



# Ευρωκώδικας EN 1993

## Σχεδιασμός Μεταλλικών Κατασκευών

Χάρης Ι. Γαντές  
Αναπληρωτής Καθηγητής  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχεδιασμός Κατασκευών με Ευρωκώδικες  
Εφαρμογές - Εθνικά Προσαρτήματα

Κέρκυρα  
Ιούνιος 2009

## Περιεχόμενα παρουσίασης

- Μέρη Ευρωκώδικα 3
- Βασικές έννοιες
- Στοιχεία μέρους 1-1
- Στοιχεία μέρους 1-8



## Μέρη Ευρωκώδικα 3

### Μέρος 1

EN 1993-1-1  
EN 1993-1-2  
EN 1993-1-3  
EN 1993-1-4  
EN 1993-1-5  
EN 1993-1-6  
EN 1993-1-7

### Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια

Γενικές αρχές  
Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς  
Λεπτότοιχα μέλη ψυχρής έλασης  
Ανοξειδωτος χάλυβας  
Κύρτωση πλακών  
Κελύφη  
Πλάκες φορτιζόμενες εκτός επιπέδου



## Μέρη Ευρωκώδικα 3

EN 1993-1-8      Συνδέσεις  
EN 1993-1-9      Κόπωση  
EN 1993-1-10     Αντοχή σε ψαθυρή θραύση  
EN 1993-1-11     Καλώδια

### Μέρος 2      Γέφυρες από χάλυβα

EN 1993-2      Γέφυρες



## Μέρη Ευρωκώδικα 3

### Μέρος 3

EN 1993-3-1  
EN 1993-3-2

### Πύργοι, ιστοί και καπνοδόχοι

Πύργοι - Ιστοί  
Καπνοδόχοι

### Μέρος 4

EN 1993-4-1  
EN 1993-4-2  
EN 1993-4-3

### Σιλό, δεξαμενές και αγωγοί

Σιλό  
Δεξαμενές  
Αγωγοί



## Μέρη Ευρωκώδικα 3

### Μέρος 5

EN 1993-5

### Πάσσαλοι

Πάσσαλοι

### Μέρος 6

EN 1993-6

### Κατασκευές που στηρίζουν γερανογέφυρες

Κατασκευές που στηρίζουν γερανογέφυρες



Χάρης Γαντές  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Ε.Μ.Π.

Ευρωκώδικας EN 1993  
Σχεδιασμός Μεταλλικών Κατασκευών

6

## Βασικές έννοιες

- Μηχανική συμπεριφορά δομικού χάλυβα
- Ποιότητες δομικού χάλυβα
- Σύγκριση χάλυβα με άλλα δομικά υλικά
- Ευπάθεια σε λυγισμό - Μορφές λυγισμού
- Έλεγχοι
- Κατάταξη διατομών
- Μέθοδοι στατικής ανάλυσης



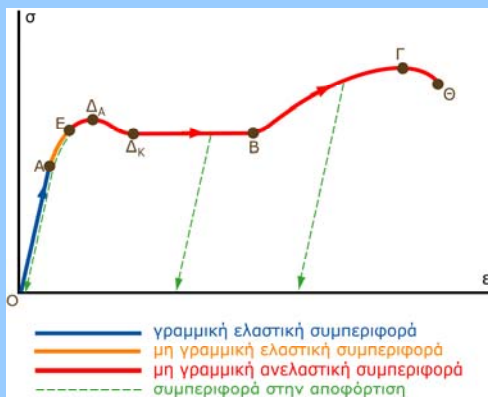
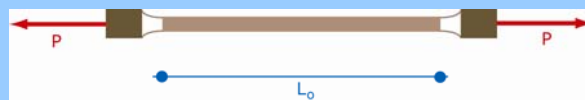
Χάρης Γαντές  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Ε.Μ.Π.

Ευρωκώδικας EN 1993  
Σχεδιασμός Μεταλλικών Κατασκευών

7

## Μηχανική συμπεριφορά δομικού χάλυβα

### Δοκιμή εφελκυσμού



Διάγραμμα  
τάσεων - ανηγμένων  
παραμορφώσεων  
(εκτός κλίμακας)

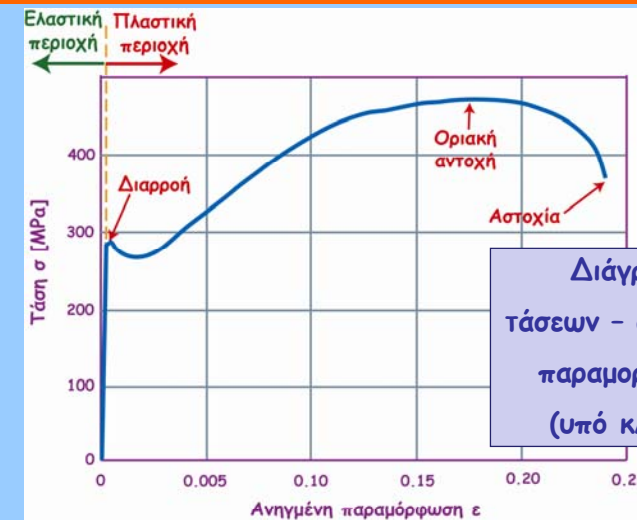


Χάρης Γαντές  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Ε.Μ.Π.

Ευρωκώδικας EN 1993  
Σχεδιασμός Μεταλλικών Κατασκευών

8

## Μηχανική συμπεριφορά δομικού χάλυβα



Διάγραμμα  
τάσεων - ανηγμένων  
παραμορφώσεων  
(υπό κλίμακα)

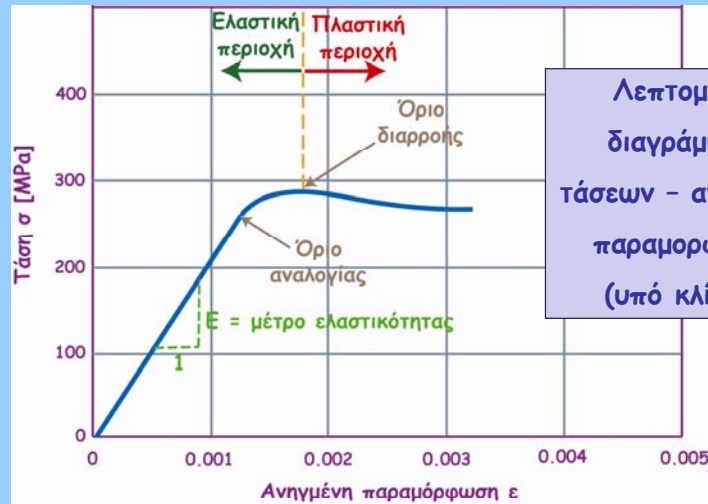


Χάρης Γαντές  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Ε.Μ.Π.

