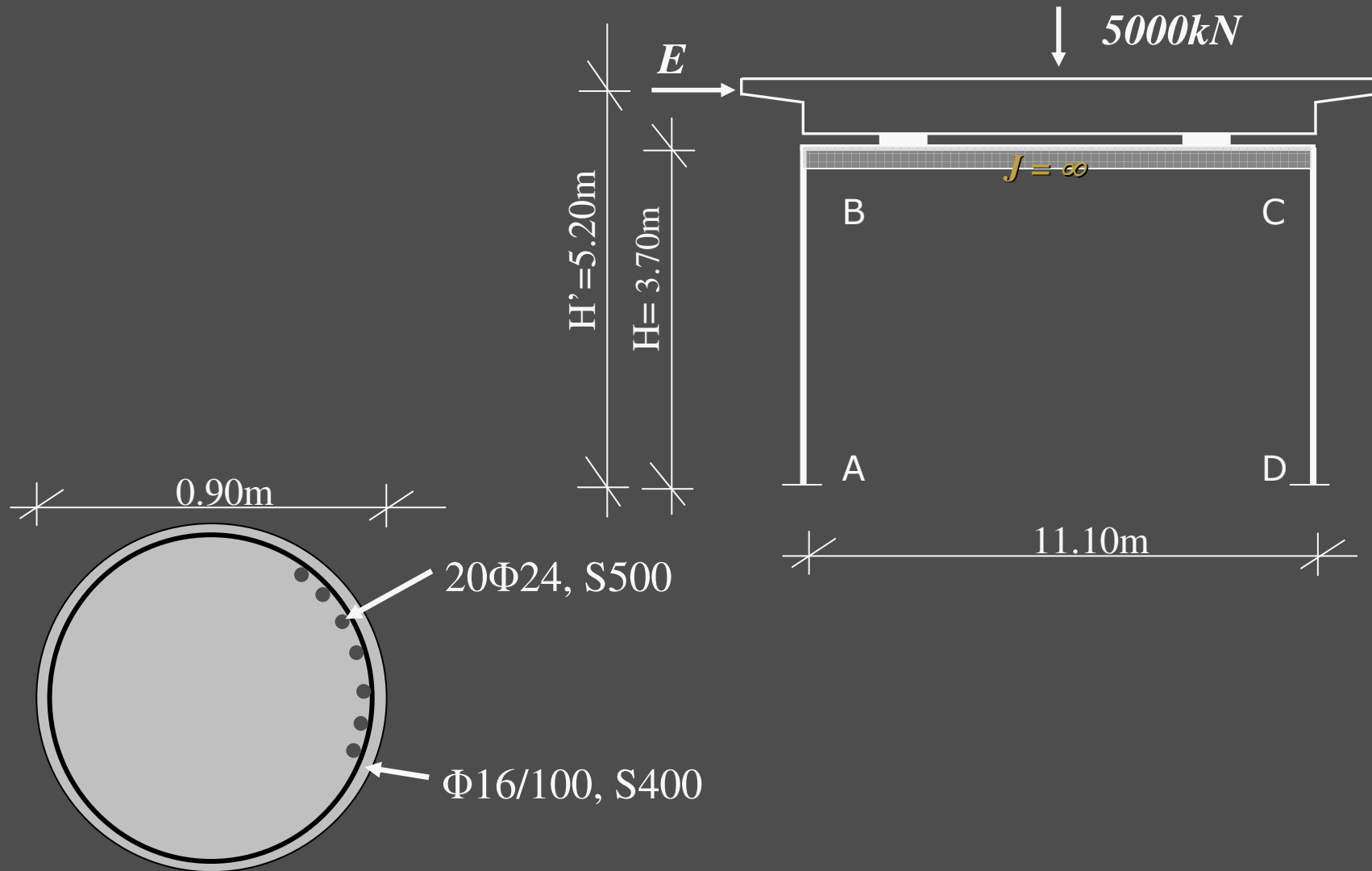


Παράδειγμα της στατικής ανελαστικής μεθόδου (Pushover)

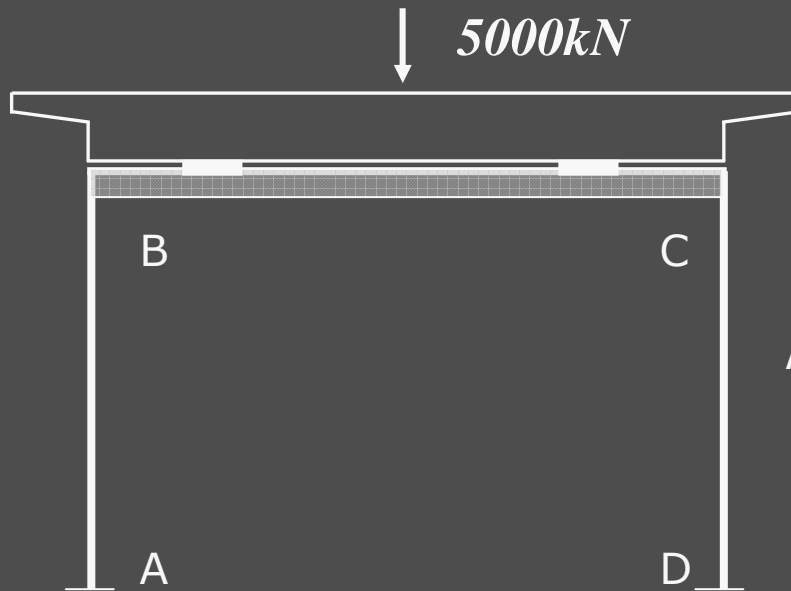
..... (10NL)
fespa
Performance Pushover Analysis

