

Μάρτιος 2012

Άσκηση 3

Η κάλυψη βιομηχανικού χώρου γίνεται από μεταλλική κατασκευή με κύριους φορείς δίστυλα πλαίσια, τοποθετημένα ανά 6,00m. Τα υποστυλώματα των κυρίων φορέων είναι διατομής HEB360 και τα ζυγώματα διατομής ΙΡΕ600. Οι διατομές των υποστυλωμάτων είναι κατάλληλα προσανατολισμένες ώστε οι ισχυροί τους άξονες να ενεργοποιούνται για φορτία εντός του επιπέδου του πλαισίου. Εκτός των επιπέδων των πλαισίων τα υποστυλώματα είναι πλευρικά εξασφαλισμένα στα άκρα τους, μέσω κατακόρυφων διαγωνίων συνδέσμων. Τα υποστυλώματα θεωρούνται στρεπτικά ευαίσθητα.

Ζητείται ο έλεγχος επάρκειας των υποστυλωμάτων των πλαισίων για τους μη σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων σε ΟΚΑ.

Δίνονται: Χάλυβας S235

Ίδιο βάρος και πρόσθετα μόνιμα φορτία

Χιόνι

Ανεμοπίεση επί της στέγης (προς τα κάτω)

Υποπίεση λόγω ανέμου επί της στέγης (προς τα πάνω)

Πλευρική πίεση ανέμου στο προσήνεμο υποστύλωμα

Πλευρική πίεση ανέμου στο υπήνεμο υποστύλωμα

$$g=0,50 \text{ kN/m}^2,$$

$$s=1,25 \text{ kN/m}^2,$$

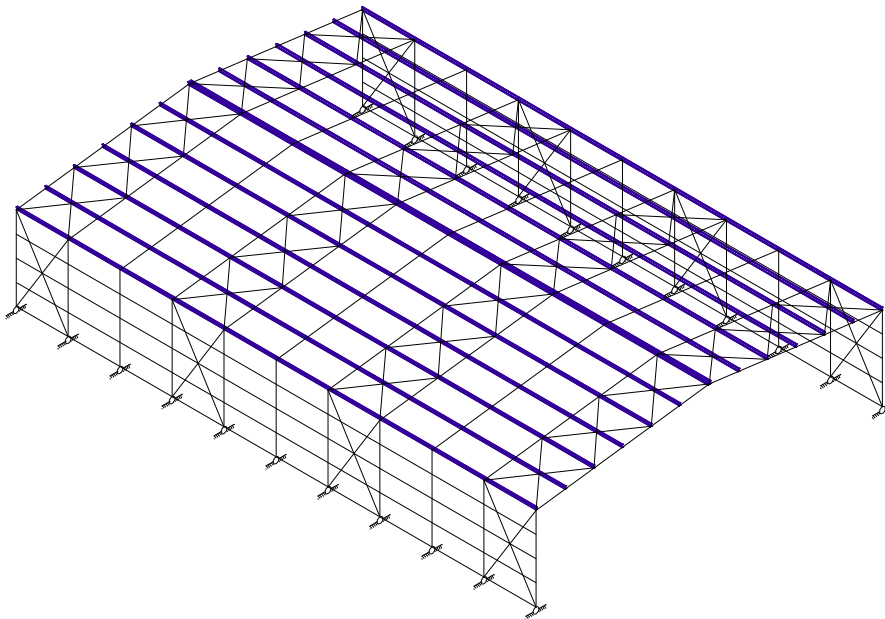
$$w=0,40 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_u=0,60 \text{ kN/m}^2$$

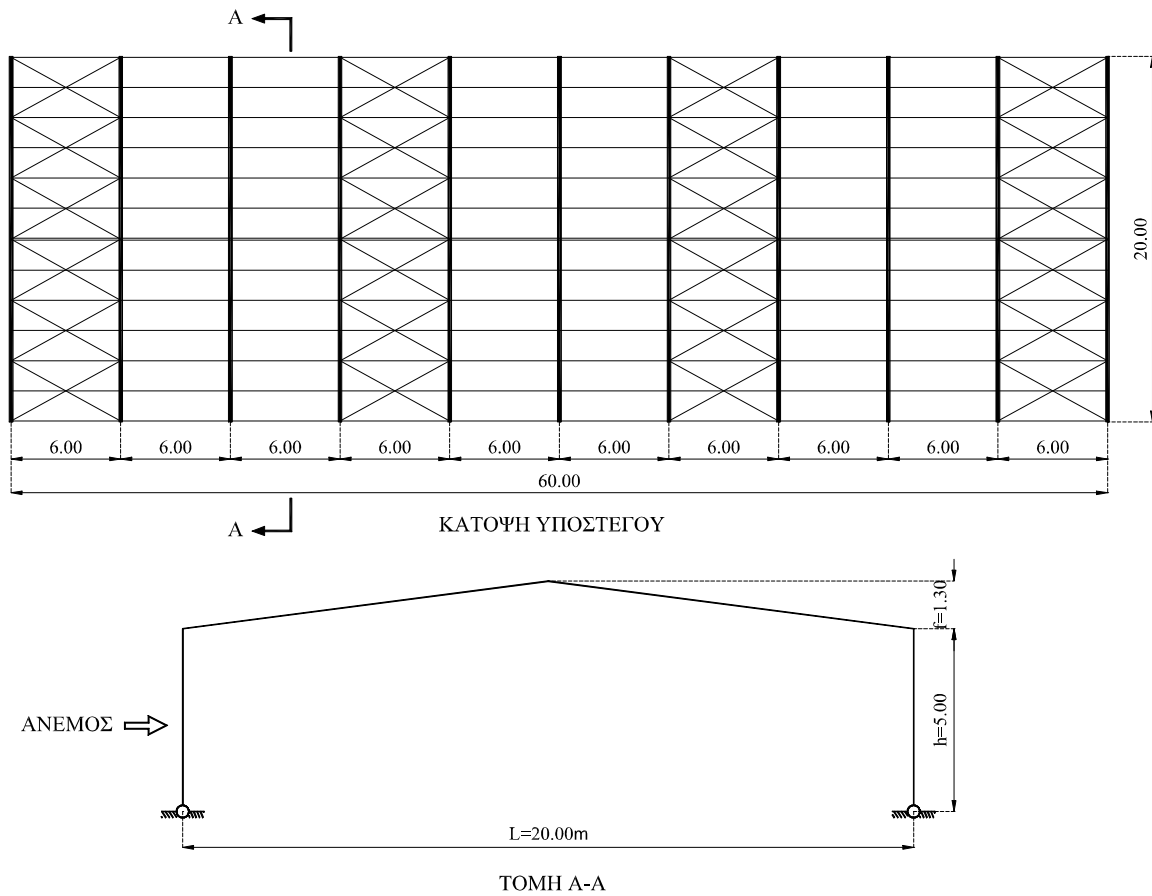
$$w_{nn}=0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{nu}=0,50 \text{ kN/m}^2$$

Η ανεμοπίεση και η υποπίεση επί της στέγης θεωρούνται δύο διαφορετικές φορτίσεις που επιβάλλονται σε όλη την επιφάνεια της στέγης και που συνδυάζονται με τις πλευρικές πιέσεις ανέμου σε προσήνεμο και υπήνεμο υποστύλωμα. Αυτό αποτελεί μια απλοποιητική παραδοχή για τις ανεμοφορτίσεις, που δεν συνδέεται με κάποιον κανονισμό.



Σχήμα 1: Προοπτικό υποστέγου



Σχήμα 2: Γεωμετρία υποστέγου

ΛΥΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ 3

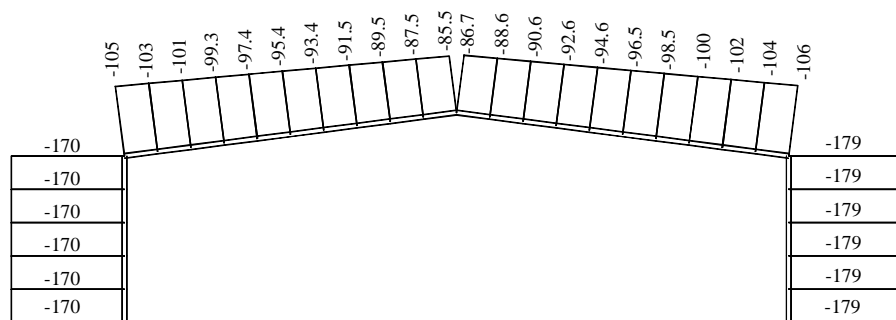
1. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

Τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη είναι:

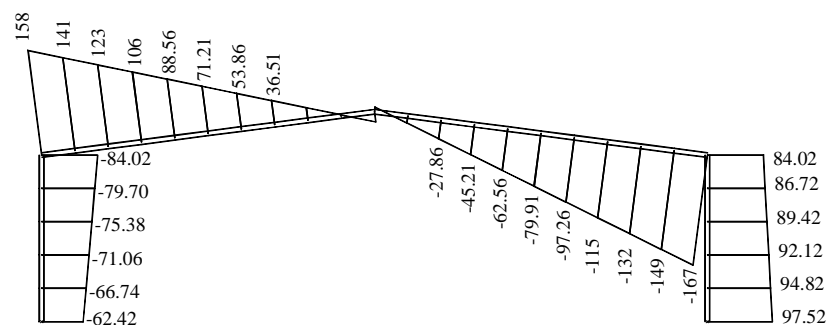
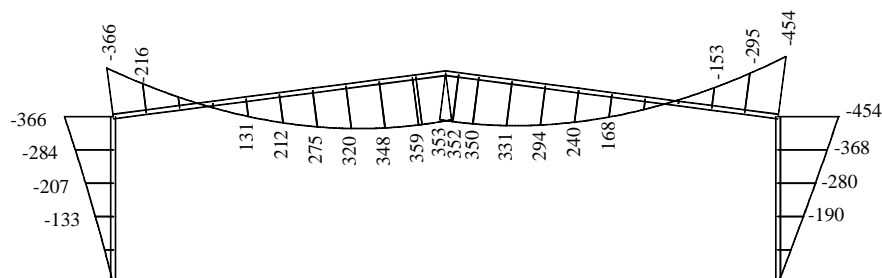
Ίδιο βάρος και πρόσθετα μόνιμα (σε οριζόντια προβολή)
Χιόνι (σε οριζόντια προβολή)
Πίεση ανέμου στην οροφή (προς τα κάτω)
Υποπίεση ανέμου στην οροφή
Πλευρική πίεση ανέμου στην προσήνεμη πλευρά
Πλευρική πίεση ανέμου στην υπήνεμη πλευρά

$g = 0,50 \text{ kN/m}^2$
 $s = 1,25 \text{ kN/m}^2$
 $w = 0,40 \text{ kN/m}^2$
 $w_u = -0,60 \text{ kN/m}^2$
 $w_{nn} = 0,80 \text{ kN/m}^2$
 $w_{nu} = 0,50 \text{ kN/m}^2$

Τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από τις μεμονωμένες φορτίσεις δίνονται στο Παράρτημα Α. Το υποστυλώμα θα εξεταστεί για τον δυσμενέστερο συνδυασμό (βλ. Παράρτημα Β) σύμφωνα με τον οποίο στο πλαίσιο αναπτύσσονται τα παρακάτω εντατικά μεγέθη.



Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N

Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων V_zΔιάγραμμα καμπτικών ροπών M_y

Σχήμα 1: Εντατικά μεγέθη δυσμενέστερου συνδυασμού

2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

Για την κατάταξη διατομής μπορούμε να υποθέσουμε ότι όλη η διατομή υπόκειται σε καθαρή θλίψη. Αν προκύψει ότι η διατομή είναι κατηγορίας 1 ή 2 τότε μπορεί να σταματήσει η διαδικασία ελέγχου. Αν προκύψει ότι είναι κατηγορίας 3, θα πρέπει να γίνει πιο ακριβής έλεγχος για να εξεταστεί η πιθανότητα να είναι κατηγορία 1 ή 2 με θλίψη και κάμψη (ευμενέστερη περίπτωση αφού ένα μέρος της διατομής είναι σε εφελκυσμό). Από τους πίνακες των προτύπων διατομών για καθαρή θλίψη και για ποιότητα χάλυβα S235 η διατομή HEB360 ανήκει στην κατηγορία 1.

3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΣΕ Ο.Κ.Α.

3.1 Έλεγχος διάτμησης

Σύμφωνα με τον πλαστικό έλεγχο διάτμησης θα πρέπει να ισχύει:

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

όπου

όπου V_{Ed} είναι η μέγιστη διατμητική δύναμη που αναπτύσσεται στα υποστυλώματα ίση με $V_{Ed}=97,52$ kN

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

και

$A_{vz}=60,60\text{cm}^2$ (από πίνακες)

Επομένως θα έχουμε:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 60,60\text{cm}^2 \frac{23,5\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 822,20\text{kN} > V_{Ed}=97,52\text{kN}$$

3.2 Έλεγχος απομείωσης της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω παρουσίας διάτμησης

Ισχύει:

$$V_{Ed} = 97,52\text{kN} < 0,5V_{pl,Rd} = 411,10\text{kN}$$

Επομένως δεν χρειάζεται απομείωση της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω παρουσίας διάτμησης.

