

ΑΣΤΟΧΙΑ ΑΠΟ

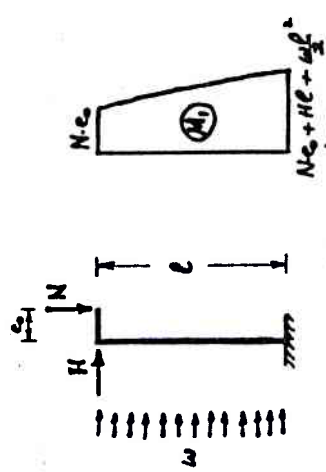
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΦΟΡΕΩΝ Ω.Σ.

(ΔΥΓΙΣΜΟΣ)

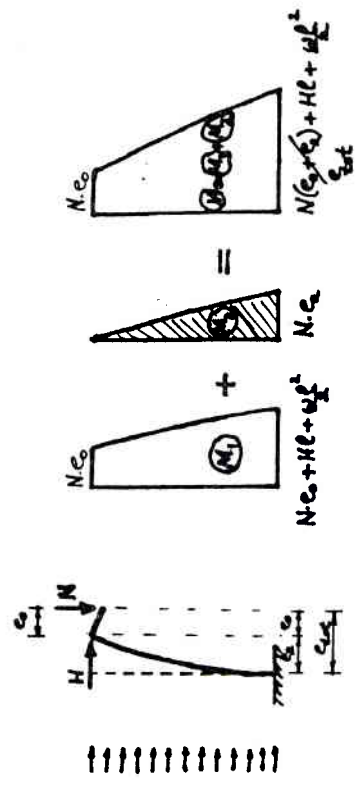
Π. Γιαννόπουλος

Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Περιγραφή του Προβλήματος του "Λυγισμού"



Στατική της ελφείας
(αποτελεί η επιρροή παραμορφώσεων του φορέα στην έλφεία).



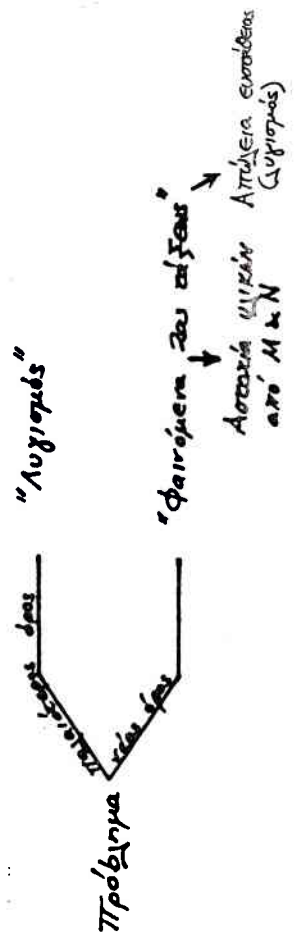
Στατική της ελφείας
Λαμβάνεται υπόψη η επιρροή παραμορφώσεων του φορέα στην έλφεία.

$M > M_1$

παγκύβλιος φορέας που παραμορφώνεται
πλήρως (στατική της ελφείας)

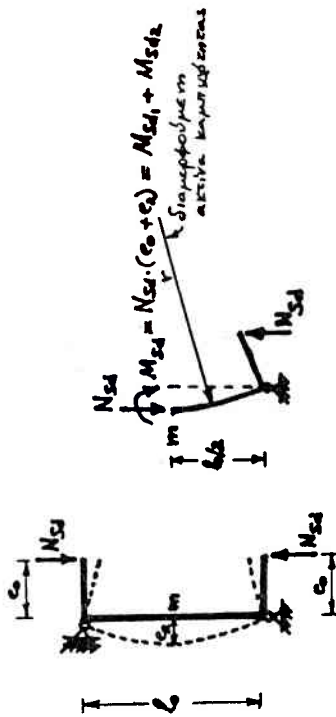
- Σε οριστικά εύκαμπτους φορείς η παραμόρφωση φαινόμενη της ελφείας μπορεί να οδηγήσει σε ουσιαστικό μέγιστο σφάλμα σχεδιασμού.

Πρόκειται απλά και ξεκάθαρα για ένα ΣΦΑΜΜΑ υπολογισμού και τίποτα άλλο, που μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία των υλικών από κάμψη (M) με ορθή έλφειση (N). Δεν πρόκειται για "λυγισμό".



Χρειάζεται λοιπόν η ορθή εκτίμηση της ροπής έλφείας M_{Sd} σε έντονα ελιδόμενα στοιχεία, λαμβάνοντας υπόψη την πρόσθετη εκκεντρότητα που εισάγεται λόγω του βέλους κάμψης του φορέα, και την σύγκριση της με την ροπή αντοχής M_{Rd} :

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$



$$M_{SD} = N_{SD} \cdot (e_0 + e_2) = M_{SD1} + M_{SD2}$$

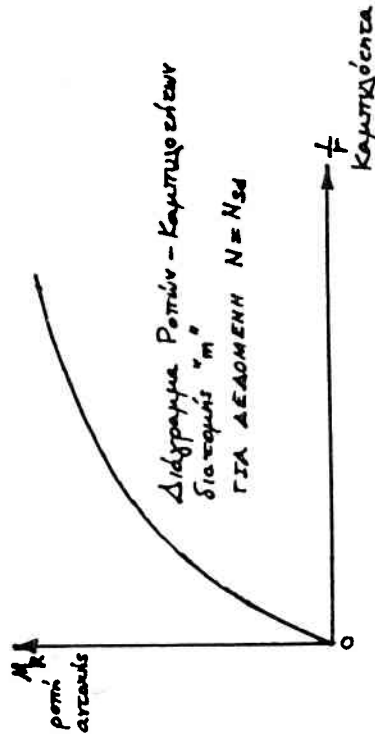
διαμορφούμενη
ακτίνα καμπυλότητας

- Κρίσιμη (ή πιο εντατική) διατομή για έλεγχο η "m":
Για να υπάρχει ασφάλεια, πρέπει

$$M_{SD} = N_{SD} (e_0 + e_2) \leq M_{RD}$$

πονή
αξιοσύστατος-ανταξί
σε εδραίωση

- Η πονή ανταξί M_{RD} επισφραγίζεται, ανάλογα με την διαμορφούμενη καμπυλότητα ή την κρίσιμη διατομή "m":



- Στην ανισότητα $M_{SD} = M_{SD1} + M_{SD2} = N_{SD} (e_0 + e_2) \leq M_{RD}$ άγνωστα τα e_2 και M_{RD} (ή f) $\rightarrow e_2, \frac{f}{l}$

Αλλά e_2 είναι συνάρτηση του $\frac{f}{l}$, δηλ. $e_2 = f(\frac{f}{l})$, που εξαρτάται από την μορφή της γραμμής κάμψης του φορέα.

π.χ. για ημικυκλική γραμμή κάμψης

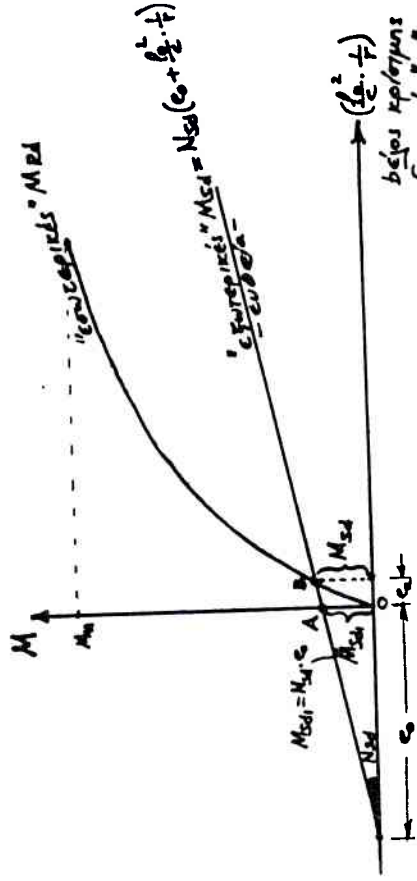
$$e_2 = \frac{l^2}{8} \cdot \frac{f}{l} = \frac{l^2}{8} \cdot \frac{f}{l}$$

για κυκλική γραμμή κάμψης

$$e_2 = \frac{l^2}{8} \cdot \frac{f}{l}$$

Άρα $e_2 = \frac{l^2}{8} \cdot \frac{f}{l}$ όπου $c \approx 8-10$

$$M_{SD} = M_{SD1} + M_{SD2} = N_{SD} (e_0 + e_2) \approx N_{SD} (e_0 + \frac{l^2}{8} \cdot \frac{f}{l})$$



Άρα κατεβήκαμε να παραστήσουμε στο ίδιο διάγραμμα αμφότερες τις "αντιμαχόμενες" ροπές M_{RD} και M_{SD} . Και τώρα μπορούμε να τις συγκρίνουμε για να δούμε αν διαδέχεται ασφάλεια:

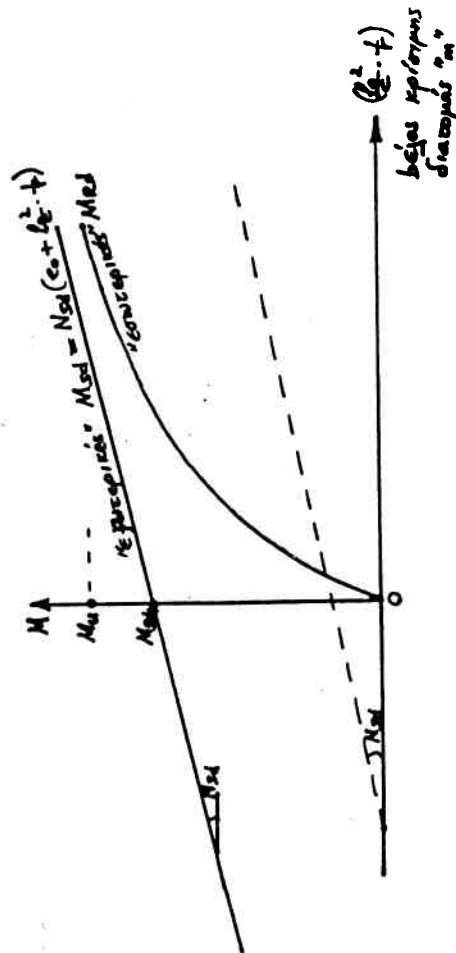
Η ερώτηση εξωτερικών ροπών ΤΕΛΕΣΕΙ την καμπύλη των εσωτερικών ροπών, δηλαδή:

1) Σημείο A: επιβιβάζει της ροπής ως εκτός $M_{SD1} < M_{RD}$

φ. AB: παραμόρφωση του φορέα με αύξηση των εφέδ. φορτίων M_{sd} και είναι $M_{sd} > M_{rd}$ γι' αυτό και η παραμόρφωση συνεχίζεται μέχρι το σημείο B.

3). Σημείο B: Στιγμή που $M_{sd} = M_{rd}$
 Πραγματική εφέδ. φορτί $M_{sd} >$ φαινή φορτί M_{sd}
 Η παραμόρφωση σταματάει, αφού αναδίδονται
 αύξηση της καμπυλότητας δε επηρεάζουμε
 $M_{rd} > M_{sd}$, πράγμα που σημαίνει ότι ΔΕΝ
 μπορεί να μεγαλώσουν άλλο οι παραμορφώσεις.

Άρα ΥΠΑΡΧΕΙ ασφάλεια



Για κάποια μεγάλωση ενώ της φαινής εκτετατότητας e_0 , η εφέδ M_{sd} δεν τέμνει την καμπύλη M_{rd} , δηλ. παντού $M_{sd} > M_{rd}$, οπότε ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ασφάλεια.