..... (10EC)
fespa
E u r o c o d e s

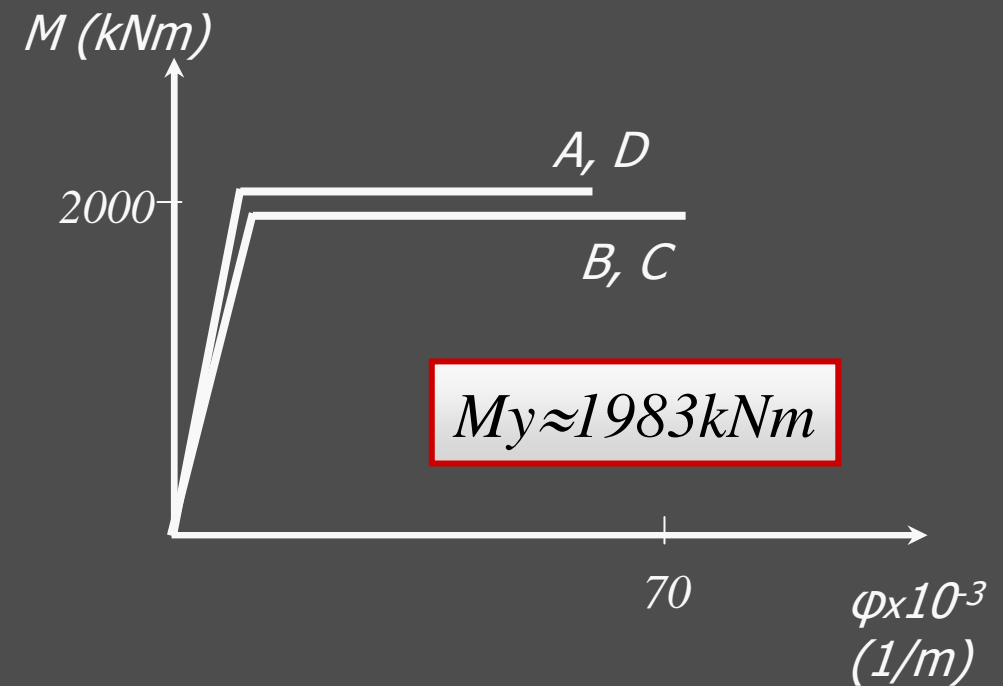
Το πλαίσιο



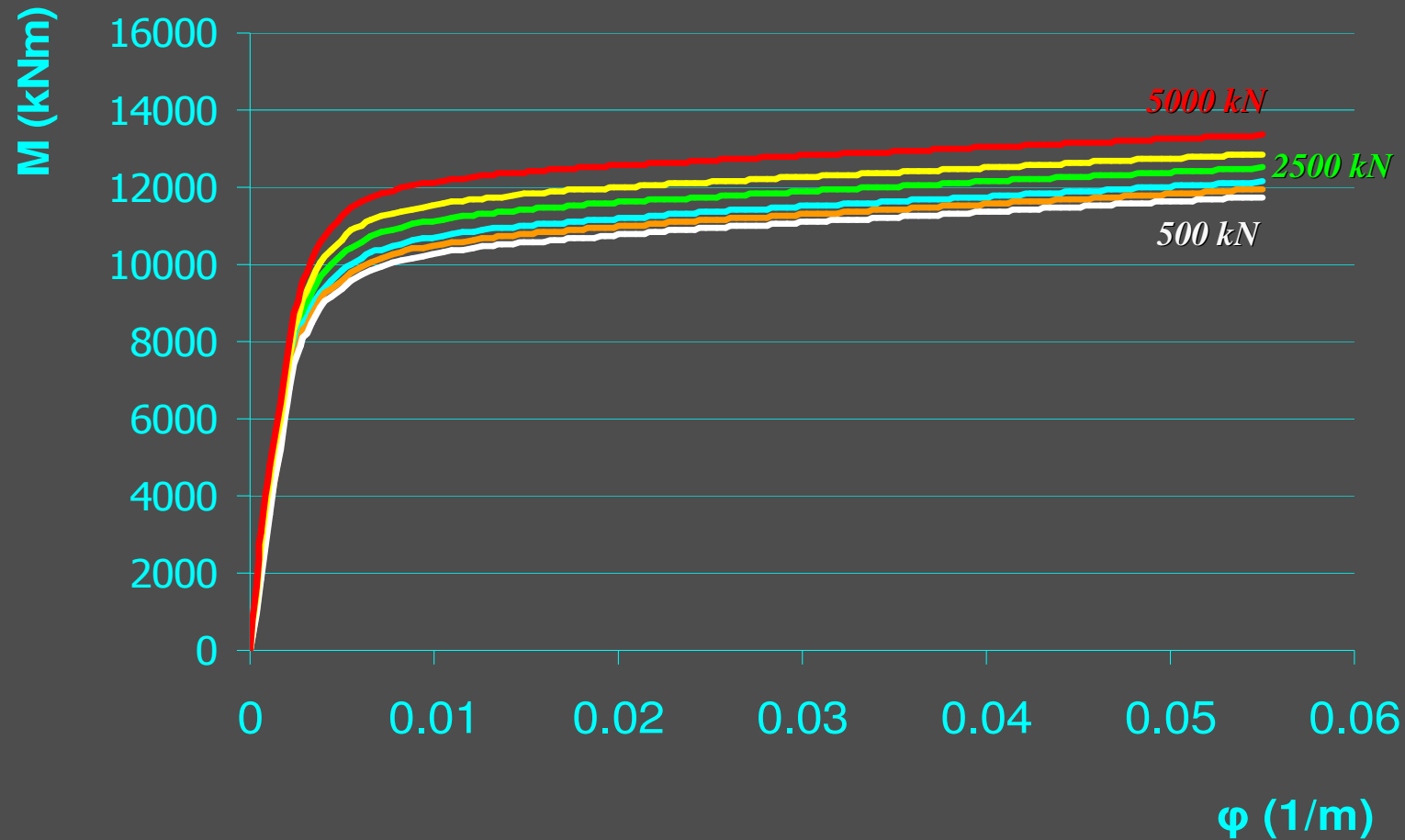
Διαγράμματα M-φ



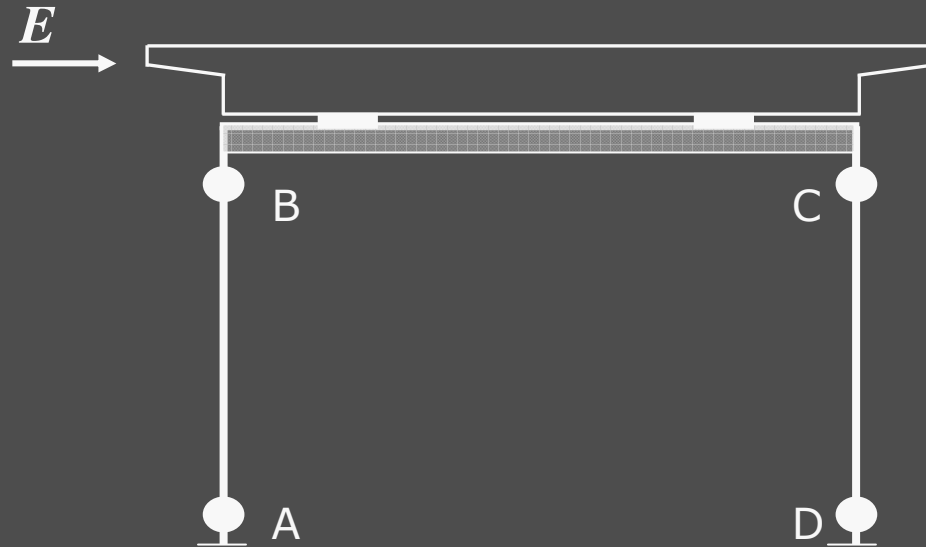
Αξονικές δυνάμεις
B, C: 2500kN
A, D: 2560kN