Ευρωκώδικας EN 1993  
Σχεδιασμός Μεταλλικών Κατασκευών

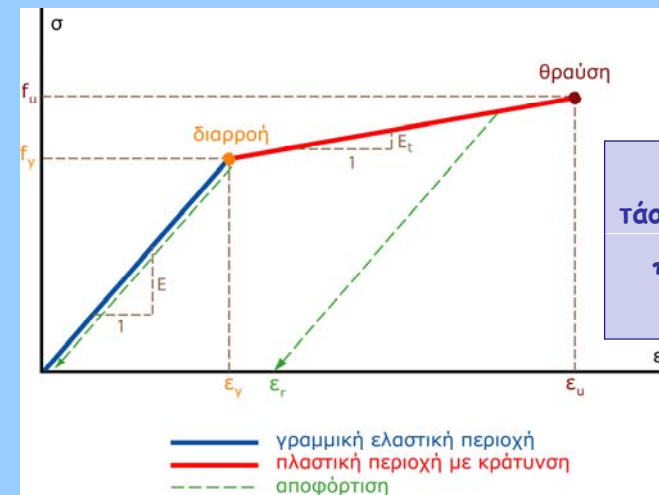
9

## Μηχανική συμπεριφορά δομικού χάλυβα



Λεπτομέρεια  
διαγράμματος  
τάσεων - ανηγμένων  
παραμορφώσεων  
(υπό κλίμακα)

## Μηχανική συμπεριφορά δομικού χάλυβα



Διάγραμμα  
τάσεων - ανηγμένων  
παραμορφώσεων  
(εξιδανίκευση)

## Απαιτήσεις ολκιμότητας δομικού χάλυβα

- $f_u / f_y \geq 1,15$
- επιμήκυνση στην αστοχία  $\epsilon_u$  όχι μικρότερη από 15% για δοκίμιο μήκους  $5,65 \sqrt{A_0}$  (όπου  $A_0$  είναι η αρχική επιφάνεια της διατομής)
- $\epsilon_u \geq 15\epsilon_y$ , όπου  $\epsilon_y$  είναι η παραμόρφωση διαρροής ( $\epsilon_y = f_y/E$ )

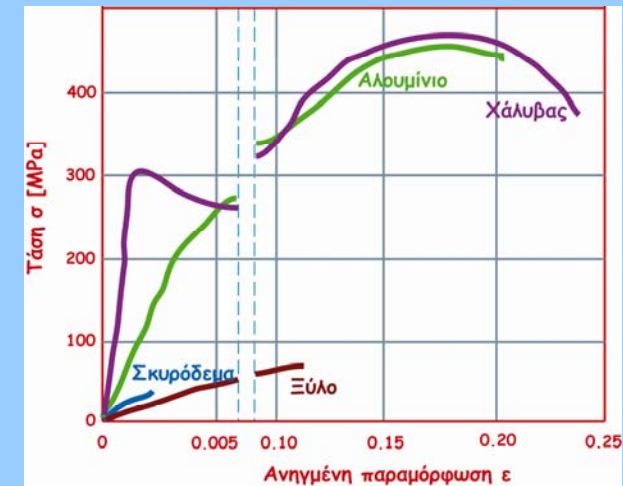
## Τιμές σχεδιασμού συντελεστών του υλικού

- Μέτρο ελαστικότητας  $E=210000\text{MPa}$
- Μέτρο διάτμησης  $G=E/[2(1+\nu)]=81000\text{MPa}$
- Λόγος Poisson  $\nu=0,3$
- Συντ. θερμικής διαστολής  $\alpha=12 \times 10^{-6}$  (για  $T < 1000^\circ\text{C}$ )

## Ποιότητες δομικού χάλυβα

	E [MPa]	$f_y$ [MPa]	$f_u$ [MPa]	$\epsilon_u$ [%]
S235	210000	235	360	25
S275		275	430	23,5
S355		355	510	22
S420		420	520	
S460		460	540	

## Σύγκριση χάλυβα με άλλα δομικά υλικά



## Ευπάθεια σε λυγισμό

Λόγω σημαντικά μεγαλύτερης αντοχής και δυσκαμψίας του χάλυβα, οι απαιτούμενες διατομές είναι αρκετά μικρότερες, με αποτέλεσμα την αύξηση της λυγηρότητας και την μεγαλύτερη ευπάθεια σε λυγισμό

	$f_y/\gamma$ [m]	E/ $\gamma$ [m]
Χάλυβας S235	3000	2675000
Σκυρόδεμα C20/25	800 (θλ) 88 (εφ)	1160000

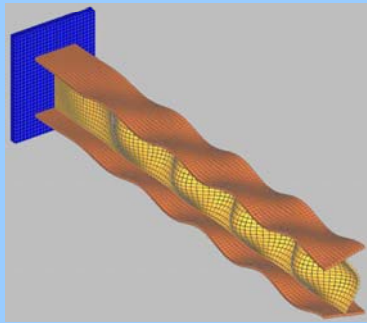
Αντοχή και δυσκαμψία ως προς το βάρος

## Κύριες μορφές λυγισμού

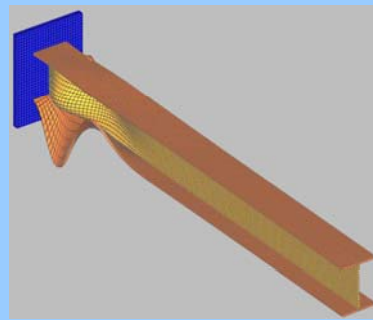
- Τοπικός λυγισμός
- Καμπτικός λυγισμός
- Πλευρικός (στρεπτοκαμπτικός) λυγισμός