● Εάν είχαμε φτάσει τα φαινόμενα των τσιγγών θα δουλεύαμε με την δυνάμει φορτί M_{sd} στην παραμόρφωση φορέα, και θα λέγαμε

Οριακή Κατάσταση Αποχίας από "Μυχισμό"

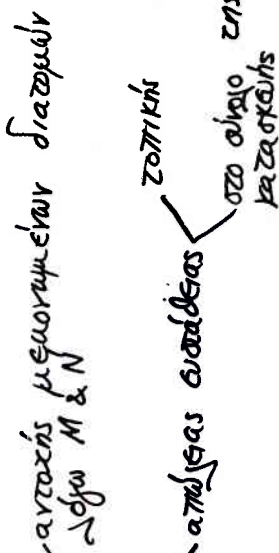
- Εξέταση επιρροής παραμορφώσεων 2ας τάξεως στην ενταξική κατάσταση

→ πιθανή σημαντική μείωση φέρουσας ικανότητας εντάξεων κατασκευών ή μελών

- Επειδή $M_2 \leq 0.10 M_1$ φαινόμενα 2ας τάξεως αγνοούνται

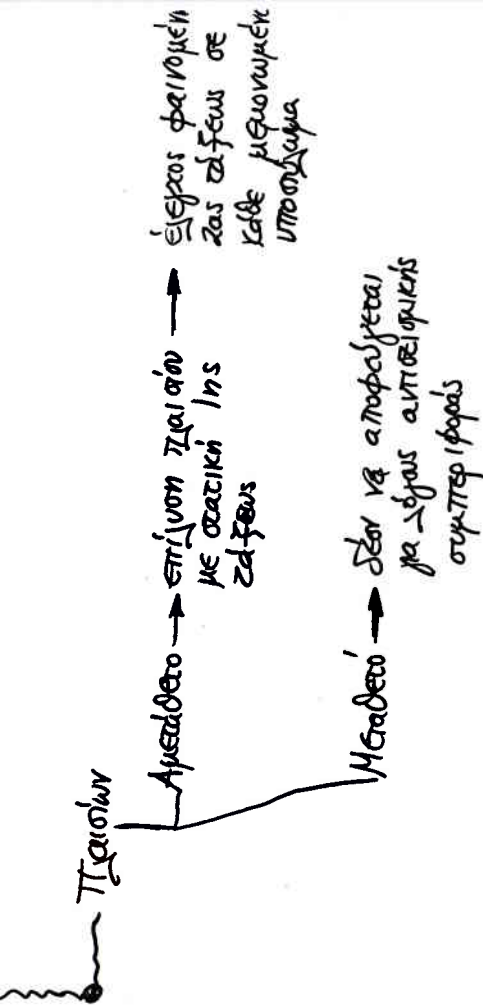
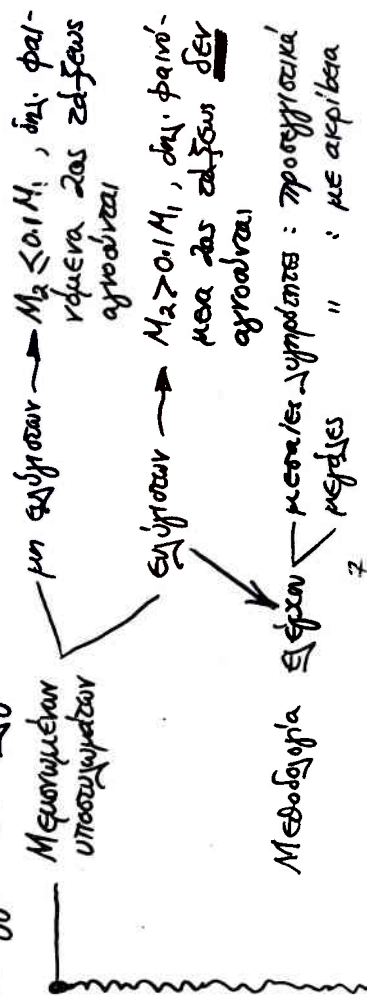
Διαδικασία Ελέγχου

- Έλεγχος προς κάθε κατεύθυνση για τους max συνδυασμούς δράσεων



- Ακριβής έλεγχος → επίλυση προβλήματος με στατική 2ας τάξεως → έλεγχος διατομών σε μέγιστη ορθή εντάξεως ($M+N$)

Προσεγγιστικοί έλεγχοι:



ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Λυγρότητα

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

όπου

$$\lambda_{max} = 200$$

Δεν αντιστάζει $\lambda > 140$

l_0 = ισοδύναμο μήκος (παράτοξα "μήκος λυγισμού")

i = ακτίνα αδρανείας κατά την εξεταζόμενη διεύθυνση

$$= \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = h/\sqrt{12} \text{ για ορθογωνικές διατομές}$$

$d/4$ για κυκλικές διατομές

Μέθοδοι Υπολογισμού Μεμονωμένων Υποστυλωμάτων

$$\max(25, \frac{15}{\sqrt{P_d}})$$

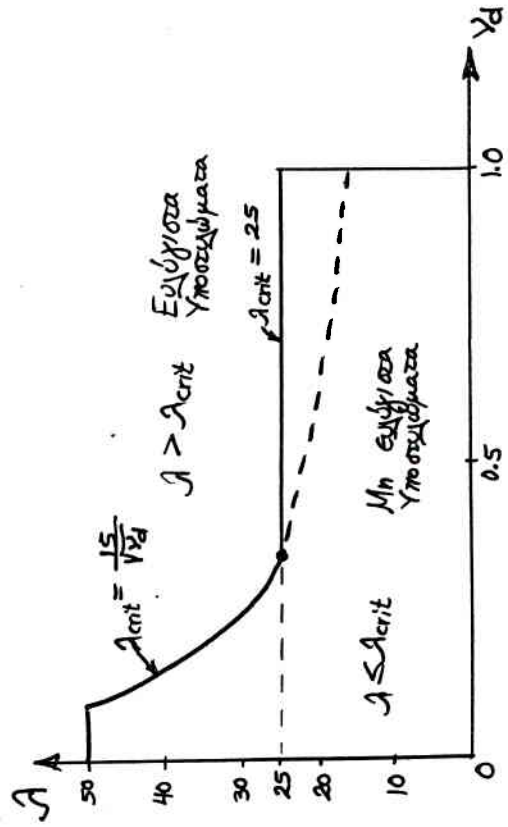
$$\frac{25}{\gamma_d}$$

Μη ευλύγιστο
Αγνοούνται φαινόμενα
2ης τάξεως

Ευλύγιστο
Επιτρέπονται απλοποιημένες
μέθοδοι ελέγχου
π.χ. Μέθοδος Προσώπου

Προς Ευλύγιστο
Πρέπει να γίνει έλεγχος
με ακριβείς μεθόδους

Υποστυλώματος ή όλης

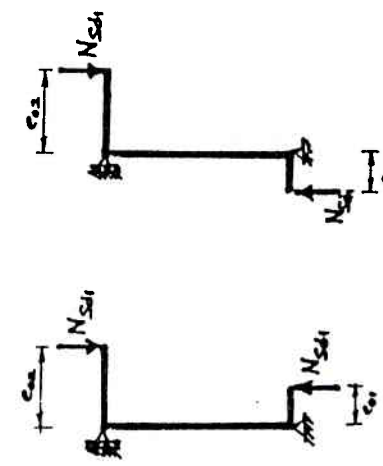
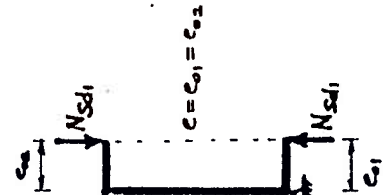
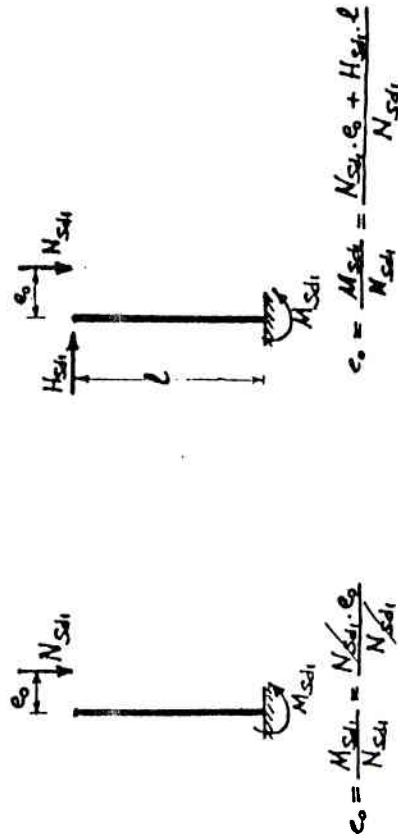


Εκκενρώσεις Υπολογισμού Μεμονωμένων Υποστυλωμάτων

$$e_{tot} = e_0 + e_1 + e_2$$

↑ ολική εκκενρότητα
↑ εκκενρότητα 1ης τάξεως
↑ εκκενρότητα 2ης τάξεως

↑ εκκενρότητα προέλευσης εκκενρότητας



↑ 1ης εκκενρώσεως
↑ 2ης εκκενρώσεως
 $e_0 = e_1 = e_2$

↑ 1ης εκκενρώσεως
↑ 2ης εκκενρώσεως
↑ 3ης εκκενρώσεως
↑ 4ης εκκενρώσεως
↑ 5ης εκκενρώσεως
↑ 6ης εκκενρώσεως
↑ 7ης εκκενρώσεως
↑ 8ης εκκενρώσεως
↑ 9ης εκκενρώσεως
↑ 10ης εκκενρώσεως

Πρόσθετη Εκκενρότητα Μεμονωμένων Υποστηγμάτων

Για την κλίση διαφόρων αερίων και αβεβαιότητων που δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μια πρόσθετη εκκενρότητα:

$$e_2 = a \cdot \frac{l_0}{2}$$

a = απόκλιση υποστ. από κατακόρυφο

l_0 = 100δύναμο μήκος σε [m]

l = πραγματικό "



$$a = \frac{1}{100 \sqrt{l_0}}$$

$a \geq \frac{1}{200}$ όταν τα φαινόμενα της αξίας δεν είναι αμελητέα

$$\geq \frac{1}{400}$$

" " " " " " " " " " " "

Σύμφωνα με άλλους κανονισμούς

CEB: $e_2 = \frac{d}{30} \pm 20 \text{ mm}$

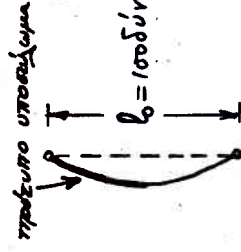
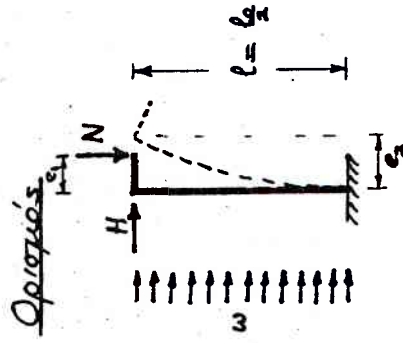
DIN 1045: $e_2 = 5k/300$

ACI: $e_2 \geq 0.10d$

Παραδείγματα αερίων και αβεβαιότητων

- αβεβαιότητα ως προς το σημείο εφαρμογής και τη διεύθυνση της αφοκικής δύναμης.
- αποκλίσεις των ελαστοπλαστικών κ.β. της διατομής
- προσεγγιστικό τρόπο υπολογισμού του ερπυσμού
- κατασκευαστικές αερίσεις

