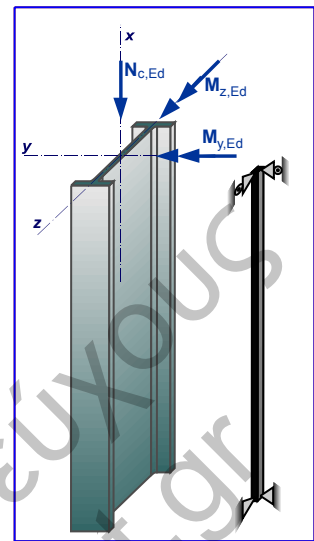


Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress

1. ΥΠΟΣΤΥΛ-001

Αντοχή σε λυγισμό, Μέλη σε θλίψη $N_{c,ed} - M_{y,ed} - M_{z,ed}$
(EC3 EN1993-1-1:2005, §6.3.1)

Διατομή : IPE 270
Δράσεις : Κάμψη και θλίψη $N_{c,ed} - M_{y,ed} - M_{z,ed}$
Χάλυβας : S 355



1.1. Κανονισμοί

- EN1990:2002, Ευρωκώδικας 0 Βάσεις σχεδιασμού
- EN1993-1-1:2005, Ευρωκώδικας 3 1-1 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα
- EN1993-1-3:2005, Ευρωκώδικας 3 1-3 Μέλη και φύλλα ψυχρής έλασης
- EN1993-1-5:2006, Ευρωκώδικας 3 1-5 Δομικά στοιχεία από επίπεδα ελάσματα

1.2. Υλικά

Χάλυβας: S 355 (EN1993-1-1, §3.2)

$t \leq 40$ mm, Αντοχή διαρροής $f_y = 355$ N/mm², Αντοχή αστοχίας $f_u = 510$ N/mm²
 $40\text{mm} < t \leq 80$ mm, Αντοχή διαρροής $f_y = 335$ N/mm², Αντοχή αστοχίας $f_u = 470$ N/mm²
 Μέτρο ελαστικότητας $E = 210000$ N/mm², Λόγος Poisson $\nu = 0.30$, Πυκνότητα $\rho = 7850$ Kg/m³

Συντ. μόνιμης και μεταβλητής δράσης (EN1990, Παράρτημα A1)
 $\gamma_G = 1.35$, $\gamma_Q = 1.50$, $\psi_0 = 0.70$

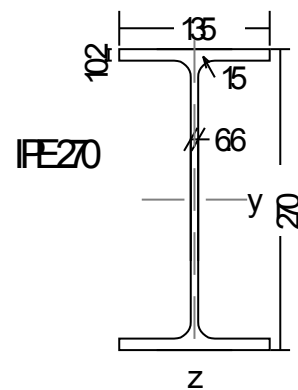
Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_m (EN1993-1-1, §6.1)
 $\gamma_{M0} = 1.00$, $\gamma_{M1} = 1.00$, $\gamma_{M2} = 1.25$

Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

Διατομή IPE 270-S 355

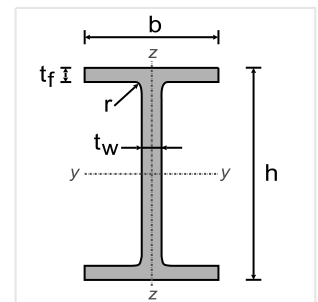
Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h=	270.00 mm
Πλάτος διατομής	b=	135.00 mm
Υψος κορμού	hw=	249.60 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	dw=	219.60 mm
Πάχος κορμού	tw=	6.60 mm
Πάχος πέλματος	tf=	10.20 mm
Ακτίνα συναρμογής	r=	15.00 mm
Μάζα	=	36.10 Kg/m



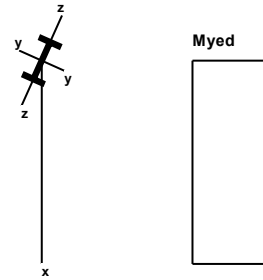
Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	4594 mm ²	
Ροπή αδρανείας	I _y =	57.900x10 ⁶ mm ⁴	I _z = 4.199x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	428.90x10 ³ mm ³	W _z =62.200x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	484.00x10 ³ mm ³	W _{pz} =96.950x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	112.3 mm	i _z = 30.2 mm
Επιφάνεια διάτμησης	A _{vz} =	2213 mm ²	A _{vy} = 2754 mm ²
Σταθερά στρέψης	I _t =	0.159x10 ⁶ mm ⁴	i _p = 116 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	15.632x10 ³ mm ³	
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	70.578x10 ⁹ mm ⁶	



1.3. Διαστάσεις και φορτία

Μήκος υποστρώματος $L=3.400\text{ m}$
 Μήκος λυγισμού-y: $L_{cr,y}=1.000 \times 3.400=3.400\text{m}$
 Μήκος λυγισμού-z: $L_{cr,z}=1.000 \times 3.400=3.400\text{m}$
Φορτία υποστρώματος
 αξονικό φορτίο θλίψη $N_{c,ed}=100.00\text{ kN}$
 καμπτική ροπή στην κορυφή $M_{yyA,ed}=25.00\text{ kNm}$
 καμπτική ροπή στη βάση $M_{yyB,ed}=25.00\text{ kNm}$
 καμπτική ροπή στην κορυφή $M_{zzA,ed}=0.00\text{ kNm}$
 καμπτική ροπή στη βάση $M_{zzB,ed}=0.00\text{ kNm}$



1.4. Φορτία σχεδιασμού

Καμπτικές ροπές, διατμητικές δυνάμεις, αξονικές δυνάμεις, συνδυασμός φορτίσεων $1.35g+1.50q$

$x=0.00\text{m}$, $N_{ed}=100.00\text{kN}$, $M_{y,ed}=25.00\text{kNm}$, $M_{z,ed}=0.00\text{kNm}$, $V_{z,ed}=0.00\text{kN}$, $V_{y,ed}=0.00\text{kN}$

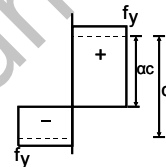
1.5. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη και θλίψη

(EN1993-1-1, §5.5)

Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής $\sigma=N_{ed}/A_{el} \pm M_{yed}/W_{el,y} \pm M_{zed}/W_{el,z}$
 $\sigma=[10^3]100.00/4594 \pm [10^6]25.00/428.9 \times 10^3 \pm [10^6]0.00/62.2 \times 10^3$
 $\sigma_1=80\text{ N/mm}^2$, $\sigma_2=-37\text{ N/mm}^2$ (θλίψη θετική)

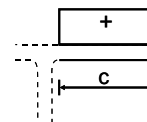
Κορμός

$c=270.0-2 \times 10.2-2 \times 15.0=219.6\text{ mm}$, $t=6.6\text{ mm}$, $c/t=219.6/6.6=33.27$
 S 355, $t=6.6 \leq 40\text{ mm}$, $f_y=355\text{ N/mm}^2$, $\epsilon=(235/355)^{0.5}=0.81$
 Θέση ουδέτερου άξονα για συνδυασμό Κάμψη και θλίψη
 $N_{ed}/(2t \cdot f_y/\gamma_{M0})=100000/(2 \times 6.6 \times 355/1.00)=21.3\text{ mm}$
 $\alpha=(219.6/2+21.3)/219.6=0.597 > 0.5$
 $c/t=33.27 < 396 \times 0.81/(13 \times 0.597-1)=47.43$
 Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Πέλμα

$c=135.0/2-6.6/2-15.0=49.2\text{ mm}$, $t=10.2\text{ mm}$, $c/t=49.2/10.2=4.82$
 S 355, $t=10.2 \leq 40\text{ mm}$, $f_y=355\text{ N/mm}^2$, $\epsilon=(235/355)^{0.5}=0.81$
 $c/t=4.82 \leq 9 \epsilon=9 \times 0.81=7.29$
 Το πέλμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη και θλίψη

1.6. Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη

(EN1993-1-1, §6.2.4)

$N_{c,ed}=100.00\text{ kN}$

Θλιπτική αντοχή $N_{plrd}=A \cdot f_y/\gamma_{M0}=[10^{-3}] \times 4594 \times 355/1.00=1630.87\text{ kN}$
 $N_{ed}=100.00\text{ kN} < 1630.87\text{ kN}=N_{c,rd}=N_{plrd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $N_{ed}/N_{c,rd}=100.00/1630.87=0.061 < 1$

1.7. Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη y-y

(EN1993-1-1, §6.2.5)

$M_{y,ed}=25.00\text{ kNm}$

Καμπτική αντοχή $M_{ply,rd}=W_{ply} \cdot f_y/\gamma_{M0}=[10^{-6}] \times 484.00 \times 10^3 \times 355/1.00=171.82\text{ kNm}$
 $M_{y,ed}=25.00\text{ kNm} < 171.82\text{ kNm}=M_{y,rd}=M_{ply,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $M_{y,ed}/M_{y,rd}=25.00/171.82=0.146 < 1$

1.8. Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη και αξονική δύναμη

(EN1993-1-1, §6.2.9)

$N_{ed}=100.00\text{ kN}$ (θλίψη), $M_{y,ed}=25.00\text{ kNm}$

$N_{plrd}=1630.87\text{ kN}$, $M_{pl,y,rd}=171.82\text{ kNm}$
 $N_{ed}=100.00\text{ kN} \leq 0.25 \times 1630.87=0.25 \times N_{plrd}=407.72\text{ kN}$
 $N_{ed}=100.00\text{ kN} \leq [10^{-3}] \times 0.5 \times 249.6 \times 6.6 \times 355/1.00=0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y/\gamma_{M0}=292.41\text{ kN}$
 $n=N_{ed}/N_{plrd}=100/1631=0.061$

Η επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται (EC3 §6.2.9.1 Εξ.6.33, Εξ.6.34, Εξ.6.35)

$V_{ed}=0\text{ kN}$, Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται (EC3 §6.2.8.2)

$M_{y,ed} = 25.00 \text{ kNm} < 171.82 \text{ kNm} = M_{ply,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $M_{y,ed}/M_{ply,rd} = 25.00/171.82 = 0.146 < 1$

1.9. Καμπτικός λυγισμός, (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.3.1)

$N_{c,ed} = 100.00 \text{ kN}$, $L_{cr,y} = 3.400 \text{ m}$, $L_{cr,z} = 3.400 \text{ m}$

Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y} = 1.000 \times 3400 = 3400 \text{ mm}$, $L_{cr,z} = 1.000 \times 3400 = 3400 \text{ mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (3400 / 112.3) \times (1 / 76.06) = 0.398$

$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3400 / 30.2) \times (1 / 76.06) = 1.479$

$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \text{ ε} = 76.06$, $\varepsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$

$h/b = 270/135 = 2.00 > 1.20$, $t_f = 10.2 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$

$\gamma\text{-}\gamma$ καμπύλη λυγισμού: a , συντελεστής ατελειών: $\alpha_y = 0.21$, $\chi_y = 0.953$

(Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4)

$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.398 - 0.2) + 0.398^2] = 0.600$

$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [0.600 + \sqrt{(0.600^2 - 0.398^2)}] = 0.953 < 1$ $\chi_y = 0.953$

$z\text{-}z$ καμπύλη λυγισμού: b , συντελεστής ατελειών: $\alpha_z = 0.34$, $\chi_z = 0.350$

$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (1.479 - 0.2) + 1.479^2] = 1.811$

$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.811 + \sqrt{(1.811^2 - 1.479^2)}] = 0.350 < 1$ $\chi_z = 0.350$

Μειωτικός συντελεστής $\chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}]$, $\chi \leq 1.0$, $\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$, $\chi = 0.350$

(EC3 Εξ.6.49)

$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.350 \times [10^{-3}] \times 4594 \times 355 / 1.00 = 570.80 \text{ kN}$

(EC3 Εξ.6.47)

$N_{c,ed} = 100.00 \text{ kN} < 570.80 \text{ kN} = N_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$N_{c,ed} / N_{b,rd} = 100.00 / 570.80 = 0.175 < 1$

1.10. Πλευρικός λυγισμός, (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

$M_{y,ed} = 25.00 \text{ kNm}$, $L = 3.400 \text{ m}$, $L_{cr,y} = 3.400 \text{ m}$, $L_{cr,z} = 3.400 \text{ m}$, $L_{cr,lt} = 3.400 \text{ m}$

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$M_{cr} = C1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GIt / (\pi^2 EI_z) + (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j)^2]} - (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j) \}$

Μέθοδος υπολογισμού $C1, C2, C3$: *ECSS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006*

$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

$k \cdot L = 3400 \text{ mm}$, $z_g = h/2 = 270/2 = 135 \text{ mm}$, $z_j = 0 \text{ mm}$

(EN1993:2002 Εξ.C.11)

$k_y = 1.0$, $k_z = 1.0$, $k_w = 1.0$, $\psi = 1.000$, $C1 = 1.000$, $C2 = 0.000$, $C3 = 0.000$

$M_{cr} = [10^{-6}] 1.000 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 4.199 \times 10^6 / 3400^2]$

$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (70.578 \times 10^9 / 4.199 \times 10^6)$

$+ 3400^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.159 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 4.199 \times 10^6)]^{0.5} \} = 138.6 \text{ kNm}$

$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{[10^{-6}] \times 484.00 \times 10^3 \times 355 / 138.6} = 1.113$

(EC3 Εξ.6.56)

$h/b = 270/135 = 2.00 \leq 2.00$ καμπύλη λυγισμού: b

συντελεστής ατελειών: $\alpha_{lt} = 0.34$, $\beta = 0.75$, $\chi_{lt} = 0.630$

(Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)

$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - 0.8) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (1.113 - 0.8) + 1.113^2] = 1.086$

$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [1.086 + \sqrt{(1.086^2 - 0.75 \times 1.086^2)}] = 0.630$

Μειωτικός συντελεστής $\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}]$, $\chi_{lt} \leq 1.0$, $1 / \bar{\lambda}_{lt}^2$, $\chi_{lt} = 0.630$

(Εξ.6.57)

$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f$, $\chi_{lt,mod} \leq 1$, $\chi_{lt,mod} \leq 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2 = 1 / 1.113^2 = 0.81$

(EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)

$K_c = 1 / (1.33 - 0.33\psi) = 1.000$, $\psi = 1.00$

(EC3 Πιν.6.6)

$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 1.000) [1 - 2.0 \times (1.113 - 0.8)^2] = 1.000$, $f \leq 1.0$

$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.630 / 1.000 = 0.630$, $\chi_{lt,mod} \leq 1.0$, $\chi_{lt,mod} \leq 0.81$, $\chi_{lt,mod} = 0.630$

$M_{b,rd} = \chi_{lt,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.630 \times [10^{-6}] \times 484.00 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 108.25 \text{ kNm}$

(EC3 Εξ.6.55)

$M_{y,ed} = 25.00 \text{ kNm} < 108.25 \text{ kNm} = M_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 25.00 / 108.25 = 0.231 < 1$

1.11. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.3)

Ned=100.00 kN, My,ed=25.00 kNm

$$Ned / (\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot My,ed / (\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1}) \leq 1 \quad (\text{EC3 Εξ.6.61})$$

$$Ned / (\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot My,ed / (\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1}) \leq 1 \quad (\text{EC3 Εξ.6.62})$$

$$N_{rk} = A \cdot f_y = [10^{-3}] \times 4594 \times 355 = 1630.9 \text{ kN} \quad (\text{Πιν.6.7})$$

$$M_{y,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = [10^{-6}] \times 484.00 \times 10^3 \times 355 = 171.8 \text{ kNm}$$

$$\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.953 \times [10^{-3}] \times 4594 \times 355 / 1.00 = 1554.2 \text{ kN}$$

$$\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.350 \times [10^{-3}] \times 4594 \times 355 / 1.00 = 570.8 \text{ kN}$$

$$\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.630 \times [10^{-6}] \times 484.00 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 108.2 \text{ kNm}$$

Συντελεστές κύρτισης, Μέθοδος υπολογισμού: Μέθοδος 1 Παράρτημα A

(EC3 ΠαράρτημαA)

$$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} (\mu_y / (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) (1 / C_{yy}), \mu_y = (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{ed} / N_{cr,y}) \quad (\text{EC3 Πιν.Α.1})$$

$$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} (\mu_z / (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) (1 / C_{zy}) 0.60 \sqrt{w_y / w_z}, \mu_z = (1 - N_{ed} / N_{cr,z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{ed} / N_{cr,z})$$

$$N_{cr,y} = \pi^2 EI_y / l_{cr,y}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 57.900 \times 10^6 / 3400^2 = 10381 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 EI_z / l_{cr,z}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 4.199 \times 10^6 / 3400^2 = 753 \text{ kN}$$

$$N_{cr,t} = (1 / i_p^2) \times (G \cdot I_t + \pi^2 EI_w / L_{cr,t}^2) \quad (\text{EC3 NCCI SN003b-EN-EU})$$

$$N_{cr,t} = [10^{-3}] \times (1 / 116^2) [80769 \times 0.159 \times 10^6 + \pi^2 \times 210000 \times 70.578 \times 10^9 / 3400^2] = 1889 \text{ kN}$$

$$\mu_y = (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{ed} / N_{cr,y}) = (1 - 100.0 / 10381) / (1 - 0.953 \times 100.0 / 10381) = 1.000$$

$$\mu_z = (1 - N_{ed} / N_{cr,z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{ed} / N_{cr,z}) = (1 - 100.0 / 753) / (1 - 0.350 \times 100.0 / 753) = 0.909$$

$$alt = 1 - I_t / I_y > 0 = 1 - 0.159 \times 10^6 / 57.900 \times 10^6 = 0.997 \quad (\text{EC3 Παράρτημα Α.1})$$

$$w_y = W_{pl,y} / W_{el,y} < 1.50, w_y = 0.484 \times 10^6 / 0.429 \times 10^6 = 1.128 < 1.50 \quad (\text{EC3 Παράρτημα Α.1})$$

$$w_z = W_{pl,z} / W_{el,z} < 1.50, w_z = 0.097 \times 10^6 / 0.062 \times 10^6 = 1.559 > 1.50, w_z = 1.50$$

$$n_{pl} = N_{ed} / (N_{rk} / \gamma_{M1}) = 100.00 / (1630.90 / 1.00) = 0.061$$

$$\bar{\lambda}_{max} = \max(0.398, 1.479) = 1.480 \quad (\text{EC3 Παράρτημα Α.1})$$

$$M_{cرو} = C_1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w / I_z) + (kL)^2 G I_t / (\pi^2 EI_z)]} \}, C_1 = 1.00$$

$$M_{cرو} = [10^{-6}] 1.0 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 4.199 \times 10^6 / 3400^2] \times \{ [(1.0 / 1.0)^2 \times (70.578 \times 10^9 / 4.199 \times 10^6) + 3400^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.159 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 4.199 \times 10^6)]^{0.5} \} = 138.6 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_o = \sqrt{[10^{-6}] \times 484.00 \times 10^3 \times 355 / 138.6} = 1.110$$

$$\bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.2 \sqrt{C_1 [(1 - N_{ed} / N_{cr,z}) (1 - N_{ed} / N_{cr,t})]^{0.25}} \quad (\text{EC3 Παράρτημα Α.1})$$

$$\bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.2 \sqrt{1.000 [(1 - 100.0 / 753) (1 - 100.0 / 1889)]^{0.25}} = 0.190$$

$$\epsilon_y = (My,ed / Ned) (A / W_{el,y}) = ([10^{-3}] \times 25.00 / 100.00) \times (4594.0 / 428.90 \times 10^3) = 2.68$$

$$C_{my,o} = 0.79 + 0.21\psi + 0.36(\psi - 0.33) \times (100.00 / 10381.0) = 1.002, (\psi = 1.00) \quad (\text{EC3 Παράρτημα Α, Π.Α.1})$$

$$\bar{\lambda}_o = 1.110 > \bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.190$$

$$C_{my} = C_{my,o} + (1 - C_{my,o}) (\sqrt{\epsilon_y \cdot alt}) / (1 + \sqrt{\epsilon_y \cdot alt}) =$$

$$= 1.002 + (1 - 1.002) \times (\sqrt{2.678 \times 0.997}) / (1 + \sqrt{2.678 \times 0.997}) = 1.001$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \cdot alt / \sqrt{[(1 - N_{ed} / N_{cr,z}) (1 - N_{ed} / N_{cr,t})]^{0.25}} > 1$$

$$C_{mLT} = 1.001^2 \times 0.997 / \sqrt{[(1 - 100.0 / 753.0) (1 - 100.0 / 1889.0)]^{0.25}} = 1.102, C_{mLT} = 1.102$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) [(2 - 1.6 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} / w_y - 1.6 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y) n_{pl} - b_{lt}] > W_{el,y} / W_{pl,y} \quad (\text{Παράρτημα Α, Π.Α.1})$$

$$b_{lt} = 0.5 alt \cdot \bar{\lambda}_o^2 [My,ed / (\chi_{lt} \cdot M_{pl,y,rd})] (Mz,ed / M_{pl,z,rd}) =$$

$$= 0.5 \times 0.997 \times 1.110^2 [25.0 / (0.630 \times 152.3)] (0.0 / 22.1) = 0.000$$

$$C_{yy} = 1 + (1.128 - 1) [(2 - 1.6 \times 1.001^2 \times 1.480 / 1.128 - 1.6 \times 1.001^2 \times 1.480^2 / 1.128) \times 0.061 - 0.000] = 0.975$$

$$C_{yy} > 428.90 \times 10^3 / 484.00 \times 10^3 = 0.886, C_{yy} = 0.975$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) [(2 - 14.0 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y^5) n_{pl} - d_{lt}] > 0.6 \sqrt{w_y / w_z} (W_{el,y} / W_{pl,y}) \quad (\text{Παράρτημα Α, Π.Α.1})$$

$$d_{lt} = 2 alt \cdot [\bar{\lambda}_o / (0.1 + \bar{\lambda}_z^4)] [My,ed / (C_{my} \cdot \chi_{lt} \cdot M_{pl,y,rd})] [Mz,ed / (C_{mz} \cdot M_{pl,z,rd})] =$$

$$= 20.997 \times [1.110 / (0.1 + 1.479^4)] [25.0 / (1.001 \times 0.630 \times 152.3)] [0.0 / (0.000 \times 22.1)] = 0.000$$

$$C_{zy} = 1 + (1.128 - 1) [(2 - 14.0 \times 1.001^2 \times 1.480^2 / 1.128^5) \times 0.061 - 0.000] = 0.884$$

$$C_{zy} > 0.6 \sqrt{1.128 / 1.500} (428.90 \times 10^3 / 484.00 \times 10^3) = 0.461, C_{zy} = 0.884$$

$$C_{yy} = 0.975, C_{zy} = 0.884 \quad (\text{Παράρτημα Α, Π.Α.1})$$

$$k_{yy} = 1.001 \times 1.102 \times 1.000 / (1 - 100.00 / 10381.0) \times (1 / 0.975) = 1.142$$

$$k_{zy} = 1.001 \times 1.102 \times 0.909 / (1 - 100.00 / 10381.0) \times (1 / 0.884) \times 0.6 \times \sqrt{1.128 / 1.500} = 0.596$$

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress

Στη θέση $x=0.00$ m

$$N_{ed}/(\chi_y \cdot N_{rk}/\gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}/\gamma_{M1}) = \quad (\text{EC3 Εξ.6.61})$$

$$100.0/(0.953 \times 1630.9/1.00) + 1.142 \times 25.0/(0.630 \times 171.8/1.00) = 0.064 + 0.264 = 0.328$$

0.328 < 1.000, Έλεγχος ικανοποιείται

$$N_{ed}/(\chi_z \cdot N_{rk}/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}/\gamma_{M1}) = \quad (\text{EC3 Εξ.6.62})$$

$$100.0/(0.350 \times 1630.9/1.00) + 0.596 \times 25.0/(0.630 \times 171.8/1.00) = 0.175 + 0.138 = 0.313$$

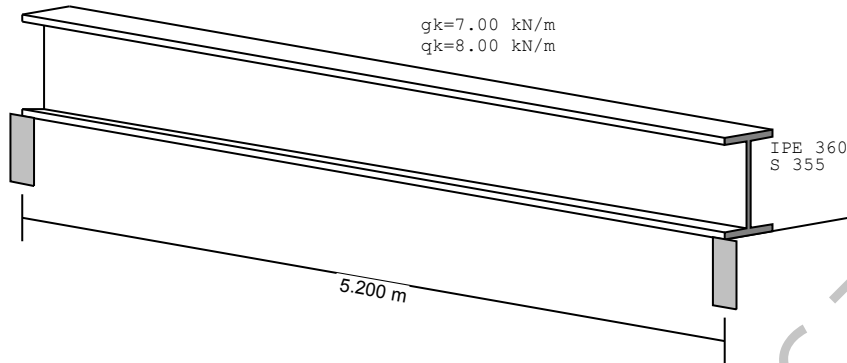
0.313 < 1.000, Έλεγχος ικανοποιείται

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους
STEELexpress, www.runet.gr

2. ΔΟΚΟΣ-001

Δοκοί γενικά, Δοκός ενός ανοίγματος
(EC3 EN1993-1-1:2005, +NA-ΕΛΟΤ:2010)

Ελεύθερο άνοιγμα δοκών πατώματος L=5.200 m, Αμφιέριστη δοκός
Συνθήκες πλευρικών συγκρατήσεων: Πλευρικά μή συγκρατούμενη



2.1. Κανονισμοί

EN1990:2002, Ευρωκώδικας 0 Βάσεις σχεδιασμού
EN1991-1-1:2002, Ευρωκώδικας 1-1 Δράσεις
EN1993-1-1:2005, Ευρωκώδικας 3 1-1 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα
EN1993-1-3:2005, Ευρωκώδικας 3 1-3 Μέλη και φύλλα ψυχρής έλασης
EN1993-1-5:2006, Ευρωκώδικας 3 1-5 Δομικά στοιχεία από επίπεδα ελάσματα

2.2. Υλικά

Χάλυβας: S 355 (EN1993-1-1, §3.2)

$t \leq 40 \text{ mm}$, Αντοχή διαρροής $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, Αντοχή αστοχίας $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$
 $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$, Αντοχή διαρροής $f_y = 335 \text{ N/mm}^2$, Αντοχή αστοχίας $f_u = 470 \text{ N/mm}^2$
 Μέτρο ελαστικότητας $E = 210000 \text{ N/mm}^2$, Λόγος Poisson $\nu = 0.30$, Πυκνότητα $\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$

Συντ. μόνιμης και μεταβλητής δράσης (EN1990, Παράρτημα A1)
 $\gamma_G = 1.35$, $\gamma_Q = 1.50$

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_M (EN1993-1-1, §6.1)
 $\gamma_{M0} = 1.00$, $\gamma_{M1} = 1.00$, $\gamma_{M2} = 1.25$

2.3. Φορτίο

(EN1991-1-1)

Φορτίο επί δοκού

Μόνιμο φορτίο	$G_{k1} = 7.00 \text{ kN/m}$
Ίδιο βάρος δοκού	$G_{k2} = 0.56 \text{ kN/m}$
Μόνιμο φορτίο	$G_k = G_{k1} + G_{k2} = 7.56 \text{ kN/m}$
Μεταβλητό φορτίο	$Q_k = 8.00 \text{ kN/m}$

2.4. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Συνδιασμοί φορτίων (EN1990 §6.4.3.2, Π.Α1.2Α, Π.Α1.2Β)

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k = 1.35 \times 7.56 + 1.50 \times 8.00 = 22.21 \text{ kN/m}, \quad \alpha_1^2 / 8 = 75.06 \text{ kNm}$$

Φορτία σχεδιασμού, Οριακή κατάσταση αστοχίας

$$M_{y,ed} = 22.21 \times 5.200^2 / 8 = 75.06 \text{ kNm}, \quad V_{z,ed} = 22.21 \times 5.200 / 2 = 57.74 \text{ kN}$$

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Συνδιασμοί φορτίων (EN1990 §6.5.3, Π.Α1.4)

$$G_k + Q_k = 7.56 + 8.00 = 15.56 \text{ kN/m}$$

Φορτία σχεδιασμού, Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

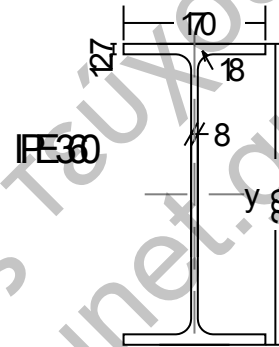
$$M_{y,ed} = 15.56 \times 5.200^2 / 8 = 52.59 \text{ kNm}, \quad V_{z,ed} = 15.56 \times 5.200 / 2 = 40.46 \text{ kN}$$

2.5. Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

Διατομή IPE 360-S 355

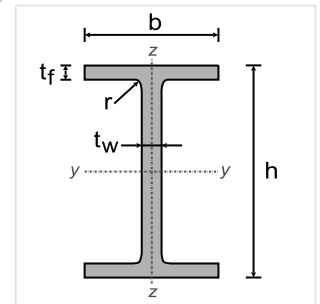
Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h=	360.00 mm
Πλάτος διατομής	b=	170.00 mm
Υψος κορμού	hw=	334.60 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	dw=	298.60 mm
Πάχος κορμού	tw=	8.00 mm
Πάχος πέλματος	tf=	12.70 mm
Ακτίνα συναρμογής	r=	18.00 mm
Μάζα	=	57.10 Kg/m



Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	7273 mm ²	
Ροπή αδρανείας	I _y =	162.70 × 10 ⁶ mm ⁴	I _z =10.430 × 10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	903.60 × 10 ³ mm ³	W _z =122.80 × 10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	1019.0 × 10 ³ mm ³	W _{pz} =191.10 × 10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	149.6 mm	i _z = 37.9 mm
Επιφάνεια διάτμησης	A _{vz} =	3514 mm ²	A _{vy} = 4318 mm ²
Σταθερά στρέψης	I _t =	0.373 × 10 ⁶ mm ⁴	i _p = 154 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	29.387 × 10 ³ mm ³	
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	313.58 × 10 ⁹ mm ⁶	



2.6. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

(EN1993-1-1, §7)

Βέλος κάμψης δοκού

$$\text{Φορτίο } G+Q: w = 5 \times 15.56 \times 5200^4 / (384 \times 2.1 \times 10^5 \times 162.70 \times 10^6) = 4.34 \text{ mm} = L/1200 < L/200$$

$$\text{Φορτίο } Q: w = 5 \times 8.00 \times 5200^4 / (384 \times 2.1 \times 10^5 \times 162.70 \times 10^6) = 2.23 \text{ mm} = L/2333 < L/360$$

Βέλος κάμψης δοκού, Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Έλεγχος ικανοποιείται

2.7. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη M_y

(EN1993-1-1, §5.5)

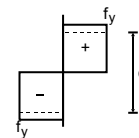
Κορμός

$$c = 360.0 - 2 \times 12.7 - 2 \times 18.0 = 298.6 \text{ mm}, \quad t = 8.0 \text{ mm}, \quad c/t = 298.6 / 8.0 = 37.33$$

$$S 355, \quad t = 8.0 \leq 40 \text{ mm}, \quad f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \quad \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$$

$$c/t = 37.33 \leq 72 \epsilon = 72 \times 0.81 = 58.32$$

Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



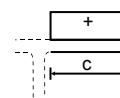
Πέλμα

$$c = 170.0 / 2 - 8.0 / 2 - 18.0 = 63.0 \text{ mm}, \quad t = 12.7 \text{ mm}, \quad c/t = 63.0 / 12.7 = 4.96$$

$$S 355, \quad t = 12.7 \leq 40 \text{ mm}, \quad f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \quad \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$$

$$c/t = 4.96 \leq 9 \epsilon = 9 \times 0.81 = 7.29$$

Το πέλμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη M_{y,ed}

2.8. Αντοχή διατομής, Διατομή δοκού

(EN1993-1-1, §6.2)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη y-y

(EN1993-1-1, §6.2.5)

My,ed= 75.06 kNm

Καμπτική αντοχή $M_{ply,rd} = W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 1019.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 361.74 \text{ kNm}$

$M_{y,ed} = 75.06 \text{ kNm} < 361.74 \text{ kNm} = M_{y,rd} = M_{ply,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed} / M_{y,rd} = 75.06 / 361.74 = 0.207 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

Vz,ed= 57.74 kN

$A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 7273 - 2 \times 170.0 \times 12.7 + (8.0 + 2 \times 18.0) \times 12.7 = 3514 \text{ mm}^2$

(EC3 §6.2.6.3)

$A_v = 3514 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (360.0 - 2 \times 12.7) \times 8.0 = 1.00 \times 334.6 \times 8.0 = 2677 \text{ mm}^2$

Πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 3514 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 720.19 \text{ kN}$

$V_{z,ed} = 57.74 \text{ kN} < 720.19 \text{ kN} = V_{z,rd} = V_{pl,z,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$V_{z,ed} / V_{z,rd} = 57.74 / 720.19 = 0.080 < 1$

$h_w / t_w = (360.0 - 2 \times 12.7) / 8.0 = 334.6 / 8.0 = 41.83 < = 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \epsilon / \eta = 58.32$ ($\eta = 1.00$)

S 355, $t = 8.0 < = 40 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon = (235 / 355)^{0.5} = 0.81$

Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα

(EC3 §6.2.6.6)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Κάμψη και διάτμηση

(EN1993-1-1, §6.2.8)

Vz,ed=28.87kN, My,ed=56.29kNm, Στη θέση $x=1.300\text{m}$

$V_{z,ed} = 28.87 \text{ kN} < = V_{pl,z,rd} / 2 = 720.19 / 2 = 360.10 \text{ kN}$

(EC3 §6.2.8(2))

Επίδραση διάτμησης σε αντοχή κάμψης παραβλέπεται

2.9. Πλευρικός λυγισμός, (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

My,ed=75.06 kN, L=5.200m, Lcr,y=5.200m, Lcr,z=5.200m, Lcr,lt=5.200m

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$M_{cr} = C_1 \cdot [\pi^2 E I_z / (k L)^2] \{ \sqrt{ [(k z / k_w)^2 (I_w / I_z) + (k L)^2 G I_t / (\pi^2 E I_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2] } - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$

Μέθοδος υπολογισμού C_1, C_2, C_3 : ECSS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

$k \cdot L = 5200 \text{ mm}$, $z_g = h / 2 = 360 / 2 = 180 \text{ mm}$, $z_j = 0 \text{ mm}$

(EN1993:2002 Εξ. C.11)

$k_y = 1.0$, $k_z = 1.0$, $k_w = 1.0$, $C_1 = 1.127$, $C_2 = 0.454$, $C_3 = 0.000$

$M_{cr} = [10^{-6}] 1.127 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 10.430 \times 10^6 / 5200^2]$

$\times \{ [(1.0 / 1.0)^2 \times (313.58 \times 10^9 / 10.430 \times 10^6) +$

$+ 5200^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.373 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 10.430 \times 10^6)$

$+ (0.454 \times 180)^2 \}^{0.5} - (0.454 \times 180) \} = 172.2 \text{ kNm}$

$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \times 1019.0 \times 10^3 \times 355 / 172.2)} = 1.449$

(EC3 Εξ. 6.56)

$h/b = 360 / 170 = 2.12 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c

συντελεστής ατελειών: $\alpha_{lt} = 0.49$, $\beta = 0.75$, $\chi_{lt} = 0.409$

(Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)

$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - \bar{\lambda}_{lt0}) + \beta \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 [1 + 0.49 \times (1.449 - 0.40) + 0.75 \times 1.449^2] = 1.545$

$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [1.545 + \sqrt{1.545^2 - 0.75 \times 1.545^2}] = 0.409$

Μειωτικός συντελεστής $\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}]$, $\chi_{lt} < = 1.0$, $1 / \bar{\lambda}_{lt}^2$, $\chi_{lt} = 0.409$

(Εξ.6.57)

$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f$, $\chi_{lt,mod} < = 1$, $\chi_{lt,mod} < = 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2 = 1 / 1.449^2 = 0.48$

(EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)

$k_c = 0.94$

(EC3 Πιν.6.6)

$f = 1 - 0.5(1 - k_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.94) [1 - 2.0 \times (1.449 - 0.8)^2] = 0.995$, $f < = 1.0$

$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.409 / 0.995 = 0.411$, $\chi_{lt,mod} < = 1.0$, $\chi_{lt,mod} < = 0.48$, $\chi_{lt,mod} = 0.411$

$M_{b,rd} = \chi_{lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.411 \times [10^{-6}] \times 1019.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 148.68 \text{ kNm}$

(EC3 Εξ.6.55)

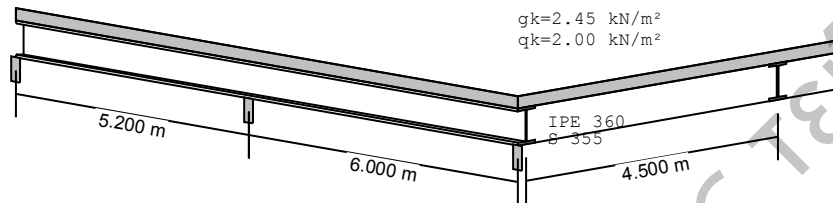
$M_{y,ed} = 75.06 \text{ kNm} < 148.68 \text{ kNm} = M_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 75.06 / 148.68 = 0.505 < 1$

3. ΔΟΚΟΣ-002

Δοκοί πατώματων, Πάτωμα δύο ανοιγμάτων
(EC3 EN1993-1-1:2005, +NA-ΕΛΟΤ:2010)

Μήκη ανοιγμάτων $L_1=5.200\text{m}$, $L_2=6.000\text{m}$, Απόσταση δοκών πατώματος μεταξύ τους $s=4.500\text{ m}$
Συνθήκες πλευρικών συγκρατήσεων: Πλευρικά μή συγκρατούμενη



3.1. Κανονισμοί

EN1990:2002, Ευρωκώδικας 0 Βάσεις σχεδιασμού
EN1991-1-1:2002, Ευρωκώδικας 1-1 Δράσεις
EN1993-1-1:2005, Ευρωκώδικας 3 1-1 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα
EN1993-1-3:2005, Ευρωκώδικας 3 1-3 Μέλη και φύλλα ψυχρής έλασης
EN1993-1-5:2006, Ευρωκώδικας 3 1-5 Δομικά στοιχεία από επίπεδα ελάσματα

3.2. Υλικά

Χάλυβας: S 355 (EN1993-1-1, §3.2)

$t \leq 40\text{ mm}$, Αντοχή διαρροής $f_y = 355\text{ N/mm}^2$, Αντοχή αστοχίας $f_u = 510\text{ N/mm}^2$
 $40\text{mm} < t \leq 80\text{ mm}$, Αντοχή διαρροής $f_y = 335\text{ N/mm}^2$, Αντοχή αστοχίας $f_u = 470\text{ N/mm}^2$
Μέτρο ελαστικότητας $E = 210000\text{ N/mm}^2$, Λόγος Poisson $\nu = 0.30$, Πυκνότητα $\rho = 7850\text{ Kg/m}^3$

Συντ. μόνιμης και μεταβλητής δράσης (EN1990, Παράρτημα A1)

$\gamma_G = 1.35$, $\gamma_Q = 1.50$

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_M (EN1993-1-1, §6.1)

$\gamma_{M0} = 1.00$, $\gamma_{M1} = 1.00$, $\gamma_{M2} = 1.25$

3.3. Φορτίο

(EN1991-1-1)

Φορτία πατώματος

Φορτίο επικάλυψης δαπέδου $g_{k1} = 0.500\text{ kN/m}^2$ (EN1991-1-1 §5.2)

Βάρος πατώματος $g_{k0} = 1.750\text{ kN/m}^2$

Φορτίο οροφής κάτωθεν δαπέδου $g_{k2} = 0.200\text{ kN/m}^2$

Ίδιο βάρος πατώματος $g_k = 0.500 + 1.750 + 0.200 = 2.450\text{ kN/m}^2$

Φορτίο κινητό πατώματος $q_k = 2.000\text{ kN/m}^2$ (EN1991-1-1 §6.3)

Φορτίο επί δοκού

Απόσταση δοκών πατώματος μεταξύ τους	$s = 4.500 \text{ m}$
Ιδίο βάρος πατώματος	$Gk1 = 4.500 \times 2.450 = 11.03 \text{ kN/m}$
Ιδίο βάρος δοκού	$Gk2 = 0.56 \text{ kN/m}$
Μόνιμο φορτίο	$Gk = Gk1 + Gk2 = 11.59 \text{ kN/m}$
Μεταβλητό φορτίο	$Qk = 4.500 \times 2.000 = 9.00 \text{ kN/m}$

3.4. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Συνδιασμοί φορτίων (EN1990 §6.4.3.2, Π.Α1.2Α, Π.Α1.2Β)

$\gamma_G \cdot Gk + \gamma_Q \cdot Qk = 1.35 \times 11.59 + 1.50 \times 9.00 = 29.15 \text{ kN/m}$, $q1^2/8 = 98.52 \text{ kNm}$

Φορτία σχεδιασμού, Οριακή κατάσταση αστοχίας

$M_{yed,1} = 65.12 \text{ kNm}$, $M_{yed,s} = -116.00 \text{ kNm}$, $M_{yed,2} = 90.66 \text{ kNm}$,
 $V_{zed,1A} = 61.61 \text{ kN}$, $V_{zed,1B} = -98.09 \text{ kN}$, $V_{zed,2A} = 106.77 \text{ kN}$, $V_{zed,2B} = -72.70 \text{ kN}$

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Συνδιασμοί φορτίων (EN1990 §6.5.3, Π.Α1.4)

$Gk + Qk = 11.59 + 9.00 = 20.59 \text{ kN/m}$

Φορτία σχεδιασμού, Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

$M_{yed,1} = 42.73 \text{ kNm}$, $M_{yed,s} = -81.95 \text{ kNm}$, $M_{yed,2} = 42.73 \text{ kNm}$,
 $V_{zed,1A} = 41.95 \text{ kN}$, $V_{zed,1B} = -69.29 \text{ kN}$, $V_{zed,2A} = 75.43 \text{ kN}$, $V_{zed,2B} = -50.47 \text{ kN}$

3.5. Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

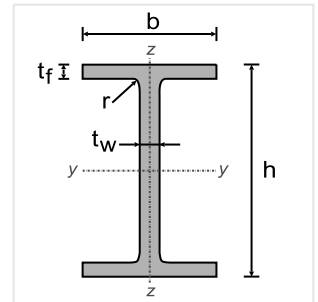
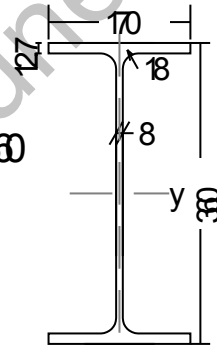
Διατομή IPE 360-S 355

Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	$h = 360.00 \text{ mm}$
Πλάτος διατομής	$b = 170.00 \text{ mm}$
Υψος κορμού	$hw = 334.60 \text{ mm}$
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	$dw = 298.60 \text{ mm}$
Πάχος κορμού	$tw = 8.00 \text{ mm}$
Πάχος πέλματος	$tf = 12.70 \text{ mm}$
Ακτίνα συναρμογής	$r = 18.00 \text{ mm}$
Μάζα	$= 57.10 \text{ Kg/m}$

Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	$A = 7273 \text{ mm}^2$		
Ροπή αδρανείας	$I_y = 162.70 \times 10^6 \text{ mm}^4$	$I_z = 10.430 \times 10^6 \text{ mm}^4$	
Ελαστική ροπή αντίστασης	$W_y = 903.60 \times 10^3 \text{ mm}^3$	$W_z = 122.80 \times 10^3 \text{ mm}^3$	
Πλαστική ροπή αντίστασης	$W_{py} = 1019.0 \times 10^3 \text{ mm}^3$	$W_{pz} = 191.10 \times 10^3 \text{ mm}^3$	
Ακτίνα αδρανείας	$i_y = 149.6 \text{ mm}$	$i_z = 37.9 \text{ mm}$	
Επιφάνεια διάντησης	$A_{vz} = 3514 \text{ mm}^2$	$A_{vy} = 4318 \text{ mm}^2$	
Σταθερά στρέψης	$I_t = 0.373 \times 10^6 \text{ mm}^4$	$i_p = 154 \text{ mm}$	
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	$W_t = 29.387 \times 10^3 \text{ mm}^3$		
Σταθερά στρέβλωσης	$I_w = 313.58 \times 10^9 \text{ mm}^6$		



3.6. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

(EN1993-1-1, §7)