## Τοπικός λυγισμός

Σε θλιβόμενα μέλη

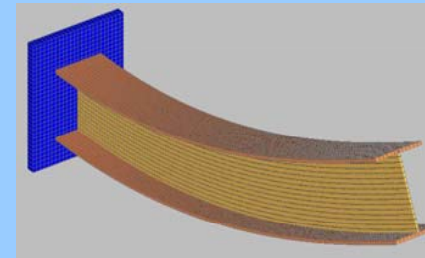


Σε καμπτόμενα μέλη

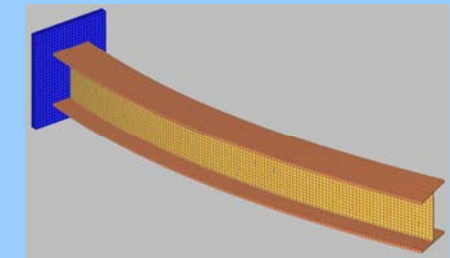


## Καμπτικός λυγισμός

Σε θλιβόμενα μέλη



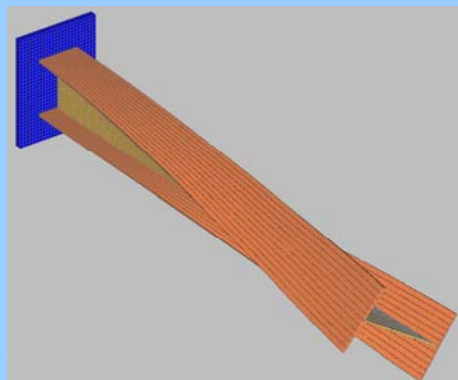
Λυγισμός περί τον ισχυρό άξονα  
(μέλη με πλευρικές εξασφαλίσεις)



Λυγισμός περί τον ασθενή άξονα  
(μέλη χωρίς πλευρικές εξασφαλίσεις)

## Πλευρικός λυγισμός

Σε καμπτόμενα μέλη χωρίς πλευρικές εξασφαλίσεις



## Έλεγχοι

**Σε οριακή κατάσταση αστοχίας**

$$F_{Ed} \leq F_{Rd}$$

Με εντατικά μεγέθη  $F_{Ed}$  από φορτία σχεδιασμού  $E_d = \sum \gamma_{Fi} E_{ki}$

Με αντοχές βάσει αντοχών σχεδιασμού του υλικού  $R_d = R_k / \gamma_M$

**Σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας**

$$\delta_{max} \leq \delta_{all}$$

Με μετατοπίσεις  $\delta_{max}$  από φορτία λειτουργίας  $q = \sum q_{ki}$

## Έλεγχοι σε οριακή κατάσταση αστοχίας

### Σε επίπεδο διατομής

Εφελκυσμός

Διάτμηση

Κάμψη πλευρικά εξασφαλισμένων μελών

Συνδυασμοί των παραπάνω

### Σε επίπεδο μέλους

Θλίψη





Κάμψη πλευρικά μη εξασφαλισμένων μελών

Συνδυασμοί των παραπάνω

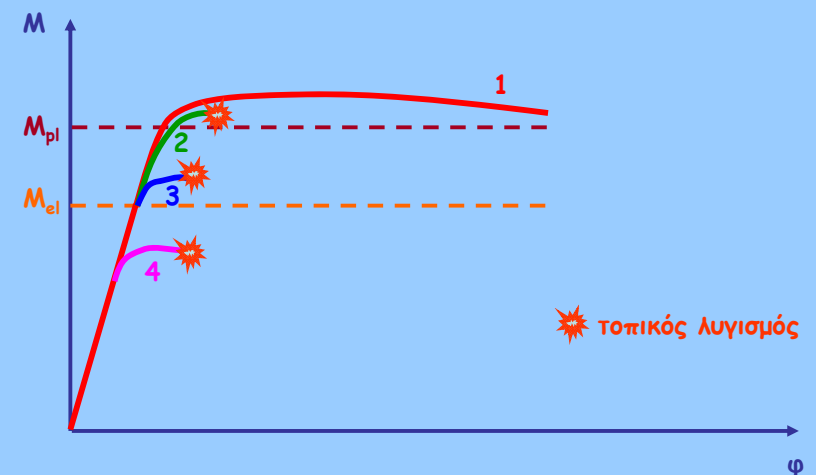
## Κατάταξη διατομών κατά ΕΚ3

- Ο ρόλος της κατάταξης των διατομών είναι να περιγράψει τον βαθμό κατά τον οποίο η αντοχή και η ικανότητα στροφής των διατομών περιορίζεται από την αντοχή τους σε τοπικό λυγισμό
- Η κατάταξη μιας διατομής εξαρτάται από τη σχέση πλάτους προς πάχος των τμημάτων της που υπόκεινται σε θλίψη, δηλαδή από την τοπική τους λυγηρότητα
- Τα θλιβόμενα τμήματα περιλαμβάνουν κάθε τμήμα μιας διατομής το οποίο θλίβεται εξ ολοκλήρου ή εν μέρει για τον υπό θεώρηση συνδυασμό φορτίων
- Τα διάφορα θλιβόμενα τμήματα σε μια διατομή (όπως ο κορμός ή το πέλαμα) μπορούν, γενικά, να ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες
- Μια διατομή κατατάσσεται σύμφωνα με την υψηλότερη κατηγορία (λιγότερο ευμενή) των θλιβόμενων τμημάτων της

