

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ  
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΥΠΟΔΟΜΩΝ  
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ  
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΑΝΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (ΔΚΠ)  
ΤΜΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ  
ΜΕΛΕΤΩΝ-ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΜΟΡΦΩΣΗΣ

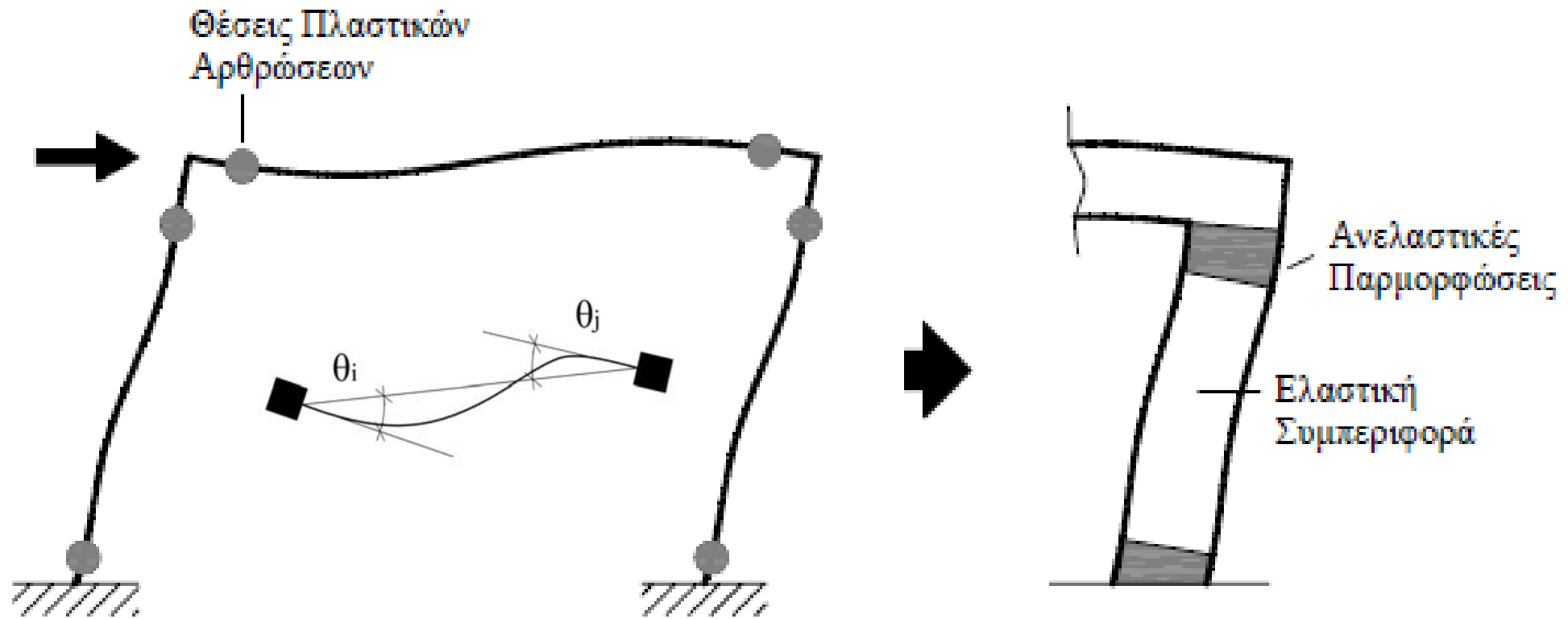
**ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΗ ΗΜΕΡΙΔΑ:**  
**ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**  
**(ΚΑΝ.ΕΠΕ)**  
**Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**

**Προσδιορισμός Συμπεριφοράς Δομικών Στοιχείων**

**Εμμ. Βουγιούκας, ΕΜΠ**

**ΑΘΗΝΑ, 10 ΜΑΪΟΥ 2017**

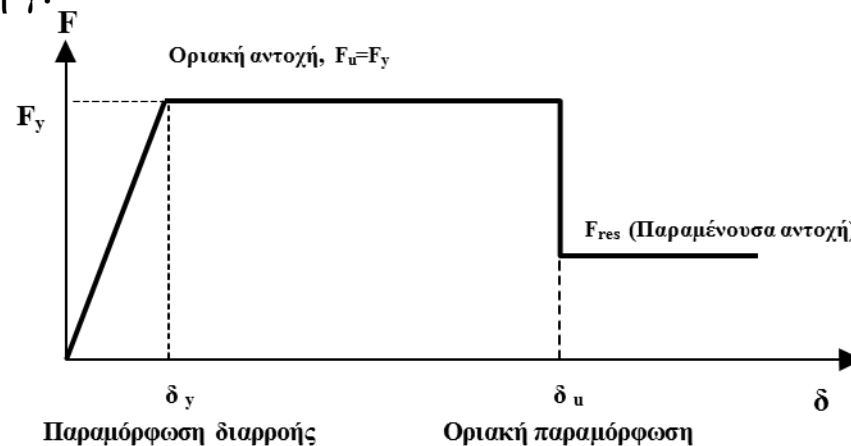
# Προσδιορισμός συμπεριφοράς δομικών στοιχείων



# ΚΑΝΕΠΕ – Κεφ. 7

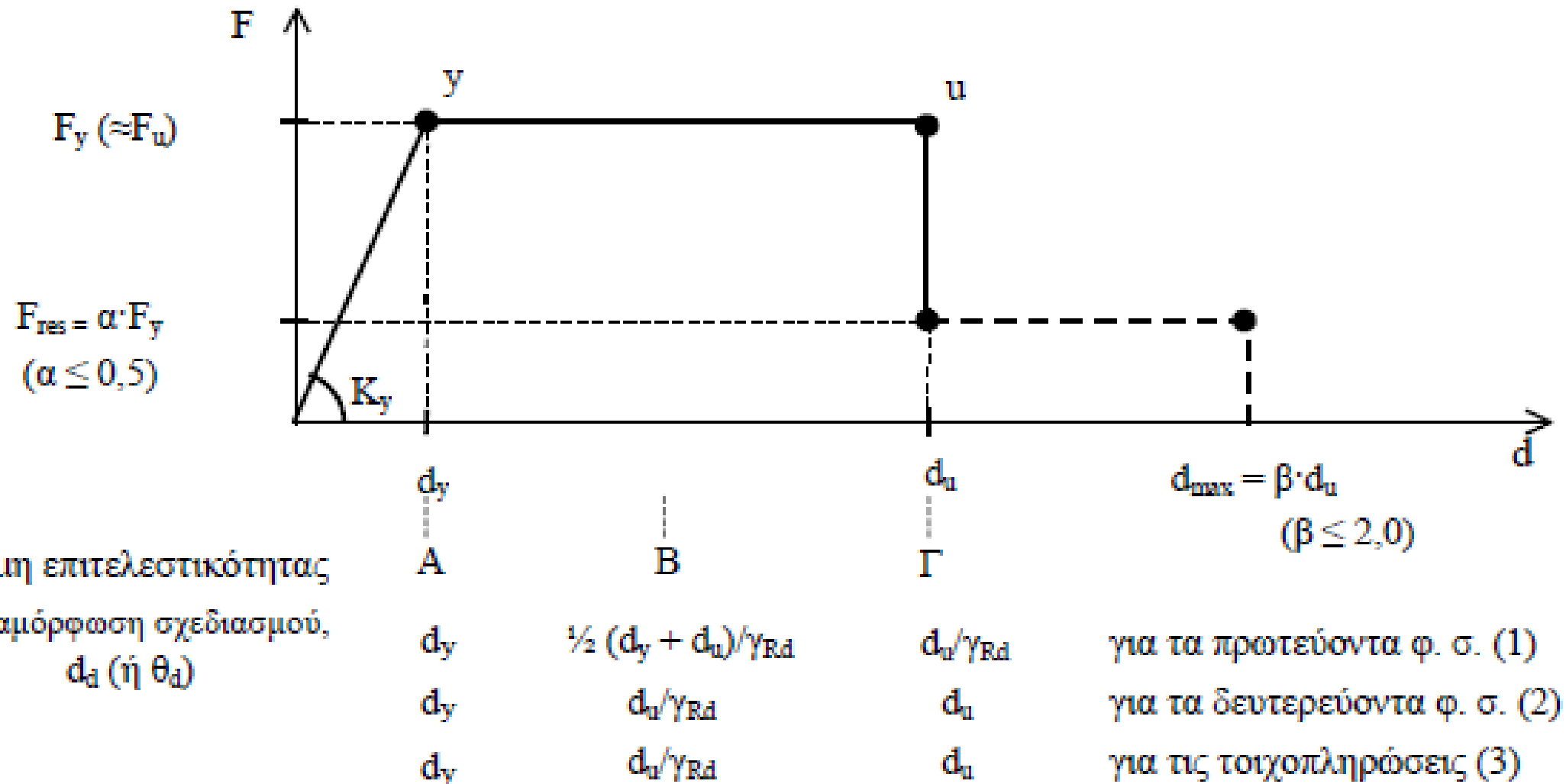
Το Κεφάλαιο 7 περιλαμβάνει προσομοιώματα για τον υπολογισμό της αντίστασης (αντοχής), της δυσκαμψίας και της ικανότητας μετελαστικής παραμόρφωσης δομικών στοιχείων – μέ ή χωρίς βλάβη.

Όπου καθοριστική της ανελαστικής συμπεριφοράς είναι η κάμψη, κατάλληλα μεγέθη  $F$  και  $\delta$  είναι η ροπή κάμψης  $M$  και η καμπυλότητα  $1/r$ . Αν καθοριστική της ανελαστικής συμπεριφοράς είναι η διάτμηση, κατάλληλα μεγέθη είναι η τέμνουσα δύναμη  $V$  και η γωνιακή (διατμητική) παραμόρφωση  $\gamma$ .



Καταλληλότερη επιλογή  $F$  και  $\delta$  επιλέγεται η ροπή  $M$  και η γωνία στροφής χορδής " $\theta$ " στα άκρα του στοιχείου, όπου η  $\theta$  περιλαμβάνει το σύνολο των καμπτικών και διατμητικών παραμορφώσεων, καθώς και τη στροφή των άκρων λόγω εξόλκευσης

# ΣΚΕΛΕΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΛΟΥΣ



Τυπικό διάγραμμα συμπεριφοράς μέλους για επιμέρους στάθμες επιτελεστικότητας

# Ελαστοπλαστική καμπύλη

Αν η αξονική δύναμη είναι υψηλή, η αστοχία του σκυροδέματος της θλιβόμενης ζώνης μπορεί να προηγηθεί της διαρροής του εφελκυσμένου οπλισμού, οπότε η καμπύλη  $F-\delta$  δεν εμφανίζει σαφές όριο διαρροής. Σ' αυτή την περίπτωση, αντί της χρήσης ελαστοπλαστικής-καμπύλης  $F-\delta$  με εντατικό μέγεθος διαρροής που προκύπτει από την τιμή καμπτικής αντοχής κατά τις διατάξεις του ΕΚΟΣ 2000, συνιστάται η κατασκευή διαγράμματος  $M-(1/r)$  και η προσαρμογή σ' αυτό μιας "ισοδύναμης" ελαστοπλαστικής καμπύλης  $F-\delta$ , με βάση την αρχή των ίσων εμβαδών.