3.3 Έλεγχος διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική θλίψη

Για διατομές διπλής συμμετρίας Ι δεν χρειάζεται να γίνει πρόβλεψη για την επίδραση της αξονικής δύναμης στην πλαστική ροπή αντοχής περί τον άξονα γ-γ, όταν ικανοποιούνται και τα δύο παρακάτω κριτήρια:

$$\alpha) N_{Ed} \leq 0,25N_{pl,Rd}$$

όπου

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{180,6\text{cm}^2 \times 23,5\text{kN/cm}^2}{1,00} = 4244,10\text{kN}$$

$$0,25N_{pl,Rd} = 0,25 \times 4244,10\text{kN} = 1061,03\text{kN}$$

και

$$\beta) N_{Ed} \leq \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times (36\text{cm} - 2 \times 2,25\text{cm}) \times 1,25\text{cm} \times 23,5\text{kN/cm}^2}{1,00} = 462,66\text{kN}$$

όπου $N_{Ed}=179\text{kN}$.

Και τα δύο κριτήρια ικανοποιούνται επομένως δεν χρειάζεται να γίνει πρόβλεψη για την επίδραση της αξονικής δύναμης στην πλαστική ροπή αντοχής $M_{y,Rd}$.

Θα πρέπει σε κάθε διατομή των μελών που υπόκεινται σε κάμψη και αξονική θλίψη να ισχύει:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} = M_{pl,y,Rd}$$

Ο έλεγχος διατομής υποστυλώματος θα γίνει για τον δυσμενέστερο συνδυασμό του υπήνεμου υποστυλώματος όπου αναπτύσσεται η μέγιστη αξονική δύναμη (θλιπτική), στη θέση μέγιστης καμπτικής ροπής $M_{y,Ed}$ (κορυφή υποστυλώματος)

$$M_{y,Ed} = 45400 \text{ kNm} < M_{Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{2683 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 63050,50 \text{ kN}$$

Επομένως ικανοποιείται ο έλεγχος διατομής του υποστυλώματος.

3.4 Ισοδύναμα μήκη λυγισμού

Διεύθυνση γ-γ

Ο υπολογισμός κρίσιμου μήκους λυγισμού γίνεται με παραδοχή οριζοντίου ζυγώματος η οποία για τις συνθήκες κλίσεις του ζυγώματος αποδεικνύεται ότι δεν εισάγει σημαντικό σφάλμα στους υπολογισμούς.

Ισχύει:

$$K_c = I_{y(HEB360)} / L_c = 43190 \text{ cm}^4 / 500 \text{ cm} = 86,38 \text{ cm}^3 \text{ και}$$

$$K_{12} = \frac{1,50 \times I_{y(IPE600)}}{L_{12}} \left(1 - 0,20 \frac{N}{N_E} \right) = \frac{1,50 \times 92080 \text{ cm}^4}{2000 \text{ cm}} \left(1 - 0,20 \frac{106 \text{ kN} \times (2000 \text{ cm})^2}{\pi^2 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 92080 \text{ cm}^4} \right) = 68,75 \text{ cm}^3$$

Επομένως ο συντελεστής κατανομής n_1 γίνεται:

$$n_1 = \frac{86,38 \text{ cm}^3}{86,38 \text{ cm}^3 + 68,75 \text{ cm}^3} = 0,56$$

Συντελεστής κατανομής για τη βάση του υποστυλώματος: $n_2 = 1,0$ (άρθρωση)

Για $n_1 = 0,56$ και $n_2 = 1,0$ προκύπτει ο συντελεστής ισοδυνάμου μήκους λυγισμού ίσος με $\beta = 2,60$.

Επομένως το μήκος λυγισμού του υποστυλώματος ως προς τον άξονα γ-γ είναι:

$$L_y = \beta \times L = 2,60 \times 5,00 \text{ m} = 13,00 \text{ m}$$

Διεύθυνση z-z

Ως προς τον άξονα z-z (για λυγισμό εκτός επιπέδου του πλαισίου) το υποστυλόμετρο είναι εξασφαλισμένο μόνο στα άκρα του, μέσω των κατακόρυφων διαγωνίων συνδέσμων και της κεφαλοδοκού. Έτσι το μήκος λυγισμού θα είναι:

$$L_z = 5,00 \text{ m}$$

Ο αναλυτικός υπολογισμός των παραπάνω δίνεται στο Παράρτημα Γ.

3.5 Λυγηρότητες

Διεύθυνση γ-γ

Η λυγηρότητα ως προς τον άξονα γ-γ δίνεται ως εξής:

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{1300 \text{ cm}}{15,46 \text{ cm}} = 84,09$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα ως προς τον άξονα γ-γ δίνεται ως εξής:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{84,09}{93,9} = 0,90$$

όπου

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000 \text{ MPa}}{235 \text{ MPa}}} = 93,9$$

Διεύθυνση z-z

Η λυγηρότητα ως προς τον άξονα z-z δίνεται ως εξής:

$$\lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = \frac{500 \text{ cm}}{7,49 \text{ cm}} = 66,76$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα ως προς τον άξονα z-z δίνεται ως εξής:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{66,76}{93,9} = 0,71$$

3.6 Μειωτικοί συντελεστές χ

Για ανηγμένη λυγηρότητα κατά τον άξονα y $\bar{\lambda}_y = 0,90$, ο συντελεστής χ_y , για καμπύλη λυγισμού b, είναι ίσος με $\chi_y = 0,67$, ενώ για ανηγμένη λυγηρότητα κατά τον άξονα z $\bar{\lambda}_z = 0,71$ ο συντελεστής χ_z , για καμπύλη λυγισμού c, είναι ίσος με $\chi_z = 0,71$.

Ο αναλυτικός υπολογισμός των παραπάνω δίνεται στο Παράρτημα Γ.

3.7 Ελαστική κρίσιμη ροπή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

Η ελαστική κρίσιμη ροπή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού δίνεται από τη σχέση:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL_T)^2} \left\{ \left[\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL_T)^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{0,5} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\}$$

όπου

$k=1,00$ (και τα δύο άκρα του υποστυλώματος θεωρούνται συντηρητικά ως απλές στρεπτικές στηρίξεις)

$$G = \frac{E}{2(\nu + 1)} = \frac{21000 \text{ kN/cm}^2}{2(0,3 + 1)} = 8077 \text{ kN/cm}^2 \text{ (το μέτρο διάτμησης)}$$

$k_w=1,00$ (και τα δύο άκρα του υποστυλώματος είναι ελεύθερα σε στρέβλωση)

$C_1=1,879$ (για τριγωνικό διάγραμμα ροπών με $\psi=0$ και $k=1,0$)

$C_2=0,00$

$C_3=0,939$

$I_T=292,50 \text{ cm}^4$ (από τους πίνακες των διατομών)

$I_w=2883000 \text{ cm}^6$ (από τους πίνακες των διατομών)

$I_z=10140 \text{ cm}^4$

$L_T=500 \text{ cm}$

$z_a=-18 \text{ cm}$ (στο υπήνεμο υποστυλωμα όπου και παρουσιάζονται τα μέγιστα εντατικά μεγέθη, το φορτίο του ανέμου ασκείται στο εφελκυσμένο πέλμα, όπου τοποθετείται η πλευρική επικάλυψη, με φορά από το θλιβόμενο προς το εφελκυσμένο πέλμα)

$z_s=0$ (Κ.Δ=Κ.Β.)

$z_g=z_a-z_s=-18 \text{ cm}$ (στο υπήνεμο υποστυλωμα)

$z_j=0$ (για διατομή διπλής συμμετρίας)

Επομένως η ελαστική κρίσιμη ροπή για το προσήνεμο υποστυλωμα θα είναι:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL_T)^2} \left\{ \left[\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL_T)^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} \right]^{0,5} \right\}$$

$$M_{cr} = 1,879 \frac{\pi^2 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 10140 \text{ cm}^4}{(1,00 \times 500 \text{ cm})^2} \times$$

$$\times \left\{ \left(\frac{1,00}{1,00} \right)^2 \frac{2883000 \text{ cm}^6}{10140 \text{ cm}^4} + \frac{(1,00 \times 500 \text{ cm})^2 \times 8077 \text{ kN/cm}^2 \times 292,50 \text{ cm}^4}{\pi^2 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 10140 \text{ cm}^4} \right\}^{0,5} =$$

$$= 15795,88 \times 23,78 = 375581 \text{ kNcm}$$

Επειδή το μέλος καταπονείται μόνο από ακραίες ροπές, η τιμή του z_a δεν έχει επιρροή. Σημειώνεται ότι το z_a συνδέεται με την άμεση φόρτιση του μέλους (άνεμος). Η επιρροή των υπολοίπων φορτίων του εξεταζόμενου συνδυασμού (μόνιμα, χιόνι) εισάγεται μέσω των ροπών στα άκρα του μέλους (κόμβους) και δεν επηρεάζει το z_a .

3.8 Λυγηρότητα στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

Η ανηγμένη λυγηρότητα στρεπτοκαμπτικού λυγισμού θα είναι:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2683 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{375581 \text{ kNcm}}} = 0,41$$

Επειδή ισχύει $\bar{\lambda}_{LT} = 0,41 > 0,20$ και $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} = \frac{45400 \text{ kNcm}}{375581 \text{ kNcm}} = 0,12$ η επιρροή του στρεπτοκαμπτικού λυγισμού δεν μπορεί να αγνοηθεί.

3.9 Καμπύλες στρεπτοκαμπτικού λυγισμού και μειωτικός συντελεστής χ_{LT}

Ισχύει: $h/b = 360/300 = 1,2 < 2$

Σύμφωνα με τη γενική περίπτωση η καμπύλη πλευρικού λυγισμού είναι η α και ο συντελεστής ατελειών θα είναι $\alpha_{LT} = 0,21$. Ο μειωτικός συντελεστής χ_{LT} μπορεί να υπολογιστεί είτε αναλυτικά είτε από το Σχήμα Γ6 που δίνεται στο παράρτημα Γ. Έτσι για $\bar{\lambda}_{LT} = 0,41$ προκύπτει $\chi_{LT} = 0,94 < 1,00$. Παρατηρούμε ότι ο συντελεστής χ_{LT} είναι πολύ κοντά στη μονάδα, επομένως το μέλος δεν θεωρείται ευαίσθητο σε στρεπτικές παραμορφώσεις.

4. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

Υπάρχουν δύο εναλλακτικές μέθοδοι σύμφωνα με τις οποίες μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές αλληλεπίδρασης. Στο παράρτημα Δ δίνεται η μέθοδος Α, ενώ εδώ παρατίθεται η μέθοδος Β. Οι πίνακες της μεθόδου Β δίνονται στο παράρτημα Ε.

Στο παράδειγμά μας το υποστύλωμα έχει ανοικτή διατομή, η στρέψη παρεμποδίζεται λίγο, αλλά μη ελεγχόμενα (από τις μηκίδες) και το θλιβόμενο πέλμα του υποστυλώματος είναι ελεύθερο. Επομένως οι συντελεστές αλληλεπίδρασης υπολογίζονται σύμφωνα με τον πίνακα Ε1 του παραρτήματος Ε.

$C_{my} = 0,9$ και $C_{mLT} = 0,60 + 0,40\psi = 0,60$ (από πίνακα Ε3 του παραρτήματος Ε)

$$\bar{\lambda}_y - 0,2 = 0,90 - 0,20 = 0,70 < 0,80$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,90 \left(1 + 0,70 \frac{179 \text{ kN}}{0,67 \times \frac{180,6 \text{ cm}^2 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00}} \right) = 0,94$$

$$k_{zy} = 0,6 k_{yy} = 0,6 \times 0,94 = 0,56$$

4.1 Έλεγχος σύμφωνα με τη μέθοδο Β

Ο τελικός έλεγχος για το υπήνεμο υποστύλωμα με τα μέγιστα εντατικά μεγέθη είναι:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{179 \text{ kN}}{0,67 \times \frac{180,6 \text{ cm}^2 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00}} + 0,94 \frac{45400 \text{ kNcm}}{0,94 \times \frac{2683 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00}} = 0,06 + 0,72 = 0,78 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{179 \text{ kN}}{0,71 \times \frac{180,6 \text{ cm}^2 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00}} + 0,56 \frac{45400 \text{ kNcm}}{0,94 \times \frac{2683 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00}} = 0,06 + 0,43 = 0,49 < 1$$

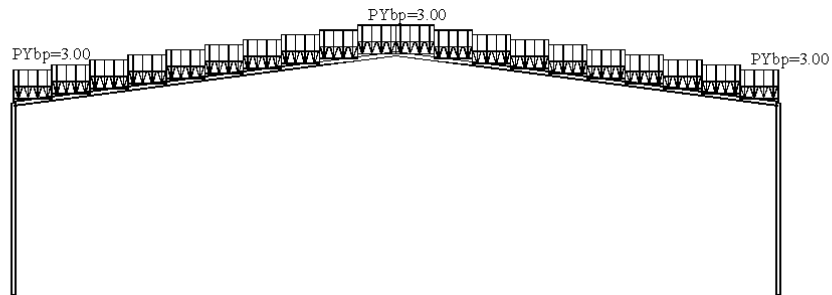
Παράρτημα Α: Αποτελέσματα μεμονωμένων φορτίσεων

