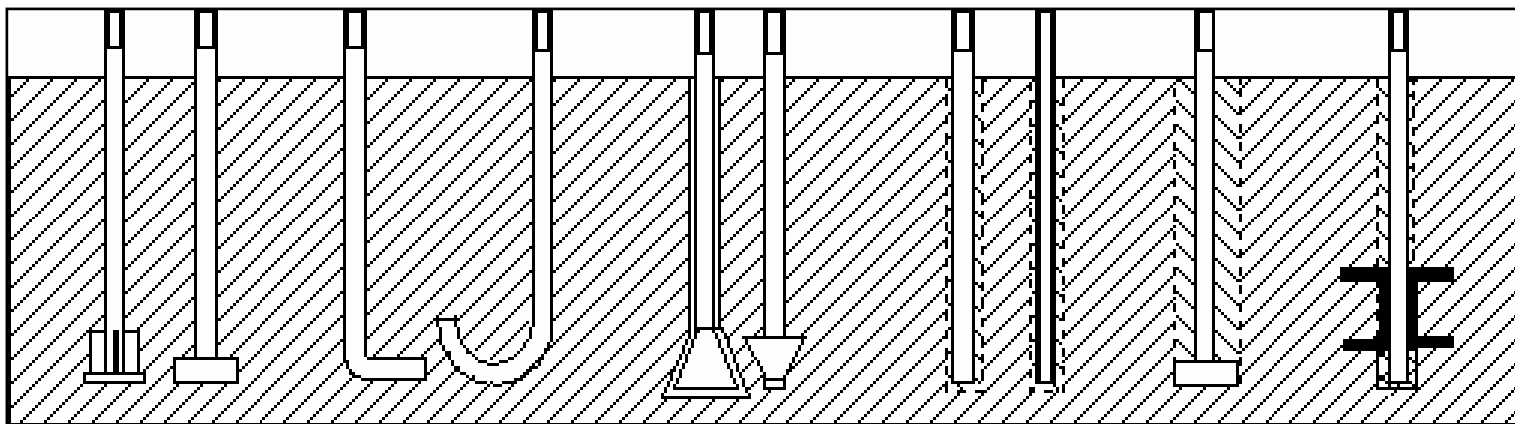




Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Κόμβοι έδρασης υποστυλωμάτων



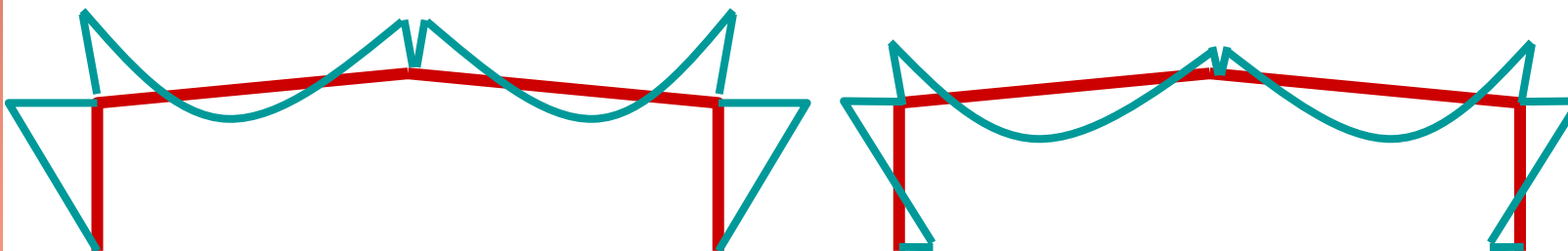


Ε.Μ.Π.

Σημασία μόρφωσης κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Οι κόμβοι:

- αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα μιας πλαισιακής κατασκευής
- Επηρεάζουν καθοριστικά την κατανομή των εντατικών μεγεθών στα μέλη και το μέγεθος των μετακινήσεων



Διαγράμματα ροπών κάμψης πλαισίου



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Προσομοίωση κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Πρόβλημα:

Πώς ενσωματώνονται οι κόμβοι στην ελαστική ανάλυση της κατασκευής;

Απάντηση:

Εξαρτάται από τη δυσκαμψία τους

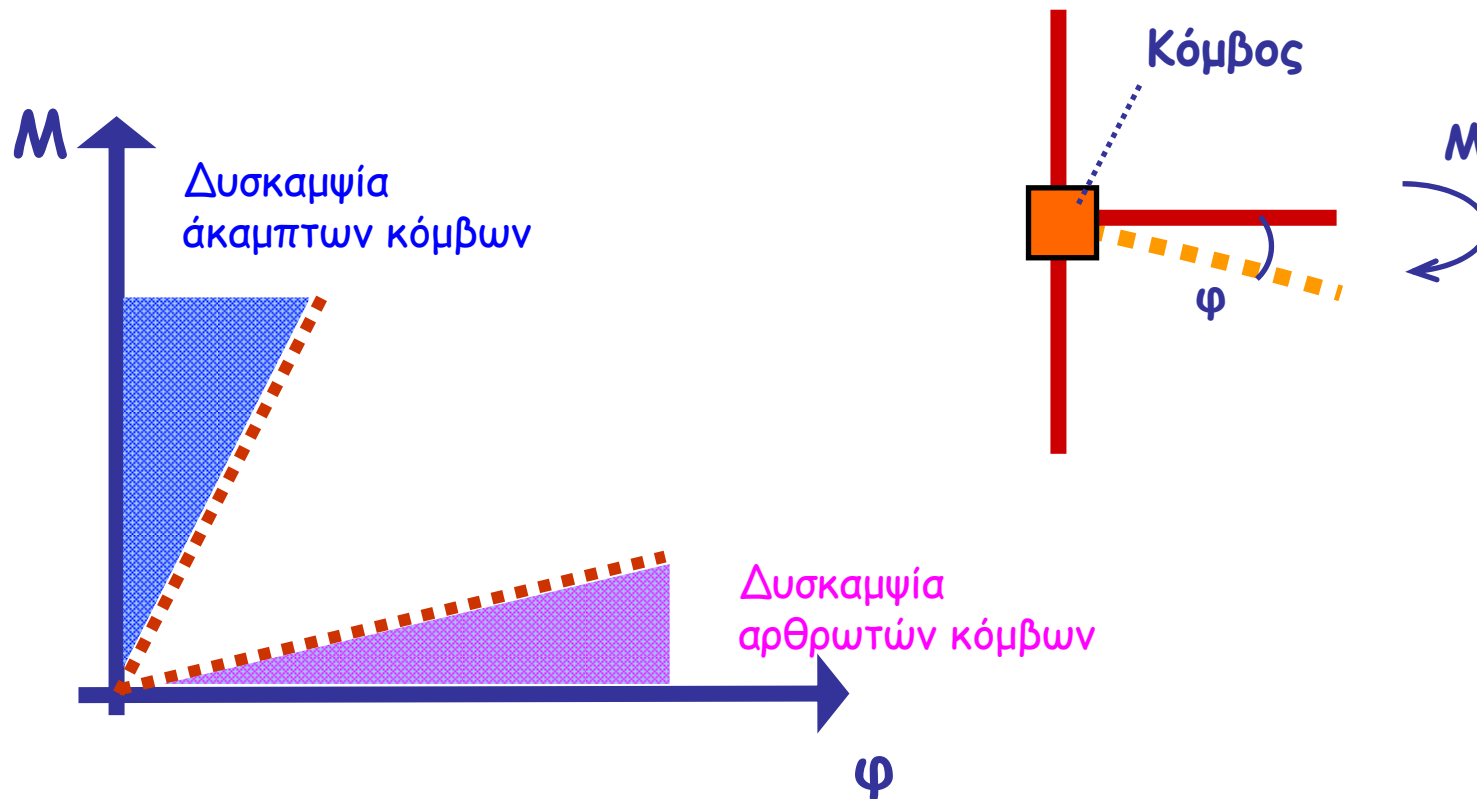
	Υψηλή δυσκαμψία	Χαμηλή δυσκαμψία	Ενδιάμεση δυσκαμψία
Θεώρηση (στην ελαστική ανάλυση)	Άκαμπτοι	Αρθρωτοί	Ημι-άκαμπτοι



Ε.Μ.Π.

Προσομοίωση κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Πόση δυσκαμψία πρέπει να έχει ο κόμβος για να θεωρηθεί
άκαμπτος, αρθρωτός ή ημι-άκαμπτος;





Ε.Μ.Π.

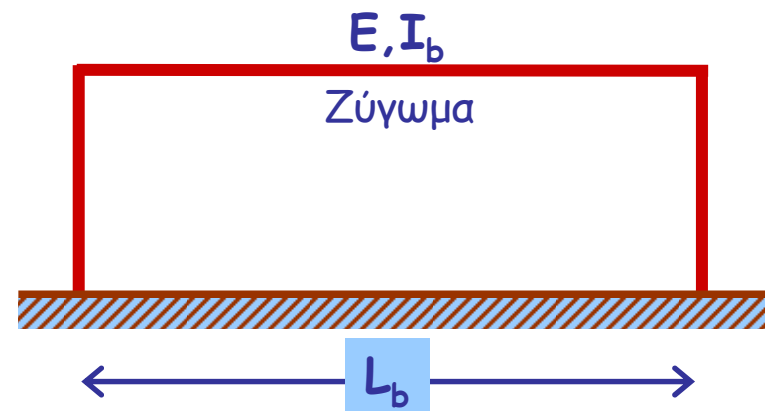
Προσομοίωση κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Ο Ευρωκώδικας 3 δίνει όρια δυσκαμψίας για την κατάταξη κόμβων

- Για κόμβους δοκού-υποστυλώματος:

$$\text{Δυσκαμψία άκαμπτων κόμβων} \geq \begin{cases} 8EI_b/L_b & \text{Αμετάθετα πλαίσια} \\ 25EI_b/L_b & \text{Μεταθετά πλαίσια} \end{cases}$$

$$\text{Δυσκαμψία αρθρωτών κόμβων} \leq 0,5EI_b/L_b$$

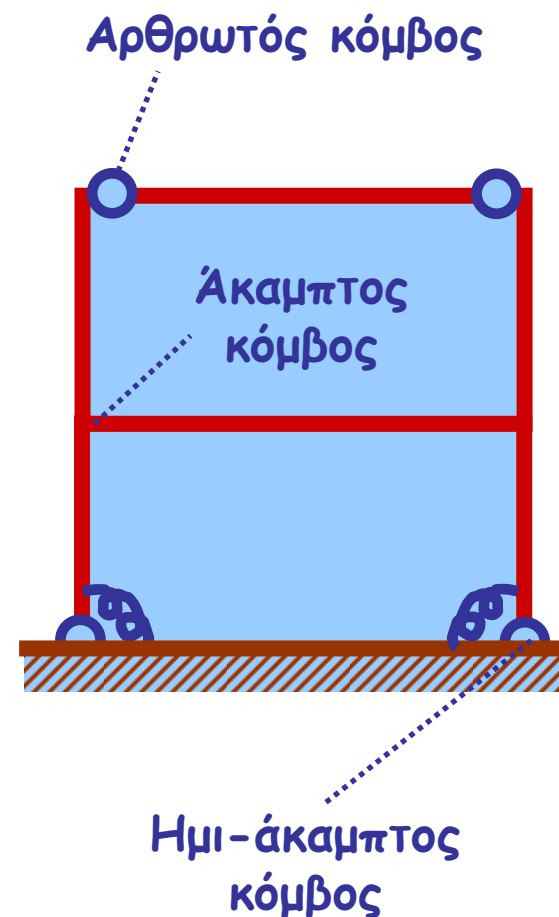




Ε.Μ.Π.

Προσομοίωση κόμβων πλαισιακών κατασκευών

- Προσομοίωση κόμβων στην ελαστική ανάλυση της κατασκευής
- Πρέπει να ελεγχθεί η δυσκαμψία τους ώστε να ικανοποιεί τα όρια του Ευρωκώδικα 3





Ε.Μ.Π.