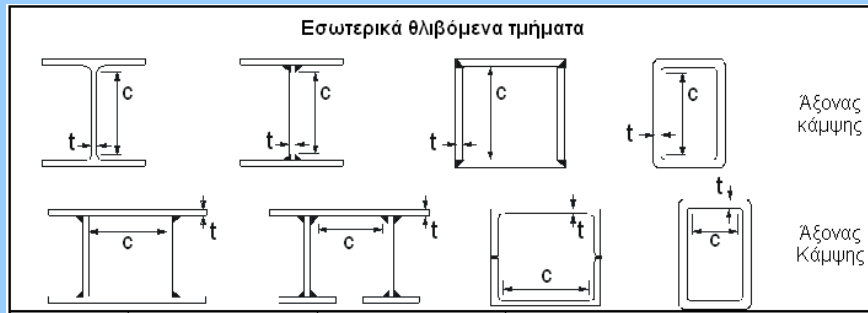
## Κατάταξη διατομών κατά ΕΚ3

Κατηγορία διατομής	Μορφή	Περιγραφή
1		Μπορούν να σχηματίσουν πλαστική άρθρωση με την απαιτούμενη από την πλαστική ανάλυση δυνατότητα στροφής χωρίς μείωση της αντοχής τους
2		Μπορούν να αναπτύξουν την πλαστική ροπή αντοχής τους, αλλά έχουν περιορισμένη δυνατότητα στροφής λόγω τοπικού λυγισμού
3		Η τάση στην ακραία θλιβόμενη ίνα του χαλύβδινου μέλους μπορεί να φθάσει την αντοχή διαρροής, αλλά συμβαίνει τοπικός λυγισμός πριν την ανάπτυξη της πλαστικής ροπής αντοχής
4		Συμβαίνει τοπικός λυγισμός πριν την ανάπτυξη της τάσης διαρροής

## Κατάταξη διατομών κατά ΕΚ3



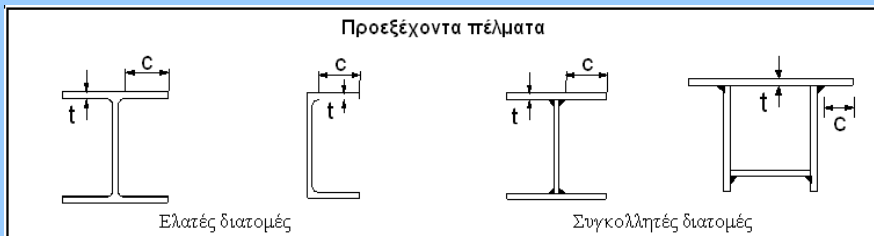
## Κατάταξη διατομών κατά ΕΚ3



## Κατάταξη διατομών κατά ΕΚ3

Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη			
				Άκρο σε θλίψη	Άκρο σε εφελκυσμό	
1				όταν $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$		
				όταν $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$		
2				όταν $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$		
				όταν $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$		
3				όταν $\psi > -1$ : $c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$		
				όταν $\psi \leq -1$ : $c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{1 - \psi}$		
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

## Κατάταξη διατομών κατά ΕΚ3



## Κατάταξη διατομών κατά ΕΚ3

Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη					
		Άκρο σε θλίψη	Άκρο σε εφελκυσμό				
1				$c/t \leq 9\epsilon$			
				$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$			
2				$c/t \leq 10\epsilon$			
				$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$			
3				Για $k_{\phi}$ βλέπε EN 1993-1-5			
				$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275
		$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71



## Προσομοίωμα στατικής ανάλυσης

Το υπολογιστικό προσομοίωμα και οι βασικές παραδοχές για τους υπολογισμούς πρέπει να αντανakλούν τη συμπεριφορά του φορέα στην αντίστοιχη οριακή κατάσταση με ικανοποιητική ακρίβεια και να αντανakλούν τον αναμενόμενο τύπο συμπεριφοράς των διατομών, μελών, κόμβων και εδράσεων.

## Μέθοδοι στατικής ανάλυσης

Τα εντατικά μεγέθη μπορούν γενικά να υπολογισθούν χρησιμοποιώντας είτε:

**ανάλυση πρώτης τάξης**, χρησιμοποιώντας την αρχική γεωμετρία του φορέα, ή

**ανάλυση δεύτερης τάξης**, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της παραμόρφωσης του φορέα.

Επίσης, τα εντατικά μεγέθη μπορούν να υπολογίζονται χρησιμοποιώντας είτε:

**ελαστική στατική ανάλυση**, θεωρώντας ότι το υλικό παραμένει ελαστικό σε όλες τις θέσεις, ή

**πλαστική στατική ανάλυση**, θεωρώντας ότι το υλικό επιτρέπεται να διαρρεύσει σε κάποιες θέσεις.

## Μέθοδοι στατικής ανάλυσης

**Ανάλυση πρώτης τάξης** μπορεί να χρησιμοποιείται, εάν ικανοποιούνται τα παρακάτω κριτήρια:

$$a_{cr} = F_{cr}/F_{Ed} \geq \begin{matrix} 10 & \text{για ελαστική ανάλυση} \\ 15 & \text{για πλαστική ανάλυση} \end{matrix}$$

$a_{cr}$  είναι ο παράγοντας με τον οποίο θα πρέπει να αυξηθεί η φόρτιση σχεδιασμού ώστε να προκληθεί καθολική ελαστική αστάθεια

$F_{Ed}$  είναι το φορτίο σχεδιασμού του φορέα

$F_{cr}$  είναι το ελαστικό οριακό φορτίο λυγισμού για καθολική αστάθεια που βασίζεται στις αρχικές ελαστικές δυσκαμψίες

## Μέθοδοι στατικής ανάλυσης

Μονώροφα πλαίσια με μικρές κλίσεις οροφής και επίπεδα πλαίσια τύπου δοκού-υποστυλώματος σε κτίρια, μπορούν να ελέγχονται για αστοχία σε πλευρική μετατόπιση με ανάλυση πρώτης τάξης εάν ικανοποιείται το προηγούμενο κριτήριο για κάθε όροφο.