A.1. ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

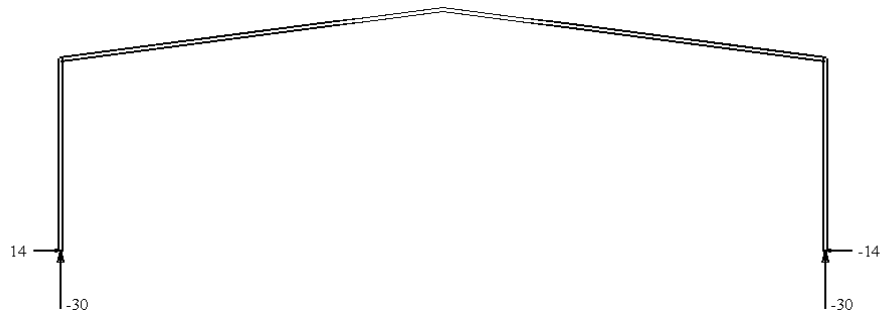
Το πλάτος της ζώνης επιρροής των πλαισίων είναι όσο και η απόσταση μεταξύ τους, δηλαδή 6,00m. Έτσι η κατανομή των φορτίων ανά πλαίσιο και αντίστοιχα οι φορτίσεις που σχηματίζονται είναι:

Φ1:	Ίδιο βάρος και πρόσθετα μόνιμα (οριζόντια προβολή)	$g=0,50\text{kN/m}^2 \times 6,00\text{m}=3,00\text{kN/m}$
Φ2:	Χιόνι (οριζόντια προβολή)	$s=1,25\text{kN/m}^2 \times 6,00\text{m}=7,50\text{kN/m}$
Φ3:	Πίεση ανέμου στην οροφή (προς τα κάτω) Πλευρική πίεση ανέμου στην προσήνεμη πλευρά Πλευρική πίεση ανέμου στην υπήνεμη πλευρά	$w=0,40\text{kN/m}^2 \times 6,00\text{m}=2,40\text{kN/m}$ $w_{nn}=0,80\text{kN/m}^2 \times 6,00\text{m}=4,80\text{kN/m}$ $w_{nu}=0,50\text{kN/m}^2 \times 6,00\text{m}=3,00\text{kN/m}$
Φ4:	Υποπίεση ανέμου στην οροφή (προς τα πάνω) Πλευρική πίεση ανέμου στην προσήνεμη πλευρά Πλευρική πίεση ανέμου στην υπήνεμη πλευρά	$w_u=-0,60\text{kN/m}^2 \times 6,00\text{m}=-3,60\text{kN/m}$ $w_{nn}=0,80\text{kN/m}^2 \times 6,00\text{m}=4,80\text{kN/m}$ $w_{nu}=0,50\text{kN/m}^2 \times 6,00\text{m}=3,00\text{kN/m}$

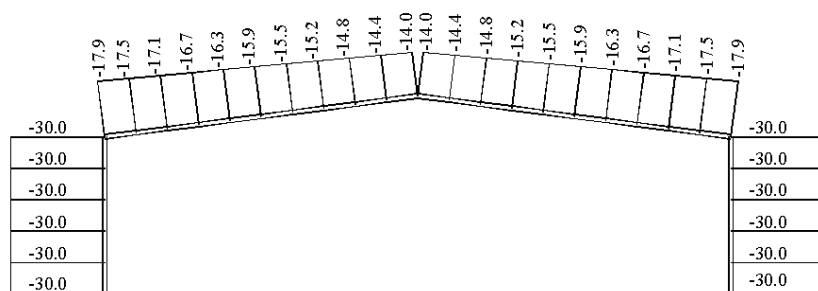
Παρακάτω δίνονται οι γραφικές παραστάσεις των φορτίσεων, οι αντιδράσεις καθώς και τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται σε υποστυλώματα και ζύγωμα για κάθε μία από αυτές, όπως προέκυψαν από αναλύσεις με κατάλληλο λογισμικό.



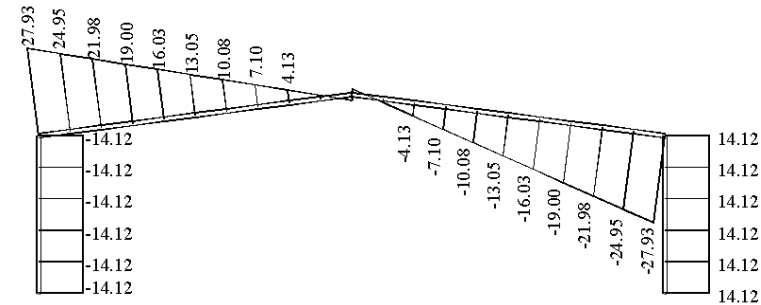
Σχήμα Α1: Φόρτιση Φ1



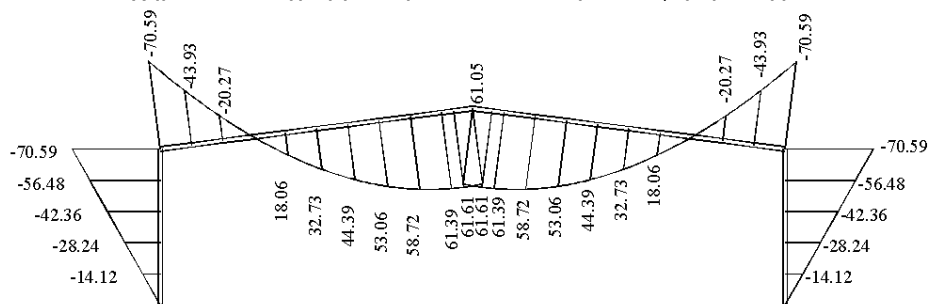
Σχήμα Α2: Αντιδράσεις φόρτισης Φ1



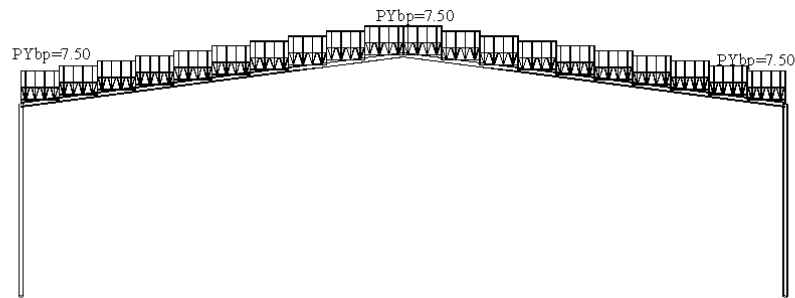
Σχήμα Α3: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N φόρτισης Φ1



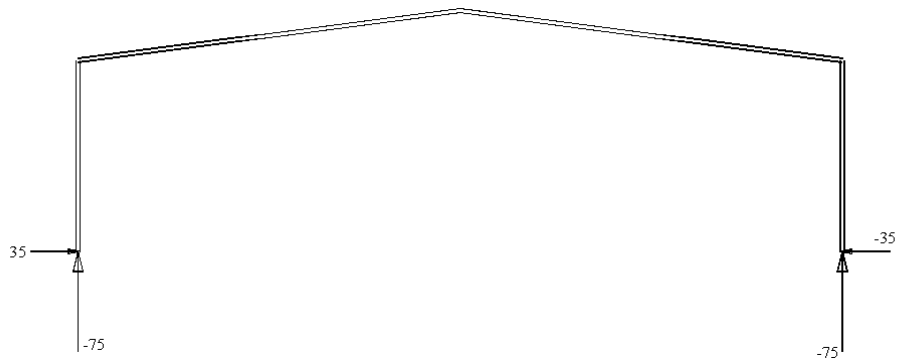
Σχήμα Α4: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων V_y φόρτισης Φ1



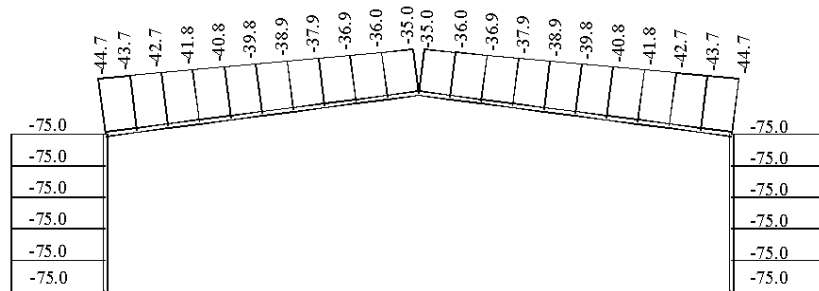
Σχήμα Α5: Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y φόρτισης Φ1



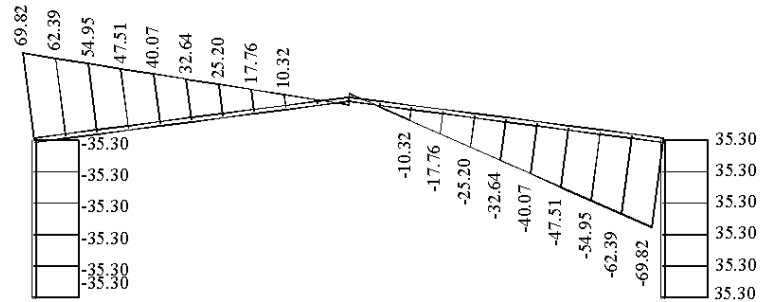
Σχήμα A6: Φόρτιση Φ2



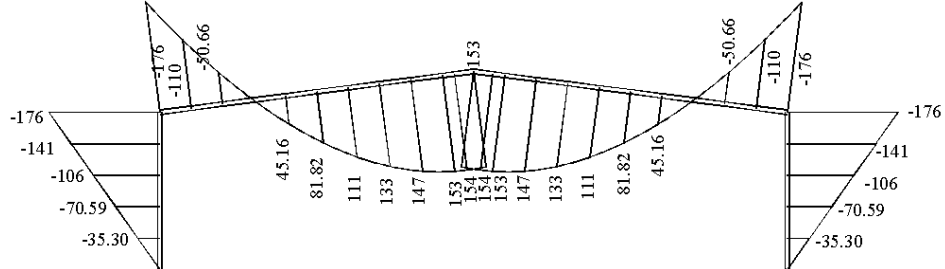
Σχήμα A7: Αντιδράσεις φόρτισης Φ2



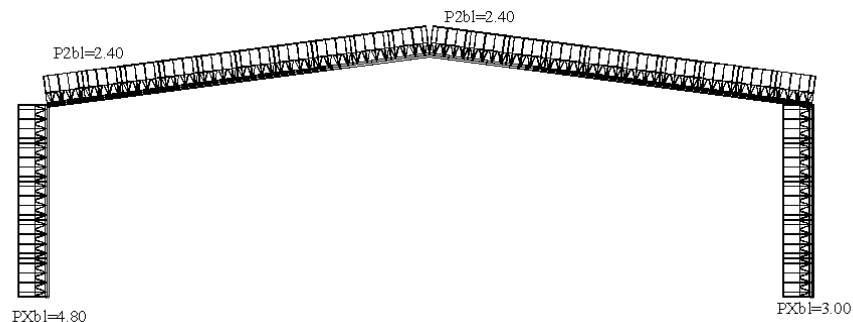
Σχήμα A8: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N φόρτισης Φ2



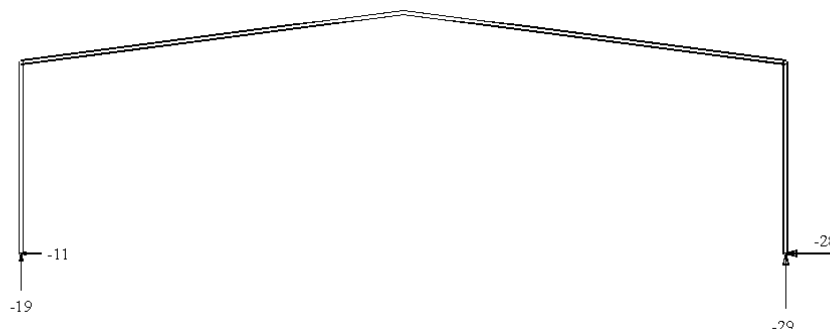
Σχήμα A9: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων V φόρτισης Φ2



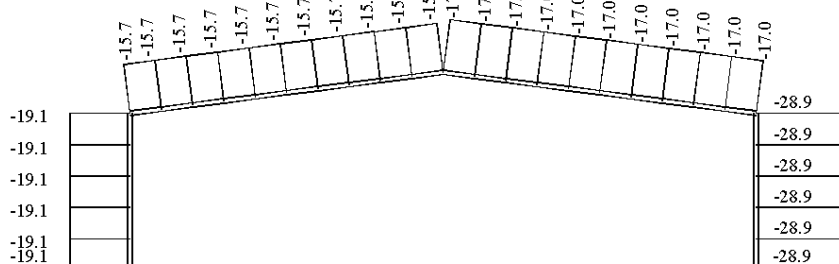
Σχήμα A10: Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y φόρτισης Φ2