Βέλος κάμψης δοκού

Φορτίο $G+Q$: $w1 = 3.1 \text{ mm} = L/1678 (5200/3.1=1678)$, $w2 = 5.5 \text{ mm} = L/1091 (6000/5.5=1091)$, $L/1091 < L/200$
 Φορτίο Q : $w1 = 1.8 \text{ mm} = L/2889 (5200/1.8=2889)$, $w2 = 3.1 \text{ mm} = L/1936 (6000/3.1=1936)$, $L/1936 < L/360$

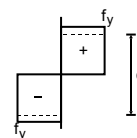
Βέλος κάμψης δοκού, Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Έλεγχος ικανοποιείται

3.7. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη M_y

(EN1993-1-1, §5.5)

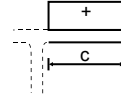
Κορμός

$c = 360.0 - 2 \times 12.7 - 2 \times 18.0 = 298.6 \text{ mm}$, $t = 8.0 \text{ mm}$, $c/t = 298.6/8.0 = 37.33$
 $S 355$, $t = 8.0 \leq 40 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$
 $c/t = 37.33 < 72 \epsilon = 72 \times 0.81 = 58.32$
 Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Πέλμα

$c=170.0/2-8.0/2-18.0=63.0$ mm, $t=12.7$ mm, $c/t=63.0/12.7=4.96$
 S 355, $t=12.7 \leq 40$ mm, $f_y=355$ N/mm², $\epsilon=(235/355)^{0.5}=0.81$
 $c/t=4.96 \leq 9\epsilon=9 \times 0.81=7.29$
 Το πέλμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη $M_{y,ed}$

3.8. Αντοχή διατομής, Διατομή δοκού

(EN1993-1-1, §6.2)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη $y-y$

(EN1993-1-1, §6.2.5)

$M_{y,ed}=116.00$ kNm

Καμπτική αντοχή $M_{pl,y,rd}=W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 1019.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 361.74$ kNm
 $M_{y,ed} = 116.00$ kNm < 361.74 kNm = $M_{y,rd} = M_{pl,y,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $M_{y,ed} / M_{y,rd} = 116.00 / 361.74 = 0.321 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

$V_{z,ed}=106.77$ kN

$A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 7273 - 2 \times 170.0 \times 12.7 + (8.0 + 2 \times 18.0) \times 12.7 = 3514$ mm² (EC3 §6.2.6.3)
 $A_v = 3514$ mm² $> \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (360.0 - 2 \times 12.7) \times 8.0 = 1.00 \times 334.6 \times 8.0 = 2677$ mm²
 Πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 3514 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 720.19$ kN
 $V_{z,ed} = 106.77$ kN < 720.19 kN = $V_{z,rd} = V_{pl,z,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $V_{z,ed} / V_{z,rd} = 106.77 / 720.19 = 0.148 < 1$

$h_w / t_w = (360.0 - 2 \times 12.7) / 8.0 = 334.6 / 8.0 = 41.83 \leq 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \epsilon / \eta = 58.32$ ($\eta = 1.00$)

S 355, $t = 8.0 \leq 40$ mm, $f_y = 355$ N/mm², $\epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$

Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα

(EC3 §6.2.6.6)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Κάμψη και διάτμηση

(EN1993-1-1, §6.2.8)

$V_{z,ed}=106.77$ kN, $M_{y,ed}=116.00$ kNm

$V_{z,ed} = 106.77$ kN $\leq V_{pl,z,rd} / 2 = 720.19 / 2 = 360.10$ kN

(EC3 §6.2.8(2))

Επίδραση διάτμησης σε αντοχή κάμψης παραβλέπεται

3.9. Πλευρικός λυγισμός, (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

$M_{y,ed}=116.00$ kN, $L=5.200$ m, $L_{cr,y}=3.640$ m, $L_{cr,z}=5.200$ m, $L_{cr,lt}=5.200$ m

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$M_{cr} = C_1 \cdot [\pi^2 E I_z / (kL)^2] \{ \sqrt{ [(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 G I_t / (\pi^2 E I_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2] } - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$

Μέθοδος υπολογισμού C_1, C_2, C_3 : EC3 §119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$\mu = M_o / M = \alpha L^2 / 8M = -98.5 / 116.0 = -0.85$, $\psi = M_b / M_a = 0.0 / -116.0 = 0.00$, $C_1 = 3.142$, $C_2 = 1.051$

$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4$ N/mm²

$k \cdot L = 5200$ mm, $z_g = h / 2 = 360 / 2 = 180$ mm, $z_j = 0$ mm

(EN1993:2002 Εξ. C.11)

$k_y = 0.7$, $k_z = 1.0$, $k_w = 1.0$, $C_1 = 3.142$, $C_2 = 1.051$, $C_3 = 0.000$

$M_{cr} = [10^{-6}] 3.142 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^6 \times 10.430 \times 10^6 / 5200^2]$

$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (313.58 \times 10^9 / 10.430 \times 10^6) + 5200^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.373 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 10.430 \times 10^6) + (1.051 \times 180)^2 \}^{0.5} - (1.051 \times 180) \} = 333.2$ kNm

$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{\{ [10^{-6}] \times 1019.0 \times 10^3 \times 355 / 333.2 \}} = 1.042$

(EC3 Εξ. 6.56)

$h/b = 360 / 170 = 2.12 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c

συντελεστής ατελειών: $\alpha_{lt} = 0.49$, $\beta = 0.75$, $\chi_{lt} = 0.614$

(Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)

$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - \bar{\lambda}_{lt0}) + \beta \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 [1 + 0.49 \times (1.042 - 0.40) + 0.75 \times 1.042^2] = 1.064$

$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [1.064 + \sqrt{(1.064^2 - 0.75 \times 1.064^2)}] = 0.614$

Μειωτικός συντελεστής $\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}]$, $\chi_{lt} \leq 1.0$, $1 / \bar{\lambda}_{lt}^2$, $\chi_{lt} = 0.614$ (Εξ. 6.57)

$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f$, $\chi_{lt,mod} \leq 1$, $\chi_{lt,mod} \leq 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2 = 1 / 1.042^2 = 0.92$

(EC3 §6.3.2.3(2), Εξ. 6.58)

$K_c = 0.91$

(EC3 Πιν. 6.6)

$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.91) [1 - 2.0 \times (1.042 - 0.8)^2] = 0.960$, $f \leq 1.0$

$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.614 / 0.960 = 0.639$, $\chi_{lt,mod} \leq 1.0$, $\chi_{lt,mod} \leq 0.92$, $\chi_{lt,mod} = 0.639$

$M_{b,rd} = \chi_{lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.639 \times [10^{-6}] \times 1019.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 231.16 \text{ kNm}$ (EC3 Εξ.6.55)
 $M_{y,ed} = 116.00 \text{ kNm} < 231.16 \text{ kNm} = M_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $M_{y,ed} / M_{b,rd} = 116.00 / 231.16 = 0.502 < 1$

3.10. Πλευρικός λυγισμός, (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

$M_{y,ed} = 116.00 \text{ kN}$, $L = 6.000 \text{ m}$, $L_{cr,y} = 4.200 \text{ m}$, $L_{cr,z} = 6.000 \text{ m}$, $L_{cr,lt} = 6.000 \text{ m}$

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού (EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$M_{cr} = C1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GI_t / (\pi^2 EI_z) + (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j)^2]} - (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j) \}$

Μέθοδος υπολογισμού $C1, C2, C3$: ECCS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$\mu = M_o/M = qL^2/8M = -131.2/116.0 = -1.13$, $\psi = M_b/M_a = 0.0/-116.0 = 0.00$, $C1 = 1.808$, $C2 = 0.835$

$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

$k \cdot L = 6000 \text{ mm}$, $z_g = h/2 = 360/2 = 180 \text{ mm}$, $z_j = 0 \text{ mm}$

(EN1993:2002 Εξ.6.3.11)

$k_y = 0.7$, $k_z = 1.0$, $k_w = 1.0$, $C1 = 1.808$, $C2 = 0.835$, $C3 = 0.000$

$M_{cr} = [10^{-6}] 1.808 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 10.430 \times 10^6 / 6000^2]$

$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (313.58 \times 10^9 / 10.430 \times 10^6) + 6000^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.373 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 10.430 \times 10^6) + (0.835 \times 180)^2 \}^{0.5} - (0.835 \times 180) \} = 185.0 \text{ kNm}$

$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \times 1019.0 \times 10^3 \times 355 / 185.0)} = 1.398$ (EC3 Εξ.6.56)

$h/b = 360/170 = 2.12 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c

συντελεστής ατελειών: $\alpha_{lt} = 0.49$, $\beta = 0.75$, $\chi_{lt} = 0.430$

(Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)

$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - \bar{\lambda}_{lt0}) + \beta \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 [1 + 0.49 \times (1.398 - 0.40) + 0.75 \times 1.398^2] = 1.478$

$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [1.478 + \sqrt{(1.478^2 - 0.75 \times 1.398^2)}] = 0.430$

Μειωτικός συντελεστής $\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}]$, $\chi_{lt} \leq 1.0$, $1 / \bar{\lambda}_{lt}^2$, $\chi_{lt} = 0.430$ (Εξ.6.57)

$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f$, $\chi_{lt,mod} \leq 1$, $\chi_{lt,mod} \leq 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2 = 1 / 1.398^2 = 0.51$ (EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)

$K_c = 0.91$

(EC3 Πιν.6.6)

$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.91) [1 - 2.0 \times (1.398 - 0.8)^2] = 0.987$, $f \leq 1.0$

$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.430 / 0.987 = 0.436$, $\chi_{lt,mod} \leq 1.0$, $\chi_{lt,mod} \leq 0.51$, $\chi_{lt,mod} = 0.436$

$M_{b,rd} = \chi_{lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.436 \times [10^{-6}] \times 1019.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 157.72 \text{ kNm}$ (EC3 Εξ.6.55)

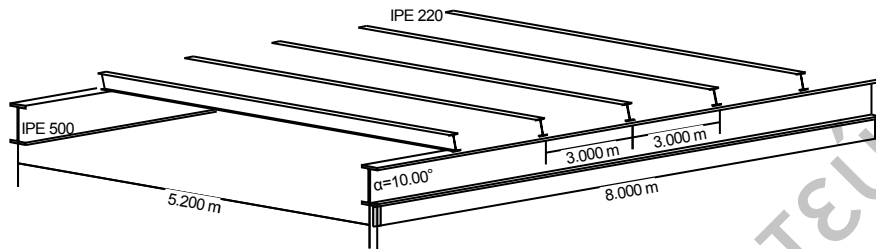
$M_{y,ed} = 116.00 \text{ kNm} < 157.72 \text{ kNm} = M_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 116.00 / 157.72 = 0.735 < 1$

4. ΔΟΚΟΣ-003

Δοκοί στέγης, Στέγη ενός ανοίγματος
(EC3 EN1993-1-1:2005, +NA-ΕΛΟΤ:2010)

Ανοιγμα δοκού L=8.000 m



4.1. Κανονισμοί

EN1990:2002, Ευρωκώδικας 0 Βάσεις σχεδιασμού
 EN1991-1-1:2002, Ευρωκώδικας 1-1 Δράσεις
 EN1991-1-3:2003, Ευρωκώδικας 1-3 Φορτία Χιονιού
 EN1991-1-4:2005, Ευρωκώδικας 1-4 Φορτία Ανέμου
 EN1993-1-1:2005, Ευρωκώδικας 3 1-1 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα
 EN1993-1-3:2005, Ευρωκώδικας 3 1-3 Μέλη και φύλλα ψυχρής έλασης
 EN1993-1-5:2006, Ευρωκώδικας 3 1-5 Δομικά στοιχεία από επίπεδα ελάσματα

4.2. Υλικά

Χάλυβας: S 355

(EN1993-1-1, §3.2)

$t \leq 40$ mm, Αντοχή διαρροής $f_y = 355$ N/mm², Αντοχή αστοχίας $f_u = 510$ N/mm²
 $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm, Αντοχή διαρροής $f_y = 335$ N/mm², Αντοχή αστοχίας $f_u = 470$ N/mm²
 Μέτρο ελαστικότητας $E = 210000$ N/mm², Λόγος Poisson $\nu = 0.30$, Πυκνότητα $\rho = 7850$ Kg/m³

Συντ. μόνιμης και μεταβλητής δράσης

(EN1990, Παράρτημα A1)

$\gamma_{G, sup} = 1.35$, $\gamma_Q = 1.50$, $\gamma_{G, inf} = 1.00$, $\psi_0 = 0.70$

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_M

(EN1993-1-1, §6.1)

$\gamma_{M0} = 1.00$, $\gamma_{M1} = 1.00$, $\gamma_{M2} = 1.25$

4.3. Βασικά στοιχεία

Ανοιγμα δοκού	L = 8.000 m
Απόσταση μεταξύ δοκών	s = 5.200 m
Γωνία στέγης	$\alpha = 10.00^\circ$
Διατομή δοκού	IPE 500 - S 355
Επικάλυψη	Πάχος χαλυβδόφυλλου $t_w = 0.750$ mm, Ύψος προφίλ $h_w = 40.0$ mm
Απόσταση τεγίδων	= 3.000 m
	Τεγίδα συγκρατούμενη πλευρικά, Αμφιέριστη τεγίδα
Διατομή τεγίδων	IPE 220 - S 355

4.4. Φορτίο

(EN1991-1-1)

Φορτία στέγης

Γωνία στέγης	$\alpha = 10.00^\circ$	
Φορτίο επικάλυψης	$g_{k1} = 0.250 \text{ kN/m}^2$	(EN1991-1-1 §5)
Επιβεβλημένο φορτίο (κατηγορία H)	$q_k = 0.500 \text{ kN/m}^2$	(EN1991-1-1 §6.3.4.2)
Φορτίο χιονιού	$q_{sk} = 2.500 \text{ kN/m}^2$	(EN1991-1-3 §5.3)
Πίεση ανέμου	$w_k = 0.000 \text{ kN/m}^2$	(EN1991-1-4 §7.2)
Αναρόφηση ανέμου	$w_k = -0.900 \text{ kN/m}^2$	

4.5. Μελέτη τεγίδων

Τεγίδα συγκρατούμενη πλευρικά, IPE 220 S 355
 Αμφιέριστη τεγίδα, L= 5.200 m, s= 3.000 m

Υλικά, Τεγίδες

Χάλυβας: S 355 (EN1993-1-1, §3.2)
 $t \leq 40 \text{ mm}$, Αντοχή διαρροής $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, Αντοχή αστοχίας $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$
 $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$, Αντοχή διαρροής $f_y = 335 \text{ N/mm}^2$, Αντοχή αστοχίας $f_u = 470 \text{ N/mm}^2$
 Μέτρο ελαστικότητας $E = 210000 \text{ N/mm}^2$, Λόγος Poisson $\nu = 0.30$, Πυκνότητα $\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$

Συντ. μόνιμης και μεταβλητής δράσης (EN1990, Παράρτημα A1)
 $\gamma_G, \text{sup} = 1.35$, $\gamma_Q = 1.50$, $\gamma_G, \text{inf} = 1.00$, $\psi_0 = 0.70$

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_m (EN1993-1-1, §6.1)
 $\gamma_{M0} = 1.00$, $\gamma_{M1} = 1.00$, $\gamma_{M2} = 1.25$

Φορτίο, Τεγίδες

(EN1991-1-1)

Φορτία σε τεγίδα

Απόσταση τεγίδων	$s = 3.000 \text{ m}$
Φορτίο επικάλυψης	$G_{k1} = 3.000 \times 0.250 = 0.75 \text{ kN/m}$
Βάρος τεγίδας	$G_{k2} = 0.26 \text{ kN/m}$
Μόνιμο φορτίο	$G_k = G_{k1} + G_{k2} = 0.75 + 0.26 = 1.01 \text{ kN/m}$
Επιβεβλημένο φορτίο (κατηγορία H)	$Q_{kk} = 3.000 \times 0.500 = 1.50 \text{ kN/m}$
Φορτίο χιονιού	$Q_{sk} = 3.000 \times 2.500 = 7.50 \text{ kN/m}$
Αναρόφηση ανέμου	$Q_{wk} = -3.000 \times 0.900 = -2.70 \text{ kN/m}$

Φορτίο επί τεγίδας σε κύριο άξονα(z) τεγίδας και εγκάρσια κατεύθυνση(y)

Μόνιμο φορτίο	$G_{k,z} = 1.01 \times \cos(10.00) = 0.99 \text{ kN/m}$	$G_{k,y} = 1.01 \times \sin(10.00) = 0.18 \text{ kN/m}$
Επιβεβλημένο φορτίο (κατηγορία H)	$Q_{kk,z} = 1.50 \times \cos(10.00) = 1.48 \text{ kN/m}$	$Q_{kk,y} = 1.50 \times \sin(10.00) = 0.26 \text{ kN/m}$
Φορτίο χιονιού	$Q_{sk,z} = 7.50 \times \cos(10.00) = 7.39 \text{ kN/m}$	$Q_{sk,y} = 7.50 \times \sin(10.00) = 1.30 \text{ kN/m}$
Πίεση ανέμου	$Q_{wk,z} = 0.00 \text{ kN/m}$	$Q_{wk,y} = 0.00 \text{ kN/m}$
Αναρόφηση ανέμου	$Q_{wk,z} = -2.70 \text{ kN/m}$	$Q_{wk,y} = 0.00 \text{ kN/m}$

Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων, Τεγίδες

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Συνδιασμοί φορτίων	(EN1990 §6.4.3.2, Π.Α1.2Α, Π.Α1.2Β)
Πίεση $\gamma_G, \text{sup} \cdot G_{k,z} + \gamma_Q \cdot Q_{k,z} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{wk,z}$	$= 1.35 \times 0.99 + 1.50 \times 7.39 + 1.50 \times 0.70 \times 0.00 = 12.42 \text{ kN/m}$
Αναρόφηση $\gamma_G, \text{inf} \cdot G_{k,z} - \gamma_Q \cdot Q_{wk,z}$	$= 1.00 \times 0.99 - 1.50 \times 2.70 = -3.06 \text{ kN/m}$
Εγκάρσια $\gamma_G, \text{sup} \cdot G_{k,y} + \gamma_Q \cdot Q_{k,y}$	$= 1.35 \times 0.18 + 1.50 \times 1.30 = 2.19 \text{ kN/m}$

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Συνδιασμοί φορτίων	(EN1990 §6.5.3, Π.Α1.4)
Πίεση $G_{k,z} + Q_{k,z} + \psi_0 \cdot Q_{wk,z}$	$= 0.99 + 7.39 + 0.70 \times 0.00 = 8.38 \text{ kN/m}$
Αναρόφηση $G_{k,z} + Q_{wk,z}$	$= 0.99 - 2.70 = -1.71 \text{ kN/m}$

Φορτία σχεδιασμού, Τεγίδες

Φορτία σχεδιασμού, Οριακή κατάσταση αστοχίας

Πίεση	$M_{yed} = 12.42 \times 5.200^2 / 8 = 41.99 \text{ kNm}$	$V_{zed} = 12.42 \times 5.200 / 2 = 32.30 \text{ kN}$
Αναρόφηση	$M_{yed} = - 3.06 \times 5.200^2 / 8 = -10.33 \text{ kNm}$	$V_{zed} = 3.06 \times 5.200 / 2 = 7.94 \text{ kN}$
Εγκάρσια	Πλευρικά συγκρατούμενη	

Φορτία σχεδιασμού, Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

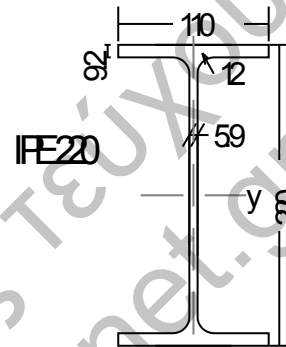
Πίεση	$M_{yed} = 8.38 \times 5.200^2 / 8 = 28.33 \text{ kNm}$	$V_{zed} = 8.38 \times 5.200 / 2 = 21.79 \text{ kN}$
Αναρόφηση	$M_{yed} = - 1.71 \times 5.200^2 / 8 = -5.76 \text{ kNm}$	$V_{zed} = 1.71 \times 5.200 / 2 = 4.43 \text{ kN}$

Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής, Τεγίδες

Διατομή IPE 220-S 355

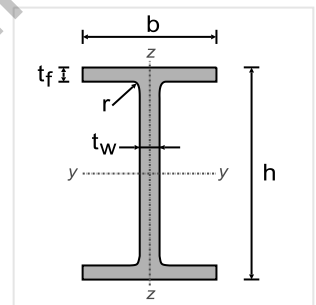
Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	$h = 220.00 \text{ mm}$
Πλάτος διατομής	$b = 110.00 \text{ mm}$
Υψος κορμού	$h_w = 201.60 \text{ mm}$
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	$d_w = 177.60 \text{ mm}$
Πάχος κορμού	$t_w = 5.90 \text{ mm}$
Πάχος πέλματος	$t_f = 9.20 \text{ mm}$
Ακτίνα συναρμογής	$r = 12.00 \text{ mm}$
Μάζα	$= 26.20 \text{ Kg/m}$



Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	$A = 3337 \text{ mm}^2$	
Ροπή αδρανείας	$I_y = 27.720 \times 10^6 \text{ mm}^4$	$I_z = 2.049 \times 10^6 \text{ mm}^4$
Ελαστική ροπή αντίστασης	$W_y = 252.00 \times 10^3 \text{ mm}^3$	$W_z = 37.250 \times 10^3 \text{ mm}^3$
Πλαστική ροπή αντίστασης	$W_{py} = 285.40 \times 10^3 \text{ mm}^3$	$W_{pz} = 58.110 \times 10^3 \text{ mm}^3$
Ακτίνα αδρανείας	$i_y = 91.1 \text{ mm}$	$i_z = 24.8 \text{ mm}$
Επιφάνεια διάτμησης	$A_{vz} = 1588 \text{ mm}^2$	$A_{vy} = 2024 \text{ mm}^2$
Σταθερά στρέψης	$I_t = 0.091 \times 10^6 \text{ mm}^4$	$i_p = 94 \text{ mm}$
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	$W_t = 9.854 \times 10^3 \text{ mm}^3$	
Σταθερά στρέβλωσης	$I_w = 22.672 \times 10^9 \text{ mm}^6$	



Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Τεγίδες

(EN1993-1-1, §7)

Βέλος κάμψης τεγίδας, Πίεση

Φορτίο	$G+Q: w = 5 \times 8.38 \times 5200^4 / (384 \times 2.1 \times 10^5 \times 27.720 \times 10^6) = 13.71 \text{ mm} = L/380 < L/200$
Φορτίο	$Q: w = 5 \times 7.39 \times 5200^4 / (384 \times 2.1 \times 10^5 \times 27.720 \times 10^6) = 12.08 \text{ mm} = L/431 < L/250$

Βέλος κάμψης τεγίδας, Αναρόφηση

Φορτίο	$G+Q: w = 5 \times -1.71 \times 5200^4 / (384 \times 2.1 \times 10^5 \times 27.720 \times 10^6) = -2.79 \text{ mm} = L/1863 < L/200$
Φορτίο	$Q: w = 5 \times -2.70 \times 5200^4 / (384 \times 2.1 \times 10^5 \times 27.720 \times 10^6) = -4.42 \text{ mm} = L/1176 < L/250$

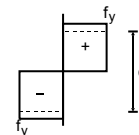
Βέλος κάμψης τεγίδας, Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Έλεγχος ικανοποιείται

Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη M_y (Διατομή τεγίδων)

(EN1993-1-1, §5.5)

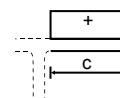
Κορμός

$c = 220.0 - 2 \times 9.2 - 2 \times 12.0 = 177.6 \text{ mm}$, $t = 5.9 \text{ mm}$, $c/t = 177.6 / 5.9 = 30.10$
 S 355, $t = 5.9 \leq 40 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$
 $c/t = 30.10 \leq 72 \epsilon = 72 \times 0.81 = 58.32$
 Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Πέλυμα

$c = 110.0 / 2 - 5.9 / 2 - 12.0 = 40.0 \text{ mm}$, $t = 9.2 \text{ mm}$, $c/t = 40.0 / 9.2 = 4.35$
 S 355, $t = 9.2 \leq 40 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$
 $c/t = 4.35 \leq 9 \epsilon = 9 \times 0.81 = 7.29$
 Το πέλυμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη $M_{y,ed}$

Αντοχή διατομής, Διατομή τεγίδων

(EN1993-1-1, §6.2)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη y-y

(EN1993-1-1, §6.2.5)

My.ed= 41.99 kNm

Καμπτική αντοχή $M_{ply,rd} = W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 285.40 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 101.32 \text{ kNm}$

$M_{y,ed} = 41.99 \text{ kNm} < 101.32 \text{ kNm} = M_{y,rd} = M_{ply,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed} / M_{y,rd} = 41.99 / 101.32 = 0.414 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

Vz.ed= 32.30 kN

$A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 3337 - 2 \times 110.0 \times 9.2 + (5.9 + 2 \times 12.0) \times 9.2 = 1588 \text{ mm}^2$

(EC3 §6.2.6.3)

$A_v = 1588 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (220.0 - 2 \times 9.2) \times 5.9 = 1.00 \times 201.6 \times 5.9 = 1189 \text{ mm}^2$

Πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 1588 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 325.49 \text{ kN}$

$V_{z,ed} = 32.30 \text{ kN} < 325.49 \text{ kN} = V_{z,rd} = V_{pl,z,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$V_{z,ed} / V_{z,rd} = 32.30 / 325.49 = 0.099 < 1$

$h_w / t_w = (220.0 - 2 \times 9.2) / 5.9 = 201.6 / 5.9 = 34.17 < = 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \epsilon / \eta = 58.32$ ($\eta = 1.00$)

S 355, $t = 5.9 < = 40 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon = (235 / 355)^{0.5} = 0.81$

Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα

(EC3 §6.2.6.6)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη

(EN1993-1-1, §6.2.9)

N.ed= 0.00kN, Vz.ed= 32.30kN, My.ed= 10.50kNm

$N_{ed} = 0.00 \text{ kN}$, $V_{z,ed} = 0.00 \text{ kN}$, $M_{y,ed} = 41.99 \text{ kNm}$

$M_{pl,y,rd} = 101.32 \text{ kNm}$, $V_{pl,z,rd} = 325.49 \text{ kN}$

$N_{ed} = 0 \text{ kN}$, Η επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.9.1 Εξ.6.33, Εξ.6.34, Εξ.6.35)

$V_{ed} = 32.30 \text{ kN} < = 0.50 \times 325.49 = 0.50 \times V_{pl,z,rd} = 162.74 \text{ kN}$

Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.8.2)

Πλευρική δέσμευση χαλυβδόφυλλου, Τεγίδες

(EC3 EN1993-1-3:2005, §10.1)

Πάχος χαλυβδόφυλλου $t_w = 0.750 \text{ mm}$, Ύψος προφίλ $h_w = 40.0 \text{ mm}$

Διατμητική ακαμψία χαλυβδόφυλλου

(EN1993-1-3, §10.1.1 Εξ.10.1b)

$S = t^{1.5} (50 + 10b^{0.33}) s / h_w = 0.750^{1.5} \times (50 + 10 \times 5200^{0.33}) \times 3000 / 40.0 = 10875 \text{ kNm/m}$

Ελάχιστη απαιτούμενη διατμητική ακαμψία, για πλευρικά δεσμευμένη τεγίδα

(§10.1.1 Εξ.10.1a)

$S_{min} = [\pi^2 E \cdot I_w / L^2 + G \cdot I_t + \pi^2 E \cdot I_z (h/2)^2 / L^2] \cdot 70 / h = [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 22.672 \times 10^9 / 5200^2$

$+ 8.1 \times 10^4 \times 0.091 \times 10^6 + \pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 2.049 \times 10^6 \times 110^2 / 5200^2] \times 70 / 220^2] \times [10^{-3}] = 15852 \text{ kNm/m}$

$s = 10875 \text{ kNm/m} < 15852 \text{ kNm/m}$

Το χαλυβδόφυλλο δεν μπορεί να θεωρηθεί επαρκώς άκαμτο για τη δέσμευση της τεγίδας

Στροφική δέσμευση από το χαλυβδόφυλλο $C_d = 1 / (1 / C_{d,a} + 1 / C_{d,c})$

(EN1993-1-3, §10.1.5.2)

$C_{d,c} = k \cdot E \cdot I_{eff} / s$, $k = 2$, $I_{eff} = 0.3 \times 0.75 \times 39.25^2 = 347 \text{ mm}^4 / \text{m}$, $s = 3000 \text{ mm}$

(Εξ.10.16)

$C_{d,c} = [10^{-3}] 2 \times 2.1 \times 10^5 \times 346.6 / 3000 = 48.5 \text{ kNm/m}$

$C_{d,a} = C_{100} \cdot k_{ba} \cdot k_t \cdot k_{br} \cdot k_a \cdot k_{bt}$

(EN1993-1-3, Εξ.10.17)

$C_{100} = 2.0$, $k_{ba} = 1.25 \times 220 / 100 = 2.75$, $k_t = (0.75 / 0.75)^{1.5} = 1.00$, $k_{br} = 1.0$, $k_a = 1.0$, $k_{bt} = 1.0$

$C_{d,a} = 2.0 \times 2.75 \times 1.00 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 5.5 \text{ kNm/m}$

$C_d = 1 / (1 / 48.5 + 1 / 5.5) = 4.9 \text{ kNm/m}$

Πλευρικός λυγισμός (Τεγίδα συγκρατούμενη πλευρικά)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 Παράρτημα C)

Timoshenko, S.P., Gere, J.M., Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$M_{cr} = C_1 \cdot [\pi^2 E I_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w / I_z) + (kL)^2 G I_t, eq / (\pi^2 E I_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2]} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$

Μέθοδος υπολογισμού C_1, C_2, C_3 : ECSS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$, $I_t, eq = I_t + C_d \cdot (kL)^2 / (\pi^2 G)$

Πίεση

$k \cdot L = 5200 \text{ mm}$, $z_g = h/2 = 220/2 = 110 \text{ mm}$, $z_j = 0 \text{ mm}$

(EN1993:2002 Εξ.C.11)

$k_y = 1.0$, $k_z = 1.0$, $k_w = 1.0$, $C_1 = 1.127$, $C_2 = 0.454$, $C_3 = 0.000$

$M_{cr} = [10^{-6}] 1.127 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 2.049 \times 10^6 / 5200^2]$

$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (22.672 \times 10^9 / 2.049 \times 10^6)$

$+ 5200^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.258 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 2.049 \times 10^6)$

$+ (0.454 \times 110)^2 \}^{0.5} - (0.454 \times 110) \} = 58.9 \text{ kNm}$

$I_t, eq = (0.091 \times 10^6 + 10^3 \times 4.9 \times 5200^2 / (\pi^2 \times 8.1 \times 10^4)) = 0.258 \times 10^6 \text{ mm}^4$

$$\bar{\lambda}, lt = \sqrt{(Wpl, y \cdot fy / Mcr)} = \sqrt{([10^{-6}] \times 285.40 \times 10^3 \times 355 / 58.9)} = 1.312 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

h/b=220/110=2.00<=2.00 καμπύλη λυγισμού: b
 συντελεστής ατελειών: α, lt=0.34, β=0.75, χ, lt=0.517 (Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)
 $\Phi, lt = 0.5[1 + \alpha, lt(\bar{\lambda}, lt - \bar{\lambda}, lto) + \beta \bar{\lambda}, lt^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (1.312 - 0.40) + 0.75 \times 1.312^2] = 1.300$
 $\chi, lt = 1 / [\Phi, lt + \sqrt{(\Phi, lt^2 - \beta \bar{\lambda}, lt^2)}] = 1 / [1.300 + \sqrt{(1.300^2 - 0.75 \times 1.300^2)}] = 0.517$
 Μειωτικός συντελεστής χ, lt=1/[Φ, lt+√(Φ, lt²-βλ, lt²)], χ, lt<=1.0, 1/λ, lt², χ, lt=0.517 (Εξ.6.57)

$$Mb, rd = \chi, lt \cdot Wpl, y \cdot fy / \gamma M1 = 0.517 \times [10^{-6}] \times 285.40 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 52.38 \text{ kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

My, ed= 41.99 kNm < 52.38 kNm = Mb, rd, Έλεγχος ικανοποιείται
 My, ed/Mb, rd= 41.99/52.38= 0.802<1

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού (EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$$Mcr = C1 \cdot [\pi^2 EIz / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (Iw/Iz) + (kL)^2 GIt / (\pi^2 EIz) + (C2 \cdot zg - C3 \cdot zj)^2]} - (C2 \cdot zg - C3 \cdot zj) \}$$

Μέθοδος υπολογισμού C1, C2, C3 : ECCS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$k \cdot L = 5200 \text{ mm}, \quad zg = -h/2 = -220/2 = -110 \text{ mm}, \quad zj = 0 \text{ mm} \quad (\text{Aianuococ}) \quad (\text{EN1993:2002 Εξ.C.11})$$

$$ky = 1.0, \quad kz = 1.0, \quad kw = 1.0, \quad C1 = 1.127, \quad C2 = 0.454, \quad C3 = 0.000$$

$$Mcr = [10^{-6}] 1.127 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 2.049 \times 10^6 / 5200^2]$$

$$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (22.672 \times 10^9 / 2.049 \times 10^6) + 5200^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.258 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 2.049 \times 10^6) + (-0.454 \times 110)^2 \}^{0.5} - (-0.454 \times 110) \} = 76.6 \text{ kNm}$$

$$It, eq = (0.091 \times 10^6 + 10^3 \times 4.9 \times 5200^2 / (\pi^2 \times 8.1 \times 10^4)) = 0.258 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\bar{\lambda}, lt = \sqrt{(Wpl, y \cdot fy / Mcr)} = \sqrt{([10^{-6}] \times 285.40 \times 10^3 \times 355 / 76.6)} = 1.150 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

$$h/b=220/110=2.00<=2.00 \text{ καμπύλη λυγισμού: b}$$

$$\text{συντελεστής ατελειών: } \alpha, lt=0.34, \beta=0.75, \chi, lt=0.608 \quad (\text{Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4})$$

$$\Phi, lt = 0.5[1 + \alpha, lt(\bar{\lambda}, lt - \bar{\lambda}, lto) + \beta \bar{\lambda}, lt^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (1.150 - 0.40) + 0.75 \times 1.150^2] = 1.124$$

$$\chi, lt = 1 / [\Phi, lt + \sqrt{(\Phi, lt^2 - \beta \bar{\lambda}, lt^2)}] = 1 / [1.124 + \sqrt{(1.124^2 - 0.75 \times 1.124^2)}] = 0.608$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi, lt=1/[\Phi, lt+\sqrt{(\Phi, lt^2-\beta \bar{\lambda}, lt^2)}], \chi, lt<=1.0, 1/\bar{\lambda}, lt^2, \chi, lt=0.608 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$Mb, rd = \chi, lt \cdot Wpl, y \cdot fy / \gamma M1 = 0.608 \times [10^{-6}] \times 285.40 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 61.60 \text{ kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

$$My, ed = 10.33 \text{ kNm} < 61.60 \text{ kNm} = Mb, rd, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$My, ed/Mb, rd = 10.33/61.60 = 0.168 < 1$$

4.6. Διαστασιολόγηση δοκών

Βασικά στοιχεία

Ανοιγμα δοκού	L = 8.000 m
Απόσταση μεταξύ δοκών	s = 5.200 m
Γωνία στέγης	α = 10.00°
Διατομή δοκού	IPE 500 - S 355

4.7. Φορτία

(EN1991-1-1)

Φορτία δοκού

Απόσταση μεταξύ δοκών	s = 5.200 m
Φορτίο επικάλυψης	Gk1 = 5.200 × 0.250 = 1.30 kN/m
Βάρος τεγίδας	Gk2 = 0.26 × 5.200 / 3.000 = 0.45 kN/m
Ίδιο βάρος δοκού	Gk3 = 0.89 kN/m
Μόνιμο φορτίο	Gk = Gk1 + Gk2 + Gk3 = 1.30 + 0.45 + 0.89 = 2.64 kN/m
Επιβεβλημένο φορτίο (κατηγορία H)	Qkk = 5.200 × 0.500 = 2.60 kN/m
Φορτίο χιονιού	Qsk = 5.200 × 2.500 = 13.00 kN/m
Αναρόφηση ανέμου	Qwk = -5.200 × 0.900 = -4.68 kN/m

Φορτία επί δοκού

Μόνιμο φορτίο	Gk, z = 2.64 × cos(10.00) = 2.60 kN/m, Gk, y = 2.64 × sin(10.00) = 0.46 kN/m
Επιβεβλημένο φορτίο (κατηγορία H)	Qkk, z = 2.60 × cos(10.00) = 2.56 kN/m, Qkk, y = 2.60 × sin(10.00) = 0.45 kN/m
Φορτίο χιονιού	Qsk, z = 13.00 × cos(10.00) = 12.80 kN/m, Qsk, y = 13.00 × sin(10.00) = 2.26 kN/m
Πίεση ανέμου	Qwk, z = 0.00 kN/m, Qwk, y = 0.00 kN/m
Αναρόφηση ανέμου	Qwk, z = -4.68 kN/m, Qwk, y = 0.00 kN/m

4.8. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Συνδιασμοί φορτίων		(EN1990 §6.4.3.2, Π.Α1.2Α, Π.Α1.2Β)
Πίεση	$\gamma_G, \text{sup} \cdot G_k, z + \gamma_Q \cdot Q_k, z + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{wk}, z =$	$1.35 \times 2.60 + 1.50 \times 12.80 + 1.50 \times 0.70 \times 0.00 = 22.71 \text{ kN/m}$
Αναρόφηση	$\gamma_G, \text{inf} \cdot G_k, z - \gamma_Q \cdot Q_{wk}, z =$	$1.00 \times 2.60 - 1.50 \times 4.68 = -4.42 \text{ kN/m}$
Στον άξονα	$\gamma_G, \text{sup} \cdot G_k, x + \gamma_Q \cdot Q_k, x =$	$1.35 \times 0.46 + 1.50 \times 2.26 = 4.01 \text{ kN/m}$

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Συνδιασμοί φορτίων		(EN1990 §6.5.3, Π.Α1.4)
Πίεση	$G_k, z + Q_k, z + \psi_0 \cdot Q_{wk}, z =$	$2.60 + 12.80 + 0.70 \times 0.00 = 15.40 \text{ kN/m}$
Αναρόφηση	$G_k, z + Q_{wk}, z =$	$2.60 - 4.68 = -2.08 \text{ kN/m}$

4.9. Φορτία σχεδιασμού

Φορτία σχεδιασμού, Οριακή κατάσταση αστοχίας				
Πίεση	$M_{yed} =$	$22.71 \times 8.000^2 / 8 = 181.71 \text{ kNm}$,	$V_{zed} = 22.71 \times 8.000 / 2 = 90.85 \text{ kN}$,	$N_{ed} = -16.02 \text{ kN}$
Αναρόφηση	$M_{yed} =$	$-4.42 \times 8.000^2 / 8 = -35.36 \text{ kNm}$,	$V_{zed} = 4.42 \times 8.000 / 2 = 17.68 \text{ kN}$	

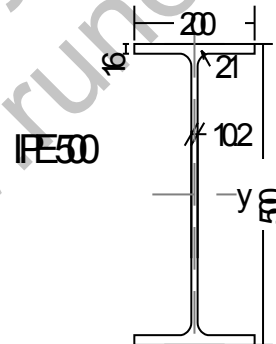
Φορτία σχεδιασμού, Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)			
Πίεση	$M_{yed} =$	$15.40 \times 8.000^2 / 8 = 123.22 \text{ kNm}$,	$V_{zed} = 15.40 \times 8.000 / 2 = 61.61 \text{ kN}$
Αναρόφηση	$M_{yed} =$	$-2.08 \times 8.000^2 / 8 = -16.64 \text{ kNm}$,	$V_{zed} = 2.08 \times 8.000 / 2 = 8.32 \text{ kN}$

4.10. Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

Διατομή IPE 500-S 355

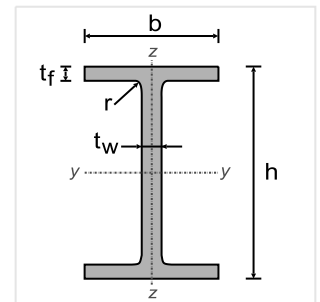
Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	$h =$	500.00 mm
Πλάτος διατομής	$b =$	200.00 mm
Υψος κορμού	$h_w =$	468.00 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	$d_w =$	426.00 mm
Πάχος κορμού	$t_w =$	10.20 mm
Πάχος πέλματος	$t_f =$	16.00 mm
Ακτίνα συναρμογής	$r =$	21.00 mm
Μάζα	$=$	90.70 Kg/m



Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	$A =$	11550 mm ²	
Ροπή αδρανείας	$I_y =$	482.00 x 10 ⁶ mm ⁴	$I_z = 21.420 \times 10^6 \text{ mm}^4$
Ελαστική ροπή αντίστασης	$W_y =$	1928.00 x 10 ³ mm ³	$W_z = 214.20 \times 10^3 \text{ mm}^3$
Πλαστική ροπή αντίστασης	$W_{py} =$	2194.00 x 10 ³ mm ³	$W_{pz} = 335.90 \times 10^3 \text{ mm}^3$
Ακτίνα αδρανείας	$i_y =$	204.3 mm	$i_z = 43.1 \text{ mm}$
Επιφάνεια διάτμησης	$A_{vz} =$	5985 mm ²	$A_{vy} = 6400 \text{ mm}^2$
Σταθερά στρέψης	$I_t =$	0.893 x 10 ⁶ mm ⁴	$i_p = 209 \text{ mm}$
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	$W_t =$	55.804 x 10 ³ mm ³	
Σταθερά στρέβλωσης	$I_w =$	1249.4 x 10 ⁹ mm ⁶	



4.11. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

(EN1993-1-1, §7)

Βέλος κάμψης δοκού

Φορτίο	$G+Q_s: w =$	$5 \times 15.40 \times 8000^4 / (384 \times 2.1 \times 10^5 \times 482.00 \times 10^6) = 8.12 \text{ mm} = L/986 < L/200$
Φορτίο	$G+Q_w: w =$	$5 \times -2.08 \times 8000^4 / (384 \times 2.1 \times 10^5 \times 482.00 \times 10^6) = -1.10 \text{ mm} = L/7298 < L/200$
Φορτίο	$Q_s: w =$	$5 \times 12.80 \times 8000^4 / (384 \times 2.1 \times 10^5 \times 482.00 \times 10^6) = 6.75 \text{ mm} = L/1186 < L/360$
Φορτίο	$Q_w: w =$	$5 \times -4.68 \times 8000^4 / (384 \times 2.1 \times 10^5 \times 482.00 \times 10^6) = -2.47 \text{ mm} = L/3243 < L/360$

Βέλος κάμψης δοκού, Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Έλεγχος ικανοποιείται

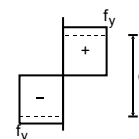
4.12. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη My

(EN1993-1-1, §5.5)

Κορμός

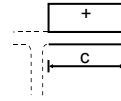
$c = 500.0 - 2 \times 16.0 - 2 \times 21.0 = 426.0 \text{ mm}$, $t = 10.2 \text{ mm}$, $c/t = 426.0 / 10.2 = 41.76$
 S 355, $t = 10.2 \leq 40 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$
 $c/t = 41.76 < 72 \epsilon = 72 \times 0.81 = 58.32$

Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Πέλμα

$c=200.0/2-10.2/2-21.0=73.9$ mm, $t=16.0$ mm, $c/t=73.9/16.0=4.62$
 S 355, $t=16.0 \leq 40$ mm, $f_y=355$ N/mm², $\epsilon=(235/355)^{0.5}=0.81$
 $c/t=4.62 \leq 9\epsilon=9 \times 0.81=7.29$
 Το πέλμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη M_y, ed

4.13. Αντοχή διατομής, (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.2)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη

(EN1993-1-1, §6.2.4)

$N_{c, ed} = 16.02$ kN

Θλιπτική αντοχή $N_{pl, rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 11550 \times 355 / 1.00 = 4100.25$ kN
 $N_{ed} = 16.02$ kN < 4100.25 kN = $N_{c, rd} = N_{pl, rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $N_{ed} / N_{c, rd} = 16.02 / 4100.25 = 0.004 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη $y-y$

(EN1993-1-1, §6.2.5)

$M_{y, ed} = 181.71$ kNm

Καμπτική αντοχή $M_{pl, y, rd} = W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 778.87$ kNm
 $M_{y, ed} = 181.71$ kNm < 778.87 kNm = $M_{y, rd} = M_{pl, y, rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $M_{y, ed} / M_{y, rd} = 181.71 / 778.87 = 0.233 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