Επιρροή αξονικής δύναμης στα διαγράμματα Μ-φ



Μέγιστη σεισμική δύναμη E



$$E_{\max} = \frac{2M_y + 2M_y}{H} = \frac{4 \times 1983}{3.7} = 2143.8 \text{ kN}$$

Νέες αξονικές δυνάμεις στις διατομές

Αλλαγή στην αξονική δύναμη λόγω της οριζόντιας δύναμης E

$$\Delta N = \pm \frac{E_{\max} \cdot H'}{2L} = \pm \frac{2143.8 \times 5.2}{2 \times 11.1} = \pm 502.2 \text{ kN}$$

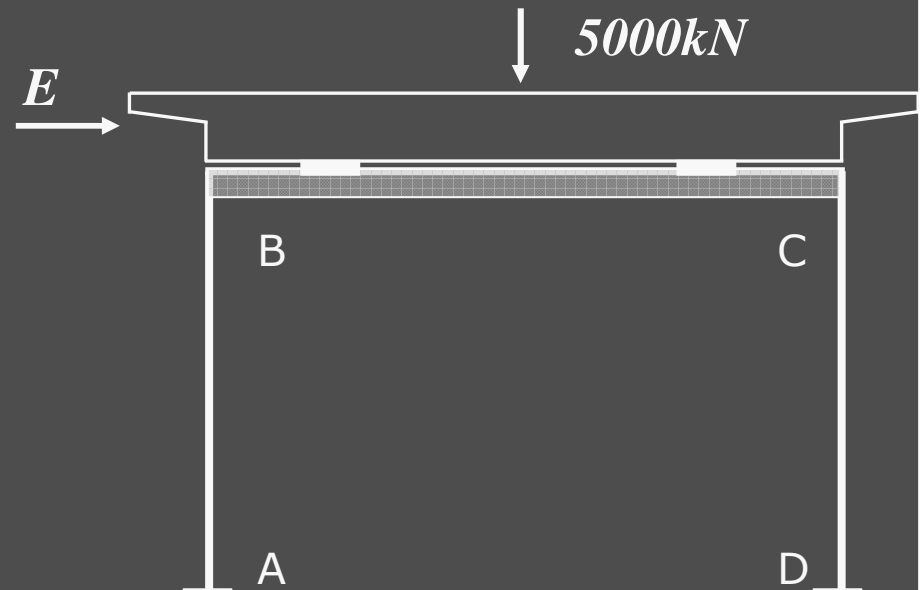
Νέες αξονικές δυνάμεις στις διατομές

$$N_A = 2560 - 502.2 = 2057.8 \text{ kN}$$

$$N_B = 2500 - 502.2 = 1997.8 \text{ kN}$$

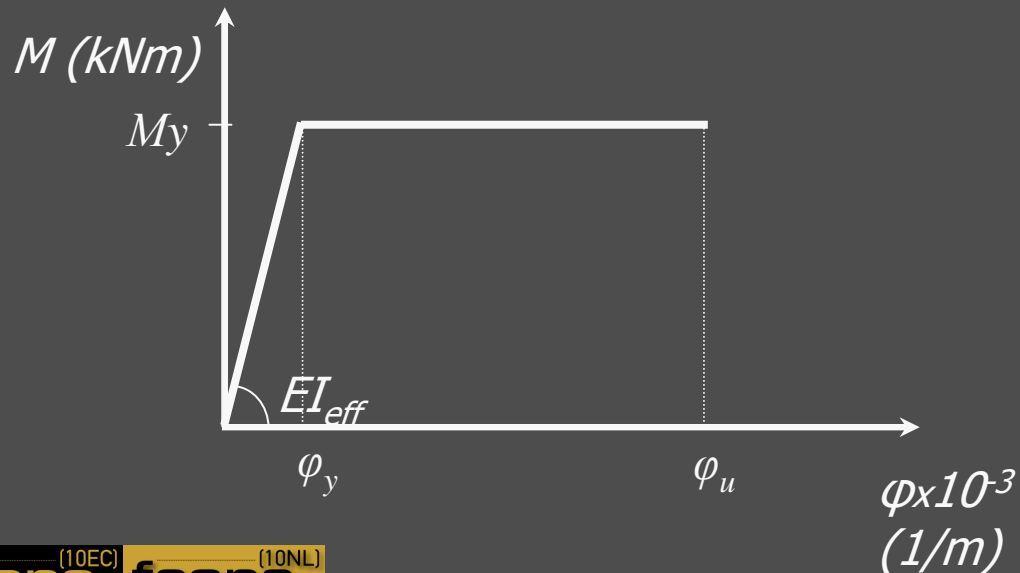
$$N_C = 2500 + 502.2 = 3002.2 \text{ kN}$$