Σε αυτές τις κατασκευές το  $a_{cr}$  μπορεί να υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο, υπό την προϋπόθεση ότι η αξονική θλίψη στις δοκούς ή τα ζυγώματα δεν είναι σημαντική:

$$a_{cr} = \left( \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \cdot \left( \frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right)$$

$H_{Ed}$  η οριζόντια αντίδραση στη βάση του ορόφου

$V_{Ed}$  το ολικό κατακόρυφο φορτίο στη βάση του ορόφου

$\delta_{H,Ed}$  η σχετική οριζόντια μετατόπιση του ορόφου

$H$  το ύψος του ορόφου

## Μέθοδοι στατικής ανάλυσης

Η αξονική θλίψη στις δοκούς ή τα ζυγώματα μπορεί να θεωρείται σημαντική εάν

$$\bar{\lambda} \geq 0,3 \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}}$$

$N_{Ed}$  η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης,

$\bar{\lambda}$  η εντός επιπέδου ανηγμένη λυγρότητα υπολογισμένη για τη δοκό ή το ζύγωμα με θεώρηση αρθρώσεων στα άκρα τους.



## Μέθοδοι στατικής ανάλυσης

Για μονώροφα πλαίσια που έχουν σχεδιαστεί με βάση ελαστική στατική ανάλυση, οι επιρροές δεύτερης τάξης λόγω μετάθεσης που οφείλονται σε κατακόρυφα φορτία μπορούν να υπολογίζονται αυξάνοντας τα οριζόντια φορτία  $H_{ed}$  με το συντελεστή:

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}}$$

υπό την προϋπόθεση ότι  $\alpha_{cr} \geq 3$



## Μέθοδοι στατικής ανάλυσης

**Ελαστική στατική ανάλυση** μπορεί να χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις.

**Πλαστική στατική ανάλυση** μπορεί να χρησιμοποιείται μόνο όπου η κατασκευή έχει ικανοποιητική δυνατότητα στροφής στις πραγματικές θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων.



## Στοιχεία μέρους 1-1

Έλεγχος διατομής υπό κάμψη

Έλεγχος μέλους υπό θλίψη



## Έλεγχος διατομής υπό κάμψη

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1 ή 2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 3}$$

$$M_{c,Rd} = M_{eff,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

$M_{pl,Rd}$  πλαστική ροπή αντοχής

$M_{el,Rd}$  ελαστική ροπή αντοχής

$M_{eff,Rd}$  ελαστική ροπή αντοχής απομειωμένης διατομής

## Έλεγχος μέλους υπό θλίψη

Ένα θλιβόμενο μέλος πρέπει να ελέγχεται έναντι λυγισμού ως εξής:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

όπου  $N_{Ed}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης

$N_{b,Rd}$  είναι η αντοχή του θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

όπου  $\chi$  ο μειωτικός συντελεστής για την αντίστοιχη μορφή λυγισμού

$A$  το εμβαδόν της διατομής

$f_y$  το όριο διαρροής του υλικού

$\gamma_{M1} = 1,00$

## Έλεγχος μέλους υπό θλίψη κατά ΕΚ3

Ο μειωτικός συντελεστής  $\chi$  καθορίζεται από την αντίστοιχη καμπύλη λυγισμού συναρτήσει της ανηγμένης λυγηρότητας σύμφωνα με τη σχέση

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1$$

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad : \text{ ανηγμένη λυγηρότητα}$$

$\alpha$  είναι ένας συντελεστής ατελειών

$N_{cr}$  είναι το ελαστικό κρίσιμο φορτίο για την αντίστοιχη μορφή λυγισμού βασισμένο στις ιδιότητες της πλήρους διατομής

## Καμπτικός λυγισμός μέλους υπό θλίψη

Ανηγμένη λυγηρότητα  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1}$

όπου  $L_{cr}$  είναι το μήκος λυγισμού στο υπό θεώρηση επίπεδο λυγισμού  
 $i$  είναι η ακτίνα αδρανείας περί τον αντίστοιχο άξονα

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

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ σε N/mm}^2)$$

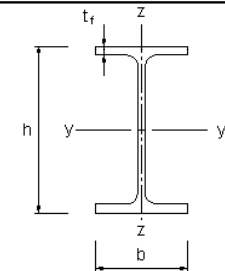
## Έλεγχος μέλους υπό θλίψη κατά ΕΚ3

Τιμές συντελεστή ατελειών  $\alpha$

Καμπύλη λυγισμού	$\alpha_0$	$\alpha$	$b$	$c$	$d$
Συντελεστής ατελειών $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

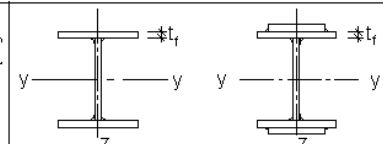
## Έλεγχος μέλους υπό θλίψη κατά ΕΚ3

Επιλογή καμπύλης λυγισμού

Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη λυγισμού	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y	a
			z - z	$a_0$
	$h/b \leq 1,2$	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y - y	b
			z - z	a
$h/b > 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y - y	b	
		z - z	a	
$h/b \leq 1,2$	$t_f > 100 \text{ mm}$	y - y	d	
		z - z	c	


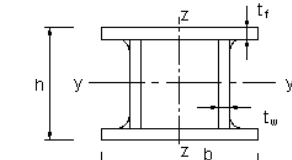
## Έλεγχος μέλους υπό θλίψη κατά ΕΚ3

Επιλογή καμπύλης λυγισμού

Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη λυγισμού	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y	b	
		z - z	c	
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y - y	c	
		z - z	d	

## Έλεγχος μέλους υπό θλίψη κατά ΕΚ3

Επιλογή καμπύλης λυγισμού

Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη λυγισμού	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
	Εν θερμό έλαση	Κάθε	a	
	Ψυχρή έλαση	Κάθε	c	
	Γενικά (εκτός των κατωτέρω)	Κάθε	b	
	Μεγάλα πάχη ραφής: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Κάθε	c	

# Έλεγχος μέλους υπό θλίψη κατά ΕΚ3

## Επιλογή καμπύλης λυγισμού

Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη λυγισμού	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
U-, I- και συμπαγείς διατομές		Κάθε	c	c
L-διατομές		Κάθε	b	b