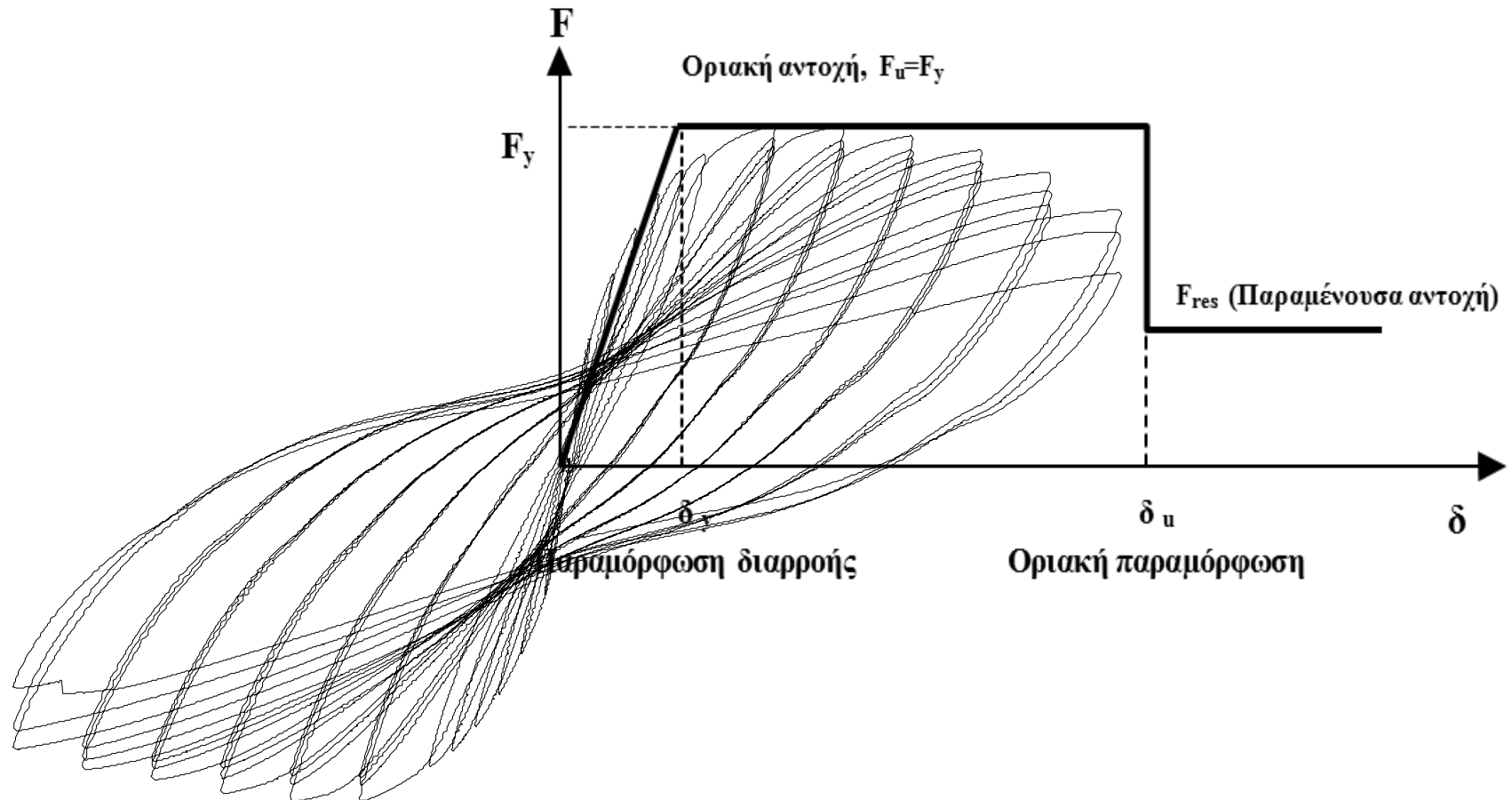
Η τιμή της παραμόρφωσης στη διαρροή,  $\delta_y$ , πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμορφώσεις κατά τη διαρροή του στοιχείου (καμπτικές, διατμητικές, λόγω εξόλκευσης οπλισμών).

Χρησιμοποιούνται οι μέσες (όχι οι χαρακτηριστικές) τιμές υλικών.

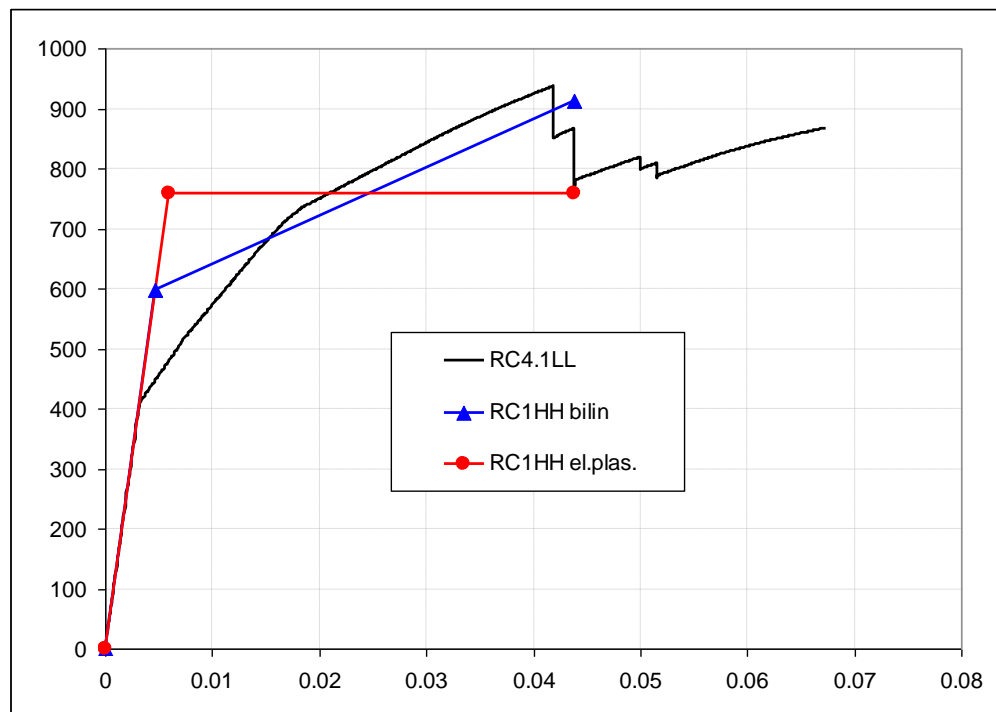
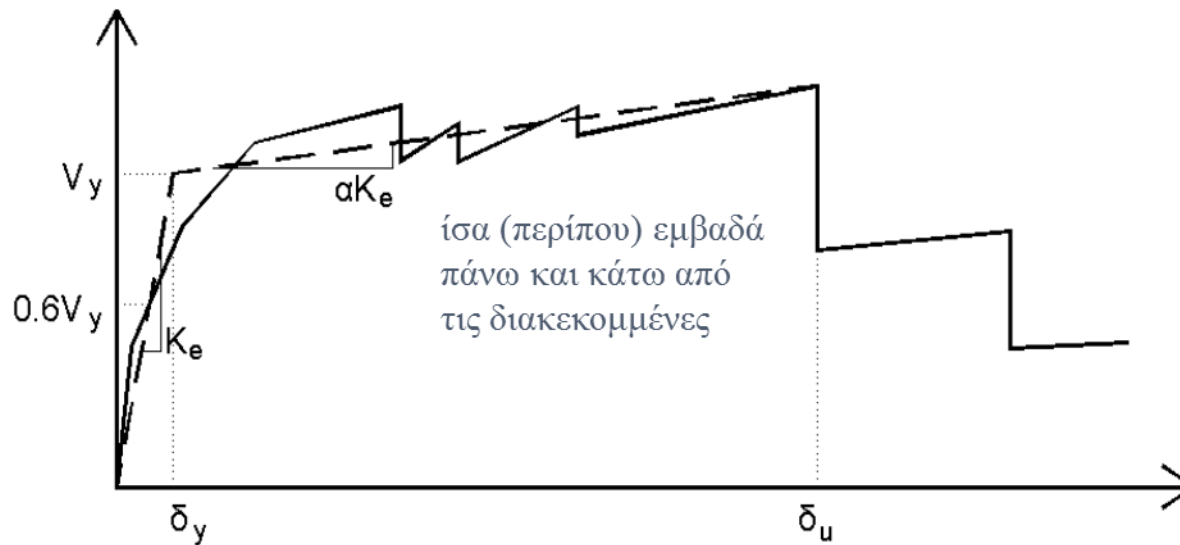
Αυτές μπορεί να είναι και μη τυποποιημένες (πχ.  $f_{cm}=23,4 \text{ MPa}$ ,  $f_{sm}= 540 \text{ MPa}$ ).

Προκειμένου περί πλακοδοκών, η ροπή αστοχίας (ή διαρροής) για εφελκυσμό στην πλάκα πρέπει να υπολογίζεται προσμετρώντας και τους παράλληλους στη δοκό οπλισμούς της πλάκας οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο συνεργαζόμενο σε εφελκυσμό πλάτος της πλάκας, και είναι επαρκώς αγκυρωμένοι πέραν της διατομής στήριξης της δοκού.

# Φυσική Σημασία



# Διγραμμοποίηση



# Δυσκαμψίες

Η δυσστησία και η δυστένεια των δομικών στοιχείων θα εκτιμώνται κατά την κλασική μηχανική, με τη θεώρηση της αρηγμάτωτης διατομής του σκυροδέματος (μόνον).

Η ενεργός δυσκαμψία του μήκους  $L_s$  στοιχείου ισούται με:

$K = M_y \cdot L_s / 3 \cdot \theta_y$  όπου  $M_y$  και  $\theta_y$  η τιμή της ροπής και της γωνίας στροφής χορδής στη διαρροή της ακραίας διατομής του στοιχείου. Η εξίσωση αυτή εφαρμόζεται ακόμα και αν η διατμητική αστοχία του στοιχείου προηγείται της καμπτικής διαρροής του άκρου του.

Όσον αναφορά τη τιμή του  $L_s$  προσεγγιστικά, μπορεί να λαμβάνεται σταθερή και ως εξής:

- ο Ίση με το μισό του καθαρού του ανοίγματος σε περίπτωση δοκού που συνδέεται και στα δύο άκρα με κατακόρυφα στοιχεία.
- ο Ίση με ολόκληρο το καθαρό άνοιγμα σε περίπτωση δοκού που συνδέεται μόνο στο ένα άκρο με κατακόρυφο στοιχείο.
- ο Ίση με το μισό του καθαρού ύψους μεταξύ δοκών με τις οποίες το στοιχείο συνδέεται μονολιθικά μέσα στο υπόψη επίπεδο κάμψης σε περίπτωση υποστυλώματος.
- ο Ίση με το μισό της απόστασης της διατομής βάσης ορόφου από την κορυφή του στοιχείου στο κτίριο σε περίπτωση τοιχώματος.

Η ενεργός δυσκαμψία  $K$  του συνολικού μήκους του στοιχείου μπορεί να λαμβάνεται ίση με τον μέσο όρο των τιμών που υπολογίζονται με τον παραπάνω τύπο στις δύο ακραίες διατομές το στοιχείο. Αν οι διατομές αυτές έχουν μη-συμμετρικό σχήμα ή οπλισμό (δηλαδή διαφορετικό για θετική ή αρνητική ροπή κάμψης), λαμβάνονται οι μέσοι όροι των τιμών  $K$  από την παραπάνω εξίσωση για τις δύο φορές της κάμψης (θετική ή αρνητική)



# Υπολογιστικό Βοήθημα

- Για δοκούς ή υποστυλώματα:

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0.0014(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}) + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}} \quad (\S 7.2.2 \text{ ΚΑΝΕΠΕ, } \Sigma.2)$$

- Για τοιχώματα:

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0.0013 + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}} \quad (\S 7.2.2 \text{ ΚΑΝΕΠΕ, } \Sigma.3)$$

Όπου:

$(1/r)_y$  Η καμπυλότητα διαρροής

$L_s$  Το μήκος διάτμησης (=M/V στην ακραία διατομή του στοιχείου), δηλαδή η απόσταση της ακραίας διατομής από το σημείο μηδενισμού των ροπών

$a_x$  Ο συντελεστής αν ισούται με 1 εάν η τέμνουσα που προκαλεί λοξή ρηγμάτωση του στοιχείου (διατμητική ρηγμάτωση),  $V_{R1}$ , υπολείπεται της τιμής της τέμνουσας κατά την καμπτική διαρροή,  $V_{Mu} = My/L_s$ , και με 0 αν είναι μεγαλύτερη ( $V_{R1} > V_{Mu}$ ). Η τέμνουσα  $V_{R1}$  κατά ευρωκώδικα (§6.2.2)