$$N_D = 2560 + 502.2 = 3062.2 \text{ kN}$$

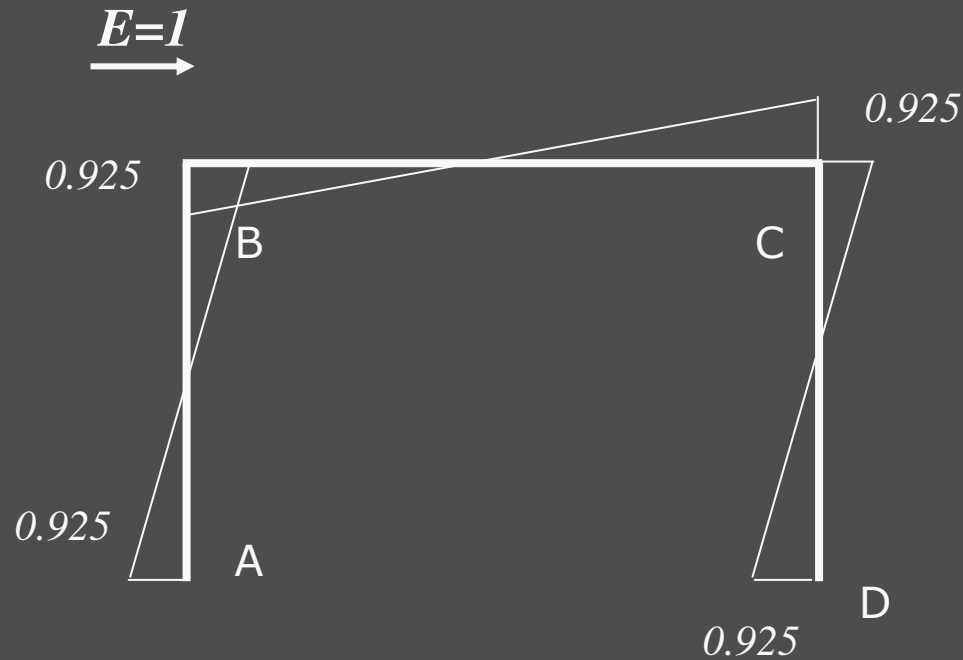


Νέα διαγράμματα M-φ των διατομών

Διατομή	N (kN)	$\varphi_y \times 10^{-3}$ (1/m)	$\varphi_u \times 10^{-3}$ (1/m)	M_y (kNm)	EI_{eff} $\times 10^5$ (kNm ²)
A	2057.8	5.931	77.46	1903	3.21
B	1997.8	5.952	78.19	1893	3.18
C	3002.2	5.524	66.20	2073	3.74
D	3062.2	5.485	65.80	2081	3.78



Βήμα 1ο



Διατομή	M_y (KNm)
A	1903
B	1893
C	2073
D	2081

$$S_1 = \frac{1893}{0.925} = 2046.5$$

$$E_1 = 1 \times 2046.5 = 2046.5 \text{ KN}$$

$$\Delta_1 = \frac{E_1}{K_{eff1}} = 0.012 \text{ m} = 12 \text{ mm}$$

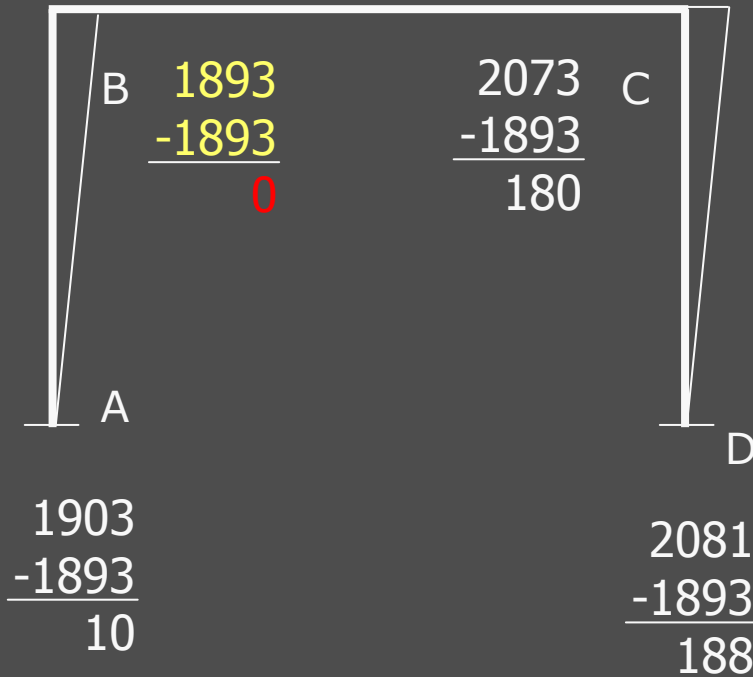
\Rightarrow Πλαστική Άρθρωση στο B

$$K_{eff1} = \frac{12EI_{effA,B}}{H^3} + \frac{12EI_{effC,D}}{H^3} = 164768 \text{ KN / m}$$