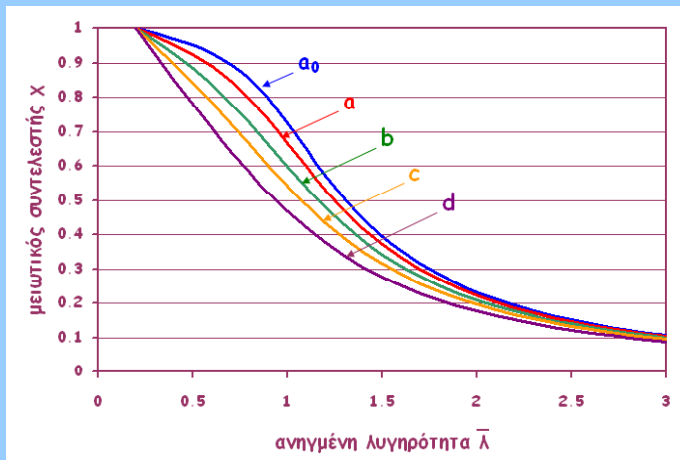
# Έλεγχος μέλους υπό θλίψη κατά ΕΚ3

## Καμπύλες λυγισμού

	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
0,0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,3	0,9859	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,4	0,9701	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,5	0,9513	0,9243	0,8842	0,8430	0,7793
0,6	0,9276	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,7	0,8961	0,8477	0,7837	0,7247	0,6431
0,8	0,8533	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,9	0,7961	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1,0	0,7253	0,6656	0,5970	0,5399	0,4671
1,1	0,6482	0,5960	0,5352	0,4842	0,4189
1,2	0,5732	0,5300	0,4781	0,4338	0,3762
1,3	0,5053	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,4	0,4461	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,5	0,3953	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766

# Έλεγχος μέλους υπό θλίψη κατά ΕΚ3

## Καμπύλες λυγισμού



# Έλεγχος μέλους υπό θλίψη

## Βήματα ελέγχου

- Υπολογισμός συντελεστών ισοδύναμου μήκους λυγισμού  $\beta_y, \beta_z$  κατά τους άξονες  $y$  και  $z$ , αντίστοιχα
- Υπολογισμός ισοδύναμων μηκών λυγισμού  $L_{cr,y} = \beta_y \cdot L, L_{cr,z} = \beta_z \cdot L$  κατά τους άξονες  $y$  και  $z$ , αντίστοιχα
- Υπολογισμός λυγηροτήτων  $\lambda_y = L_{cr,y}/i_y, \lambda_z = L_{cr,z}/i_z$  και ανηγμένων λυγηροτήτων  $\bar{\lambda}_y = \lambda_y/\lambda_1$  και  $\bar{\lambda}_z = \lambda_z/\lambda_1$  κατά τους άξονες  $y$  και  $z$ , αντίστοιχα
- Επιλογή καμπυλών λυγισμού κατά τους άξονες  $y$  και  $z$ , αντίστοιχα
- Υπολογισμός συντελεστών λυγισμού  $\chi_y, \chi_z$  κατά τους άξονες  $y$  και  $z$ , αντίστοιχα
- $\chi = \min\{\chi_y, \chi_z\}$

$$7. N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

## Στοιχεία μέρους 1-8: Συνδέσεις

### Ρόλος συνδέσεων στις μεταλλικές κατασκευές

- Σύνδεση μελών κατασκευής μεταξύ τους
- Ασφαλής μεταφορά εντατικών μεγεθών από μέλος σε μέλος και τελικά στο έδαφος

#### Απαιτήσεις:

- Ασφάλεια
- Κατασκευασιμότητα
- Συνέπεια με υπολογιστικό προσομοίωμα

## Τύποι συνδέσεων στις μεταλλικές κατασκευές

### Κοχλιώσεις



κυρίως εργοταξιακή σύνδεση



### Συγκολλήσεις



κυρίως εργοστασιακή σύνδεση



## Κοχλιώσεις: Ανοχές

$$d_0 = d + a$$

όπου:

$d_0$  διάμετρος οπής

$d$  διάμετρος κοχλία

$a$  ανοχή

#### Κανονικές οπές

$a = 1 \text{ mm}$  για κοχλίες M12

$a = 2 \text{ mm}$  για κοχλίες M16 έως M24

$a = 3 \text{ mm}$  για κοχλίες  $\geq \text{M27}$

## Κοχλιώσεις: Διάμετροι

•Μετρικοί κοχλίες (στον ευρωπαϊκό χώρο)

•Κατηγορίες:

M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Ο αριθμός στην ονομασία αντιστοιχεί στη διάμετρο κορμού

π.χ. M20 σημαίνει 20mm διάμετρος κορμού

## Κοχλιώσεις: Ποιότητες υλικού

Στον Ευρωκώδικα 3 προδιαγράφονται 5 κατηγορίες υλικών για κοχλίες:

	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$f_y$ [MPa]	240	300	480	640	900
$f_u$ [MPa]	400	500	600	800	1000

$4.6 \quad f_u = 400 \text{ MPa}$   
 $4.6 \quad f_y = 0,6 \times 400 \text{ MPa} = 240 \text{ MPa}$

Υψηλής αντοχής

## Κοχλιώσεις: Ποιότητες υλικού

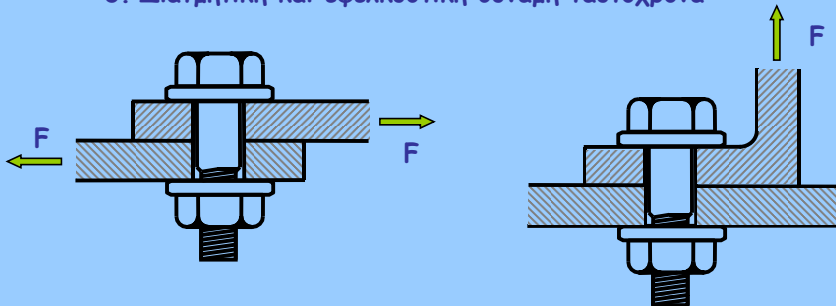
Γενική αρχή:

Ποιότητα του χάλυβα κοχλιών καλύτερη από την ποιότητα του χάλυβα των συνδεόμενων ελασμάτων

## Κοχλιώσεις: Είδη έντασης

Μια κοχλίωση σχεδιάζεται προκειμένου να παραλάβει:

1. Διατμητική δύναμη - κάθετη στον άξονα του κορμού
2. Εφελκυστική δύναμη - παράλληλη στον άξονα του κορμού
3. Διατμητική και εφελκυστική δύναμη ταυτόχρονα