Μέθοδος Προτύπου Υποστηγμάτων



"Πρότυπο υποστέγνμα":

- Πάκτωση βάσης, ελεύθερη κορυφή
- Κάμψη από κατακόρυφα (κεντρικά ή εκκεντρα) φορτία
- οριζόντια (σημιακά ή κατανεμημένα) φορτία
- Πρακτικά σταθερές διαστάσεις διατομής
- Το βέλος e_2 κορυφής και καμπυλότητα f βάσης:
- Όρια ισχύος της μεθόδου:

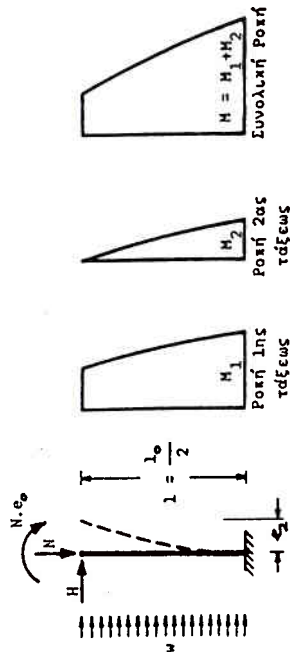
$$e_2 = k_1 \frac{l_0^2}{10} \cdot \frac{1}{f} = 40.4 \cdot l_0^2 \cdot \frac{1}{f}$$

$$\text{για } 15 \leq \lambda \leq 35 \rightarrow k_1 = \frac{\lambda - 0.75}{20} \rightarrow k_1 = 1$$

$$\lambda \leq 140 \quad \text{και} \quad \lambda \sqrt{\mu} \leq 75$$

και ορθογωνικές & κυλινδρικές διατομές με $e_0 \geq 0.1h$

Εφαρμογές του Προτύπου Υποστυλώματος



Φορτία και Ρομές άσκαύμενα από πρότυπο υποστυλόμε

$$M = M_1 + M_2$$

όπου

M_1 = συνολικά ασκούμενη ροπή M στη βάση του υποστυλώματος

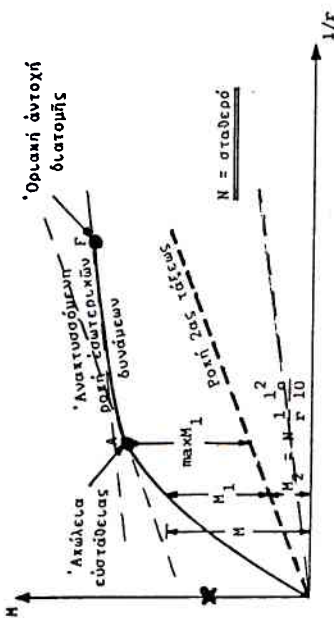
M_1 = ροπή της τάξεως στη βάση του υποστυλώματος λόγω εφωσπερικών φορτίων
($= N \cdot e_0 + H \cdot l + \frac{w l^2}{2}$ για το παραπάνω σχήμα)

M_2 = ροπή της τάξεως στη βάση του υποστυλώματος, λόγω η συμπληρωματική ροπή των αξονικών συνθλιμνών λόγω του βέλους κάμψης του υποστυλώματος
($= N \cdot e_2$)

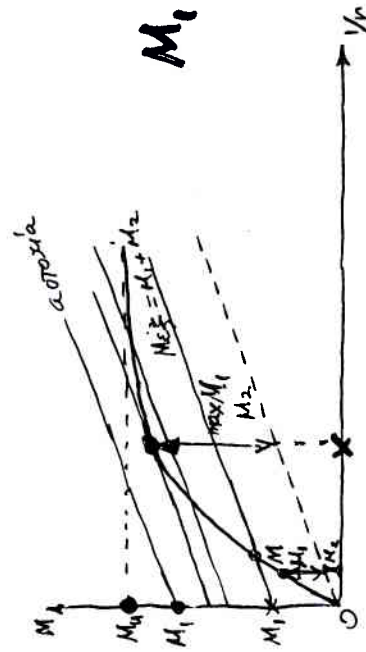
Σκοπός της Μεθόδου του Προτύπου Υποστ.

- Ο προσδιορισμός της μέγιστης εφωσπερικής ροπής της τάξεως ($\max M_1$) που μπορεί να αναλάβει το υποστυλόμε, για δεδομένα:
 - γεωμετρία διατομής
 - σπλινο
 - ιδιότητες υλικών
 - αξονικό φορτίο στην κορυφή

$$\left. \begin{aligned} e_2 &= \frac{l^2}{10} \cdot \frac{1}{r} \\ M &= M_1 + M_2 \\ M_2 &= N \cdot e_2 \end{aligned} \right\} \quad M_1 = M - \underbrace{\left(N \cdot \frac{l^2}{10} \right) \cdot \frac{1}{r}}_{\text{σταθερό}} = M_2$$



Διάγραμμα ροπών — καμπυλοτήτων. Προσδιορισμός της μέγιστης ροπής της τάξεως ($\max M_1$)



$$M_1 \leq \max M_1$$

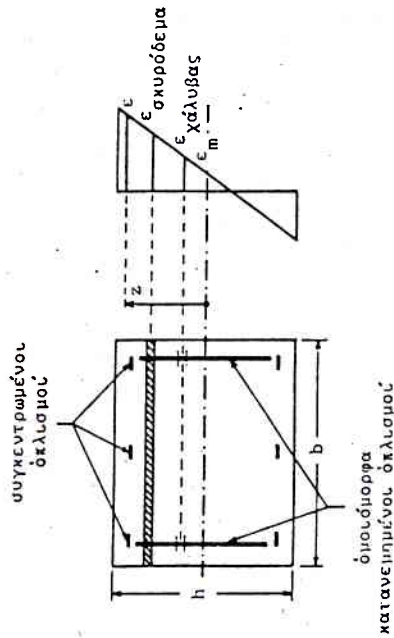
Υπολογισμός Διαγραμμάτων M - V , M_2 , M_1 , $\max M_1$

Δίνεται: Γεωμετρία, Οπλισμοί, Ιδιότητες υλικών, N



Μέθοδος Λωρίδων

1). Υποδιαίρεση διατομής σε λωρίδες



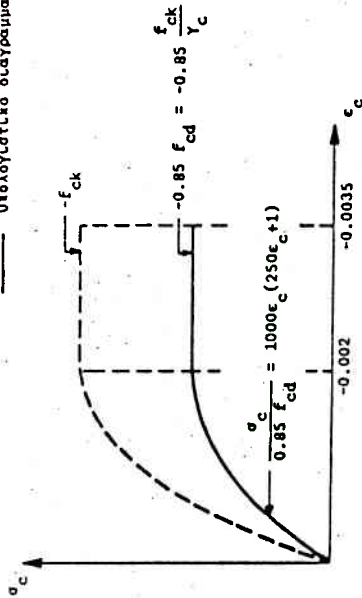
Υποδιαίρεση διατομής σε λωρίδες

2). Εξέλιξη μιας τιμής f ($= \frac{\epsilon_m - \epsilon}{z}$), δηλ. κλίσεως διαγράμματος ως ε καδύως της διατομής.

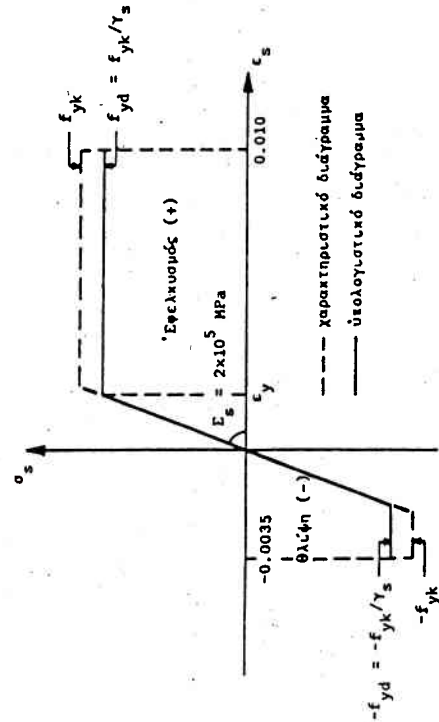
3). Δοκιμή θέσεως ουδέτερου άξονα (ή ϵ_m) και εύρεσης ισορροπίας άξονικού φορτίου

$$N = (\sum \sigma \Delta A)_{\sigma \kappa \rho \upsilon \delta \epsilon \tau \eta \mu \alpha} + (\sum \sigma \Delta A)_{\chi \acute{\alpha} \lambda \upsilon \beta \alpha \varsigma}$$

--- χαρακτηριστικό διάγραμμα
— υπολογιστικό διάγραμμα



Διάγραμμα τάσεων - μηκώνσεων σκυροδέματος σέ θλίψη

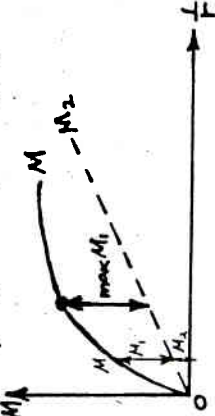


Διάγραμμα τάσεων - μηκώνσεων χάλυβα σέ έφελκυσμό/θλίψη

4). Υπολογισμός των $M_1 = (\sum \sigma \Delta A)_{\sigma \kappa \rho \upsilon \delta \epsilon \tau \eta \mu \alpha} + (\sum \sigma \Delta A)_{\chi \acute{\alpha} \lambda \upsilon \beta \alpha \varsigma}$

$$M_2 = \left(\frac{N \rho_o}{10} \right) \cdot \frac{1}{f}$$

5). Προσδιορισμός $\max M_1$



Μεταβιβάσεις Πινάκων Λυγορού ΕΜΠ

1) Απαιτημένο αφορικό φορτίο σχεδιασμού $\gamma_d = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}}$ (0 → 1.9)
στην κορυφή του υποσελιδώματος

2) Μέγιστη επιμη. εφω. ροπή σχεδιασμού $\max \mu_{1d} = \frac{\max M_{1d}}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$
1ης τάξεως στη βάση του υποσελ.

3) Συνολικό μηχανικό ποσοστό οπλισμού $\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot} \cdot f_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}}$ (0 → 1.6)

4) Λόγος $\frac{f_c}{h}$ (0 → 40 για ορθογωνικές, 0 → 35 για κυλινδρικές)

• Όταν στους πίνακες δεν υπάρχουν τιμές της $\max \mu_{1d}$ τότε $\leftarrow$ αδύνατη η εξιστική ευσαθένα $\left. \begin{matrix} \text{!} \\ \text{ή εμφάνιση αντακί ερωί ή και δύο υπερέν} \end{matrix} \right\} \text{ΠΡΟΣΟΧΗ}$

• Πρώτο κομμάτι πινάκων: αντακί σε κέρμη ($l_0/h = 0$).