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

# Αλγόριθμος Υπολογισμού $(1/r)_y$ d & $\xi_y$

Διαρροή λόγω χάλυβα

$$(1/r)_y = \frac{f_y}{E_s (1 - \xi_y) d}$$

Διαρροή λόγω παραμόρφωσης  
σκυροδέματος

$$(1/r)_y = \frac{\varepsilon_c}{\xi_y d} = \frac{1.8 f_c}{E_c \xi_y d}$$

$$\xi_y = \sqrt{\alpha^2 A^2 + 2\alpha B} - \alpha A$$

$$\alpha = E_s/E_c$$

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + \frac{N}{b d f_y}$$

$$A \approx \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{1.8 \alpha b d f_c}$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0.5 \rho_v (1 + \delta') + \frac{N}{b d f_y}$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0.5 \rho_v (1 + \delta')$$

Υπολογισμός  $M_y, \theta_y, \theta_{pl}$  για υποστυλώματα κατά ΚΑΝΕΠΕ

Χάλυβας			Σκυρόδεμα			Γεωμετρικά στοιχεία διατομής		
Αντοχή διαμήκου χάλυβα	$f_y$ (Mpa)	400	Αντοχή	$f_c$ (Mpa)	18	Πλάτος	$b_f$ (mm)	350
Αντοχή χάλυβα συνδετήρων	$f_{yw}$ (Mpa)	400	Συντελεστής ασφαλείας	$\gamma_s$	1	ύψος διατομής	$h$ (mm)	350
Συντελεστής ασφαλείας	$\gamma_s$	1	Μέτρο ελαστικότητας	$E_c$ (Mpa)	29000	Πλάτος κορμού	$b_w$ (mm)	350
Μέτρο ελαστικότητας	$E_s$ (Mpa)	200000	Λόγος Μέτρων Ελαστικότητας	$\alpha$	6,896552	Στατικό ύψος	$d$ (mm)	320
Μέγιστη διάμετρος οπλισμού	$d_b$ (mm)	14				απόσταση θλ. οπλ. Ακραία ίνα	$d'$ (mm)	30

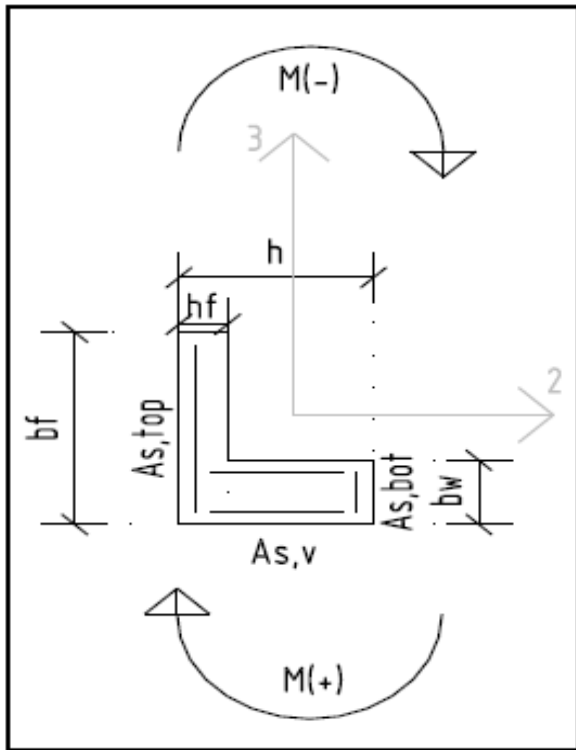
Εντατικά μεγέθη διατομής		
Αξονική δύναμη κεφαλής	$N$ (κN)	173,41
Αξονική δύναμη βάσης	$N$ (κN)	173,41

Οπλισμός κεφαλής		
Άνω διαμήκης	$A_{s,top}$ (mm <sup>2</sup> )	1030
Κάτω διαμήκης	$A_{s,bot}$ (mm <sup>2</sup> )	1030
Διαμήκης οπλισμός κορμού	$A_{sv}$ (mm <sup>2</sup> )	1030

Εγκάρσιος οπλισμός		
Συντεστής περίσφυξης	$\alpha$	0,14
Εγκάρσιος οπλισμός κορμού	$A_{sh}$ (mm <sup>2</sup> )	50

Απόσταση συνδετήρων	$sh$ (mm)	60
Γεωμ. Ποσοστό οπλισμού	$\rho_s$	0,002381

Δισδιαγώνιος οπλισμός		
Εμβαδόν δισδ.	$A_d$ (mm)	
Γεωμ. Ποσοστό δισδ. οπλισμού	$\rho_d$	



Οπλισμός βάσης		
Άνω διαμήκης	$A_{s,top}$ (mm <sup>2</sup> )	1030
Κάτω διαμήκης	$A_{s,bot}$ (mm <sup>2</sup> )	1030
Διαμήκης οπλισμός κορμού	$A_{sv}$ (mm <sup>2</sup> )	1030

Εγκάρσιος οπλισμός		
Συντεστής περίσφυξης	$\alpha$	0,14
Εγκάρσιος οπλισμός κορμού	$A_{sh}$ (mm <sup>2</sup> )	28

Απόσταση συνδετήρων	$sh$ (mm)	200
Γεωμ. Ποσοστό οπλισμού	$\rho_s$	0,0004

Δισδιαγώνιος οπλισμός		
Εμβαδόν δισδ.	$A_d$ (mm)	
Γεωμ. Ποσοστό δισδ. οπλισμού	$\rho_d$	

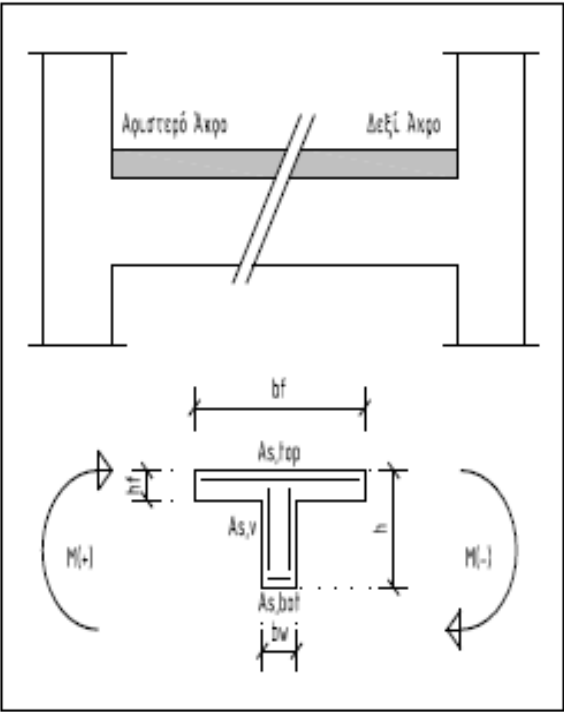
Αριστερό Άκρο						Δεξιό Άκρο					
Ροπή M(-)			Ροπή M(+)			Ροπή M(-)			Ροπή M(+)		
	$\rho$	0,0091964		$\rho$	0,0091964		$\rho$	0,0091964		$\rho$	0,00919643
	$\rho'$	0,0091964		$\rho'$	0,0091964		$\rho'$	0,0091964		$\rho'$	0,00919643
	$\rho_v$	0,0091964		$\rho_v$	0,0091964		$\rho_v$	0,0091964		$\rho_v$	0,00919643
	$\omega$	0,4087302		$\omega$	0,4087302		$\omega$	0,4087302		$\omega$	0,40873016
	$\omega'$	0,2043651		$\omega'$	0,2043651		$\omega'$	0,2043651		$\omega'$	0,20436508
	Χάλυβας	Σκυρόδεμα		Χάλυβας	Σκυρόδεμα		Χάλυβας	Σκυρόδεμα		Χάλυβας	Σκυρόδεμα
A	0,031460045	0,0206601	A	0,031460045	0,0206601	A	0,03146004	0,0206601	A	0,03146004	0,02066015
B	0,01895865	0,0150879	B	0,01895865	0,0150879	B	0,01895865	0,0150879	B	0,01895865	0,01508789
$\xi_y$	0,338527455	0,3354393	$\xi_y$	0,338527455	0,3354393	$\xi_y$	0,33852745	0,3354393	$\xi_y$	0,33852745	0,33543929
$(1/r)_y$	0,009448616	0,0104084	$(1/r)_y$	0,009448616	0,0104084	$(1/r)_y$	0,00944862	0,0104084	$(1/r)_y$	0,00944862	0,01040838

Υπολογισμός Μγ,θγ,θρι για δοκούς κατά ΚΑΝΕΠΕ

Χάλυβας			Σκυρόδεμα			Γεωμετρικά στοιχεία διατομής		
Αντοχή διαμήκουσ χάλυβα	$f_y$ (Mpa)	220	Αντοχή	$f_c$ (Mpa)	12	Πλάτος	$b_f$ (mm)	1810
Αντοχή χάλυβα συνδετήρων	$f_{yw}$ (Mpa)	220	Συντελεστής ασφαλείας	$\gamma_s$	1	ύψος διατομής	$h$ (mm)	600
Συντελεστής ασφαλείας	$\gamma_s$	1	Μέτρο ελαστικότητας	$E_c$ (Mpa)	29000	Πλάτος κορμού	$b_w$ (mm)	250
Μέτρο ελαστικότητας	$E_s$ (Mpa)	200000	Λόγος Μέτρων Ελαστικότητας	$\alpha$	6,896552	Στατικό ύψος	$d$ (mm)	570
Μέγιστη διάμετροσ οπλισμού	$d_b$ (mm)	14				απόσταση θλ. οπλ. Ακραία ίνα	$d'$ (mm)	30

Εντατικά μεγέθη διατομής		
Αξονική δύναμη	$N$ (κN)	0

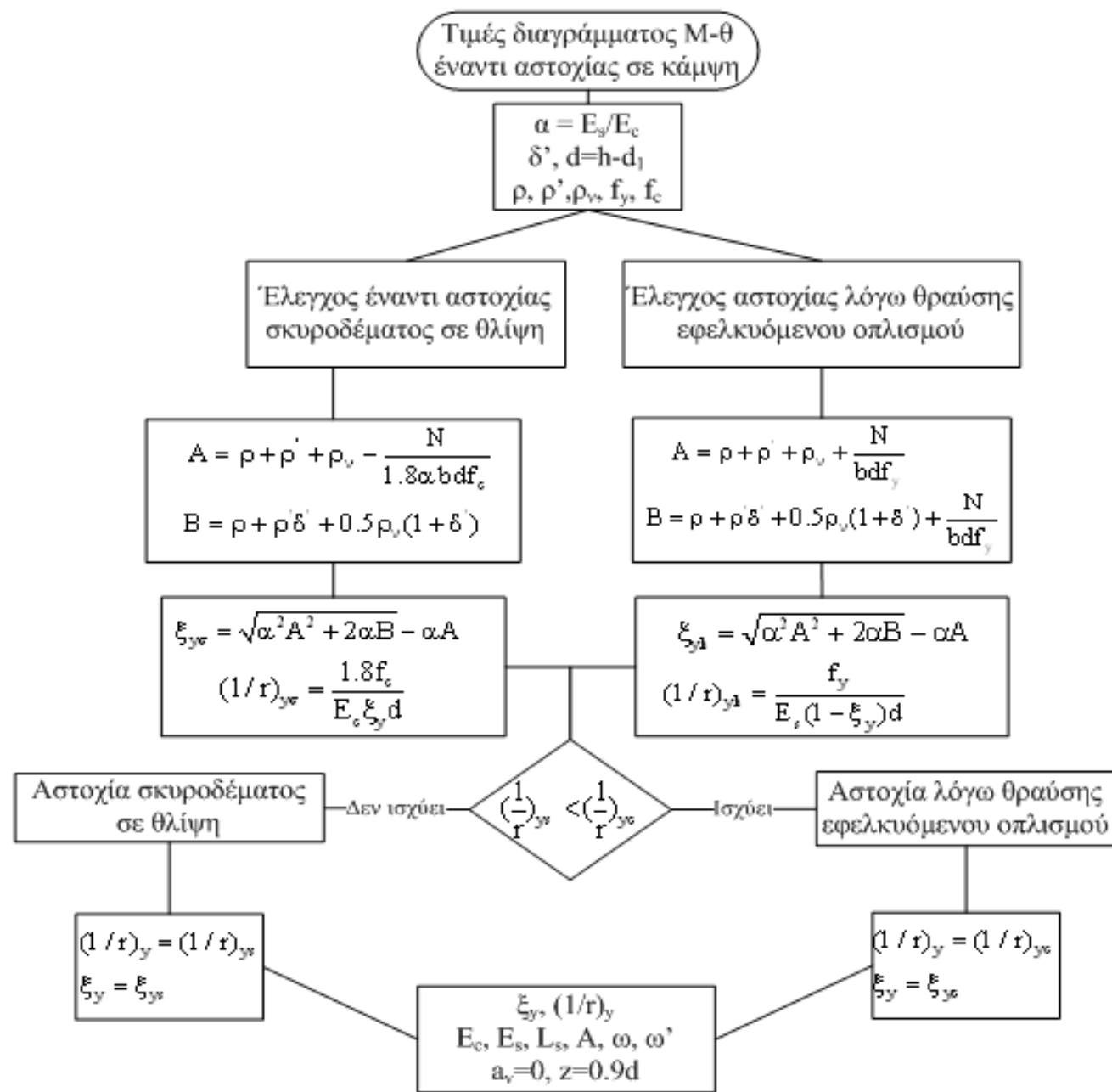
Οπλισμός αριστερού άκρου		
Άνω διαμήκης	$A_{s,top}$ (mm2)	1395
Κάτω διαμήκης	$A_{s,bot}$ (mm2)	609
Διαμήκης οπλισμός κορμού	$A_{sv}$ (mm2)	0
<b>Εγκάρσιος οπλισμός</b>		
Συντεστής περίσφυξης	$\alpha$	0,14
Εγκάρσιος οπλισμός κορμού	$A_{sh}$ (mm2)	56,548
Απόσταση συνδετήρων	$sh$ (mm)	130
Γεωμ. Ποσοστό οπλισμού	$\rho_s$	0,00174
<b>Δισδιαγώνιος οπλισμός</b>		
Εμβαδόν δισδ.	$A_d$ (mm)	0
Γεωμ. Ποσοστό δισδ. οπλισμού	$\rho_d$	0