$V_{z, ed} = 90.85$ kN

$A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 11550 - 2 \times 200.0 \times 16.0 + (10.2 + 2 \times 21.0) \times 16.0 = 5985$ mm² (EC3 §6.2.6.3)
 $A_v = 5985$ mm² > $\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (500.0 - 2 \times 16.0) \times 10.2 = 1.00 \times 468.0 \times 10.2 = 4774$ mm²
 Πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl, z, rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 5985 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 1226.72$ kN
 $V_{z, ed} = 90.85$ kN < 1226.72 kN = $V_{z, rd} = V_{pl, z, rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $V_{z, ed} / V_{z, rd} = 90.85 / 1226.72 = 0.074 < 1$

$h_w / t_w = (500.0 - 2 \times 16.0) / 10.2 = 468.0 / 10.2 = 45.88 \leq 72 \times 0.81 / 1.00 = 72\epsilon / \eta = 58.32$ ($\eta = 1.00$)

S 355, $t = 10.2 \leq 40$ mm, $f_y = 355$ N/mm², $\epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$

Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα

(EC3 §6.2.6.6)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη

(EN1993-1-1, §6.2.9)

$N_{ed} = 16.02$ kN (θλίψη), $V_{z, ed} = 90.85$ kN, $M_{y, ed} = 45.43$ kNm

$N_{ed} = 16.02$ kN (θλίψη), $V_{z, ed} = 90.85$ kN, $M_{y, ed} = 181.71$ kNm

$N_{pl, rd} = 4100.25$ kN, $M_{pl, y, rd} = 778.87$ kNm, $V_{pl, z, rd} = 1226.72$ kN

$N_{ed} = 16.02$ kN <= $0.25 \times 4100.25 = 0.25 \times N_{pl, rd} = 1025.06$ kN

$N_{ed} = 16.02$ kN <= $[10^{-3}] \times 0.5 \times 468.0 \times 10.2 \times 355 / 1.00 = 0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 847.31$ kN

Η επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.9.1 Εξ.6.33, Εξ.6.34, Εξ.6.35)

$V_{ed} = 90.85$ kN <= $0.50 \times 1226.72 = 0.50 \times V_{pl, rd} = 613.36$ kN

Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.8.2)

$M_{y, ed} = 181.71$ kNm < 778.87 kNm = $M_{pl, y, rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y, ed} / M_{pl, y, rd} = 181.71 / 778.87 = 0.233 < 1$

4.14. Πλευρικός λυγισμός, (ULS) (Ανοιγμα δοκού)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

$M_{y, ed} = 181.71$ kN, $L = 8.000$ m, $L_{cr, y} = 8.000$ m, $L_{cr, z} = 8.000$ m, $L_{cr, lt} = 3.000$ m

Πλευρικός στηρίξεις στα σημεία στήριξης τεγίδων, $L_c = 3.000$ m

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$M_{cr} = C_1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{ [(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GIt / (\pi^2 EI_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2] } - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$

Μέθοδος υπολογισμού C_1, C_2, C_3 : EC3 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4$ N/mm²

$k \cdot L = 3000$ mm, $z_g = h/2 = 500/2 = 250$ mm, $z_j = 0$ mm

(EN1993:2002 Εξ.C.11)

$k_y = 1.0$, $k_z = 1.0$, $k_w = 1.0$, $C_1 = 1.000$, $C_2 = 0.459$, $C_3 = 1.000$

$M_{cr} = [10^{-6}] 1.000 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 21.420 \times 10^6 / 3000^2]$

$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (1249.4 \times 10^9 / 21.420 \times 10^6) + 3000^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.893 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 21.420 \times 10^6) + (0.459 \times 250)^2]^{0.5} - (0.459 \times 250) \} = 881.5$ kNm

$$\bar{\lambda}, lt = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 881.5)} = 0.940 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

$h/b = 500/200 = 2.50 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c

συντελεστής ατελειών: $\alpha, lt = 0.49, \beta = 0.75, \chi, lt = 0.676 \quad (\text{Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4})$

$$\Phi, lt = 0.5[1 + \alpha, lt (\bar{\lambda}, lt - \bar{\lambda}, lt_0) + \beta \bar{\lambda}, lt^2] = 0.5 \times [1 + 0.49 \times (0.940 - 0.40) + 0.75 \times 0.940^2] = 0.964$$

$$\chi, lt = 1 / [\Phi, lt + \sqrt{(\Phi, lt^2 - \beta \bar{\lambda}, lt^2)}] = 1 / [0.964 + \sqrt{(0.964^2 - 0.75 \times 0.940^2)}] = 0.676$$

Μειωτικός συντελεστής $\chi, lt = 1 / [\Phi, lt + \sqrt{(\Phi, lt^2 - \beta \bar{\lambda}, lt^2)}], \chi, lt \leq 1.0, 1 / \bar{\lambda}, lt^2, \chi, lt = 0.676 \quad (\text{Εξ.6.57})$

$$\chi, lt, mod = \chi, lt / f, \chi, lt, mod \leq 1, \chi, lt, mod \leq 1 / \bar{\lambda}, lt^2 = 1 / 0.940^2 = 1.13 \quad (\text{EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58})$$

$$K_c = 1 / (1.33 - 0.33\psi) = 0.752, \psi = 0.00 \quad (\text{EC3 Πιν.6.6})$$

$$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}, lt - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.752) [1 - 2.0 \times (0.940 - 0.8)^2] = 0.881, f \leq 1.0$$

$$\chi, lt, mod = \chi, lt / f = 0.676 / 0.881 = 0.767, \chi, lt, mod \leq 1.0, \chi, lt, mod \leq 1.13, \chi, lt, mod = 0.767$$

$$M_{b,rd} = \chi, lt \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.676 \times [10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 597.39 \text{ kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

$M_{y,ed} = 181.71 \text{ kNm} < 597.39 \text{ kNm} = M_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 181.71 / 597.39 = 0.304 < 1$

4.15. Πλευρικός λυγισμός, (ULS) (Αναρόφηση) (EN1993-1-1, §6.3.2)

$M_{y,ed} = 35.36 \text{ kNm}, L = 8.000 \text{m}, L_{cr,y} = 8.000 \text{m}, L_{cr,z} = 8.000 \text{m}, L_{cr,lt} = 8.000 \text{m}$

Κάτω πέλαμα σε θλίψη, μήκος καμπτικού και πλευρικού λυγισμού, $L_c = 8.000 \text{m}$

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού (EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$$M_{cr} = C1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GI_t / (\pi^2 EI_z) + (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j)^2]} - (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j) \}$$

Μέθοδος υπολογισμού $C1, C2, C3$: *ECCS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006*

$$G = E / (2(1 + \nu)) = 210000 / (2(1 + 0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$k \cdot L = 8000 \text{mm}, z_g = h/2 = 500/2 = 250 \text{mm}, z_j = 0 \text{mm} \quad (\text{EN1993:2002 Εξ.C.11})$

$k_y = 1.0, k_z = 1.0, k_w = 1.0, C1 = 1.127, C2 = 0.454, C3 = 0.000$

$$M_{cr} = [10^{-6}] 1.127 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 21.420 \times 10^6 / 8000^2] \times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (1249.4 \times 10^9 / 21.420 \times 10^6) + 8000^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.893 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 21.420 \times 10^6) + (0.454 \times 250)^2]^{0.5} - (0.454 \times 250) \} = 238.5 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}, lt = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 238.5)} = 1.807 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

$h/b = 500/200 = 2.50 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c

συντελεστής ατελειών: $\alpha, lt = 0.49, \beta = 0.75, \chi, lt = 0.292 \quad (\text{Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4})$

$$\Phi, lt = 0.5[1 + \alpha, lt (\bar{\lambda}, lt - \bar{\lambda}, lt_0) + \beta \bar{\lambda}, lt^2] = 0.5 \times [1 + 0.49 \times (1.807 - 0.40) + 0.75 \times 1.807^2] = 2.069$$

$$\chi, lt = 1 / [\Phi, lt + \sqrt{(\Phi, lt^2 - \beta \bar{\lambda}, lt^2)}] = 1 / [2.069 + \sqrt{(2.069^2 - 0.75 \times 1.807^2)}] = 0.292$$

Μειωτικός συντελεστής $\chi, lt = 1 / [\Phi, lt + \sqrt{(\Phi, lt^2 - \beta \bar{\lambda}, lt^2)}], \chi, lt \leq 1.0, 1 / \bar{\lambda}, lt^2, \chi, lt = 0.292 \quad (\text{Εξ.6.57})$

$$\chi, lt, mod = \chi, lt / f, \chi, lt, mod \leq 1, \chi, lt, mod \leq 1 / \bar{\lambda}, lt^2 = 1 / 1.807^2 = 0.31 \quad (\text{EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58})$$

$$K_c = 0.94 \quad (\text{EC3 Πιν.6.6})$$

$$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}, lt - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.940) [1 - 2.0 \times (1.807 - 0.8)^2] = 1.031, f \leq 1.0$$

$$\chi, lt, mod = \chi, lt / f = 0.292 / 1.000 = 0.292, \chi, lt, mod \leq 1.0, \chi, lt, mod \leq 0.31, \chi, lt, mod = 0.292$$

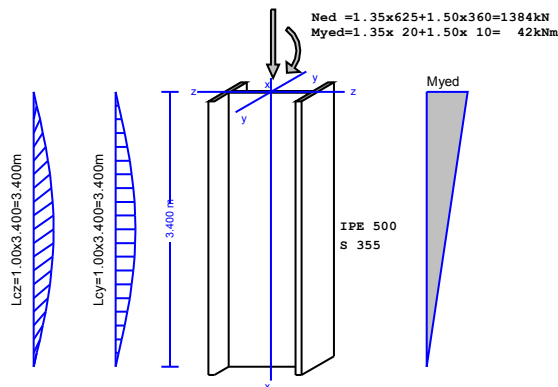
$$M_{b,rd} = \chi, lt \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.292 \times [10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 227.43 \text{ kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

$M_{y,ed} = 35.36 \text{ kNm} < 227.43 \text{ kNm} = M_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 35.36 / 227.43 = 0.155 < 1$

5. ΥΠΟΣΤΥΛ-002

Υποστυλώματα γενικά, Υποστύλωμα υπό θλίψη και απλή κάμψη
(EC3 EN1993-1-1:2005, +NA-ΕΛΟΤ:2010)



5.1. Κανονισμοί

EN1990:2002, Ευρωκώδικας 0 Βάσεις σχεδιασμού
 EN1991-1-1:2002, Ευρωκώδικας 1-1 Δράσεις
 EN1993-1-1:2005, Ευρωκώδικας 3 1-1 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα
 EN1993-1-3:2005, Ευρωκώδικας 3 1-3 Μέλη και φύλλα ψυχρής έλασης
 EN1993-1-5:2006, Ευρωκώδικας 3 1-5 Δομικά στοιχεία από επίπεδα ελάσματα

5.2. Υλικά

Χάλυβας: S 355 (EN1993-1-1, §3.2)

$t \leq 40 \text{ mm}$, Αντοχή διαρροής $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, Αντοχή αστοχίας $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$
 $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$, Αντοχή διαρροής $f_y = 335 \text{ N/mm}^2$, Αντοχή αστοχίας $f_u = 470 \text{ N/mm}^2$
 Μέτρο ελαστικότητας $E = 210000 \text{ N/mm}^2$, Λόγος Poisson $\nu = 0.30$, Πυκνότητα $\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$

Συντ. μόνιμης και μεταβλητής δράσης (EN1990, Παράρτημα A1)

$\gamma_G = 1.35$, $\gamma_Q = 1.50$

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_M (EN1993-1-1, §6.1)

$\gamma_{M0} = 1.00$, $\gamma_{M1} = 1.00$, $\gamma_{M2} = 1.25$

5.3. Φορτίο

(EN1991-1-1)

Μόνιμο φορτίο $N_{gk} = 625.00 \text{ kN}$, $M_{y_{gk}} = 20.00 \text{ kNm}$
 Μεταβλητό φορτίο $N_{qk} = 360.00 \text{ kN}$, $M_{y_{qk}} = 10.00 \text{ kNm}$

5.4. Διαστάσεις

Μήκος υποστυλώματος $L = 3.400 \text{ m}$
 Μήκος λυγισμού- y : $L_{cr, y} = 1.000 \times 3.400 = 3.400 \text{ m}$
 Μήκος λυγισμού- z : $L_{cr, z} = 1.000 \times 3.400 = 3.400 \text{ m}$

5.5. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Συνδιασμοί φορτίων

(EN1990 §6.4.3.2, Π.Α1.2Α, Π.Α1.2Β)

$$N_{ed} = \gamma_G \cdot N_{gk} + \gamma_Q \cdot N_{qk} = 1.35 \times 625.00 + 1.50 \times 360.00 = 1383.75 \text{ kN}$$

$$M_{yed} = \gamma_G \cdot M_{ygk} + \gamma_Q \cdot M_{yqk} = 1.35 \times 20.00 + 1.50 \times 10.00 = 42.00 \text{ kNm}$$

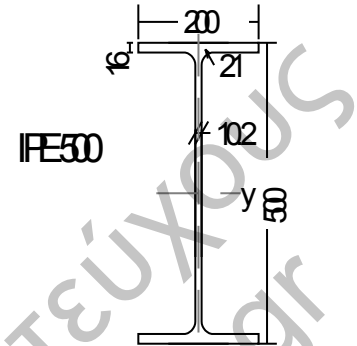
$$V_{zed} = M_{yed} / L = 42.00 / 3.400 = 12.35 \text{ kNm}$$

5.6. Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

Διατομή IPE 500-S 355

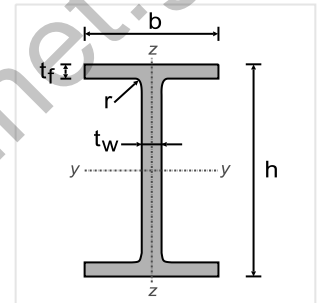
Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h=	500.00 mm
Πλάτος διατομής	b=	200.00 mm
Υψος κορμού	h _w =	468.00 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	d _w =	426.00 mm
Πάχος κορμού	t _w =	10.20 mm
Πάχος πέλματος	t _f =	16.00 mm
Ακτίνα συναρμογής	r=	21.00 mm
Μάζα	=	90.70 Kg/m



Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	11550 mm ²		
Ροπή αδρανείας	I _y =	482.00 × 10 ⁶ mm ⁴	I _z =	21.420 × 10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	1928.0 × 10 ³ mm ³	W _z =	214.20 × 10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	2194.0 × 10 ³ mm ³	W _{pz} =	335.90 × 10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	204.3 mm	i _z =	43.1 mm
Επιφάνεια διάτμησης	A _{vz} =	5985 mm ²	A _{vy} =	6400 mm ²
Σταθερά στρέψης	I _t =	0.893 × 10 ⁶ mm ⁴	i _p =	209 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	55.804 × 10 ³ mm ³		
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	1249.4 × 10 ⁹ mm ⁶		



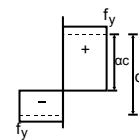
5.7. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη και Θλίψη

(EN1993-1-1, §5.5)

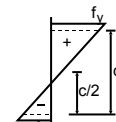
Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής $\sigma = N_{ed}/A_{el} \pm M_{yed}/W_{el,y} \pm M_{zed}/W_{el,z}$
 $\sigma = [10^3]1383.75/11550 \pm [10^6]42.00/1928.0 \times 10^3 \pm [10^6]0.00/214.2 \times 10^3$
 $\sigma_1 = 142 \text{ N/mm}^2, \sigma_2 = 98 \text{ N/mm}^2$ (Θλίψη θετική)

Κορμός

$c = 500.0 - 2 \times 16.0 - 2 \times 21.0 = 426.0 \text{ mm}, t = 10.2 \text{ mm}, c/t = 426.0/10.2 = 41.76$
 S 355, $t = 10.2 \leq 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$
 Θέση ουδέτερου άξονα για συνδυασμό Κάμψη και θλίψη
 $N_{ed} / (2t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}) = 1383750 / (2 \times 10.2 \times 355 / 1.00) = 191.1 \text{ mm}$
 $\alpha = (426.0 / 2 + 191.1) / 426.0 = 0.949 > 0.5$
 $c/t = 41.76 > 45 \epsilon = 45 \times 0.81 / (13 \times 0.949 - 1) = 32.60$
 Ο κορμός δεν είναι κατηγορία 1 ή 2



$\sigma = N_{ed}/A \pm M_{yed} \cdot (0.5d) / I_y, \sigma_1 = 120 \text{ N/mm}^2, \sigma_2 = 120 \text{ N/mm}^2$
 $\psi = 120/120 = 1.000 > -1$
 $c/t = 41.76 > 42 \epsilon = 42 \times 0.81 / (0.67 + 0.33 \times 1.000) = 34.02$
 Ο κορμός δεν είναι κατηγορία 3
 Ο κορμός είναι κατηγορία 4 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Πέλμα

$c = 200.0 / 2 - 10.2 / 2 - 21.0 = 73.9 \text{ mm}, t = 16.0 \text{ mm}, c/t = 73.9/16.0 = 4.62$
 S 355, $t = 16.0 \leq 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$
 $c/t = 4.62 \leq 9 \epsilon = 9 \times 0.81 = 7.29$
 Το πέλμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)

Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 4, Κάμψη και θλίψη

5.8. Αντοχή διατομής, Διατομή υποστυλωμάτων

(EN1993-1-1, §6.2)

Ιδιότητες ενεργού διατομής σε διατομές κατηγορίας 4

(EN1993-1-1, §6.2.2.5)

Κορμός

$$\bar{\lambda}_p = (b/t) / [28.40 \varepsilon \sqrt{K\sigma}] \quad (\text{EN1993-1-5, §4.4.2, Εξ.4.2, Tab1.4.1})$$

$$b=d=426.0\text{mm}, t=10.2\text{mm}, \varepsilon=0.81, \psi=1.00, K\sigma=4.00, \bar{\lambda}_p=0.908$$

$$\bar{\lambda}_p=0.908 > 0.673 \quad \rho = [1 - 0.055(3+1.00)/0.908] / 0.908 = 0.835 \quad (\rho < 1.0), \text{deff} = \rho \cdot d = 0.835 \times 426 = 355.6 \text{ mm}$$

$$\text{Ενεργό εμβαδόν } A_{\text{eff}} = 11550 - 1 \times (426.0 - 355.6) \times 10.20 = 10831 \text{ mm}^2$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη

(EN1993-1-1, §6.2.4)

$$N_{c,ed} = 1383.75 \text{ kN}$$

$$\text{Θλιπτική αντοχή } N_{c,rd} = A_{\text{eff}} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 10831 \times 355 / 1.00 = 3845.15 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 1383.75 \text{ kN} < 3845.15 \text{ kN} = N_{c,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{ed} / N_{c,rd} = 1383.75 / 3845.15 = 0.360 < 1$$

Ιδιότητες ενεργού διατομής σε διατομές κατηγορίας 4

(EN1993-1-1, §6.2.2.5)

Κορμός

$$\bar{\lambda}_p = (b/t) / [28.40 \varepsilon \sqrt{K\sigma}] \quad (\text{EN1993-1-5, §4.4.2, Εξ.4.2, Tab1.4.1})$$

$$b=d=426.0\text{mm}, t=10.2\text{mm}, \varepsilon=0.81, \psi=-1.00, K\sigma=23.90, \bar{\lambda}_p=0.371$$

$$\bar{\lambda}_p=0.371 < 0.673, \rho=1.0, \text{heff} = \rho \cdot d / 2 = 1.000 \times 213 = 213.0 \text{ mm}$$

$$\text{Ενεργό εμβαδόν } A_{\text{eff}} = 11550 - 1 \times (213.0 - 213.0) \times 10.20 = 11550 \text{ mm}^2$$

$$e_{y1} = 127.80 \times (11550 / 11550 - 1) = 0.00 \text{ mm}, I_{y,eff} = 482.00 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Ενεργή ροπή αντίστασης } W_{y,eff} = 482.00 \times 10^6 / (500.0 / 2 + 0.00) = 1928.0 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη γ-γ

(EN1993-1-1, §6.2.5)

$$M_{y,ed} = 42.00 \text{ kNm}$$

$$\text{Καμπτική αντοχή } M_{c,y,rd} = W_{\text{eff}y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 1928.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 684.44 \text{ kNm}$$

$$M_{y,ed} = 42.00 \text{ kNm} < 684.44 \text{ kNm} = M_{c,y,rd} = M_{pl,y,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_{y,ed} / M_{c,y,rd} = 42.00 / 684.44 = 0.061 < 1$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

$$V_{z,ed} = 12.35 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 11550 - 2 \times 200.0 \times 16.0 + (10.2 + 2 \times 21.0) \times 16.0 = 5985 \text{ mm}^2 \quad (\text{EC3 §6.2.6.3})$$

$$A_v = 5985 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (500.0 - 2 \times 16.0) \times 10.2 = 1.00 \times 468.0 \times 10.2 = 4774 \text{ mm}^2$$

$$\text{Πλαστική διατμητική αντοχή } V_{p1,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 5985 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 1226.72 \text{ kN}$$

$$V_{z,ed} = 12.35 \text{ kN} < 1226.72 \text{ kN} = V_{z,rd} = V_{p1,z,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$V_{z,ed} / V_{z,rd} = 12.35 / 1226.72 = 0.010 < 1$$

$$h_w / t_w = (500.0 - 2 \times 16.0) / 10.2 = 468.0 / 10.2 = 45.88 < 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \varepsilon / \eta = 58.32 \quad (\eta = 1.00)$$

$$S_{355}, t = 10.2 < 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \varepsilon = (235 / 355)^{0.5} = 0.81$$

$$\text{Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα} \quad (\text{EC3 §6.2.6.6})$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη

(EN1993-1-1, §6.2.9)

$$N_{,ed} = 1383.75 \text{ kN (θλίψη)}, V_{z,ed} = 12.35 \text{ kN}, M_{y,ed} = 42.00 \text{ kNm}$$

$$N_{pl,rd} = 3845.15 \text{ kN}, M_{c,y,rd} = 684.44 \text{ kNm}, V_{p1,z,rd} = 1226.72 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 1383.75 \text{ kN} > 0.25 \times 3845.15 = 0.25 \times N_{pl,rd} = 961.29 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 1383.75 \text{ kN} > [10^{-3}] \times 0.5 \times 468.0 \times 10.2 \times 355 / 1.00 = 0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 847.31 \text{ kN}$$

$$n = N_{ed} / N_{pl,rd} = 1384 / 3845 = 0.360$$

$$\text{Η επίδραση αξονικής δύναμης λαμβάνεται υπόψη} \quad (\text{EC3 §6.2.9.1 Εξ.6.33, Εξ.6.34, Εξ.6.35})$$

$$V_{ed} = 12.35 \text{ kN} \leq 0.50 \times 1226.72 = 0.50 \times V_{p1,rd} = 613.36 \text{ kN}$$

$$\text{Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται} \quad (\text{EC3 §6.2.8.2})$$

$$\text{Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής } \sigma = N_{ed} / A_{\text{eff}} \pm M_{y,ed} / W_{\text{eff}y} \pm M_{z,ed} / W_{\text{eff}z}$$

$$\sigma = [10^3] 1383.75 / 10831 \pm [10^6] 42.00 / 1928.0 \times 10^3 \pm [10^6] 0.00 / 214.2 \times 10^3$$

$$\sigma_1 = 150 \text{ N/mm}^2, \sigma_2 = 106 \text{ N/mm}^2 \text{ (θλίψη θετική)}$$

$$\sigma_{c,ed} = 150 < 355 / 1.00 = 355 = f_y / \gamma_{M0} \text{ N/mm}^2, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται} \quad (\text{EC3 Εξ.6.43, Εξ.6.44})$$

5.9. Καμπτικός λυγισμός, (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
Nc,ed=1383.75 kN, Lcr,y=3.400 m, Lcr,z=3.400 m

(EN1993-1-1, §6.3.1)

Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y}=1.000 \times 3400=3400\text{mm}$, $L_{cr,z}=1.000 \times 3400=3400\text{mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 4)

(EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \sqrt{(A_{eff}/A) / \lambda_1} = (3400 / 204.3) \times (0.968 / 76.06) = 0.212$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \sqrt{(A_{eff}/A) / \lambda_1} = (3400 / 43.1) \times (0.968 / 76.06) = 1.005$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \text{ ε} = 76.06, \quad \varepsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81, \quad \sqrt{(A_{eff}/A)} = \sqrt{(10831 / 11550)} = 0.968$$

$h/b=500/200=2.50 > 1.20$, $t_f=16.0\text{mm} \leq 40\text{ mm}$

$\gamma\text{-}\gamma$ καμπύλη λυγισμού: α , συντελεστής ατελειών: $\alpha_y=0.21$, $\alpha_z=0.997$

(Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4)

$$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.212 - 0.2) + 0.212^2] = 0.524$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [0.524 + \sqrt{(0.524^2 - 0.212^2)}] = 0.997 < 1 \quad \chi_y = 0.997$$

$z\text{-}z$ καμπύλη λυγισμού: β , συντελεστής ατελειών: $\alpha_z=0.34$, $\alpha_z=0.594$

$$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (1.005 - 0.2) + 1.005^2] = 1.142$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.142 + \sqrt{(1.142^2 - 1.005^2)}] = 0.594 < 1 \quad \chi_z = 0.594$$

Μειωτικός συντελεστής $\chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}]$, $\chi \leq 1.0$, $\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$, $\chi = 0.594$

(EC3 Εξ.6.49)

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.594 \times [10^{-3}] \times 10831 \times 355 / 1.00 = 2284.02 \text{ kN}$$

(EC3 Εξ.6.48)

$N_{c,ed} = 1383.75 \text{ kN} < 2284.02 \text{ kN} = N_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$$N_{c,ed} / N_{b,rd} = 1383.75 / 2284.02 = 0.606 < 1$$

5.10. Πλευρικός λυγισμός, (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

M_{y,ed}=42.00 kNm, L=3.400m, L_{cr,y}=3.400m, L_{cr,z}=3.400m, L_{cr,lt}=3.400m

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$$M_{cr} = C_1 \cdot [\pi^2 E I_z / (k L)^2] \{ \sqrt{[(k_z/k_w)^2 (I_w/I_z) + (k L)^2 G I_t / (\pi^2 E I_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2]} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$$

Μέθοδος υπολογισμού C_1, C_2, C_3 : *ECSS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006*

$$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$k \cdot L = 3400\text{mm}, \quad z_g = h/2 = 500/2 = 250\text{mm}, \quad z_j = 0\text{mm}$$

(EN1993:2002 Εξ.C.11)

$$k_y = 1.0, \quad k_z = 1.0, \quad k_w = 1.0, \quad \psi = 0.000, \quad C_1 = 1.770, \quad C_2 = 0.000, \quad C_3 = 0.000$$

$$M_{cr} = [10^{-6}] 1.770 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 21.420 \times 10^6 / 3400^2]$$

$$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (1249.4 \times 10^9 / 21.420 \times 10^6)]$$

$$+ 3400^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.893 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 21.420 \times 10^6) \}^{0.5} = 1887.5 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{eff,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{[10^{-6}] \times 1928.0 \times 10^3 \times 355 / 1887.5} = 0.602$$

(EC3 Εξ.6.56)

$h/b=500/200=2.50 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c

συντελεστής ατελειών: $\alpha_{lt}=0.49$, $\beta=0.75$, $\chi_{lt}=0.885$

(Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)

$$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - 0.2) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 \times [1 + 0.49 \times (0.602 - 0.40) + 0.75 \times 0.602^2] = 0.686$$

$$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [0.686 + \sqrt{(0.686^2 - 0.75 \times 0.602^2)}] = 0.885$$

Μειωτικός συντελεστής $\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}]$, $\chi_{lt} \leq 1.0$, $1 / \bar{\lambda}_{lt}^2$, $\chi_{lt} = 0.885$

(Εξ.6.57)

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2 = 1 / 0.602^2 = 2.76$$

(EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)

$$k_c = 1 / (1.33 - 0.33\psi) = 0.752, \quad \psi = 0.00$$

(EC3 Πιν.6.6)

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.752) [1 - 2.0 \times (0.602 - 0.8)^2] = 0.886, \quad f < 1.0$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.885 / 0.886 = 0.999, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1.0, \quad \chi_{lt,mod} \leq 2.76, \quad \chi_{lt,mod} = 0.999$$

$$M_{b,rd} = \chi_{lt} \cdot W_{eff,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.999 \times [10^{-6}] \times 1928.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 683.76 \text{ kNm}$$

(EC3 Εξ.6.55)

$M_{y,ed} = 42.00 \text{ kNm} < 683.76 \text{ kNm} = M_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 42.00 / 683.76 = 0.061 < 1$$

5.11. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, Υποστύλωμα (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.3)

N_{ed}=1383.75 kN, M_{y,ed}=42.00 kNm

$$N_{ed} / (\chi_{LT} \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,ed} / (\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1}) \leq 1$$

(EC3 Εξ.6.61)

$$N_{ed} / (\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,ed} / (\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1}) \leq 1$$

(EC3 Εξ.6.62)

$$N_{rk} = A_{eff} \cdot f_y = [10^{-3}] \times 10831 \times 355 = 3845.2 \text{ kN}$$

(Πιν.6.7)

$$M_{y,rk} = W_{eff,y} \cdot f_y = [10^{-6}] \times 1928.0 \times 10^3 \times 355 = 684.4 \text{ kNm}$$

$$\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_y \cdot A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.997 \times [10^{-3}] \times 10831 \times 355 / 1.00 = 3833.6 \text{ kN}$$

$$\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.594 \times [10^{-3}] \times 10831 \times 355 / 1.00 = 2284.0 \text{ kN}$$

$$\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1} = \chi_{LT} \cdot W_{eff,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.999 \times [10^{-6}] \times 1928.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 683.8 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} (\mu_y / (1 - N_{ed} / N_{cr, y}), \mu_y = (1 - N_{ed} / N_{cr, y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{ed} / N_{cr, y})) \quad (EC3 \text{ Πιν.Α.1})$$

$$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} (\mu_z / (1 - N_{ed} / N_{cr, y}), \mu_z = (1 - N_{ed} / N_{cr, z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{ed} / N_{cr, z}))$$

$$N_{cr, y} = \pi^2 EI_y / l_{cr, y}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 482.00 \times 10^6 / 3400^2 = 86419 \text{ kN}$$

$$N_{cr, z} = \pi^2 EI_z / l_{cr, z}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 21.420 \times 10^6 / 3400^2 = 3840 \text{ kN}$$

$$N_{cr, t} = (1 / i_p^2) \times (G \cdot I_t + \pi^2 EI_w / L_{cr, t}^2) \quad (EC3 \text{ NCCI SN003b-EN-EU})$$

$$N_{cr, t} = [10^{-3}] \times (1 / 209^2) [80769 \times 0.893 \times 10^6 + \pi^2 \times 210000 \times 1249.4 \times 10^9 / 3400^2] = 6794 \text{ kN}$$

$$\mu_y = (1 - N_{ed} / N_{cr, y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{ed} / N_{cr, y}) = (1 - 1383.8 / 86419) / (1 - 0.997 \times 1383.8 / 86419) = 1.000$$

$$\mu_z = (1 - N_{ed} / N_{cr, z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{ed} / N_{cr, z}) = (1 - 1383.8 / 3840) / (1 - 0.594 \times 1383.8 / 3840) = 0.814$$

$$alt = 1 - I_t / I_y > 0 = 1 - 0.893 \times 10^6 / 482.00 \times 10^6 = 0.998 \quad (EC3 \text{ Παράρτημα Α.1})$$

$$\bar{\lambda}_{max} = \max(0.212, 1.005) = 1.000 \quad (EC3 \text{ Παράρτημα Α.1})$$

$$M_{cro} = C_1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w / I_z) + (kL)^2 GI_t / (\pi^2 EI_z)]} \}, C_1 = 1.00$$

$$M_{cro} = [10^{-6}] 1.0 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 21.420 \times 10^6 / 3400^2]$$

$$\times \{ [(1.0 / 1.0)^2 \times (1249.4 \times 10^9 / 21.420 \times 10^6) + 3400^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.893 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 21.420 \times 10^6)]^{0.5} \} = 1066.4 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_o = \sqrt{([10^{-6}] \times 1928.0 \times 10^3 \times 355 / 1066.4)} = 0.800$$

$$\bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.2 \sqrt{C_1 [(1 - N_{ed} / N_{cr, z}) (1 - N_{ed} / N_{cr, t})]^{0.25}} \quad (EC3 \text{ Παράρτημα Α.1})$$

$$\bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.2 \sqrt{1.770 [(1 - 1383.8 / 3840) (1 - 1383.8 / 6794)]^{0.25}} = 0.225$$

$$\varepsilon_y = (M_{y, ed} / N_{ed}) (A_{eff} / W_{eff, y}) = ([10^3] \times 42.00 / 1383.75) \times (10831.4 / 1928.0 \times 10^3) = 0.17$$

$$C_{m_y, o} = 0.79 + 0.21 \psi + 0.36 (\psi - 0.33) \times (1383.75 / 86419.0) = 0.788, \quad (\psi = 0.00) \quad (EC3 \text{ Παράρτημα Α, Π.Α.1})$$

$$\bar{\lambda}_o = 0.800 > \bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.225$$

$$C_{m_y} = C_{m_y, o} + (1 - C_{m_y, o}) (\sqrt{\varepsilon_y \cdot alt}) / (1 + \sqrt{\varepsilon_y \cdot alt}) =$$

$$= 0.788 + (1 - 0.788) \times (\sqrt{0.171 \times 0.998}) / (1 + \sqrt{0.171 \times 0.998}) = 0.850$$

$$C_{mLT} = C_{m_y}^2 \cdot alt / \sqrt{[(1 - N_{ed} / N_{cr, z}) (1 - N_{ed} / N_{cr, t})]^{>=1}}$$

$$C_{mLT} = 0.850^2 \times 0.998 / \sqrt{[(1 - 1383.8 / 3840.0) (1 - 1383.8 / 6794.0)]} = 1.010, \quad C_{mLT} = 1.010$$

$$k_{yy} = C_{m_y} \cdot C_{mLT} (\mu_y / (1 - N_{ed} / N_{cr, y})) = 0.850 \times 1.010 \times 1.000 / (1 - 1383.75 / 86419.0) = 0.872 \quad (EC3 \text{ Πιν.Α.1})$$

$$k_{yz} = C_{m_z} (\mu_y / (1 - N_{ed} / N_{cr, z})) = 0.000 \times 1.000 / (1 - 1383.75 / 3840.0) = 0.000$$

$$k_{zy} = C_{m_y} \cdot C_{mLT} (\mu_z / (1 - N_{ed} / N_{cr, y})) = 0.850 \times 1.010 \times 0.814 / (1 - 1383.75 / 86419.0) = 0.710$$

$$k_{zz} = C_{m_z} (\mu_z / (1 - N_{ed} / N_{cr, z})) = 0.000 \times 0.814 / (1 - 1383.75 / 3840.0) = 0.000$$

$$N_{ed} / (\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y, ed} / (\chi_{LT} \cdot M_{y, rk} / \gamma_{M1}) = \quad (EC3 \text{ Εξ.6.61})$$

$$1383.8 / (0.997 \times 3845.2 / 1.00) + 0.872 \times 42.0 / (0.999 \times 684.4 / 1.00) = 0.361 + 0.054 = 0.415$$

$$0.415 < 1.000, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}$$

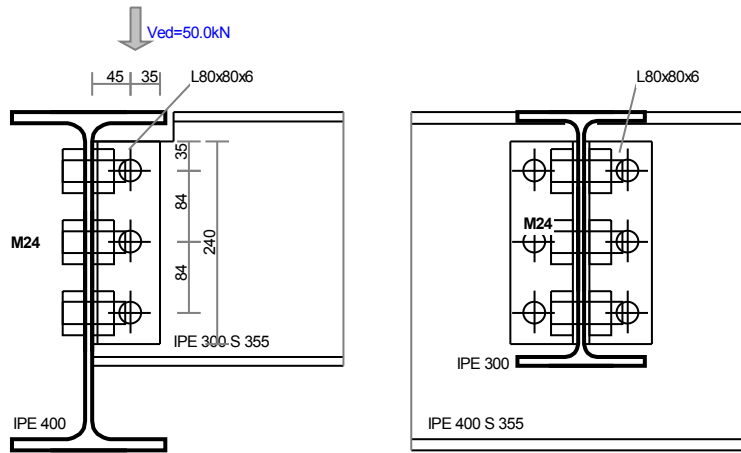
$$N_{ed} / (\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y, ed} / (\chi_{LT} \cdot M_{y, rk} / \gamma_{M1}) = \quad (EC3 \text{ Εξ.6.62})$$

$$1383.8 / (0.594 \times 3845.2 / 1.00) + 0.710 \times 42.0 / (0.999 \times 684.4 / 1.00) = 0.606 + 0.044 = 0.649$$

$$0.649 < 1.000, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}$$

6. ΣΥΝΔ. Δ-001

Διαστασιολόγηση στήριξης δοκού σε δοκό με γωνιακά
(EC3 EN1993-1-8:2005, §3, §6)



6.1. Υλικά

Χάλυβας: S 355

(EN1993-1-1, §3.2)

$t \leq 40$ mm, Αντοχή διαρροής $f_y = 355$ N/mm², Αντοχή αστοχίας $f_u = 510$ N/mm²
 $40\text{mm} < t \leq 80$ mm, Αντοχή διαρροής $f_y = 335$ N/mm², Αντοχή αστοχίας $f_u = 470$ N/mm²
 Μέτρο ελαστικότητας $E = 210000$ N/mm², Λόγος Poisson $\nu = 0.30$, Πυκνότητα $\rho = 7850$ Kg/m³

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_m

(EN1993-1-1, §6.1)

$\gamma_{M0} = 1.00$, $\gamma_{M1} = 1.00$, $\gamma_{M2} = 1.25$

6.2. Δράσεις στη σύνδεση δοκού

Ved= 50.00 kN

6.3. Βασικά στοιχεία, Διαστασιολόγηση στήριξης δοκού σε δοκό με γωνιακά

Διατομή κυρίας δοκού IPE 400 $h=400\text{mm}$, $b=180\text{mm}$

$t_w=8.6\text{mm}$, $t_f=13.5\text{mm}$, $r=21.0\text{m}$

Πέλμα $t_f=13.5\text{mm}$, S 355, $f_y=355$, $f_u=510\text{N/mm}^2$

Κορμός $t_w= 8.6\text{mm}$, S 355, $f_y=355$, $f_u=510\text{N/mm}^2$

Διατομή δευτερεύουσας δοκού IPE 300 $h=300\text{mm}$, $b=150\text{mm}$

$t_w=7.1\text{mm}$, $t_f=10.7\text{mm}$, $r=15.0\text{m}$

Πέλμα $t_f=10.7\text{mm}$, S 355, $f_y=355$, $f_u=510\text{N/mm}^2$

Κορμός $t_w= 7.1\text{mm}$, S 355, $f_y=355$, $f_u=510\text{N/mm}^2$

Διατομή γωνιακών L80x80x6 $h=80\text{mm}$, $b=80\text{mm}$

$t_w=6.0\text{mm}$, $r=10.0\text{m}$

Κορμός $t_w= 6.0\text{mm}$, S 355, $f_y=355$, $f_u=510\text{N/mm}^2$

Κοχλίες M24, Κατηγορία 8.8 Κανονικοί κοχλίες

Διάμετρος κοχλιών $d = 24$ mm

Διάμετρος οπών $d_o = 26$ mm

Ονομαστικό εμβαδό $p d^2 / 4 = \pi \times 24^2 / 4 = 452.4$ mm²

Εφελκυσμένο εμβαδό $A_s = 353.0$ mm²

Κατηγορία αντοχής κοχλιών 8.8, $f_{yb}=640\text{N/mm}^2$, $f_{ub}=800\text{N/mm}^2$

6.4. Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους

(EN1993-1-8, §3.5, Πιν.3.3)

Κοχλίες

Ελάχιστη απόσταση από άκρο	$e1=1.2d_o=1.2 \times 26=32 \text{ mm}$
	$e2=1.2d_o=1.2 \times 26=32 \text{ mm}$
Μέγιστη απόσταση από άκρο	$e1=4t+40=4 \times 7.1+40=69 \text{ mm}$
	$e2=4t+40=4 \times 7.1+40=69 \text{ mm}$
Ελάχιστη απόσταση μεταξύ κοχλιών	$p1=2.2d_o=2.2 \times 26=58 \text{ mm}$
	$p2=2.4d_o=2.4 \times 26=63 \text{ mm}$
Μέγιστη απόσταση μεταξύ κοχλιών	$p1=\min(14t, 200)=\min(14 \times 7.1, 200)=100 \text{ mm}$
	$p2=\min(14t, 200)=\min(14 \times 7.1, 200)=100 \text{ mm}$
Αριθμός κοχλιών	$1 \times 3 = 3$
Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών	$e1=e_x = 45 \text{ mm}$
Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών	$e2=e_y = 35 \text{ mm}$
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών	$p1=p_x = 100 \text{ mm}$
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	$p2=p_y = 84 \text{ mm}$

6.5. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία M24-8.8, Κυρία δοκός

(EC3-1-8 §3.6.1, Πιν.3.4)

Κοχλίες $d=24\text{mm}$, Κατηγορία 8.8, $f_u=510\text{N/mm}^2$, $f_{ub}=800\text{N/mm}^2$, $A_s=353.0\text{mm}^2$, $\gamma_{M2}=1.25$	
Διατμητική αντοχή κοχλιών	$F_{v,rd}=n \cdot \alpha_n \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$, ($\alpha_n=0.60$, $n=1$)
Επίπεδο διάτμησης ήλου	εντός σπειρώματος κοχλία $F_{v,rd}=[10^{-3}] \times 0.60 \times 800 \times 353.0 / 1.25 = 135.55 \text{ kN}$
Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη	$F_{b,rd}=k1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$, $F_{b,rd} \leq 1.5 f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$ (EC3-1-8 §3.6.1 10) $t=6.0\text{mm}$, $d=24\text{mm}$, $d_o=26\text{mm}$, $e1=35\text{mm}$, $e2=35\text{mm}$, $p1=84\text{mm}$, $p2=100\text{mm}$ $\alpha_b=\min[f_{ub}/f_u, 1.0, e1/3d_o, p1/3d_o-1/4]=$ $=\min[800/510, 1.0, 35/(3 \times 26), 84/(3 \times 26)-0.25]=0.45$ $k1=\min[2.8e2/d_o-1.7, 1.4p2/d_o-1.7, 2.5]$ $=\min[2.8 \times 35/26-1.7, 1.4 \times 100/26-1.7, 2.5]=2.07$ $F_{b,rd}=[10^{-3}] \times 2.07 \times 0.45 \times 510 \times 24 \times 6.0 / 1.25 = 54.55 \text{ kN}$ $F_{b,rd} \leq [10^{-3}] \times 1.50 \times 510 \times 24 \times 6.0 / 1.25 = 88.13 \text{ kN}$ (§3.6.1 10) $F_{b,rd}=54.55 \text{ kN}$

6.6. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία M24-8.8, Δευτερεύουσα δοκός

(EC3-1-8 §3.6.1, Πιν.3.4)

Κοχλίες $d=24\text{mm}$, Κατηγορία 8.8, $f_u=510\text{N/mm}^2$, $f_{ub}=800\text{N/mm}^2$, $A_s=353.0\text{mm}^2$, $\gamma_{M2}=1.25$	
Διατμητική αντοχή κοχλιών	$F_{v,rd}=n \cdot \alpha_n \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$, ($\alpha_n=0.60$, $n=2$)
Επίπεδο διάτμησης ήλου	εντός σπειρώματος κοχλία $F_{v,rd}=[10^{-3}] \times 2 \times 0.60 \times 800 \times 353.0 / 1.25 = 271.10 \text{ kN}$
Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη	$F_{b,rd}=k1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$, $F_{b,rd} \leq 1.5 f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$ (EC3-1-8 §3.6.1 10) $t=7.1\text{mm}$, $d=24\text{mm}$, $d_o=26\text{mm}$, $e1=35\text{mm}$, $e2=45\text{mm}$, $p1=84\text{mm}$, $p2=100\text{mm}$ $\alpha_b=\min[f_{ub}/f_u, 1.0, e1/3d_o, p1/3d_o-1/4]=$ $=\min[800/510, 1.0, 35/(3 \times 26), 84/(3 \times 26)-0.25]=0.45$ $k1=\min[2.8e2/d_o-1.7, 1.4p2/d_o-1.7, 2.5]$ $=\min[2.8 \times 45/26-1.7, 1.4 \times 100/26-1.7, 2.5]=2.50$ $F_{b,rd}=[10^{-3}] \times 2.50 \times 0.45 \times 510 \times 24 \times 7.1 / 1.25 = 77.99 \text{ kN}$ $F_{b,rd} \leq [10^{-3}] \times 1.50 \times 510 \times 24 \times 7.1 / 1.25 = 104.28 \text{ kN}$ (§3.6.1 10) $F_{b,rd}=65.91 \text{ kN}$