Είδη Προβλημάτων

• Εξέτος σε υπ'ομό

πρόβλημα 1: $\begin{cases} \text{Δίνεται: } \gamma_d, \omega_{te}, \frac{f_c}{h} \\ \text{Ζητείται: } \max \mu_{1d} \end{cases}$

πρόβλημα 2: $\begin{cases} \text{Δίνεται: } \mu_{1d}, \omega_{te}, \frac{f_c}{h} \\ \text{Ζητείται: } \gamma_d \text{ (ώστε } \mu_{1d} = \max \mu_{1d}) \end{cases}$

• Εξέτος σε σκός

πρόβλημα 3: $\begin{cases} \text{Δίνεται: } \mu_{1d}, \gamma_d, \omega_{te} \\ \text{Ζητείται: } \frac{f_c}{h} \text{ (ώστε } \mu_{1d} = \max \mu_{1d}) \end{cases}$

πρόβλημα 4: $\begin{cases} \text{Δίνεται: } \mu_{1d}, \gamma_d, \frac{f_c}{h} \\ \text{Ζητείται: } \omega_{te} \text{ (ώστε } \mu_{1d} = \max \mu_{1d}) \end{cases}$

[illegible]

WELTIN ANFANGEN EDELPICH POH EXALATION MAXID =

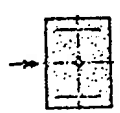
[illegible]

WELTAM ANKMENTH E:QTEPIKH POOH EXALAIYNGY Maxipid =

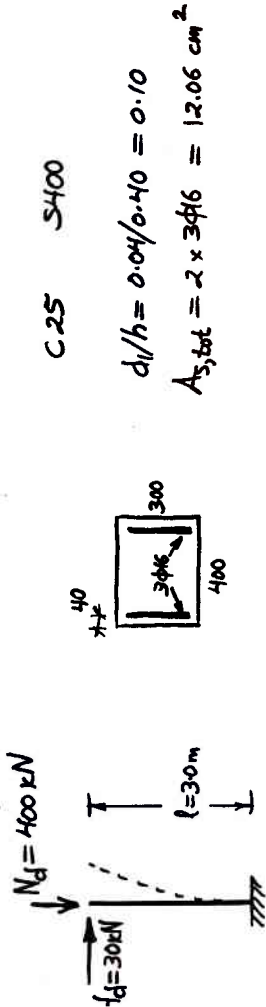


$$\begin{aligned} v_d &= N_d / (A_c f_{cd}) \\ \max_{1d} &= \max M_{1d} / (A_c h_{1cd}) \\ w_{101} &= A_{s101} f_{yd} / (A_c f_{cd}) \end{aligned}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{2}{1} A_{s101}$$



Παράδειγμα Ελέγχου Σε Φαινόμενα 2ας Ταξείας



C25 S400

$$d_1/h = 0.04/0.40 = 0.10$$

$$A_{s, tot} = 2 \times 3\phi 16 = 12.06 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_d = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-400}{0.30 \times 0.40 \times 25000/1.50} = -0.20$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{l_0}{h/\sqrt{12}} = \frac{600}{40/\sqrt{12}} = 52 < \max\left(25, \frac{l_0}{\gamma_d}\right) = 33.5$$

$$< \frac{75}{\sqrt{\gamma_d}} = 167.7$$

δηλ το υποσώμα είναι ευθύγραμμο & επιτρέπει να χρησιμοποιηθεί η χρήση της μεθόδου του προσώπου υποσώματος

$$l_0/h = 2 \times 3.00/0.40 = 15$$

$$\omega_{tot} = \frac{A_{s, tot}}{A_c} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{12.06}{1200} \cdot \frac{400/1.15}{25/1.50} = 0.21$$

Πίνακες λυγισμών

$$\text{για } \omega_{tot} = 0.2 \quad \max \mu_d = 0.129$$

$$= 0.4$$

$$\therefore \text{για } \omega_{tot} = 0.21 \rightarrow \max \mu_d = 0.129 + \frac{0.21 - 0.20}{0.4 - 0.2} (0.206 - 0.129) = 0.133$$

Πρόσθετη εκκέντρωση $e_a = a \cdot l_0/2 = \frac{1}{200} \cdot \frac{600}{2} = 0.015 \text{ m}$

αφού $a = \frac{1/100 \sqrt{e}}{100 \sqrt{e}} = \frac{1}{245} \geq \frac{1}{200} \therefore a = \frac{1}{200} \text{ rad}$

$$\therefore \text{Εξέτ. } M_{1d} = H_d \cdot l + N_d \cdot e_a = 30 \times 3.0 + 400 \times 0.015 = 96 \text{ kNm}$$

$$\mu_d = \frac{M_{1d}}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{96}{0.12 \times 0.40 \times 25000/1.50} = 0.120 < \max \mu_d = 0.133$$

Άρα, δεν υπάρχει κίνδυνος από τα φαινόμενα 2ας τάξεως.

2) Με την αντιστοιχημένη μέθοδο ισορροπίας του Bondh-μαρος (π. 14.2.)

$$\left. \begin{aligned} V_d &= -0.20 \\ \omega_{tot} &= 0.21 \\ \frac{d_1}{h} &= 0.1 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\frac{\delta/4e}{\alpha \lambda / \epsilon_{ys}} \rightarrow \gamma_{rd} = 0.16 \Rightarrow M_{rd} = 0.16 \cdot 0.3 \cdot 0.4^2 \cdot \frac{25 \cdot 10^3}{1.5} = \\ &(\text{νερογρή μετάνω ευκ.}) = 128 \text{ kNm} \end{aligned}$$

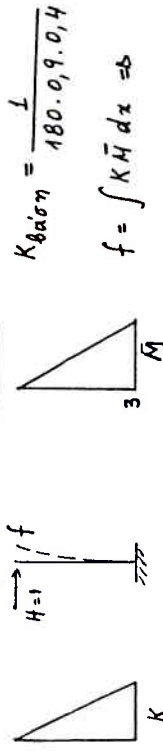
Ενεργός αναγωγή

$$(π. 14.3) (EI)_d = 180 \cdot 0.9 \cdot 0.4 \cdot 128 = 8294 \text{ kNm}^2$$

$$= 180 \cdot d \cdot M_{rd}$$

$$(π. 14.4) M_{sd, II} = M_{sd, I} \cdot \frac{1}{1 - \frac{400 \cdot 6^2}{40 \cdot 8294} \left(\frac{M_{sd, I} \cdot l_0^2}{10 (EI)_d} \right)} = 1.21 M_{sd, I} = 1.21 \cdot 98 = 119 \text{ kNm} < 128 \text{ kNm}$$

3) Με τη θεωρία 2ας τάξεως



$$f = \frac{1}{3} \frac{1}{180 \cdot 0.9 \cdot 0.4} \cdot 3 \cdot 3 = \frac{1}{21.6} \text{ m}$$

Ποπή βάσης: $M_{sd, II} = M_{sd, I} + N \cdot f = 98 + \frac{400}{21.6} = 117 \text{ kNm} < 128 \text{ kNm}$

Παράδειγμα Σχεδιασμού

Για το ίδιο υποσύστημα όπως το προηγούμενο, αλλά με $b/h = 25$ αυτή τη φορά, να βρεθεί τι απαιτείται χροσάξεσαι για αποφυγή κινδύνου από φαινόμενα 2ας τάξεως.

$$\gamma_d = -0.20 \quad \mu_d = 0.120 \quad b/h = 25 \quad d_1/h = 0.10$$

πράξεις για $\omega_{\text{tot}} = 0.2 \rightarrow \max \mu_d = 0.099$

$$= 0.4 \rightarrow = 0.135$$

$$\therefore \text{για } \mu_d = \max \mu_d = 0.120$$

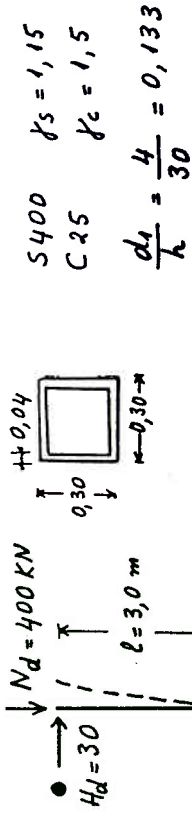
$$\omega_{\text{tot}} = 0.2 + \left(\frac{0.120 - 0.099}{0.135 - 0.099} \right) \times 0.2 = 0.255$$

$$\therefore A_{s, \text{tot}} = \omega_{\text{tot}} \cdot A_c \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.255 \times 1200 \times \frac{25/1.50}{400/1.15} = 14.7 \text{ cm}^2$$

$$\therefore 2 \times 3\phi 18 (= 15.3 \text{ cm}^2)$$

Αξίζει να σημειωθεί, ότι εάν τα φαινόμενα 2ας τάξεως δεν γυμνάζονται υπόψη ($b/h = 0$), τότε θα προέκυπτε

$$A_{s, \text{tot}} = 11.4 \text{ cm}^2$$



$$M_{1d} = 98 \text{ kNm (όπως προηγούμενος)}$$

Να βρεθεί ο απαιτούμενος αριθμός για αποφυγή κινδύνου συρρίκνωσης.

$$\text{ΠΙΝΑΚΑΣ 19 (} d_1/h = 0.15 \text{)} \quad \frac{l_0}{h} = \frac{2 \times 300}{30} = 20$$

$$V_d = \frac{-400}{0.3 \cdot 0.3 \cdot 25 \cdot 10^3 / 1.5} = 0.267$$

$$\mu_{1d} = \frac{98}{93^2 \times 25 \cdot 10^3 / 1.5} = 0.218$$

	V_d	
	-0.20	-0.267
0.6	0.183	0.177
ω_{tot} 0.771	←	0.218
0.8	0.233	0.225
		0.221

$$\omega_{\text{tot}} = 0.771 \Rightarrow A_{s, \text{tot}} = 0.771 \times 30 \times 30 \times \frac{25/1.5}{400/1.15} = 33.25 \text{ cm}^2$$

$$\text{η.χ. } 8\phi 24 = 36.2 \text{ cm}^2$$

$$\text{ή } 16\phi 16 = 32.2 \text{ cm}^2$$

Για $b/h = 0$ (χωρίς συρρίκνωση) $\rightarrow \omega_{\text{tot}} = 0.494$ $A_{s, \text{tot}} = 56\%$ του οπλισμού $\rightarrow$ όχι υγιεινό.

Παράδειγμα ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΚΑΜΨΗ

- Το ίδιο με το προηγούμενο αλλά: $H_{dx} = 15 \text{ KN}$
 $H_{dy} = 15 \text{ KN}$
 (διαξονική κάμψη)

$$\frac{l_0}{h} = 20$$

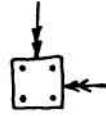
$$M_{1dx} = 15 \cdot 3 + 400 \cdot 0,02 = 53 \text{ KNm} = M_{1dy}$$

$$\mu_{1d} = \frac{53}{0,33 \cdot 25 \cdot 10^3 / 1,5} = 0,118 \quad \nu_d = -0,267$$

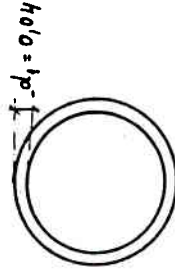
ΠΙΝΑΚΑΣ 43 ($d_x/h = 0,15$)

	ν_d	
	-0,20	-0,267
0,6	0,116	0,106
w_{tot} 0,669	←	0,118
0,8	0,151	0,141
		0,136

$$w_{tot} = 0,669 \Rightarrow A_{s,tot} = 28,85 \text{ cm}^2$$



- Το ίδιο με το προηγούμενο αλλά: κυκλική διατομή



$$s_{400} \quad f_s = 1,15$$

$$c_{25} \quad f_c = 1,50$$

$$\frac{d_1}{h} = \frac{0,04}{0,35} = 0,114, \quad \frac{l_0}{h} = \frac{2 \times 3,0}{0,35} = 17,1$$

$$M_{1d} = 30 \times 3,0 + 400 \times 0,02 = 98 \text{ KNm}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 30 ($d_1/h = 0,10$)

$$\nu_d = \frac{-400}{\frac{\pi \cdot 0,35^2 \cdot 25000}{4} \cdot 1,5} = 0,25, \quad \mu_{1d} = \frac{98}{\frac{\pi \cdot 0,35^2 \cdot 25000}{4} \cdot 1,5} = 0,175$$

$l_0/h = 15$	ν_d	$l_0/h = 20$	ν_d
	-20	-25	-30
0,4	0,137	0,135	0,134
w_{tot} 0,563	←	0,175	0,175
0,6	0,187	0,181	0,181
		0,8	0,213
			0,205
			0,196

$$l_0/h = 17,1 \Rightarrow w_{tot} = 0,611$$

$$A_{s,tot} = 0,611 \cdot \frac{\pi \cdot 35^2}{4} \cdot \frac{25/1,5}{400/1,15} = 28,2 \text{ cm}^2$$

π.χ. 6φ24
 ή 8φ22

Βελτισμημένη Μέθοδος Προτύπου Υποσυνιγώματος

$$c_2 = \frac{l_0^2}{\pi^2} \cdot \frac{1}{r} \approx \frac{l_0^2}{10} \cdot \frac{1}{r}$$



Αυτή η επίλυση είναι ακριβής με την παραδοχή ότι η ελαστική γραμμή (γραμμή κάμψης) είναι ημιτονοειδής.