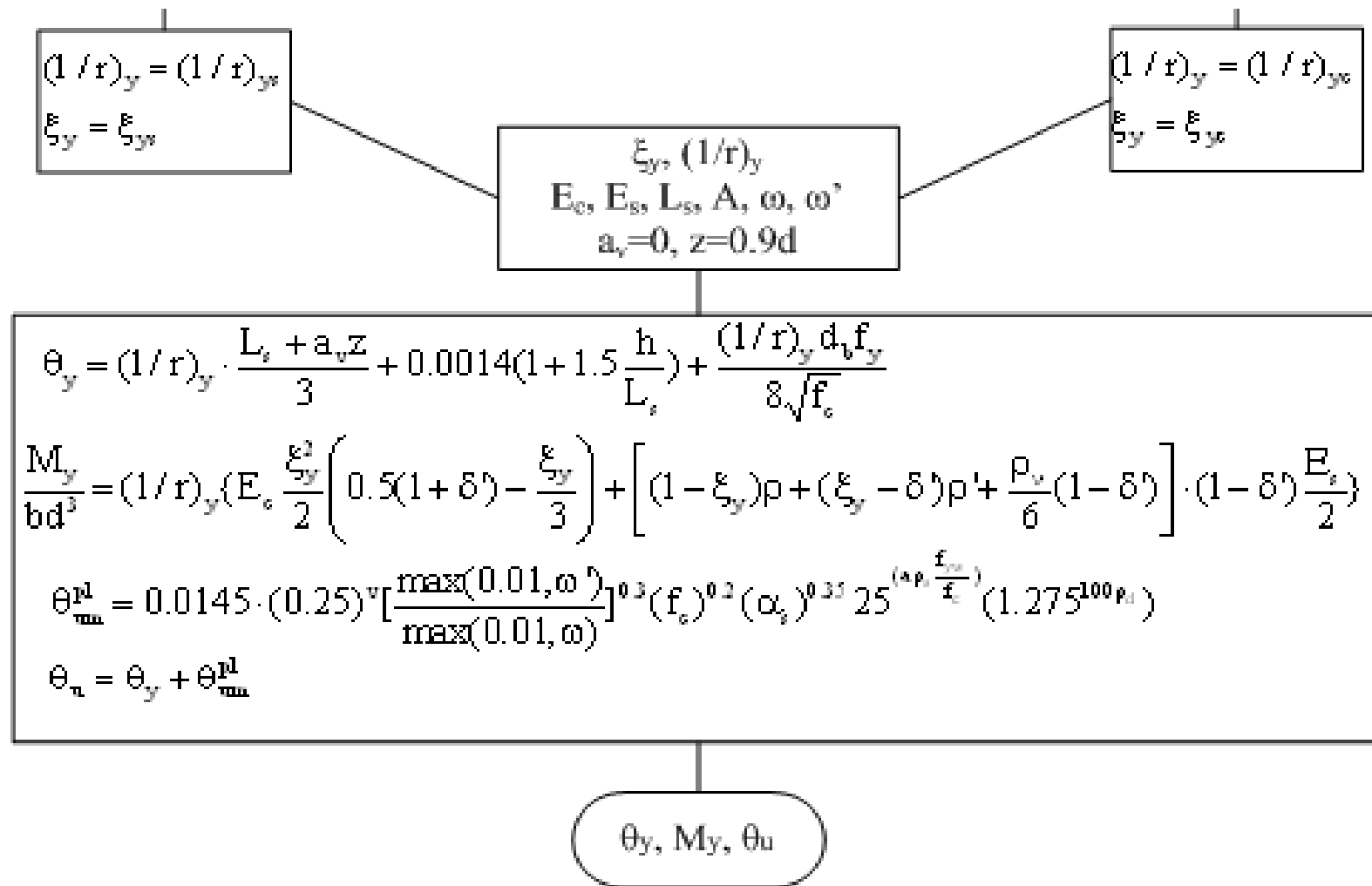
Οπλισμός δεξιού άκρου		
Άνω διαμήκης	$A_{s,top}$ (mm2)	717
Κάτω διαμήκης	$A_{s,bot}$ (mm2)	452
Διαμήκης οπλισμός κορμού	$A_{sv}$ (mm2)	0
<b>Εγκάρσιος οπλισμός</b>		
Συντεστής περίσφυξης	$\alpha$	0,14
Εγκάρσιος οπλισμός κορμού	$A_{sh}$ (mm2)	56,548
Απόσταση συνδετήρων	$sh$ (mm)	130
Γεωμ. Ποσοστό οπλισμού	$\rho_s$	0,00173994
<b>Δισδιαγώνιος οπλισμός</b>		
Εμβαδόν δισδ.	$A_d$ (mm)	0
Γεωμ. Ποσοστό δισδ. οπλισμού	$\rho_d$	0

Αριστερό Άκρο						Δεξιό Άκρο					
Ροπή M(-)			Ροπή M(+)			Ροπή M(-)			Ροπή M(+)		
	$\rho$	0,0097895		$\rho$	0,0005903		$\rho$	0,0050316		$\rho$	0,00043811
	$\rho'$	0,0042737		$\rho'$	0,0013521		$\rho'$	0,0031719		$\rho'$	0,00069497
	$\rho_v$	0		$\rho_v$	0		$\rho_v$	0		$\rho_v$	0
	$\omega$	0,1794737		$\omega$	0,0108219		$\omega$	0,0922456		$\omega$	0,00803205
	$\omega'$	0,0783509		$\omega'$	0,0247892		$\omega'$	0,058152		$\omega'$	0,01274111
	Χάλυβας	Σκυρόδεμα		Χάλυβας	Σκυρόδεμα		Χάλυβας	Σκυρόδεμα		Χάλυβας	Σκυρόδεμα
A	0,014063158	0,0140632	A	0,001942425	0,0019424	A	0,00820351	0,0082035	A	0,00113308	0,00113308
B	0,010014404	0,0100144	B	0,000661453	0,0006615	B	0,00519852	0,0051985	B	0,00047469	0,00047469
$\xi_y$	0,287117185	0,2871172	$\xi_y$	0,083055731	0,0830557	$\xi_y$	0,21711112	0,2171111	$\xi_y$	0,07347834	0,07347834
(1/r)y	0,002707071	0,0045512	(1/r)y	0,002104626	0,015733	(1/r)y	0,002465	0,0060186	(1/r)y	0,00208287	0,01778368

# Λογικό Διάγραμμα Υπολογισμού Μ-θ



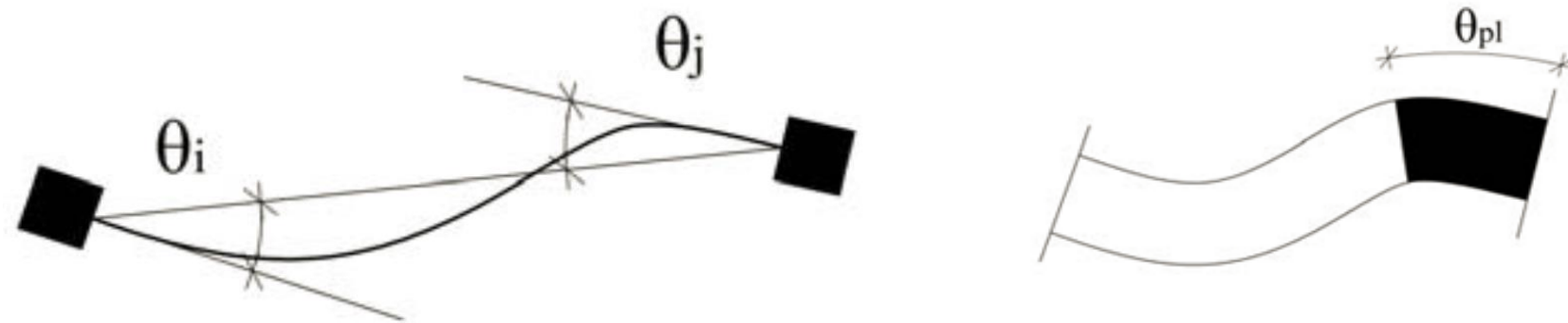
# Διάγραμμα (Συνέχεια)



Σχήμα 1 Λογικό διάγραμμα υπολογισμού  $\theta_y, M_y, \theta_u$

# Υπολογισμός Οριακής Γωνίας Στροφής-Χορδής ( $\theta_u - \theta_{pl}$ )

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ (§7.2.4.1), η διαθέσιμη οριακή γωνία στροφής χορδής  $\theta_u$  στο άκρο δομικού στοιχείου πρέπει να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη, υπέρ της ασφαλείας, όλες τις υπεισερχόμενες πηγές αβεβαιότητας. Είναι δυνατή η εμπειρική εκτίμηση της διαθέσιμης τιμής της γωνίας στροφής χορδής στοιχείων Ο/Σ συναρτήσει των γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των στοιχείων και των οπλισμών τους, με τη βοήθεια εμπειρικών σχέσεων ή πινάκων, καθώς και η χρήση συντηρητικών αναλυτικών μεθόδων αποδεκτών στη διεθνή βιβλιογραφία.



Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ για τη γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία δοκών ή υποστυλωμάτων που έχουν διαστασιολογηθεί και κατασκευασθεί με τις μετά το 1985 αντιλήψεις για αντισεισμικές κατασκευές προτείνει την εξής σχέση:

$$\theta_{\max} = 0.016 \cdot (0.3)^{\nu} \left[ \frac{\max(0.01, \omega)}{\max(0.01, \omega)} f_c \right]^{0.225} (\alpha_c)^{0.35} 25^{\left( \alpha_{pl} \frac{f_{yk}}{f_c} \right)} (1.25^{100 \rho_l}) \quad (\S 7.2.4 \text{ ΚΑΝΕΠΕ, Σ.8α})$$

Για τη μέση τιμή του πλαστικού τμήματος της μέσης γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία του στοιχείου:

$$\theta_{\text{mm}}^{\text{pl}} = \theta_n - \theta_y = 0.0145 \cdot (0.25)^{\nu} \left[ \frac{\max(0.01, \omega)}{\max(0.01, \omega)} \right]^{0.3} (f_c)^{0.2} (\alpha_s)^{0.35} 25^{\left( \alpha_p \cdot \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.275^{100 \rho_d})$$

(§7.2.4 ΚΑΝΕΠΕ, Σ.8β)

όπου:

- $\alpha_s$  Ο λόγος διάτμησης,  $M/V_h = L_s/h$
- $\omega, \omega'$  Το μηχανικό ποσοστό εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού (ο διαμήκης οπλισμός μεταξύ εφελκόμενου και θλιβόμενου πέλματος θεωρείται ως εφελκόμενος)
- $\nu$  Η ανηγμένη αξονική δύναμη ως προς τις διαστάσεις της διατομής:  $N/b_h f_c$  ( $b_h$  = πλάτος θλιβόμενης ζώνης)
- $\rho_s$  Το γεωμετρικό ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα στη διεύθυνση της φόρτισης.  $A_{sh}/b_w s_h$
- $\rho_d$  Το γεωμετρικό ποσοστό τυχόντος διαδιαγώνιου οπλισμού
- $f_{yw}, f_c$  Οι αντοχές χάλυβα συνδετήρων και σκυροδέματος αντίστοιχα (σε MPa)
- $\alpha$  Ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης που λαμβάνεται ίσος με μηδέν όταν οι συνδετήρες δεν κλείνουν με άγκιστρο προς το εσωτερικό του σκυροδέματος ( $\geq 135^\circ$  στις γωνίες και  $\geq 90^\circ$  στο ενδιάμεσο των πλευρών).



Εναλλακτικά από ΚΑΝ.ΕΠΕ (Σ.7α)

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s_h}{2b_c}\right)\left(1 - \frac{s_h}{2h_c}\right)$$

$$\alpha_n = 1 - \sum_i^n \frac{b_i^2}{6 \cdot A_0} = 1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \cdot b_c h_c}$$

Όπου  $n$  ο αριθμός «κορυφών» συνδετήρων ή «κόμβων» με εγκάρσιους συνδέσμους που συγκρατούν διαμήκεις ράβδους,  $b_i$  η απόσταση μεταξύ διαδοχικών «κορυφών» ή «κόμβων»,  $s_h$  η καθαρή ελεύθερη απόσταση μεταξύ συνδετήρων και  $b_c, h_c$  (με  $h_c \leq 1.5 \div 2 b_c$ ) οι διαστάσεις της διατομής του πυρήνα.

Εν τέλει, η τιμή της γωνίας πλαστικής στροφής κατά την αστοχία,  $\theta_u$  προκύπτει από το άθροισμα της γωνίας κατά τη διαρροή,  $\theta_y$  και της μέσης πλαστικής γωνίας στροφής κατά την αστοχία και αποτελεί τη τιμή που τοποθετείται στο διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων κατά την αστοχία.

$$\theta_u = \theta_{mu}^{pl} + \theta_y$$

Για τοιχώματα που έχουν διαστασιολογηθεί και κατασκευασθεί με τις μετά το 1985 αντιλήψεις για αντισεισμικές κατασκευές το 2ο μέλος της εξίσωσης (Σ.8α) χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί επί 0.58. Σε στοιχεία που έχουν διαστασιολογηθεί και κατασκευασθεί με βάση τα ισχύοντα στην Ελλάδα προ του 1985 και με χρήση λείων χαλύβων, το 2ο μέλος χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί επί 0.95.

Στην περίπτωση των πλακοδοκών, η ροπή αστοχίας (ή διαρροής) για εφελκυσμό στην παρειά της πλάκας πρέπει θεωρητικά να υπολογίζεται προσμετρώντας και τους παράλληλους στη δοκό οπλισμούς της πλάκας οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο συνεργαζόμενο σε εφελκυσμό πλάτος, και είναι επαρκώς αγκυρωμένοι πέραν της διατομής στήριξης της δοκού, ώστε να είναι ακριβέστερος ο υπολογισμός της καμπτικής αντοχής της κάθε διατομής.

Σε διαφορετική περίπτωση είναι πιθανό στοιχεία με ψαθυρή συμπεριφορά να θεωρηθούν ως πλάστιμα ή να διαταραχθεί η πραγματική ιεραρχία αστοχιών σε κόμβους δοκών - υποστυλωμάτων.

Το συνεργαζόμενο σε εφελκυσμό πλάτος της πλάκας σε κάθε πλευρά του κορμού μπορεί να ληφθεί ίσο με το ένα τέταρτο του ανοίγματος της δοκού ή με το μισό της απόστασης μέχρι την πρώτη παράλληλη δοκό, όποιο είναι μικρότερο.

### *Υπολογισμός διατμητικής αντοχής στοιχείου*

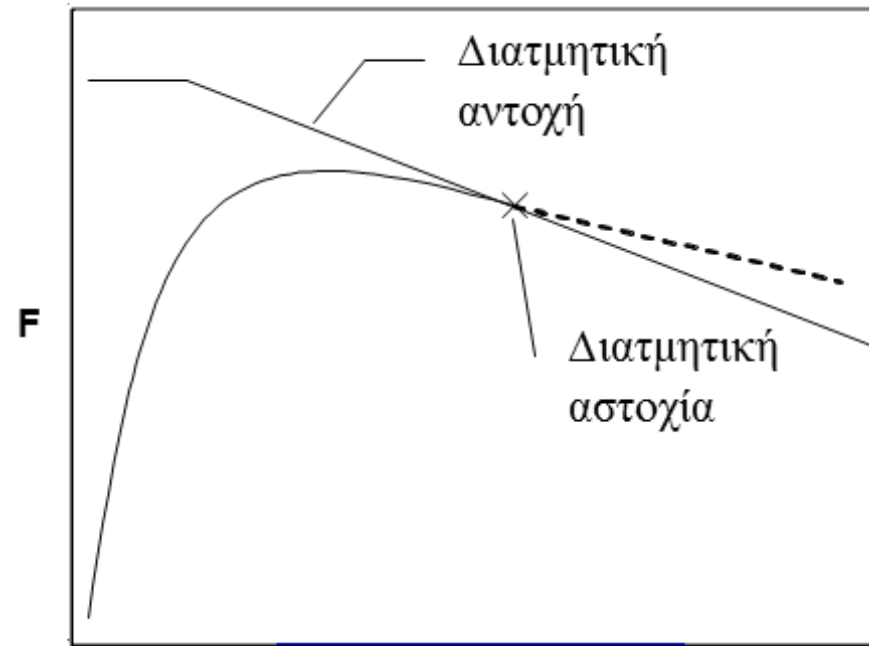
Σύμφωνα με τη §7.1.2.6 του ΚΑΝ.ΕΠΕ τα δομικά στοιχεία διακρίνονται σε πλάστιμα και ψαθυρά. Αν η διαθέσιμη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας  $\mu\delta = \delta/\delta_y$  ενός δομικού στοιχείου, μιας κρίσιμης περιοχής στοιχείου, ή μιας συνδέσεως στοιχείων ξεπερνά ένα ορισμένο όριο, η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται ως πλάστιμη. Διαφορετικά, η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται ως ψαθυρή. Η διάκριση αυτή είναι καθοριστικής σημασίας για τη διαδικασία αποτίμησης και ανασχεδιασμού, καθώς επηρεάζει τον προσδιορισμό των διαγραμμάτων  $M-\theta$  (ή γενικότερα  $F-\delta$ ) ως προς τις τιμές τους (αφού στα ψαθυρά στοιχεία η αντοχή και η παραμόρφωση διαρροής λαμβάνονται μειωμένες) και τον έλεγχο των κριτηρίων αποδοχής, καθώς στα ψαθυρά στοιχεία η ανίσωση ασφαλείας εκφράζεται σε όρους δυνάμεων, ενώ στα πλάστιμα σε όρους παραμορφώσεων.

Ένα δομικό στοιχείο από οπλισμένο σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται **ψαθυρό** αν συντρέχει έστω μία από τις παρακάτω προϋποθέσεις (§7.1.2.6.α):

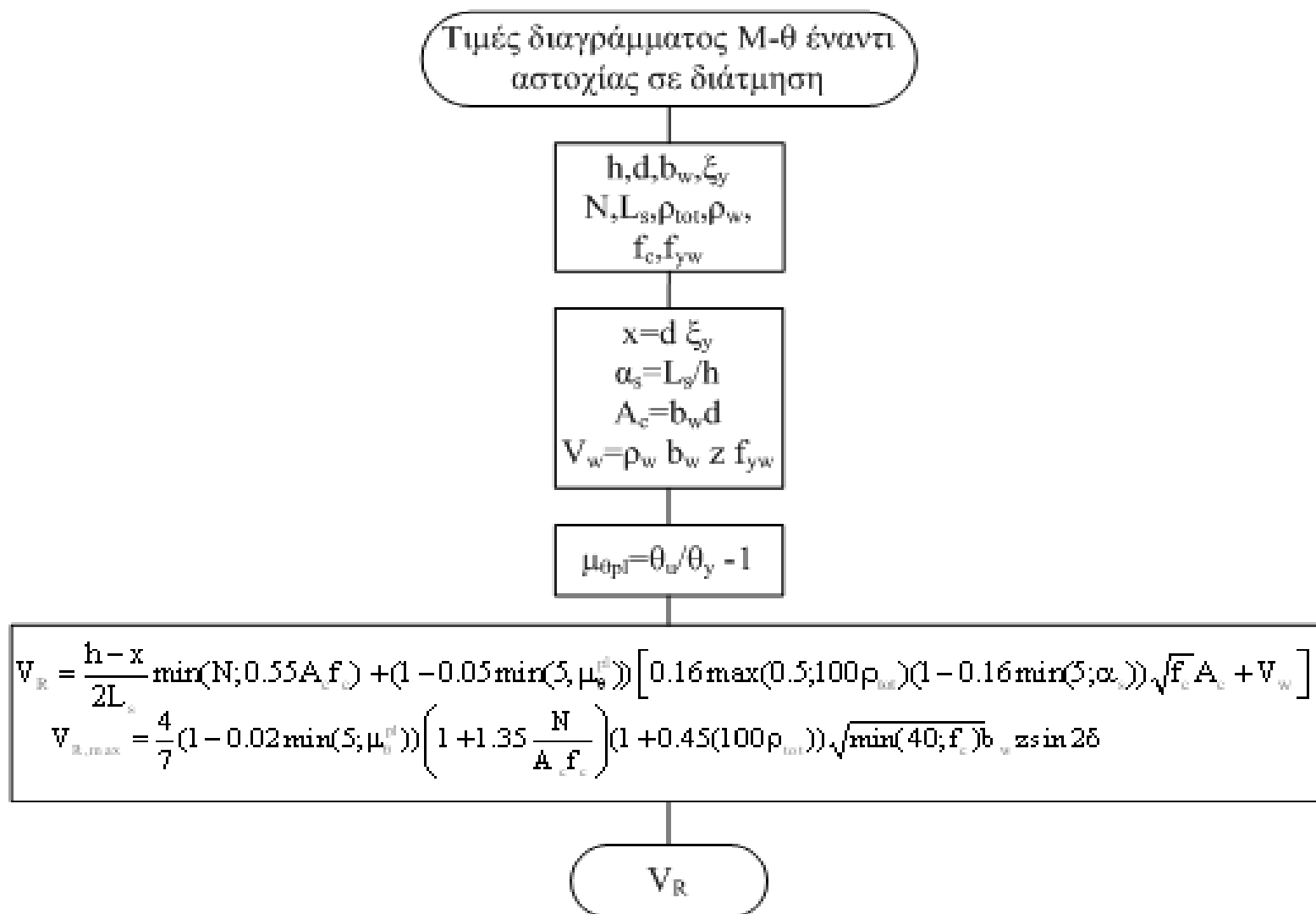
- Η τιμή του διαθέσιμου δείκτη πλαστιμότητας σχετικών μετακινήσεων,  $\mu_s$  ή  $\mu_{\theta}$ , ή δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων,  $\mu_{1/r}$ , είναι μικρότερη από την οριακή τιμή 2 ή 3 αντίστοιχα
- Ο λόγος διάτμησης  $\alpha_s = M/(Vh)$  του στοιχείου είναι μικρότερος του 2
- Η διατμητική αστοχία προηγείται της καμπτικής. Για να διαπιστωθεί κάτι τέτοιο απαιτείται η σύγκριση της τέμνουσας δύναμης που αντιστοιχεί στην καμπτική διαρροή  $V_{Mu} = M_y/L_s$  με την τέμνουσα αντοχής  $V_R$  και να ισχύει  $V_{Mu} > V_R$

Στα ψαθυρά δομικά στοιχεία η αντοχή και η παραμόρφωση διαρροής πολλαπλασιάζονται με το λόγο  $V_R/V_{Mu}$  ενώ η πλαστική γωνία στροφής στο άκρο του στοιχείου μετά την εξάντληση της διατμητικής αντοχής λαμβάνεται ίση με το 40% της αντίστοιχης γωνίας στροφής χορδής στην καμπτική διαρροή ( $\theta_y = (V_R/V_{Mu}) \theta_{y\text{κάμψης}}$ ,  $\theta_{pl} = 0.4 \theta_{y\text{κάμψης}}$ ,  $M_y = (V_R/V_{Mu}) \cdot M_{y\text{κάμψης}}$ ).