Βήμα 1ο

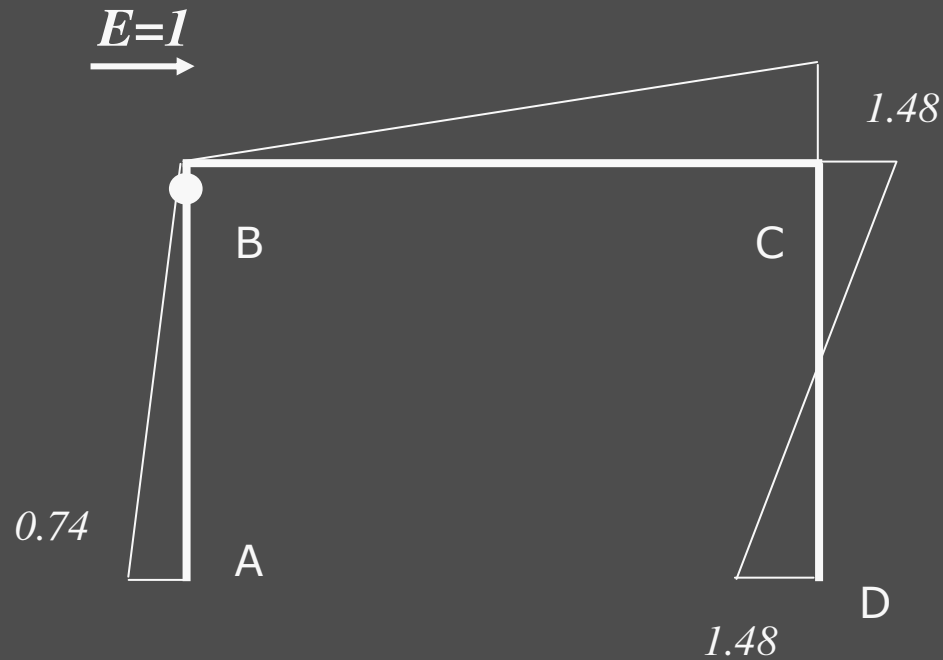
$E=2046.5kN$
→

$\Delta_l=12mm$
++



Διατομή	M_y (kNm)	M απομεν.
A	1903	10
B	1893	0
C	2073	180
D	2081	188

Βήμα 2ο



Διατομή	M_y (KNm)	M απομεν.
A	1903	10
B	1893	0
C	2073	180
D	2081	188

$$S_2 = \frac{10}{0.74} = 13.51$$

$$E_2 = 1 \times 13.51 = 13.51 \text{ KN}$$

$$\Delta_2 = \frac{E_2}{K_{eff 2}} = 0.0001 \text{ m} = 0.1 \text{ mm}$$

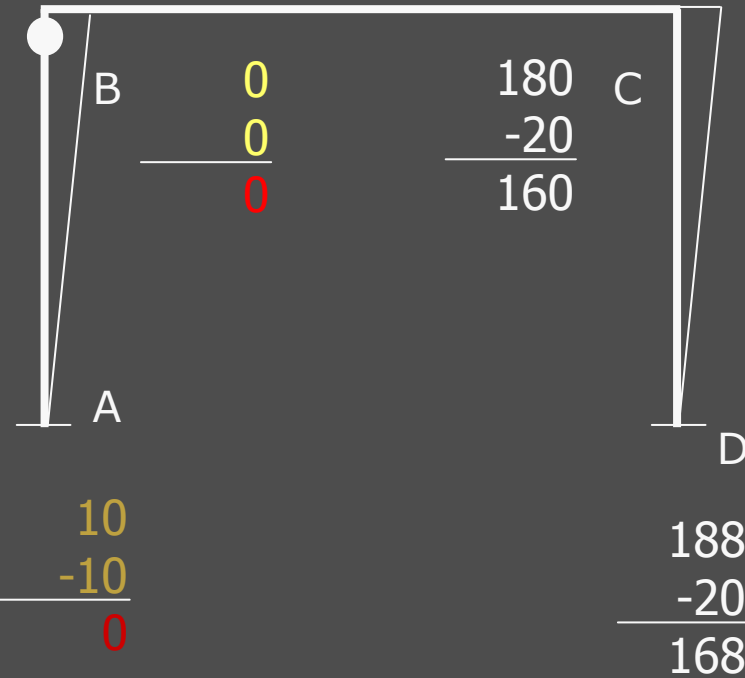
=> Πλαστική Άρθρωση στο A

$$K_{eff 2} = \frac{3EI_{eff A,B}}{H^3} + \frac{12EI_{eff C,D}}{H^3} = 108000 \text{ KN/m}$$

Βήμα 2ο

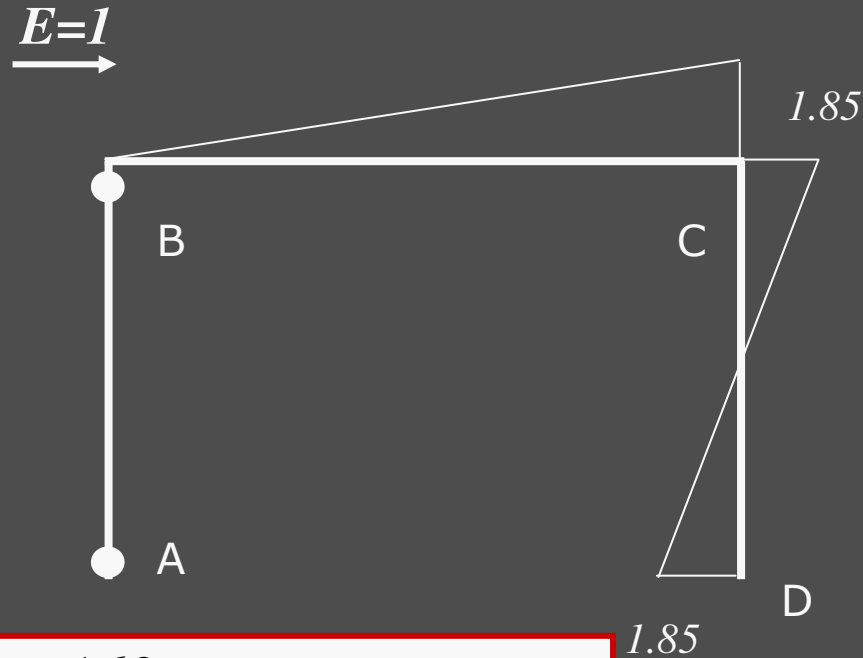
$E=13.51kN$

$\Delta_2 = 0.1mm$



Διατομή	M_y (kNm)	M απομεν.
A	1903	0
B	1893	0
C	2073	160
D	2081	168

Βήμα 3ο



Διατομή	M_y (KNm)	M απομεν.
A	1903	0
B	1893	0
C	2073	160
D	2081	168

$$S_3 = \frac{160}{1.85} = 86.5$$

$$E_3 = 1 \times 86.5 = 86.5 \text{ KN}$$

$$\Delta_3 = \frac{E_3}{K_{eff3}} = 0.001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$$