Προσομοίωση κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Πρόβλημα:

Πως προσομοιώνονται οι κόμβοι στην περίπτωση που
θέλουμε να κάνουμε πλαστική ανάλυση;

Απάντηση:

Εξαρτάται από την αντοχή τους

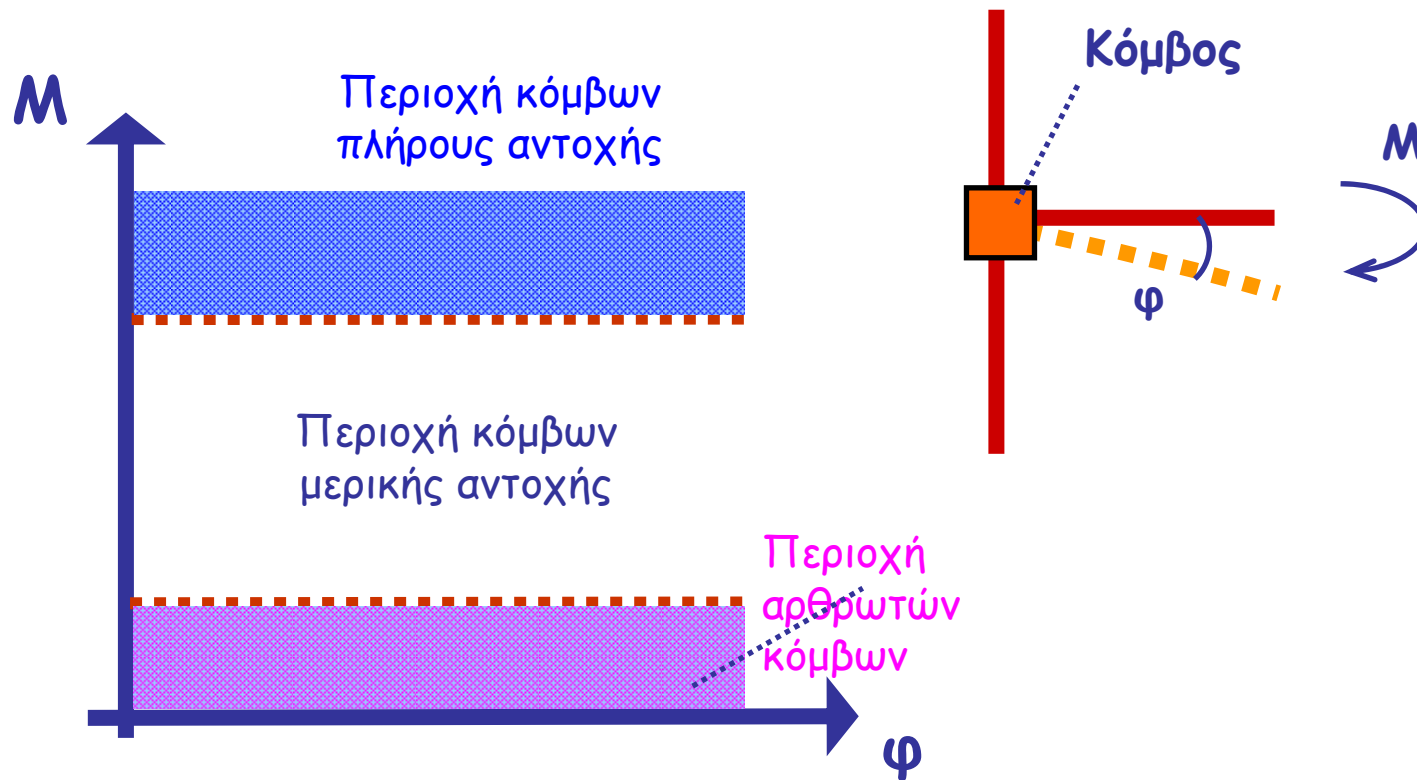
	Υψηλή αντοχή	Χαμηλή αντοχή	Ενδιάμεση αντοχή
Θεώρηση (στην πλαστική ανάλυση)	Πλήρους αντοχής	Αρθρωτοί	Μερικής αντοχής



Ε.Μ.Π.

Προσομοίωση κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Πόση αντοχή πρέπει να έχει ο κόμβος για να θεωρηθεί πλήρους αντοχής, αρθρωτός ή μερικής αντοχής;





Ε.Μ.Π.

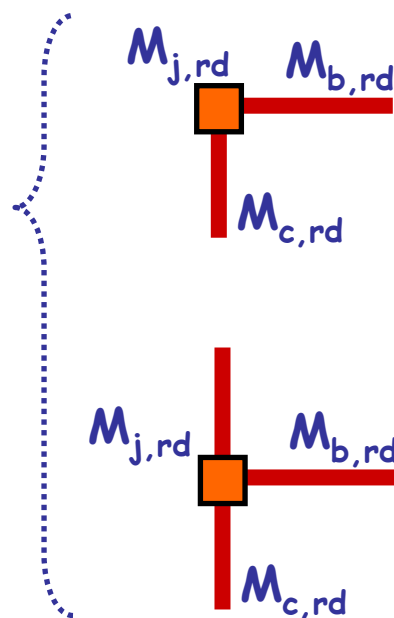
Προσομοίωση κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Ο Ευρωκώδικας 3 δίνει όρια αντοχής για την κατάταξη κόμβων

Αντοχή κόμβων
πλήρους
αντοχής

\geq

Αντοχή
συνδεόμενων
μελών



$$M_{j,rd} > M_{b,rd} \\ \& \\ M_{j,rd} > M_{c,rd}$$

$$M_{j,rd} > M_{b,rd} \\ \& \\ M_{j,rd} > 2M_{c,rd}$$

Αντοχή αρθρωτών κόμβων $\leq 0,25 \times$ (Αντοχή συνδεόμενων μελών)



Ε.Μ.Π.

Προσομοίωση κόμβων πλαισιακών κατασκευών

- Προσομοίωση κόμβων στην πλαστική ανάλυση της κατασκευής
- Πρέπει να ελεγχθεί η αντοχή τους ώστε να ικανοποιεί τα όρια του Ευρωκώδικα 3





Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Προσομοίωση κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Πρόβλημα:

Πως προσομοιώνονται οι κόμβοι στην περίπτωση που θέλουμε να ελαστοπλαστική ή μη γραμμική ανάλυση;

Απάντηση:

Εξαρτάται από την αντοχή και τη δυσκαμψία τους

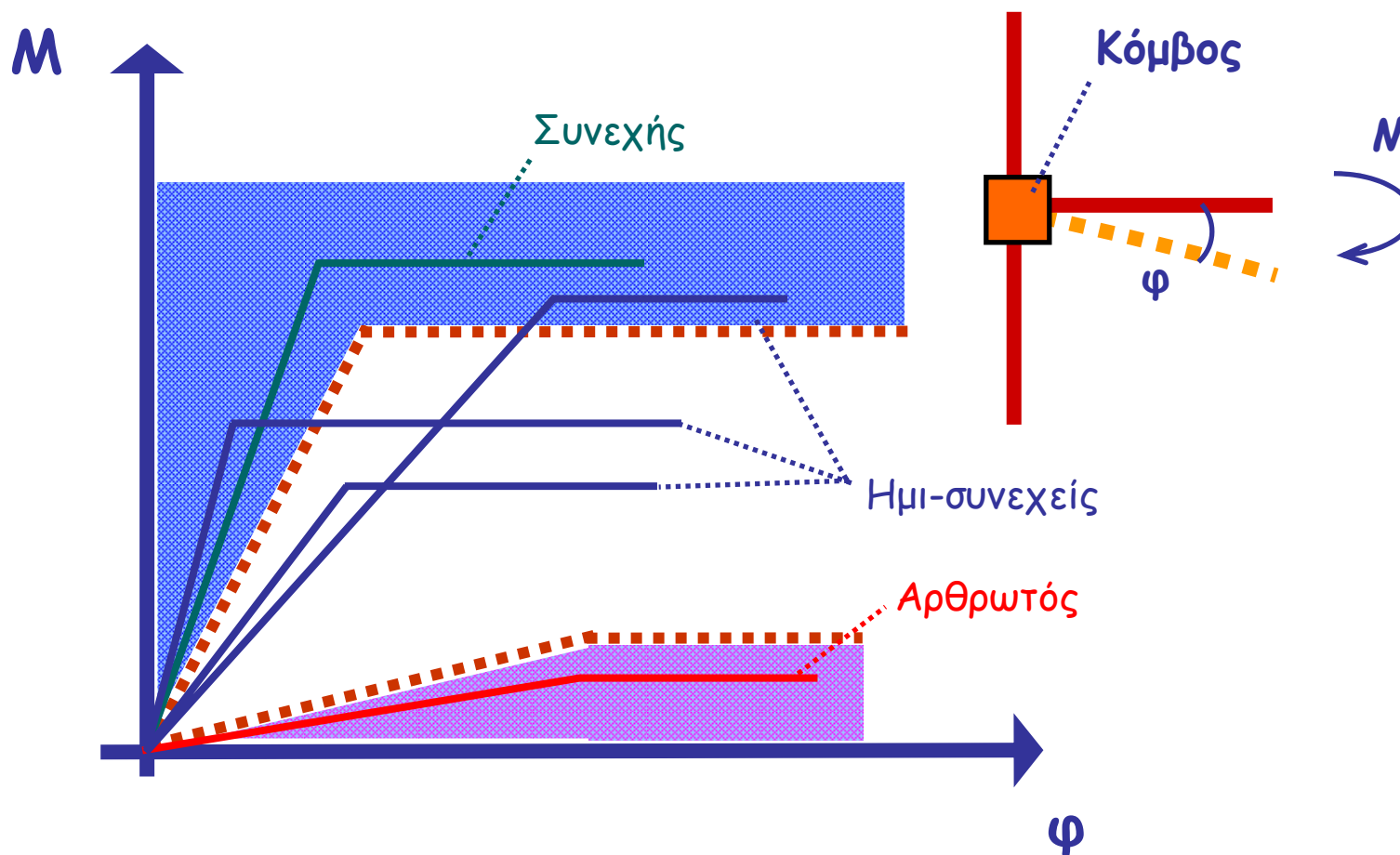
	Υψηλή αντοχή και δυσκαμψία	Χαμηλή αντοχή και δυσκαμψία	Ενδιάμεση αντοχή ή δυσκαμψία
Θεώρηση (στην ελαστοπλαστική ανάλυση)	Συνεχείς	Αρθρωτοί	Ημι-συνεχείς



Ε.Μ.Π.

Παραδείγματα κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Κατάταξη ως προς τη δυσκαμψία και την αντοχή, όπως και πριν





Ε.Μ.Π.

Σχεδιασμός κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Επομένως ο σχεδιασμός των κόμβων απαιτεί τον υπολογισμό της δυσκαμψίας και της αντοχής τους

Όμως

Ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών αυτών είναι δύσκολος και απαιτεί μεγάλη εξειδίκευση

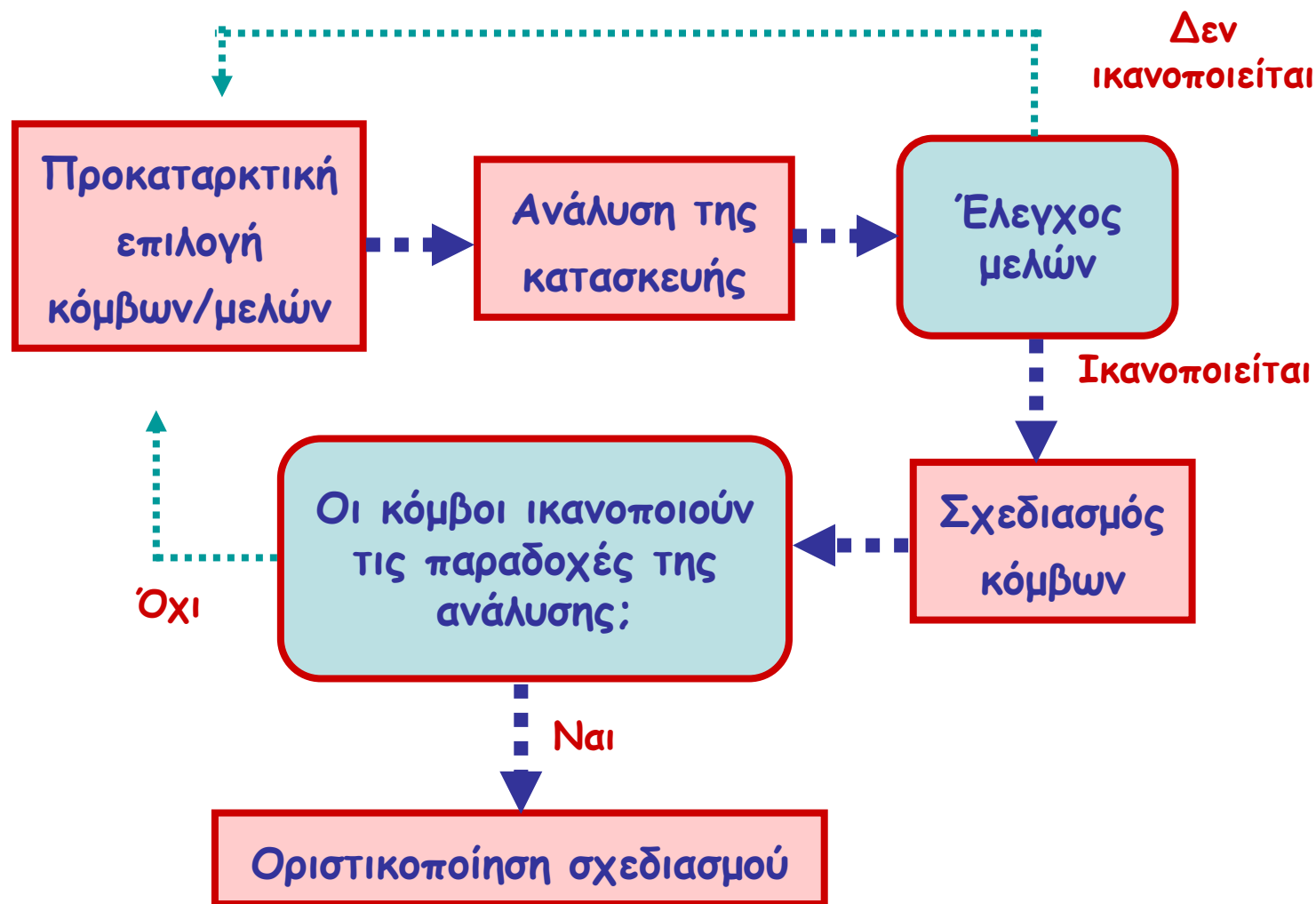
Συχνά ο λεπτομερής σχεδιασμός των κόμβων ανατίθεται σε εξειδικευμένα μελετητικά γραφεία