# Επιρροή της διατμητικής αντοχής

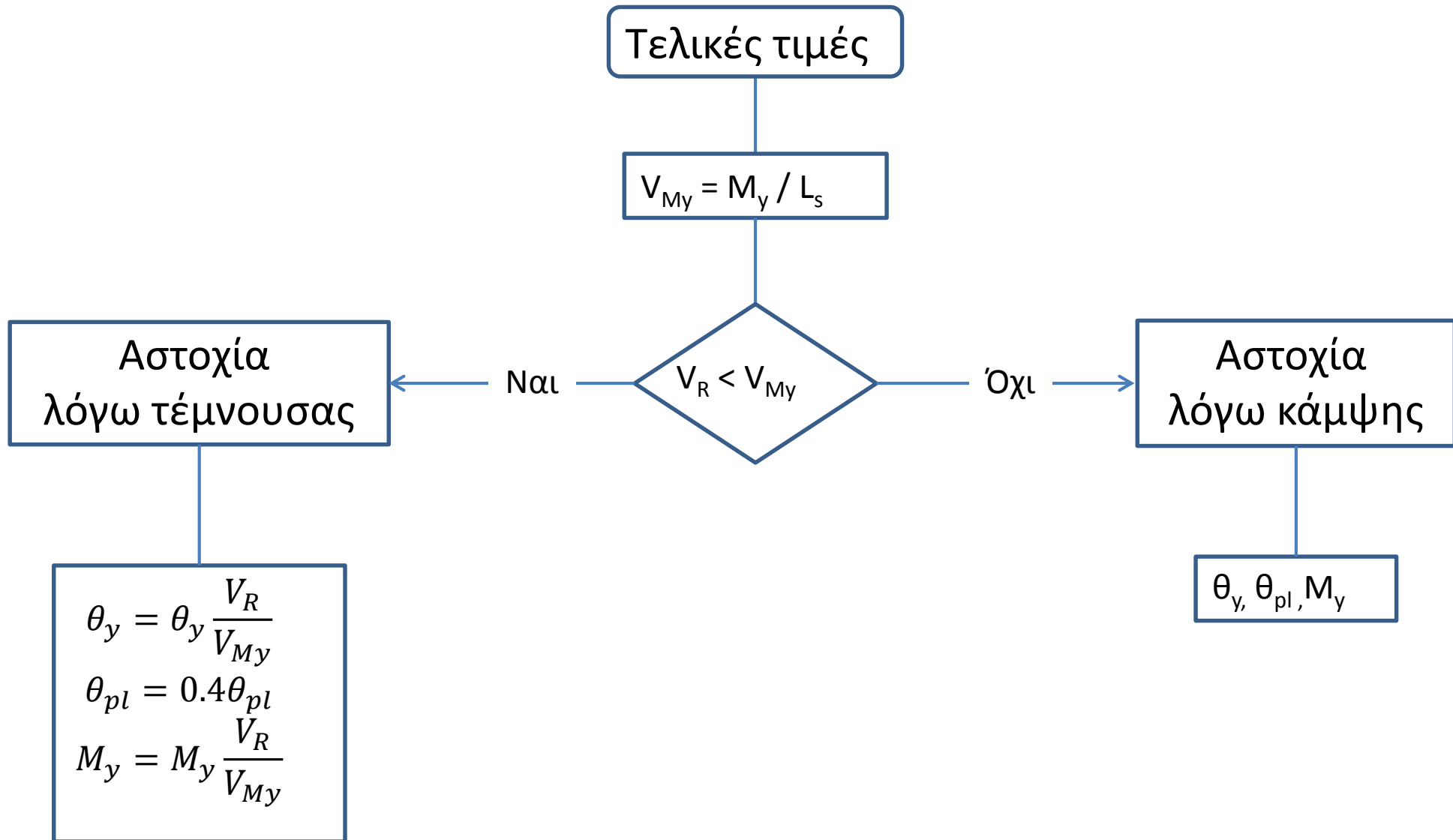


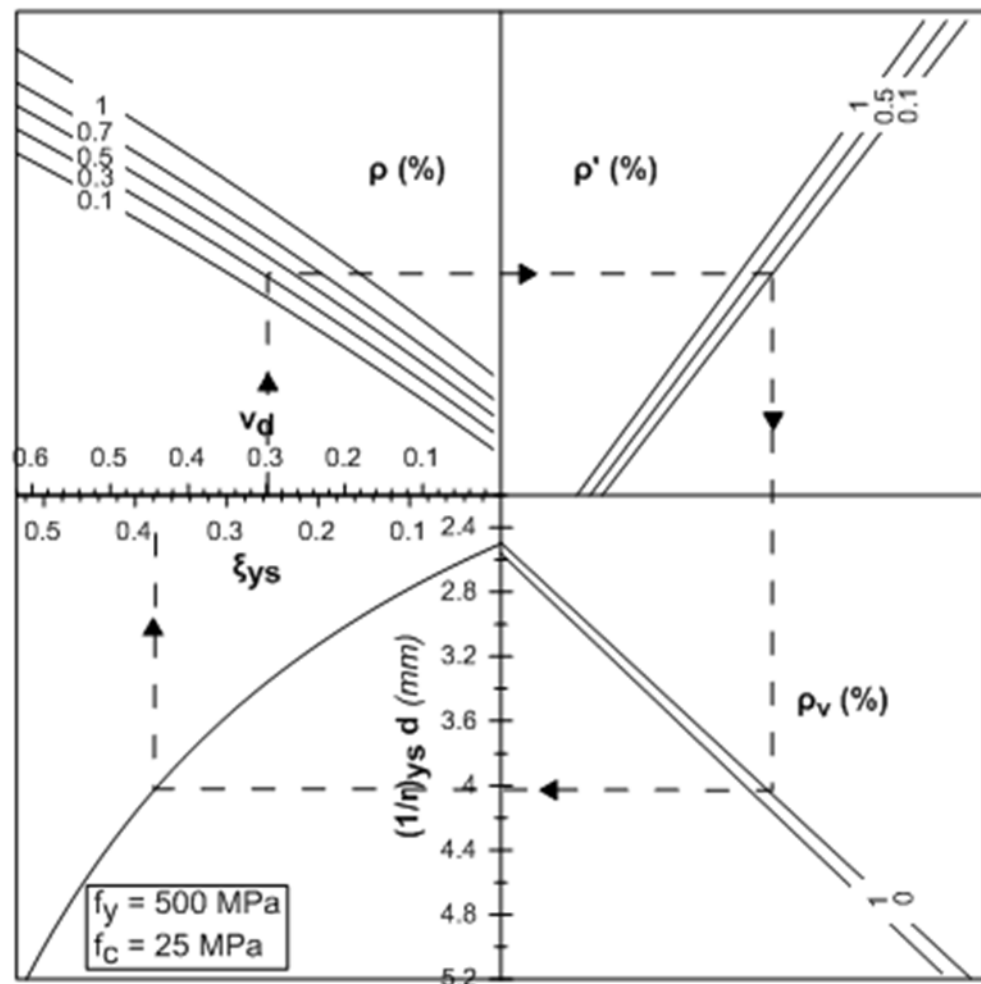
Εάν το στοιχείο αστοχεί από τέμνουσα προτού διαρρέψει σε κάμψη, δηλαδή αν  $V_R < V_{My}$ , τότε επιτρέπεται να λαμβάνεται πλαστική γωνία στροφής στο άκρο του μετά την εξάντληση της διατμητικής αντοχής ίση με το 40% της αντίστοιχης γωνίας στροφής χορδής στην καμπτική διαρροή,  $\theta_y$ .



**Σχήμα 2** Λογικό διάγραμμα υπολογισμού  $V_R$

# Τελικές τιμές M - θ





**Διάγραμμα 8** Υπολογισμός  $(1/r)_{ys} d$  και  $\xi_{ys}$  για δεδομένα  $\nu_d$ ,  $\rho$ ,  $\rho'$ ,  $\rho_v$  κατά την αστοχία λόγω θραύσης εφελκόμενου οπλισμού ( $f_y=500 \text{ MPa}$ ,  $f_c=25 \text{ MPa}$ )



# Παραμόρφωση Αστοχίας και Πλαστιμότητα

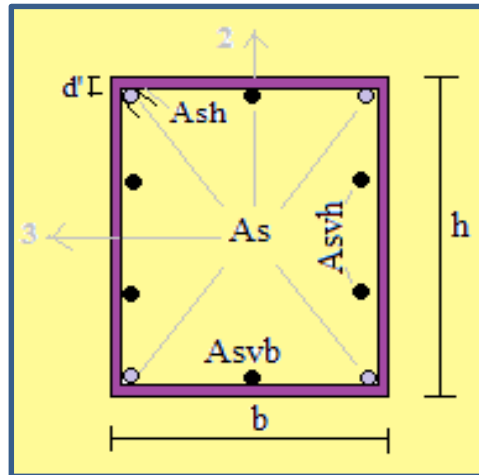
Ως αστοχία ορίζεται η σημαντική και συχνά απότομη μείωση της αντίστασης  $F$  υπό μονοτονικά αυξανόμενη παραμόρφωση, ή υπό ανακυκλιζόμενη παραμόρφωση.

Υπό την έννοια αυτή, μπορεί να θεωρηθεί ως “αστοχία” μία μείωση της αντίστασης ίση περίπου με 20% της μέγιστης τιμής της. Ως παραμόρφωση αστοχίας,  $\delta u$ , επομένως, ορίζεται εκείνη η τιμή που αντιστοιχεί σε απόκριση  $F$  μειωμένη κατά 20% έναντι της μέγιστης.

Η τιμή της παραμόρφωσης αστοχίας,  $\delta u$ , ορίζει και την ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης, μέσω του πλαστικού τμήματος της παραμόρφωσης αστοχίας, δηλ. του  $\delta u_{pl} = \delta u - \delta y$  ενός στοιχείου, μιας κρίσιμης περιοχής ή μιας συνδέσεως στοιχείων

# “Τροφοδότηση» Λογισμικού

✓ Υποστυλώματα



Label: K1-A Design Procedure: Co

Section Property	C30X30
Property Modifiers	
J	0.01
I2	0.23
I3	0.23
mean ky2=	3898.988 - ky2/ko2 = .232
mean ky3=	3898.988 - ky3/ko3 = .232

## Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
K1-A-2T	0.1
K1-A-2T	0.1
K1-A-3T	0.1
K1-A-2B	0.9
K1-A-3B	0.9

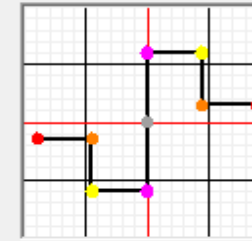
Add  
Modify  
Delete

## Frame Hinge Property Data for K1-A-2T - Moment M2

Edit

### Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.25	-2
D-	-0.25	-1
C-	-1	-1
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	1
D	0.25	1
E	0.25	2



☒ Symmetric

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type: Isotropic

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

### Load Carrying Capacity Beyond Point E

☐ Drops To Zero

☒ Is Extrapolated

### Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment Moment SF: 39.25 Positive Negative

☐ Use Yield Rotation Rotation SF: 6.600E-03 Positive Negative

### Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☒ Immediate Occupancy Positive Negative

☒ Life Safety Positive Negative

☒ Collapse Prevention Positive Negative

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

	My	θu,pl
Top 2	43.07	.01643
Top 3	43.07	.01643
Bottom2	43.07	.01643
Bottom3	43.07	.01643

OK

Cancel

Ψαθυρή Συμπεριφορά

$$M_y = M_y \frac{V_R}{V_{My}} = 43.07 \cdot \frac{24.53}{26.92} = 39.25 \text{ kNm}$$

$$\theta_{u,pl} = 0.4 \cdot \theta_{u,pl} = 0.4 \cdot 0.01643 = 0.0066 \text{ rad/m}$$

# “Τροφοδότηση» Λογισμικού

✓ Δοκοί

Frame Hinge Property Data for D1-IS-S - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E	-0.25	-2.
D	-0.25	-1.
C	-1.	-1.
B	-1.	0.
A	0.	0.
B	1.	0.
C	1.	1.
D	0.25	1.
E	0.25	2.