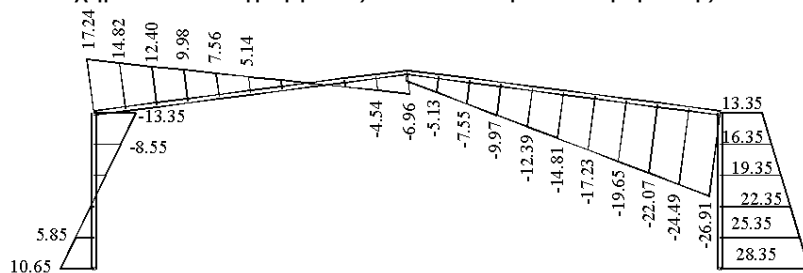
Σχήμα A11: Φόρτιση Φ3



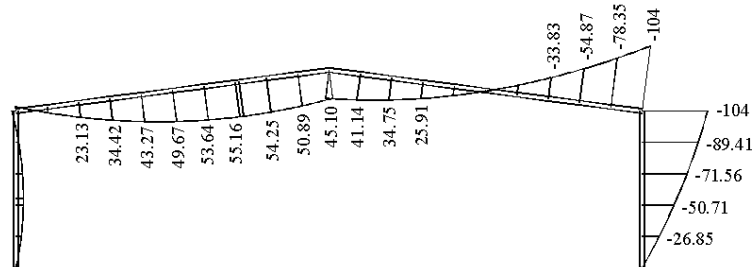
Σχήμα A12: Αντιδράσεις φόρτισης Φ3



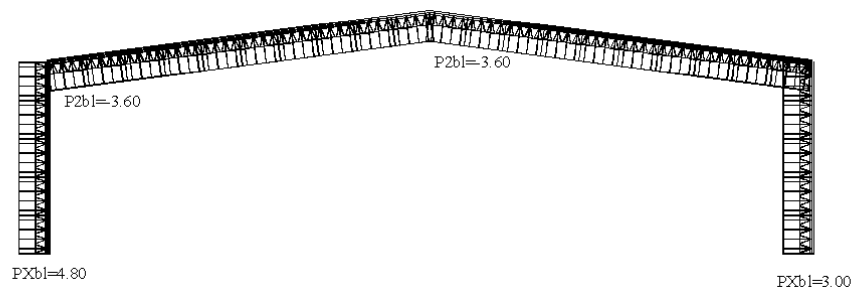
Σχήμα A13: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N φόρτισης Φ3



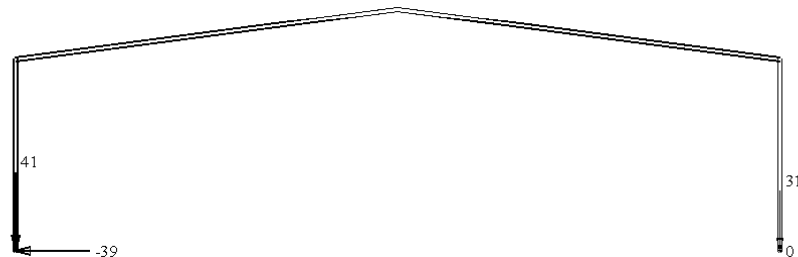
Σχήμα A14: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων V φόρτισης Φ3



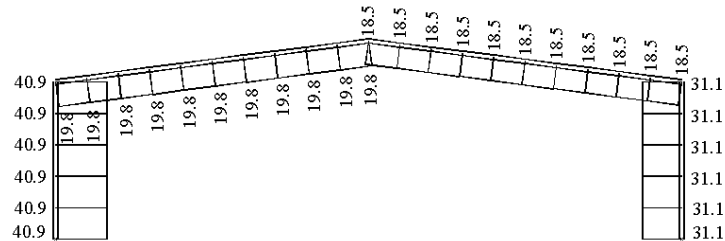
Σχήμα A15: Διάγραμμα καμπτικών ροπών M φόρτισης Φ3



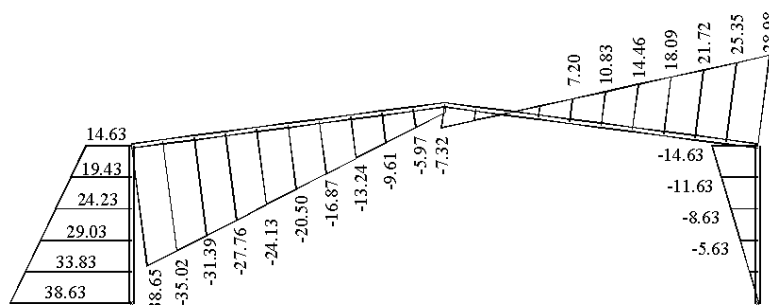
Σχήμα A16: Φόρτιση Φ4



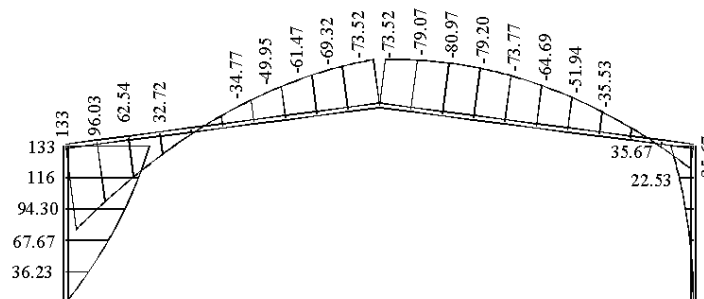
Σχήμα A17: Αντιδράσεις φόρτισης Φ4



Σχήμα A18: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N φόρτισης Φ4



Σχήμα A19: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων V_y φόρτισης Φ4



Σχήμα A20: Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y φόρτισης Φ4

Παράρτημα Β: Αποτελέσματα συνδυασμών φορτίσεων σε ΟΚΑ

Β.1. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

$$E_d = \sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

όπου $\gamma_{G,j} = 1,35$ (δυσμενής επιρροή) $\gamma_{Q,1} = 1,50$ (δυσμενής επιρροή)
 $= 1,00$ (ευμενής επιρροή) $= 0,00$ (ευμενής επιρροή)

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι προτεινόμενες τιμές για ψ_0 , σύμφωνα με τον οποίο θα ληφθεί $\psi_{0,i} = 0,50$ για το χιόνι και $\psi_{0,i} = 0,60$ για τον άνεμο.

Πίνακας Β.1: Προβλεπόμενες τιμές ψ_0 για κτίρια

Δράσεις	ψ_0
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτίρια:	
Κατηγορία Α: κατοικίες, συνήθη κτίρια κατοικιών	0,7
Κατηγορία Β: χώροι γραφείων	0,7
Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης	0,7
Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων	0,7
Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	0,7
Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων (βάρος οχημάτων $\leq 30\text{kN}$)	1,0
Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων ($30\text{kN} < \text{βάρος οχημάτων} \leq 160\text{kN}$)	0,7
Κατηγορία H: στέγες	0,7
Φορτία χιονιού επάνω σε κτίρια:	
Φινλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	0,7
Υπόλοιπα κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H > 1000\text{m}$	0,7
Υπόλοιπα κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H \leq 1000\text{m}$	0,5
Φορτία ανέμου σε κτίρια	0,6
Θερμοκρασία (εκτός πυρκαϊάς) σε κτίρια	0,6

Έτσι προκύπτουν οι παρακάτω συνδυασμοί:

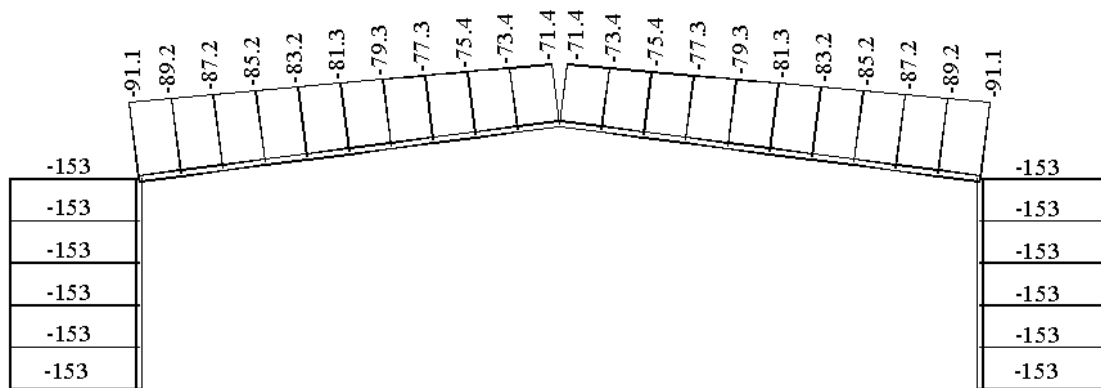
Πίνακας Β.2: Συνδυασμοί φορτίσεων και συντελεστές φορτίων για έλεγχο σε ΟΚΑ

	Μόνιμα (Φ1)	Χιόνι (Φ2)	Ανεμοπίεση (Φ3)	Υποπίεση (Φ4)
ΣΦ1	1,35	1,50		
ΣΦ2	1,35		1,50	
ΣΦ3	1,35	1,50	1,50*0,60	
ΣΦ4	1,35	1,50*0,50	1,50	
ΣΦ5	1,00			1,50

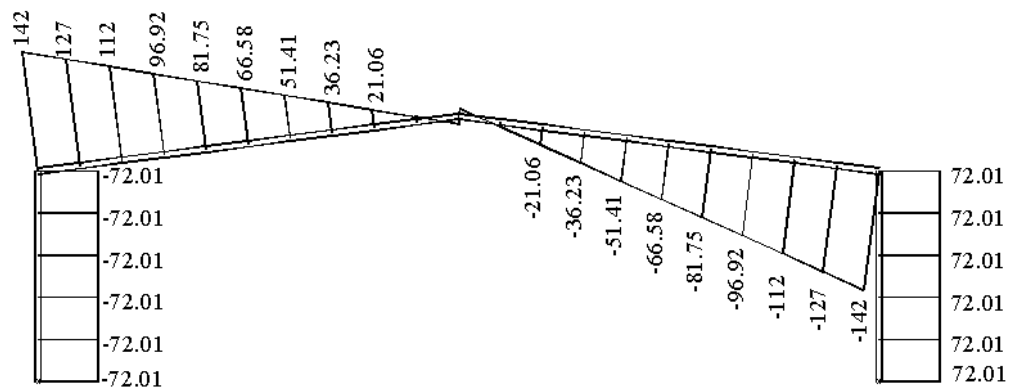
Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, οι τέσσερις πρώτοι συνδυασμοί περιλαμβάνουν τα μέγιστα φορτία που δρουν με φορά προς τα κάτω. Έτσι, τα μόνιμα φορτία δρουν δυσμενώς και πολλαπλασιάζονται με συντελεστή 1,35. Αυτά συνδυάζονται με τα φορτία χιονιού και πίεσης ανέμου στην οροφή προς κάτω, που κι αυτά δρουν δυσμενώς, εφόσον έχουν την ίδια φορά με τα μόνιμα φορτία. Τα φορτία αυτά, ως μεταβλητές φορτίσεις συνδυάζονται με τα μόνιμα φορτία είτε μόνες τους με συντελεστή 1,50, είτε και μεταξύ τους, με συντελεστή 1,50 για την κύρια μεταβλητή δράση και $1,50 \times \psi$ για την δευτερεύουσα. Έτσι λαμβάνεται υπόψη είτε το χιόνι ως κύρια μεταβλητή δράση, και ο άνεμος ως δευτερεύουσα, είτε ο άνεμος ως κύρια μεταβλητή δράση και το χιόνι ως δευτερεύουσα. Στους συνδυασμούς αυτούς, δεν λαμβάνεται υπόψη η υποπίεση εφόσον δρα ευμενώς.

Ο τελευταίος συνδυασμός, περιλαμβάνει τα μέγιστα φορτία που δρουν με φορά προς τα πάνω, έτσι λαμβάνονται υπόψη τα μόνιμα φορτία που δρουν ευμενώς και πολλαπλασιάζονται με συντελεστή 1,00 και η υποπίεση που δρα δυσμενώς και πολλαπλασιάζεται με συντελεστή 1,50. Στον συνδυασμό αυτό δεν περιλαμβάνονται το χιόνι και η ανεμοπίεση επειδή δρουν ευμενώς, επομένως πολλαπλασιάζονται με 0,00.

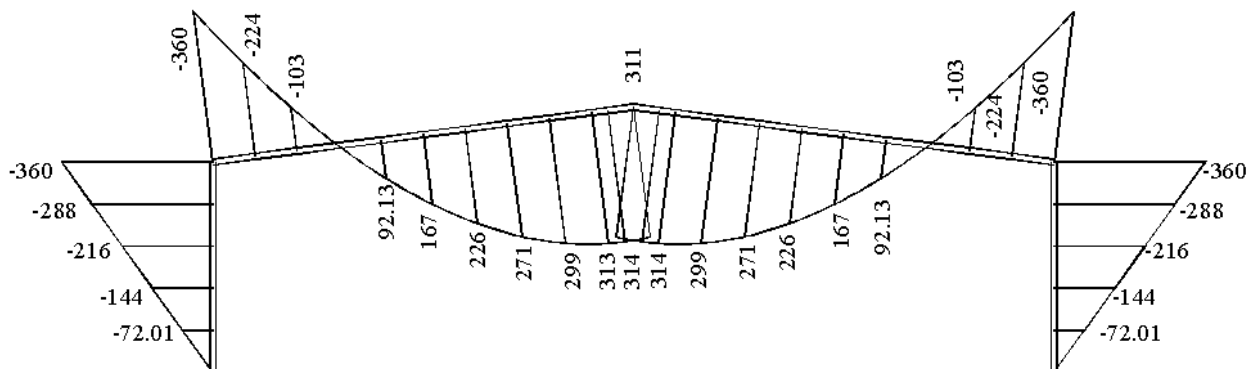
Στη συνέχεια δίνονται τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται σε υποστυλώματα και ζύγωμα για κάθε έναν από τους παραπάνω συνδυασμούς.