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Διαδικασία σχεδιασμού πλαισιακών κατασκευών



2008



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Υπολογισμός κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Υπολογισμός δυσκαμψίας και αντοχής κόμβων

- Πειραματικά
- Αριθμητικά (με αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων)
- Αναλυτικά

2008



Ε.Μ.Π.

Πειραματικές δοκιμές κόμβων

Πειραματικά αποτελέσματα



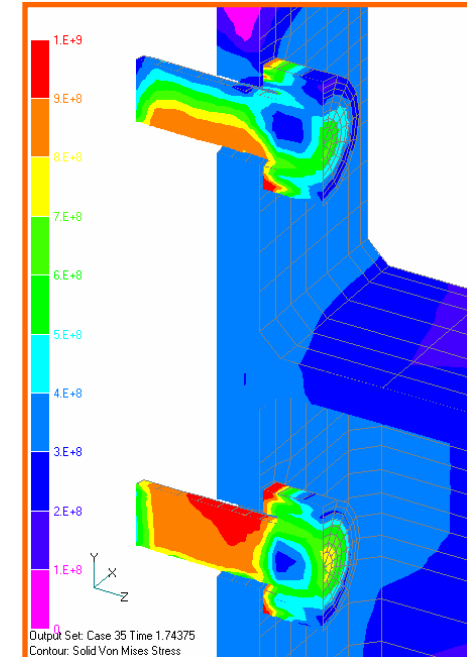
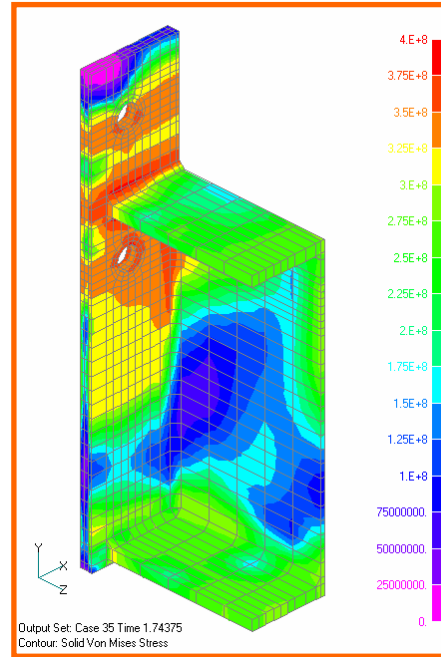
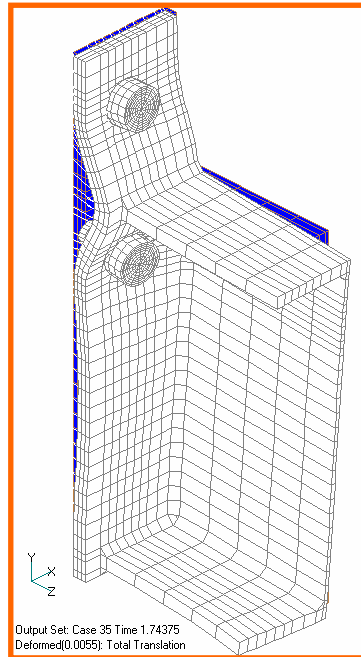
Χρήσιμα μόνο σε ειδικά έργα με μεγάλη τυποποίηση κόμβων, καθώς και για βαθμονόμηση αριθμητικών αναλύσεων και αναλυτικών προσομοιωμάτων



Ε.Μ.Π.

Αριθμητικές αναλύσεις κόμβων

Αποτελέσματα αναλύσεων πεπερασμένων στοιχείων



Έχουν υψηλό κόστος για αξιοποίηση σε συνήθη έργα

Είναι χρήσιμα για κατανόηση συμπεριφοράς και για βαθμονόμηση αναλυτικών προσομοιωμάτων



Ε.Μ.Π.

Ε
Ρ
Γ
Α
Σ
Τ
Η
ΡΙ
Ο

Μ
Ε
Τ
Α
Λ
Λ
Ι
Κ
Ω
Ν

Κ
Α
Τ
Α
Σ
Κ
Ε
Υ
Ω
Ν

Αναλυτικά προσομοιώματα κόμβων

- Μοναδική λύση για συνήθη έργα
- Πολλές αβεβαιότητες και παραδοχές
- Καλύπτουν συνήθως μερικές (λίγες) περιπτώσεις κόμβων

2
0
0
8



Ε.Μ.Π.

Αναλυτικά προσομοιώματα κόμβων

Δυσκαμψία και αντοχή κατά τον Ευρωκώδικα 3 με τη μέθοδο των «συστατικών μερών» ("component method")

- Κόμβοι δοκού-υποστυλώματος
 - Με μετωπική πλάκα
 - Με γωνιακά άνω και κάτω πέλματος
 - Πλήρως συγκολλητοί
- Βάσεις υποστυλωμάτων



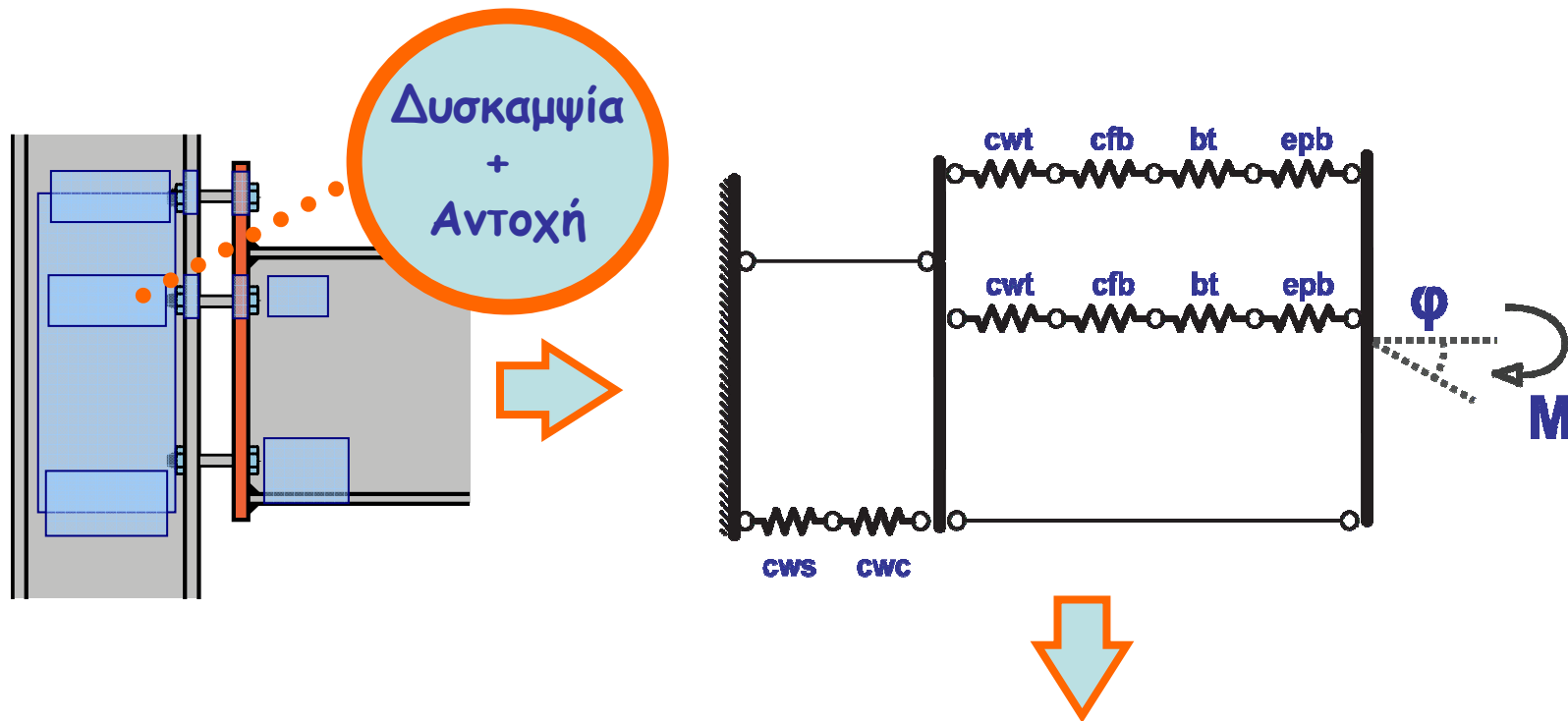
Δεν προσφέρεται για υπολογισμούς με το χέρι



Ε.Μ.Π.

Μέθοδος συστατικών μερών

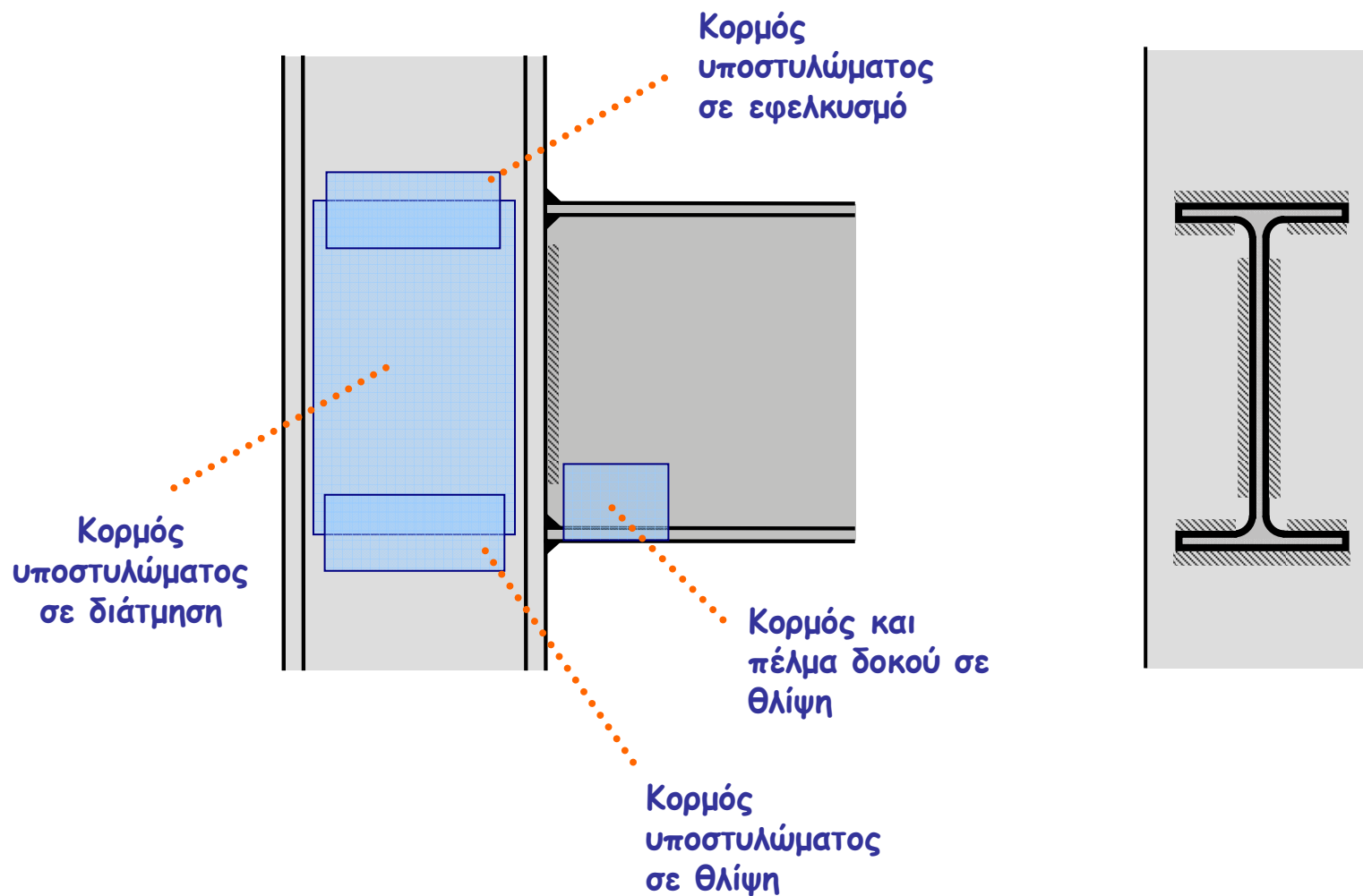
Ο κόμβος θεωρείται ένα σύστημα πολλών μικρότερων τμημάτων (συστατικά μέρη)