6.7. Αντοχή κοχλιωτής σύνδεσης, Κυρία δοκός

(EC3-1-8 §3.6)

Διατμητική αντοχή κοχλιών, 6 Κοχλίες, $F_{v,rd}=6 \times 135.55=813.30 \text{ kN}$
Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη, 6 Κοχλίες, $F_{b,rd}=6 \times 54.55=327.30 \text{ kN}$
Αντοχή κοχλιωτής σύνδεσης, $V_{rd}=\min(813.30, 327.30)=327.30 \text{ kN}$
$V_{ed}=50.00 \text{ kN} < 327.30 \text{ kN} = V_{rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

6.8. Αντοχή κοχλιωτής σύνδεσης, Δευτερεύουσα δοκός

(EC3-1-8 §3.6)

Διατμητική δύναμη $V_{ed} = 50.00 \text{ kN}$
 Ροπή $M_{ed} = [10^{-3}] \times 50.00 \times 45.0 = 2.25 \text{ kNm}$
 Κατανομή δυνάμεων στους κοχλίες $F_{max} = M_{ed} / S_y$, $S_y = 2 \times 84.3 = 168.6 \text{ mm}$
 Οριζόντια δύναμη στο δυσμενέστερο κοχλία $F_{h,ed} = [10^3] \times 2.25 / 168.6 = 13.35 \text{ kN}$
 Κατακόρυφη δύναμη στο δυσμενέστερο κοχλία $F_{v,ed} = 50.00 / 3 = 16.67 \text{ kN}$
 Ολική δύναμη το δυσμενέστερο κοχλία $F_{ed} = \sqrt{(13.35^2 + 16.67^2)} = 21.35 \text{ kN}$
 $F_{ed} = 21.35 \text{ kN} < 65.91 \text{ kN} = \min(271.10, 65.91)$, Έλεγχος ικανοποιείται

6.9. Συνδεόμενα γωνιακά

L80x80x6 , Ύψος $h_c = 240 \text{ mm}$
 Διατμητική δύναμη $V_{ed} = 25.00 \text{ kN}$
 Ροπή $M_{ed} = [10^{-3}] \times 25.00 \times 45.0 = 1.13 \text{ kNm}$

6.10. Διατμητική αντοχή συνδεόμενων γωνιακών L80x80x6 (hc=240mm)

(EN1993-1-1, §6.2.6, Εξ.6.18)

$A_{v,net} = (240.0 - 3 \times 26.0) \times 6.0 = 972 \text{ mm}^2$
 $V_{elz,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 972 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 199.22 \text{ kN}$
 $V_{z,ed} = 25.00 \text{ kN} < 199.22 \text{ kN} = V_{elz,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $V_{z,ed} / V_{elz,rd} = 25.00 / 199.22 = 0.125 < 1$

6.11. Καμπτική αντοχή συνδεόμενων γωνιακών L80x80x6 (hc=240mm)

(EN1993-1-1, §6.2.5, §6.2.8, Εξ.6.14)

$W_{el} = (6.0 \times 240.0^3 / 12 - 3 \times 6.0 \times 26.0^3 / 12 - 2 \times 6.0 \times 26.0 \times 84.3^2) / 120.0 = 38903 \text{ mm}^3$
 $V_{z,ed} = 25 \text{ kN} \leq V_{plz,rd} / 2 = 199 / 2 = 100 \text{ kN}$ (EC3 §6.2.8(2))
 $M_{el,y,rd} = W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 38903 \times 355 / 1.00 = 13.81 \text{ kNm}$ (EC3 Εξ.6.14)
 $M_{y,ed} = 1.13 \text{ kNm} < 13.81 \text{ kNm} = M_{el,y,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $M_{y,ed} / M_{el,y,rd} = 1.13 / 13.81 = 0.081 < 1$

6.12. Αντοχή σε απόσχιση, Δευτερεύουσα δοκός

(EN1993-1-8, §3.10.2)

$V_{eff,2,rd} = 0.5 f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$ (EN1993-1-8, Εξ.3.10)
 $A_{nt} = (40.0 - 26 / 2) \times 7.1 = 192 \text{ mm}^2$
 $A_{nv} = (203.6 - 2.5 \times 26) \times 7.1 = 984 \text{ mm}^2$
 $V_{eff,2,rd} = [10^{-3}] \times (0.5 \times 510 \times 192 / 1.25 + 355 \times 984 / 1.73 \times 1.00) = 240.80 \text{ kN}$
 $V_{ed} = 50.00 \text{ kN} < 240.80 \text{ kN} = V_{eff,2,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $V_{ed} / V_{eff,2,rd} = 50.00 / 240.80 = 0.208 < 1$

6.13. Αντοχή σε απόσχιση, Συνδεόμενα γωνιακά

(EN1993-1-8, §3.10.2)

$V_{eff,2,rd} = 0.5 f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$ (EN1993-1-8, Εξ.3.10)
 $A_{nt} = (35.0 - 26 / 2) \times 6.0 = 132 \text{ mm}^2$
 $A_{nv} = (203.6 - 2.5 \times 26) \times 6.0 = 832 \text{ mm}^2$
 $V_{eff,2,rd} = [10^{-3}] \times (0.5 \times 510 \times 132 / 1.25 + 355 \times 832 / 1.73 \times 1.00) = 197.37 \text{ kN}$
 $V_{ed} = 25.00 \text{ kN} < 197.37 \text{ kN} = V_{eff,2,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $V_{ed} / V_{eff,2,rd} = 25.00 / 197.37 = 0.127 < 1$

7. ΣΥΝΔ.Δ-002

Σύνδεση ζυγώματος με υποστυλώμα
(EC3 EN1993-1-8:2005, §3, §6)

$V_{ed} = 555.00 \text{ kN}$
 $M_{ed} = 340.83 \text{ kNm}$

7.1. Βασικά στοιχεία, Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος

Χαλύβδινες διατομές

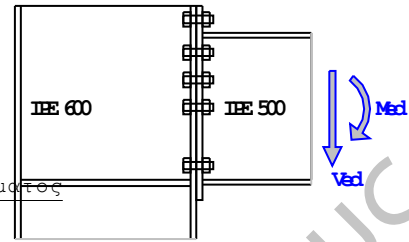
Διατομή υποστυλωμάτων: IPE 600

Διατομή ζυγμάτων: IPE 500

Δυνάμεις σχεδιασμού σύνδεσης, Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού

$N_{ed} = -125.0 \text{ kN}$
 $V_{ed} = 100.0 \text{ kN}$
 $M_{ed} = 250.0 \text{ kNm}$



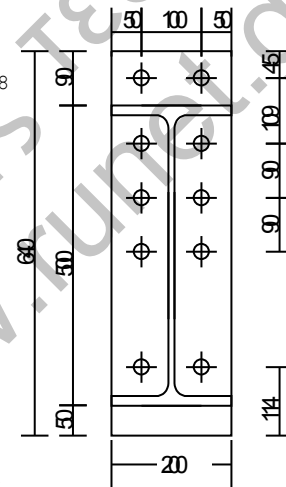
7.2. Κύρια δεδομένα σύνδεσης, Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος

Δεδομένα κοχλιών σύνδεσης

Μετωπική πλάκα 200x640x20 mm, S 235
Κοχλίες M24, Κατηγορία αντοχής κοχλιών 8.8
Αριθμός κοχλιών άνω 2x4=8
κάτω 2x1=2
Συνολικός αριθμός κοχλιών =10
Διάμετρος οπών $d_o = 26 \text{ mm}$
Επίπεδο διαίτησης ήλου εντός σπειρώματος κοχλίας

Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους

Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών $e_1 = e_2 = e_x = 50 \text{ mm}$
Απόσταση άκρου διατομής και σειράς κοχλιών $e_c = 44 \text{ mm}$
Απόσταση άκρου πέλματος και σειράς κοχλιών $e_f = 45 \text{ mm}$
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών $p_1 = p_3 = p = 90 \text{ mm}$
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών $p_2 = g = w = 100 \text{ mm}$
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα $a_{tf} >= 0.55 t_f = 0.55 \times 19.0 = 11 \text{ mm}$
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα $a_w >= 0.55 t_w = 0.55 \times 12.0 = 7 \text{ mm}$



Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της ενίσχυσης υποστυλώματος

Νεύρωση ενίσχυσης πάχους $t_s = 20.0 \text{ mm}$

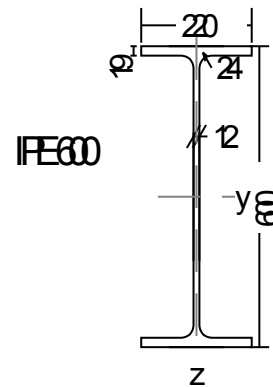
7.3. Διατομή υποστυλωμάτων

Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

Διατομή IPE 600-S 355

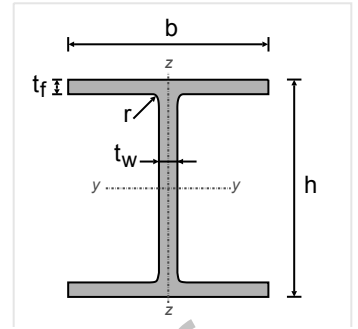
Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής $h = 600.00 \text{ mm}$
Πλάτος διατομής $b = 220.00 \text{ mm}$
Υψος κορμού $h_w = 562.00 \text{ mm}$
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού $d_w = 514.00 \text{ mm}$
Πάχος κορμού $t_w = 12.00 \text{ mm}$
Πάχος πέλματος $t_f = 19.00 \text{ mm}$
Ακτίνα συναρμογής $r = 24.00 \text{ mm}$
Μάζα $= 122.00 \text{ Kg/m}$



Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	15600	mm ²		
Ροπή αδρανείας	I _y =	920.80x10 ⁶	mm ⁴	I _z =	33.870x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	3069.0x10 ³	mm ³	W _z =	307.90x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	3512.0x10 ³	mm ³	W _{pz} =	485.60x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	243.0	mm	i _z =	46.6 mm
Επιφάνεια διάτμησης	Av _z =	8380	mm ²	Av _y =	8360 mm ²
Σταθερά στρέψης	It=	1.654x10 ⁶	mm ⁴	ip=	247 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	87.061x10 ³	mm ³		
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	2845.5x10 ⁹	mm ⁶		



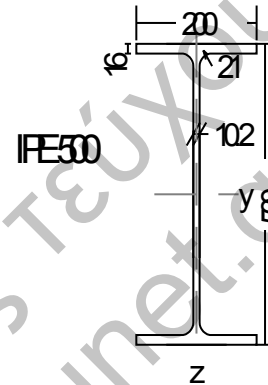
7.4. Διατομή ζυγωμάτων

Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

Διατομή IPE 500-S 355

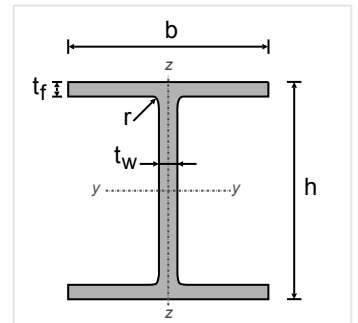
Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h=	500.00	mm
Πλάτος διατομής	b=	200.00	mm
Υψος κορμού	h _w =	468.00	mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	d _w =	426.00	mm
Πάχος κορμού	t _w =	10.20	mm
Πάχος πέλματος	t _f =	16.00	mm
Ακτίνα συναρμογής	r=	21.00	mm
Μάζα	=	90.70	Kg/m



Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	11550	mm ²		
Ροπή αδρανείας	I _y =	482.00x10 ⁶	mm ⁴	I _z =	21.420x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	1928.0x10 ³	mm ³	W _z =	214.20x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	2194.0x10 ³	mm ³	W _{pz} =	335.90x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	204.3	mm	i _z =	43.1 mm
Επιφάνεια διάτμησης	Av _z =	5985	mm ²	Av _y =	6400 mm ²
Σταθερά στρέψης	It=	0.893x10 ⁶	mm ⁴	ip=	209 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	55.804x10 ³	mm ³		
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	1249.4x10 ⁹	mm ⁶		



7.5. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

e=e_x=50 mm, e_{min}=50 mm
 m_{x,x}=(100-12.0-2x0.8x7x√2)/2= 36.1 mm
 m_{x,y}=45-0.8x11x√2= 32.6 mm
 n_{x,x}= e_{min} <=1.25m_{x,x} = min(50.0,1.25x36.1=45.1) = 45.1 mm
 n_{x,y}= e_{min} <=1.25m_{x,y} = min(50.0,1.25x32.6=40.7) = 40.8 mm
 min(m_{x,x}, m_{x,y})=min(36.1,32.6)=32.6mm, max(m_{x,x}, m_{x,y})=max(36.1,32.6)=36.1mm
 min(n_{x,x}, n_{x,y})=min(45.1,40.8)=40.8mm, max(n_{x,x}, n_{x,y})=max(45.1,40.8)=45.1mm

7.6. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος) (EC3-1-8 §6.2.6.5 Πιν.6.6)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέλμα

l_{eff}=2π·m_x =2πx32.6= 204.8 mm
 =π·m_x+w =πx32.6+100.0= 202.4 mm
 =π·m_x+2e=πx32.6+2x50.0= 202.4 mm
 =4m_x+1.25e_x = 4x32.6+1.25x50.0=192.9 mm
 =e+2m_x+0.625e_x = 50.0+2x32.6+0.625x50.0=146.4 mm
 =0.5b_p = 0.5x200= 100.0 mm
 =0.5w+2m_x+0.625e_x=0.5x100.0+2x32.6+0.625x50.0= 146.4 mm
 l_{eff,1b}=min(204.8, 202.4, 202.4, 192.9, 146.4, 100.0, 146.4)= 100.0 mm
 l_{eff,1b}= 100.0 mm

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα μεμονωμένη

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2\pi \cdot m_x = 2\pi \times 32.6 = 204.8 \text{ mm} \\ \alpha \cdot m &= 7.00 \times 32.6 = 228.2 \text{ mm} \quad (\lambda_1 = \lambda_2 = m / (m + e) = 0.39, \alpha = 7.00) \\ l_{eff, 2b} &= \min(204.8, 228.2) = 204.8 \text{ mm} \\ l_{eff, 2b} &= 204.8 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{EC3-1-8 } \Sigma\chi.6.11)$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2\pi \cdot m_x = 2\pi \times 32.6 = 204.8 \text{ mm} \\ \alpha \cdot m &= 7.00 \times 32.6 = 228.2 \text{ mm} \quad (\lambda_1 = \lambda_2 = m / (m + e) = 0.39, \alpha = 7.00) \\ \pi m + p &= \pi \times 32.6 + 90.0 = 192.4 \text{ mm} \\ &= 0.5p + \alpha \cdot m - (2m + 0.625e) = 0.5 \times 90.0 + 7.0 \times 32.6 - (2 \times 32.6 + 0.625 \times 50.0) = 176.8 \text{ mm} \\ l_{eff, 3b} &= \min(204.8, 228.2, 192.4, 176.8) = 176.8 \text{ mm} \\ l_{eff, 3b} &= 176.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2\pi \cdot m_x = 2\pi \times 36.1 = 226.8 \text{ mm} \\ &= 4m + 1.25e = 4 \times 36.1 + 1.25 \times 50.0 = 206.9 \text{ mm} \\ &= 2p = 2 \times 90.0 = 180.0 \text{ mm} \\ &= p = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff, 4b} &= \min(226.8, 206.9, 180.0, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff, 4b} &= 90.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

7.7. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζυγών-υποσύλ.) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέλμα

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 100.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.350 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.350 / 32.6 = 288 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.350 + 40.8 \times 2 \times 203) / (32.6 + 40.8) = 290 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 203 = 406 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(288, 290, 406) = 288 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα μεμονωμένη

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 204.8 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 4.813 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 4.813 / 32.6 = 591 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 4.813 + 40.8 \times 2 \times 203) / (32.6 + 40.8) = 357 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 203 = 406 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(591, 357, 406) = 357 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 176.8 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 4.155 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 4.155 / 32.6 = 510 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 4.155 + 40.8 \times 2 \times 203) / (32.6 + 40.8) = 339 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 203 = 406 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(510, 339, 406) = 339 \text{ kN} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.115 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.115 / 36.1 = 234 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.115 + 45.1 \times 2 \times 203) / (36.1 + 45.1) = 278 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 203 = 406 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(234, 278, 406) = 234 \text{ kN} \end{aligned}$$

7.8. Πέλμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (ζυγών-υποσύλ.) (EC3-1-8 §6.2.6.7)

$$\begin{aligned} F_{c, fb, rd} &= M_{c, rd} / (h - t_f), \quad M_{c, rd} = W_{el, y} \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ W_{el, y} &= (200 \times 16.0 \times 484.0^2 + 10.2 \times 468.0^3 / 6) / 500 = 1847.7 \times 10^3 \text{ mm}^3 \\ M_{c, rd} &= [10^{-6}] \times 1847.7 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 656 \text{ kNm}, \quad F_{c, fb, rd} = [10^3] \times 656 / 484.0 = 1355 \text{ kN} \\ F_{c, fb, rd, max} &= b \cdot t \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 200.0 \times 16.0 \times 235 / 1.00 = 752 \text{ kN} \quad (h \leq 600 \text{ mm}) \\ F_{c, fb, rd} &= \min(1355, 752) = 752 \text{ kN} \end{aligned}$$

7.9. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ.)

(EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$F_{t,wb,rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$b_{eff,t,wb} = l_{eff} = \min(l_{eff,3b}, l_{eff,4b}) = \min(176.8, 90.0) = 90.0 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,rd} = [10^{-3}] \times 90.0 \times 10.2 \times 355 / 1.00 = 326 \text{ kN}$$

$$\min F_{t,rd} = \min(288, 357, 339, 234, 326) = 234 \text{ kN}$$

7.10. Γεωμετρία σύνδεσης πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ.)

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

$$e = e_x = 50 \text{ mm}, e_{min} = 50 \text{ mm}$$

$$m_{x,x} = (100 - 12.0 - 2 \times 0.8 \times 24) / 2 = 24.8 \text{ mm}$$

$$m_{x,y} = 45 - 0.8 \times 11 \times \sqrt{2} = 32.6 \text{ mm}$$

$$n_{x,x} = e_{min} \leq 1.25 m_{x,x} = \min(50.0, 1.25 \times 24.8 = 31.0) = 31.0 \text{ mm}$$

$$n_{x,y} = e_{min} \leq 1.25 m_{x,y} = \min(50.0, 1.25 \times 32.6 = 40.7) = 40.8 \text{ mm}$$

$$\min(m_{x,x}, m_{x,y}) = \min(24.8, 32.6) = 24.8 \text{ mm}, \max(m_{x,x}, m_{x,y}) = \max(24.8, 32.6) = 32.6 \text{ mm}$$

$$\min(n_{x,x}, n_{x,y}) = \min(31.0, 40.8) = 31.0 \text{ mm}, \max(n_{x,x}, n_{x,y}) = \max(31.0, 40.8) = 40.8 \text{ mm}$$

7.11. Ενεργά μήκη πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ.)

(EC3-1-8 §6.2.6.4 Πιν.6.4)

Εξωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$l_{eff} = 2\pi \cdot m = 2\pi \times 24.8 = 155.8 \text{ mm}$$

$$= \pi \cdot m + 2e_1 = \pi \times 24.8 + 2 \times 50.0 = 177.9 \text{ mm}$$

$$= 4m + 1.25e = 4 \times 24.8 + 1.25 \times 50.0 = 161.7 \text{ mm}$$

$$= 2m + 0.63e + e_1 = 2 \times 24.8 + 0.63 \times 50.0 + 50.0 = 130.8 \text{ mm}$$

$$= \pi \cdot m + p = \pi \times 24.8 + 90.0 = 167.9 \text{ mm}$$

$$= 2e_1 + p = 2 \times 50.0 + 90.0 = 190.0 \text{ mm}$$

$$= 2m + 0.63e + 0.5p = 2 \times 24.8 + 0.63 \times 50.0 + 0.5 \times 90.0 = 125.8 \text{ mm}$$

$$= e_1 + 0.5p = 50.0 + 0.5 \times 90.0 = 95.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1c} = \min(155.8, 177.9, 161.7, 130.8, 167.9, 190.0, 125.8, 95.0) = 95.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1c} = 95.0 \text{ mm}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$l_{eff} = 2\pi \cdot m = 2\pi \times 24.8 = 155.8 \text{ mm}$$

$$= 4m + 1.25e = 4 \times 24.8 + 1.25 \times 50.0 = 161.7 \text{ mm}$$

$$= 2p = 2 \times 90.0 = 180.0 \text{ mm}$$

$$= p = 90.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2c} = \min(155.8, 161.7, 180.0, 90.0) = 90.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2c} = 90.0 \text{ mm}$$

7.12. Πλευρά υποστυλώματος, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ.) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Εξωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$M_{pl,1,rd} = M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 95.0 \times 19.0^2 \times 355 / 1.00 = 3.044 \text{ kNm}$$

$$\text{Μορφή 1 } F_{t,1,rd} = 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 3.044 / 24.8 = 491 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 2 } F_{t,2,rd} = (2M_{pl,1,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 3.044 + 31.0 \times 2 \times 203) / (24.8 + 31.0) = 335 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 3 } F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 203 = 406 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} = \min(491, 335, 406) = 335 \text{ kN}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$M_{pl,1,rd} = M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 19.0^2 \times 355 / 1.00 = 2.883 \text{ kNm}$$

$$\text{Μορφή 1 } F_{t,1,rd} = 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.883 / 24.8 = 465 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 2 } F_{t,2,rd} = (2M_{pl,1,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 2.883 + 31.0 \times 2 \times 203) / (24.8 + 31.0) = 329 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 3 } F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 203 = 406 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} = \min(465, 329, 406) = 329 \text{ kN}$$

7.13. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εγκάρσιο εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ.)

(EC3-1-8 §6.2.6.3)

$$F_{t,wc,rd} = \omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$\beta = 1, \omega = \omega_1 = 1 / \sqrt{[1 + 1.3 (b_{eff,c} \cdot t_{wc} / A_{vc})^2]}, b_{eff,c} = 90.0 \text{ mm} \quad (\text{EC3-1-8 §6.2.6.2, Πιν.6.3})$$

$$\omega = 1 / \sqrt{[1 + 1.3 \times (90.0 \times 12.0 / 8380)^2]} = 0.99$$

$$F_{t,wc,rd} = [10^{-3}] \times 0.99 \times 90.0 \times 12.0 \times 355 / 1.00 = 380 \text{ kN}$$

7.14. Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού νεύρωσης ενίσχυσης (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-5 §9.1)

Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της ενίσχυσης υποστυλώματος $t_s = 20.0$ mm

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, \quad b_s = (200 - 12.0 - 2 \times 24.0) / 2 = 70.0 \text{ mm}, \quad t_s = 20.0 \text{ mm}, \quad t_w = 12.0 \text{ mm}, \quad \varepsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$$

$$A_{eff,s} = 2 \times 70.0 \times 20.0 + (2 \times 15 \times 0.81 \times 12.0 + 20.0) \times 12.0 = 6539 \text{ mm}^2 \quad (\text{EC3-1-5 §9.1(2)})$$

$$l_{eff,s} = \min(70.0, 14 \times 0.81 \times 20.0) = \min(70.0, 226.80) = 70.0 \text{ mm}, \quad (\text{EC3 Πιν.5.2})$$

$$I_{eff,s} = (2 \times 70.0 + 12.0)^3 \times 20.0 / 12 = 5853.0 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$i_{eff,s} = \sqrt{(5853 \times 10^3 / 6539)} = 29.9 \text{ mm}, \quad \lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \varepsilon = 76.06$$

$$L_{cr} = 0.75 \times (600 - 2 \times 19.0) = 421.5 \text{ mm} \quad (\text{EC3-1-5 §9.4(2)})$$

$$\bar{\lambda} = L_{cr} / (i_{eff,s} \cdot \lambda_1) = 421.5 / (29.9 \times 76.06) = 0.19 \quad (\text{EC3 §6.3.1.3(1)})$$

$$\bar{\lambda} < 0.20, \quad \chi = 1.00 \quad (\text{EC3 §6.3.1.2.4})$$

$$F_c, w_c, r_d = \chi \cdot A_{eff,s} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1.000 \times 6539 \times 235 / 1.00 = 1537 \text{ kN} > F_c, f_b, r_d = 752 \text{ kN}$$

Νεύρωση ενίσχυσης, Έλεγχος ικανοποιείται

7.15. Ροπή αντοχής σύνδεσης (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EN1993-1-8, §6.2.7.2)

$$M_{j,rd} = \Sigma h_r \cdot F_{tr,rd}$$

(EN1993-1-8, §6.2.7.2 Εξ.6.25)

h_r : αρίθμηση σειράς από πάνω, αποστάσεις από μέσο κάτω (θλιβόμενου) πέλματος

Κάμψη μετωπικής πλάκας

(EC3-1-8 §6.2.4.5)

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 537.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 288 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 428.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 339 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 3, } h_r = 338.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 234 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 4, } h_r = 248.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 234 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} = 288 + 339 + 234 + 234 = 1095 \text{ kN}$$

Κάμψη μετωπικής πλάκας

(EC3-1-8 §6.2.4.4)

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 537.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 335 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 428.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 329 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 3, } h_r = 338.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 329 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 4, } h_r = 248.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 329 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} = 335 + 329 + 329 + 329 = 1322 \text{ kN}$$

Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό

(EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$F_{t,wb,rd} = 326 \text{ kN}$$

Πέλμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη

(EC3-1-8 §6.2.4.7)

$$F_{c,fb,rd} = 752 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} \leq F_{t,wb,rd} = 326 \text{ kN}, \quad F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} \leq F_{c,fb,rd} = 752 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} \leq F_{c,wc,rd} = 1537 \text{ kN}$$

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών

(EC3-1-8 §6.2.7.2.(7))

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 537.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 288 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 428.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 326 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 3, } h_r = 338.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 138 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 4, } h_r = 248.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 0 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} = 288 + 326 + 138 + 0 = 752 \text{ kN}$$

Ροπή αντοχής σύνδεσης

(EN1993-1-8, §6.2.7.2(10))

$$M_{j,rd} = [10^{-3}] \times [288 \times 537.0 + 326 \times 428.0 + 138 \times 338.0 + 0 \times 248.0]$$

$$M_{j,rd} = 341 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = 250.0 \text{ kNm} < 340.8 \text{ kNm} = M_{j,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

7.16. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Διατμητική αντοχή κοχλιών

$$F_{v,rd} = \alpha_n \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.60 \times 800 \times 353.0 / 1.25 = 136 \text{ kN}$$

Επίπεδο διάτμησης ήλου: εντός σπειρώματος κοχλίου

Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$$

Μετωπική-πλάκα

$$t = 20.0 \text{ mm}, d = 24 \text{ mm}, d_o = 26 \text{ mm}, e_1 = 50 \text{ mm}, e_2 = 50 \text{ mm}, p_1 = 90 \text{ mm}, f_{ub} = 800 \text{ kN/mm}^2, f_u = 360 \text{ kN/mm}^2,$$

$$\alpha_b = \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] =$$

$$= \min[800/360, 1.0, 50/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.64$$

$$k_1 = \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 50/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50$$

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.64 \times 360 \times 24 \times 20.0 / 1.25 = 222 \text{ kN}$$

Πλευρά υποστυλώματος

$$t = 19.0 \text{ mm}, d = 24 \text{ mm}, d_o = 26 \text{ mm}, e_1 = 50 \text{ mm}, e_2 = 50 \text{ mm}, p_1 = 90 \text{ mm}, f_{ub} = 800 \text{ kN/mm}^2, f_u = 510 \text{ kN/mm}^2,$$

$$\alpha_b = \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] =$$

$$= \min[800/510, 1.0, 50/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.64$$

$$k_1 = \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 50/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50$$

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.64 \times 510 \times 24 \times 19.0 / 1.25 = 298 \text{ kN}$$

Διατμητική αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίου = $\min(136, 222, 298) = 136 \text{ kN}$

Καμπτική ροπή και διάτμηση

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Μεγίστη εφελκυστική δύναμη σε κοχλίες

$$F_{t,ed} = 326/2 = 163 \text{ kN}$$

Μείωση διατμητικής αντοχής λόγω κάμψης

$$\rho = 1 - F_{t,ed} / 1.40 F_{t,rd} = 1 - 163 / (1.40 \times 203) = 0.43$$

Διατμητική αντοχή με καμπτική ροπή για όλους τους κοχλίες

$$V_{rd} = 10 \times 0.43 \times 136 = 585 \text{ kN}$$

$V_{ed} = 100 \text{ kN} < 585 \text{ kN} = V_{rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

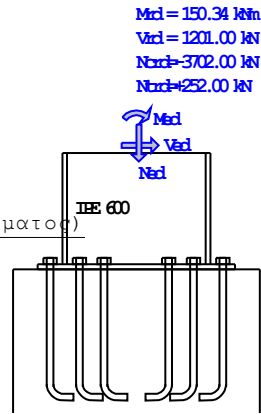
8. ΣΥΝΔ. Δ-003

Πακτωμένη έδραση υποστυλώματος
(EC3 EN1993-1-8:2005, §3, §6)

8.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

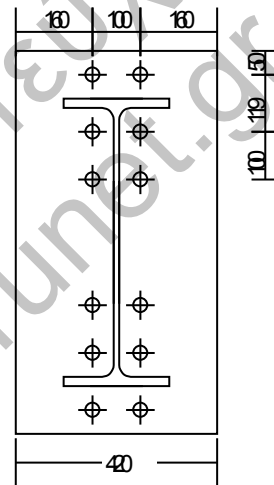
Δυνάμεις σχεδιασμού σύνδεσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

Αξονική δύναμη (θλίψη)	Ned=-275 kN,
Αξονική δύναμη (εφελκυσμός)	Ned= 0 kN,
Διατμητική δύναμη υποστυλώματος	Ved= 175 kN,
Ροπή	Med= 90 kNm,



Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

Κατηγορία χάλυβα πλάκας έδρασης	800x420x45 mm, S 235
Αγκύρια	M27, Κατηγορία 5.6
Επίπεδο διάτμησης ήλου	εντός σπειρώματος κοχλιών
Αριθμός κοχλιών	άνω 2x3=6 κάτω 2x3=6
Συνολικός αριθμός κοχλιών	=12
Διάμετρος οπών	do = 30 mm
Διατομή υποστυλωμάτων	IPE 600, S 355
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	100 mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα	11 mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	7 mm



Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους

Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών	e1=e2=ex= 160 mm
Απόσταση άκρου διατομής και σειράς κοχλιών	ec= 44 mm
Απόσταση άκρου πέλματος και σειράς κοχλιών	ef= 50 mm
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών	p1=p3=p= 100 mm
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	p2=g =w= 100 mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα	atf>= 0.55tf=0.55x19.0= 11 mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	aw>= 0.55tw=0.55x12.0= 7 mm

Σκυρόδεμα πεδίου

Σκυρόδεμα-Χάλυβας	C25/30-B500C	(EC2 §3.1, §3.2)
Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γm	γc=1.50, γs=1.15	(EC2 §2.4.2.4)
Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού	fcd=acc·fck/γc=0.85x25/1.50=14.17 N/mm ²	(EC2 §3.1.6)
Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού	fctd=act·fctk05/γc=0.85x2/1.50=1.02 N/mm ²	
Φέρουσα αντοχή	fjd=β·√Ac1/Aco·fcd=(2/3)x1.5x14.17=14.17N/mm ²	(EC2 §6.7)

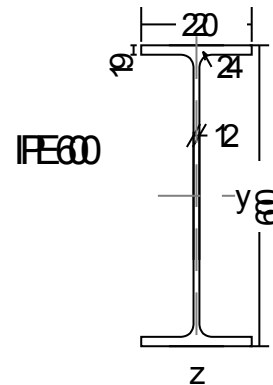
8.2. Διατομή υποστυλωμάτων

Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

Διατομή IPE 600-S 355

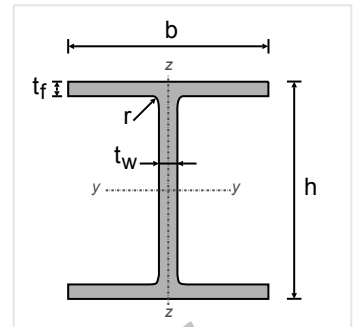
Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h= 600.00 mm
Πλάτος διατομής	b= 220.00 mm
Υψος κορμού	hw= 562.00 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	dw= 514.00 mm
Πάχος κορμού	tw= 12.00 mm
Πάχος πέλματος	tf= 19.00 mm
Ακτίνα συναρμογής	r= 24.00 mm
Μάζα	= 122.00 Kg/m



Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	15600	mm ²		
Ροπή αδρανείας	I _y =	920.80x10 ⁶	mm ⁴	I _z =	33.870x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	3069.0x10 ³	mm ³	W _z =	307.90x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	3512.0x10 ³	mm ³	W _{pz} =	485.60x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	243.0	mm	i _z =	46.6 mm
Επιφάνεια διαίτησης	A _{vz} =	8380	mm ²	A _{vy} =	8360 mm ²
Σταθερά στρέψης	I _t =	1.654x10 ⁶	mm ⁴	i _p =	247 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	87.061x10 ³	mm ³		
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	2845.5x10 ⁹	mm ⁶		



(EC3-1-8 §3.6.1, Πιν.3.4)

8.3. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίου (έδραση υποστυλώματος)

Κατηγορία αντοχής κοχλιών=5.6, f_{ub} =500N/mm², A_s=459.0mm², γ_{M2}=1.25

Εφελκυστική αντοχή κοχλιών F_{t,rd}=k₂·f_{ub}·A_s/γ_{M2}, (k₂=0.90)
 F_{t,rd}=[10⁻³]x0.90x500x459.0/1.25=165 kN

Διατμητική αντοχή κοχλιών F_{v,rd}=α_v·f_{ub}·A_s/γ_{M2}, (α_v=0.60)
 F_{v,rd}=[10⁻³]x0.60x500x459.0/1.25=110 kN

8.4. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

e=e_x=160 mm, e_{min}=160 mm
 m_{x,x}=(100-12.0-2x0.8x7x√2)/2= 36.1 mm
 m_{x,y}= 36.1 mm
 n_{x,x}= e_{min} <=1.25m_{x,x} = min(160.0,1.25x36.1=45.1)= 45.1 mm
 n_{x,y}= e_{min} <=1.25m_{x,y} = min(160.0,1.25x36.1=45.1)= 45.1 mm
 min(m_{x,x}, m_{x,y})=min(36.1,36.1)=36.1mm, max(m_{x,x}, m_{x,y})=max(36.1,36.1)=36.1mm
 min(n_{x,x}, n_{x,y})=min(45.1,45.1)=45.1mm, max(n_{x,x}, n_{x,y})=max(45.1,45.1)=45.1mm

8.5. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.6.5 Πιν.6.6)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέγμα

l_{eff}=2π·m_x =2πx36.1= 226.8 mm
 =π·m_x+w =πx36.1+100.0= 213.4 mm
 =π·m_x+2e=πx36.1+2x160.0= 433.4 mm
 =4m_x+1.25e = 4x36.1+1.25x160.0=344.4 mm
 =e+2m_x+0.625e_x = 160.0+2x36.1+0.625x160.0=332.2 mm
 =0.5b_p = 0.5x420= 210.0 mm
 =0.5w+2m_x+0.625e_x=0.5x100.0+2x36.1+0.625x160.0= 222.2 mm
 l_{eff,1b}=min(226.8, 213.4, 433.4, 344.4, 332.2, 210.0, 222.2)= 210.0 mm
 l_{eff,1b}= 210.0 mm

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέγμα μεμονωμένη

l_{eff}=2π·m_x =2πx36.1= 226.8 mm
 =α·m =8.00x36.1=288.8 mm (λ₁=λ₂=m/(m+e)=0.18, α=8.00) (EC3-1-8 Σχ.6.11)
 l_{eff,2b}=min(226.8, 288.8)= 226.8 mm
 l_{eff,2b}= 226.8 mm

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέγμα ενδιάμεση

l_{eff}=2π·m_x =2πx36.1= 226.8 mm
 =α·m =8.00x36.1=288.8 mm (λ₁=λ₂=m/(m+e)=0.18, α=8.00)
 =πm+p =πx36.1+100.0= 213.4 mm
 =0.5p+α·m-(2m+0.625e)=0.5x100.0+8.0x36.1-(2x36.1+0.625x160.0)= 166.6 mm
 l_{eff,3b}=min(226.8, 288.8, 213.4, 166.6)= 166.6 mm
 l_{eff,3b}= 166.6 mm

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

l_{eff}=2π·m_x =2πx36.1= 226.8 mm
 =4m+1.25e =4x36.1+1.25x160.0= 344.4 mm
 =2p =2x100.0= 200.0 mm
 =p = 100.0 mm
 l_{eff,4b}=min(226.8, 344.4, 200.0, 100.0)= 100.0 mm
 l_{eff,4b}= 100.0 mm

8.6. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλατος T-διατομής (έδραση υποστυλώματος) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέλαμα

$$M_{pl,1,rd} = M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 210.0 \times 45.0^2 \times 215 / 1.00 = 22.857 \text{ kNm}$$

$$\text{Μορφή 1 } F_{t,1,rd} = 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 22.857 / 36.1 = 2533 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 2 } F_{t,2,rd} = (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 22.857 + 45.1 \times 2 \times 165) / (36.1 + 45.1) = 746 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 3 } F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 165 = 330 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} = \min(2533, 746, 330) = 330 \text{ kN}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα μεμονωμένη

$$M_{pl,1,rd} = M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 226.8 \times 45.0^2 \times 215 / 1.00 = 24.686 \text{ kNm}$$

$$\text{Μορφή 1 } F_{t,1,rd} = 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 24.686 / 36.1 = 2735 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 2 } F_{t,2,rd} = (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 24.686 + 45.1 \times 2 \times 165) / (36.1 + 45.1) = 791 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 3 } F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 165 = 330 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} = \min(2735, 791, 330) = 330 \text{ kN}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα ενδιάμεση

$$M_{pl,1,rd} = M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 166.6 \times 45.0^2 \times 215 / 1.00 = 18.133 \text{ kNm}$$

$$\text{Μορφή 1 } F_{t,1,rd} = 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 18.133 / 36.1 = 2009 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 2 } F_{t,2,rd} = (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 18.133 + 45.1 \times 2 \times 165) / (36.1 + 45.1) = 630 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 3 } F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 165 = 330 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} = \min(2009, 630, 330) = 330 \text{ kN}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$M_{pl,1,rd} = M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 100.0 \times 45.0^2 \times 215 / 1.00 = 10.884 \text{ kNm}$$

$$\text{Μορφή 1 } F_{t,1,rd} = 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 10.884 / 36.1 = 1206 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 2 } F_{t,2,rd} = (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 10.884 + 45.1 \times 2 \times 165) / (36.1 + 45.1) = 451 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 3 } F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 165 = 330 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} = \min(1206, 451, 330) = 330 \text{ kN}$$

8.7. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εφελκυσμό (έδραση υποστυλώματος) (EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$F_{t,wb,rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$b_{eff,t,wb} = l_{eff} = l_{eff,4b} = 100.0 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,rd} = [10^{-3}] \times 100.0 \times 12.0 \times 355 / 1.00 = 426 \text{ kN}$$

$$\min F_{t,rd} = \min(330, 330, 330, 426) = 330 \text{ kN}$$

8.8. Αντοχή αγκύρωσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος) (EN1993-1-8, §6.2.6.12)

Αγκίστρο αγκυρίου

(EN1992-1-1 §8.4)

$$d = 27 \text{ mm}, A_s = 459 \text{ mm}^2, l_{bd} = 435 \text{ mm}$$

$$l_{b,rqd} = (\varnothing/4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd}), l_{bd} = 0.70 l_{b,rqd}, f_{bd} = f_{ctd} = 1.02 \text{ N/mm}^2, \sigma_{sd} = 0.70 l_{bd} \cdot f_{bd} / (\varnothing/4)$$

$$F_{t,anc,rd} = \sigma_{sd} \cdot A_s = [10^{-3}] \cdot 0.70 \times 435 \times 1.02 / (27/4) \times 459 = 21 \text{ kN}$$

$$\min F_{t,rd} = \min(330, 2 \times 21) = 42 \text{ kN}$$

8.9. Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης (EN1993-1-8, §6.2.4)

$$\text{Δύναμη σύνδεσης προς τα πάνω } F_{t,ed} = 0 \text{ kN}$$

$$\text{Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης } F_{t,rd} = 6 \times 42 = 252 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 0 \text{ kN} < 252 \text{ kN} = N_{rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

8.10. Αντοχή σύνδεσης σε σύνθλιψη (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §6.2.5)

Θλιπτική αντοχή πέλατος T-διατομής $F_{c,rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff}$ (§6.2.5(3) Εξ.6.4), §6.2.5(7)
 $f_{jd} = \beta \cdot \sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \cdot f_{cd} = (2/3) \times \sqrt{(2.25)} \times 14.17 = 14.17 \text{ N/mm}^2$ (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.7, Εξ.6.63)
 $h = 600.0 \text{ mm}$, $b = 220.0 \text{ mm}$, $t_f = 19.0 \text{ mm}$, $t_w = 12.0 \text{ mm}$, $t_p = 45.0 \text{ mm}$
 $c = t_p \cdot (f_y / (3f_{jd} \cdot \gamma_{M0}))^{0.5} = 45 \times (235.00 / (3 \times 14.17 \times 1.00))^{0.5} = 105.8$, < 100.0 , $c = 100.0 \text{ mm}$ (Εξ.6.5)
 $2c + b_f = 2 \times 100.0 + 220 = 420.0 \text{ mm} \leq b_p = 420 \text{ mm}$, $l_{eff} = 420.0 \text{ mm}$
 $A_{c0, f} = l_{eff} \cdot (2c + t_f) = 420.0 \times (2 \times 100.0 + 19.0) = 91980 \text{ mm}^2$ (EC3-1-8, Σχ.6.4)
 $A_{c0, w} = (h - 2t_f - 2c) \cdot (t_w + 2c) = (600.0 - 2 \times 19.0 - 2 \times 100.0) \times (12.0 + 2 \times 100.0) = 76744 \text{ mm}^2$
 $N_{j, rd} = [10^{-3}] \times 14.2 \times (2 \times 91980 + 76744) = [10^{-3}] \times 14.2 \times 260704 = 3702 \text{ kN}$
 $N_{j, ed} = 275 \text{ kN} < 3702 \text{ kN} = N_{j, rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

Καμπτική αντοχή πλάκας έδρασης

(EN1993-1-8, §6.2.6.10)

$M_{p, rd} = W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] (420 \times 45.0^2 / 6) \times 235 / 1.0 = 33 \text{ kNm}$ (§6.2.5)
 $M_{p, ed} = b_p \cdot q_{ed} \cdot c^2 / 2 = [10^{-6}] [420 \times 275000 / (2 \times 91980 + 76744.0)] \times 100.0^2 / 2 = 2 \text{ kNm}$
 $M_{p, ed} = 2.0 \text{ kNm} < 33.0 \text{ kNm} = M_{p, rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

8.11. Καμπτική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §6.2.5)

$N_{j, rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} - \sum (F_{t, rd})$
 $M_{j, rd} = \sum (F_{t, rd} \cdot r_b) + A_{eff} \cdot f_{jd} \cdot r_c$
 $r_{b, 1} = 350.0 \text{ mm}$, $r_{b, 2} = 231.0 \text{ mm}$, $r_{b, 3} = 131.0 \text{ mm}$, $r_c = 300.0 \text{ mm}$
 $f_{jd} = \beta \cdot \sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \cdot f_{cd} = (2/3) \times 1.5 \times 14.17 = 14.17 \text{ N/mm}^2$ (EC3-1-8 §6.2.5(7))
 $\sum F_{t, rd} = (42 + 42 + 42) = 126 \text{ kN}$
 $\sum F_{t, rd} \cdot r_b = 0.001 \times (42 \times 350 + 42 \times 231 + 42 \times 131) = 30 \text{ kNm}$
 $A_{eff} = b_{eff} \cdot l_{eff} = [10^3] \times (275 + 126) / 14.17 = 28299 \text{ mm}^2$
 $h = 600.0 \text{ mm}$, $b = 220.0 \text{ mm}$, $t_f = 19.0 \text{ mm}$, $t_w = 12.0 \text{ mm}$, $t_p = 45.0 \text{ mm}$
 $c = t_p \cdot (f_y / (3f_{jd} \cdot \gamma_{M0}))^{0.5} = 45 \times (235.00 / (3 \times 14.17 \times 1.00))^{0.5} = 105.8$, < 100.0 , $c = 100.0 \text{ mm}$ (Εξ.6.5)
 $2c + b_f = 2 \times 100.0 + 220 = 420.0 \text{ mm} \leq b_p = 420 \text{ mm}$, $l_{eff} = 420.0 \text{ mm}$
 $b_{eff} = A_{eff} / l_{eff} = 28299 / 420.0 = 67.4 \text{ mm} < t_f + 2c = 19.0 + 2 \times 100.0 = 219.0 \text{ mm}$, $b_{eff} = 67.4 \text{ mm}$
 $M_{j, rd} = 30 + [10^{-6}] \times 420.0 \times 67.4 \times 14.17 \times 300 = 150.3 \text{ kNm}$
 $M_{j, ed} = 90.0 \text{ kNm} < 150.3 \text{ kNm} = M_{j, rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