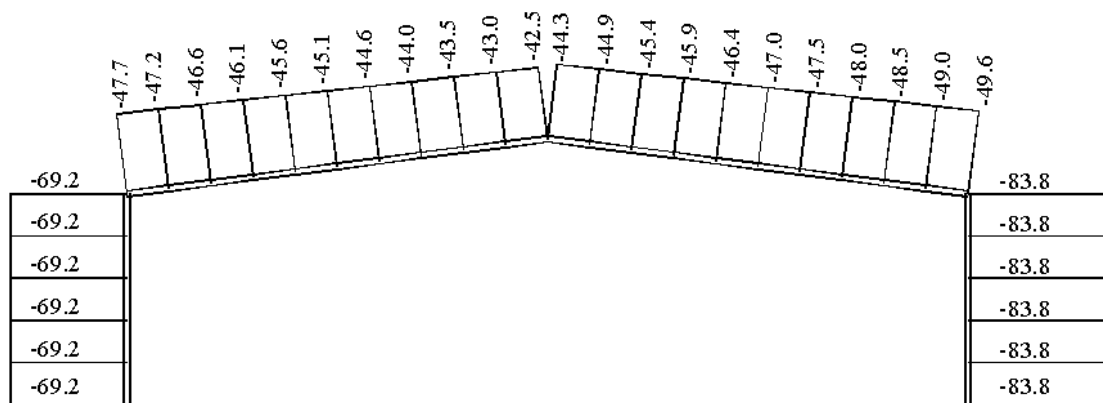
Σχήμα Β1: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ1



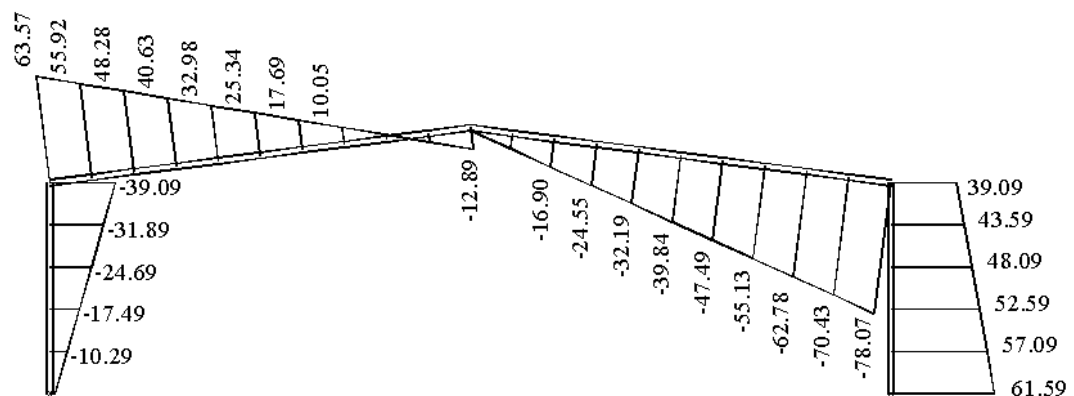
Σχήμα Β2: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων V , συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ1



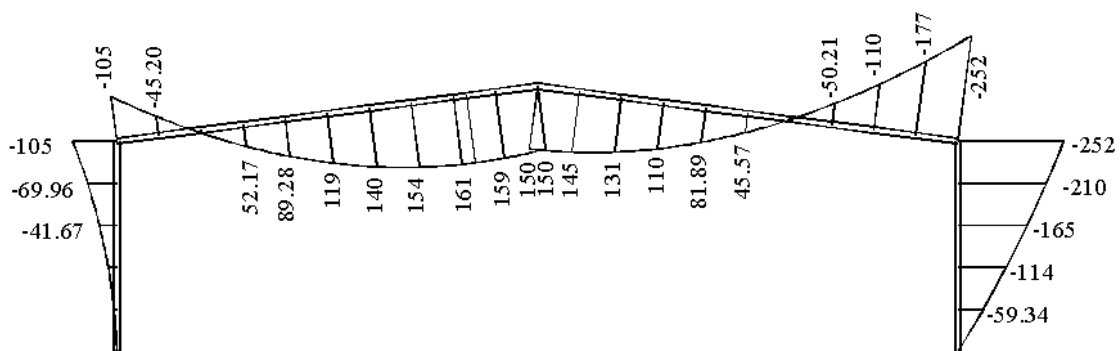
Σχήμα Β3: Διάγραμμα καμπτικών ροών M , συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ1



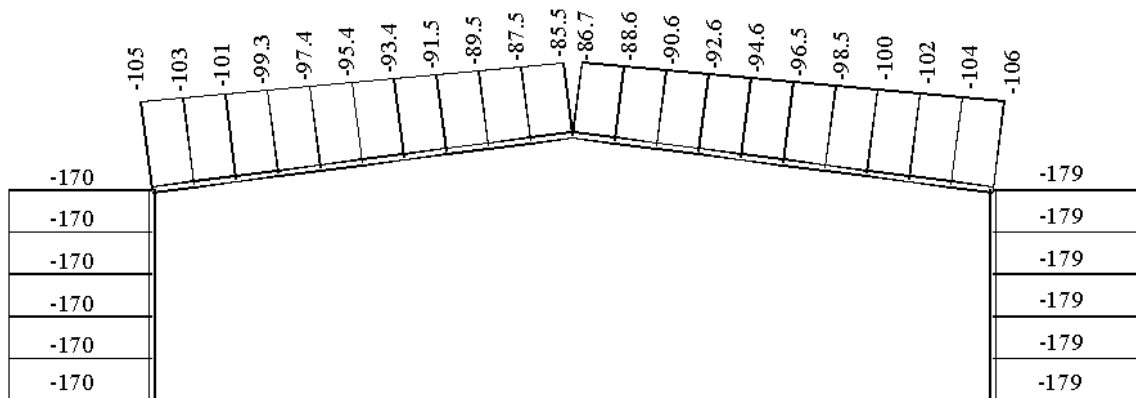
Σχήμα B4: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ2



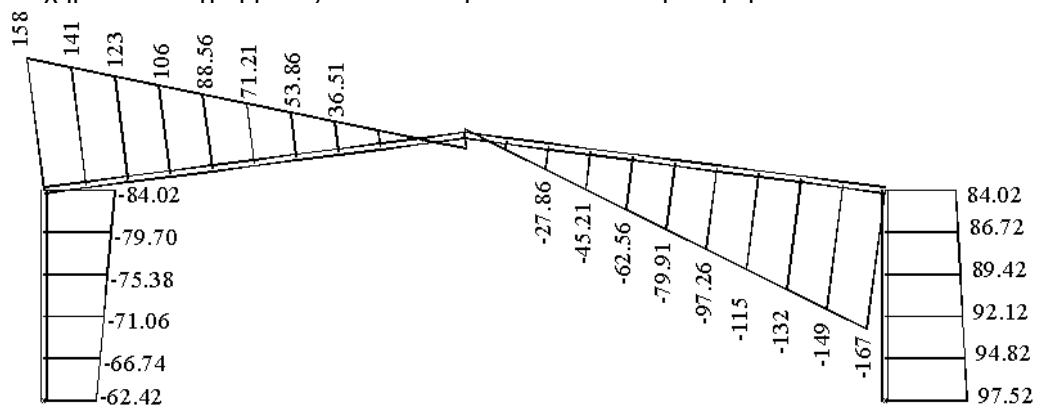
Σχήμα B5: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων V_y συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ2



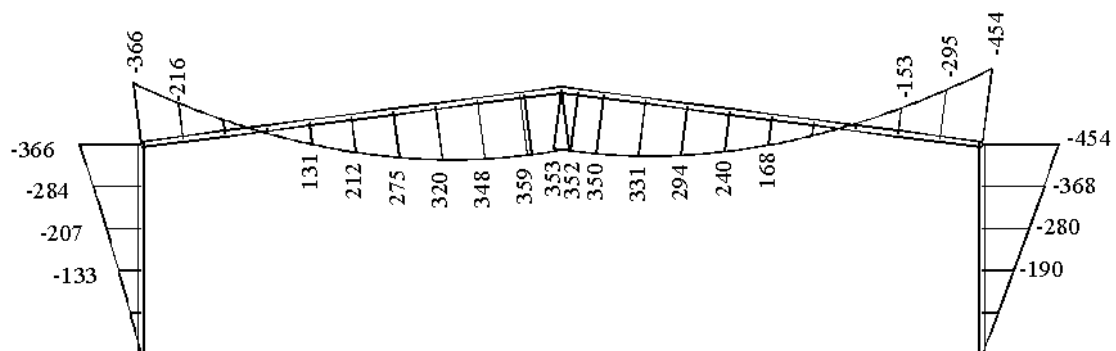
Σχήμα B6: Διάγραμμα καμπτικών ροών M_y συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ2



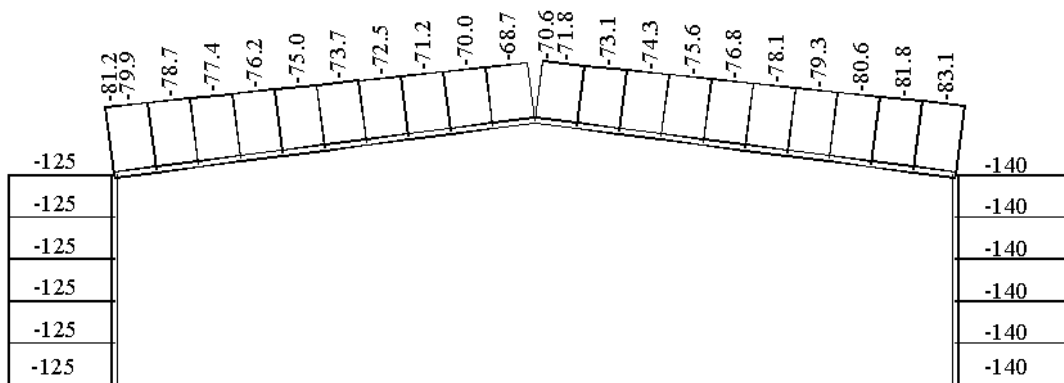
Σχήμα Β7: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ3



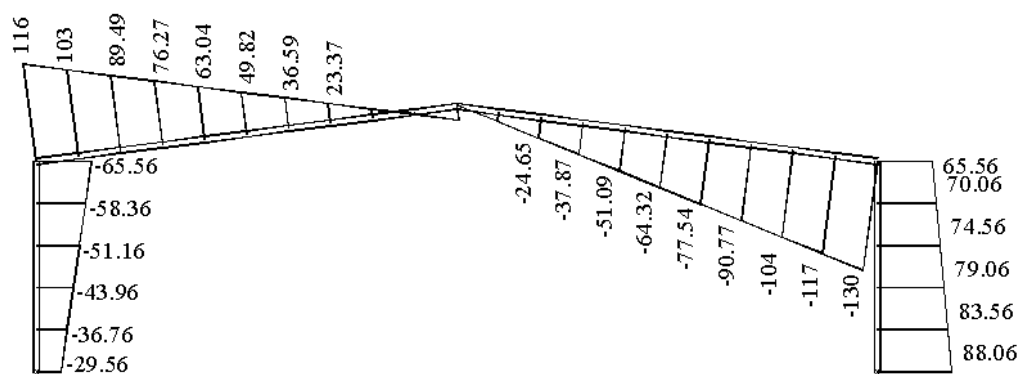
Σχήμα Β8: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων V_y συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ3



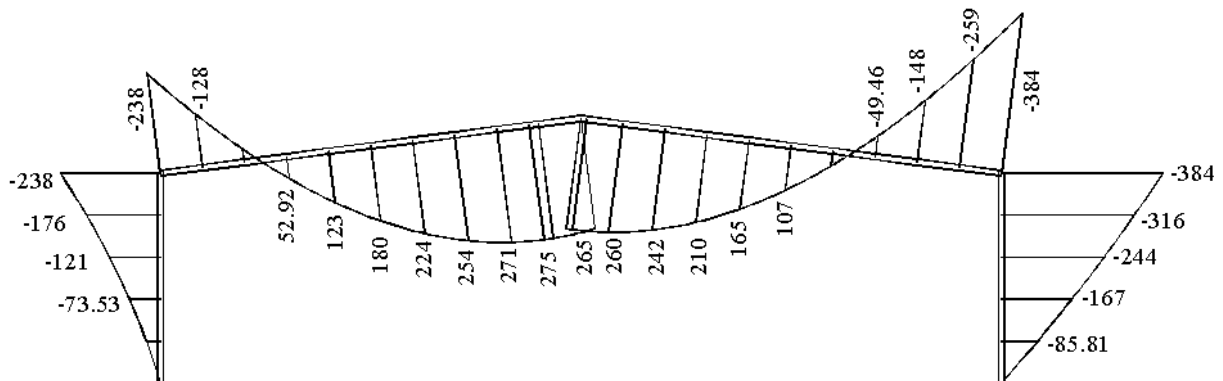
Σχήμα Β9: Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ3