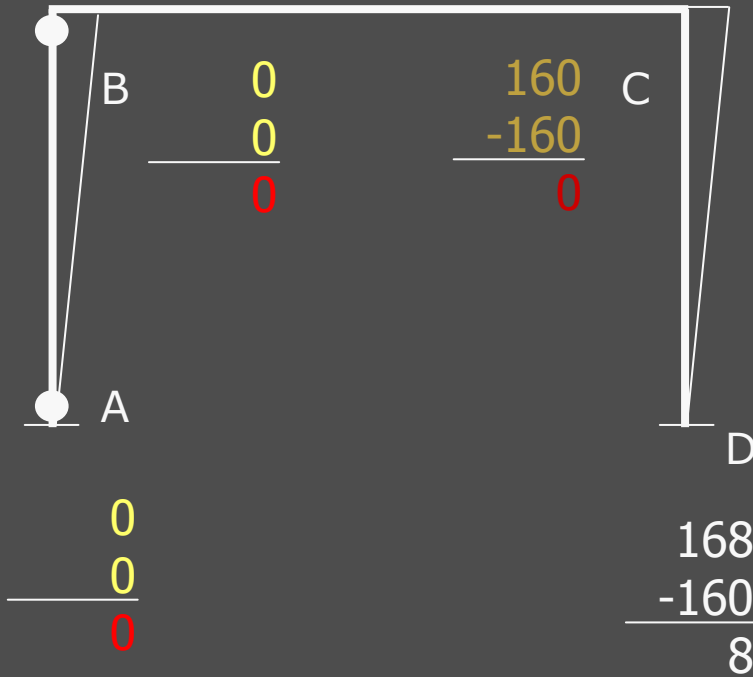
=> Πλαστική Άρθρωση στο C

$$K_{eff3} = \frac{12EI_{effC,D}}{H^3} = 89077 \text{ KN / m}$$

Βήμα 3ο

$E=86.5kN$
→

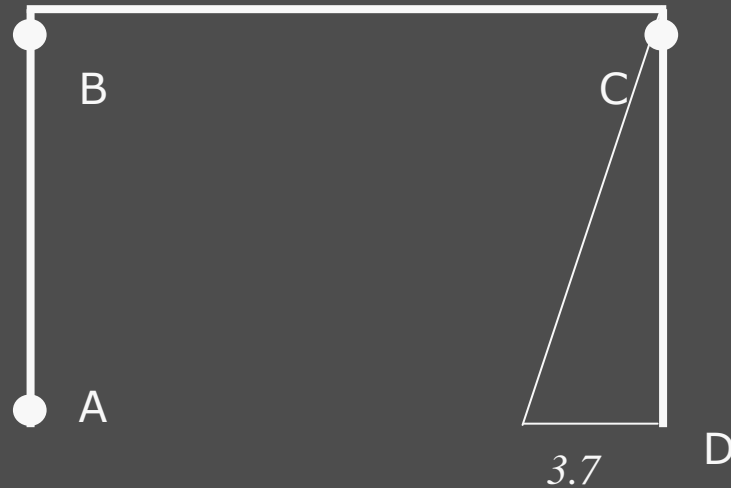
$\Delta_3 = 1mm$
++



Διατομή	M_y (kNm)	M απομεν.
A	1903	0
B	1893	0
C	2073	0
D	2081	8

Βήμα 4ο

$E=1$
→



Διατομή	M_y (KNm)	M απομεν.
A	1903	0
B	1893	0
C	2073	0
D	2081	8

$$S_4 = \frac{8}{3.7} = 2.2$$

$$E_4 = 1 \times 2.2 = 2.2 \text{ KN}$$

$$\Delta_4 = \frac{E_4}{K_{eff 4}} = 0.0001 \text{ m} = 0.1 \text{ mm}$$

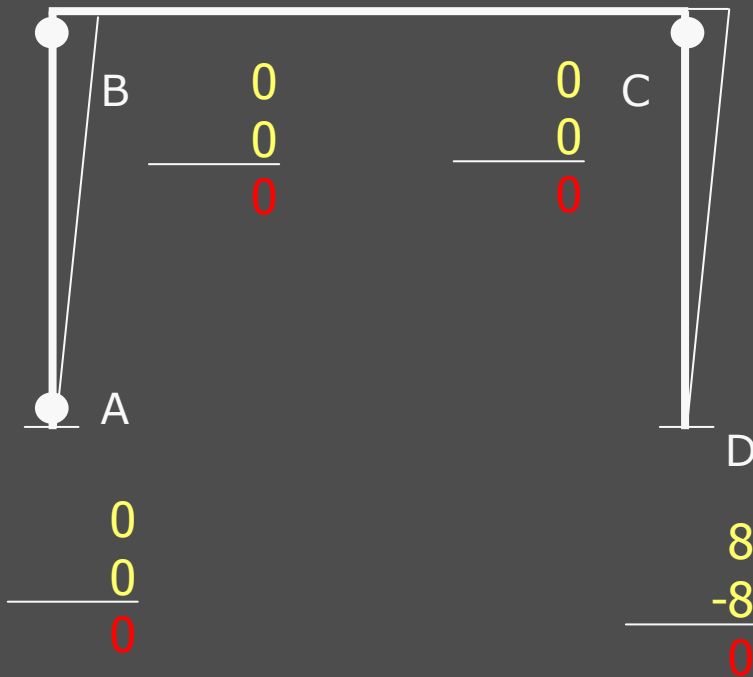
⇒ Πλαστική Άρθρωση στο D
⇒ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ

$$K_{eff 4} = \frac{3EI_{eff C,D}}{H^3} = 22269 \text{ KN / m}$$

Βήμα 4ο

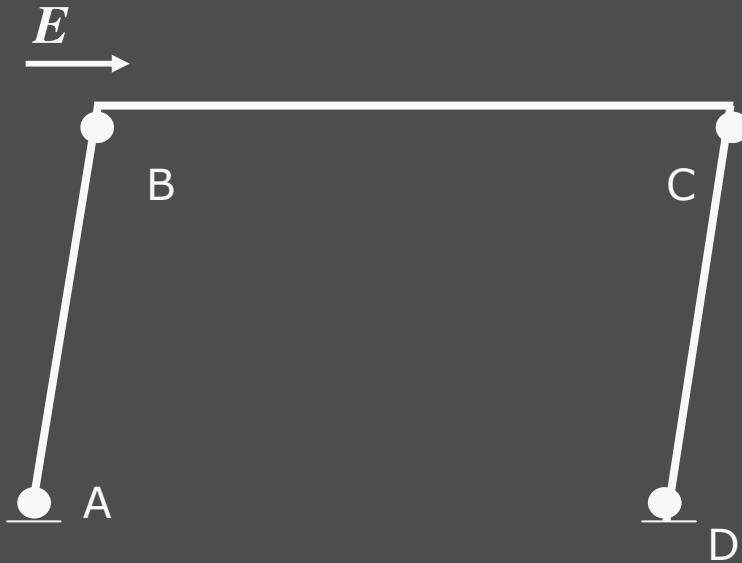
$E=2.2kN$
→

$\Delta_4 = 0.1mm$
++



Διατομή	M_y (kNm)	M απομεν.
A	1903	0
B	1893	0
C	2073	0
D	2081	0

Βήμα 5ο



⇒ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ

⇒ Κατάρρευση όταν
 $\theta = \theta_p$

Πλαστική ικανότητα σε στροφή των π.α.