Καμπτική αντοχή πλάκας έδρασης

(EN1993-1-8, §6.2.6.10)

$M_{p, rd} = W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] (420 \times 45.0^2 / 6) \times 235 / 1.0 = 33 \text{ kNm}$ (§6.2.5)
 $M_{p, ed} = b_p \cdot q_{ed} \cdot c^2 / 2 = [10^{-6}] [420 \times 14.17 \times 100.0^2 / 2] = 30 \text{ kNm}$
 $M_{p, ed} = 30.0 \text{ kNm} < 33.0 \text{ kNm} = M_{p, rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

8.12. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Διατμητική αντοχή κοχλιών

$F_{v, rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.60 \times 500 \times 459.0 / 1.25 = 110 \text{ kN}$
 Επίπεδο διάτμησης ήλου: εντός σπειρώματος κοχλίας

Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη

$F_{b, rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$
 $t = 45.0 \text{ mm}$, $d = 27 \text{ mm}$, $d_o = 30 \text{ mm}$, $e_1 = 160 \text{ mm}$, $e_2 = 160 \text{ mm}$, $p_1 = 100 \text{ mm}$, $f_{ub} = 500 \text{ kN/mm}^2$, $f_u = 360 \text{ kN/mm}^2$,
 $\alpha_b = \min[f_{ub} / f_u, 1.0, e_1 / 3d_o, p_1 / 3d_o - 1/4] =$
 $= \min[500 / 360, 1.0, 160 / (3 \times 30), 100 / (3 \times 30) - 0.25] = 0.86$
 $k_1 = \min[2.8e_2 / d_o - 1.7, 1.4p_2 / d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 160 / 30 - 1.7, 1.4 \times 100 / 30 - 1.7, 2.5] = 2.50$
 $F_{b, rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.86 \times 360 \times 27 \times 45.0 / 1.25 = 753 \text{ kN}$

Διατμητική αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίας $= \min(110, 753) = 110 \text{ kN}$

Καμπτική ροπή και διάτμηση

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Μεγίστη εφελκυστική δύναμη σε κοχλίες

$$F_{t,ed} = 42/2 = 21 \text{ kN}$$

Μείωση διατμητικής αντοχής λόγω κάμψης

$$\rho = 1 - F_{t,ed} / 1.40 F_{t,rd} = 1 - 21 / (1.40 \times 165) = 0.91$$

Διατμητική αντοχή με καμπτική ροπή για όλους τους κοχλίες

$$V_{rd} = 12 \times 0.91 \times 110 = 1201 \text{ kN}$$

$V_{ed} = 175 \text{ kN} < 1201 \text{ kN} = V_{rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

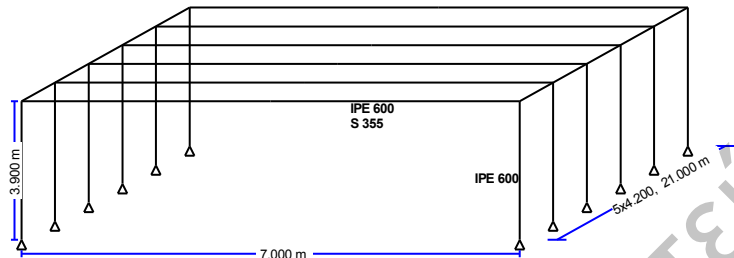
Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους
STEELexpress, www.runet.gr

9. ΠΛΑΙΣΙΟ-001

Πλαίσιο ενός ανοίγματος

(EC3 EN1993-1-1:2005, +NA-ΕΛΟΤ:2010)

ΠΛΑΙΣΙΟ-001



9.1. Κανονισμοί

EN1990:2002, Ευρωκώδικας 0 Βάσεις σχεδιασμού
 EN1991-1-1:2002, Ευρωκώδικας 1-1 Δράσεις
 EN1991-1-3:2003, Ευρωκώδικας 1-3 Φορτία Χιονιού
 EN1991-1-4:2005, Ευρωκώδικας 1-4 Φορτία Ανέμου
 EN1993-1-1:2005, Ευρωκώδικας 3 1-1 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα
 EN1993-1-3:2005, Ευρωκώδικας 3 1-3 Μέλη και φύλλα ψυχρής έλασης
 EN1993-1-5:2006, Ευρωκώδικας 3 1-5 Δομικά στοιχεία από επίπεδα ελάσματα
 EN1993-1-8:2005, Ευρωκώδικας 3 1-8 Σχεδιασμός κόμβων
 CEN/TS 1992-4-1:2009, Σχεδιασμός συνδέσεων με σκυρόδεμα, Γενικά
 CEN/TS 1992-4-2:2009, Σχεδιασμός συνδέσεων με σκυρόδεμα, Συνδέσεις κεφαλής
 EN1998-1-1:2004, Eurocode 8 Αντισεισμικός σχεδιασμός

9.2. Βασικά στοιχεία

9.2.1. Γεωμετρικά στοιχεία πλαισίου

Άνοιγμα πλαισίου	L = 7.000 m
Ολικό ύψος (μέγιστο)	H = 3.900 m
Ύψος υποστυλώματος	H1 = 3.900 m
Ολικό μήκος	B = 21.000 m (5x4.200m)
Απόσταση μεταξύ πλαισίων	s = 4.200 m
Γωνία στέγης	$\alpha = 0.00^\circ$
Απόσταση τεγίδων	= 3.000 m

9.2.2. Διατομές

Διατομή υποστυλωμάτων	IPE 600 - S 355
Διατομή ζυγμάτων	IPE 600 - S 355
Εγκάρσιες συγκρατήσεις υποστυλωμάτων	Lm1= 3.600 m
Εγκάρσιες συγκρατήσεις ζυγμάτων	Lm2= 3.201 m
Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της σύνδεσης ζυγμάτων με υποστυλώμα	

9.2.3. Συνδέσεις

Είδος σύνδεσης	Μετωπική πλάκα σύνδεσης, μη-προεντεταμένοι κοχλίες
Κατηγορία σύνδεσης	Κατηγορία Α: σύνθλιψη Κατηγορία Δ: μη-προεντεταμένοι κοχλίες
Μετωπική πλάκα	Πάχος $t_p=20$ mm, S 235
Κοχλίες	M24, Κατηγορία 10.9

9.3. Υλικά και παράμετροι κανονισμού

9.3.1. Υλικά

Χάλυβας: S 355 (EN1993-1-1, §3.2)

$t \leq 40$ mm, Αντοχή διαρροής $f_y = 355$ N/mm², Αντοχή αστοχίας $f_u = 510$ N/mm²

$40\text{mm} < t \leq 80$ mm, Αντοχή διαρροής $f_y = 335$ N/mm², Αντοχή αστοχίας $f_u = 470$ N/mm²

Μέτρο ελαστικότητας $E=210000$ N/mm², Λόγος Poisson $\nu=0.30$, Πυκνότητα $\rho= 7850$ Kg/m³

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_m (EN1993-1-1, §6.1)

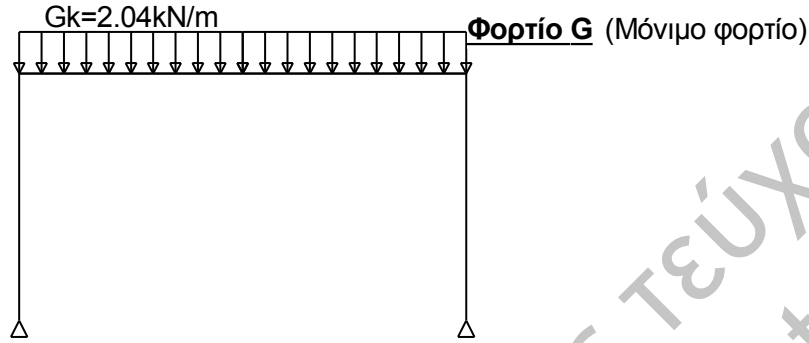
$\gamma_{M0} = 1.00$, $\gamma_{M1} = 1.00$, $\gamma_{M2} = 1.25$

9.4. Φορτία

9.4.1. Μόνιμα φορτία

(EN1991-1-1)

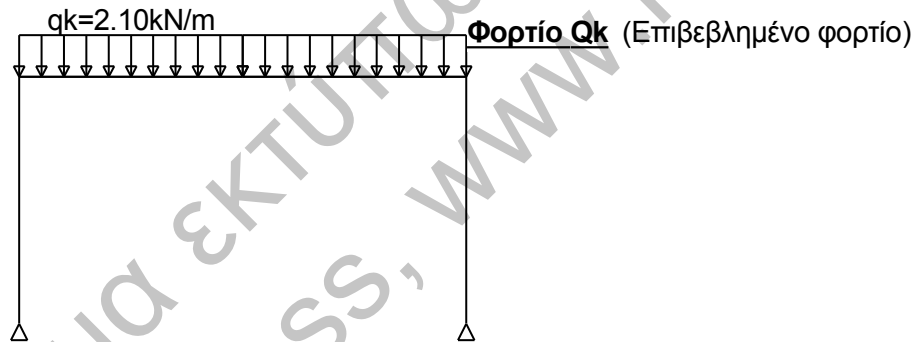
Ιδιο βάρος τειγίδων και σανιδώματος	$g_{k1} = 0.200 \text{ kN/m}^2$
Φορτίο οροφής κάτω επιφάνειας	$g_{k2} = 0.000 \text{ kN/m}^2$ $g_k = g_{k1} + g_{k2} = 0.200 \text{ kN/m}^2$
Απόσταση μεταξύ πλαϊσίων	$s = 4.200 \text{ m}$
Φορτίο στέγης ανά πλαίσιο	$(g_{k1} + g_{k2}) \cdot s = 0.200 \times 4.200 = 0.84 \text{ kN/m}$
Ιδιο βάρος ζυγωμάτων	$G(\text{IPE } 600) = 1.20 \text{ kN/m}$
Μόνιμο φορτίο ανά πλαίσιο	$G_k = 0.84 + 1.20 = 2.04 \text{ kN/m}$
Ιδιο βάρος υποστυλωμάτων	$G(\text{IPE } 600) = 1.20 \text{ kN/m}$



9.4.2. Επιβεβλημένα φορτία

(EC1 EN1991-1-1:2002 Πιν.6.10)

Γωνία στέγης	$\alpha = 0.00^\circ$
Επιβεβλημένο φορτίο (κατηγορία H)	$q_k = 0.50 \text{ kN/m}^2$
Φορτίο στέγης ανά πλαίσιο	$q_k \cdot s = 0.50 \times 4.200 = 2.10 \text{ kN/m}$



9.4.3. Φορτία χιονιού

(EC1 EN1991-1-3:2003)

Φορτίο χιονιού επί του εδάφους

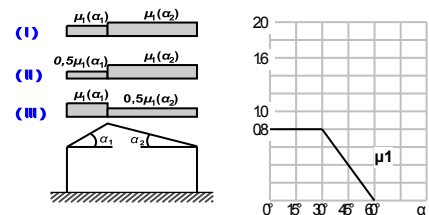
(EN1991-1-3 §4, Παράρτημα C)

Κλιματική περιοχή	: Ελλάδα
Ζώνη χιονιού	: A
Υψόμετρο περιοχής	: 100 m
Φορτίο χιονιού επί του εδάφους	$S_k = 0.40 \times [1 + (100/917)^2] = 0.405 \text{ kN/m}^2$
Χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού επί εδάφους:	$s_k = 0.405 \text{ kN/m}^2$

Φορτίο χιονιού σε στέγη

(EC1 EN1991-1-3:2003 §5)

δίκλινης στέγη (EC1-1-3 §5.3.3)	
Γωνία κλίσης στέγης	: $\alpha_1 = 0.000^\circ$
Γωνία κλίσης στέγης	: $\alpha_2 = 0.000^\circ$
Συντελεστής έκθεσης	: $C_e = 1.000$ (EC1-1-3 §5.2 (7))
Συντελεστής θερμότητας	: $C_t = 1.000$ (EC1-1-3 §5.2 (8))
Συντελεστής μορφής	$\mu_1(\alpha_1) = \mu_1(\alpha_2) = 0.800$ (EC1-1-3 T.5.2))
$S(\alpha_1) = \mu_1(\alpha_1) \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0.800 \times 1.000 \times 1.000 \times 0.405 = 0.324 \text{ kN/m}^2$	
$S(\alpha_2) = \mu_1(\alpha_2) \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0.800 \times 1.000 \times 1.000 \times 0.405 = 0.324 \text{ kN/m}^2$	



Φορτίου χιονιού

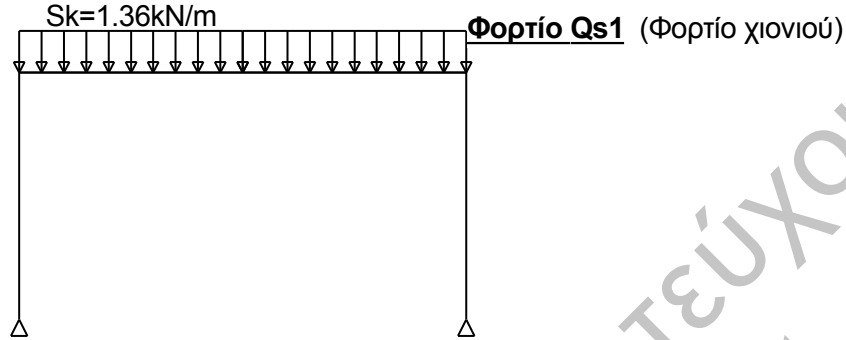
(EC1 EN1991-1-3:2003, §5.2, §5.3.3)

Περιπτώσεις φόρτισης (I)	, $S(\text{Αριστ}) = S(\alpha_1) = 0.324 \text{ kN/m}^2$, $S(\text{Δεξιά}) = S(\alpha_2) = 0.324 \text{ kN/m}^2$
--------------------------	---

9.4.4. Φορτίο χιονιού ανά πλαίσιο

(EC1 EN1991-1-3:2003)

Φορτίο χιονιού επί του εδάφους $s_k = 0.405 \text{ kN/m}^2$
 Φορτίο χιονιού σε στέγη $S_k = 0.8 \times 0.405 \times 1.00 \times 1.00 = 0.324 \text{ kN/m}^2$
 Απόσταση μεταξύ πλαισίων $s = 4.200 \text{ m}$
 Φορτίο χιονιού ανά πλαίσιο $S_{k1} = 0.324 \times 4.200 / \cos 0.00^\circ = 1.36 \text{ kN/m}$
 $S_{k2} = 0.5 \times 0.324 \times 4.200 / \cos 0.00^\circ = 0.68 \text{ kN/m}$
 Περιπτώσεις φόρτισης(I) $S_{k1} = 1.36 \text{ kN/m}, S_{k2} = 1.36 \text{ kN/m}$



9.4.5. Φορτίο ανέμου

(EC1 EN1991-1-4:2005)

Πίεση αναφοράς ανέμου $q(z) = C_e(z) \cdot q_b = C_e(z) \cdot (0.625) \cdot V_b^2$ (EN1991-1-4, §4.5)

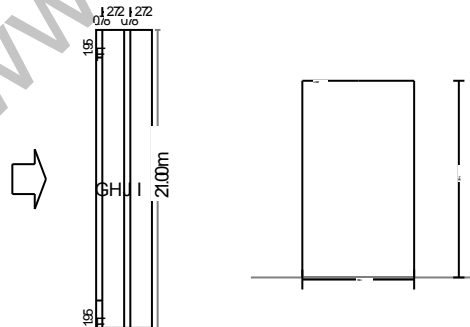
$q(z) = C_e(z) \cdot (1/2 \rho) \cdot V_b^2 = C_e(z) \cdot 0.625 \cdot V_b^2 = 0.900 \text{ kN/m}^2$

Δυνάμεις ανέμου σε επίπεδη στέγη, κατεύθυνση ανέμου: 0.00 (EN1991-1-4, §7.2.3)

Συντελεστές πίεσης ανέμου C_{pe} (EN1991-1-4, Πιν. 7.2)

κατεύθυνση ανέμου: $\theta = 0.00$
 $b = 21.00\text{m}, d = 7.00\text{m}, h = 3.90\text{m}, e = \min(b, 2h) = 7.80\text{m}$
 $e/4 = 1.95\text{m}, e/10 = 0.78\text{m}, e/2 = 3.90\text{m}$
 Είδος στέγης: Αιχμηρά άκρα

Ζώνη : F, $A = 1.52\text{m}^2, C_{pe,10} = -1.80, C_{pe,1} = -2.50$
 Ζώνη : G, $A = 13.34\text{m}^2, C_{pe,10} = -1.20, C_{pe,1} = -2.00$
 Ζώνη : H, $A = 65.52\text{m}^2, C_{pe,10} = -0.70, C_{pe,1} = -1.20$
 Ζώνη : I, $A = 65.10\text{m}^2, C_{pe,10} = \pm 0.20, C_{pe,1} = \pm 0.20$



Πίεσης ανέμου σε επιφάνειες στέγης $w_e = q(z) \cdot C_{pe} = 0.900 \times C_{pe} \text{ [kN/m}^2]$ (EN1991-1-4, 5.1)

F		G		H		I	
$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$
-1.620	-2.250	-1.080	-1.800	-0.630	-1.080	+0.180	-0.180

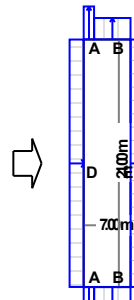
Δυνάμεις ανέμου σε κατακόρυφους τοίχους

(EN1991-1-4, §7.2.2)

Συντελεστές πίεσης ανέμου C_{pe}

(EN1991-1-4, Πιν.7.1)

$h/d = 3.90/7.00 = 0.557, e = 7.80\text{m}$
 Ζώνη : A, ($1.56 \times h$), $C_{pe,10} = -1.20, C_{pe,1} = -1.40$
 Ζώνη : B, ($5.44 \times h$), $C_{pe,10} = -0.80, C_{pe,1} = -1.10$
 Ζώνη : D, ($21.00 \times h$), $C_{pe,10} = 0.80, C_{pe,1} = 1.00$
 Ζώνη : E, ($21.00 \times h$), $C_{pe,10} = -0.38, C_{pe,1} = -0.38$



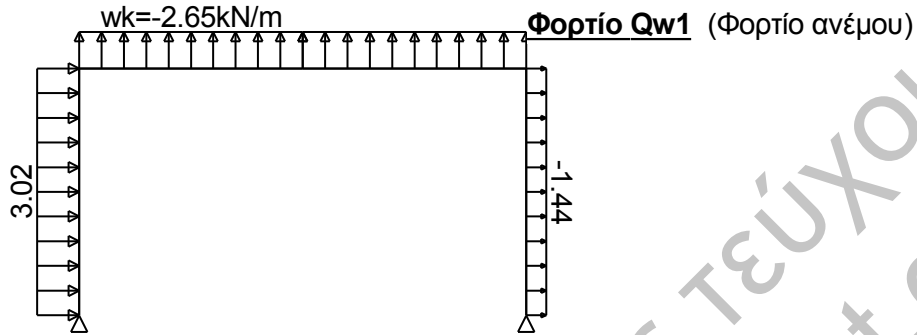
Πίεσης ανέμου σε επιφάνειες τοίχων $w_e = q(z) \cdot C_{pe} \text{ [kN/m}^2]$ (EN1991-1-4, 5.1)

$z = 3.90 \sim 0.00\text{m}$	A		B		D		E	
	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$
	-1.080	-1.260	-0.720	-0.990	0.720	0.900	-0.344	-0.344

9.4.6. Φορτίο ανέμου ανά πλαίσιο

(EC1 EN1991-1-4:2005)

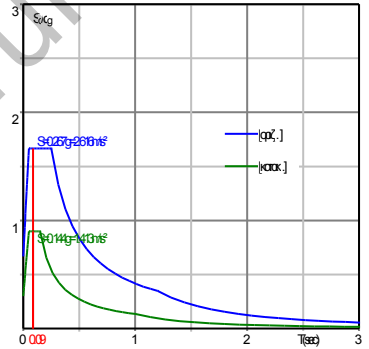
Πίεση ανέμου σε κάθετη επιφάνεια	$w_k = 0.900 \text{ kN/m}^2$
Εσωτερική πίεση ανέμου	$w_i = 0.000 \text{ kN/m}^2$
Απόσταση μεταξύ πλαισίων	$s = 4.200 \text{ m}$
Αριστερά υποστύλωμα	$W_{k1} = 0.720 \times 4.200 = 3.02 \text{ kN/m}$
Αριστερά ζύγωμα	$W_{k2} = -0.630 \times 4.200 = -2.65 \text{ kN/m}$
Δεξιά ζύγωμα	$W_{k3} = -0.630 \times 4.200 = -2.65 \text{ kN/m}$
Δεξιά υποστύλωμα	$W_{k4} = -0.344 \times 4.200 = -1.44 \text{ kN/m}$



9.4.7. Σεισμικό φορτίο

(EC8 EN1998-1-1:2004, §3)

Οριζόντια σεισμική επιτάχυνση (§3.2.2.2)	$a_{gr}/g = 0.1$
Κατακόρ./οριζ. σεισμική επιτάχυνση (§3.2.2.3)	$avg/a_{gr} = 0.4$
Συντ. σπουδαιότητας κτιρίου (§3.2.1, T.4.3)	$\gamma_i = 1.0$
Συντ. θεμελίωσης [οριζ.] (§3.2.2.2)	$S = 1.0$
Συντ. συμπεριφοράς [οριζ.] (§3.2.2.5)	$q = 1.5$
Συντ. συμπεριφοράς [κατακ.]	$q_v = 1.5$
Συντ. φασματικής μορφής [οριζ.] (§3.2.2.5)	$\beta_h(T) = 2.5$
Συντ. φασματικής μορφής [κατακ.] (§3.2.2.3)	$\beta_v(T) = 3.0$
Διορθωτικός συντελεστής (§4.3.3.2.2.1)	$\lambda = 1.0$
Κατανομή φορτίων $\zeta = z_i w_i / \sum z_j w_j$ (§4.3.3.2.3)	$\zeta = 1.5$
Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος (§4.3.3.2.2.3)	$(sec) = 0.0$
Συντελεστής συνδυασμού μεταβλητών δράσεων (EC0 T.A1.1)	$\psi_2 = 0.3$
Συντελεστής συνδυασμού δράσεων χιονιού (EC0 T.A1.1)	$\psi_2 = 0.20$
Χαρακτηριστικές περίοδοι φάσματος [οριζ.]	$T_b = 0.05 \text{ sec}, T_c = 0.25 \text{ sec}, T_d = 1.20 \text{ sec}$
Χαρακτηριστικές περίοδοι φάσματος [κατακ.]	$T_b = 0.05 \text{ sec}, T_c = 0.15 \text{ sec}, T_d = 1.00 \text{ sec}$
$S_d(0.09s) = 0.160 \times 1.00 \times 1.00 \times [2.50/1.50] \times g = 0.267 \times g = 2.616 \text{ m/s}^2$	(EC8 §3.2.2.5 (4))
$S_v(0.09s) = 0.45 \times 0.160 \times 1.00 \times [3.00/1.50] \times g = 0.144 \times g = 1.413 \text{ m/s}^2$	(EC8 §3.2.2.5 (5))



9.5. Τιμές σχεδιασμού δράσεων

(EN1990 NA Ελλάδα ELOT EN, §6.4, §6.5)

9.5.1. Συνδυασμοί δράσεων

(EN1990 Πιν.Α1.1)

Κατηγορία Η (στέγες) $Q_k \psi_0=0.00, \psi_1=0.00, \psi_2=0.00$
 Φορτία χιονιού σε κτίρια $Q_s \psi_0=0.50, \psi_1=0.20, \psi_2=0.00$
 Φορτία ανέμου σε κτίρια $Q_w \psi_0=0.60, \psi_1=0.20, \psi_2=0.00$

9.5.2. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) (EQU)

(EN1990 §6.4.3.2, Π.Α1.2Α)

$$E_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{k2} \quad (\text{Εξ.6.10})$$

$\gamma_G, \text{sup}=1.10$ (Δυσμενής)
 $\gamma_G, \text{inf}=0.90$ (Ευνοική)
 $\gamma_Q = 1.50$ (Δυσμενής)
 $\gamma_Q = 0.00$ (Ευνοική)

Συνδυασμοί φορτίων (ULS) (EQU),

Μόνιμο φορτίο G_k , επιβεβλημένο φορτίο Q_k , φορτίο χιονιού Q_{s1} , φορτίο ανέμου Q_{w1}

Σ.φ. 101: $1.10G_k+1.50Q_k$ (Εξ.6.10)
 Σ.φ. 102: $1.10G_k+1.50Q_{s1}$ (Εξ.6.10)
 Σ.φ. 103: $1.10G_k+1.50Q_{w1}$ (Εξ.6.10)
 Σ.φ. 111: $0.90G_k+1.50Q_{w1}$ (Εξ.6.10)
 Σ.φ. 121: $1.10G_k+1.50Q_{s1}+0.60 \times 1.50Q_{w1} = 1.10 \times G_k+1.50Q_{s1}+0.90Q_{w1}$ (Εξ.6.10)
 Σ.φ. 122: $1.10G_k+1.50Q_{w1}+0.50 \times 1.50Q_{s1} = 1.10 \times G_k+1.50Q_{w1}+0.75Q_{s1}$ (Εξ.6.10)

9.5.3. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) (STR)

(EN1990 §6.4.3.2, Π.Α1.2Β)

$$E_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{k1} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{k2} \quad (\text{Εξ.6.10a})$$

$$E_d = \xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{k2} \quad (\text{Εξ.6.10b})$$

$\gamma_G, \text{sup}=1.35$ (Δυσμενής)
 $\gamma_G, \text{inf}=1.00$ (Ευνοική)
 $\gamma_Q = 1.50$ (Δυσμενής)
 $\gamma_Q = 0.00$ (Ευνοική)
 $\xi=0.925, \xi \cdot \gamma_G=0.925 \times 1.35=1.25$

Συνδυασμοί φορτίων (ULS) (STR),

Μόνιμο φορτίο G_k , επιβεβλημένο φορτίο Q_k , φορτίο χιονιού Q_{s1} , φορτίο ανέμου Q_{w1}

Σ.φ. 201: $0.925 \times 1.35G_k+1.50Q_k = 1.25 \times G_k+1.50Q_k$ (Εξ.6.10b)
 Σ.φ. 202: $0.925 \times 1.35G_k+1.50Q_{s1} = 1.25 \times G_k+1.50Q_{s1}$ (Εξ.6.10b)
 Σ.φ. 203: $0.925 \times 1.35G_k+1.50Q_{w1} = 1.25 \times G_k+1.50Q_{w1}$ (Εξ.6.10b)
 Σ.φ. 210: $1.00G_k+1.50Q_{w1}$ (Εξ.6.10b)
 Σ.φ. 231: $1.35G_k+1.50 \times 0.50Q_{s1} + 1.50 \times 0.60Q_{w1} = 1.35 \times G_k+0.75Q_{s1}+0.90Q_{w1}$ (Εξ.6.10a)
 Σ.φ. 251: $0.925 \times 1.35G_k+1.50Q_{s1}+1.50 \times 0.60Q_{w1} = 1.25 \times G_k+1.50Q_{s1}+0.90Q_{w1}$ (Εξ.6.10b)
 Σ.φ. 252: $0.925 \times 1.35G_k+1.50Q_{w1}+1.50 \times 0.50Q_{s1} = 1.25 \times G_k+1.50Q_{w1}+0.75Q_{s1}$ (Εξ.6.10b)

9.5.4. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

(EN1990 §6.5.3, Π.Α1.4)

$$E_d = G_k + Q_{k1} + \psi_0 \cdot Q_{k2} + \psi_0 \cdot Q_{k3} \quad (\text{Χαρακτηριστικός συνδυασμός}) \quad (\text{Εξ.6.14})$$

$$E_d = G_k + \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_2 \cdot Q_{k2} + \psi_2 \cdot Q_{k3} \quad (\text{Συχνός συνδυασμός}) \quad (\text{Εξ.6.15})$$

$$E_d = G_k + \psi_2 \cdot Q_{k1} + \psi_2 \cdot Q_{k2} + \psi_2 \cdot Q_{k3} \quad (\text{Οιονεί-μόνιμος συνδυασμός}) \quad (\text{Εξ.6.16})$$

Συνδυασμοί φορτίων (SLS)

Μόνιμο φορτίο G_k , επιβεβλημένο φορτίο Q_k , φορτίο χιονιού Q_{s1} , φορτίο ανέμου Q_{w1}

Σ.φ. 301: $G_k + Q_k$ (Εξ.6.14a)
 Σ.φ. 302: $G_k + Q_{s1}$ (Εξ.6.14a)
 Σ.φ. 303: $G_k + Q_{w1}$ (Εξ.6.14a)
 Σ.φ. 311: $G_k + Q_{s1} + 0.60Q_{w1}$ (Εξ.6.14a)
 Σ.φ. 312: $G_k + Q_{w1} + 0.50Q_{s1}$ (Εξ.6.14a)
 Σ.φ. 331: $G_k + 0.20Q_{s1} + 0.00Q_{w1}$ (Εξ.6.15a)
 Σ.φ. 332: $G_k + 0.20Q_{w1} + 0.00Q_{s1}$ (Εξ.6.15a)
 Σ.φ. 351: $G_k + 0.00Q_{s1} + 0.00Q_{w1}$ (Εξ.6.16a)

9.5.5. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) Αντισεισμικός σχεδιασμός

$$E_d = G_k + A_{ed} + \psi_2 \cdot Q_{k1} + \psi_2 \cdot Q_{k2} + \psi_2 \cdot Q_{k3} \quad (\text{Εξ.6.12b})$$

Φορτίο χιονιού Q_s , Φορτίο ανέμου Q_w , Σεισμιά φορτία A_{ed}

$$\Sigma. \Phi. 601: G_k + 0.20Q_{s1} + A_{ed} \quad (\text{Εξ.6.14a})$$

9.5.6. Σύνοψη συνδυασμών φορτίσεων

Μόνιμο φορτίο G_k , επιβεβλημένο φορτίο Q_k , φορτίο χιονιού Q_{s1} , φορτίο ανέμου Q_w

1	Σ.Φ. 101	(ULS) (EQU)	1.10Gk+1.50Qk+0.00Qs1+0.00Qw1
2	Σ.Φ. 102	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+1.50Qs1+0.00Qw1
3	Σ.Φ. 103	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.50Qw1
4	Σ.Φ. 111	(ULS) (EQU)	0.90Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.50Qw1
5	Σ.Φ. 121	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+1.50Qs1+0.90Qw1
6	Σ.Φ. 122	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.75Qs1+1.50Qw1
7	Σ.Φ. 201	(ULS) (STR)	1.25Gk+1.50Qk+0.00Qs1+0.00Qw1
8	Σ.Φ. 202	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+1.50Qs1+0.00Qw1
9	Σ.Φ. 203	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.50Qw1
10	Σ.Φ. 210	(ULS) (STR)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.50Qw1
11	Σ.Φ. 231	(ULS) (STR)	1.35Gk+0.00Qk+0.75Qs1+0.90Qw1
12	Σ.Φ. 251	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+1.50Qs1+0.90Qw1
13	Σ.Φ. 252	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.75Qs1+1.50Qw1
14	Σ.Φ. 301	(SLS)	1.00Gk+1.00Qk+0.00Qs1+0.00Qw1
15	Σ.Φ. 302	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+1.00Qs1+0.00Qw1
16	Σ.Φ. 303	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.00Qw1
17	Σ.Φ. 311	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+1.00Qs1+0.60Qw1
18	Σ.Φ. 312	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.50Qs1+1.00Qw1
19	Σ.Φ. 331	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.20Qs1+0.00Qw1
20	Σ.Φ. 332	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.20Qw1
21	Σ.Φ. 351	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qw1
22	Σ.Φ. 601	(SEISM)	1.00Gk+0.00Qk+0.20Qs1+0.00Qw1 + Aed

9.6. Διατομές

9.6.1. Διατομή υποστυλωμάτων

Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

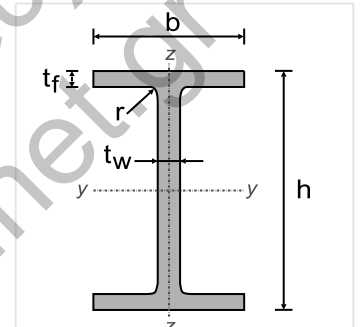
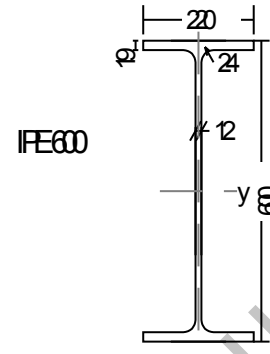
Διατομή IPE 600-S 355

Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h=	600.00 mm
Πλάτος διατομής	b=	220.00 mm
Υψος κορμού	hw=	562.00 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	dw=	514.00 mm
Πάχος κορμού	tw=	12.00 mm
Πάχος πέλματος	tf=	19.00 mm
Ακτίνα συναρμογής	r=	24.00 mm
Μάζα	=	122.00 Kg/m

Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	15600 mm ²	
Ροπή αδρανείας	I _y =	920.80x10 ⁶ mm ⁴	I _z =33.870x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	3069.0x10 ³ mm ³	W _z =307.90x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	3512.0x10 ³ mm ³	W _{pz} =485.60x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	243.0 mm	i _z = 46.6 mm
Επιφάνεια διάτμησης	Av _z =	8380 mm ²	Av _y = 8360 mm ²
Σταθερά στρέψης	It=	1.654x10 ⁶ mm ⁴	ip= 247 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	87.061x10 ³ mm ³	
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	2845.5x10 ⁹ mm ⁶	



9.6.2. Διατομή ζυγμάτων

Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

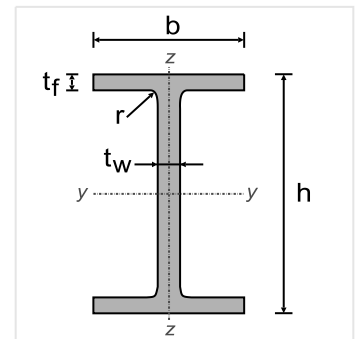
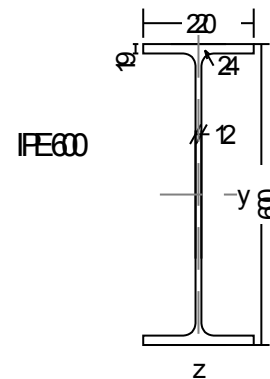
Διατομή IPE 600-S 355

Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h=	600.00 mm
Πλάτος διατομής	b=	220.00 mm
Υψος κορμού	hw=	562.00 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	dw=	514.00 mm
Πάχος κορμού	tw=	12.00 mm
Πάχος πέλματος	tf=	19.00 mm
Ακτίνα συναρμογής	r=	24.00 mm
Μάζα	=	122.00 Kg/m

Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	15600 mm ²	
Ροπή αδρανείας	I _y =	920.80x10 ⁶ mm ⁴	I _z =33.870x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	3069.0x10 ³ mm ³	W _z =307.90x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	3512.0x10 ³ mm ³	W _{pz} =485.60x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	243.0 mm	i _z = 46.6 mm
Επιφάνεια διάτμησης	Av _z =	8380 mm ²	Av _y = 8360 mm ²
Σταθερά στρέψης	It=	1.654x10 ⁶ mm ⁴	ip= 247 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	87.061x10 ³ mm ³	
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	2845.5x10 ⁹ mm ⁶	



Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων FRAME2Dexpres® Runet χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση. Οι βάσεις στηρίξεων των υποστυλωμάτων θεωρήθηκαν αρθρώσεις. Οι συνδέσεις ζυγμάτων με υποστυλώματα και ζυγμάτων μεταξύ τους θεωρήθηκαν άκαμπτες. Οι καθολικές και τοπικές ατέλειες πλασιών ελήφθησαν υπόψη με ισοδύναμα φορτία.

Ελαστική-γραμμική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό και ανάλυση σε στατικά φορτία. Ο αντισεισμικός έλεγχος βασίστηκε σε ισοδύναμη στατική μέθοδο και σε δυναμική φασματική μέθοδο βασιζόμενη σε επαλληλία ιδιομορφικών αποκρίσεων.

9.7.1. Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ελαστική ανάλυση

Κόμβοι κατασκευής

Κόμβος	x [mm]	y [mm]
1	0	0
2	0	3900
3	3500	3900
4	7000	3900
5	7000	0

Στηρίξεις κατασκευής

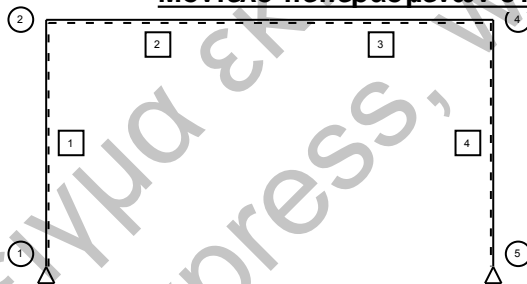
Κόμβος	είδος	ux [mm]	uy [mm]	ur [rad]
1	άρθρωση	δx=δy=0		
5	άρθρωση	δx=δy=0		

Στοιχεία κατασκευής

Στοιχ.	κόμβ.-1	κόμβ.-2	μήκος (mm)	γωνία (°)	E (GPa)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
1	1	2	3900	90.00	210	15600	920800x10 ³
2	2	3	3500	0.00	210	15600	920800x10 ³
3	3	4	3500	0.00	210	15600	920800x10 ³
4	4	5	3900	270.00	210	15600	920800x10 ³

Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων (FEM)

Ελαστική γραμμική ανάλυση



9.7.2. Ομοιόμορφα φορτία μέλους, q κάθετα στο μέλος, qy κατακόρυφη, qx οριζόντια [kN/m]

Σ.Φ.	q	Αριστερά υποστυλωμ			Αριστερά ζύγωμα 2			Δεξιά ζύγωμα 3			Δεξιά υποστυλωμ 4		
		qy	qx	q	qy	qx	q	qy	qx	q	qy	qx	
101	ULS-EQU	0.00	1.32	0	0.00	5.39	0	0.00	5.39	0	0.00	1.32	0
102	ULS-EQU	0.00	1.32	0	0.00	4.29	0	0.00	4.29	0	0.00	1.32	0
103	ULS-EQU	4.54	1.32	0	-3.97	2.24	0	-3.97	2.24	0	-2.17	1.32	0
111	ULS-EQU	4.54	1.08	0	-3.97	1.84	0	-3.97	1.84	0	-2.17	1.08	0
121	ULS-EQU	2.72	1.32	0	-2.38	4.29	0	-2.38	4.29	0	-1.30	1.32	0
122	ULS-EQU	4.54	1.32	0	-3.97	3.26	0	-3.97	3.26	0	-2.17	1.32	0
201	ULS-STR	0.00	1.50	0	0.00	5.70	0	0.00	5.70	0	0.00	1.50	0
202	ULS-STR	0.00	1.50	0	0.00	4.59	0	0.00	4.59	0	0.00	1.50	0
203	ULS-STR	4.54	1.50	0	-3.97	2.55	0	-3.97	2.55	0	-2.17	1.50	0
210	ULS-STR	4.54	1.20	0	-3.97	2.04	0	-3.97	2.04	0	-2.17	1.20	0
231	ULS-STR	2.72	1.62	0	-2.38	3.77	0	-2.38	3.77	0	-1.30	1.62	0
251	ULS-STR	2.72	1.50	0	-2.38	4.59	0	-2.38	4.59	0	-1.30	1.50	0
252	ULS-STR	4.54	1.50	0	-3.97	3.57	0	-3.97	3.57	0	-2.17	1.50	0
301	SLS	0.00	1.20	0	0.00	4.14	0	0.00	4.14	0	0.00	1.20	0
302	SLS	0.00	1.20	0	0.00	3.40	0	0.00	3.40	0	0.00	1.20	0
303	SLS	3.02	1.20	0	-2.65	2.04	0	-2.65	2.04	0	-1.44	1.20	0
311	SLS	1.81	1.20	0	-1.59	3.40	0	-1.59	3.40	0	-0.87	1.20	0
312	SLS	3.02	1.20	0	-2.65	2.72	0	-2.65	2.72	0	-1.44	1.20	0
331	SLS	0.00	1.20	0	0.00	2.31	0	0.00	2.31	0	0.00	1.20	0
332	SLS	0.60	1.20	0	-0.53	2.04	0	-0.53	2.04	0	-0.29	1.20	0
351	SLS	0.00	1.20	0	0.00	2.04	0	0.00	2.04	0	0.00	1.20	0
601	SEISM	0.00	1.20	0	0.00	2.31	0	0.00	2.31	0	0.00	1.20	0

9.8. Αποτελέσματα στατικής ελαστικής γραμμικής ανάλυσης

9.8.1. Μετατοπίσεις [mm]

Σ.Φ.	Οριζον. μετατ. Δx mm	Υποστ. μετατ. Dy mm	Κατακ. μετατ. Κορυφής Dy mm	Βέλος ζυγώματος w mm
101	ULS-EQU	0.004	0.390	0.097
102	ULS-EQU	0.003	0.311	0.077
103	ULS-EQU	1.446	0.139	0.161
111	ULS-EQU	1.445	0.169	0.154
121	ULS-EQU	0.870	0.129	0.150
122	ULS-EQU	1.446	0.066	0.180
201	ULS-STR	0.005	0.413	0.103
202	ULS-STR	0.004	0.333	0.083
203	ULS-STR	1.446	0.117	0.167
210	ULS-STR	1.445	0.154	0.158
231	ULS-STR	0.869	0.093	0.141
251	ULS-STR	0.870	0.151	0.155
252	ULS-STR	1.447	0.044	0.185
301	SLS	0.003	0.300	0.075
302	SLS	0.003	0.247	0.061
303	SLS	0.964	0.053	0.117
311	SLS	0.580	0.126	0.110
312	SLS	0.965	0.004	0.130
331	SLS	0.002	0.169	0.042
332	SLS	0.194	0.109	0.053
351	SLS	0.002	0.149	0.037

9.8.2. Αντιδράσεις στηρίξεων

Σ.Φ.		Οριζόντια δύναμη Hed [kN], Κατακόρυφη δύναμη Ved [kN], Ροπή Med [kNm]			Ροπή Med [kNm]		
		Hed,1 kN	Ved,1 kN	Med,1 kNm	Hed,2 kN	Ved,2 kN	Med,2 kNm
101	ULS-EQU	4.1	24.0	0.0	-4.1	24.0	0.0
102	ULS-EQU	3.3	20.1	0.0	-3.3	20.1	0.0
103	ULS-EQU	-16.5	-8.2	0.0	-9.6	6.4	0.0
111	ULS-EQU	-16.9	-10.5	0.0	-9.3	4.0	0.0
121	ULS-EQU	-7.7	7.4	0.0	-8.0	16.2	0.0
122	ULS-EQU	-15.8	-4.6	0.0	-10.4	10.0	0.0
201	ULS-STR	4.3	25.8	0.0	-4.3	25.8	0.0
202	ULS-STR	3.5	21.9	0.0	-3.5	21.9	0.0
203	ULS-STR	-16.3	-6.4	0.0	-9.8	8.2	0.0
210	ULS-STR	-16.7	-9.4	0.0	-9.4	5.2	0.0
231	ULS-STR	-8.1	6.8	0.0	-7.6	15.6	0.0
251	ULS-STR	-7.5	9.2	0.0	-8.2	18.0	0.0
252	ULS-STR	-15.5	-2.8	0.0	-10.6	11.7	0.0
301	SLS	3.2	19.2	0.0	-3.2	19.2	0.0
302	SLS	2.6	16.6	0.0	-2.6	16.6	0.0
303	SLS	-10.6	-2.3	0.0	-6.8	7.4	0.0
311	SLS	-4.7	8.1	0.0	-5.7	13.9	0.0
312	SLS	-10.1	0.1	0.0	-7.3	9.8	0.0
331	SLS	1.8	12.8	0.0	-1.8	12.8	0.0
332	SLS	-0.9	9.0	0.0	-2.6	10.9	0.0
351	SLS	1.6	11.8	0.0	-1.6	11.8	0.0