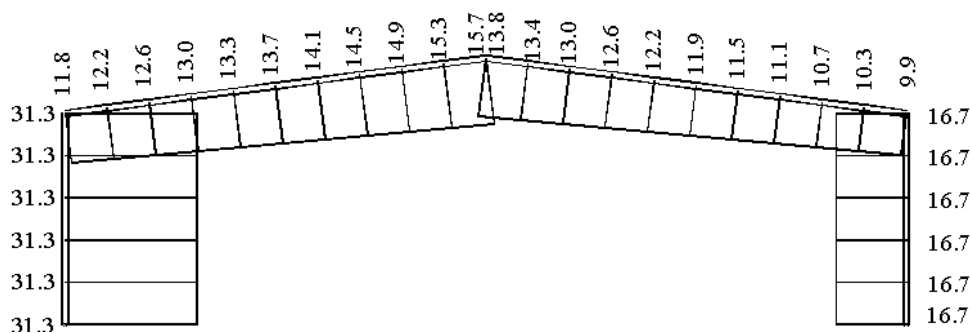
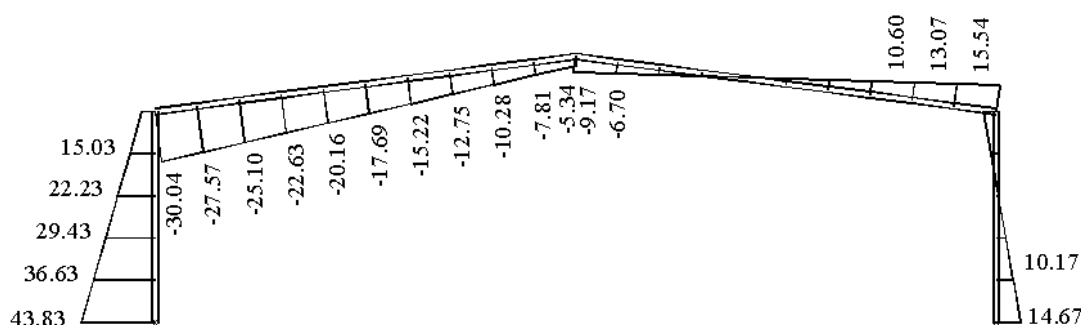
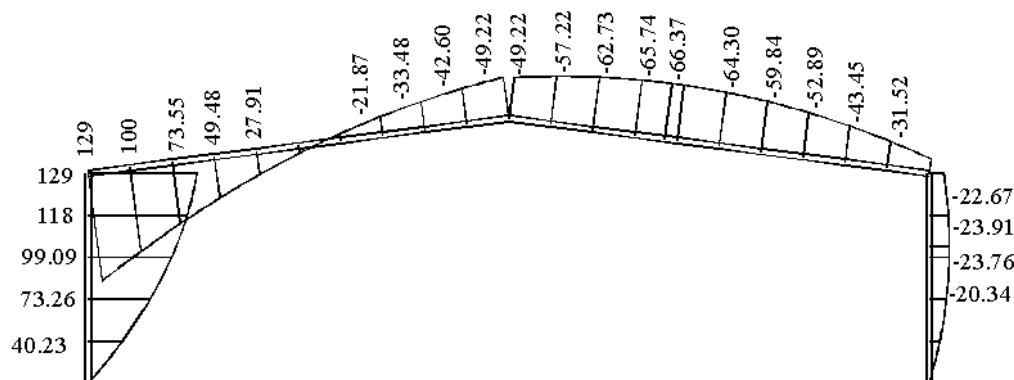
Σχήμα B10: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ4



Σχήμα B11: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων V_y συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ4



Σχήμα B12: Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ4

Σχήμα B13: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ5Σχήμα B14: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων V_y συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ5Σχήμα B15: Διάγραμμα καμπτικών ροών M_y συνδυασμού φορτίσεων ΣΦ5

Β.2. ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Δυσμενέστερος συνδυασμός για τη μέγιστη θλιπτική δύναμη, καμπτική ροπή και τέμνουσα δύναμη, για τα υποστυλώματα, είναι ο ΣΦ3, σύμφωνα με τον οποίο, αναπτύσσεται στο υπήνεμο υποστυλώμα η μέγιστη θλιπτική δύναμη ίση με $N_{Ed}=179\text{kN}$ και ταυτόχρονα στην κεφαλή του ίδιου υποστυλώματος, η μέγιστη καμπτική ροπή, ίση με $M_{Ed}=454\text{kNm}$ ενώ στο ζύγωμα αναπτύσσεται μέγιστη αξονική θλιπτική δύναμη ίση με 106kN . Για τον συγκεκριμένο συνδυασμό παρουσιάζεται στην κεφαλή του υποστυλώματος τέμνουσα δύναμη ίση με $V_{Ed}=84,02\text{kN}$. Η μέγιστη τέμνουσα από όλους τους συνδυασμούς αναπτύσσεται για τον συνδυασμό ΣΦ3 στη βάση του υπήνεμου υποστυλώματος και είναι ίση με $\max V_{Ed}=97,52\text{kN}$.

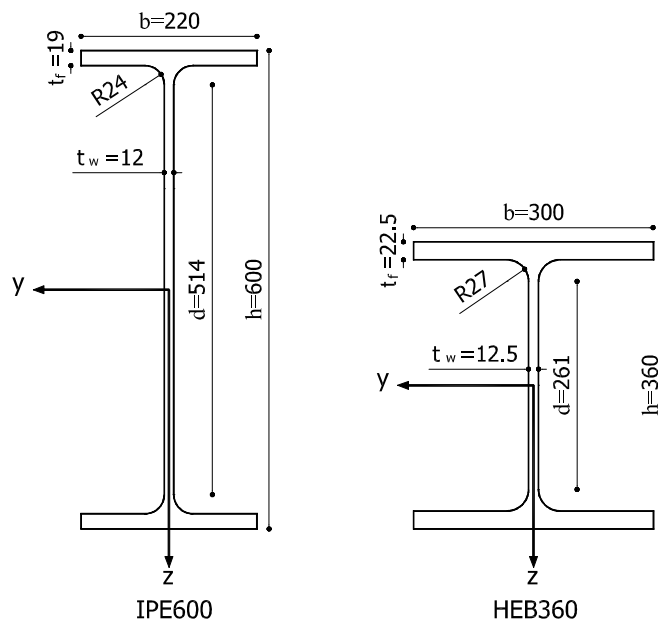
Από τους συνδυασμούς φορτίσεων, δυσμενέστερος συνδυασμός για τη μέγιστη εφελκυστική δύναμη στα υποστυλώματα είναι ο ΣΦ5, σύμφωνα με τον οποίο, αναπτύσσεται στο προσήνεμο υποστυλώμα η μέγιστη εφελκυστική δύναμη ίση με $N_{Ed}=31,3\text{kN}$, ενώ για τον ίδιο συνδυασμό, αναπτύσσεται καμπτική ροπή στην κεφαλή του υποστυλώματος ίση με $M_{Ed}=129\text{kNm}$ και τέμνουσα δύναμη ίση με $V_{Ed}=15,00\text{kN}$.

Παρατηρούμε ότι η ροπή στο εφελκυσμένο υποστυλώμα είναι πολύ μικρή σε σχέση με αυτή που αναπτύσσεται στο θλιβόμενο υποστυλώμα. Επομένως, μπορούμε να αγνοήσουμε τον έλεγχο σε κάμψη και εφελκυσμό, εφόσον θα γίνει έλεγχος σε θλίψη και κάμψη που θα είναι εμφανώς κρισιμότερος.

Παράρτημα Γ: Αναλυτικός υπολογισμός μειωτικών συντελεστών χ_y και χ_z

Γ.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

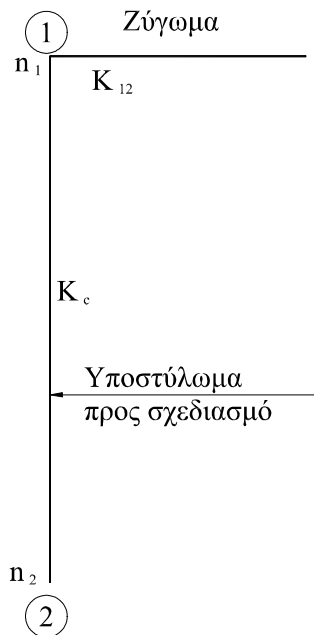
IPE 600	$I_y=92080\text{cm}^4$ $i_y=24,30\text{cm}$ $W_{pl,y}=3512\text{cm}^3$ $A=156\text{cm}^2$ $b=220\text{mm}$ $h=600\text{mm}$ $d=514\text{mm}$	$I_z=3387\text{cm}^4$ $i_z=4,66\text{cm}$ $W_{pl,z}=485,6\text{cm}^3$ $A_{vz}=83,78\text{cm}^2$ $t_f=19\text{mm}$ $t_w=12\text{mm}$ $r=24\text{mm}$
HEB 360	$I_y=43190\text{cm}^4$ $i_y=15,46\text{cm}$ $I_T=292,50\text{cm}^4$ $W_{pl,y}=2683\text{cm}^3$ $W_{el,y}=2400\text{cm}^3$ $A=180,6\text{cm}^2$ $b=300\text{mm}$ $h=360\text{mm}$ $d=261\text{mm}$	$I_z=10140\text{cm}^4$ $i_z=7,49\text{cm}$ $I_w=2883000\text{cm}^6$ $W_{pl,z}=1032\text{cm}^3$ $W_{el,z}=676,10\text{cm}^3$ $A_{vz}=60,60\text{cm}^2$ $t_f=22,5\text{mm}$ $t_w=12,5\text{mm}$ $r=27\text{mm}$



Σχήμα Γ1: Διατομή IPE600 για το ζυγώμα και HEB360 για τα υποστυλώματα των πλαισίων

Γ.2. ΙΣΟΔΥΝΑΜΑ ΜΗΚΗ ΛΥΓΙΣΜΟΥ**Διεύθυνση y-y**

Ο υπολογισμός κρίσιμου μήκους λυγισμού γίνεται με παραδοχή οριζοντίου ζυγώματος η οποία για τις συνήθεις κλίσεις του ζυγώματος αποδεικνύεται ότι δεν εισάγει σημαντικό σφάλμα στους υπολογισμούς.

Σχήμα Γ2: Συντελεστές κατανομής n_1 και n_2

Ο συντελεστής κατανομής για την κορυφή του υποστυλώματος (κόμβος 1) δίνεται από τη σχέση:

$$n_1 = \frac{K_c}{K_c + K_{12}}$$

όπου K_c ο συντελεστής δυσκαμψίας του υποστυλώματος που δίνεται ίσος με:

$$K_c = \frac{I_c}{L_c}$$

όπου I_c : η ροπή αδράνειας του υποστυλώματος

L_c : το μήκος του υποστυλώματος

και K_{12} ο συντελεστής δυσκαμψίας του ζυγώματος που δίνεται ίσος με:

$$K_{ij} = a \frac{I_{ij}}{L_{ij}}$$

όπου I_{ij} : η ροπή αδράνειας του μέλους

L_{ij} : το μήκος του μέλους και

a : συντελεστής που εξαρτάται από τις συνθήκες στρωφικής δέσμευσης των απομακρυσμένων άκρων του μέλους και δίνεται από τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας Γ1: Συντελεστής ενεργού δυσκαμψίας K δοκού με αξονική δύναμη

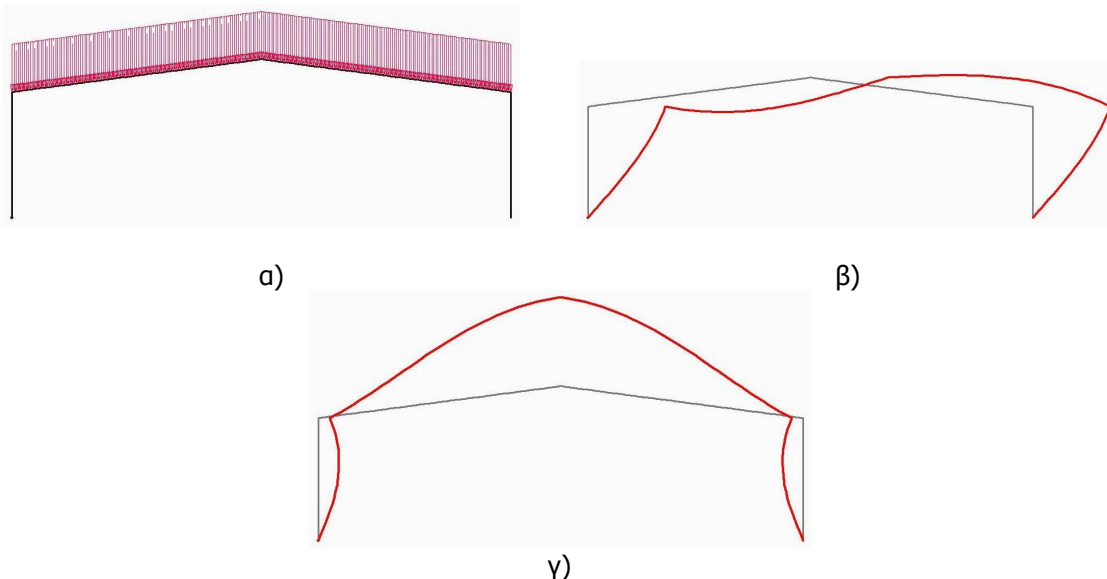
Συνθήκες στρωφικής δέσμευσης του απομακρυσμένου άκρου της δοκού	Συντελεστής ενεργού δυσκαμψίας K δοκού (με την προϋπόθεση ότι η δοκός παραμένει ελαστική)
Πάκτωση στο απομακρυσμένο άκρο	1,00 I/L (1-0,4 N/N_E)
Άρθρωση στο απομακρυσμένο άκρο	0,75 I/L (1-1,0 N/N_E)
Στρωφή όπως στο πλησιέστερο άκρο (διπλή καμπυλότητα)	1,50 I/L (1-0,2 N/N_E)
Στρωφή ίση και αντίθετη προς αυτήν του πλησιέστερου άκρου (απλή καμπυλότητα)	0,50 I/L (1-1,0 N/N_E)

όπου $N_E = \pi^2 EI / L^2$.

Αφού το πλαίσιο είναι μεταθετό (δεδομένου ότι η οριζόντια μετατόπιση του ζυγώματος μέσα στο επίπεδο του πλαισίου εμποδίζεται μόνον από την πλαισιακή λειτουργία, και όχι με άλλα μέσα, π.χ. σύνδεσμούς

δυσκαμψίας ή αντηρίδες) το πρώτο κρίσιμο φορτίο λυγισμού αντιστοιχεί σε αντισυμμετρική ιδιομορφή με μετάθεση.