## Διατεμνόμενες κοχλιώσεις: Τύποι

Κατηγορία Α  
Κοχλιώσεις σύνθλιψης άντυνας

- Απλοί κοχλίες
- Η δύναμη μεταφέρεται μέσω επαφής του κορμού του κοχλίου με την άντυνα της οπής

Κατηγορία Β  
Κοχλιώσεις ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Κατηγορία C  
Κοχλιώσεις ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας

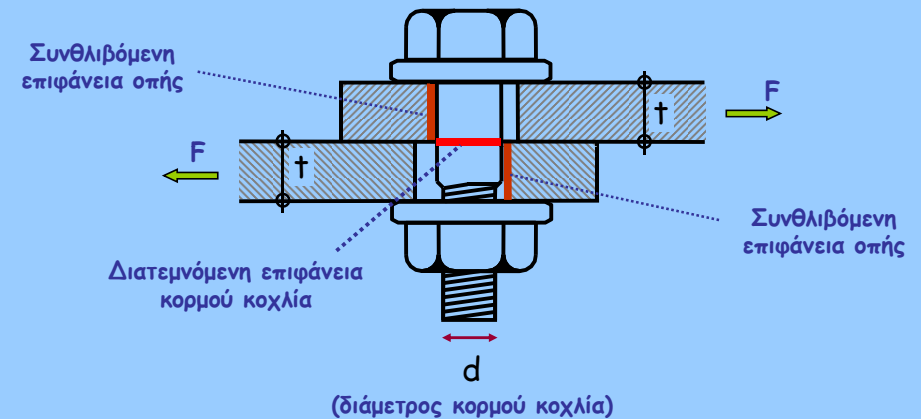
- Προεντεταμένοι κοχλίες
- Η δύναμη μεταφέρεται μέσω τριβής μεταξύ των ελασμάτων που εξασφαλίζεται λόγω προέντασης του κοχλίου
- Μόνο υλικά 8.8 και 10.9

## Διατεμνόμενες κοχλιώσεις: Έλεγχοι κατά EC3

Κατηγορία A	Κατηγορία B	Κατηγορία C
Οριακή κατάσταση αστοχίας	Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας	Οριακή κατάσταση αστοχίας
1. Διάτμηση κορμού	1. Ολίσθηση ελασμάτων	1. Ολίσθηση ελασμάτων
$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$
2. Σύνθλιψη άντυγας οπών	Οριακή κατάσταση αστοχίας	2. Σύνθλιψη άντυγας οπών
$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	2. Διάτμηση κορμού	$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$
	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	
	3. Σύνθλιψη άντυγας οπών	
	$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	

## Κοχλιώσεις κατηγορίας A: Μηχανισμός λειτουργίας

Πραγματοποιείται μικρή σχετική μετακίνηση των συνδεόμενων ελασμάτων κατά τη φορά των ασκούμενων δυνάμεων, ώστε να έρθει σε επαφή ο κορμός του κοχλία με τις άντυγες των οπών)



## Διατεμνόμενες κοχλιώσεις: Διάτμηση κορμού

Αντοχή κορμού κοχλία σε διάτμηση

$$F_{v,Rd} = n \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

$n$ : αριθμός των επιπέδων διάτμησης

$f_{ub}$ : όριο θραύσης χάλυβα κοχλία

$A$ : διατομή του κορμού του κοχλία

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

## Διατεμνόμενες κοχλιώσεις: Σύνθλιψη άντυγας οπών

Αντοχή άντυγας οπής σε σύνθλιψη

$$F_{b,Rd} = k_1 \frac{a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$a_b, k_1$ : συντελεστές που εξαρτώνται από τη γεωμετρία της κοχλίωσης (αποστάσεις της οπής από τα όρια ή άλλες οπές) και από τα υλικά

$d$ : η διάμετρος του κοχλία

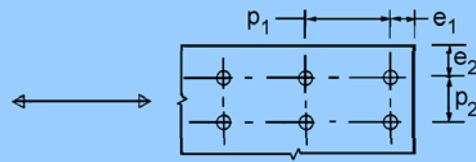
$t$ : το πάχος του λεπτότερου από τα συνδεόμενα ελάσματα

$f_u$ : το όριο θραύσης του χάλυβα του ελάσματος

$$\gamma_{M2} = 1,25$$



## Διατεμνόμενες κοχλιώσεις: Σύνθλιψη άντυγας οπών

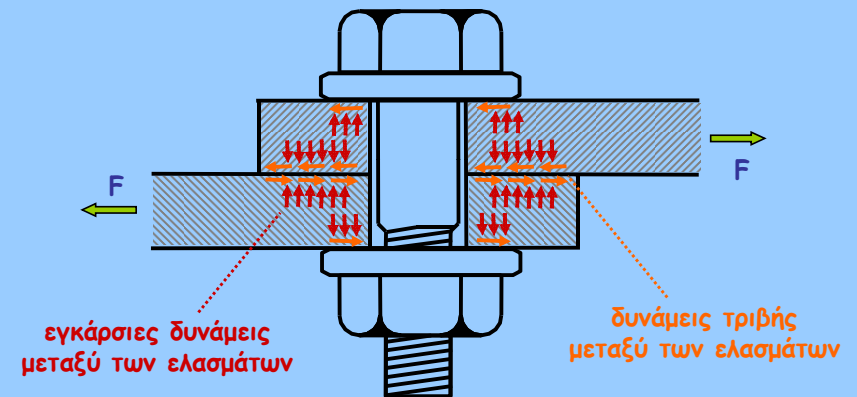


$$a_b = \min \left\{ 1, \frac{f_{ub}}{f_u}, \frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \right\} \quad \text{Όρια και αποστάσεις κατά τη φορά του φορτίου}$$

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7, \frac{1,4p_2}{d_0} - 1,7, 2,5 \right\} \quad \text{Πλευρικά όρια και αποστάσεις}$$

## Κοχλιώσεις κατηγορίας B,C: Μηχανισμός λειτουργίας

Οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις τριβής μεταξύ των ελασμάτων δεν επιτρέπουν να πραγματοποιηθεί σχετική μετακίνηση τους