9.8.3. Αξονικές δυνάμεις Ned [kN]

Σ.Φ.		Αριστερά υποστυλωμ Ned,1	Αριστερά ζύγωμα 2 Ned,2	Δεξιά ζύγωμα 3 Ned,3	Δεξιά υποστυλωμα 4 Ned,4
101	ULS-EQU	-21.5	-4.1	-4.1	-21.5
102	ULS-EQU	-17.6	-3.3	-3.3	-17.6
103	ULS-EQU	10.7	-1.1	-1.1	-3.8
111	ULS-EQU	12.6	-0.8	-0.8	-1.9
121	ULS-EQU	-4.9	-2.9	-2.9	-13.6
122	ULS-EQU	7.2	-1.9	-1.9	-7.4
201	ULS-STR	-22.9	-4.3	-4.3	-22.9
202	ULS-STR	-19.0	-3.5	-3.5	-19.0
203	ULS-STR	9.3	-1.4	-1.4	-5.2
210	ULS-STR	11.7	-1.0	-1.0	-2.9
231	ULS-STR	-3.7	-2.5	-2.5	-12.4
251	ULS-STR	-6.3	-3.2	-3.2	-15.0
252	ULS-STR	5.8	-2.2	-2.2	-8.8
301	SLS	-16.8	-3.2	-3.2	-16.8
302	SLS	-14.2	-2.6	-2.6	-14.2
303	SLS	4.6	-1.2	-1.2	-5.1
311	SLS	-5.8	-2.4	-2.4	-11.6
312	SLS	2.3	-1.7	-1.7	-7.5
331	SLS	-10.4	-1.8	-1.8	-10.4
332	SLS	-6.7	-1.5	-1.5	-8.6
351	SLS	-9.5	-1.6	-1.6	-9.5

9.8.4. Διατμητικές δυνάμεις Ved [kN]

Σ.Φ.		Αριστερά υποστυλωμ		Αριστερά ζύγωμα		Δεξιά ζύγωμα 3		Δεξιά υποστυλωμα 4	
		VedA,1	VedB,1	VedA,2	VedB,2	VedA,3	VedB,3	VedA,4	VedB,4
101	ULS-EQU	-4.1	-4.1	18.9	0.0	0.0	-18.9	4.1	4.1
102	ULS-EQU	-3.3	-3.3	15.0	0.0	0.0	-15.0	3.3	3.3
103	ULS-EQU	16.5	-1.1	-13.3	-7.3	-7.3	-1.2	1.1	9.6
111	ULS-EQU	16.9	-0.8	-14.7	-7.3	-7.3	0.2	0.8	9.3
121	ULS-EQU	7.7	-2.9	2.3	-4.4	-4.4	-11.0	2.9	8.0
122	ULS-EQU	15.8	-1.9	-9.7	-7.3	-7.3	-4.8	1.9	10.4
201	ULS-STR	-4.3	-4.3	19.9	0.0	0.0	-19.9	4.3	4.3
202	ULS-STR	-3.5	-3.5	16.1	0.0	0.0	-16.1	3.5	3.5
203	ULS-STR	16.3	-1.4	-12.2	-7.3	-7.3	-2.3	1.4	9.8
210	ULS-STR	16.7	-1.0	-14.0	-7.3	-7.3	-0.5	1.0	9.4
231	ULS-STR	8.1	-2.5	0.5	-4.4	-4.4	-9.2	2.5	7.6
251	ULS-STR	7.5	-3.2	3.4	-4.4	-4.4	-12.1	3.2	8.2
252	ULS-STR	15.5	-2.2	-8.7	-7.3	-7.3	-5.9	2.2	10.6
301	SLS	-3.2	-3.2	14.5	0.0	0.0	-14.5	3.2	3.2
302	SLS	-2.6	-2.6	11.9	0.0	0.0	-11.9	2.6	2.6
303	SLS	10.6	-1.2	-7.0	-4.9	-4.9	-2.7	1.2	6.8
311	SLS	4.7	-2.4	3.4	-2.9	-2.9	-9.3	2.4	5.7
312	SLS	10.1	-1.7	-4.6	-4.9	-4.9	-5.1	1.7	7.3
331	SLS	-1.8	-1.8	8.1	0.0	0.0	-8.1	1.8	1.8
332	SLS	0.9	-1.5	4.3	-1.0	-1.0	-6.3	1.5	2.6
351	SLS	-1.6	-1.6	7.1	0.0	0.0	-7.1	1.6	1.6

A:αριστερό άκρο, B δεξί άκρο

9.8.5. Καμπτικές ροπές Med [kNm]

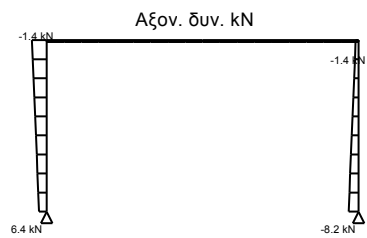
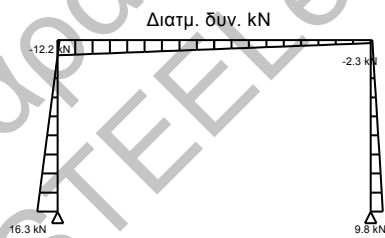
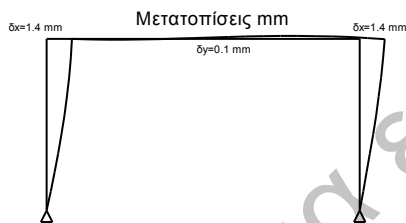
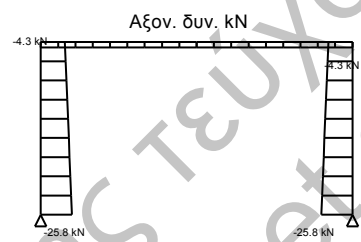
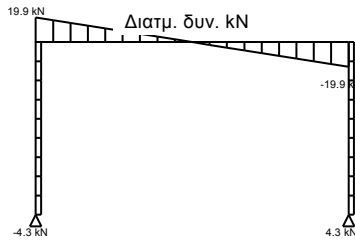
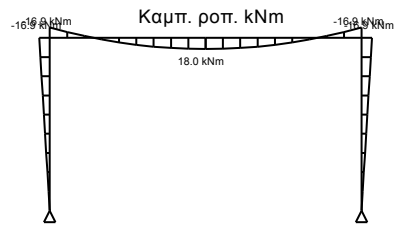
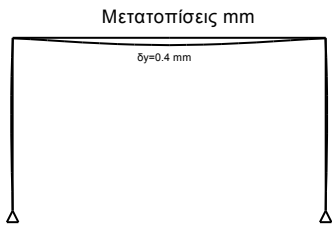
Σ.Φ.		Αριστερά υποστυλωμα 1			Δεξιά υποστυλωμα 4		
		MedA,1	MedM,1	MedB,1	MedA,4	MedM,4	MedB,4
101	ULS-EQU	0.0	-8.0	-16.0	-16.0	-8.0	0.0
102	ULS-EQU	0.0	-6.4	-12.7	-12.7	-6.4	0.0
103	ULS-EQU	0.0	30.2	30.0	-20.9	-10.5	0.0
111	ULS-EQU	0.0	31.3	31.2	-19.7	-9.9	0.0
121	ULS-EQU	0.0	10.9	9.3	-21.3	-10.6	0.0
122	ULS-EQU	0.0	27.4	27.0	-24.0	-12.0	0.0
201	ULS-STR	0.0	-8.5	-16.9	-16.9	-8.5	0.0
202	ULS-STR	0.0	-6.8	-13.6	-13.6	-6.8	0.0
203	ULS-STR	0.0	29.3	29.1	-21.9	-10.9	0.0
210	ULS-STR	0.0	30.7	30.6	-20.3	-10.2	0.0
231	ULS-STR	0.0	12.0	10.8	-19.8	-9.9	0.0
251	ULS-STR	0.0	10.2	8.4	-22.2	-11.1	0.0
252	ULS-STR	0.0	26.6	26.1	-24.9	-12.4	0.0
301	SLS	0.0	-6.1	-12.3	-12.3	-6.1	0.0
302	SLS	0.0	-5.0	-10.1	-10.1	-5.0	0.0
303	SLS	0.0	18.6	18.4	-15.6	-7.8	0.0
311	SLS	0.0	6.1	4.6	-15.8	-7.9	0.0
312	SLS	0.0	16.9	16.4	-17.6	-8.8	0.0
331	SLS	0.0	-3.4	-6.9	-6.9	-3.4	0.0
332	SLS	0.0	0.6	-1.2	-8.0	-4.0	0.0
351	SLS	0.0	-3.0	-6.1	-6.1	-3.0	0.0

A:αριστερό άκρο, C:τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο

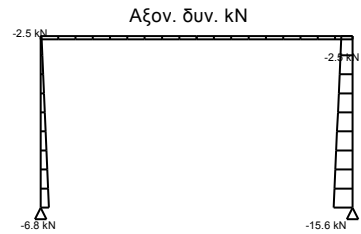
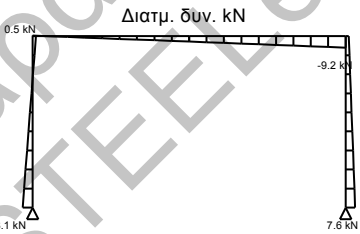
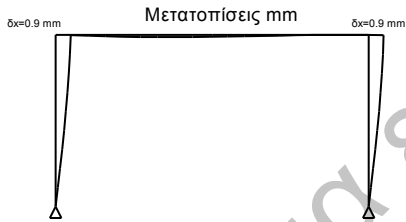
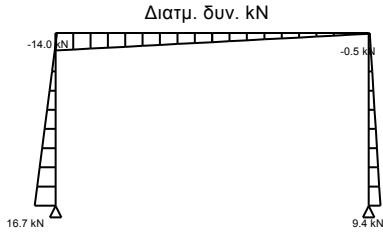
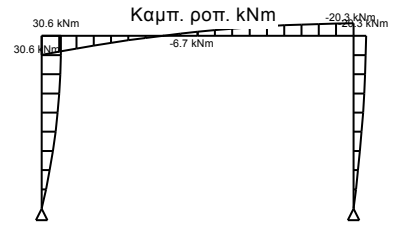
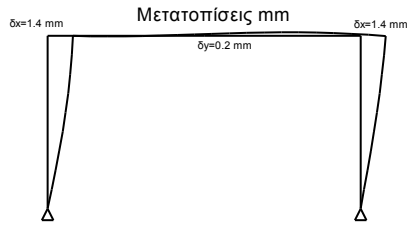
Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress

Σ.Φ.		Αριστερά ζύγωμα 2		MedB, 2	Δεξιά ζύγωμα 3		MedB, 3
		MedA, 2	MedM, 2		MedA, 3	MedM, 3	
101	ULS-EQU	-16.0	17.0	17.0	17.0	17.0	-16.0
102	ULS-EQU	-12.7	0.4	13.5	13.5	13.5	-12.7
103	ULS-EQU	30.0	12.0	-6.0	-6.0	-13.5	-20.9
111	ULS-EQU	31.2	12.0	-7.3	-7.3	-19.7	-19.7
121	ULS-EQU	9.3	10.7	5.7	5.7	-7.8	-21.3
122	ULS-EQU	27.0	12.1	-2.8	-2.8	-13.4	-24.0
201	ULS-STR	-16.9	18.0	18.0	18.0	18.0	-16.9
202	ULS-STR	-13.6	14.5	14.5	14.5	0.4	-13.6
203	ULS-STR	29.1	12.0	-5.1	-5.1	-13.5	-21.9
210	ULS-STR	30.6	12.0	-6.7	-6.7	-13.5	-20.3
231	ULS-STR	10.8	10.9	4.0	4.0	-7.9	-19.8
251	ULS-STR	8.4	10.9	6.6	6.6	-7.8	-22.2
252	ULS-STR	26.1	12.1	-1.8	-1.8	-13.4	-24.9
301	SLS	-12.3	0.4	13.1	13.1	0.4	-12.3
302	SLS	-10.1	0.3	10.7	10.7	0.3	-10.1
303	SLS	18.4	8.0	-2.3	-2.3	-8.9	-15.6
311	SLS	4.6	7.8	5.5	5.5	-5.2	-15.8
312	SLS	16.4	8.1	-0.2	-0.2	-8.9	-17.6
331	SLS	-6.9	0.2	7.3	7.3	0.2	-6.9
332	SLS	-1.2	5.0	4.7	4.7	-1.6	-8.0
351	SLS	-6.1	6.4	6.4	6.4	6.4	-6.1

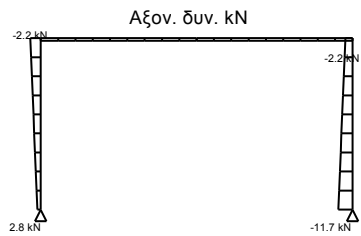
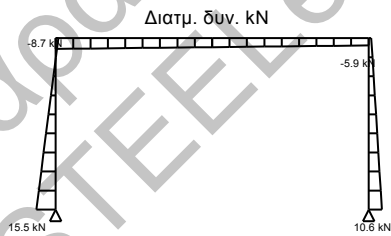
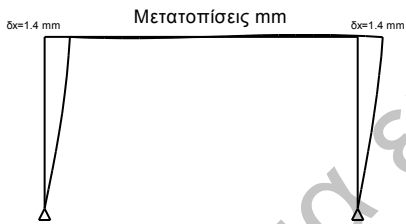
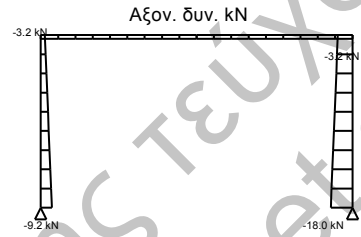
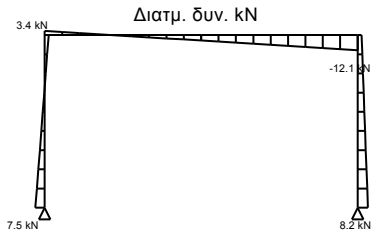
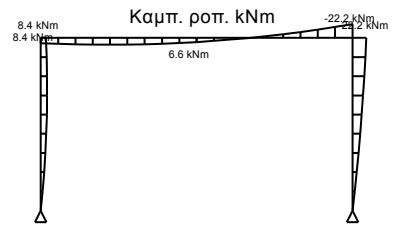
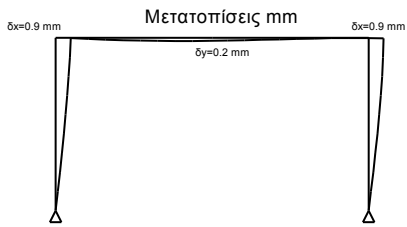
Α:αριστερό άκρο, C:τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο



Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress



Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress



9.9. Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης

9.9.1. Ιδιοσυχνότητες και ιδιομορφίες της κατασκευής

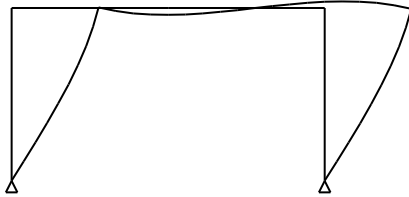
Σεισμική μάζα κτιρίου, για φόρτιση: Σ.Φ. 601: $G_k + 0.20Q_{s1}$

Ολικό κατακόρυφο φορτίο κτιρίου, για φόρτιση: Σ.Φ. 601: $G_k + 0.20Q_{s1}$, $G=25.5$ kN

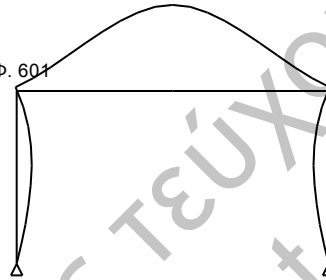
Σεισμική μάζα κτιρίου: $m=25.545 \times 1000 / 9.81 = 2.60 \times 10^3$ kg

- 1 $f= 11.398$ Hz $T= 0.088$ sec
- 2 $f= 50.631$ Hz $T= 0.020$ sec
- 3 $f= 130.308$ Hz $T= 0.008$ sec
- 4 $f= 148.343$ Hz $T= 0.007$ sec
- 5 $f= 233.103$ Hz $T= 0.004$ sec
- 6 $f= 241.470$ Hz $T= 0.004$ sec

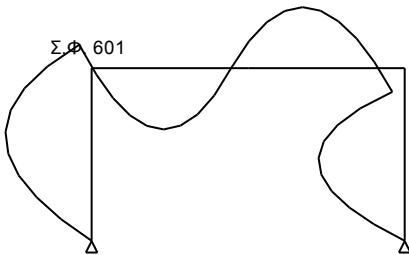
Σ.Φ. 601



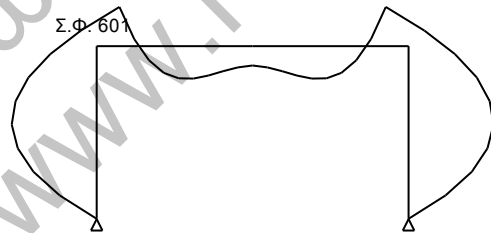
Σ.Φ. 601



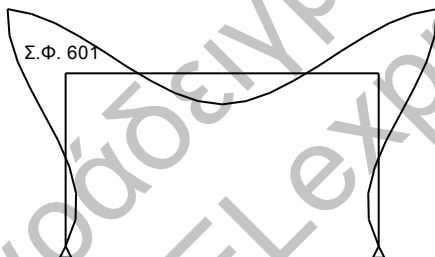
Σ.Φ. 601



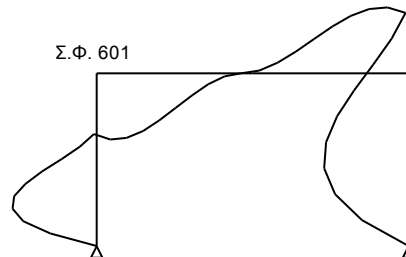
Σ.Φ. 601



Σ.Φ. 601



Σ.Φ. 601



9.9.2. Σεισμικές δυνάμεις, Ισοδύναμη Στατική μέθοδος

(EN1998-1-1, §4.3.3.2)

Διατμητική δύναμη στη βάση

(EN1998-1-1, §4.3.3.2.2)

Προσεγγιστική τιμή θεμελιώδους ιδιοπεριόδου T1

(EC8 §4.3.3.2.2(3), Εξ.4.6)

$$T1 = 0.085 \cdot H^{0.75} = 0.085 \times 3.90^{0.75} = 0.236 \text{ sec}$$

Τιμή θεμελιώδους ιδιοπεριόδου που προκύπτει από τη δυναμική ανάλυση T1=0.088 sec

Από το οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού με περίοδο ταλάντωσης T1=0.088sec προκύπτει

$$Sd(T1) = 0.160 \times 1.00 \times 1.00 \times [2.50/1.50] = 0.267 \cdot g = 2.616 \text{ m/s}^2$$

Από το κατακόρυφο φάσμα σχεδιασμού με περίοδο ταλάντωσης T1=0.088sec προκύπτει

$$Sve(T1) = 0.45 \times 0.160 \times 1.00 \times [3.00/1.50] = 0.144 \cdot g = 1.413 \text{ m/s}^2$$

Ολικό κατακόρυφο φορτίο κτιρίου, για φόρτιση: Σ.Φ. 601: Gk + 0.20Qs1, G=25.5 kN

Σεισμική μάζα κτιρίου: m=25.545x1000/9.81=2.60x10³kg

Σεισμική διατμητική δύναμη στη βάση Fb=S(T1) · m · λ

(EC8 §4.3.3.2.2, Εξ.4.5)

$$S(T1) = 2.616 \text{ m/s}^2, m = 2.60 \times 10^3 \text{ kg}, \lambda = 1.00, Fb = 2.616 \times 2.60 \times 1.00 = 6.8 \text{ kN}$$

Συντελεστής επάυξησης για στρεπτικά φαινόμενα

(EC8 §4.3.3.2.3, Εξ.4.12)

$$\delta = 1 + 0.60 \cdot x/Lc = 1 + 0.60 \times 10500/21000 = 1.30$$

Σεισμική διατμητική δύναμη στη βάση Fb=1.30x6.8=8.9 kN

Οριζόντια σεισμική δύναμη Fb=8.86kN εφαρμόζεται σε στάθμη H=3.900m

Κατακόρυφη σεισμική δύναμη Fv=1.413x2.60=3.7 kN

Μετατοπίσεις και εσωτερικές δυνάμεις M,V,N από γραμμική ελαστική ανάλυση

Μετατοπίσεις [mm]

Σ.Φ.	Οριζον. μετατ. Dx mm	Υποστ. Κατακ. μετατ. Dy mm	Κορυφής Βέλος ζυγώματος w mm
602	0.872	0.170	0.042

Αντιδράσεις στηρίξεων

Οριζόντια δύναμη Hed [kN], Κατακόρυφη δύναμη Ved [kN], Ροπή Med [kNm]

Σ.Φ.	Αριστερή στήριξη 1			Δεξιά στήριξη 2		
	Hed,1 kN	Ved,1 kN	Med,1 kNm	Hed,2 kN	Ved,2 kN	Med,2 kNm
602	-2.7	7.8	0.0	-6.2	17.7	0.0

Αξονικές δυνάμεις Ned [kN]

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλωμα Ned,1	Αριστερά ζύγωμα Ned,2	Δεξιά ζύγωμα Ned,3	Δεξιά υποστυλωμα Ned,4
	602	-5.5	-6.2	-6.2	-15.4

Διατμητικές δυνάμεις Ved [kN]

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλωμα VedA,1 VedB,1		Αριστερά ζύγωμα VedA,2 VedB,2		Δεξιά ζύγωμα VedA,3 VedB,3		Δεξιά υποστυλωμα VedA,4 VedB,4	
	602	2.7	2.7	3.2	-4.9	-4.9	-13.0	6.2	6.2

A:αριστερό άκρο, B δεξί άκρο

Καμπτικές ροπές Med [kNm]

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλωμα 1			Δεξιά υποστυλωμα 4		
	MedA,1	MedM,1	MedB,1	MedA,4	MedM,4	MedB,4
602	0.0	5.2	10.5	-24.1	-12.0	0.0

A:αριστερό άκρο, C:τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο

Σ.Φ.	Αριστερά ζύγωμα 2			Δεξιά ζύγωμα 3		
	MedA,2	MedM,2	MedB,2	MedA,3	MedM,3	MedB,3
602	10.5	3.7	7.3	7.3	3.7	-24.1

A:αριστερό άκρο, C:τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο

Μέγιστες εσωτερικές εντάσεις, Ισοδύναμη Στατική μέθοδος

(EC8 §4.3.3.2.2)

Υποστυλώματα

NedA	=	-17.7kN
NedB	=	-13.0kN
VedA	=	6.2kN
VedB	=	6.2kN
MedA	=	0.0kNm
MedB	=	24.1kNm
Nedmax	=	-17.7kN
Vedmax	=	6.2kN
Medmax	=	24.1kNm

Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων dx=0.9 mm

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress

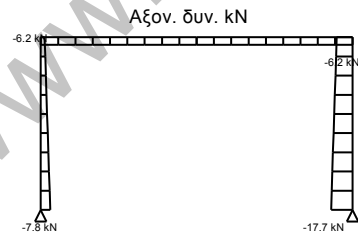
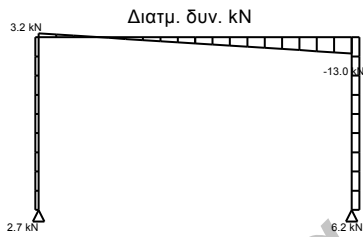
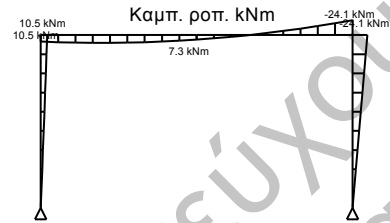
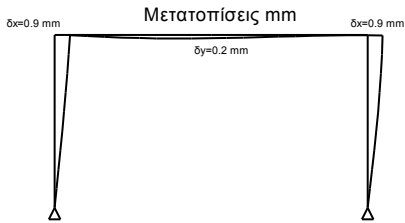
Ζυγώματα

NedA =	-6.2 kN
NedB =	-6.2 kN
VedA =	13.0 kN
VedB =	4.9 kN
MedA =	24.1 kNm
MedB =	7.3 kNm
Nedmax =	-6.2 kN
Vedmax =	13.0 kN
Medmax =	24.1 kNm

Estimate of seismic force at supports

Μέγιστη κατακόρυφη δύναμη προς τα κάτω $F_{v-} = -17.7 - 3.7/2 = -19.5$ kN

Μέγιστη κατακόρυφη δύναμη προς τα πάνω $F_{v+} = -7.8 + 3.7/2 = 0.0$ kN



9.9.3. Σεισμικές δυνάμεις, Δυναμική φασματική μέθοδος ανάλυσης

(EN1998-1-1, §4.3.3.3)

Ενεργή ιδιομορφική μάζα κατασκευής

(EN1998-1-1, §4.3.3.3.1 (3))

Από την δυναμική ανάλυση προκύπτουν οι ιδιοσυχνότητες και οι ιδιομορφίες της κατασκευής
Από το φάσμα σχεδιασμού προκύπτουν οι ιδιομορφικές τιμές επιτάχυνσης

	T sec	Sd(T)/g	Sd(T)m/s ²	Sve(T)/g	Sve(T)m/s ²
1	0.088	0.267	2.616	0.144	1.413
2	0.020	0.170	1.666	0.086	0.843
3	0.008	0.131	1.287	0.063	0.615
4	0.007	0.128	1.258	0.061	0.598

Sd(T):οριζόντιο ελαστικό φάσμα, Sve(T):κατακόρυφο ελαστικό φάσμα

Ιδιομορφικές μάζες $M_i = \Phi_i^T \cdot m \cdot \Phi_i$
 Ιδιομορφικές δράσεις $L_i = \Phi_i^T \cdot m \cdot I_i$
 Ενεργή ιδιομορφικές μάζες $m_i = L_i^2 / M_i$
 Ιδιομορφικές μετατοπίσεις $q_i = (L_i / M_i) \cdot S_d(T) \cdot T^2 / 4\pi^2$
 Ανύσματα ιδιομορφικών μετατοπίσεων $u_i = \delta \cdot q_i \cdot \Phi_i$
 Ιδιομορφικές εσωτερικές εντάσεις $E_i = K_e \cdot u_i$
 Μέγιστες εσωτερικές εντάσεις $E_e = \sqrt{[\sum E_i^2]}$

Συντελεστής επάυλισης για στρεπτικά φαινόμενα (EC8 §4.3.3.2.3, Εξ.4.12)

$\delta = 1 + 0.60 \cdot x / L_c = 1 + 0.60 \times 10500 / 21000 = 1.30$

T sec	Mi kg	Li kg	mi kg	qi m	
1	0.088	1.000x10 ³	1.481x10 ³	1.481x10 ³ (0.57xMtot)	0.00098
2	0.020	1.000x10 ³	1.011x10 ³	1.011x10 ³ (0.39xMtot)	0.00002
3	0.008	1.000x10 ³	-0.007x10 ³	0.007x10 ³ (0.00xMtot)	0.00000
4	0.007	1.000x10 ³	0.716x10 ³	0.106x10 ³ (0.04xMtot)	0.00000
	Mtot=	2.604x10 ³ Kg		2.604x10 ³ (1.00xMtot)	

Ανύσματα ιδιομορφικών μετατοπίσεων

u1	u2	u3	u4
0.000x10 ⁻³	0.000x10 ⁻⁶	0.000x10 ⁻⁹	0.000x10 ⁻⁶
0.000x10 ⁻³	0.000x10 ⁻⁶	0.000x10 ⁻⁹	0.000x10 ⁻⁶
0.223x10 ⁻³	3.538x10 ⁻⁶	12.734x10 ⁻⁹	-1.239x10 ⁻⁶
0.695x10 ⁻³	-0.355x10 ⁻⁶	2.024x10 ⁻⁹	0.287x10 ⁻⁶
0.005x10 ⁻³	1.318x10 ⁻⁶	-3.886x10 ⁻⁹	0.500x10 ⁻⁶
0.087x10 ⁻³	-6.724x10 ⁻⁶	-13.886x10 ⁻⁹	1.241x10 ⁻⁶
0.696x10 ⁻³	0.000x10 ⁻⁶	2.769x10 ⁻⁹	0.000x10 ⁻⁶
0.000x10 ⁻³	28.620x10 ⁻⁶	0.000x10 ⁻⁹	-0.245x10 ⁻⁶
-0.041x10 ⁻³	0.000x10 ⁻⁶	13.235x10 ⁻⁹	0.000x10 ⁻⁶
0.695x10 ⁻³	0.355x10 ⁻⁶	2.024x10 ⁻⁹	-0.287x10 ⁻⁶
-0.005x10 ⁻³	1.318x10 ⁻⁶	3.886x10 ⁻⁹	0.500x10 ⁻⁶
0.087x10 ⁻³	6.724x10 ⁻⁶	-13.886x10 ⁻⁹	-1.241x10 ⁻⁶
0.000x10 ⁻³	0.000x10 ⁻⁶	0.000x10 ⁻⁹	0.000x10 ⁻⁶
0.000x10 ⁻³	0.000x10 ⁻⁶	0.000x10 ⁻⁹	0.000x10 ⁻⁶
0.223x10 ⁻³	-3.538x10 ⁻⁶	12.734x10 ⁻⁹	1.239x10 ⁻⁶

Ιδιομορφικές εσωτερικές εντάσεις

	0.088s	0.020s	0.008s	0.007s
Υποστυλώματα				
NA kN	-4.1	-1.1	0.0	-0.4
NB kN	-4.1	-1.1	0.0	-0.4
VA kN	3.6	0.2	0.0	0.0
VB kN	-3.6	-0.2	0.0	0.0
MA kNm	0.0	0.0	0.0	0.0
MB kNm	-13.7	-1.0	0.0	0.1
Ζυγώματα				
NA kN	-1.5	-0.3	0.0	0.3
NB kN	-1.5	-0.3	0.0	0.3
VA kN	-4.0	-0.8	0.0	-0.1
VB kN	4.0	0.8	0.0	0.1
MA kNm	14.1	1.1	0.0	0.2
MB kNm	-0.1	1.8	0.0	0.1

Μέγιστες εσωτερικές εντάσεις, Δυναμική φασματική μέθοδος ανάλυσης

(EC8 §4.3.3.3.2 (2))

Υποστυλώματα

NedA =	-12.8-√[	4.1 ² +	1.1 ² +	0.0 ² +	0.4 ²]	=	-17.0 kN
NedB =	-8.1-√[	4.1 ² +	1.1 ² +	0.0 ² +	0.4 ²]	=	-12.4 kN
VedA =	-1.8-√[	3.6 ² +	0.2 ² +	0.0 ² +	0.0 ²]	=	5.3 kN
VedB =	-1.8-√[	3.6 ² +	0.2 ² +	0.0 ² +	0.0 ²]	=	5.3 kN
MedA =	0.0+√[	0.0 ² +	0.0 ² +	0.0 ² +	0.0 ²]	=	0.0 kNm
MedB =	-6.9-√[	13.7 ² +	1.0 ² +	0.0 ² +	0.1 ²]	=	-20.6 kNm
Nedmax=	-17.0 kN						
Vedmax=	5.3 kN						
Medmax=	20.6 kNm						

Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων dx=0.7 mm

Ζύγωμα

Ned A=	-1.8-√[	1.5 ² +	0.3 ² +	0.0 ² +	0.3 ²]	=	-3.3 kN
Ned B=	-1.8-√[	1.5 ² +	0.3 ² +	0.0 ² +	0.3 ²]	=	-3.3 kN
Ved A=	8.1+√[	4.0 ² +	0.8 ² +	0.0 ² +	0.1 ²]	=	12.2 kN
Ved B=	0.0+√[	4.0 ² +	0.8 ² +	0.0 ² +	0.1 ²]	=	4.1 kN
Med A=	-6.9-√[	14.1 ² +	1.1 ² +	0.0 ² +	0.2 ²]	=	-21.0 kNm
Med B=	7.3+√[	0.1 ² +	1.8 ² +	0.0 ² +	0.1 ²]	=	9.1 kNm
Nedmax=	-3.3 kN						
Vedmax=	12.2 kN						
Medmax=	21.0 kNm						

9.9.4. Σχεδιασμός σε σεισμικά φορτία

(EN1998-1-1, §6)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού για Μετατοπίσεις και Εσωτερικές Εντάσεις

Υποστυλώματα

NedA =	-17.7 kN
NedB =	-13.0 kN
VedA =	6.2 kN
VedB =	6.2 kN
MedA =	0.0 kNm
MedB =	24.1 kNm
Nedmax =	-17.7 kN
Vedmax =	6.2 kN
Medmax =	24.1 kNm

Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων dx=0.9 mm

Ζυγώματα

NedA =	-6.2 kN
NedB =	-6.2 kN
VedA =	13.0 kN
VedB =	4.9 kN
MedA =	24.1 kNm
MedB =	9.1 kNm
Nedmax =	-6.2 kN
Vedmax =	13.0 kN
Medmax =	24.1 kNm

9.9.5. Φαινόμενα δευτέρας τάξεως

(EC8 §4.4.2.2(2))

$$\theta = P_{tot} \cdot dr / (V_{tot} \cdot h) = 25.5 \times 0.9 / (8.9 \times 3900) = 0.001$$

$$\theta = 0.001 < 0.20, \quad 1 / (1 - \theta) = 1 / (1 - 0.001) = 1.001$$

Φαινόμενα δευτέρας τάξεως λαμβάνονται υπόψη πολλαπλασιάζοντας την σεισμικές

(EC8 §4.4.2.2(3))

δράσεις με ένα συντελεστή $1 / (1 - \theta) = 1.001$

9.9.6. Μέγιστες τιμές δυνάμεων και καμπτικών ροπών για σχεδιασμό σε σεισμικά φορτία

(EC8 §6.6)

Υποστυλώματα

(EC8 §6.6.3(1))

Ned=Ned,g+1.1·γον·Ω·[1/(1-θ)]·Ned,e
Ved=Ved,g+1.1·γον·Ω·[1/(1-θ)]·Ved,e
Med=Med,g+1.1·γον·Ω·[1/(1-θ)]·Med,e

Ζυγώματα

(EC8 §6.6.2(2))

Ned=Ned,g+[1/(1-θ)]·Ned,e
Ved=Ved,g+[1/(1-θ)]·Ved,e
Med=Med,g+[1/(1-θ)]·Med,e

$$\gamma_{ov} = 1.25$$

(EC8 §6.2(3))

$$\Omega = M_{pl,rd} / Med = [10^{-6}] \times (3.512 \times 10^6 \times 355 / 1.00) / 24.1 = 51.766$$

(EC8 §6.6.3(1))

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress

Υποστυλώματα

NedA =	-12.8+1.10x1.25x51.766x1.001x(	12.8-	17.7)=	-364.2kN
NedB =	-8.1+1.10x1.25x51.766x1.001x(	8.1-	13.0)=	-359.5kN
VedA =	1.8+1.10x1.25x51.766x1.001x(	6.2-	1.8)=	316.2kN
VedB =	1.8+1.10x1.25x51.766x1.001x(	6.2-	1.8)=	316.2kN
MedA =	0.0+1.10x1.25x51.766x1.001x(	0.0-	0.0)=	0.0kNm
MedB =	6.9+1.10x1.25x51.766x1.001x(	24.1-	6.9)=	1233.3kNm
Nedmax=	-364.2kN			
Vedmax=	316.2kN			
Medmax=	1233.3kNm			

(EC8 §6.6.3(1))

Ζυγώματα

NedA =	-1.8+1.001x(	1.8-	6.2)=	-6.2kN
NedB =	-1.8+1.001x(	1.8-	6.2)=	-6.2kN
VedA =	8.1+1.001x(	13.0-	8.1)=	13.0kN
VedB =	0.0+1.001x(	4.9-	0.0)=	4.9kN
MedA =	6.9+1.001x(	24.1-	6.9)=	24.1kNm
MedB =	7.3+1.001x(	9.1-	7.3)=	9.1kNm
Nedmax=	-6.2kN			
Vedmax=	13.0kN			
Medmax=	24.1kNm			

(EC8 §6.6.2(2))

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους
STEELexpress, www.runet.gr

9.10. Καθολική ανάλυση

(EN1993-1-1, §5.2)

9.10.1. Μεγεθυντικός συντελεστής λυγισμού

(EN1993-1-1, §5.2.1)

$\alpha_{cr} = (H_{nhf}/V_{ed}) (h/\delta h, ed)$ (Εξ.5.2)

Από ελαστική ανάλυση προκύπτει, Σ.Φ. 201: $0.925 \times 1.35G_k + 1.50Q_k = 1.25 \times G_k + 1.50Q_k$

Κατακόρυφη αντίδραση στη βάση υποστυλώματος

Ved= 25.8 kN

Οριζόντια αντίδραση στη βάση υποστυλώματος

Hed= 4.3 kN

Αξονική δύναμη ζυγμάτων

Nred= 4.3 kN

Υποθετική οριζόντια δύναμη εφαρμόζεται στην κορυφή των υποστυλωμάτων

Hnhf= 1.0 kN

Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή των υποστυλωμάτων για υποθετική οριζόντια δύναμη

$\delta h, ed = 0.20$ mm

$\alpha_{cr} = (1.0/25.8) (3900/0.20) = 769.01$ (Εξ.5.2)

Ελεγχος αξονικής θλίψης στα ζυγώματα. Αξονική θλίψη είναι σημαντική αν

(§5.2.1, (4)B)

$\lambda = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr})} > 0.3 \sqrt{(A \cdot f_y / N_{ed})}$, $N_{ed} > 0.09 N_{cr}$

(§5.2.1 Εξ.5.3)

Ανεπτυγμένο μήκος ζυγμάτων από υποστυλόμετρο σε υποστυλόμετρο $L = 7000 / \cos 0.00^\circ = 7000$ mm

$N_{cr} = \pi^2 EI / L^2 = \pi^2 \times 210 \times 920.80 \times 10^6 / (7000)^2 = 38948.3$ kN

Μεγίστη αξονική δύναμη στα ζυγώματα $N_{ed} = 4.3$ kN, Σ.Φ. 201: $0.925 \times 1.35G_k + 1.50Q_k$

$\lambda = \sqrt{(15600 \times 355 / 38948277)} = 0.38 \leq 0.3 \sqrt{(15600 \times 355 / 4339)} = 10.72$

Η αξονική θλίψη στα ζυγώματα δεν είναι σημαντική, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε Εξ.5.2

$\alpha_{cr} = 769.01 > 10$ (Εξ.5.1)

1ης-τάξεως ελαστική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί

(§5.2.2.1)

Μεγεθυντικός συντελεστής για ροπές σχεδιασμού $\delta = 1 / (1 - 1/\alpha_{cr}) = 1 / (1 - 1/769.01) = 1.00$

(Εξ.5.4)

9.10.2. Ατέλειες για καθολική ανάλυση

(EN1993-1-1, §5.3.2)

$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \cdot \delta = (1/200) \times 1.000 \times 0.866 \times 1.001 = 4.336 \times 10^{-3} = 1/231$ (Εξ.5.5)

$\phi_0 = 1/200$, $\alpha_h = 2/\sqrt{h} = 2/\sqrt{3.900} = 1.000$, $2/3 \leq \alpha_h \leq 1.0$, $\alpha_m = \sqrt{(0.5(1+1/2))} = 0.866$

Ατέλειες σε αρχική οριζόντια μετατόπιση μπορούν να παραβλεπτούν όταν $H_{ed} > 0.15 V_e$ (§5.3.2 (4) Εξ.5.7)

Επίδραση ατελειών σε αρχική οριζόντια μετατόπιση $H_{eq} = 4.336 \times 10^{-3} \times V_{ed}$

(§5.3.2 (5))

9.10.3. Ατέλειες σε οριζόντια μετατόπιση υποστυλωμάτων

(EN1993-1-1, §5.3.2)

Αντιδράσεις στηρίξεων, Οριζόντια δύναμη Hed [kN], Κατακόρυφη δύναμη Ved [kN]

		Αριστερή στήριξη 1	Δεξιά στήριξη 2	Hed1+Hed2	Ved1+Ved2	Hed/Vhe	$\phi \cdot V_{ed}$
		Hed,1	Hed,2	Hed	Ved		Heq kN
201	ULS-STR	4.3	-4.3	0.0	51.6	0.00	0.112
202	ULS-STR	3.5	-3.5	0.0	43.8	0.00	0.095
203	ULS-STR	-16.3	-9.8	-26.1	1.8	14.79	0.000
210	ULS-STR	-16.7	5.2	-26.1	-4.1	6.31	0.000
231	ULS-STR	-8.1	15.6	-15.7	22.4	0.70	0.000
251	ULS-STR	-7.5	18.0	-15.7	27.2	0.58	0.000
252	ULS-STR	-15.5	11.7	-26.1	8.9	2.93	0.000

9.10.4. Εσωτερικές δυνάμεις και καμτικές ροπές με επίδραση ατελειών

9.10.5. Αξονικές δυνάμεις Ned [kN]

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλόμετρο 1	Αριστερά ζύγωμα 2	Δεξιά ζύγωμα 3	Δεξιά υποστυλόμετρο 4
	Ned,1	Ned,2	Ned,3	Ned,4
201 ULS-STR	-22.8	-4.4	-4.4	-22.9
202 ULS-STR	-18.9	-3.5	-3.5	-19.0
203 ULS-STR	9.3	-1.4	-1.4	-5.2
210 ULS-STR	11.7	-1.0	-1.0	-2.9
231 ULS-STR	-3.7	-2.5	-2.5	-12.4
251 ULS-STR	-6.3	-3.2	-3.2	-15.0
252 ULS-STR	5.8	-2.2	-2.2	-8.8

9.10.6. Διατμητικές δυνάμεις Ved [kN]

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλόμετρο 1	Αριστερά ζύγωμα 2	Δεξιά ζύγωμα 3	Δεξιά υποστυλόμετρο 4
	VedA,1	VedB,1	VedA,3	VedB,3
201 ULS-STR	-4.3	-4.3	-0.1	-20.0
202 ULS-STR	-3.4	-3.4	-0.1	-16.1
203 ULS-STR	16.3	-1.4	-7.3	-2.3
210 ULS-STR	16.7	-1.0	-7.3	-0.5
231 ULS-STR	8.1	-2.5	0.5	-4.4
251 ULS-STR	7.5	-3.2	3.4	-4.4
252 ULS-STR	15.5	-2.2	-8.7	-7.3

A:αριστερό άκρο, B δεξί άκρο

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress

9.10.7. Καμπτικές ροπές Med [kNm]

Σ.Φ.		Αριστερά υποστυλώμα 1			Δεξιά υποστυλώμα 4		
		MedA,1	MedM,1	MedB,1	MedA,4	MedM,4	MedB,4
201	ULS-STR	0.0	-8.4	-16.7	-17.1	-8.6	0.0
202	ULS-STR	0.0	-6.7	-13.4	-13.8	-6.9	0.0
203	ULS-STR	0.0	29.3	29.1	-21.9	-10.9	0.0
210	ULS-STR	0.0	30.7	30.6	-20.3	-10.2	0.0
231	ULS-STR	0.0	12.0	10.8	-19.8	-9.9	0.0
251	ULS-STR	0.0	10.2	8.4	-22.2	-11.1	0.0
252	ULS-STR	0.0	26.6	26.1	-24.9	-12.4	0.0

A:αριστερό άκρο, C:τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο

Σ.Φ.		Αριστερά ζύγωμα 2			Δεξιά ζύγωμα 3		
		MedA,2	MedM,2	MedB,2	MedA,3	MedM,3	MedB,3
201	ULS-STR	-16.7	18.0	18.0	18.0	0.4	-17.1
202	ULS-STR	-13.4	14.5	14.5	14.5	0.3	-13.8
203	ULS-STR	29.1	12.0	-5.1	-5.1	-13.5	-21.9
210	ULS-STR	30.6	12.0	-6.7	-6.7	-13.5	-20.3
231	ULS-STR	10.8	10.9	4.0	4.0	-7.9	-19.8
251	ULS-STR	8.4	10.9	6.6	6.6	-7.8	-22.2
252	ULS-STR	26.1	12.1	-1.8	-1.8	-13.4	-24.9