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται οι δύο πρώτες μορφές λυγισμού για ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο στο ζύγωμα.



Σχήμα Γ3: α) Ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο στο ζύγωμα β) πρώτη ιδιομορφή λυγισμού (αντισυμμετρική - με μετάθεση) που αντιστοιχεί σε φορτίο 499,8kN/m, γ) δεύτερη ιδιομορφή λυγισμού (συμμετρική - χωρίς μετάθεση) που αντιστοιχεί σε φορτίο 1876,8kN/m

Ισχύει:

$$K_c = I_{y(HEB360)} / L_c = 43190 \text{ cm}^4 / 500 \text{ cm} = 86,38 \text{ cm}^3 \text{ και}$$

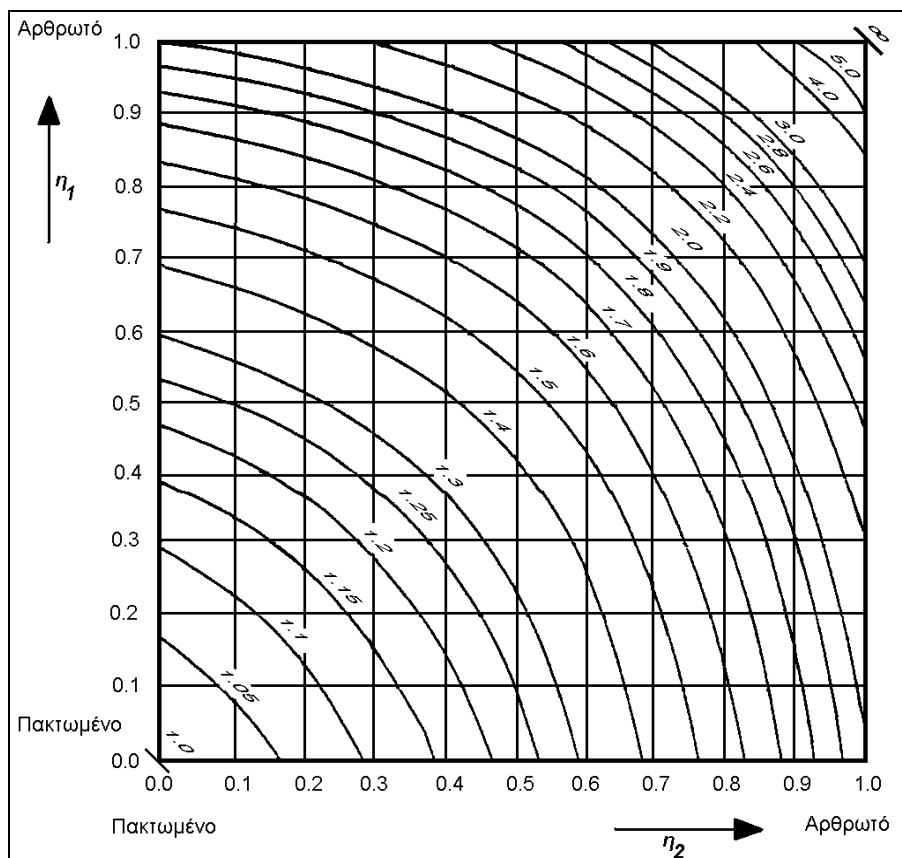
$$K_{12} = \frac{1,50 \times I_{y(IPE600)}}{L_{12}} \left(1 - 0,20 \frac{N}{N_E} \right) = \frac{1,50 \times 92080 \text{ cm}^4}{2000 \text{ cm}} \left(1 - 0,20 \frac{106 \text{ kN} \times (2000 \text{ cm})^2}{\pi^2 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 92080 \text{ cm}^4} \right) = 68,75 \text{ cm}^3$$

Επομένως ο συντελεστής κατανομής n_1 γίνεται:

$$n_1 = \frac{K_c}{K_c + K_{12}} = \frac{86,38 \text{ cm}^3}{86,38 \text{ cm}^3 + 68,75 \text{ cm}^3} = 0,56$$

Συντελεστής κατανομής για τη βάση του υποστυλώματος (κόμβος 2)

$$n_2 = 1,0 \text{ (άρθρωση)}$$

Σχήμα Γ4: Συντελεστής ισοδύναμου μήκους λυγισμού L_{cr}/L για υποστυλωμα με μεταθετά άκρα

Από το παραπάνω σχήμα για μεταθετά πλαίσια, για $\eta_1=0,56$ και $\eta_2=1,0$ εκτιμούμε γραφικά τον συντελεστή ισοδυνάμου μήκους λυγισμού $\beta=2,60$.

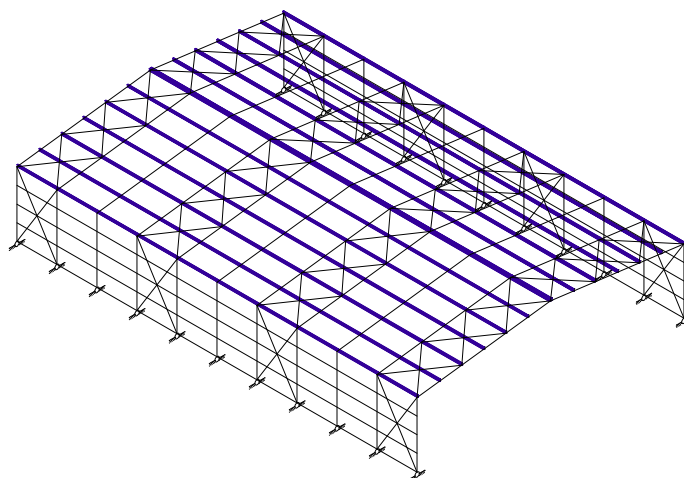
Επομένως το μήκος λυγισμού του υποστυλώματος ως προς τον άξονα γ-γ είναι:

$$L_y = \beta \times L = 2,60 \times 5,00\text{m} = 13,00\text{m}$$

Διεύθυνση z-z

Ως προς τον άξονα z-z (για λυγισμό εκτός επιπέδου του πλαισίου) το υποστυλωμα είναι εξασφαλισμένο μόνο στα άκρα του, μέσω των κατακόρυφων διαγωνίων συνδέσμων και της κεφαλοδοκού. Έτσι το μήκος λυγισμού θα είναι:

$$L_z = 5,00\text{m}$$



Σχήμα Γ5: Εξασφάλιση στα άκρα των υποστυλωμάτων

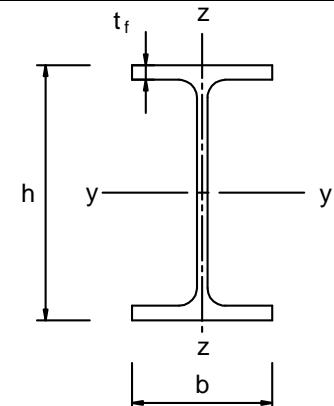
Γ.3. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΛΥΓΙΣΜΟΥ

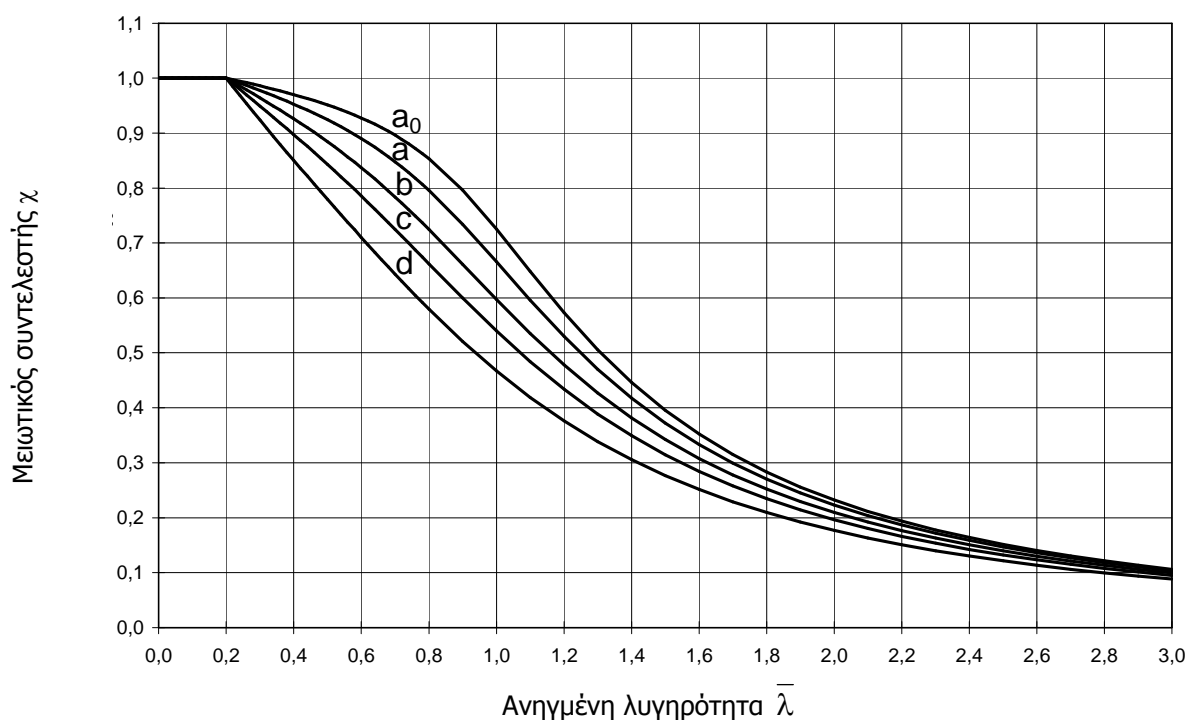
Από τον παρακάτω πίνακα, για πρότυπη διατομή διπλού ταυ και για χάλυβα S235, έχουμε:

$h/b=360/300=1,20$ και $t_f=22,5\text{mm} < 100\text{mm}$

Επομένως η καμπύλη λυγισμού είναι η b για λυγισμό περί τον άξονα y-y και c περί τον άξονα z-z.

Πίνακας Γ2: Επιλογή καμπύλης λυγισμού

Διατομή		Όρια		Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη λυγισμού	
					S 235, S 275 S 355, S 420	S 460
Ελατές διατομές		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	a b	a ₀ a ₀
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y - y z - z	b c	a a
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y - y z - z	b c	a a
			$t_f > 100 \text{ mm}$	y - y z - z	d d	c c

Γ.4. ΜΕΙΩΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ χ 

Σχήμα Γ6: Καμπύλες λυγισμού

Για ανηγμένη λυγηρότητα κατά τον άξονα y $\bar{\lambda}_y = 0,90$, ο συντελεστής χ_y , για καμπύλη λυγισμού b , είναι ίσος με $\chi_y = 0,67$, ενώ για ανηγμένη λυγηρότητα κατά τον άξονα z $\bar{\lambda}_z = 0,71$ ο συντελεστής χ_z , για καμπύλη λυγισμού c είναι ίσος με $\chi_z = 0,71$.

Εναλλακτικώς, ο μειωτικός συντελεστής χ μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την σχέση:

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

όπου

$$\phi = 0,5 \left[1 + a(\bar{\lambda} - 0,20) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

και a ο συντελεστής ατελειών που εξαρτάται από τις καμπύλες λυγισμού που δίνεται από τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας Γ3: Συντελεστές ατελειών για καμπύλες λυγισμού

Καμπύλη λυγισμού	a_0	a	b	c	d
Συντελεστής ατελειών α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Περί τον άξονα y-y

Για καμπύλη λυγισμού b ισχύει $a=0,34$

$$\phi_y = 0,5 \left[1 + a_y(\bar{\lambda}_y - 0,20) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,34 \cdot (0,90 - 0,20) + 0,90^2 \right] = 1,02$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,02 + \sqrt{1,02^2 - 0,90^2}} = 0,67 < 1,00$$

Περί τον άξονα z-z

Για καμπύλη λυγισμού c ισχύει $a=0,49$

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + a_z(\bar{\lambda}_z - 0,20) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,49 \cdot (0,71 - 0,20) + 0,71^2 \right] = 0,88$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,88 + \sqrt{0,88^2 - 0,71^2}} = 0,71 < 1,00$$

Παράρτημα Δ: Μέθοδος Α ελέγχου σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Δ.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΛΟΥΣ ΣΕ ΣΤΡΕΠΤΟΚΑΜΠΤΙΚΟ ΛΥΓΙΣΜΟ

Μέλη που υπόκεινται σε συνδυασμένη κάμψη και θλίψη πρέπει να ικανοποιούν:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

όπου $N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$	οι τιμές σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης και των μεγίστων ρομών ως προς τους y-y και z-z άξονες κατά μήκος του μέλους, αντίστοιχα
$\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$	οι ροπές λόγω της μετατόπισης του κεντροβαρικού άξονα για διατομές κατηγορίας 4,
χ_y and χ_z	οι μειωτικοί συντελεστές λόγω καμπτικού λυγισμού
χ_{LT}	ο μειωτικός συντελεστής λόγω στρεπτοκαμπτικού (πλευρικού) λυγισμού. Για μέλη στα οποία ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός δεν αποτελεί δυνατή μορφή αστοχίας λαμβάνεται $\chi_{LT}=1,00$
$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$	οι συντελεστές αλληλεπίδρασης
γ_{M1}	1,00