Ε.Μ.Π.

Συστατικά μέρη συγκολλητών κόμβων

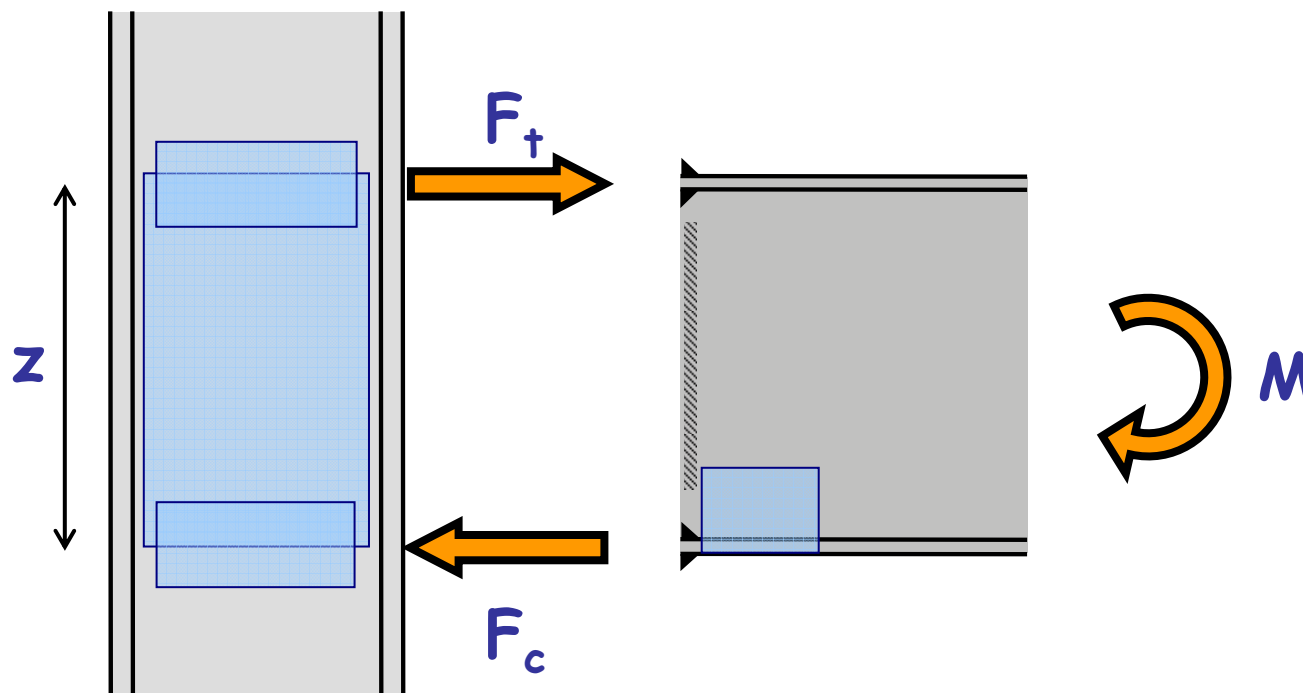




Ε.Μ.Π.

Υπολογισμός αντοχής συγκολλητών κόμβων

2008



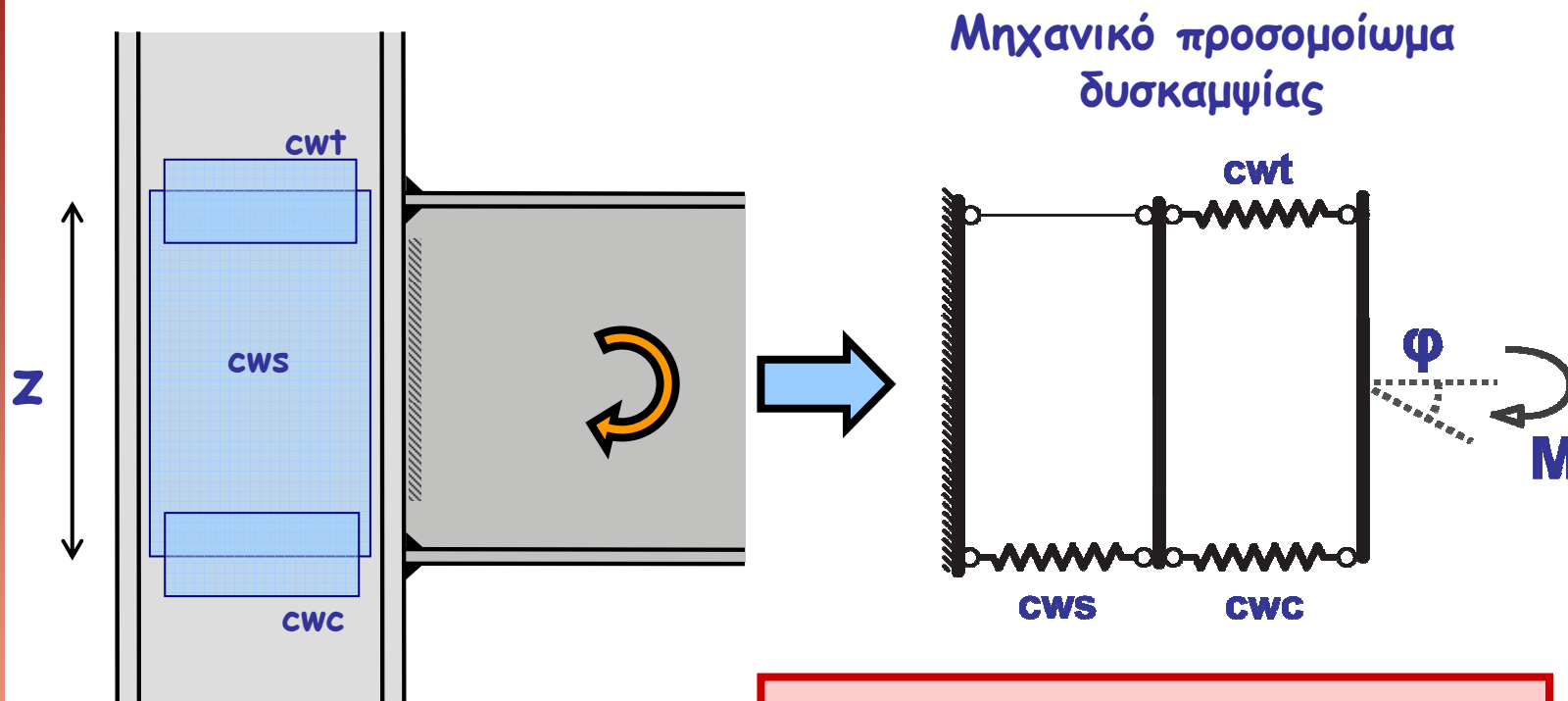
$$F_t = F_c = M/z$$



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Υπολογισμός δυσκαμψίας συγκολλητών κόμβων



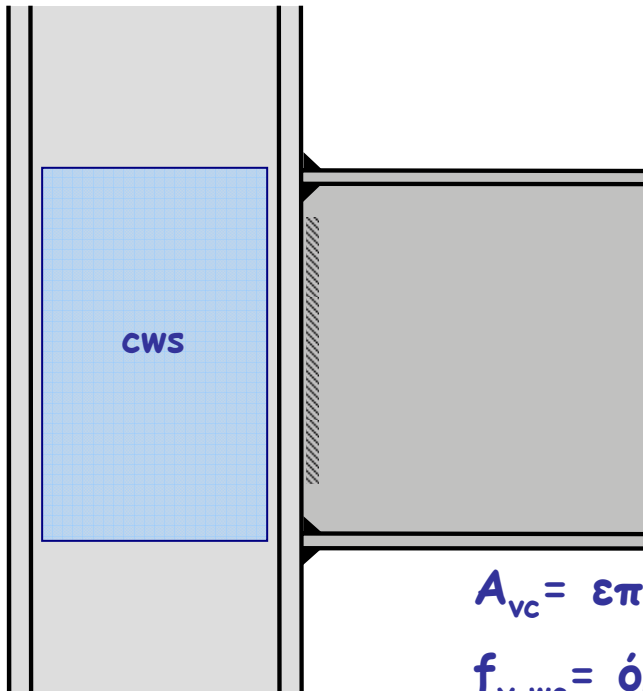
$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\frac{1}{k_{CWS}} + \frac{1}{k_{CWC}} + \frac{1}{k_{CWT}}}$$



Ε.Μ.Π.

Συστατικά μέρη συγκολλητών κόμβων

Αντοχή και δυσκαμψία του κορμού υποστυλώματος σε διάτμηση



$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9f_{y,wc}A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{MO}}$$

$$k_{CWS} = \frac{0,38A_{vc}}{\beta z}$$

A_{vc} = επιφάνεια διάτμησης του υποστυλώματος

$f_{y,wc}$ = όριο διαρροής κορμού υποστυλώματος

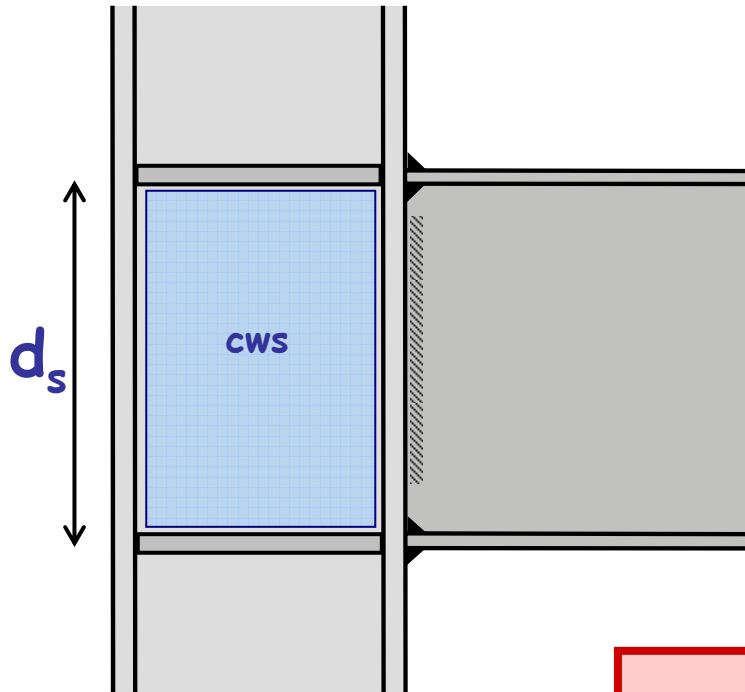
β = συντελεστής μετασχηματισμού. Εξαρτάται από την κατανομή των ροπών εκατέρωθεν του κόμβου

γ_{MO} = συντελεστής ασφαλείας = 1,00



Ε.Μ.Π.