A:αριστερό άκρο, C:τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο

9.11. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

(EN1993-1-1, §7)

9.11.1. Κατακόρυφη μετατόπιση κόμβου κορυφής

(EN1993-1-1, §7.2.1)

Μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση, Σ.Φ. 301: $G_k + Q_k$ $D_y = 0.3 \text{ mm} = 7000/23333 = L/23333$
 Κατακόρυφη μετατόπιση λόγω επιβεβλημένου φορτίου μόνον $D_y = 0.2 \text{ mm} = 7000/70000 = L/35000$
 Κατακόρυφη μετατόπιση λόγω φορτίου χιονιού μόνον $D_y = 0.1 \text{ mm} = 7000/70000 = L/70000$
 Οριο Κατακόρυφης μετατόπισης $L/200$, Έλεγχος ικανοποιείται

9.11.2. Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων

(EN1993-1-1, §7.2.2)

Μέγιστη οριζόντια μετατόπιση, Σ.Φ. 312: $G_k + Q_{w1} + 0.5Q_{s1}$ $D_x = 1.0 \text{ mm} = 3900/3900 = h/3900$
 Οριζόντια μετατόπιση λόγω φορτίου ανέμου μόνο $D_x = 1.0 \text{ mm} = 3900/3900 = h/3900$
 Οριο Οριζόντιας μετατόπισης $H/150$, Έλεγχος ικανοποιείται

9.11.3. Χαρακτηριστικά δυναμικής ανάλυσης

(EN1993-1-1, §7.2.3)

Ιδιοσυχνότητες και ιδιομορφίες της κατασκευής

Σεισμική μάζα κτιρίου, για φόρτιση: Σ.Φ. 601: $G_k + 0.2Q_{s1}$

1	f=	11.398 Hz	T=	0.088 sec
2	f=	50.631 Hz	T=	0.020 sec
3	f=	130.308 Hz	T=	0.008 sec
4	f=	148.343 Hz	T=	0.007 sec
5	f=	233.103 Hz	T=	0.004 sec
6	f=	241.470 Hz	T=	0.004 sec

Διατομή : IPE 600-S 355

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

$$N_{ed} = 9.4 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 16.7 \text{ kN}$$

$$M_{yed} = 30.6 \text{ kNm}, \quad M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$$

$$M_{yed} = 25.4 \text{ kNm} \text{ (Κορυφή υποστυλώματος κάτω του ζυγώματος)}$$

Μήκος λυγισμού, Λυγισμός στο επίπεδο $L_{cr,y} = 3231 \text{ mm}$ (Αμετάθετα συστήματα) (EC3 §5.5.2.(7))

Μήκος λυγισμού, Λυγισμός εκτός επιπέδου $L_{cr,z} = 3600 \text{ mm}$ (Μήκος υποστυλώματος χωρίς την ενίσχυση)

Μήκος λυγισμού, Στρεπτικός λυγισμός $L_{cr,t} = 3600 \text{ mm}$

Μήκος λυγισμού, Πλευρικός στρεπτικός λυγισμός $L_{cr,lt} = 3600 \text{ mm}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού για ανάλυση σε σεισμικά φορτία

$$N_{ed} = 364.2 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 316.2 \text{ kN}$$

$$M_{yed} = 1233.3 \text{ kNm}, \quad M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$$

$$M_{yed} = 1138.5 \text{ kNm} \text{ (Κορυφή υποστυλώματος κάτω του ζυγώματος)}$$

9.12.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Υποσύλωμα

(EN1993-1-1, §5.5)

Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής $\sigma = N_{ed}/A_{el} \pm M_{yed}/W_{el,y} \pm M_{zed}/W_{el,z}$

$$\sigma = [10^3]9.40/15600 \pm [10^6]30.60/3069.0 \times 10^3 \pm [10^6]0.00/307.9 \times 10^3$$

$$\sigma_1 = 11 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_2 = -9 \text{ N/mm}^2 \text{ (θλίψη θετική)}$$

Κορυμός

$$c = 600.0 - 2 \times 19.0 - 2 \times 24.0 = 514.0 \text{ mm}, \quad t = 12.0 \text{ mm}, \quad c/t = 514.0/12.0 = 42.83$$

$$S \ 355, \quad t = 12.0 \leq 40 \text{ mm}, \quad f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \quad \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$$

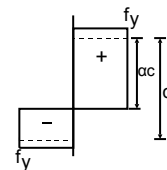
Θέση ουδέτερου άξονα για συνδυασμό Κάμψη και θλίψη

$$N_{ed}/(2t \cdot f_y/\gamma_{M0}) = 9400/(2 \times 12.0 \times 355/1.00) = 1.1 \text{ mm}$$

$$\alpha = (514.0/2 + 1.1)/514.0 = 0.502 > 0.5$$

$$c/t = 42.83 \leq 396 \times 0.81 / (13 \times 0.502 - 1) = 58.03$$

Ο κορυμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



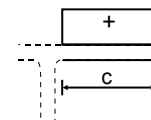
Πέλμα

$$c = 220.0/2 - 12.0/2 - 24.0 = 80.0 \text{ mm}, \quad t = 19.0 \text{ mm}, \quad c/t = 80.0/19.0 = 4.21$$

$$S \ 355, \quad t = 19.0 \leq 40 \text{ mm}, \quad f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \quad \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$$

$$c/t = 4.21 \leq 9 \epsilon = 9 \times 0.81 = 7.29$$

Το πέλμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη και θλίψη $N_{c,ed} + M_{y,ed}$

9.12.2. Αντοχή διατομής, Υποσύλωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.2)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη

(EN1993-1-1, §6.2.4)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

$$N_{c,ed} = 364.20 \text{ kN}$$

$$\text{Θλιπτική αντοχή } N_{pl,rd} = A \cdot f_y/\gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 15600 \times 355/1.00 = 5538.00 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 364.20 \text{ kN} < 5538.00 \text{ kN} = N_{c,rd} = N_{pl,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{ed}/N_{c,rd} = 364.20/5538.00 = 0.066 < 1$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη $y-y$

(EN1993-1-1, §6.2.5)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

$$M_{y,ed} = 1233.33 \text{ kNm}$$

$$\text{Καμπτική αντοχή } M_{pl,y,rd} = W_{ply} \cdot f_y/\gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355/1.00 = 1246.76 \text{ kNm}$$

$$M_{y,ed} = 1233.33 \text{ kNm} < 1246.76 \text{ kNm} = M_{y,rd} = M_{pl,y,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_{y,ed}/M_{y,rd} = 1233.33/1246.76 = 0.989 < 1$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

Vz.ed=316.20 kN

$A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 15600 - 2 \times 220.0 \times 19.0 + (12.0 + 2 \times 24.0) \times 19.0 = 8380 \text{ mm}^2$ (EC3 §6.2.6.3)

$A_v = 8380 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (600.0 - 2 \times 19.0) \times 12.0 = 1.00 \times 562.0 \times 12.0 = 6744 \text{ mm}^2$

Πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 8380 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 1717.56 \text{ kN}$

$V_{z,ed} = 316.20 \text{ kN} < 1717.56 \text{ kN} = V_{z,rd} = V_{pl,z,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$V_{z,ed} / V_{z,rd} = 316.20 / 1717.56 = 0.184 < 1$

$h_w / t_w = (600.0 - 2 \times 19.0) / 12.0 = 562.0 / 12.0 = 46.83 \leq 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \epsilon / \eta = 58.32$ ($\eta = 1.00$)

S 355, $t = 12.0 \leq 40 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon = (235 / 355)^{0.5} = 0.81$

Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα (EC3 §6.2.6.6)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη

(EN1993-1-1, §6.2.9)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

N.ed= 364.20kN (Θλίψη), Vz.ed= 316.20kN, My.ed= 1233.33kNm

$N_{pl,rd} = 5538.00 \text{ kN}$, $M_{pl,y,rd} = 1246.76 \text{ kNm}$, $V_{pl,z,rd} = 1717.56 \text{ kN}$

$N_{ed} = 364.20 \text{ kN} \leq 0.25 \times 5538.00 = 0.25 \times N_{pl,rd} = 1384.50 \text{ kN}$

$N_{ed} = 364.20 \text{ kN} \leq [10^{-3}] \times 0.5 \times 562.0 \times 12.0 \times 355 / 1.00 = 0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1197.06 \text{ kN}$

$n = N_{ed} / N_{pl,rd} = 364 / 5538 = 0.066$

Η επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται (EC3 §6.2.9.1 Εξ.6.33, Εξ.6.34, Εξ.6.35)

$V_{ed} = 316.20 \text{ kN} \leq 0.50 \times 1717.56 = 0.50 \times V_{pl,rd} = 858.78 \text{ kN}$

Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται (EC3 §6.2.8.2)

$M_{y,ed} = 1233.33 \text{ kNm} < 1246.76 \text{ kNm} = M_{pl,y,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed} / M_{pl,y,rd} = 1233.33 / 1246.76 = 0.989 < 1$

9.12.3. Μήκος λυγισμού, Λυγισμός στο επίπεδο

(EN1993-1-1, §5.2.2.8)

Μήκη λυγισμού ENV 1993-1-1:1992 Annex E

$k_c = I_{cx} 10^6 / H = 921 / 3900 = 236102.56$, $k_{l2} = 1.50 I_{bx} 10^6 / L = 1.50 \times 921 / 7000 = 197314.28$

$\eta_2 = 1.00$, $\eta_1 = K_c / (k_c + k_{l2}) = 236102.56 / (236102.56 + 197314.28) = 1.000$

Υποσύλωμα αμετάθετου πλαισίου, $k_y = 0.828$, $L_{cr,y} = 0.828 \times 3900 = 3231 \text{ mm}$, ENV 1993-1-1:1992 Annex E.5

9.12.4. Καμπτικός λυγισμός, Υποσύλωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.3.1)

Nc.ed=364.20 kN, Lcr,y=3.231 m, Lcr,z=3.600 m

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y} = 0.828 \times 3900 = 3231 \text{ mm}$, $L_{cr,z} = 0.923 \times 3900 = 3600 \text{ mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (3231 / 243.0) \times (1 / 76.06) = 0.175$

$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3600 / 46.6) \times (1 / 76.06) = 1.016$

$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \epsilon = 76.06$, $\epsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$

$h/b = 600 / 220 = 2.73 > 1.20$, $t_f = 19.0 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$

$\bar{\lambda} \leq 0.20$, $\chi_y = 1.00$

(EC3 §6.3.1.2.4)

z-z καμπύλη λυγισμού: b, συντελεστής ατελειών: $\alpha_z = 0.34$, $\chi_z = 0.587$

$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 [1 + 0.34 \times (1.016 - 0.2) + 1.016^2] = 1.155$

$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.155 + \sqrt{(1.155^2 - 1.016^2)}] = 0.587 < 1$ $\chi_z = 0.587$

Μειωτικός συντελεστής $\chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}]$, $\chi \leq 1.0$, $\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$, $\chi = 0.587$ (EC3 Εξ.6.49)

$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.587 \times [10^{-3}] \times 15600 \times 355 / 1.00 = 3250.81 \text{ kN}$ (EC3 Εξ.6.47)

$N_{c,ed} = 364.20 \text{ kN} < 3250.81 \text{ kN} = N_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$N_{c,ed} / N_{b,rd} = 364.20 / 3250.81 = 0.112 < 1$

9.12.5. Πλευρικός λυγισμός, Υποσύλωμα (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

$M_{y,ed}=1138.50 \text{ kN}$, $L=3.900\text{m}$, $L_{cr,y}=3.231\text{m}$, $L_{cr,z}=3.600\text{m}$, $L_{cr,lt}=3.600\text{m}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$M_{cr}=C1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GI_t / (\pi^2 EI_z) + (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j)^2]} - (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j) \}$

Μέθοδος υπολογισμού $C1, C2, C3$: *ECCS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006*

$\psi = M_b/M_a = 25.4 / -69.0 = -0.37$, $C1 = 2.183$, $C2 = 0.000$, $C3 = 1.000$,

$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

$k \cdot L = 3600\text{mm}$, $z_g = h/2 = 600/2 = 300\text{mm}$, $z_j = 0\text{mm}$

(EN1993:2002 Εξ.6.11)

$k_y = 0.8$, $k_z = 1.0$, $k_w = 1.0$, $C1 = 2.183$, $C2 = 0.000$, $C3 = 1.000$

$M_{cr} = [10^{-6}] 2.183 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 33.870 \times 10^6 / 3600^2]$

$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (2845.5 \times 10^9 / 33.870 \times 10^6)]$

$+ 3600^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 1.654 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 33.870 \times 10^6) \}^{0.5} = 3897.3 \text{ kNm}$

$\bar{\lambda}_{,lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 / 3897.3)} = 0.566$

(EC3 Εξ.6.56)

$h/b = 600/220 = 2.73 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c

συντελεστής ατελειών: $\alpha_{,lt} = 0.49$, $\beta = 0.75$, $\chi_{,lt} = 0.906$

(Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)

$\Phi_{,lt} = 0.5 [1 + \alpha_{,lt} (\bar{\lambda}_{,lt} - \bar{\lambda}_{,lto}) + \beta \bar{\lambda}_{,lt}^2] = 0.5 [1 + 0.49 \times (0.566 - 0.40) + 0.75 \times 0.566^2] = 0.661$

$\chi_{,lt} = 1 / [\Phi_{,lt} + \sqrt{(\Phi_{,lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{,lt}^2)}] = 1 / [0.661 + \sqrt{(0.661^2 - 0.75 \times 0.566^2)}] = 0.906$

Μειωτικός συντελεστής $\chi_{,lt} = 1 / [\Phi_{,lt} + \sqrt{(\Phi_{,lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{,lt}^2)}]$, $\chi_{,lt} \leq 1.0$, $1 / \bar{\lambda}_{,lt}^2$, $\chi_{,lt} = 0.906$ (Εξ.6.57)

$\chi_{,lt,mod} = \chi_{,lt} / f$, $\chi_{,lt,mod} \leq 1$, $\chi_{,lt,mod} \leq 1 / \bar{\lambda}_{,lt}^2 = 1 / 0.566^2 = 3.13$

(EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)

$K_c = 1 / (1.33 - 0.33\psi) = 0.689$, $\psi = -0.37$

(EC3 Πιν.6.6)

$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{,lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.689) [1 - 2.0 \times (0.566 - 0.8)^2] = 0.862$, $f \leq 1.0$

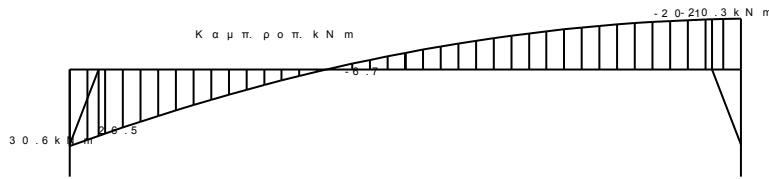
$\chi_{,lt,mod} = \chi_{,lt} / f = 0.906 / 0.862 = 1.052$, $\chi_{,lt,mod} \leq 1.0$, $\chi_{,lt,mod} \leq 3.13$, $\chi_{,lt,mod} = 1.000$

$M_{b,rd} = \chi_{,lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1.000 \times [10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 1246.76 \text{ kNm}$

(EC3 Εξ.6.55)

$M_{y,ed} = 1138.50 \text{ kNm} < 1246.76 \text{ kNm} = M_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 1138.50 / 1246.76 = 0.913 < 1$



Διατομή : ΙΡΕ 600-S 355

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

Ned = 1.0 kN
 Ved = 7.3 kN
 Myed = 20.1 kNm, Mzed = 0.0 kNm
 Myed = 13.5 kNm (στο μέσο ανοίγματος)
 Myed = -26.5 kNm (στην παρειά υποστυλώματος)
 Myed = -30.6 kNm (στον άξονα του υποστυλώματος)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

Ned = 1.0 kN
 Ved = 7.3 kN
 Myed = -13.5 kNm

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού για ανάλυση σε σεισμικά φορτία

Ned = 6.2 kN
 Ved = 13.0 kN
 Myed = 24.1 kNm, Mzed = 0.0 kNm
 Myed = 22.0 kNm (στην παρειά υποστυλώματος)

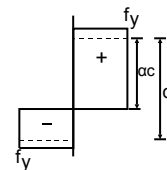
9.13.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Ζύγωμα

(EN1993-1-1, §5.5)

Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής $\sigma = N_{ed}/A_{el} \pm M_{yed}/W_{el.y} \pm M_{zed}/W_{el.z}$
 $\sigma = [10^3]1.00/15600 \pm [10^6]20.10/3069.0 \times 10^3 \pm [10^6]0.00/307.9 \times 10^3$
 $\sigma_1 = 7 \text{ N/mm}^2, \sigma_2 = -6 \text{ N/mm}^2$ (θλίψη θετική)

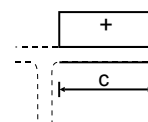
Κορμός

$c = 600.0 - 2 \times 19.0 - 2 \times 24.0 = 514.0 \text{ mm}, t = 12.0 \text{ mm}, c/t = 514.0/12.0 = 42.83$
 S 355, $t = 12.0 \leq 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$
 Θέση ουδέτερου άξονα για συνδυασμό Κάμψη και θλίψη
 $N_{ed}/(2t \cdot f_y/\gamma_{M0}) = 1000/(2 \times 12.0 \times 355/1.00) = 0.1 \text{ mm}$
 $\alpha = (514.0/2 + 0.1)/514.0 = 0.500 > 0.5$
 $c/t = 42.83 \leq 396 \times 0.81 / (13 \times 0.500 - 1) = 58.29$
 Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Πέλμα

$c = 220.0/2 - 12.0/2 - 24.0 = 80.0 \text{ mm}, t = 19.0 \text{ mm}, c/t = 80.0/19.0 = 4.21$
 S 355, $t = 19.0 \leq 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$
 $c/t = 4.21 \leq 9 \epsilon = 9 \times 0.81 = 7.29$
 Το πέλμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη και θλίψη $N_{c,ed} + M_{y,ed}$

9.13.2. Αντοχή διατομής, Ζύγμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.2)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη

(EN1993-1-1, §6.2.4)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

Nc.ed= 6.20 kN

Θλιπτική αντοχή $N_{plrd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 15600 \times 355 / 1.00 = 5538.00 \text{ kN}$

$N_{ed} = 6.20 \text{ kN} < 5538.00 \text{ kN} = N_{c,rd} = N_{plrd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$N_{ed}/N_{c,rd} = 6.20/5538.00 = 0.001 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη y-y

(EN1993-1-1, §6.2.5)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

My.ed= 26.50 kNm

Καμπτική αντοχή $M_{ply,rd} = W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 1246.76 \text{ kNm}$

$M_{y,ed} = 26.50 \text{ kNm} < 1246.76 \text{ kNm} = M_{y,rd} = M_{ply,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed}/M_{y,rd} = 26.50/1246.76 = 0.021 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 201: 1.25xGk+1.50Qk

Vz.ed= 18.30 kN

$A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 15600 - 2 \times 220.0 \times 19.0 + (12.0 + 2 \times 24.0) \times 19.0 = 8380 \text{ mm}^2$ (EC3 §6.2.6.3)

$A_v = 8380 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (600.0 - 2 \times 19.0) \times 12.0 = 1.00 \times 562.0 \times 12.0 = 6744 \text{ mm}^2$

Πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 8380 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 1717.56 \text{ kN}$

$V_{z,ed} = 18.30 \text{ kN} < 1717.56 \text{ kN} = V_{z,rd} = V_{pl,z,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$V_{z,ed}/V_{z,rd} = 18.30/1717.56 = 0.011 < 1$

$h_w/t_w = (600.0 - 2 \times 19.0) / 12.0 = 562.0 / 12.0 = 46.83 < 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \varepsilon / \eta = 58.32$ ($\eta = 1.00$)

S 355, $t = 12.0 \leq 40 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\varepsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$

Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα

(EC3 §6.2.6.6)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη

(EN1993-1-1, §6.2.9)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

N.ed= 6.20kN (Θλίψη), Vz.ed= 13.00kN, My.ed= 22.00kNm

$N_{plrd} = 5538.00 \text{ kN}$, $M_{pl,y,rd} = 1246.76 \text{ kNm}$, $V_{pl,z,rd} = 1717.56 \text{ kN}$

$N_{ed} = 6.20 \text{ kN} \leq 0.25 \times 5538.00 = 0.25 \times N_{plrd} = 1384.50 \text{ kN}$

$N_{ed} = 6.20 \text{ kN} \leq [10^{-3}] \times 0.5 \times 562.0 \times 12.0 \times 355 / 1.00 = 0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1197.06 \text{ kN}$

Η επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.9.1 Εξ.6.33, Εξ.6.34, Εξ.6.35)

$V_{ed} = 13.00 \text{ kN} \leq 0.50 \times 1717.56 = 0.50 \times V_{pl,rd} = 858.78 \text{ kN}$

Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.8.2)

$M_{y,ed} = 22.00 \text{ kNm} < 1246.76 \text{ kNm} = M_{ply,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed}/M_{ply,rd} = 22.00/1246.76 = 0.018 < 1$

9.13.3. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγμα μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

$N_{ed} = 1.0 \text{ kN}$

$V_{ed} = 0.5 \text{ kN}$

$M_{yed} = 20.1 \text{ kNm}$, $M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$

Μήκος ζυγώματος $L_r = 7000 \text{ mm}$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο

$\alpha_{cr} = 769.01$, $N_{ed} = 1.0 \text{ kN}$, $L_{cr,y} = \pi \sqrt{EI / \alpha_{cr} \cdot N_{ed}} \leq L_r = 7000 \text{ mm}$

$L_{cr,y} = \pi \sqrt{[210000 \times 920.80 \times 10^6 / (769.01 \times 1.0 \times 10^3)]} = 49817 \text{ mm}$, $L_{cr,y} = 7000 \text{ mm}$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο $L_{cr,y} = 7000 \text{ mm}$ (Μήκος συστήματος)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου $L_{cr,z} = 3000 \text{ mm}$ (Απόσταση τεγίδων)

9.13.4. Καμπτικός λυγισμός, Ζύγμα μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.3.1)

Nc.ed=0.99 kN, Lcr,y=7.000 m, Lcr,z=3.000 m

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y} = 1.000 \times 7000 = 7000 \text{ mm}$, $L_{cr,z} = 0.429 \times 7000 = 3000 \text{ mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (7000 / 243.0) \times (1 / 76.06) = 0.379$

$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3000 / 46.6) \times (1 / 76.06) = 0.846$

$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \varepsilon = 76.06$, $\varepsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$

$$h/b=600/220=2.73 > 1.20, \quad t_f=19.0\text{mm} \leq 40\text{ mm}$$

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: } a, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_y=0.21, \quad \chi_y=0.958 \quad (\text{Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_y=0.5[1+\alpha_y(\bar{\lambda}_y-0.2)+\bar{\lambda}_y^2]=0.5x[1+0.21x(0.379-0.2)+0.379^2]=0.591$$

$$\chi_y=1/[\Phi_y+\sqrt{(\Phi_y^2-\bar{\lambda}_y^2)}]=1/[0.591+\sqrt{(0.591^2-0.379^2)}]=0.958 < 1 \quad \chi_y=0.958$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: } b, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_z=0.34, \quad \chi_z=0.696$$

$$\Phi_z=0.5[1+\alpha_z(\bar{\lambda}_z-0.2)+\bar{\lambda}_z^2]=0.5x[1+0.34x(0.846-0.2)+0.846^2]=0.968$$

$$\chi_z=1/[\Phi_z+\sqrt{(\Phi_z^2-\bar{\lambda}_z^2)}]=1/[0.968+\sqrt{(0.968^2-0.846^2)}]=0.696 < 1 \quad \chi_z=0.696$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi=1/[\Phi+\sqrt{(\Phi^2-\bar{\lambda}^2)}], \quad \chi \leq 1.0, \quad \Phi=0.5[1+\alpha(\bar{\lambda}-0.2)+\bar{\lambda}^2], \quad \chi=0.696 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_{b,rd}=\chi \cdot A \cdot f_y/\gamma_{M1}=0.696x[10^{-3}]x15600x355/1.00=3854.45\text{kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_{c,ed}=0.99\text{ kN} < 3854.45\text{ kN} = N_{b,rd}, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{c,ed}/N_{b,rd}=0.99/3854.45=0.000 < 1$$

9.13.5. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος (ULS) (EN1993-1-1, §6.3.2)

$$M_{y,ed}=20.09\text{ kN}, \quad L=7.000\text{m}, \quad L_{cr,y}=7.000\text{m}, \quad L_{cr,z}=3.000\text{m}, \quad L_{cr,lt}=3.000\text{m}$$

$$\text{Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: } 1.00Gk+1.50Q_{w1}$$

$$\text{Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού} \quad (\text{EC3 §6.3.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC})$$

$$Timoshenko, S.P., Gere, J.M., Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961$$

$$M_{cr}=C1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GIt / (\pi^2 EI_z) + (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j)^2]} - (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j) \}$$

$$\text{Μέθοδος υπολογισμού } C1, C2, C3 : \text{ECSS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006}$$

$$\mu=M_o/M=\alpha L^2/8M=-2.3/20.1=-0.11, \quad \psi=M_b/M_a=-6.7/-20.1=0.33, \quad C1=1.699, \quad C2=0.107$$

$$G=E/(2(1+\nu))=210000/(2(1+0.30))=80769=8.1x10^4\text{ N/mm}^2$$

$$k \cdot L=3000\text{mm}, \quad z_g=h/2=600/2=300\text{mm}, \quad z_j=0\text{mm} \quad (\text{EN1993:2002 Εξ.6.11})$$

$$k_y=1.0, \quad k_z=1.0, \quad k_w=1.0, \quad C1=1.699, \quad C2=0.107, \quad C3=0.000$$

$$M_{cr}=[10^{-6}]1.699x[\pi^2x2.1x10^5x33.870x10^6/3000^2]$$

$$x\{ [(1.0/1.0)^2x(2845.5x10^9/33.870x10^6)$$

$$+3000^2x8.1x10^4x1.654x10^6/(\pi^2x2.1x10^5x33.870x10^6)$$

$$+(0.107x300)^2]^{0.5}-(0.107x300) \} = 3809.8\text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{lt}=\sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y/M_{cr})}=\sqrt{[10^{-6}]x3512.0x10^3x355/3809.8}=0.572 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

$$h/b=600/220=2.73 > 2.00 \text{ καμπύλη λυγισμού: } c$$

$$\text{συντελεστής ατελειών: } \alpha_{lt}=0.49, \quad \beta=0.75, \quad \chi_{lt}=0.902 \quad (\text{Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_{lt}=0.5[1+\alpha_{lt}(\bar{\lambda}_{lt}-0.2)+\bar{\lambda}_{lt}^2]=0.5x[1+0.49x(0.572-0.40)+0.75x0.572^2]=0.665$$

$$\chi_{lt}=1/[\Phi_{lt}+\sqrt{(\Phi_{lt}^2-\beta\bar{\lambda}_{lt}^2)}]=1/[0.665+\sqrt{(0.665^2-0.75x0.665^2)}]=0.902$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi_{lt}=1/[\Phi_{lt}+\sqrt{(\Phi_{lt}^2-\beta\bar{\lambda}_{lt}^2)}], \quad \chi_{lt} \leq 1.0, \quad 1/\bar{\lambda}_{lt}^2, \quad \chi_{lt}=0.902 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$\chi_{lt,mod}=\chi_{lt}/f, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1/\bar{\lambda}_{lt}^2=1/0.572^2=3.06 \quad (\text{EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58})$$

$$k_c=1.00 \quad (\text{EC3 Πιν.6.6})$$

$$f=1-0.5(1-k_c)[1-2.0(\bar{\lambda}_{lt}-0.8)^2]=1-0.5x(1-1.000)[1-2.0x(0.572-0.8)^2]=1.000, \quad f \leq 1.0$$

$$\chi_{lt,mod}=\chi_{lt}/f=0.902/1.000=0.902, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1.0, \quad \chi_{lt,mod} \leq 3.06, \quad \chi_{lt,mod}=0.902$$

$$M_{b,rd}=\chi_{lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y/\gamma_{M1}=0.902x[10^{-6}]x3512.0x10^3x355/1.00=1124.58\text{kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

$$M_{y,ed}=20.09\text{ kNm} < 1124.58\text{ kNm} = M_{b,rd}, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_{y,ed}/M_{b,rd}=20.09/1124.58=0.018 < 1$$

9.13.6. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

$$\text{Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο}$$

$$N_{ed} = 6.2\text{ kN}$$

$$V_{ed} = 13.0\text{ kN}$$

$$M_{yed} = 22.0\text{ kNm}, \quad M_{zed} = 0.0\text{ kNm}$$

$$\text{Μήκος ζυγώματος } L_r=7000\text{ mm}$$

$$\text{Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο } L_{cr,y}=7000\text{mm} \text{ (Μήκος συστήματος)}$$

$$\text{Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου } L_{cr,z}=3201\text{mm} \text{ (Εγκάρσιες συγκρατήσεις ζυγωμάτων)}$$

9.13.7. Καμπτικός λυγισμός, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας) (EN1993-1-1, §6.3.1)

$$N_{c,ed}=6.20\text{ kN}, \quad L_{cr,y}=7.000\text{ m}, \quad L_{cr,z}=3.201\text{ m}$$

$$\text{Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο}$$

$$\text{Μήκη λυγισμού: } L_{cr,y}=1.000x7000=7000\text{mm}, \quad L_{cr,z}=0.457x7000=3201\text{mm}$$

$$\text{Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)}$$

$$(\text{EC3 §6.3.1.3})$$

$$\bar{\lambda}_y=\sqrt{(A \cdot f_y/N_{cr,y})}=(L_{cr,y}/i_y) \cdot (1/\lambda_1)=(7000/243.0)x(1/76.06)=0.379$$

$$\bar{\lambda}_z=\sqrt{(A \cdot f_y/N_{cr,z})}=(L_{cr,z}/i_z) \cdot (1/\lambda_1)=(3201/46.6)x(1/76.06)=0.903$$

$$\lambda_1=\pi\sqrt{(E/f_y)}=93.9\varepsilon=76.06, \quad \varepsilon=\sqrt{(235/f_y)}=0.81$$

$$h/b=600/220=2.73 > 1.20, \quad t_f=19.0\text{mm} \leq 40 \text{ mm}$$

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: } a, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_y=0.21, \quad \chi_y=0.958 \quad (\text{Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_y=0.5[1+\alpha_y(\bar{\lambda}_y-0.2)+\bar{\lambda}_y^2]=0.5 \times [1+0.21 \times (0.379-0.2)+0.379^2]=0.591$$

$$\chi_y=1/[\Phi_y+\sqrt{(\Phi_y^2-\bar{\lambda}_y^2)}]=1/[0.591+\sqrt{(0.591^2-0.379^2)}]=0.958 \leq 1 \quad \chi_y=0.958$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: } b, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_z=0.34, \quad \chi_z=0.659$$

$$\Phi_z=0.5[1+\alpha_z(\bar{\lambda}_z-0.2)+\bar{\lambda}_z^2]=0.5 \times [1+0.34 \times (0.903-0.2)+0.903^2]=1.027$$

$$\chi_z=1/[\Phi_z+\sqrt{(\Phi_z^2-\bar{\lambda}_z^2)}]=1/[1.027+\sqrt{(1.027^2-0.903^2)}]=0.659 \leq 1 \quad \chi_z=0.659$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi=1/[\Phi+\sqrt{(\Phi^2-\bar{\lambda}^2)}], \quad \chi \leq 1.0, \quad \Phi=0.5[1+\alpha(\bar{\lambda}-0.2)+\bar{\lambda}^2], \quad \chi=0.659 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_{b,rd}=\chi \cdot A \cdot f_y/\gamma_{M1}=0.659 \times [10^{-3}] \times 15600 \times 355/1.00=3649.54 \text{ kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_{c,ed}=6.20 \text{ kN} < 3649.54 \text{ kN} = N_{b,rd}, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{c,ed}/N_{b,rd}=6.20/3649.54=0.002 < 1$$

9.13.8. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος (ULS) (EN1993-1-1, §6.3.2)

$$M_{y,ed}=22.00 \text{ kNm}, \quad L=7.000\text{m}, \quad L_{cr,y}=7.000\text{m}, \quad L_{cr,z}=3.201\text{m}, \quad L_{cr,lt}=3.201\text{m}$$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού (EC3 §6.3.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P., Gere, J.M., Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$$M_{cr}=C1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GIt / (\pi^2 EI_z) + (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j)^2]} - (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j) \}$$

Μέθοδος υπολογισμού $C1, C2, C3$: ECSS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$$\mu=M_o/M=\alpha L^2/8M=-2.6/20.1=-0.13, \quad \psi=M_b/M_a=-6.7/-20.1=0.33, \quad C1=1.733, \quad C2=0.115$$

$$G=E/(2(1+\nu))=210000/(2(1+0.30))=80769=8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$k \cdot L=3201\text{mm}, \quad z_g=h/2=600/2=300\text{mm}, \quad z_j=0\text{mm} \quad (\text{EN1993:2002 Εξ.6.3.11})$$

$$k_y=1.0, \quad k_z=1.0, \quad k_w=1.0, \quad C1=1.733, \quad C2=0.115, \quad C3=0.000$$

$$M_{cr}=[10^{-6}]1.733 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 33.870 \times 10^6 / 3201^2]$$

$$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (2845.5 \times 10^9 / 33.870 \times 10^6)$$

$$+ 3201^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 1.654 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 33.870 \times 10^6)$$

$$+ (0.115 \times 300)^2 \}^{0.5} - (0.115 \times 300) \} = 3432.6 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{lt}=\sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})}=\sqrt{[10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 / 3432.6}=0.603 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

$$h/b=600/220=2.73 > 2.00 \text{ καμπύλη λυγισμού: } c$$

$$\text{συντελεστής ατελειών: } \alpha_{lt}=0.49, \quad \beta=0.75, \quad \chi_{lt}=0.884 \quad (\text{Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_{lt}=0.5[1+\alpha_{lt}(\bar{\lambda}_{lt}-0.2)+\bar{\lambda}_{lt}^2]=0.5 \times [1+0.49 \times (0.603-0.40)+0.75 \times 0.603^2]=0.686$$

$$\chi_{lt}=1/[\Phi_{lt}+\sqrt{(\Phi_{lt}^2-\beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}]=1/[0.686+\sqrt{(0.686^2-0.75 \times 0.603^2)}]=0.884$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi_{lt}=1/[\Phi_{lt}+\sqrt{(\Phi_{lt}^2-\beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}], \quad \chi_{lt} \leq 1.0, \quad 1/\bar{\lambda}_{lt}^2, \quad \chi_{lt}=0.884 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$\chi_{lt,mod}=\chi_{lt}/f, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1/\bar{\lambda}_{lt}^2=1/0.603^2=2.75 \quad (\text{EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58})$$

$$k_c=1/(1.33-0.33\psi)=0.819, \quad \psi=0.33 \quad (\text{EC3 Πιν.6.6})$$

$$f=1-0.5(1-k_c)[1-2.0(\bar{\lambda}_{lt}-0.8)^2]=1-0.5 \times (1-0.819)[1-2.0 \times (0.603-0.8)^2]=0.917, \quad f \leq 1.0$$

$$\chi_{lt,mod}=\chi_{lt}/f=0.884/0.917=0.964, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1.0, \quad \chi_{lt,mod} \leq 2.75, \quad \chi_{lt,mod}=0.964$$

$$M_{b,rd}=\chi_{lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y/\gamma_{M1}=0.964 \times [10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355/1.00=1201.88 \text{ kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

$$M_{y,ed}=22.00 \text{ kNm} < 1201.88 \text{ kNm} = M_{b,rd}, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_{y,ed}/M_{b,rd}=22.00/1201.88=0.018 < 1$$

9.13.9. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

$$N_{ed}=1.0 \text{ kN}$$

$$V_{ed}=0.5 \text{ kN}$$

$$M_{yed}=20.1 \text{ kNm}, \quad M_{zed}=0.0 \text{ kNm}$$

$$\text{Μήκος ζυγώματος } L_r=7000 \text{ mm}$$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο

$$\alpha_{cr}=769.01, \quad N_{ed}=1.0 \text{ kN}, \quad L_{cr,y}=\pi \sqrt{EI/\alpha_{cr} \cdot N_{ed}} \leq L_r=7000 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y}=\pi \sqrt{[210000 \times 920.80 \times 10^6 / (769.01 \times 1.0 \times 10^3)]}=49817 \text{ mm}, \quad L_{cr,y}=7000 \text{ mm}$$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο $L_{cr,y}=7000 \text{ mm}$ (Μήκος συστήματος)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου $L_{cr,z}=3201 \text{ mm}$ (Απόσταση τεγίδων)

9.13.10. Καμπτικός λυγισμός, Ζύγωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.3.1)

$N_{c,ed}=0.99 \text{ kN}$, $L_{cr,y}=7.000 \text{ m}$, $L_{cr,z}=3.000 \text{ m}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y}=1.000 \times 7000=7000 \text{ mm}$, $L_{cr,z}=0.429 \times 7000=3000 \text{ mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (7000 / 243.0) \times (1 / 76.06) = 0.379$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3000 / 46.6) \times (1 / 76.06) = 0.846$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \text{ ε} = 76.06, \quad \varepsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$$

$$h/b = 600 / 220 = 2.73 > 1.20, \quad t_f = 19.0 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: } a, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_y = 0.21, \quad \chi_y = 0.958 \quad (\text{Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.379 - 0.2) + 0.379^2] = 0.591$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [0.591 + \sqrt{(0.591^2 - 0.379^2)}] = 0.958 < 1 \quad \chi_y = 0.958$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: } b, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_z = 0.34, \quad \chi_z = 0.696$$

$$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (0.846 - 0.2) + 0.846^2] = 0.968$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [0.968 + \sqrt{(0.968^2 - 0.846^2)}] = 0.696 < 1 \quad \chi_z = 0.696$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}], \quad \chi \leq 1.0, \quad \Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2], \quad \chi = 0.696 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.696 \times [10^{-3}] \times 15600 \times 355 / 1.00 = 3854.45 \text{ kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_{c,ed} = 0.99 \text{ kN} < 3854.45 \text{ kN} = N_{b,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{c,ed} / N_{b,rd} = 0.99 / 3854.45 = 0.000 < 1$$

9.13.11. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

$M_{y,ed}=20.09 \text{ kNm}$, $L=7.000 \text{ m}$, $L_{cr,y}=7.000 \text{ m}$, $L_{cr,z}=3.000 \text{ m}$, $L_{cr,lt}=3.000 \text{ m}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$$M_{cr} = C_1 \cdot [\pi^2 E I_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 G I_t / (\pi^2 E I_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2]} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$$

Μέθοδος υπολογισμού C_1, C_2, C_3 : ECSS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$$\mu = M_o / M = q L^2 / 8M = 2.6 / 26.5 = 0.10, \quad \psi = M_b / M_a = -6.7 / 26.5 = -0.25, \quad C_1 = 1.705, \quad C_2 = 0.060$$

$$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$k \cdot L = 3000 \text{ mm}, \quad z_g = h/2 = 600/2 = 300 \text{ mm}, \quad z_j = 0 \text{ mm} \quad (\text{EN1993:2002 Εξ.C.11})$$

$$k_y = 1.0, \quad k_z = 1.0, \quad k_w = 1.0, \quad C_1 = 1.705, \quad C_2 = 0.060, \quad C_3 = 0.000$$

$$M_{cr} = [10^{-6}] 1.705 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 33.870 \times 10^6 / 3000^2]$$

$$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (2845.5 \times 10^9 / 33.870 \times 10^6)$$

$$+ 3000^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 1.654 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 33.870 \times 10^6)$$

$$+ (0.060 \times 300)^2 \}^{0.5} - (0.060 \times 300) \} = 3996.6 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{\{ [10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 / 3996.6 \}} = 0.559 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

$h/b = 600 / 220 = 2.73 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c

$$\text{συντελεστής ατελειών: } \alpha_{lt} = 0.49, \quad \beta = 0.75, \quad \chi_{lt} = 0.910 \quad (\text{Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - 0.8) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 \times [1 + 0.49 \times (0.559 - 0.8) + 0.75 \times 0.559^2] = 0.656$$

$$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [0.656 + \sqrt{(0.656^2 - 0.75 \times 0.656^2)}] = 0.910$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}], \quad \chi_{lt} \leq 1.0, \quad 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2, \quad \chi_{lt} = 0.910 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2 = 1 / 0.559^2 = 3.21 \quad (\text{EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58})$$

$$k_c = 0.90 \quad (\text{EC3 Πιν.6.6})$$

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.90) [1 - 2.0 \times (0.559 - 0.8)^2] = 0.956, \quad f \leq 1.0$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.910 / 0.956 = 0.952, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1.0, \quad \chi_{lt,mod} \leq 3.21, \quad \chi_{lt,mod} = 0.952$$

$$M_{b,rd} = \chi_{lt,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.952 \times [10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 1186.92 \text{ kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

$$M_{y,ed} = 20.09 \text{ kNm} < 1186.92 \text{ kNm} = M_{b,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 20.09 / 1186.92 = 0.017 < 1$$

9.13.12. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

Ned = 1.0 kN
Ved = 7.3 kN
Myed = 13.5 kNm, Mzed = 0.0 kNm

Μήκος ζυγώματος Lr=7000 mm

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο

acr=769.01, Ned=1.0kN, Lcr,y=π√[EI/acr·Ned] ≤ Lr=7000 mm

Lcr,y=π√[210000x920.80x10⁶/(769.01x1.0x10³)]=49817mm], Lcr,y=7000mm

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο Lcr,y=7000mm (Μήκος συστήματος)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου Lcr,z=3201mm (Εγκάρσιες συγκρατήσεις ζυγωμάτων)

9.13.13. Καμπτικός λυγισμός, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου (Οριακή κατάσταση αστοχίας) (EN1993-1-1, §6.3.1)

Nc,ed=0.99 kN, Lcr,y=7.000 m, Lcr,z=3.201 m

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

Μήκη λυγισμού: Lcr,y=1.000x7000=7000mm, Lcr,z=0.457x7000=3201mm

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (7000 / 243.0) \times (1 / 76.06) = 0.379$

$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3201 / 46.6) \times (1 / 76.06) = 0.903$

$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \epsilon = 76.06, \epsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$

h/b=600/220=2.73>1.20, tf=19.0mm≤40 mm

γ-γ καμπύλη λυγισμού: a, συντελεστής ατελειών: αy=0.21, χy=0.958

(Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4)

Φy=0.5[1+αy(λ̄y-0.2)+λ̄y²]=0.5x[1+0.21x(0.379-0.2)+0.379²]=0.591

χy=1/[Φy+√(Φy²-λ̄y²)]=1/[0.591+√(0.591²-0.379²)]=0.958 <=1 χy=0.958

z-z καμπύλη λυγισμού: b, συντελεστής ατελειών: αz=0.34, χz=0.659

Φz=0.5[1+αz(λ̄z-0.2)+λ̄z²]=0.5x[1+0.34x(0.903-0.2)+0.903²]=1.027

χz=1/[Φz+√(Φz²-λ̄z²)]=1/[1.027+√(1.027²-0.903²)]=0.659 <=1 χz=0.659

Μειωτικός συντελεστής χ=1/[Φ+√(Φ²-λ̄²)], χ<=1.0, Φ=0.5[1+α(λ̄-0.2)+λ̄²], χ=0.659

(EC3 Εξ.6.49)

Nb,rd=χ·A·fy/γM1=0.659x[10⁻³]x15600x355/1.00=3649.54kN

(EC3 Εξ.6.47)

Nc,ed=0.99 kN < 3649.54 kN =Nb,rd, Έλεγχος ικανοποιείται

Nc,ed/Nb,rd=0.99/3649.54=0.000<1

9.13.14. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

My,ed=13.50 kN, L=7.000m, Lcr,y=7.000m, Lcr,z=3.201m, Lcr,lt=3.201m

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

Mcr=C1·[π²EIz/(kL)²]{√[(kz/kw)²(Iw/Iz)+(kL)²GIt/(π²EIz)+(C2·zg-C3·zj)²]} - (C2·zg-C3·zj)

Μέθοδος υπολογισμού C1, C2, C3 : ECCS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