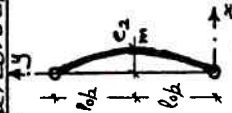
Ημιτονοειδής γραμμή κάμψης:

$$y = c_2 \cdot \sin \frac{\pi x}{l_0}$$

$$\therefore \frac{1}{r} = \frac{d^2 y}{dx^2} = c_2 \cdot \left(\frac{\pi}{l_0}\right)^2 \cdot \sin \frac{\pi x}{l_0}$$

$$\text{για } y = \frac{l_0}{2} \Rightarrow \left(\frac{1}{r}\right)_m = c_2 \cdot \left(\frac{\pi}{l_0}\right)^2 \cdot 1$$

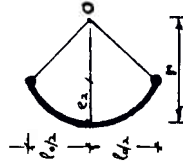
$$\therefore c_2 = \frac{l_0^2}{\pi^2} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_m \approx \frac{l_0^2}{10} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_m$$



$$(\pi^2 = 9.8696)$$

Γραμμή κάμψης τόξο κύκλου:

$$\begin{aligned} c_2 &= r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{l_0}{2}\right)^2} = r - r \sqrt{1 - \left(\frac{l_0}{2r}\right)^2} \\ &= r - r \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{l_0}{2r}\right)^2 + \dots \right] \\ &\approx r - r \left(1 - \frac{l_0^2}{8r^2} \right) \\ &\approx \frac{l_0^2}{8} \cdot \frac{1}{r} \end{aligned}$$



Όταν η γραμμή κάμψης αποκλίνει από ημιτονοειδή:

$$\text{αντί } \max_{H,D} \rightarrow \max_{H,D} c_2$$

$$\max_{H,D} c_2 = \max_{H,D} \left[1 + \left(\frac{\mu_H}{\mu_D} - \max_{H,D} \right) \cdot \alpha_c \right]$$

όπου

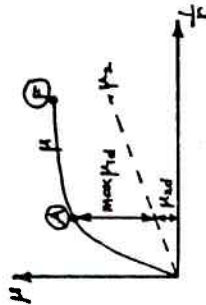
$$\max_{H,D} c_2 = b \text{ επιλεγμένο } \max_{H,D}$$

$$\mu_H = \max_{H,D} + \mu_{ad}$$

$$= \mu_H \quad (\text{δωλ. συνολ. αληθ. ποσ. σχεδιασμού})$$

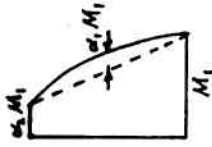
$$\approx \mu_F \quad (\text{σημείο F: όριο δράσεως υλικού})$$

$$= \max_{H,D} \text{ για } \frac{l_0}{r} \rightarrow 0 \quad (\text{δωλ. } \mu_{ad} = 0)$$

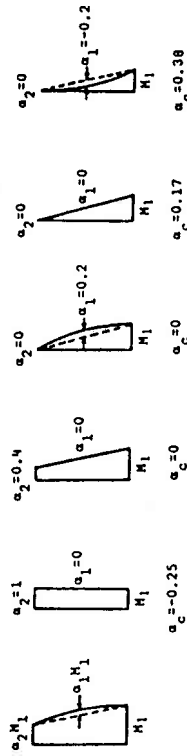
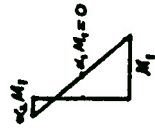


α_c = συντελεστής που εκφράζει τη μορφή της γραμμής κάμψης (ή διαγράμματος καμπυλότητας) κατά μήκος του υποσυνιγώματος, δηλαδή εξαρτάται από διάγραμμα M_1 .

$$= \frac{1}{6} - \frac{\alpha_1}{1.2} - \frac{\alpha_2}{2.4}$$



π.χ.



Την τιμή του συντελεστή α_c για διάφορες περιπτώσεις διαγραμμάτων ροπών M_1 βλέπε

Παράδειγμα Χρήσεως της Βεζιγμένης Μεθόδου Προζ. Υποστ.

Να υπολογιστεί η βεζιγμένη μέγιστη ανηγμένη ροπή σχεδιασμού l_{ns} ελξής του παραδείγματος ελξής σε φαινόμενα 2ος ελξής.

Από τους Πίνακες Λυγισμών για:

$$l_0/h = 0 \quad \gamma_d = -0.20 \quad \omega_{tot} = 0.21 \quad \alpha_1/h = 0.10$$

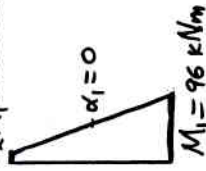
βρίσκουμε:

$$\begin{aligned} \text{για } \omega_{bt} = 0.2 & \rightarrow \max \mu_d = 0.156 \\ & = 0.4 \rightarrow = 0.236 \end{aligned}$$

Επομένως για $\omega_{bt} = 0.21$ με γραμμική παρεμβολή:

$$\mu_d = \max \mu_d = 0.156 + \frac{0.21 - 0.20}{0.4 - 0.2} (0.236 - 0.156) = 0.160$$

$$\alpha_2 M_1 = 0.0625 M_1 = 6 \text{ kNm}$$



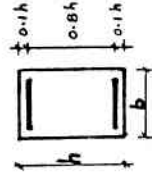
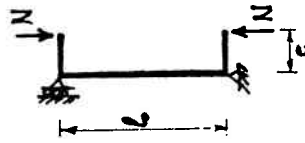
$$\alpha_c = \frac{1}{6} - \frac{\alpha_1}{1.2} - \frac{\alpha_2}{2.4} = \frac{1}{6} - 0 - \frac{0.0625}{2.4} = 0.141$$

$\therefore$ Η βεζιγμένη μέγιστη ανηγμένη ροπή σχεδιασμού l_{ns} ελξής είναι.

$$\begin{aligned} \max \mu_{dc} &= \max \mu_d \left[1 + \left(\frac{\mu_d - \max \mu_d}{\mu_d} \right) \cdot \alpha_c \right] \\ &= 0.133 \left[1 + \left(\frac{0.160 - 0.133}{0.160} \right) 0.141 \right] = 0.136 \end{aligned}$$

ενώ χωρίς τη διόρθωση είχε βρεθεί προηγουμένως ότι ισούται με 0.133.

Σύγκριση Γενικής Μεθόδου και Μεθόδου Προζ. Υποστ. Υποστ.

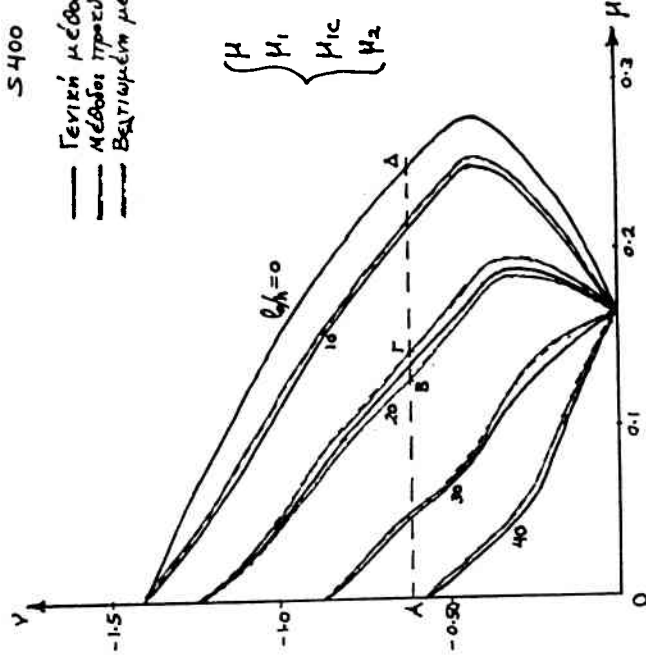


$$\omega = 0.2$$

$$S = 400$$

— Γενική μέθοδος
 --- Μέθοδος προζ. υποστ. υποστ.
 - - - Βεζιγμένη μέθοδος προζ. υποστ.

$$\begin{cases} \mu & : \text{ A}\Delta \\ \mu_1 & : \text{ A}\Gamma \\ \mu_{1c} & : \text{ A}\text{B} \\ \mu_2 & : \text{ Γ}\Delta \text{ (ή B}\Delta) \end{cases}$$



$$\frac{1}{r} = \frac{2K_2 \cdot E_{yd}}{0.9 d}$$

όπου

E_{yd} = παραμόρφωση σχεδιασμού στο όριο διαρροής χάλυβα = $\frac{f_{yd}}{E_s}$

d = στατικό ύψος κατά την εξερχόμενη διάδοση

$K_2 = \frac{N_{ed} - N_{sd}}{N_{ed} - N_{bal}} \leq 1$ λαμβάνει υπόψη zw μέγιστη καμπυλότητα ή με αύξηση αξονικού φορτίου ($K_2 = 1$ συνεπηρετική παραδοχή)

$$N_{ed} = 0.85 f_{cd} A_c + f_{yd} A_s$$

N_{sd} = δυν αξονικό φορτίο

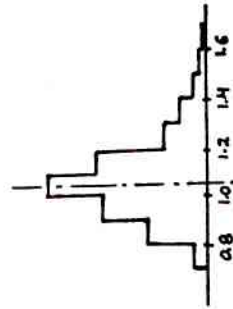
N_{bal} = φορτίο που όταν ασκείται πραγματοποιείται η ροπή αναστάς

$\approx 0.4 f_{cd} A_c$ για συμμετρικά οπλισμένες ορθογωνικές διατομές.