$$\theta_p = L_p (\phi_u - \phi_y)$$

$$L_p = 0.08L + 0.022 f_y \cdot d_{bl} \geq 0.044 f_y \cdot d_{bl}$$

$$\Rightarrow L_p = 0.54m \geq 0.48m$$

$$\theta_{pA} = 0.0386$$

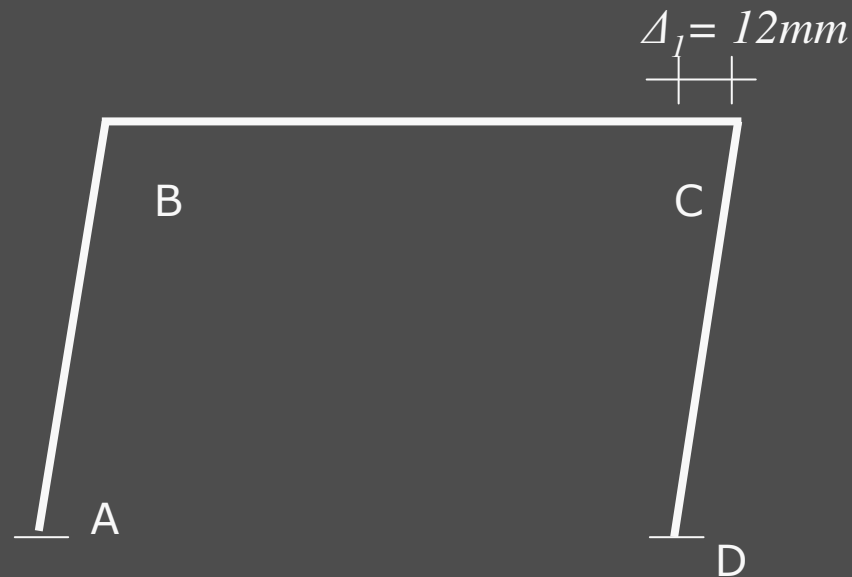
$$\theta_{pB} = 0.0390$$

$$\theta_{pC} = 0.0328$$

$$\theta_{pD} = 0.0326$$

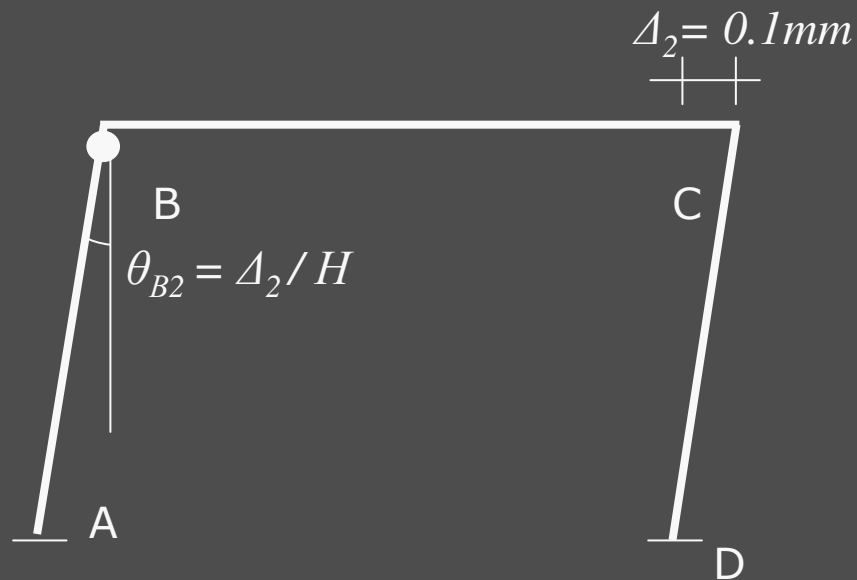
Πλαστικές στροφές – βήμα 1ο

1^ο βήμα: ελαστικές μετατοπίσεις



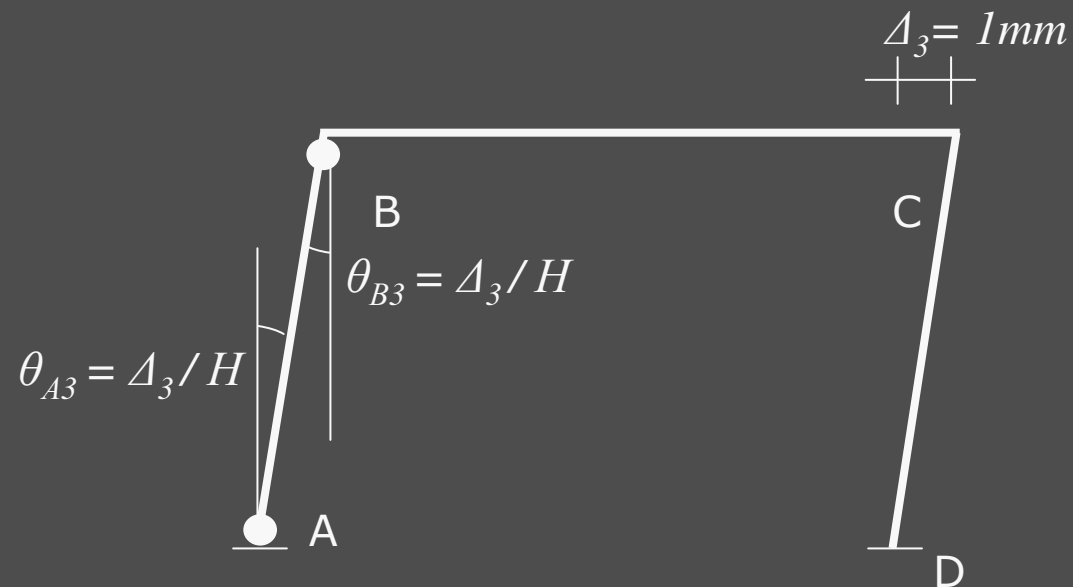
Πλαστικές στροφές – βήμα 2ο

2^ο βήμα: $\Delta_2 = 0.1 \text{ mm}$ - $\Delta_2/H = 2.7 \times 10^{-5}$ (για B)



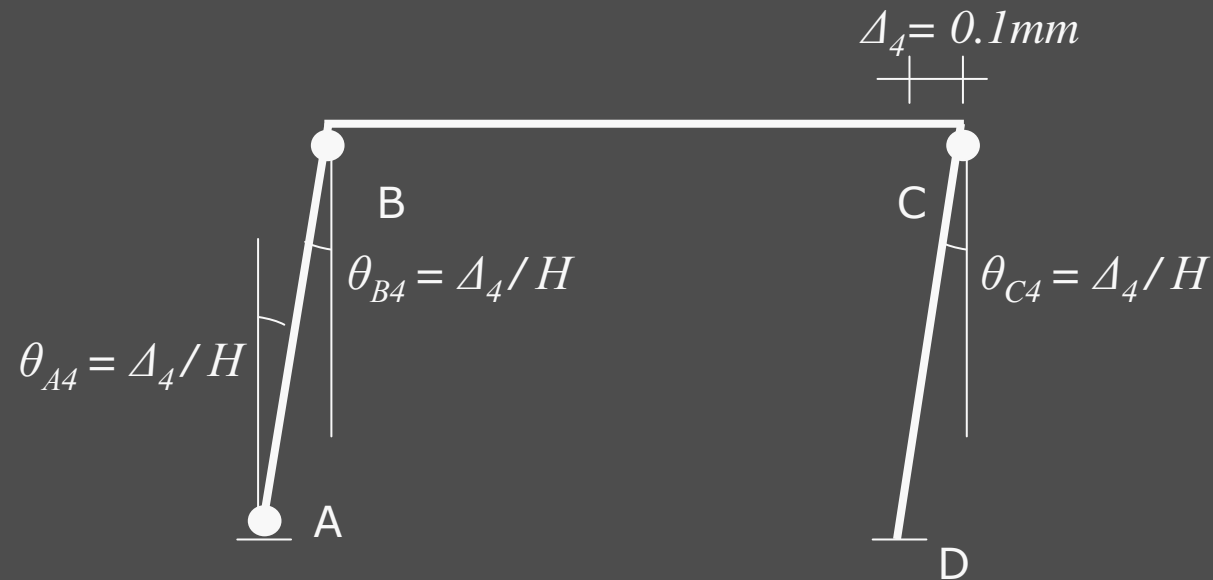
Πλαστικές στροφές – βήμα 3ο

3^ο βήμα: $\Delta_3 = 1 \text{ mm}$ - $\Delta_3/H = 2.7 \times 10^{-4}$ (για A, B)