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☐ Drops To Zero

☒ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment

☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Frame Hinge Property Data for D1-IS-E - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E	-0.25	-2.
D	-0.25	-1.
C	-1.	-1.
B	-1.	0.
A	0.	0.
B	1.	0.
C	1.	1.
D	0.25	1.
E	0.25	2.

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☐ Drops To Zero

☒ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment

☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Label  Design Procedure

Section Property	Property Modifiers
BT20x45x150	
J	0.01
I3	0.06
mean Ky=	4961.919 - ky/Ko = .061

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
D1-IS-S	0.1
D1-IS-S	0.1
D1-IS-E	0.9

Add

Modify

Delete

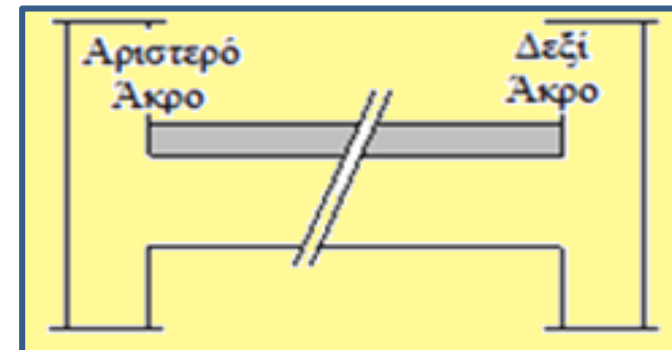
Ψαθυρή Συμπεριφορά



Δεξί Άκρο ( - )

$$M_y = 54.42 \cdot \frac{23.90}{28.79} = 45.17 \text{ kNm}$$

$$\theta_{u,pl} = 0.4 \cdot 0.0169 = 0.0068 \text{ rad/m}$$



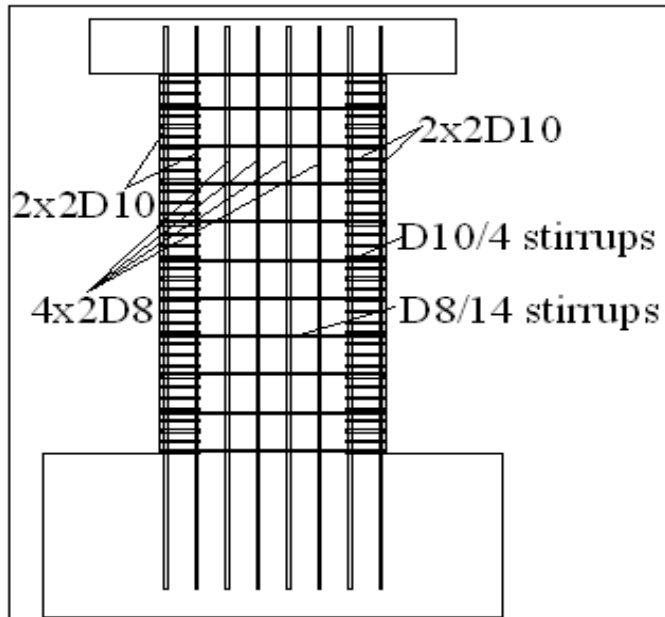
Μεταβλητό χαρακτηριστικό	Κρίσιμο Υλικό	$\xi_y$	$(1/r)_y$	$\theta_y$	$M_y$	$\theta_u$
Ανηγμένη αξονική δύναμη, $v \uparrow$	Χάλυβας					
	Σκυρόδεμα					
Αντοχή χάλυβα, $f_{yk} \uparrow$	Χάλυβας					
	Σκυρόδεμα					
Αντοχή σκυροδέματος, $f_c \uparrow$	Χάλυβας					
	Σκυρόδεμα					
Ποσοστό εφελκυσμένου διαμήκους οπλισμού, $\rho \uparrow$	Χάλυβας*					
	Σκυρόδεμα					
Ποσοστό θλιβόμενου διαμήκους οπλισμού, $\rho' \uparrow$	Χάλυβας					
	Σκυρόδεμα					
Συντελεστής αποδοτικότητας περίσφιγξης, $\alpha \uparrow$	Χάλυβας					
	Σκυρόδεμα					

**Πίνακας 4** Η επίδραση της αύξησης κάθε επιμέρους παράγοντα στις μεταβλητές που επιδρούν στο διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων

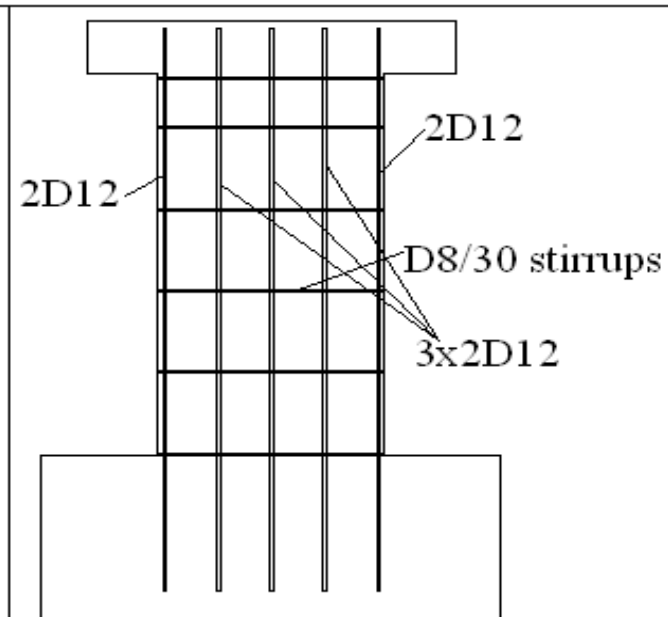
\*Για μεγάλα ποσοστό οπλισμού δεν κρίνεται ποτέ ο χάλυβας υλικό αστοχίας

\*\* Για ποσοστό οπλισμού  $\rho > 0.7\%$  παρατηρείται μείωση της  $M_y$  με την αύξηση του οπλισμού.

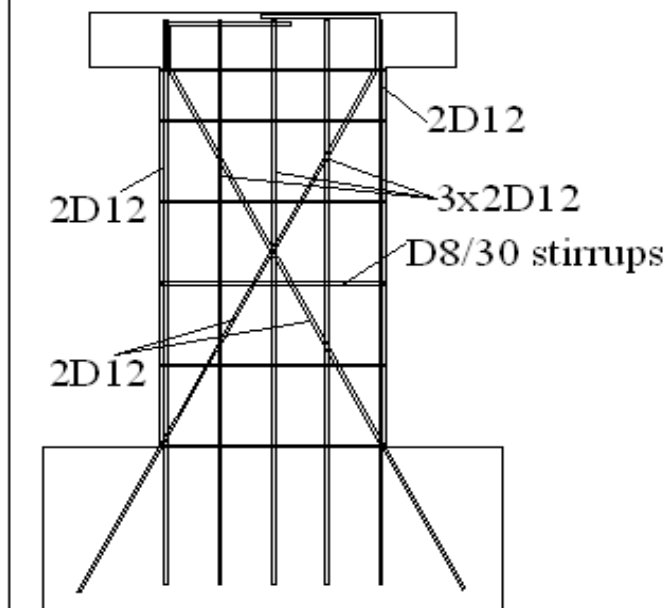
# Σύγκριση τύπων ΚΑΝΕΠΕ με πειραματικά αποτελέσματα 1/6



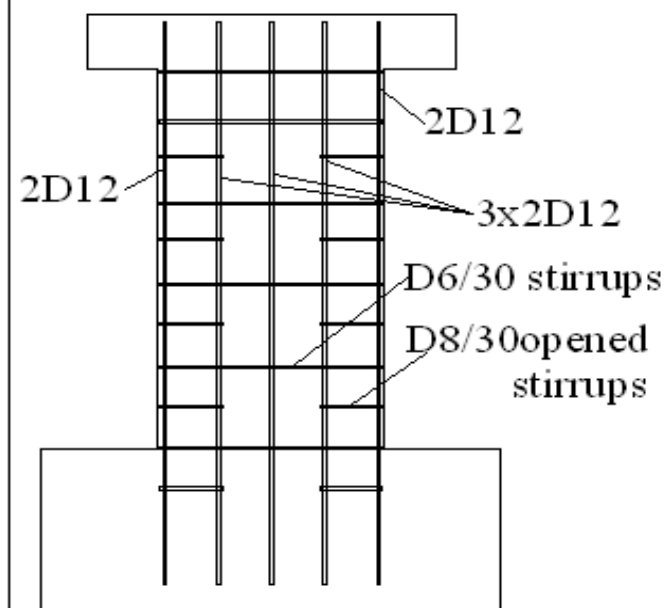
Wall T<sub>1</sub>



Walls T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub>

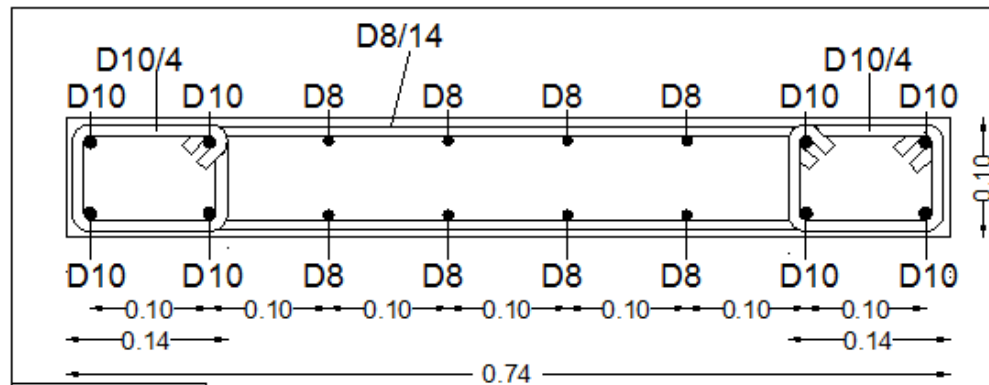


Wall T<sub>3</sub>

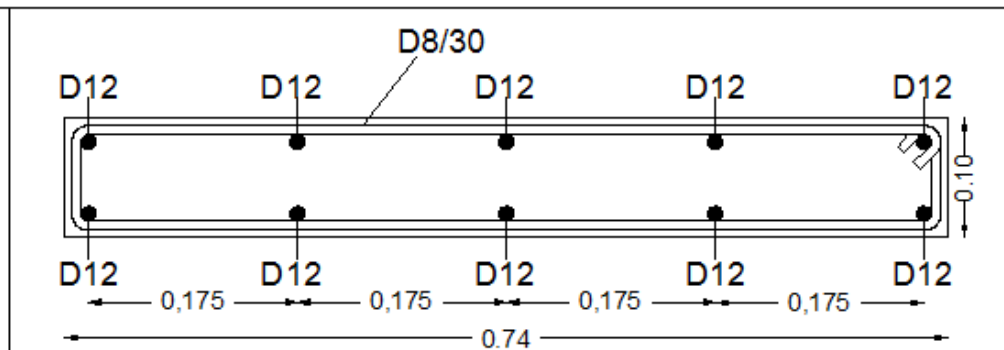


Walls T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>

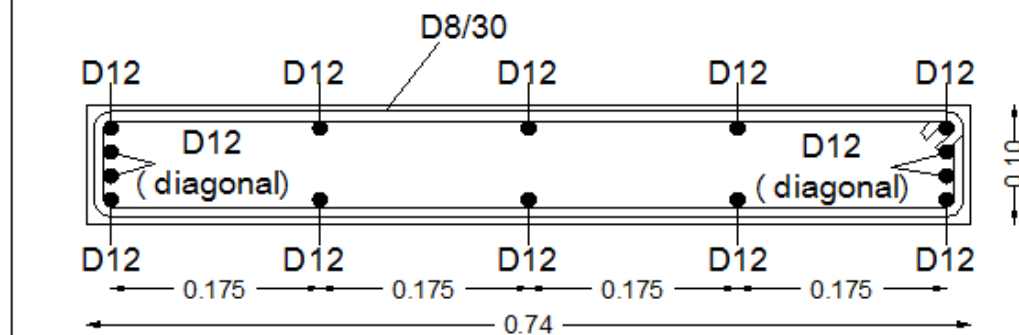
# Σύγκριση τύπων ΚΑΝΕΠΕ με πειραματικά αποτελέσματα 2/6