Συστατικά μέρη συγκολλητών κόμβων



Πρόσθετη αντοχή λόγω εγκάρσιων νευρώσεων:

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s}$$

αλλά

$$V_{wp,add,Rd} \leq \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s}$$

d_s : η απόσταση μεταξύ των κεντροβαρικών γραμμών των νευρώσεων

$M_{pl,fc,Rd}$: η πλαστική αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη του πέλματος υποστρώματος

$M_{pl,st,Rd}$: η πλαστική αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη της νεύρωσης

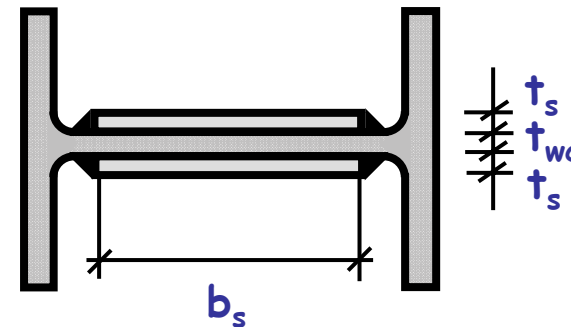
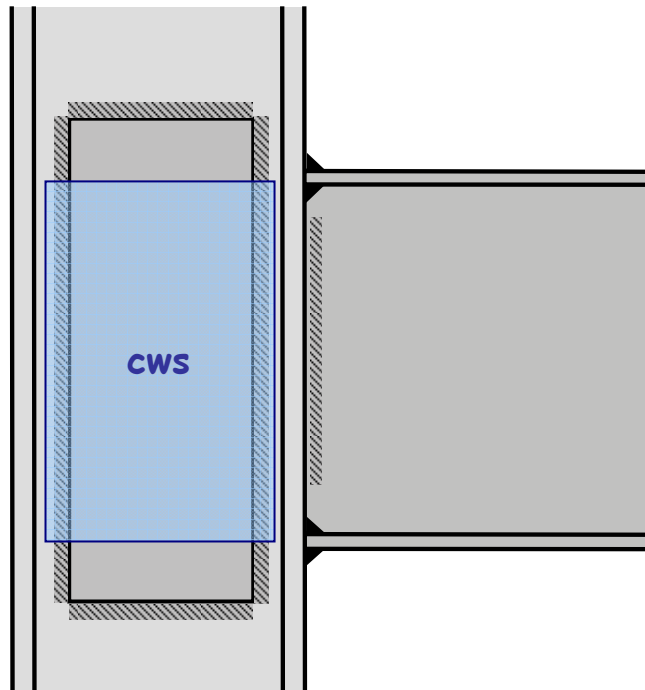


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Συστατικά μέρη συγκολλητών κόμβων

Προσθήκη ενισχυτικών ελασμάτων κορμού



$$t_s \geq t_{wc}$$

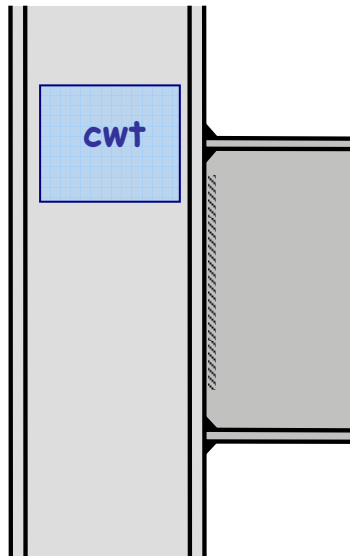
Η επιφάνεια διάτμησης A_{vc} αυξάνεται κατά $b_s \cdot t_{wc}$ ακόμα κι αν τοποθετηθούν δύο ενισχυτικά ελάσματα



Ε.Μ.Π.

Συστατικά μέρη συγκολλητών κόμβων

Αντοχή και δυσκαμψία του κορμού υποστυλώματος σε εφελκυσμό



Αντοχή

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{MO}}$$

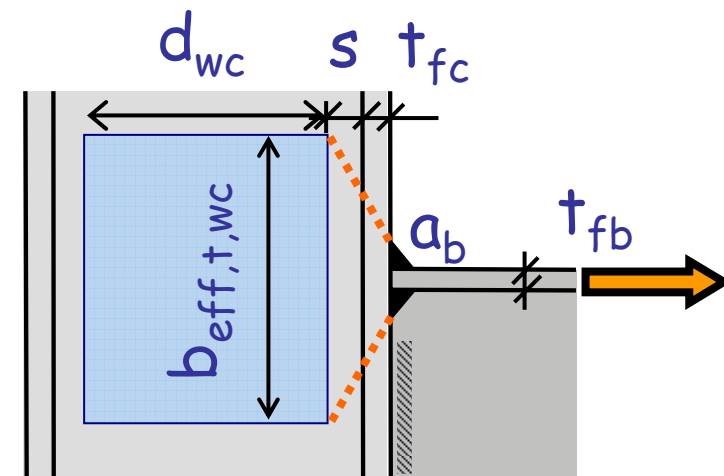
Δυσκαμψία

$$k_{t,wc} = \frac{0,7 b_{eff,t,wc} t_{wc}}{d_c}$$

$$b_{eff,t,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + s)$$

Πρότυπες διατομές: $s = r_c$

Συγκολλητές: $s = \sqrt{2} a_c$



ω : μειωτικός συντελεστής για πιθανή αλληλεπίδραση με διάτμηση



Ε.Μ.Π.

Συστατικά μέρη συγκολλητών κόμβων

Αντοχή και δυσκαμψία του κορμού υποστυλώματος σε θλίψη

Αντοχή

$$F_{c,wc,Rd} = \min \left\{ \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} ; \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} \right\}$$

Δυσκαμψία

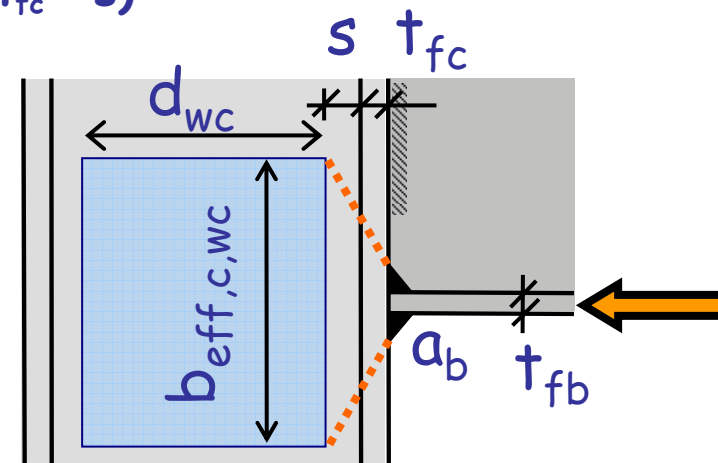
$$k_{c,wc} = \frac{0,7 b_{eff,c,wc} t_{wc}}{d_c}$$

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + s)$$

k_{wc} : μειωτικός συντελεστής λόγω αξονικής θλιπτικής δύναμης στο υποσύλωμα (συνήθως $k_{wc}=1$)

ρ : μειωτικός συντελεστής για πιθανό λυγισμό του κορμού

ω : μειωτικός συντελεστής για πιθανή αλληλεπίδραση με διάτμηση

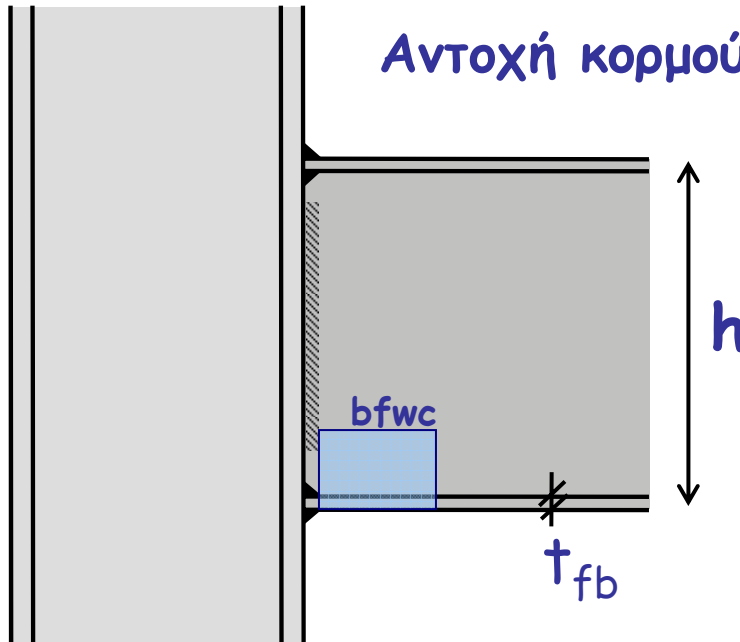




Ε.Μ.Π.

Συστατικά μέρη συγκολλητών κόμβων

Αντοχή κορμού και πέλματος δοκού σε θλίψη



$$F_{c,fb,Rd} = M_{b,Rd} / (h - t_{fb})$$

h : το ύψος της συνδεόμενης δοκού.

$M_{b,Rd}$: η αντοχή σχεδιασμού σε ροπή της διατομής της δοκού απομειωμένη αν απαιτείται λόγω αλληλεπίδρασης με τέμνουσα

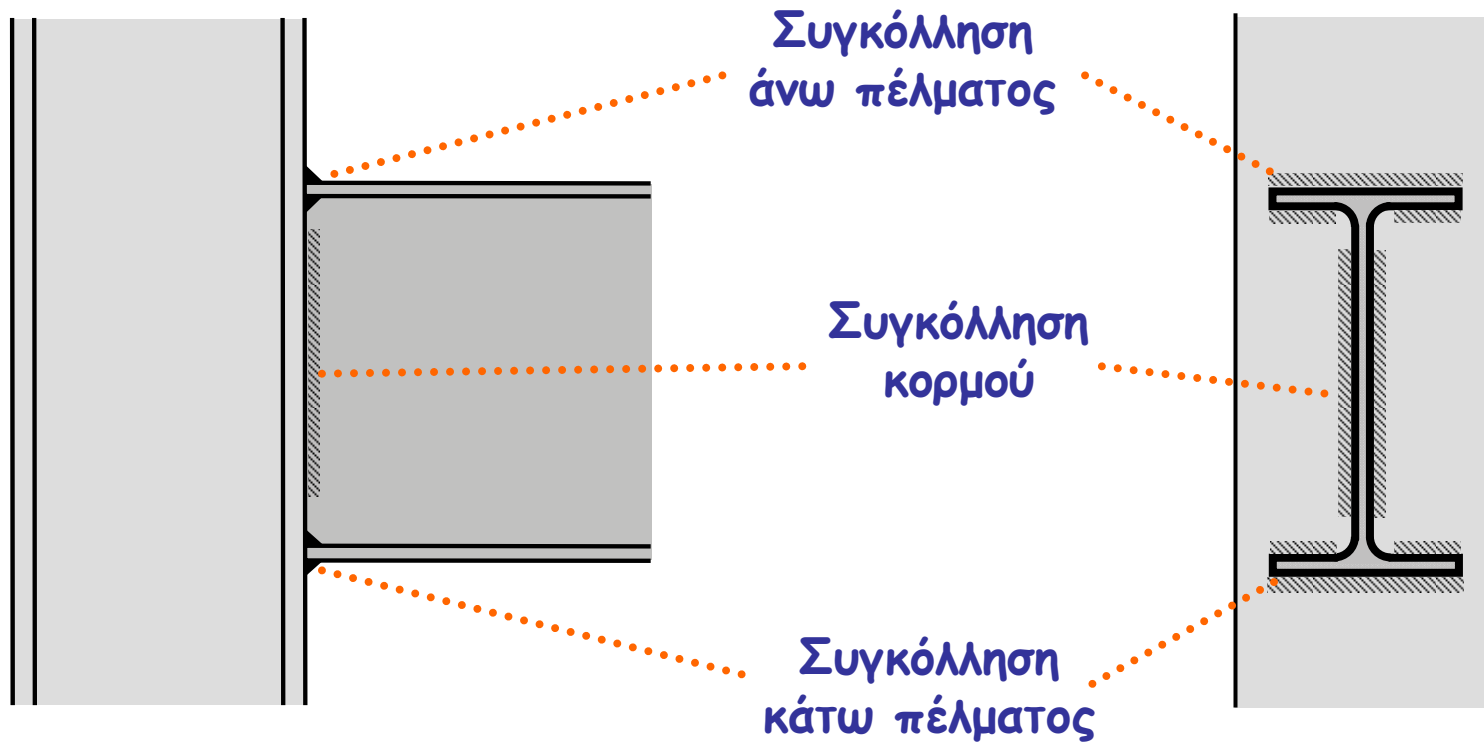
t_{fb} : το πάχος πέλματος της συνδεόμενης δοκού.