Σύγκριση Μεθόδου Πρόσπουτου Υποστυλώματος με Πειραματικά Δεδομένα

Η μέθοδος του πρόσπουτου υποστυλώματος χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση μεμονωμένων υποστυλωμάτων και πλαισίων που μελετήθηκαν πειραματικά. Τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:

Είδος υποστ.	Έκταση	Φόρτιση	Αριθμ. Πειραμάτων	Νομ. / Νομ. υποστ.	
				Μέση τιμή	Τυπ. Απόκλιση
Αντισφαιρωτά	Μονοαξον.	Μικτή δόση	273	1.05	15.4 %
"	Διαξον.	"	49	1.07	6.3
"	{ Μονοαξον. / Διαξον.	"	72	1.13	14.6
"	Μονοαξον.	Επικεντρ.	53	0.99	10.3
"	Διαξον.	"	41	1.04	9.7
Πλαίσιο	Μονοαξον.	"	15	0.99	16.8
Σύνολο = 503				1.06	13.6 %

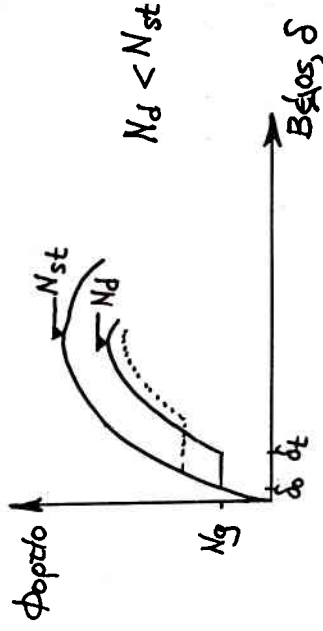


$$\frac{N_{πειρ}}{N_{πρ. υποστ.}} = 1.06 \quad (\pm 13.6\%)$$

Η επιρροή του Ερπυσμού στο Λυγισμό

Ερπυσμός Σκυρ/τας $\rightarrow$ Αύξηση Πλευρικών Βελών με t

$\therefore$ Μείωση αντοχής
σε λυγισμό



— Η επιρροή του ερπυσμού πρέπει εν γένει να λαμβάνεται υπόψη εάν οδηγεί σε σημαντική αύξηση των φαινομένων 2ας τάξεως, δηλ. εάν $M_2 > 0.10 M_1$

— Δεν απαιτείται να ληφεί υπόψη εάν ικανοποιείται μια από τις ακόλουθες συνθήκες:

$$e_0/h \geq 2.0 \quad N_{g,k} \leq 0.2 N_{g+q,k} \quad \lambda \leq 70$$

όπου

$$e_0 = \text{εκκεντρότητα 1ης τάξεως} = M_{sd} / N_{sd}$$

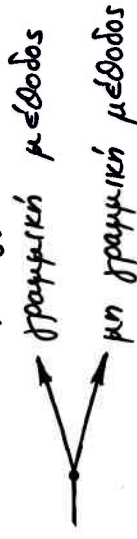
$N_{g,k}$ = χαρακτ. τιμή της αξονικής δύναμης λόγω μακροχρόνιων δράσεων (που προκαλούν ερπυσμό)

$N_{g+q,k}$ = χαρακτ. τιμή της αξονικής δύναμης λόγω του συνόλου των δράσεων

— $\gamma_{exp} = 1.20$ στα φορτία που προκαλούν ερπυσμό

— Για τα συνήδη κτίρια η επιρροή του ερπυσμού δεν είναι σημαντική & επομένως δεν απαιτείται να λαμβάνεται υπόψη.

— Για την αντιμετώπιση της επιρροής του ερπυσμού επιτρέπεται η χρήση προσεγγιστικών μεθόδων:

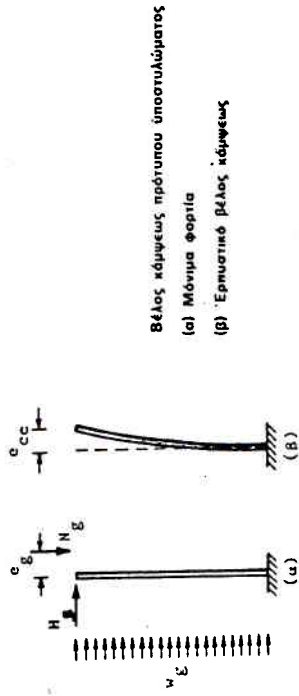


Γραμμική μέθοδος υπολογισμού του ερπυσμού

Παραδοχές: $\leftarrow$ γραμμική θεωρία ερπυσμού
ομογενείς ηρηγματώσεις διατομής

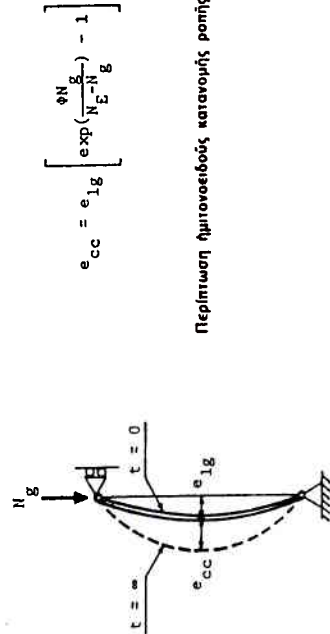
Μεθοδολογία: $\leftarrow$ υπολογισμός ερπυσ. παρήμ. εε λόγω γ φορτία σχεδιασμού για ερπυσ. παρήμ.
έλεγχος λ γ. ισμού: μέθοδος πρότυπου υποδ. με γνωστούς π.τάκες

Ερπυστικές παραμορφώσεις εε λόγω μόνιμων φορτίων γ δεικνύονται



Βέλος κάμψης πρότυπου υποστυλώματος
(α) Μόνιμα φορτία
(β) Έρπυστικό βέλος κάμψης

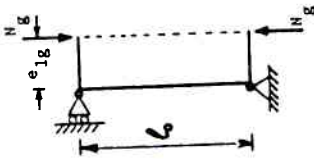
• Επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για τα φορτία που προκαλούν τον ερπυσμό: $\gamma_n = 1.20$



Περίπτωση ήμισυομοδούς κατανομής ροπής 1ης τάξεως

$$e_{cc} = e_{lg} \left[\exp \left(\frac{\phi N}{N_E N_g} \right) - 1 \right]$$

$$e_{cc} = \frac{e_{lg}}{\cos \frac{\alpha l}{2}} \left[e^{\left(\frac{\cos \frac{\alpha l}{2}}{2} - 1 \right)} - 1 \right]$$



$$\alpha = \sqrt{\frac{N_g}{E_{cm} I_c}}$$

Περίπτωση ορθογωνικής κατανομής ροπής 1ης τάξεως

- N_g = μόνιμο αξονικό φορτίο
- N_E = κρίσιμο φορτίο κατά Euler = $\pi^2 E_{cm} I_c / l^2$
- E_{cm} = μέσο μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος
- I_c = ροπή αδράνειας της συνολικής άρηγμάττης διατομής ($A_c = b h$) του σκυροδέματος
- l_e = μήκος λυγισμού του υποστυλώματος
- $e_{lg} = M_{Sd1} / N_{Sd} + e_a$ = εκκεντρότητα 1ης τάξεως του N_g συμπεριλαμβανομένης της e_a
- M_{Sd1} = δρώσα ροπή σχεδιασμού 1ης τάξεως
- N_{Sd} = δρόν αξονικό φορτίο σχεδιασμού = N_g
- $e_a = l / 300 \leq 20 \text{ mm}$, κρούσεται εκκεντρότητα λόγω γεωμετρικών ανακρίβειών και κρούσεται ασφάλειας
- ϕ = συντελεστής έρτυσμού

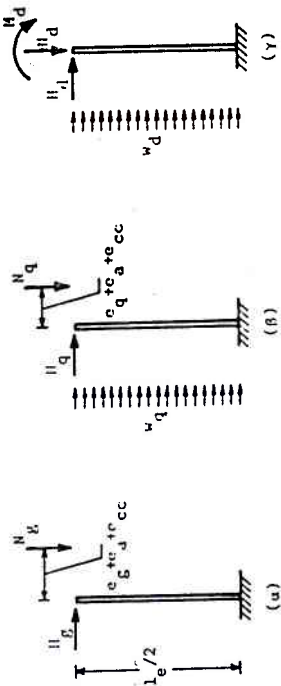
Φορτία σχεδιασμού για ερπυστικές παραμορφώσεις

$$N_d = N_g \gamma_g + N_q \gamma_q$$

$$H_d = H_g \gamma_g + H_q \gamma_q$$

$$W_d = W_q \gamma_q$$

$$M_d = N_g \gamma_g [e_g + c + e] + N_q \gamma_q [e_q + c + e_{cc}]$$



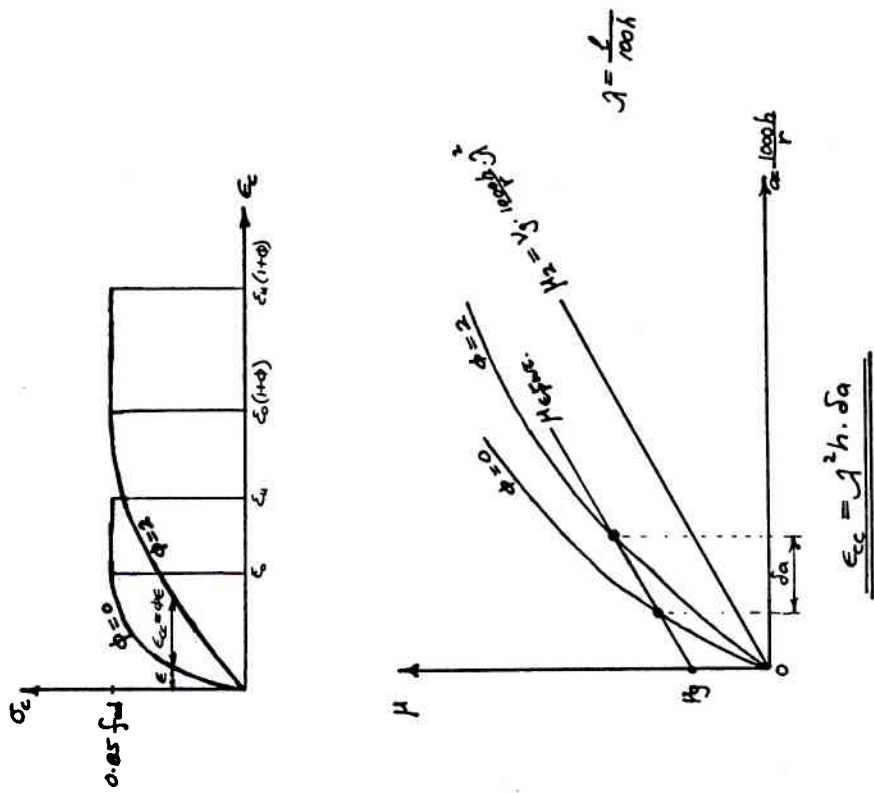
Φορτία λειτουργίας και αντίστοιχα φορτία σχεδιασμού

(α) Μόνιμα φορτία λειτουργίας

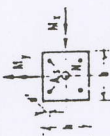
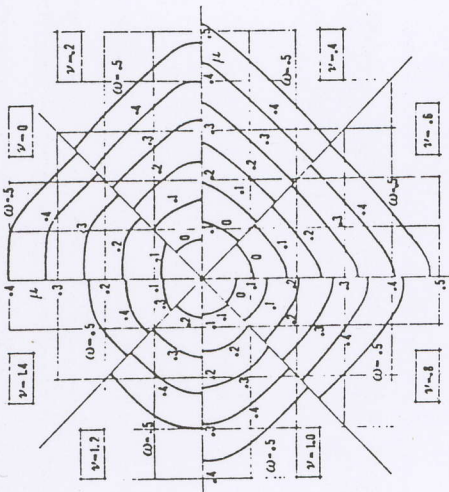
(β) Κινητά φορτία λειτουργίας