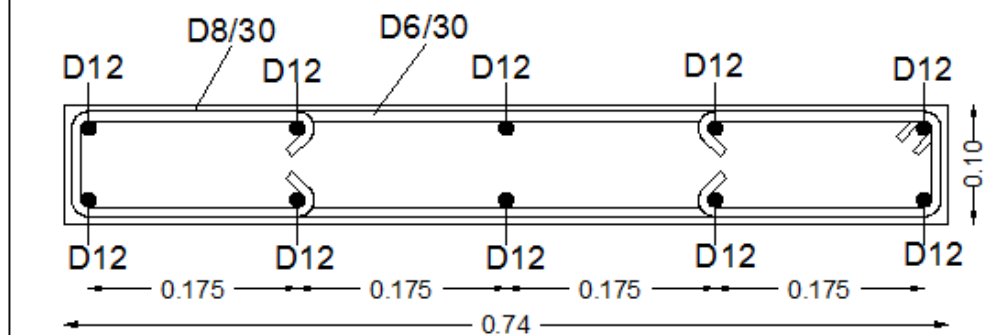
Wall T<sub>1</sub>



Walls T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub>

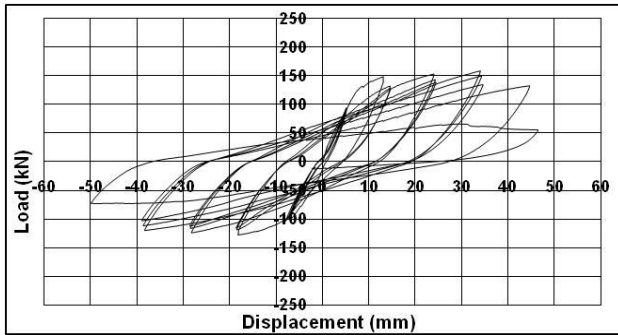


Wall T<sub>3</sub>

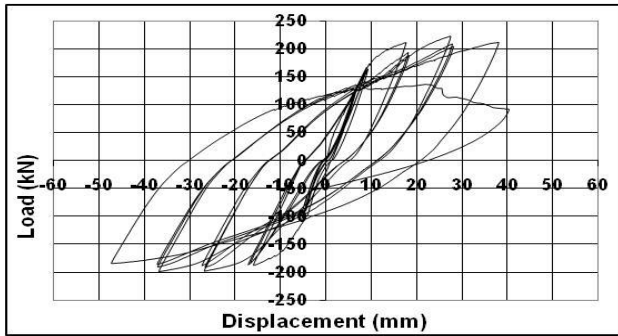
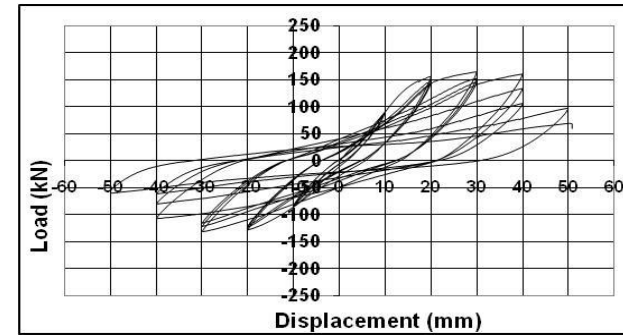


Walls T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>

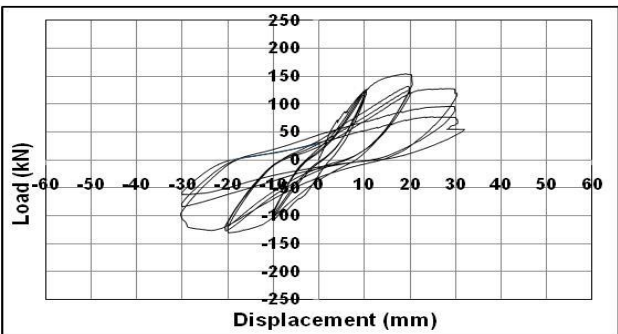
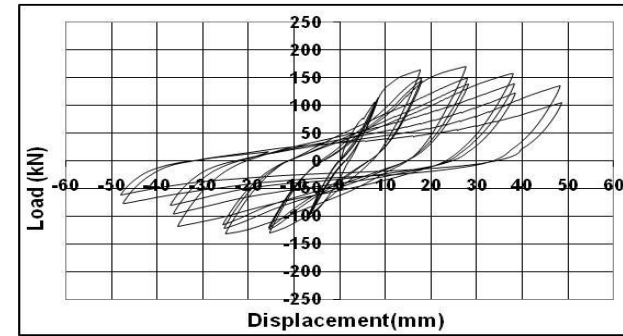
# Σύγκριση τύπων ΚΑΝΕΠΕ με πειραματικά αποτελέσματα 3/6



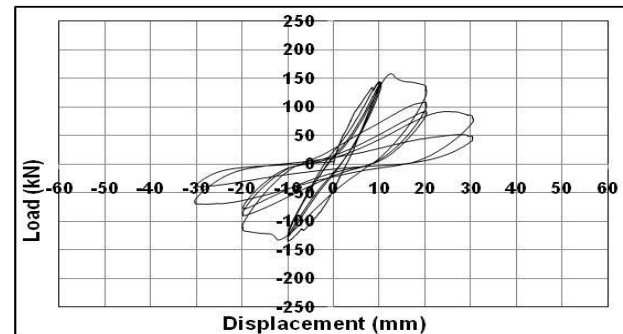
T1-T2



T3-T4

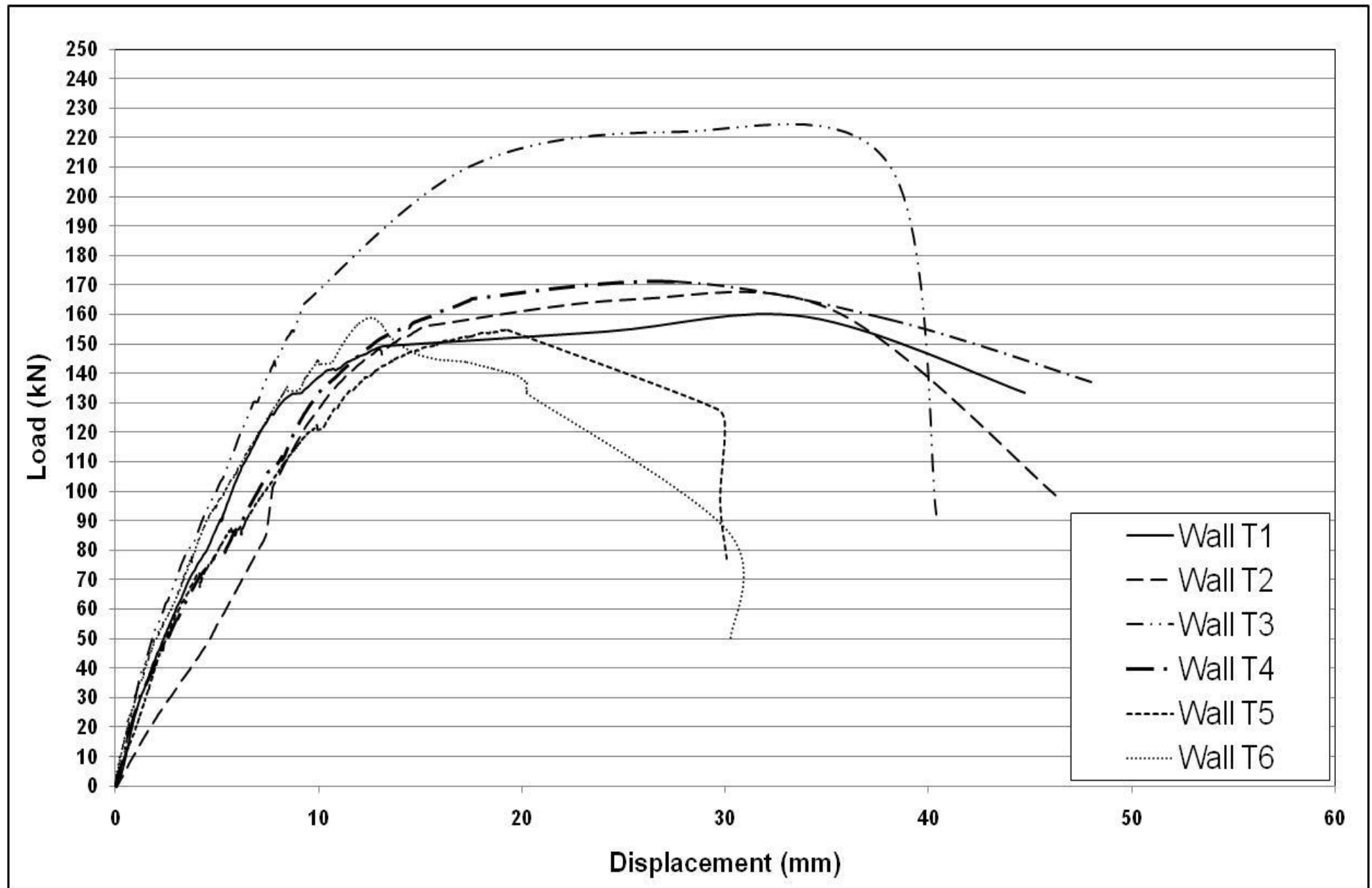


T5-T6





# Σύγκριση τύπων ΚΑΝΕΠΕ με πειραματικά αποτελέσματα 4/6





# Σύγκριση τύπων ΚΑΝΕΠΕ με πειραματικά αποτελέσματα 5/6

## ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΩΝ

	ΚΑΝ.ΕΠΕ			EC8			Πειραματικά		
	$\theta_y$	$\theta_u$	$\mu_\theta=\mu_\delta$	$\theta_y$	$\theta_u$	$\mu_\theta=\mu_\delta$	$\theta_y$	$\theta_u$	$\mu_\theta=\mu_\delta$
$T_1$	0.0057	0.0258	4.54	0.0061	0.0276	4.55	0.0058	0.0293	5.05
$T_2$	0.0057	0.0158	2.77	0.0058	0.0169	2.91	0.0077	0.0263	3.40
$T_3$	0.0058	0.0175	3.01	0.0060	0.0187	3.09	0.0073	0.0260	3.57
$T_4$	0.0058	0.0156	2.70	0.0060	0.0166	2.77	0.0071	0.0300	4.24
$T_5$	0.0056	0.0160	2.84	0.0059	0.0170	2.91	0.0072	0.0191	2.65
$T_6$	0.0061	0.0139	2.29	0.0061	0.0139	2.29	0.0056	0.0130	2.31

## Σύγκριση τύπων ΚΑΝΕΠΕ με πειραματικά αποτελέσματα 6/6

## ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ 4 – 5 – 1



ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