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Συστατικά μέρη συγκολλητών κόμβων



Κριτήρια
επάρκειας
συγκόλλησης

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

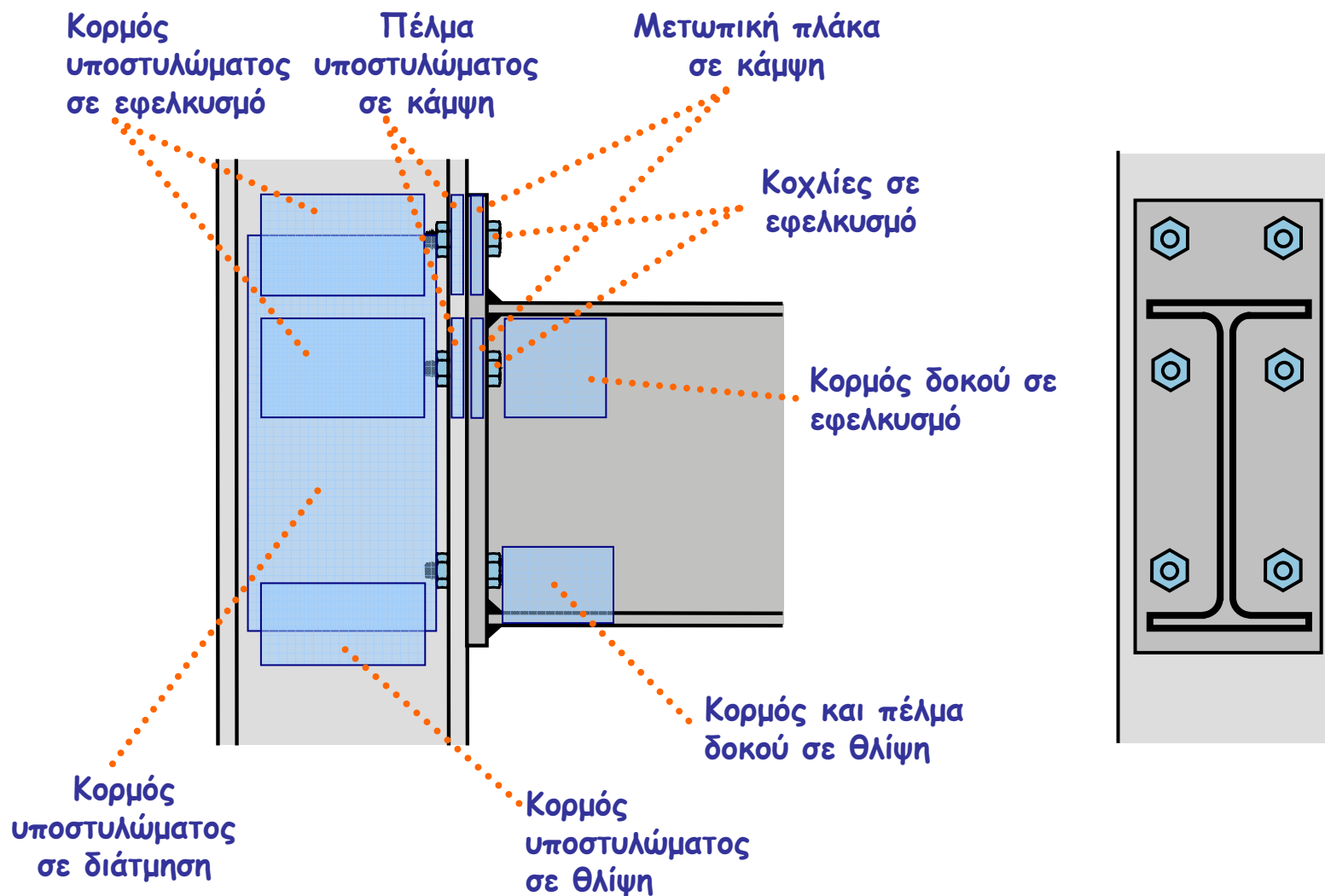
και

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$



Ε.Μ.Π.

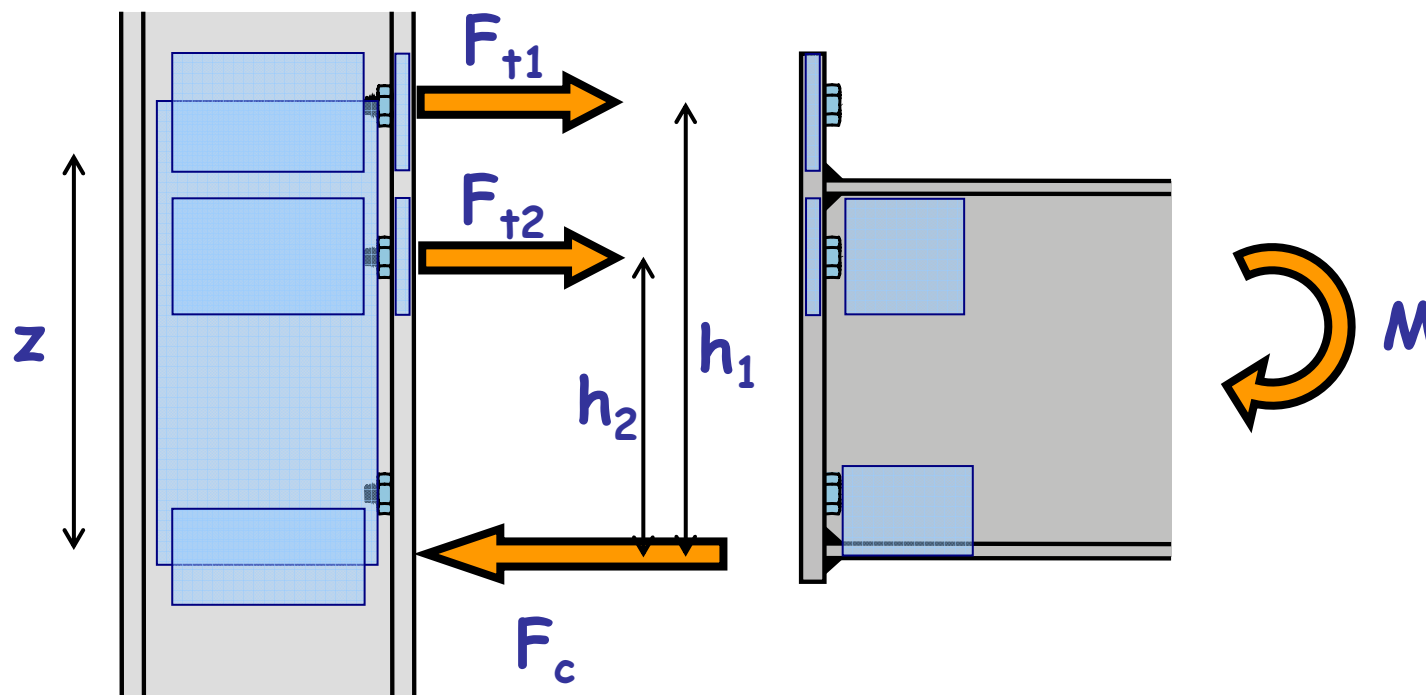
Συστατικά μέρη κόμβων με μετωπική πλάκα





Ε.Μ.Π.

Υπολογισμός αντοχής κόμβων με μετωπική πλάκα



Ισορροπία δυνάμεων

$$M = \sum F_{ti} h_i = F_{t1} h_1 + F_{t2} h_2$$

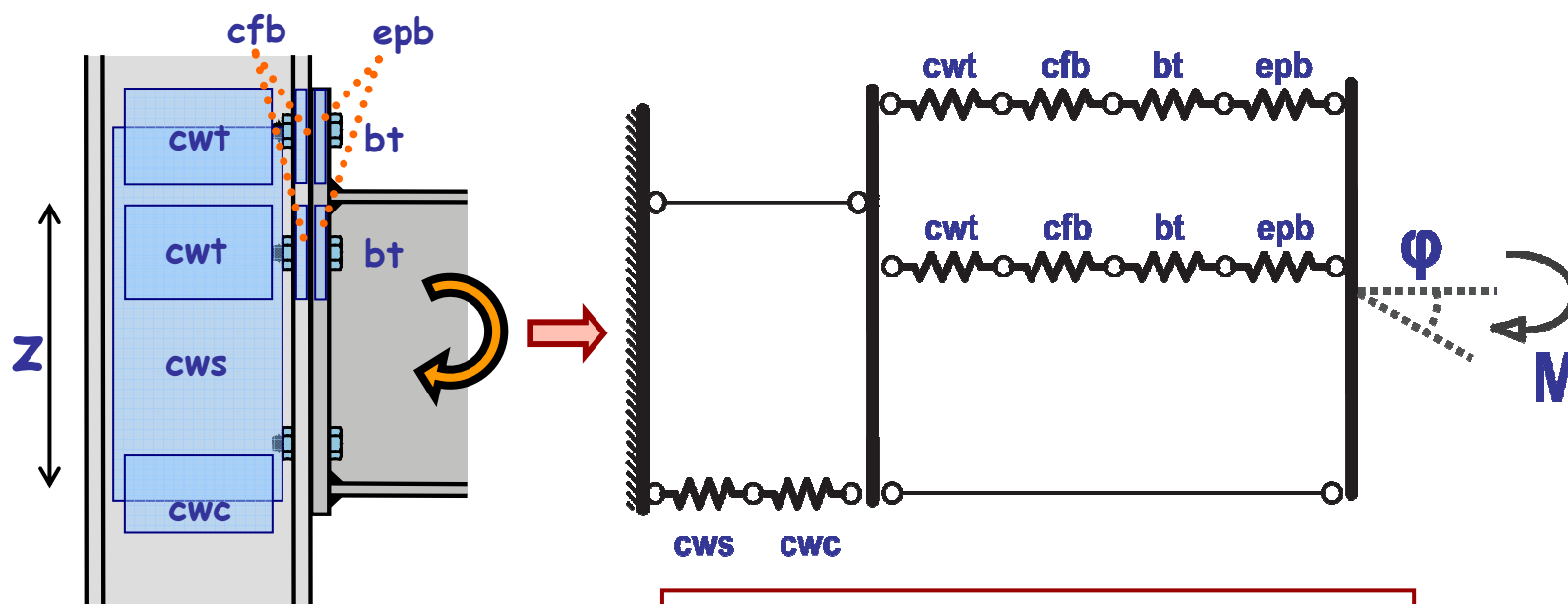
$$F_c = \sum F_{ti} = F_{t1} + F_{t2}$$



Ε.Μ.Π.

Υπολογισμός δυσκαμψίας κόμβων με μετωπική πλάκα

Μηχανικό προσοίωμα δυσκαμψίας



$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\frac{1}{k_{cws}} + \frac{1}{k_{cwc}} + \frac{1}{k_{eq}}}$$



Ε.Μ.Π.