Πλαστικές στροφές - βήμα 4ο

4^ο βήμα: $\Delta_4 = 0.1 \text{ mm}$ - $\Delta_4/H = 2.7 \times 10^{-5}$ (για A, B, C)



Παραμένουσα αντοχή σε στροφή

παραμένουσα αντοχή σε στροφή *μετά το 4ο βήμα*

$$✓ \theta_{pA,rem} = \theta_{pA} - (\theta_{A3} + \theta_{A4})$$

$$✓ \theta_{pB,rem} = \theta_{pB} - (\theta_{B2} + \theta_{B3} + \theta_{B4})$$

$$✓ \theta_{pC,rem} = \theta_{pC} - \theta_{C4}$$

$$✓ \theta_{pD,rem} = \theta_{pD}$$

Παραμένουσα αντοχή σε στροφή

παραμένουσα αντοχή σε στροφή μετά το 4ο βήμα

$$\checkmark \theta_{pA,rem} = \theta_{pA} - (2.7 \times 10^{-5} + 2.7 \times 10^{-4}) = \underline{0.0384}$$

$$\checkmark \theta_{pB,rem} = \theta_{pB} - (2.7 \times 10^{-5} + 2.7 \times 10^{-4} + 2.7 \times 10^{-5}) = \underline{0.0386}$$

$$\checkmark \theta_{pC,rem} = \theta_{pC} - 2.7 \times 10^{-5} = \underline{0.0328}$$

$$\checkmark \theta_{pD,rem} = \theta_{pD} = \underline{0.0326}$$

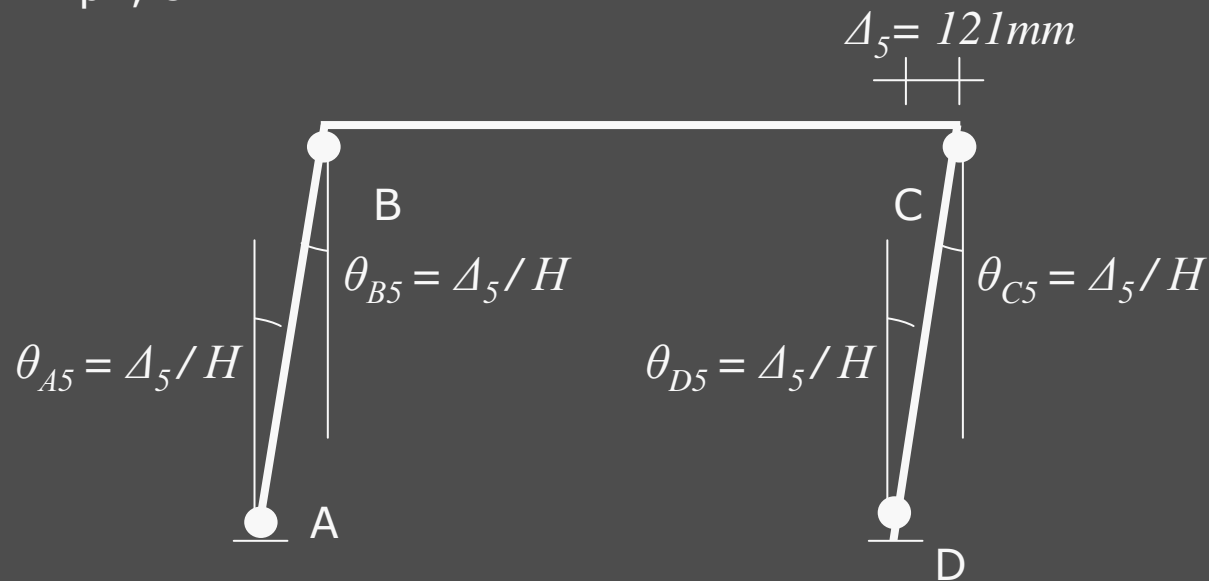
=> κρίσιμη διατομή είναι η D

[μικρότερη εναπομένουσα αντοχή σε στροφή]

Συνολική αντοχή φορέα

Η μετατόπιση Δ_5 που εξαντλεί αυτή την ικανότητα είναι

$$\Delta_5 = \theta_{pD,rem} \times H = 121\text{mm}$$



Συνολική αντοχή φορέα

Η αντοχή σε μετατόπιση πριν την κατάρρευση είναι:

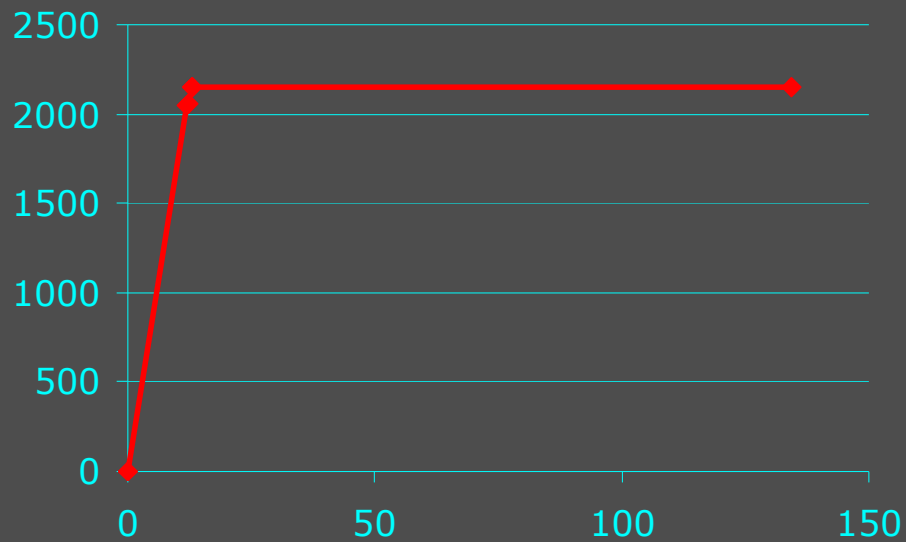
$$\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 = 134.2\text{mm}$$

Η δύναμη που απαιτείται είναι:

$$E_{ολ} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = 2148.71 \text{ kN}$$

Καμπύλη ικανότητας - pushover

Διατομή	Δύναμη	Μετατόπιση
Βήμα 1ο	2046.5 kN	12 mm
Βήμα 2ο	13.51 kN	0.1 mm
Βήμα 3ο	86.5 kN	1 mm
Βήμα 4ο	2.2 kN	0.1 mm
Βήμα 5ο	0 kN	121 mm



Τέλος