(γ) Φορτία σχεδιασμού

Μη γραμμική μέθοδος υπολογισμού του ερπυσμού



Λυγισμός σε Διαφορική Κάμψη

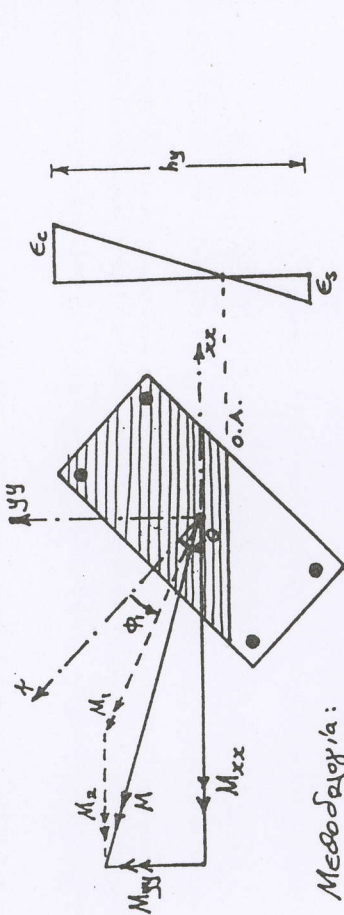
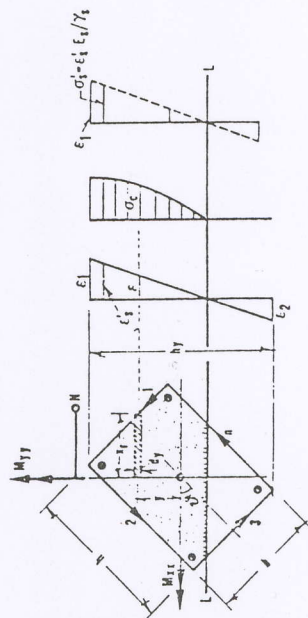
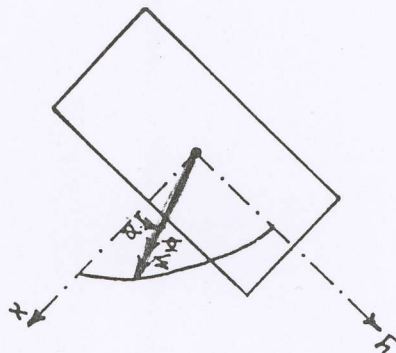


S400
 $d/h = b/h = 0.10$
 Για κάθε C

χωρίς λυγισμό

$$\frac{\rho_0}{h} = 0$$

Σκοπός: ο προσδιορισμός της διαμόρφωσης λόγω ποτής της τάξεως M, ϕ για κάθε ϕ (έχοντας λάβει υπόψη την ποτή των τάξεων)



Μεθοδολογία:

Για δεδομένη τιμή της N_s και ϕ .

1. Εκλέγεται μια τιμή της τ

2. Εκλέγεται μια τιμή της θ

3. Εκλέγεται μια θέση της ουδετέρας γραμμής

4. Υπολογίζονται $N_R = \int A_c \cdot \sigma_c \cdot x_c \cdot dy + \sum A_s \cdot \sigma_s$

και εξετάζεται εάν $N_R = N_s$. Εάν όχι, παραμένει η μετατόπιση της ουδετέρας γραμμής μέχρις ότου $N_R = N_s$.

5. Υπολογισμός $M_{xx} = \int A_c \cdot \sigma_c \cdot x_c \cdot y_c \cdot dy + \sum A_s \cdot y_s \cdot \sigma_s$

$M_{yy} = \int A_c \cdot \sigma_c \cdot x_c^2 \cdot dy + \sum A_s \cdot x_s \cdot \sigma_s$

$\therefore M = M_{xx} + M_{yy} = \dots$ (διανομοστικά)

$M_2 = N_s \cdot \frac{\rho^2}{10} \cdot \frac{1}{r}$

$\therefore M_1 = M - M_2 = \dots$ (διανομοστικά)

και $\phi_1 = \dots$

6. Έλεγχος εάν $\phi = \phi_1$. Εάν όχι, εκλέγεται νέα τιμή του θ μέχρις ότου $\phi = \phi_1$

7. Τύπα διατίθεται M_1 και $\frac{1}{r}$

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται από το βήμα 1 με νέα νέα τιμή του τ .



$\max M, \phi$ (κατά την διεύθυνση ϕ).

Οριγμός Αμεταθετότητας Πλαστών

Για να θεωρηθεί ένα πλάστο αμετάθετο πρέπει σε κάθε όροφο να ισχύει:

$$\theta = \frac{F_{d0} \cdot \delta}{F_{dh} \cdot h} \leq 0.10$$

όπου:

θ = συντελεστής ευστάθειας

F_{d0} = συνολικό κατακόρυφο φορτίο πάνω από τον εξεταζόμενο όροφο στην οριακή κατάσταση αστοχίας

δ = διαφορά βελών στον υπόψη όροφο λόγω των οριζόντιων φορτίων (σχετικό βέλος ορόφου).

Εάν τα δ υπολογιστούν με ακαμψίες σταδίου I : αντί 0.10

→ 0.06

F_{dh} = συνολική οριζόντια δύναμη που ενεργεί πάνω από τον υπόψη όροφο στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

h = ύψος ορόφου

Υπενθυμίζεται ότι για την περίπτωση σεισμών:

$$\delta = 9 \cdot \delta_{el}$$

όπου

δ_{el} = σχετικό βέλος ορόφου λόγω της σεισμικής δύναμης

q = δέκατος συμπριφωράς ≈ 3.5 για κατασκευές από ημιμεγέθυς σκυρόδεμα

Εναλλακτικό Κριτήριο Αμεταθετότητας Πλαστών

Το προηγούμενο κριτήριο ικανοποιείται συνήθως εάν — τα κατακόρυφα στοιχεία ακαμψίας είναι επαρκώς συμμετρικά κατανεμημένα μέσα στο κτίριο — και ικανοποιείται μια από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$h_{\text{μέ}} \sqrt{\frac{F_u}{E_{cm} I}} \leq 0.2 + 0.1n \quad \text{για } n \leq 3$$

$$\leq 0.6 \quad \text{για } n > 4$$

όπου

n = αριθμός ορόφων

$h_{\text{μέ}}$ = μέγιστο ύψος κατασκευής από την υποτιθέμενη πάλωση (δίν. σταθμ. εδάφους ή σταθμ. οροφής πρακτικά απαγορεύεται υποβελών).

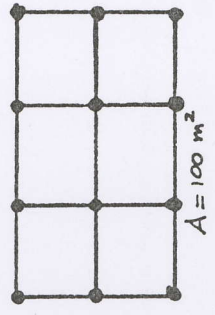
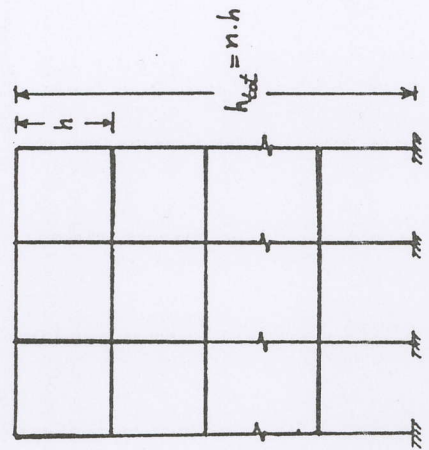
$E_{cm} I$ = συνολική καμπτική ακαμψία σταδίου I των κατακόρυφων στοιχείων (π.χ. τοιχώματα ή υποστυλώματα μη διακοπόμενα καθύψους) που εξασφαλίζουν το αμετάθετο των κόμβων κατά την υπόψη διεύθυνση.

Τα κατακόρυφα αυτά στοιχεία πρέπει να έχουν σταθερή διατομή σε όλο το ύψος του κτιρίου, διαφορετικά θα υπολογιστεί μια ισοδύναμη ακαμψία.

Η ακαμψία των υποδοξωμάτων λαμβάνεται υπόψη εάν στη δεδομένη διεύθυνση σε όλους τους ορόφους αντιστέκονται σε κόμβους με δοκούς, ώστε να είναι δυνατός ο σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων.

F_u = άθροισμα όλων των κατακόρυφων φορτίων (σταθμ. $G_k + Q_k$ (δηλ. χωρίς συντελεστές ασφαλείας γ_f)).

Παράδειγμα Ειέχου Αμεταθετότητας Κτιρίου



Για να θεωρηθεί αμετάθετο το πλαίσιο πρέπει:

$$h_{tot} \cdot \sqrt{\frac{F_0}{E_{cm} \cdot I}} \leq 0.6 \text{ αφού } n \geq 4$$

$$h_{tot} = n \cdot h$$

$$F_0 = n \cdot q \cdot A$$

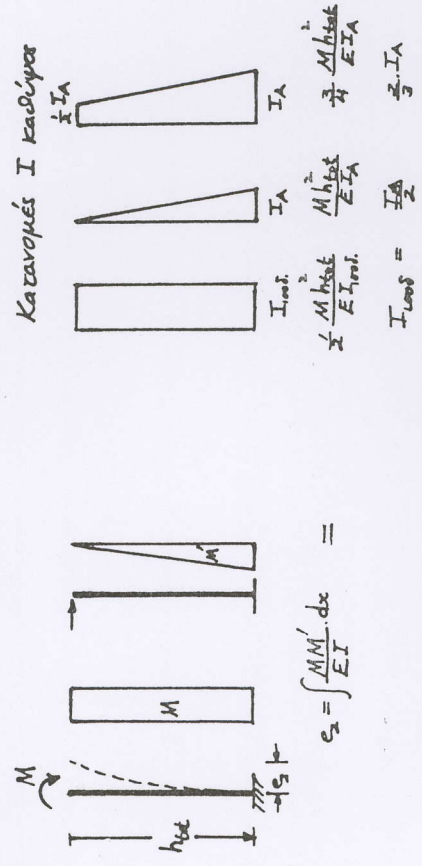
$$I \geq 2.78 \frac{q \cdot h^2 \cdot A \cdot n^3}{E_{cm}}$$

Έστω $A = 100 \text{ m}^2$
 $q = 10 \text{ kN/m}^2$
 $h = 3.20 \text{ m}$
 $C16 \rightarrow E_{cm} = 28000 \text{ MPa}$

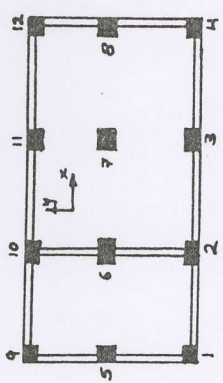
$$I \geq 2.78 \cdot 10 \cdot 3.20^2 \cdot 100 \cdot n^3 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$= \frac{28000 \times 10^3}{(1.017 \times 10^{-3})} n^3 \text{ [m}^4\text{]}$$

Παράδειγμα σύζης με διαφορετική διατομή καθύψους



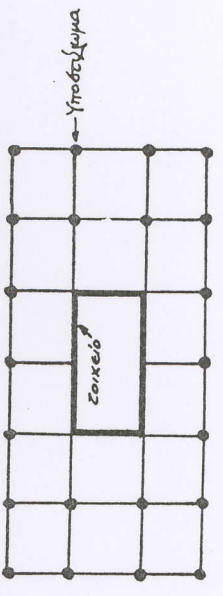
Παράδειγμα σύζης που συνεπάρουν στην ολική ακαμψία κτιρίου



Κατά x: $I_x = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$

Κατά y: $I_y = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$

Παράδειγμα σύζης και τοίχων που συνεπάρουν στην ολική ακαμψία κτιρίου



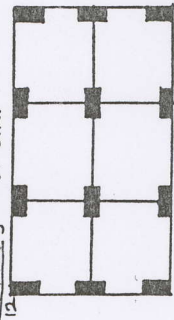
Εάν $n=4$

$$I \geq (1.017 \times 10^{-3}) \times 4^3 = 0.0651 \text{ m}^4$$

Λύση 1: 12 υποστηρίγματα 55×55
 $I_{\alpha 1} = 12 \times \frac{0.55^4}{12} = 0.0915 \text{ m}^4 > 0.0651 \text{ m}^4$
 άρα επαρκούν.
 $V_b = 0.263 < 0.3 \therefore \text{ο.κ.}$

Λύση 2: 6 υποστ. 35×70
 + 6 υποστ. 70×35

Λύση 3: 3 τοιχώματα 25×100 σε κάθε διεύθυνση
 $I_{\alpha 1} = 3 \times \frac{0.25 \times 1.00^3}{12} + 3 \times \frac{0.25^3 \times 1.00}{12} = 0.0651 \text{ m}^4$
 $\therefore \text{ο.κ.}$



φόρτιο μεσαίου στέγιου $N \approx 600 \text{ kN}$
 $\therefore N_d \approx 850 \text{ kN}$
 $N_c = 0.85 \times \frac{f_{t,k} \cdot A_c}{\gamma_c} = 0.85 \times \frac{16}{1.50} \times (0.35 \times 0.70) = 2.220 \text{ kN}$
 $\therefore \gamma = \frac{N_d}{N_c} = \frac{850}{2.220} = 0.383$
 $V_d = 0.85 \gamma = 0.326 > 0.3 \therefore \text{απορροπεί υδρόμολο}$
 $\therefore \text{απορροπεί υδρόμολο}$

Εάν $n=10$

$$I \geq (1.017 \times 10^{-3}) \times 10^3 = 1.0170 \text{ m}^4$$

Λύση 1: 12 υποστ. 105×105
 $I_{\alpha 1} = 12 \times \frac{1.05^4}{12} = 1.2155 \text{ m}^4 > 1.0170 \text{ m}^4$
 άρα επαρκούν.