Συστατικά μέρη κοχλιωτών κόμβων

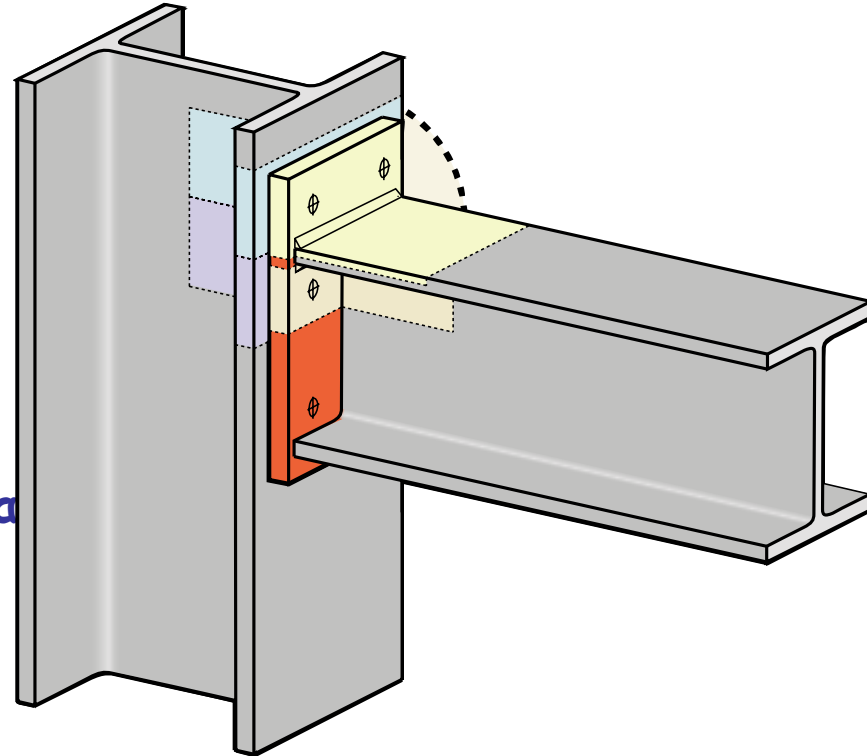
Στην εφελκυσόμενη ζώνη των κοχλιωτών κόμβων ορισμένα συστατικά μέρη έχουν τη μορφή ισοδύναμων βραχέων ται

Για κόμβους με μετωπική πλάκα

- Πέλιμα υποστυλώματος σε κάμψη
- Μετωπική πλάκα σε κάμψη

Για κόμβους με γωνιακά άνω/κάτω πέλιματος

- Πέλιμα υποστυλώματος σε κάμψη
- Γωνιακό σε κάμψη

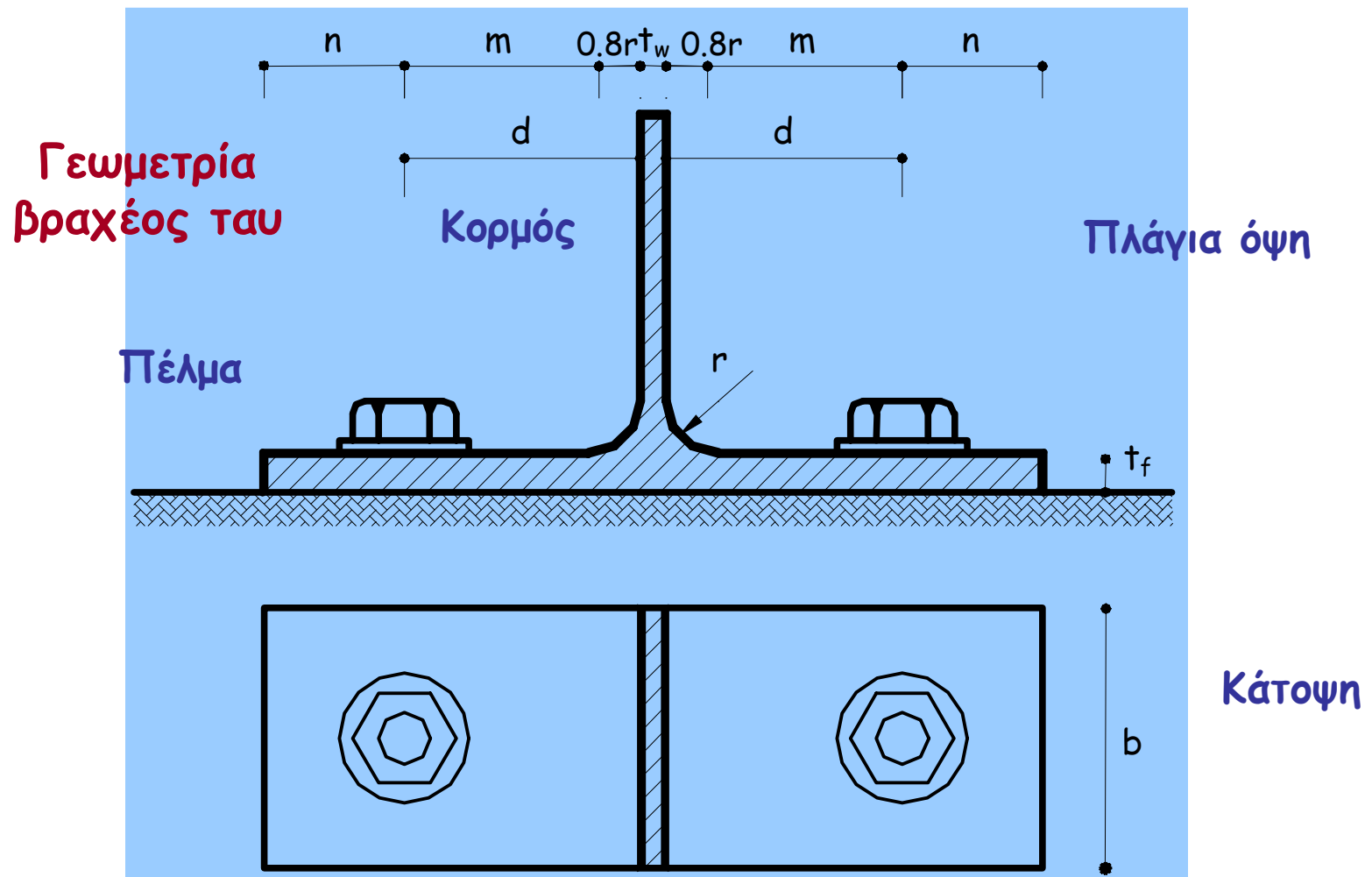




Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Βραχέα ταυ





Ε.Μ.Π.

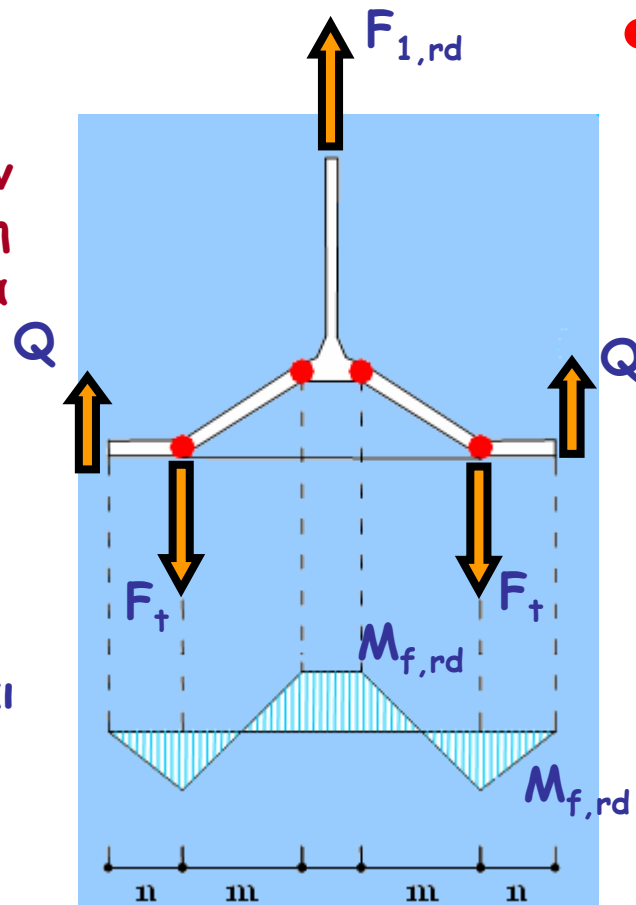
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Βραχέα ταυ

1ος Μηχανισμός αστοχίας

Διάγραμμα ελευθέρου σώματος και διάγραμμα ροπών κάμψης πέλματος βραχέος ταυ στην οριακή κατάσταση αντοχής σύμφωνα με τον πρώτο μηχανισμό αστοχίας

Η αντοχή του πέλματος του βραχέος ταυ είναι μικρή σε σχέση με αυτήν των κοχλιών



● Θέση πλαστικής άρθρωσης

$$F_{1,rd} = \frac{4M_{f,rd}}{m}$$

$$M_{f,rd} = \frac{bt_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$



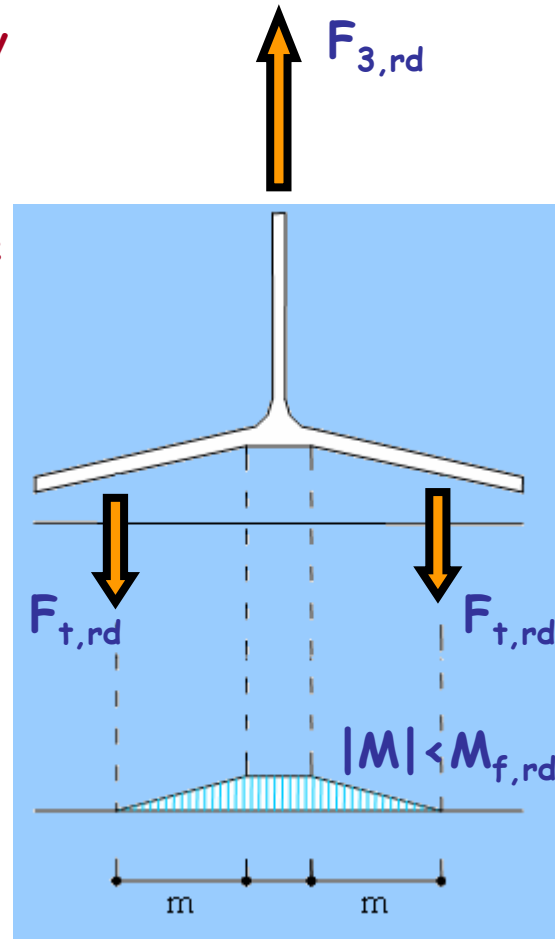
Ε.Μ.Π.

Βραχέα ταυ

3ος Μηχανισμός αστοχίας

Διάγραμμα ελευθέρου σώματος και διάγραμμα ροπών κάμψης πέλματος βραχέος ταυ στην οριακή κατάσταση αντοχής σύμφωνα με τον τρίτο μηχανισμό αστοχίας

Το πέλμα είναι πολύ ισχυρό σε σχέση με τους κοχλίες



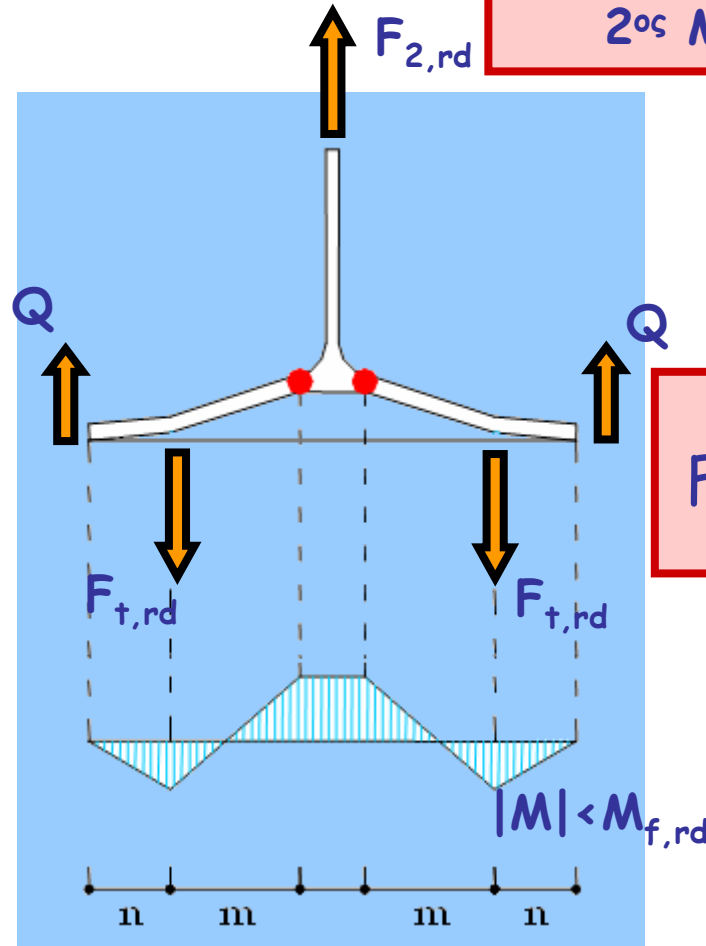
$$F_{3,rd} = 2F_{t,rd}$$

$$F_{t,rd} = \frac{0,90f_{ub}A_s}{\gamma_{M2}}$$



Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα ελεύθερου σώματος και διάγραμμα ροπών κάμψης πέλματος βραχέος ταυ στην οριακή κατάσταση αντοχής σύμφωνα με το δεύτερο μηχανισμό αστοχίας