Για διατομές κατηγορίας 1 και για μονοαξονική κάμψη περί τον άξονα y, θα πρέπει να ισχύει:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

όπου

$$N_{Rk} = A f_y$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} f_y$$

Δ.2. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ Α

Πίνακας Δ1: Συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij}

Συντελεστές αλληλεπίδρασης	Παραδοχές σχεδιασμού
	πλαστικές ιδιότητες διατομής κατηγορία 1 και 2
k_{yy}	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$
k_{zy}	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$

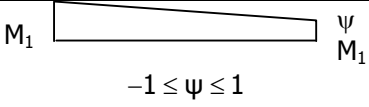
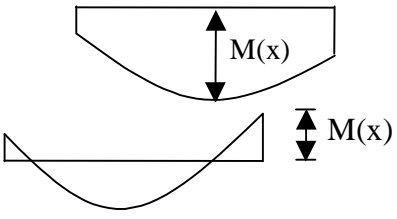
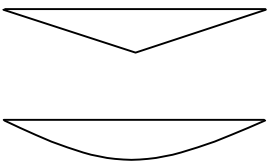
Πίνακας Δ1: (συνέχεια): Συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij}

Βοηθητικοί συντελεστές	
$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$
$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$
$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1,5$	$\mu_e b_{LT} = 0,5 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd} M_{pl,z,Rd}} \frac{M_{y,Ed}}{M_{z,Ed}}$
$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1,5$	$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$
$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}}$	$\mu_e c_{LT} = 10 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd} M_{pl,z,Rd}}$
$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} \geq 0$	$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$
	$\mu_e d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd} C_{mz} M_{pl,z,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$
	$\mu_e e_{LT} = 1,7 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$

Πίνακας Δ1 (συνέχεια): Συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij}

$\bar{\lambda}_{\max} = \max \left\{ \frac{\bar{\lambda}_y}{\bar{\lambda}_z} \right\}$	
$\bar{\lambda}_0$	= ανηγμένη λυγηρότητα για στρεπτοκαμπτικό (πλευρικό) λυγισμό λόγω σταθερής καμπτικής ροπής, δηλ. $\psi_y = 1,0$ στον Πίνακα Δ2
$\bar{\lambda}_{LT}$	= ανηγμένη λυγηρότητα για στρεπτοκαμπτικό (πλευρικό) λυγισμό
Εάν $\bar{\lambda}_0 \leq 0,2\sqrt{C_1}$	$\sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)} : C_{my} = C_{my,0} \quad C_{mz} = C_{mz,0} \quad \text{και} \quad C_{mLT} = 1,0$
Εάν $\bar{\lambda}_0 > 0,2\sqrt{C_1}$	$\sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)} : C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\epsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\epsilon_y} a_{LT}}$
	$C_{mz} = C_{mz,0}$
	$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$
$\epsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}}$	για διατομές κατηγορίας 1, 2 και 3
$\epsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}}$	για διατομές κατηγορίας 4
$N_{cr,y}$	= ελαστική δύναμη καμπτικού λυγισμού περί τον άξονα γ-γ
$N_{cr,z}$	= ελαστική δύναμη καμπτικού λυγισμού περί τον άξονα z-z
$N_{cr,T}$	= ελαστική δύναμη στρεπτικού λυγισμού
I_T	= σταθερά στρέψης St. Venant
I_y	= ροπή αδρανείας ως προς τον άξονα γ-γ

Πίνακας Δ2: Συντελεστές $C_{mi,0}$ ισοδύναμης ομοιόμορφης ροής

Διάγραμμα ροής	$C_{mi,0}$
 <p>M_1 ψM_1 $-1 \leq \psi \leq 1$</p>	$C_{mi,0} = 0,79 + 0,21\psi_i + 0,36(\psi_i - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
 <p>$M(x)$ $M(x)$</p>	$C_{mi,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 EI_i \delta_x }{L^2 M_{i,Ed}(x) } - 1 \right) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ <p>$M_{i,Ed}(x)$ είναι η μέγιστη ροπή $M_{y,Ed}$ ή $M_{z,Ed}$ δ_x είναι η μέγιστη μετατόπιση του μέλους κατά το μήκος του</p>
	$C_{mi,0} = 1 - 0,18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ $C_{mi,0} = 1 + 0,03 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$

Η ελαστική δύναμη καμπτικού λυγισμού περί τους άξονες y-y και z-z είναι αντίστοιχα:

$$N_{cr,y} = \pi^2 EI_y / L_y^2 = \pi^2 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 43190 \text{ cm}^4 / (1300 \text{ cm})^2 = 5296,82 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 EI_z / L_z^2 = \pi^2 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 10140 \text{ cm}^4 / (500 \text{ cm})^2 = 8406,53 \text{ kN}$$

Το ελαστικό κρίσιμο φορτίο στρεπτικού λυγισμού δίνεται ως εξής:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_M^2} \left(GI_T + \frac{\pi^2 EI_w}{L_T^2} \right) = \frac{1}{295,11 \text{ cm}^2} \left(8077 \text{ kN/cm}^2 \times 292,5 \text{ cm}^4 + \frac{\pi^2 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 2883000 \text{ cm}^6}{(500 \text{ cm})^2} \right) = 16105 \text{ kN}$$

όπου i_M είναι η πολική ροπή αδράνειας της διατομής ως προς το κέντρο διάτμησης:

$$i_M^2 = i_y^2 + i_z^2 = (15,46 \text{ cm})^2 + (7,49 \text{ cm})^2 = 295,11 \text{ cm}^2$$

Για τον υπολογισμό της ανηγμένης λυγηρότητας $\bar{\lambda}_0$ για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό λόγω σταθερής καμπτικής ροής, θα πρέπει να ξαναυπολογιστεί η ελαστική κρίσιμη ροπή σε πλευρικό λυγισμό. Έτσι θα έχουμε $\psi=1$ και για $k=1,00$:

$$C_1 = 1,00$$

Η ελαστική κρίσιμη ροπή σε αυτή την περίπτωση θα είναι:

$$M_{cr,LT} = 375581 \text{ Ncm} / 1,879 \times 1,00 = 199883 \text{ kNcm}$$

και η ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda}_0$ θα είναι:

$$\bar{\lambda}_0 = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr,LT}}} = \sqrt{\frac{2683 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{199883 \text{ kNcm}}} = 0,56$$

Ισχύει επίσης:

$$\bar{\lambda}_0 > 0,2 \sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)} \quad \text{αφού} \quad 0,2 \sqrt{1,879} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{179 \text{ kN}}{8406,53 \text{ kN}}\right) \left(1 - \frac{179 \text{ kN}}{16105 \text{ kN}}\right)} = 0,27$$

Από τον πίνακα Δ2 για $\psi_y=0$ υπολογίζεται ο συντελεστής C_{my} :

$$C_{my,0} = 0,79 + 0,21\psi_y + 0,36(\psi_y - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 0,79 + 0 + 0,36(0 - 0,33) \frac{179 \text{ kN}}{5296,82 \text{ kN}} = 0,79$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = \frac{45400 \text{ kNcm}}{179 \text{ kN}} \frac{180,6 \text{ cm}^2}{2400 \text{ cm}^3} = 19,09$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} = 1 - \frac{292,5 \text{ cm}^4}{43190 \text{ cm}^4} = 0,99 \geq 0$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}} = 0,79 + (1 - 0,79) \frac{\sqrt{19,09} \cdot 0,99}{1 + \sqrt{19,09} \cdot 0,99} = 0,96$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} = 0,96^2 \frac{0,99}{\sqrt{\left(1 - \frac{179 \text{ kN}}{8406,53 \text{ kN}}\right) \left(1 - \frac{179 \text{ kN}}{16105 \text{ kN}}\right)}} = 0,93 \geq 1$$

$$\eta_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{179 \text{ kN}}{\frac{180,6 \text{ cm}^2 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00}} = 0,042$$

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{2683 \text{ cm}^3}{2400 \text{ cm}^3} = 1,11 < 1,5$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = \frac{1032 \text{ cm}^3}{676,10 \text{ cm}^3} = 1,53 > 1,5 \Rightarrow w_z = 1,50$$

$$b_{LT} = 0, d_{LT} = 0 \text{ (αφού } M_{z,Ed} = 0)$$

$$\bar{\lambda}_{\max} = \max \left\{ \bar{\lambda}_y = 0,90 \atop \bar{\lambda}_z = 0,71 \right\} = 0,90$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max}^2 \right) \eta_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yy} = 1 + (1,11 - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{1,11} \times 0,96^2 \times 0,90 - \frac{1,6}{1,11} \times 0,96^2 \times 0,90^2 \right) \times 0,042 - 0 \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{yy} = 1,00 > \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} = \frac{2400 \text{ cm}^3}{2683 \text{ cm}^3} = 0,89$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max}^2}{w_y^5} \right) \eta_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zy} = 1 + (1,11 - 1) \left[\left(2 - 14 \times \frac{0,96^2 \times 0,90^2}{1,11^5} \right) \times 0,042 - 0 \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{zy} = 0,98 > 0,6 \sqrt{\frac{1,11}{1,50}} \frac{2400 \text{ cm}^3}{2683 \text{ cm}^3} = 0,46$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{179 \text{ kN}}{5296,82 \text{ kN}}}{1 - 0,67 \frac{179 \text{ kN}}{5296,82 \text{ kN}}} = 0,99$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{179\text{kN}}{8406,53\text{kN}}}{1 - 0,71 \frac{179\text{kN}}{8406,53\text{kN}}} = 0,99$$

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}} = 0,96 \times 0,93 \times \frac{0,99}{1 - \frac{179\text{kN}}{5296,82\text{kN}}} \times \frac{1}{1,00} = 0,91$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} = 0,96 \times 0,93 \times \frac{0,99}{1 - \frac{179\text{kN}}{5296,82\text{kN}}} \times \frac{1}{0,98} \times 0,6 \sqrt{\frac{1,11}{1,50}} = 0,48$$

4.2 Έλεγχος σύμφωνα με τη μέθοδο A

Ο τελικός έλεγχος για το υπήνεμο υποστυλώμα με τα μέγιστα εντατικά μεγέθη είναι:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} = \frac{179\text{kN}}{0,67 \times \frac{180,6\text{cm}^2 \times 23,5\text{kN/cm}^2}{1,00}} + 0,91 \frac{45400\text{kNcm}}{0,94 \times \frac{2683\text{cm}^3 \times 23,5\text{kN/cm}^2}{1,00}} =$$

$$= 0,06 + 0,70 = 0,76 < 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} = \frac{179\text{kN}}{0,71 \times \frac{180,6\text{cm}^2 \times 23,5\text{kN/cm}^2}{1,00}} + 0,48 \frac{45400\text{kNcm}}{0,94 \times \frac{2683\text{cm}^3 \times 23,5\text{kN/cm}^2}{1,00}} =$$

$$= 0,06 + 0,37 = 0,43 < 1$$

Παράρτημα Ε: Μέθοδος Β ελέγχου σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Ο έλεγχος της ευστάθειας μελών σταθερής διατομής διπλής συμμετρίας, πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες, όπου διάκριση γίνεται μεταξύ:

- μελών που δεν είναι ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις, όπως ισχύει στην περίπτωση του υποστυλώματος που ελέγχεται (Πίνακας Ε1)
- μελών που είναι ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις (Πίνακας Ε2)

Πίνακας Ε1: Συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij} για μέλη μη ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις

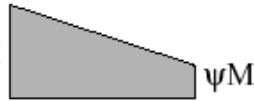
Συντελεστές αλληλεπίδρασης	Τύπος διατομών	Παραδοχές σχεδιασμού	
		ελαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 3, κατηγορία 4	πλαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 1, κατηγορία 2
k_{yy}	διατομές Ι διατομές RHS	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$
k_{yz}	διατομές Ι διατομές RHS	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	διατομές Ι διατομές RHS	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	διατομές Ι	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$
	διατομές RHS		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$

Για διατομές Ι και Η και ορθογωνικές κοίλες διατομές με αξονική θλίψη και μονοαξονική κάμψη $M_{y,Ed}$ ο συντελεστής k_{zy} μπορεί να είναι $k_{zy} = 0$.

Πίνακας Ε2: Συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij} για μέλη που υπόκεινται σε στρεπτικές παραμορφώσεις

Συντελεστές αλληλεπίδρασης	Παραδοχές σχεδιασμού	
	ελαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 3, κατηγορία 4	πλαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 1, κατηγορία 2
k_{yy}	k_{yy} από προηγούμενο Πίνακα	k_{yy} από προηγούμενο Πίνακα
k_{yz}	k_{yz} από προηγούμενο Πίνακα	k_{yz} από προηγούμενο Πίνακα
k_{zy}	$\left[1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right]$ για $\bar{\lambda}_z < 0,4$: $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / Y_{M1}}$
k_{zz}	k_{zz} από προηγούμενο Πίνακα	k_{zz} από προηγούμενο Πίνακα

Πίνακας Ε3: Συντελεστής C_{my} ισοδύναμης ομοιόμορφης ροπής

Διάγραμμα ροπής	Περιοχή	C_{my} , C_{mz} και C_{mLT}	
		Ομοιόμορφο φορτίο	Συγκεντρωμένο φορτίο
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
Για μέλη με λυγισμό από μετάθεση ο συντελεστής ισοδύναμης ομοιόμορφης ροπής πρέπει να λαμβάνεται $C_{my} = 0,9$ ή $C_{mz} = 0,9$ αντίστοιχα.			