Λύση 2: 6 υποστ. 55×150
 + 6 υποστ. 150×55

$I_{\alpha 1} = 6 \times \frac{0.55 \times 1.50^3}{12} + 6 \times \frac{1.50 \times 0.55^3}{12} = 1.0529 \text{ m}^4$
 $> 1.0170 \text{ m}^4$
 άρα επαρκούν.

Λύση 3: 1 τοίχωμα 25×370
 σε κάθε διεύθυνση

$I_{\alpha 1} = \frac{0.25 \times 3.70^3}{12} + \frac{3.70 \times 0.25^3}{12} = 1.060 \text{ m}^4 > 1.017$
 άρα επαρκεί.

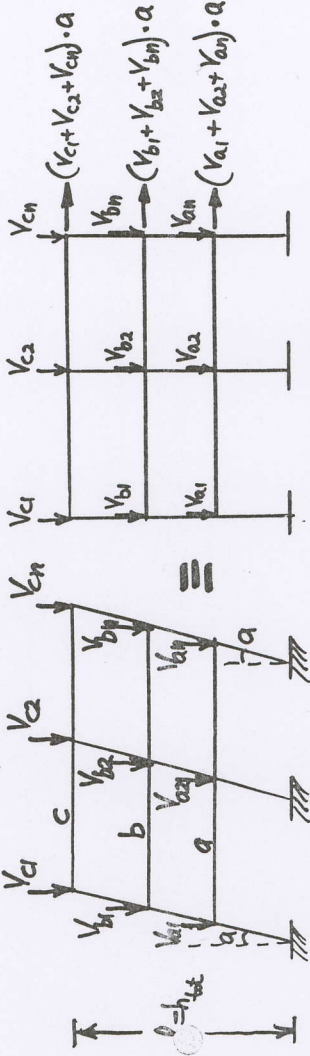
Λύση 4: 5 τοιχώματα 25×205 σε κάθε διεύθυνση

$I_{\alpha 1} = 5 \times \frac{0.25 \times 2.05^3}{12} + 6 \times \frac{0.25^3 \times 2.05}{12} = 1.093 \text{ m}^4 > 1.017$
 $\therefore \text{ο.κ.}$

Πρόσθετη Κλίση Κατακόρυφων Στοιχείων Πλαισίων

Για καλύτερη διαφύση επιρροών που λαμβάνονται προσεγγιστικά στους υπολογισμούς (π.χ. από κλίσεις διαστάσεων, αδέλνυτες εκκενρώσεις φορτίων, κλπ.)

ΠΡΕΠΕΙ να λαμβάνεται υπόψη μια πρόσθετη κλίση "α" όταν των κατακόρυφων στοιχείων



$a = \frac{1}{100} \sqrt{\frac{h_{tot}}{h_{tot}}}$ rad $\geq \frac{1}{200}$ όταν τα φαινόμενα της τάξεως δεν είναι αμελητέα

$\geq \frac{1}{400}$ όταν τα φαινόμενα της τάξεως είναι αμελητέα

Για την περίπτωση κυρίων με υποστηρίγματα που σε όλως της ορόφου συντρέχουν σε δοκός (παίσια)

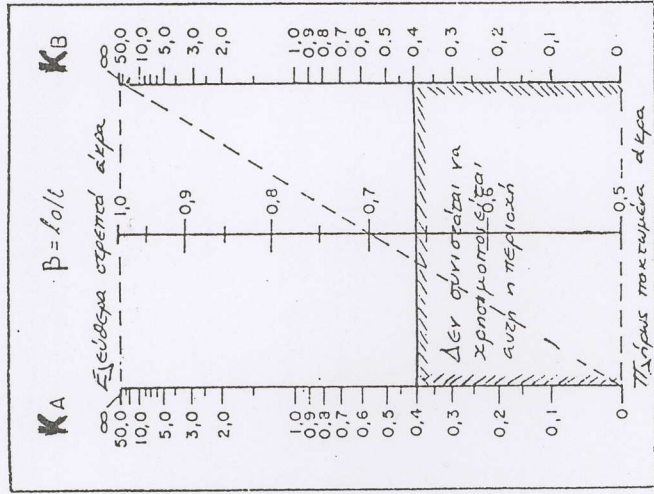
απεί $a \rightarrow a \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{h}}{2}}$ $\eta = \text{αριθμός σημείων υποστηρίξεων}$

π.χ. $\eta=2 \rightarrow a \cdot (0.87)$
 $\eta=3 \rightarrow a \cdot (0.82)$

Η πρόσθετη κλίση μπορεί να αντικατασταθεί με ισοδύναμες οριζόντιες δυνάμεις.

Εάν ληφθεί υπόψη η πρόσθετη κλίση τότε δεν χροιάζεται να ληφθεί υπόψη η πρόσθετη εκκενρώση για τον έλεγχο μεμονωμένων υποστυλωμάτων.

$$l_0 = \beta \cdot l_{col}$$



$$K_{A,B} = \frac{\sum (E_{cm} \cdot I_{col} / l_{col})}{\sum (E_{cm} \cdot \eta \cdot I_b / l_b)}$$

E_{cm} = μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος

I_{col}, I_b = ροπή αδράνειας υποσυνωπλίζουσας / δοκού

η = αντιστάση = 1.0 για απέναντι άκρο σφραγισμένο ή πλήρως απέναντι άκρο

= 0.5 για απέναντι άκρο ελεύθερα σφραγισμένο

= 0 για δοκί πρόβολο

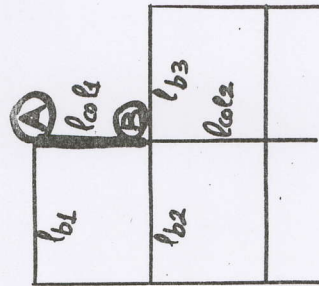
ο/α	Ακραία έδραση	Δυνατότητα μετακινήσεως άκρων	Σύστημα	$\frac{l_0}{h}$
1	Άρθρωση / άρθρωση	αμετάθετα		1.0
2	Ελαστικές πακτώσεις και στα δύο άκρα	"		≥ 0.7
3	Άρθρωση / πακτώση	"		≤ 0.7
4	Πακτώση / πακτώση	"		0.5
5	Ελεύθερο / πακτώση	κινητό		2.0
6	Πακτώση / πακτώση	"		1.0
7	Ελαστικές πακτώσεις και στα δύο άκρα	"		≥ 1.3

Από το Νομογράφημα:

• Εάν $K_A = \infty$ (ελεύθερα στρέψιμο)
 $K_B = 0$ (πακτωμένο)

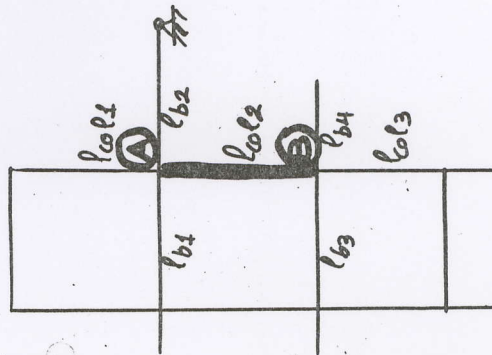
• Εάν $K_A = K_B = 1.0$

• Συνήθως $K > 1.0$



$$K_A = \frac{\frac{E_{cm} \cdot I_{col1}}{l_{col1}}}{\frac{E_{cm} \cdot I_{b1}}{l_{b1}}}$$

$$K_B = \frac{\frac{E_{cm} \cdot I_{col1}}{l_{col1}} + \frac{E_{cm} \cdot I_{col2}}{l_{col2}}}{\frac{E_{cm}(1.0) I_{b2}}{l_{b2}} + \frac{E_{cm}(1.0) I_{b3}}{l_{b3}}}$$



$$K_A = \frac{\frac{E_{cm} \cdot I_{col1}}{l_{col1}} + \frac{E_{cm} \cdot I_{col2}}{l_{col2}}}{\frac{E_{cm}(1.0) I_{b1}}{l_{b1}} + \frac{E_{cm}(0.5) I_{b2}}{l_{b2}}}$$

$$K_B = \frac{\frac{E_{cm} \cdot I_{col2}}{l_{col2}} + \frac{E_{cm} \cdot I_{col3}}{l_{col3}}}{\frac{E_{cm}(1.0) I_{b2}}{l_{b2}} + \frac{E_{cm}(0) I_{b4}}{l_{b4}}}$$

Υπολογισμός Αμεταβέτων Πλαίσίων

• Ακριβής έλεγχος: Ανάλυση πλαισίων με στατική 2ας τάξεως φαινομ. 2ας τάξεως
 Έλεγχος μεμονωμένων διατομών υποστυλίων (M+N) είναι μεθεξής ορθής εντάσεως

• Απλοποιημένος έλεγχος:

α) Ανάλυση πλαισίου με στατική 1ης τάξεως λαμβάνοντας υπόψη τις πρόσθετες κλίσεις του πλαισίου ή λαμβάνοντας αυτές στο σκεδίο β) σε κάθε μεμονωμένο υποστυλίο

β) Έλεγχος κάθε υποστυλίου είναι φαινομένων 2ας τάξεως θεωρώντας το ως μεμονωμένο.

Στους ελέγχους αυτούς όλα μεμονωμένα υποστυλίσματα

έχουν $\lambda < \lambda_{crit} = 25(2 - \frac{e_{01}}{e_{02}})$
 και δεν φέρουν εγκάρσια φορτία μεταξὺ των άκρων τους

e_{01}, e_{02} με πρόσημα $e_{01} > |e_{02}|$

δεν χρειάζεται να ελεγχθούν για φαινόμενα 2ας τάξεως έστω και εάν είναι εφύγιστα σύμφωνα με τα γενικά κριτήρια ληψιμότητας. Πρέπει όμως τα άκρα τους να σχεδιαστούν τουλάχιστον για

$$N_{Rd} = N_{Sd} \quad \& \quad M_{Rd} = N_{Sd} \cdot \frac{h}{20}$$