2ος Μηχανισμός αστοχίας

● Θέση πλαστικής άρθρωσης

$$F_{2,rd} = \frac{2M_{f,rd} + 2F_{t,rd}n}{m + n}$$

$$M_{f,rd} = \frac{bt_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{t,rd} = \frac{0,90f_{ub}A_s}{\gamma_{M2}}$$



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Βραχέα ταυ

2008

Από τους τρεις μηχανισμούς αστοχίας
θα εμφανιστεί εκείνος που έχει το μικρότερο F_{Rd}
και επομένως η αξονική αντοχή του βραχέος ταυ είναι:

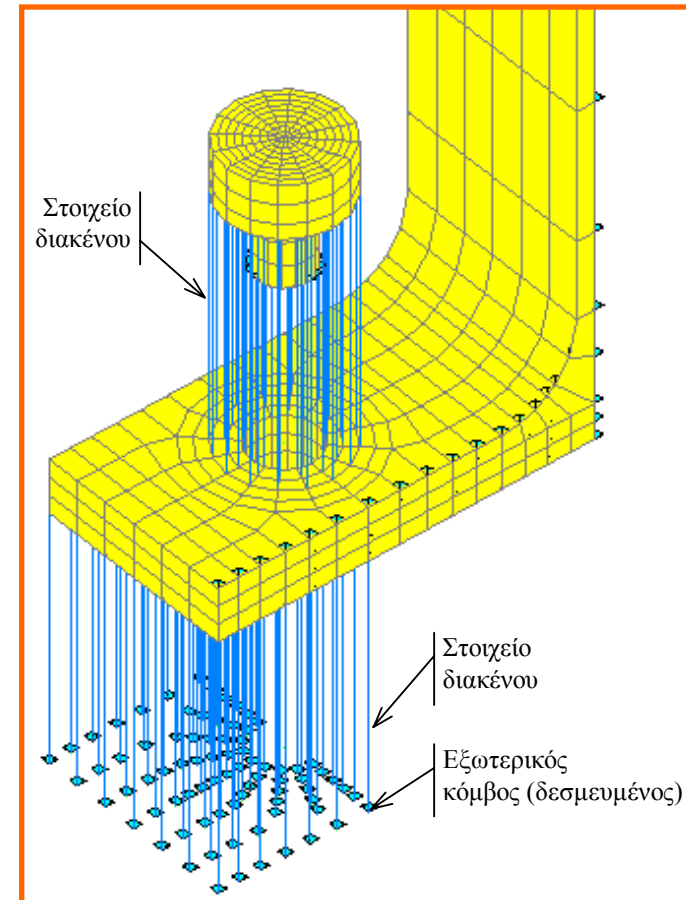
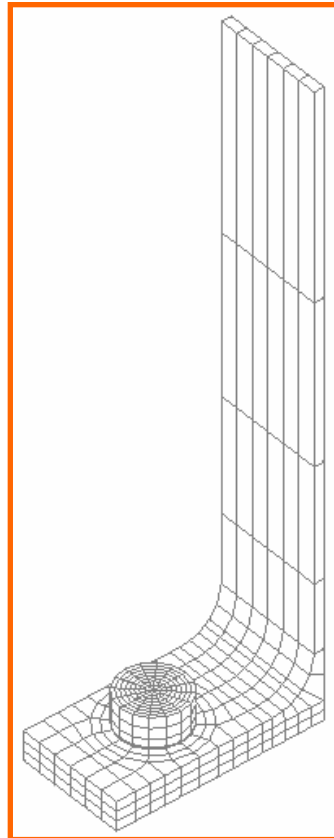
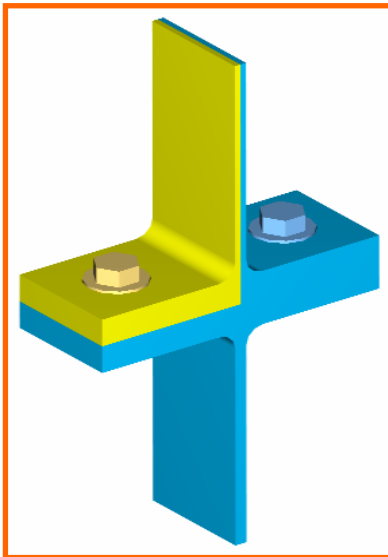
$$F_{Rd} = \min \{ F_{1,Rd}, F_{2,Rd}, F_{3,Rd} \}$$



Ε.Μ.Π.

Βραχέα ταυ

Αριθμητική προσομοίωση





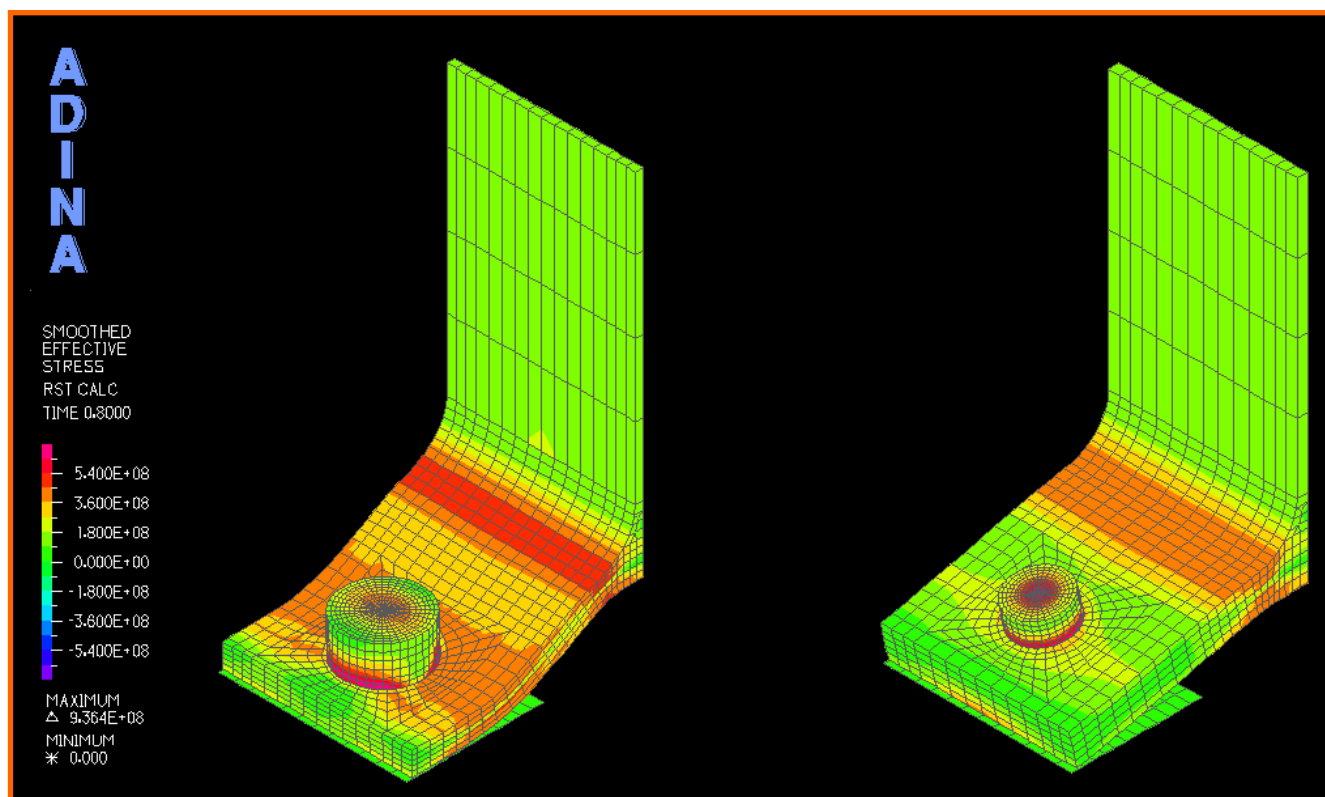
Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Βραχέα ταυ

Παραμόρφωση και ισοδύναμη τάση για δύο διαφορετικά βραχέα ταυ:

α) 1^{ος} μηχανισμός αστοχίας β) 2^{ος} μηχανισμός αστοχίας



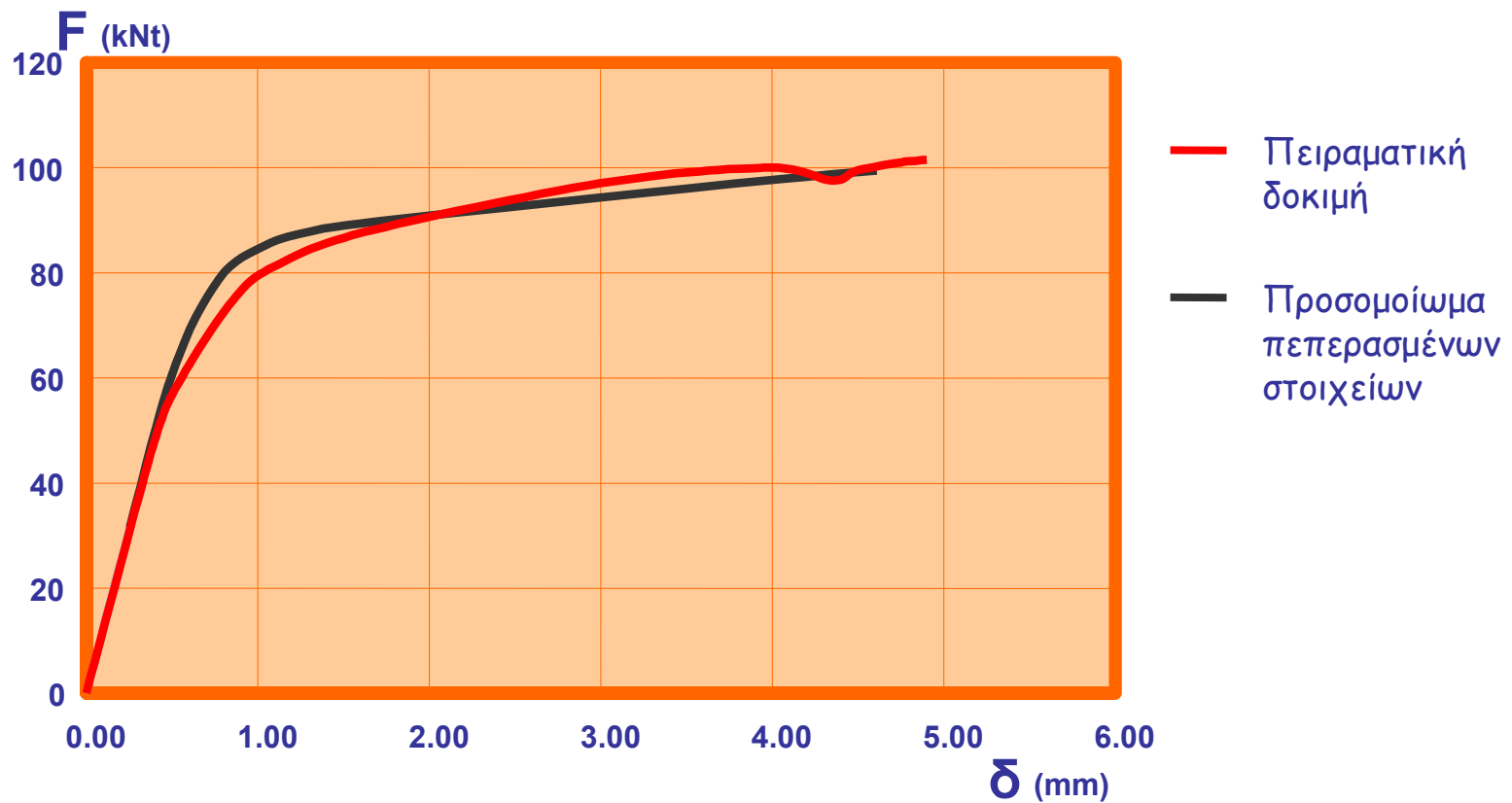


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Βραχέα ταυ

Καμπύλη δύναμης-μετακίνησης βραχέος ταυ





Ε.Μ.Π.

Μέθοδος συστατικών μερών

Πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας πέλματος υποστυλώματος και μετωπικής πλάκας κόμβων με πολλαπλά επίπεδα κοχλίωσης με βάση τη θεωρία γραμμών διαρροής