## Διατεμνόμενες κοχλιώσεις: Ολίσθηση ελασμάτων

Αντοχή σε ολίσθηση

$$F_{s,Rd} = n \frac{k_s \cdot \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$$

$n$  : αριθμός των επιφανειών τριβής

$k_s$  : συντελεστής σχήματος οπής (για κανονικές οπές  $k_s=1$ , για υπερμεγέθεις ή επιμήκεις οπές  $k_s < 1$ )

$\mu$  : συντελεστής τριβής

$F_{p,C}$  : δύναμη προέντασης  $F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$

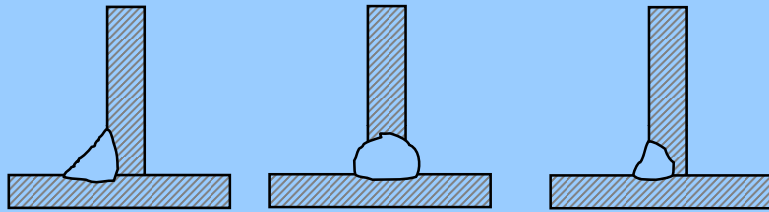
$A_s$  : ενεργός διατομή κορμού κοχλία (απομειωμένη λόγω σπειρώματος)

$$\gamma_{M3} = 1,25$$

## Συγκολλήσεις - Βασικές αρχές

- Το υλικό της συγκόλλησης πρέπει να είναι μεγαλύτερης αντοχής από το μητρικό μέταλλο (επιλογή ηλεκτροδίου)
- Ταυτόχρονη συγκόλληση και κοχλίωση για την παραλαβή του ίδιου φορτίου πρέπει να αποφεύγεται
- Όλες οι συγκολλήσεις πρέπει να γίνονται σε κλειστό χώρο με ελεγχόμενες συνθήκες (όχι στο εργοτάξιο)

## Συγκολλήσεις - Βασικές μορφές



Εξωραφή

Εσωραφή  
πλήρους διείσδυσης

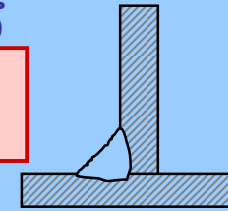
Εσωραφή  
μερικής διείσδυσης



## Εξωραφές - Υπολογισμός αντοχής

Αντοχή εξωραφής  
(διατμητική τάση)

$$f_{vw,d} = \frac{1}{\beta_w} \frac{f_u}{\gamma_{M2} \sqrt{3}}$$



Έλεγχος σε  
σύνθετη καταπόνηση

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

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

$f_u$  : όριο θραύσης του ασθενέστερου υλικού των συνδεόμενων ελασμάτων

$\beta_w$  : συντελεστής που εξαρτάται από το υλικό των ελασμάτων

	S235	S275	S355
$\beta_w$	0,80	0,85	0,90

Μια εξωραφή πάχους  $a$  και μήκους  $L_w$  μπορεί να μεταφέρει δύναμη ίση με:

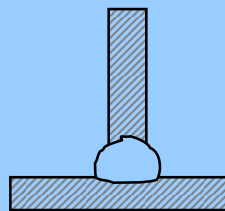
$$F_{w,rd} = f_{vw,d} \cdot a \cdot L_w$$



## Εσωραφές - Υπολογισμός αντοχής

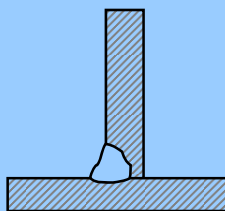
### Εσωραφές πλήρους διείσδυσης

- Επειδή αντικαθιστά πλήρως το μητρικό μέταλλο η αντοχή της λαμβάνεται ίση με εκείνη του αρχικού ελάσματος



### Εσωραφές μερικής διείσδυσης

- Ελέγχονται ως εξωραφές με χρήση του κατάλληλου πλάτους  $a$

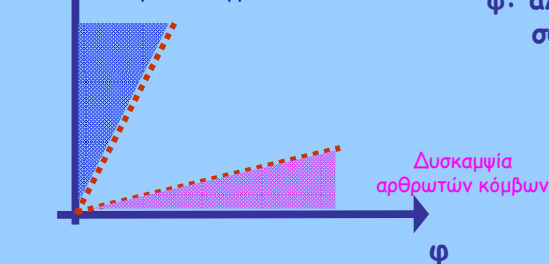


## Προσομοίωση κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Υψηλή δυσκαμψία	Χαμηλή δυσκαμψία	Ενδιάμεση δυσκαμψία
Άκαμπτοι	Αρθρωτοί	Ημι-άκαμπτοι

$M$

Δυσκαμψία  
άκαμπτων κόμβων



$\phi$ : αλλαγή γωνίας μεταξύ  
συνδεόμενων μελών

Δυσκαμψία  
αρθρωτών κόμβων

$\phi$

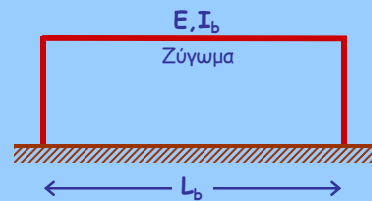


## Προσομοίωση κόμβων πλαισιακών κατασκευών

Όρια δυσκαμψίας για κατάταξη κόμβων δοκού υποστυλώματος

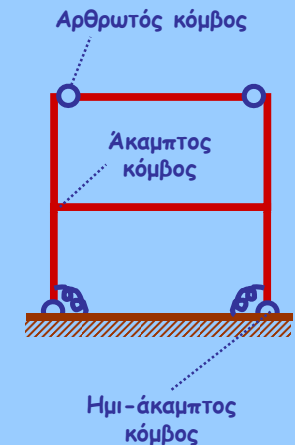
$$\text{Δυσκαμψία άκαμπτων κόμβων} \geq \begin{cases} 8EI_b/L_b & \text{Αμετάθετα πλαίσια} \\ 25EI_b/L_b & \text{Μεταθετά πλαίσια} \end{cases}$$

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



## 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



## Διαδικασία σχεδιασμού πλαισιακών κατασκευών