μ=Mo/M=qL²/8M=2.6/26.5=0.10, ψ=Mb/Ma=6.7/26.5=0.25, C1=1.361, C2=0.055

G=E/(2(1+ν))=210000/(2(1+0.30))=80769=8.1x10⁴ N/mm²

k·L=3201mm, zg=-h/2=-600/2=-300mm, zj=0mm (Aianuococ)

(EN1993:2002 Εξ.6.11)

ky=1.0, kz=1.0, kw=1.0, C1=1.361, C2=0.055, C3=0.000

Mcr=[10⁻⁶]1.361x[π²x2.1x10⁵x33.870x10⁶/3201²]

x{[(1.0/1.0)²x(2845.5x10⁹/33.870x10⁶)

+3201²x8.1x10⁴x1.654x10⁶/(π²x2.1x10⁵x33.870x10⁶)

+(-0.055x300)²]⁰·⁵-(-0.055x300)}=3159.4 kNm

λ̄,lt=√(Wpl,y·fy/Mcr)=√{[10⁻⁶]x3512.0x10³x355/3159.4}=0.628

(EC3 Εξ.6.56)

h/b=600/220=2.73>2.00 καμπύλη λυγισμού: c

συντελεστής ατελειών: α,lt=0.49, β=0.75, χ,lt=0.869

(Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)

Φ,lt=0.5[1+α,lt(λ̄,lt-βλ̄,lt)+βλ̄,lt²]=0.5x[1+0.49x(0.628-0.40)+0.75x0.628²]=0.704

χ,lt=1/[Φ,lt+√(Φ,lt²-βλ̄,lt²)]=1/[0.704+√(0.704²-0.75x0.628²)]=0.869

Μειωτικός συντελεστής χ,lt=1/[Φ,lt+√(Φ,lt²-βλ̄,lt²)], χ,lt<=1.0, 1/λ̄,lt², χ,lt=0.869

(Εξ.6.57)

χ,lt,mod=χ,lt/f, χ,lt,mod<=1, χ,lt,mod<=1/λ̄,lt²=1/0.628²=2.53

(EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)

Kc=1/(1.33-0.33ψ)=1.000, ψ=1.00

(EC3 Πιν.6.6)

f=1-0.5(1-kc)[1-2.0(λ̄,lt-0.8)²]=1-0.5x(1-1.000)[1-2.0x(0.628-0.8)²]=1.000, f<=1.0

χ,lt,mod=χ,lt/f=0.869/1.000=0.869, χ,lt,mod<=1.0, χ,lt,mod<=2.53, χ,lt,mod=0.869

$$M_{b,rd} = \chi_{lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.869 \times [10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 1083.43 \text{ kNm}$$

(EC3 Εξ.6.55)

$$M_{y,ed} = 13.50 \text{ kNm} < 1083.43 \text{ kNm} = M_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 13.50 / 1083.43 = 0.012 < 1$$

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους
STEELexpress, www.runet.gr

Συνδέσεις

9.14. Κύρια δεδομένα σύνδεσης

(EN1993-1-8)

9.14.1. Δεδομένα κοχλιών σύνδεσης (ζύγωμ-υποστ, κορυφή)

(EN1993-1-8)

Είδος σύνδεσης	Μετωπική πλάκα σύνδεσης, μη-προεντεταμένοι κοχλίες
Κατηγορία σύνδεσης	Κατηγορία Α: σύνθλιψη (EC3-1-8 §3.4.1) Κατηγορία Δ: μη-προεντεταμένοι (EC3-1-8 §3.4.2)
Μετωπική πλάκα	Πάχος $t_p=20$ mm, S 235
Πλάκα σύνδεσης κόμβου ζυγώματος-υποστυλώματος	220x750x20 mm, S 235
Κοχλίες	M24, Ποιότητα 10.9
Διάμετρος κοχλιών	$d = 24$ mm
Διάμετρος οπών	$d_o = 26$ mm
Ονομαστικό εμβαδό	$p d^2/4 = \pi \times 24^2/4 = 452.4$ mm ²
Εφελκυσμένο εμβαδό	$A_s = 353.0$ mm ²
Κατηγορία αντοχής κοχλιών	10.9, $f_{yb}=900$ N/mm ² , $f_{ub}=1000$ N/mm ² (EC3-1-8 §3.1.1)

9.14.2. Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους (ζύγωμ-υποστ, κορυφή) (EN1993-1-8, §3.5, Πιν.3.3)

Ελάχιστη απόσταση από άκρο	$e_1=1.2d_o=1.2 \times 26=32$ mm $e_2=1.2d_o=1.2 \times 26=32$ mm
Μέγιστη απόσταση από άκρο	$e_1=4t+40=4 \times 19.0+40=117$ mm $e_2=4t+40=4 \times 19.0+40=117$ mm
Ελάχιστη απόσταση μεταξύ κοχλιών	$p_1=2.2d_o=2.2 \times 26=58$ mm $p_2=2.4d_o=2.4 \times 26=63$ mm
Μέγιστη απόσταση μεταξύ κοχλιών	$p_1=\min(14t, 200)=\min(14 \times 19.0, 200)=200$ mm $p_2=\min(14t, 200)=\min(14 \times 19.0, 200)=200$ mm
Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών	$e_1=e_2=e_x=60$ mm
Απόσταση άκρου διατομής και σειράς κοχλιών	$e_c=44$ mm
Απόσταση άκρου πέλματος και σειράς κοχλιών	$e_f=45$ mm
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών	$p_1=p_3=p=90$ mm
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	$p_2=g=w=100$ mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα	$a_{tf} \geq 0.55t_f=0.55 \times 19.0=11$ mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	$a_w \geq 0.55t_w=0.55 \times 12.0=7$ mm

9.14.3. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία (ζύγωμ-υποστ, κορυφή)

(EC3-1-8 §3.6.1, Πιν.3.4)

Κατηγορία αντοχής κοχλιών=10.9, $f_{ub}=1000$ N/mm ² , $A_s=353.0$ mm ² , $\gamma_{M2}=1.25$	
Εφελκυστική αντοχή κοχλιών	$F_{t,rd}=k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$, ($k_2=0.90$) $F_{t,rd}=[10^{-3}] \times 0.90 \times 1000 \times 353.0 / 1.25=254$ kN
Διατμητική αντοχή κοχλιών	$F_{v,rd}=\alpha_n \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$, ($\alpha_n=0.50$) $F_{v,rd}=[10^{-3}] \times 0.50 \times 1000 \times 353.0 / 1.25=141$ kN

9.15. Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος

9.15.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)

Δυνάμεις σχεδιασμού σύνδεσης (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού (Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1)

Ned = -1.0 kN
Ved = 14.0 kN
Med = -26.4 kNm

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού (Σεισμικό φορτίο)

Ned = -6.2 kN
Ved = 13.0 kN
Med = -22.0 kNm
Med = 10.4 kNm

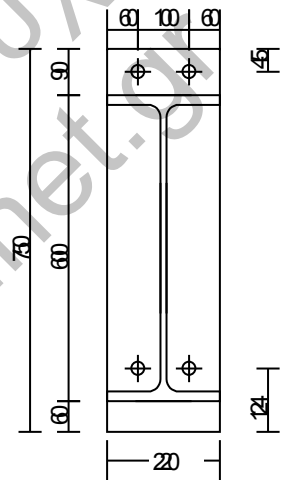
9.15.2. Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)

Δεδομένα κοχλιών σύνδεσης

Μετωπική πλάκα 220x750x20 mm, S 235
Κοχλίες M24, Κατηγορία αντοχής κοχλιών 10.9
Αριθμός κοχλιών άνω 2x1=2
κάτω 2x1=2
Συνολικός αριθμός κοχλιών =4
Διάμετρος οπών do = 26 mm
Επίπεδο διαίτησης ήλου εντός σπειρώματος κοχλία

Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους

Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών e1=e2=ex= 60 mm
Απόσταση άκρου διατομής και σειράς κοχλιών ec= 44 mm
Απόσταση άκρου πέλματος και σειράς κοχλιών ef= 45 mm
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών p1=p3=p= 90 mm
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών p2=g =w= 100 mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα atf>= 0.55tf=0.55x19.0= 11 mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα aw>= 0.55tw=0.55x12.0= 7 mm



Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της ενίσχυσης υποστυλώματος

Νεύρωση ενίσχυσης πάχους ts= 20.0 mm

9.15.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλάρ (EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

e=ex=60 mm, emin=60 mm
mx,x=(100-12.0-2x0.8x7x√2)/2= 36.1 mm
mx,y=45-0.8x11x√2= 32.6 mm
nx,x= emin <=1.25mx,x = min(60.0,1.25x36.1=45.1)= 45.1 mm
nx,y= emin <=1.25mx,y = min(60.0,1.25x32.6=40.7)= 40.8 mm
min(mx,x, mx,y)=min(36.1,32.6)=32.6mm, max(mx,x, mx,y)=max(36.1,32.6)=36.1mm
min(nx,x, nx,y)=min(45.1,40.8)=40.8mm, max(nx,x, nx,y)=max(45.1,40.8)=45.1mm

9.15.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος) (EC3-1-8 §6.2.6.5 Πιν.6.6)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέλημα

leff=2π·mx =2πx32.6= 204.8 mm
=π·mx+w =πx32.6+100.0= 202.4 mm
=π·mx+2e=πx32.6+2x60.0= 222.4 mm
=4mx+1.25ex = 4x32.6+1.25x60.0=205.4 mm
=e+2mx+0.625ex = 60.0+2x32.6+0.625x60.0=162.7 mm
=0.5bp = 0.5x220= 110.0 mm
=0.5w+2mx+0.625ex=0.5x100.0+2x32.6+0.625x60.0= 152.7 mm
leff,1b=min(204.8, 202.4, 222.4, 205.4, 162.7, 110.0, 152.7)= 110.0 mm
leff,1b= 110.0 mm

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα μεμονωμένη

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2\pi \cdot m_x = 2\pi \times 32.6 = 204.8 \text{ mm} \\ &= \alpha \cdot m = 7.00 \times 32.6 = 228.2 \text{ mm} \quad (\lambda_1 = \lambda_2 = m / (m + e) = 0.35, \alpha = 7.00) \quad (\text{EC3-1-8 Σχ.6.11}) \\ l_{eff, 2b} &= \min(204.8, 228.2) = 204.8 \text{ mm} \\ l_{eff, 2b} &= 204.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2\pi \cdot m_x = 2\pi \times 32.6 = 204.8 \text{ mm} \\ &= \alpha \cdot m = 7.00 \times 32.6 = 228.2 \text{ mm} \quad (\lambda_1 = \lambda_2 = m / (m + e) = 0.35, \alpha = 7.00) \\ &= \pi m + p = \pi \times 32.6 + 90.0 = 192.4 \text{ mm} \\ &= 0.5p + \alpha \cdot m - (2m + 0.625e) = 0.5 \times 90.0 + 7.0 \times 32.6 - (2 \times 32.6 + 0.625 \times 60.0) = 170.5 \text{ mm} \\ l_{eff, 3b} &= \min(204.8, 228.2, 192.4, 170.5) = 170.5 \text{ mm} \\ l_{eff, 3b} &= 170.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2\pi \cdot m_x = 2\pi \times 36.1 = 226.8 \text{ mm} \\ &= 4m + 1.25e = 4 \times 36.1 + 1.25 \times 60.0 = 219.4 \text{ mm} \\ &= 2p = 2 \times 90.0 = 180.0 \text{ mm} \\ &= p = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff, 4b} &= \min(226.8, 219.4, 180.0, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff, 4b} &= 90.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

9.15.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλατος T-διατομής (ζύγωμ-υποσιύλ.) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέλαμα

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 110.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.585 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.585 / 32.6 = 317 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.585 + 40.8 \times 2 \times 254) / (32.6 + 40.8) = 353 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(317, 353, 508) = 317 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα μεμονωμένη

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 204.8 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 4.813 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 4.813 / 32.6 = 591 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 4.813 + 40.8 \times 2 \times 254) / (32.6 + 40.8) = 414 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(591, 414, 508) = 414 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 170.5 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 4.007 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 4.007 / 32.6 = 492 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 4.007 + 40.8 \times 2 \times 254) / (32.6 + 40.8) = 392 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(492, 392, 508) = 392 \text{ kN} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.115 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.115 / 36.1 = 234 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.115 + 45.1 \times 2 \times 254) / (36.1 + 45.1) = 334 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(234, 334, 508) = 234 \text{ kN} \end{aligned}$$

9.15.6. Πέλαμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (ζύγωμ-υποσιύλ.) (EC3-1-8 §6.2.6.7)

$$\begin{aligned} F_{c, fb, rd} &= M_{c, rd} / (h - t_f), \quad M_{c, rd} = W_{el, y} \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ W_{el, y} &= (220 \times 19.0 \times 581.0^2 + 12.0 \times 562.0^3 / 6) / 600 = 2943.4 \times 10^3 \text{ mm}^3 \\ M_{c, rd} &= [10^{-6}] \times 2943.4 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 1045 \text{ kNm}, \quad F_{c, fb, rd} = [10^3] \times 1045 / 581.0 = 1798 \text{ kN} \\ F_{c, fb, rd, max} &= b \cdot t \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 220.0 \times 19.0 \times 235 / 1.00 = 982 \text{ kN} \quad (h \leq 600 \text{ mm}) \\ F_{c, fb, rd} &= \min(1798, 982) = 982 \text{ kN} \end{aligned}$$

9.15.7. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$F_{t,wb,rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$b_{eff,t,wb} = l_{eff} = \min(l_{eff,3b}, l_{eff,4b}) = \min(170.5, 90.0) = 90.0 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,rd} = [10^{-3}] \times 90.0 \times 12.0 \times 355 / 1.00 = 383 \text{ kN}$$

$$\min F_{t,rd} = \min(317, 414, 392, 234, 383) = 234 \text{ kN}$$

9.15.8. Γεωμετρία σύνδεσης πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

$$e = e_x = 60 \text{ mm}, e_{min} = 60 \text{ mm}$$

$$m_{x,x} = (100 - 12.0 - 2 \times 0.8 \times 24) / 2 = 24.8 \text{ mm}$$

$$m_{x,y} = 45 - 0.8 \times 11 \times \sqrt{2} = 32.6 \text{ mm}$$

$$n_{x,x} = e_{min} \leq 1.25 m_{x,x} = \min(60.0, 1.25 \times 24.8 = 31.0) = 31.0 \text{ mm}$$

$$n_{x,y} = e_{min} \leq 1.25 m_{x,y} = \min(60.0, 1.25 \times 32.6 = 40.7) = 40.8 \text{ mm}$$

$$\min(m_{x,x}, m_{x,y}) = \min(24.8, 32.6) = 24.8 \text{ mm}, \max(m_{x,x}, m_{x,y}) = \max(24.8, 32.6) = 32.6 \text{ mm}$$

$$\min(n_{x,x}, n_{x,y}) = \min(31.0, 40.8) = 31.0 \text{ mm}, \max(n_{x,x}, n_{x,y}) = \max(31.0, 40.8) = 40.8 \text{ mm}$$

9.15.9. Ενεργά μήκη πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-8 §6.2.6.4 Πιν.6.4)

Εξωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$l_{eff} = 2 \pi \cdot m = 2 \pi \times 24.8 = 155.8 \text{ mm}$$

$$= \pi \cdot m + 2e_1 = \pi \times 24.8 + 2 \times 60.0 = 197.9 \text{ mm}$$

$$= 4m + 1.25e = 4 \times 24.8 + 1.25 \times 60.0 = 174.2 \text{ mm}$$

$$= 2m + 0.63e + e_1 = 2 \times 24.8 + 0.63 \times 60.0 + 60.0 = 147.1 \text{ mm}$$

$$= \pi \cdot m + p = \pi \times 24.8 + 90.0 = 167.9 \text{ mm}$$

$$= 2e_1 + p = 2 \times 60.0 + 90.0 = 210.0 \text{ mm}$$

$$= 2m + 0.63e + 0.5p = 2 \times 24.8 + 0.63 \times 60.0 + 0.5 \times 90.0 = 132.1 \text{ mm}$$

$$= e_1 + 0.5p = 60.0 + 0.5 \times 90.0 = 105.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1c} = \min(155.8, 197.9, 174.2, 147.1, 167.9, 210.0, 132.1, 105.0) = 105.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1c} = 105.0 \text{ mm}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$l_{eff} = 2 \pi \cdot m = 2 \pi \times 24.8 = 155.8 \text{ mm}$$

$$= 4m + 1.25e = 4 \times 24.8 + 1.25 \times 60.0 = 174.2 \text{ mm}$$

$$= 2p = 2 \times 90.0 = 180.0 \text{ mm}$$

$$= p = 90.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2c} = \min(155.8, 174.2, 180.0, 90.0) = 90.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2c} = 90.0 \text{ mm}$$

9.15.10. Πλευρά υποστυλώματος, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Εξωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$M_{pl,1,rd} = M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 105.0 \times 19.0^2 \times 355 / 1.00 = 3.364 \text{ kNm}$$

Μορφή 1 $F_{t,1,rd} = 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 3.364 / 24.8 = 543 \text{ kN}$

Μορφή 2 $F_{t,2,rd} = (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 3.364 + 31.0 \times 2 \times 254) / (24.8 + 31.0) = 403 \text{ kN}$

Μορφή 3 $F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN}$

$$F_{t,rd} = \min(543, 403, 508) = 403 \text{ kN}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$M_{pl,1,rd} = M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 19.0^2 \times 355 / 1.00 = 2.883 \text{ kNm}$$

Μορφή 1 $F_{t,1,rd} = 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.883 / 24.8 = 465 \text{ kN}$

Μορφή 2 $F_{t,2,rd} = (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 2.883 + 31.0 \times 2 \times 254) / (24.8 + 31.0) = 386 \text{ kN}$

Μορφή 3 $F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN}$

$$F_{t,rd} = \min(465, 386, 508) = 386 \text{ kN}$$

9.15.11. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εγκάρσιο εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-8 §6.2.6.3)

$$F_{t,wc,rd} = \omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$\beta = 1, \omega = \omega_1 = 1 / \sqrt{[1 + 1.3 (b_{eff,c} \cdot t_{wc} / A_{vc})^2]}, b_{eff,c} = 90.0 \text{ mm}$$

(EC3-1-8 §6.2.6.2, Πιν.6.3)

$$\omega = 1 / \sqrt{[1 + 1.3 \times (90.0 \times 12.0 / 8380)^2]} = 0.99$$

$$F_{t,wc,rd} = [10^{-3}] \times 0.99 \times 90.0 \times 12.0 \times 355 / 1.00 = 380 \text{ kN}$$

9.15.12. Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού νεύρωσης ενίσχυσης (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-5 §9.1)

Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της ενίσχυσης υποστυλώματος $t_s = 20.0$ mm

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, \quad b_s = (220 - 12.0 - 2 \times 24.0) / 2 = 80.0 \text{ mm}, \quad t_s = 20.0 \text{ mm}, \quad t_w = 12.0 \text{ mm}, \quad \varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 0.81$$

$$A_{eff,s} = 2 \times 80.0 \times 20.0 + (2 \times 15 \times 0.81 \times 12.0 + 20.0) \times 12.0 = 6939 \text{ mm}^2 \quad (\text{EC3-1-5 §9.1(2)})$$

$$I_{eff,s} = \min(80.0, 14 \times 0.81 \times 20.0) = \min(80.0, 226.80) = 80.0 \text{ mm} \quad (\text{EC3 Πιν.5.2})$$

$$I_{eff,s} = (2 \times 80.0 + 12.0)^3 \times 20.0 / 12 = 8480.7 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$i_{eff,s} = \sqrt{(8481 \times 10^3 / 6939)} = 35.0 \text{ mm}, \quad \lambda_1 = \pi \sqrt{E / f_y} = 93.9 \varepsilon = 76.06$$

$$L_{cr} = 0.75 \times (600 - 2 \times 19.0) = 421.5 \text{ mm} \quad (\text{EC3-1-5 §9.4(2)})$$

$$\bar{\lambda} = L_{cr} / (i_{eff,s} \cdot \lambda_1) = 421.5 / (35.0 \times 76.06) = 0.16 \quad (\text{EC3 §6.3.1.3(1)})$$

$$\bar{\lambda} < 0.20, \quad \chi = 1.00 \quad (\text{EC3 §6.3.1.2.4})$$

$$F_c, w_c, r_d = \chi \cdot A_{eff,s} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1.000 \times 6939 \times 235 / 1.00 = 1631 \text{ kN} > F_c, f_b, r_d = 982 \text{ kN}$$

Νεύρωση ενίσχυσης, Έλεγχος ικανοποιείται

9.15.13. Ροπή αντοχής σύνδεσης (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EN1993-1-8, §6.2.7.2)

$$M_{j,rd} = \Sigma h_r \cdot F_{tr,rd} \quad (\text{EN1993-1-8, §6.2.7.2 Εξ.6.25})$$

h_r : αρίθμηση σειράς από πάνω, αποστάσεις από μέσο κάτω (θλιβόμενου) πέλματος

Κάμψη μετωπικής πλάκας (EC3-1-8 §6.2.4.5)

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 635.5 \text{ mm, } F_{t,rd} = 317 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} = 317 = 317 \text{ kN}$$

Κάμψη μετωπικής πλάκας (EC3-1-8 §6.2.4.4)

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 635.5 \text{ mm, } F_{t,rd} = 403 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} = 403 = 403 \text{ kN}$$

Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$F_{t,wb,rd} = 383 \text{ kN}$$

Πέλμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (EC3-1-8 §6.2.4.7)

$$F_{c,fb,rd} = 982 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} \leq F_{t,wb,rd} = 383 \text{ kN, } F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} \leq F_{c,fb,rd} = 982 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} \leq F_{c,wc,rd} = 1631 \text{ kN}$$

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών (EC3-1-8 §6.2.7.2.(7))

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 635.5 \text{ mm, } F_{t,rd} = 317 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} = 317 = 317 \text{ kN}$$

Ροπή αντοχής σύνδεσης (EN1993-1-8, §6.2.7.2(10))

$$M_{j,rd} = [10^{-3}] \times [317 \times 635.5]$$

$$M_{j,rd} = 201 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = 26.4 \text{ kNm} < 201.5 \text{ kNm} = M_{j,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Ροπή αντοχής σύνδεσης, για κάμψη σε αντίθετη κατεύθυνση, σε σεισμικά φορτία

$$M_{j,rd} = [10^{-3}] \times [317 \times 526.5]$$

$$M_{j,rd} = 167 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = 10.4 \text{ kNm} < 166.9 \text{ kNm} = M_{j,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

9.15.14. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Διατμητική αντοχή κοχλιών

$$F_{v,rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.50 \times 1000 \times 353.0 / 1.25 = 141 \text{ kN}$$

Επίπεδο διάτμησης ήλου: εντός σπειρώματος κοχλιά

Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$$

Μετωπική-πλάκα

$$t = 20.0 \text{ mm}, d = 24 \text{ mm}, d_o = 26 \text{ mm}, e_1 = 60 \text{ mm}, e_2 = 60 \text{ mm}, p_1 = 90 \text{ mm}, f_{ub} = 1000 \text{ kN/mm}^2, f_u = 360 \text{ kN/mm}^2,$$

$$\alpha_b = \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] =$$

$$= \min[1000/360, 1.0, 60/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.77$$

$$k_1 = \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 60/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50$$

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.77 \times 360 \times 24 \times 20.0 / 1.25 = 266 \text{ kN}$$

Πλευρά υποστυλώματος

$$t = 19.0 \text{ mm}, d = 24 \text{ mm}, d_o = 26 \text{ mm}, e_1 = 60 \text{ mm}, e_2 = 60 \text{ mm}, p_1 = 90 \text{ mm}, f_{ub} = 1000 \text{ kN/mm}^2, f_u = 510 \text{ kN/mm}^2,$$

$$\alpha_b = \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] =$$

$$= \min[1000/510, 1.0, 60/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.77$$

$$k_1 = \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 60/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50$$

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.77 \times 510 \times 24 \times 19.0 / 1.25 = 358 \text{ kN}$$

Διατμητική αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίου = $\min(141, 266, 358) = 141 \text{ kN}$

Καμπτική ροπή και διάτμηση

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Μεγίστη εφελκυστική δύναμη σε κοχλίες

$$F_{t,ed} = 317/2 = 158 \text{ kN}$$

Μείωση διατμητικής αντοχής λόγω κάμψης

$$\rho = 1 - F_{t,ed} / 1.40 F_{t,rd} = 1 - 158 / (1.40 \times 254) = 0.56$$

Διατμητική αντοχή με καμπτική ροπή για όλους τους κοχλίες

$$V_{rd} = 4 \times 0.56 \times 141 = 316 \text{ kN}$$

$V_{ed} = 14 \text{ kN} < 316 \text{ kN} = V_{rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

9.16. Σύνδεση στη βάση του υποστυλώματος

9.16.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

Δυνάμεις σχεδιασμού σύνδεσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

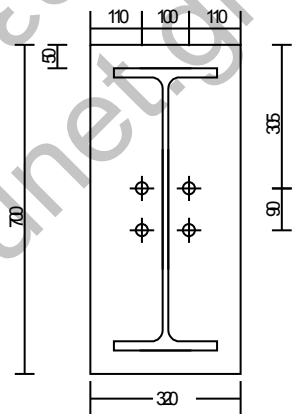
Αξονική δύναμη (θλίψη)	Ned= -26 kN, Σ.Φ. 201: 0.925x1.35Gk+1.50Qk = 1.25xGk+1.50Qk
Αξονική δύναμη (εφελκυσμός)	Ned= 11 kN, Σ.Φ. 111: 0.90Gk+1.50Qw1
Διατμητική δύναμη υποστυλώματος	Ved= 17 kN, Σ.Φ. 111: 0.90Gk+1.50Qw1
Ροπή	Med= 0 kNm,

Σεισμικό φορτίο

Θλίψη στη βάση	Ned= -18 kN
Εφελκυσμός στη βάση	Ned= 0 kN
Διάτμηση στη βάση	Ved= 6 kN

Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

Κατηγορία χάλυβα πλάκας έδρασης	700x320x45 mm, S 235
Αγκύρια	M24, Κατηγορία 5.6
Επίπεδο διάτμησης ήλου	εντός σπειρώματος κοχλίου μέσον 2x2=4
Συνολικός αριθμός κοχλιών	=4
Διάμετρος οπών	do = 26 mm
Διατομή υποστυλωμάτων	IPE 600, S 355
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	100 mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα	11 mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	7 mm



Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους

Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών	e1=e2=ex= 110 mm
Απόσταση άκρου διατομής και σειράς κοχλιών	ec= 44 mm
Απόσταση άκρου πέλματος και σειράς κοχλιών	ef= 45 mm
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών	p1=p3=p= 90 mm
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	p2=g =w= 100 mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα	atf>= 0.55tf=0.55x19.0= 11 mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	aw>= 0.55tw=0.55x12.0= 7 mm

Σκυρόδεμα πεδίου

Σκυρόδεμα-Χάλυβας	C25/30-B500C	(EC2 §3.1, §3.2)
Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γm	γc=1.50, γs=1.15	(EC2 §2.4.2.4)
Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού	fcd=acc·fck/γc=0.85x25/1.50=14.17 N/mm ²	(EC2 §3.1.6)
Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού	fctd=act·fctk05/γc=0.85x2/1.50=1.02 N/mm ²	
Φέρουσα αντοχή	fjd=β·√Ac1/Aco·fcd=(2/3)x1.5x14.17=14.17N/mm ²	(EC2 §6.7)

9.16.2. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίου (έδραση υποστυλώματος) (EC3-1-8 §3.6.1, Πιν.3.4)

Κατηγορία αντοχής κοχλιών=5.6,	fub =500N/mm ² , As=353.0mm ² , γM2=1.25
Εφελκυστική αντοχή κοχλιών	Ft,rd=k2·fub·As/γM2, (k2=0.90)
	Ft,rd=[10 ⁻³]x0.90x500x353.0/1.25=127 kN
Διατμητική αντοχή κοχλιών	Fv,rd=αv·fub·As/γM2, (αv=0.60)
	Fv,rd=[10 ⁻³]x0.60x500x353.0/1.25=85 kN

9.16.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

e=ex=110 mm, emin=110 mm
mx,x=(100-12.0-2x0.8x7x√2)/2= 36.1 mm
mx,y= 36.1 mm
nx,x= emin <=1.25mx,x = min(110.0,1.25x36.1=45.1)= 45.1 mm
nx,y= emin <=1.25mx,y = min(110.0,1.25x36.1=45.1)= 45.1 mm
min(mx,x, mx,y)=min(36.1,36.1)=36.1mm, max(mx,x, mx,y)=max(36.1,36.1)=36.1mm
min(nx,x, nx,y)=min(45.1,45.1)=45.1mm, max(nx,x, nx,y)=max(45.1,45.1)=45.1mm

9.16.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.6.5 Πιν.6.6)

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2\pi \cdot m_x = 2\pi \times 36.1 = 226.8 \text{ mm} \\ &= 4m + 1.25e = 4 \times 36.1 + 1.25 \times 110.0 = 281.9 \text{ mm} \\ &= 2p = 2 \times 90.0 = 180.0 \text{ mm} \\ &= p = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff,4b} &= \min(226.8, 281.9, 180.0, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff,4b} &= 90.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

9.16.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλατος T-διατομής (έδραση υποστυλώματος) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{p1,1,rd} &= M_{p1,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 45.0^2 \times 215 / 1.00 = 9.796 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t,1,rd} &= 4M_{p1,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 9.796 / 36.1 = 1085 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t,2,rd} &= (2M_{p1,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 9.796 + 45.1 \times 2 \times 127) / (36.1 + 45.1) = 382 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t,3,rd} &= \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 127 = 254 \text{ kN} \\ F_{t,rd} &= \min(1085, 382, 254) = 254 \text{ kN} \end{aligned}$$

9.16.6. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εφελκυσμό (έδραση υποστυλώματος) (EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$\begin{aligned} F_{t,wb,rd} &= b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ b_{eff,t,wb} &= l_{eff,4b} = 90.0 \text{ mm} \\ F_{t,wb,rd} &= [10^{-3}] \times 90.0 \times 12.0 \times 355 / 1.00 = 383 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\min F_{t,rd} = \min(254, 383) = 254 \text{ kN}$$

9.16.7. Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης (EN1993-1-8, §6.2.4)

$$\begin{aligned} \text{Δύναμη σύνδεσης προς τα πάνω} \quad F_{t,ed} &= 11 \text{ kN} \\ \text{Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης} \quad F_{t,rd} &= 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ N_{ed} &= 11 \text{ kN} < 508 \text{ kN} = N_{rd}, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται} \end{aligned}$$

9.16.8. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος) (EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Διατμητική αντοχή κοχλιών

$$\begin{aligned} F_{v,rd} &= a_n \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.60 \times 500 \times 353.0 / 1.25 = 85 \text{ kN} \\ \text{Επίπεδο διάτμησης ήλου: εντός σπειρώματος κοχλίας} \end{aligned}$$

Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη

$$\begin{aligned} F_{b,rd} &= k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} \\ t &= 45.0 \text{ mm}, \quad d = 24 \text{ mm}, \quad d_o = 26 \text{ mm}, \quad e_1 = 110 \text{ mm}, \quad e_2 = 110 \text{ mm}, \quad p_1 = 90 \text{ mm}, \quad f_{ub} = 500 \text{ kN/mm}^2, \quad f_u = 360 \text{ kN/mm}^2, \\ a_b &= \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] = \\ &= \min[500/360, 1.0, 110/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.90 \\ k_1 &= \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 110/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50 \\ F_{b,rd} &= k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.90 \times 360 \times 24 \times 45.0 / 1.25 = 703 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Διατμητική αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίας} = \min(85, 703) = 85 \text{ kN}$$

Εφελκυσμός και διάτμηση

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

$$\begin{aligned} \text{Μεγίστη εφελκυστική δύναμη σε κοχλίες} \\ F_{t,ed} &= 254 / 2 = 127 \text{ kN} \\ \text{Μείωση διατμητικής αντοχής λόγω εφελκυσμού} \\ \rho &= 1 - F_{t,ed} / 1.40 F_{t,rd} = 1 - 127 / (1.40 \times 127) = 0.29 \\ \text{Διατμητική αντοχή με εφελκυσμό για όλους τους κοχλίες} \\ V_{rd} &= 4 \times 0.29 \times 85 = 99 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{ed} = 17 \text{ kN} < 99 \text{ kN} = V_{rd}, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}$$

9.16.9. Αντοχή σύνδεσης σε σύνθλιψη (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §6.2.5)

Θλιπτική αντοχή πέλματος T-διατομής $F_{c,rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff}$ (§6.2.5(3) Εξ.6.4), §6.2.5(7)
 $f_{jd} = \beta \cdot \sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \cdot f_{cd} = (2/3) \times \sqrt{(2.25)} \times 14.17 = 14.17 \text{ N/mm}^2$ (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.7, Εξ.6.63)
 $h = 600.0 \text{ mm}$, $b = 220.0 \text{ mm}$, $t_f = 19.0 \text{ mm}$, $t_w = 12.0 \text{ mm}$, $t_p = 45.0 \text{ mm}$
 $c = t_p \cdot (f_y / (3f_{jd} \cdot \gamma_{M0}))^{0.5} = 45 \times (235.00 / (3 \times 14.17 \times 1.00))^{0.5} = 105.8$, < 50.0 , $c = 50.0 \text{ mm}$ (Εξ.6.5)
 $2c + b_f = 2 \times 50.0 + 220 = 320.0 \text{ mm} \leq b_p = 320 \text{ mm}$, $l_{eff} = 320.0 \text{ mm}$
 $A_{c0, f} = l_{eff} \cdot (2c + t_f) = 320.0 \times (2 \times 50.0 + 19.0) = 38080 \text{ mm}^2$ (EC3-1-8, Σχ.6.4)
 $A_{c0, w} = (h - 2t_f - 2c) \cdot (t_w + 2c) = (600.0 - 2 \times 19.0 - 2 \times 50.0) \times (12.0 + 2 \times 50.0) = 51744 \text{ mm}^2$
 $N_{j,rd} = [10^{-3}] \times 14.2 \times (2 \times 38080 + 51744) = [10^{-3}] \times 14.2 \times 127904 = 1816 \text{ kN}$
 $N_{j,ed} = 26 \text{ kN} < 1816 \text{ kN} = N_{j,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

9.16.10. Αντοχή αγκύρωσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

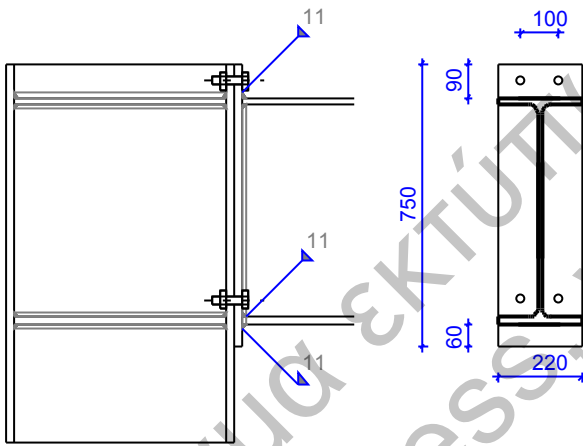
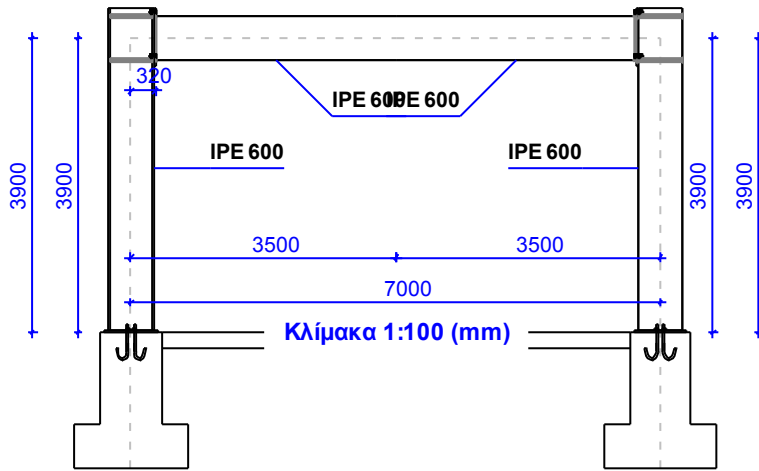
(EN1993-1-8, §6.2.6.12)

Αγκιστρο αγκυρίου

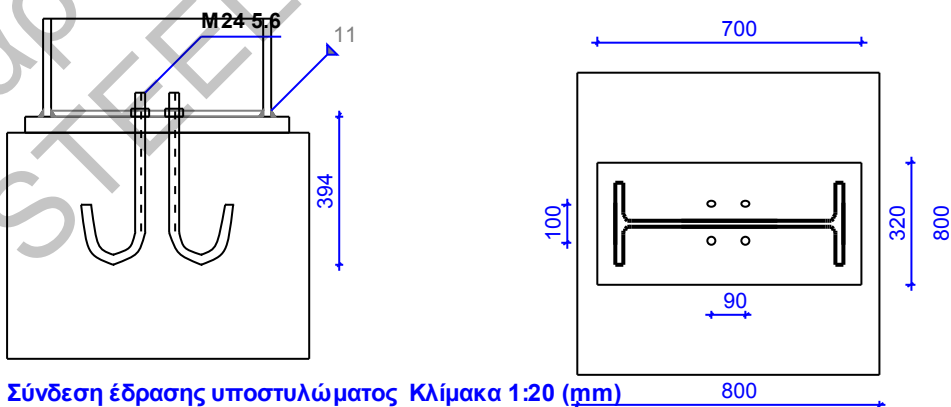
(EN1992-1-1 §8.4)

Αριθμός αγκυρίων : 4, με διάμετρο 24mm, $A_s = 353 \text{ mm}^2$
 Βασικό μήκος αγκύρωσης $l_{b,rqd}$, Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = 0.70 l_{b,rqd}$
 $l_{b,rqd} = (\sigma_s / 4) (\sigma_{sd} / f_{bd}) = (24/4) \times (7.5/1.02) = 44 \text{ mm}$
 $\sigma_{sd} = [10^3] \times 11 / (4 \times 353) = 7.5 \text{ N/mm}^2$, $f_{bd} = f_{ctd} = 1.02 \text{ N/mm}^2$
 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = 0.70 \times 44 > (10 \times 24, 100)$ $l_{bd} = 250 \text{ mm}$

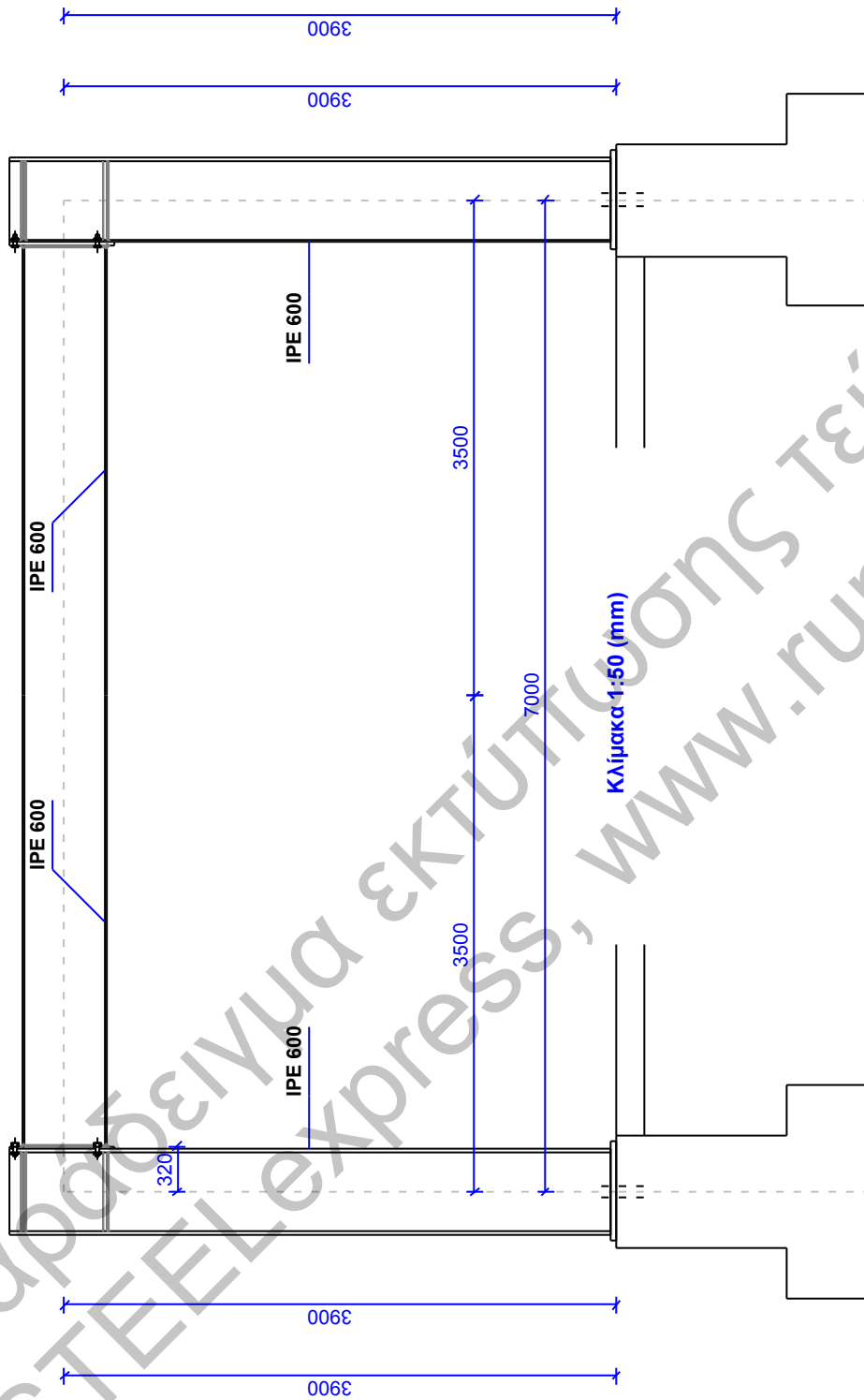
M24 10.9

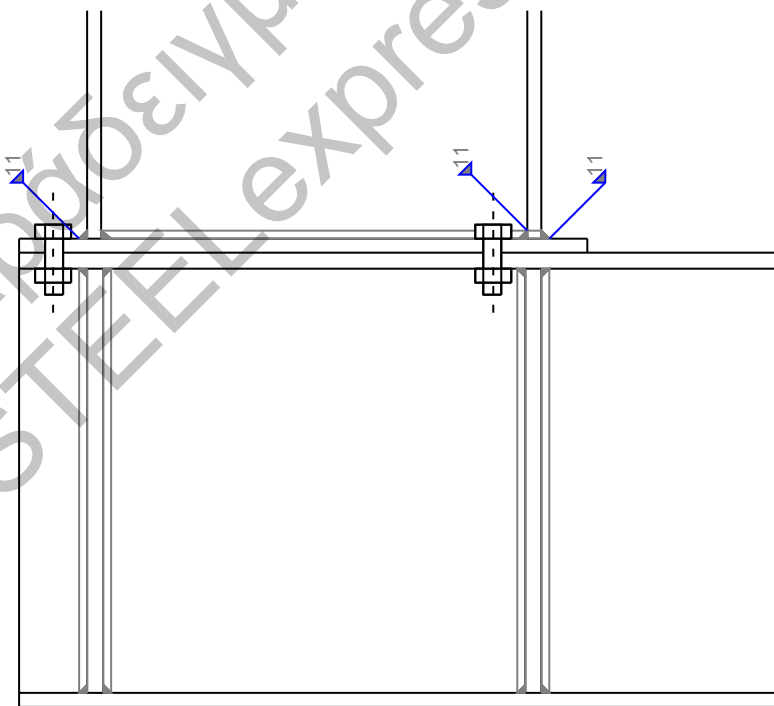
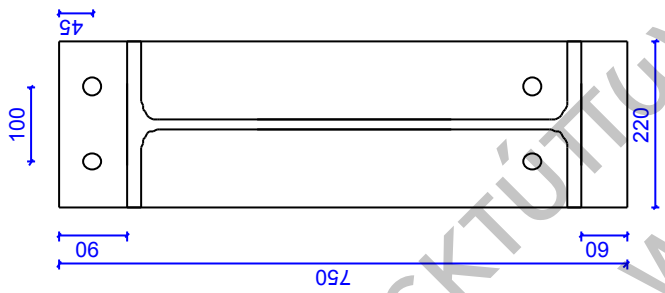


Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος Κλίμακα 1:20 (mm)

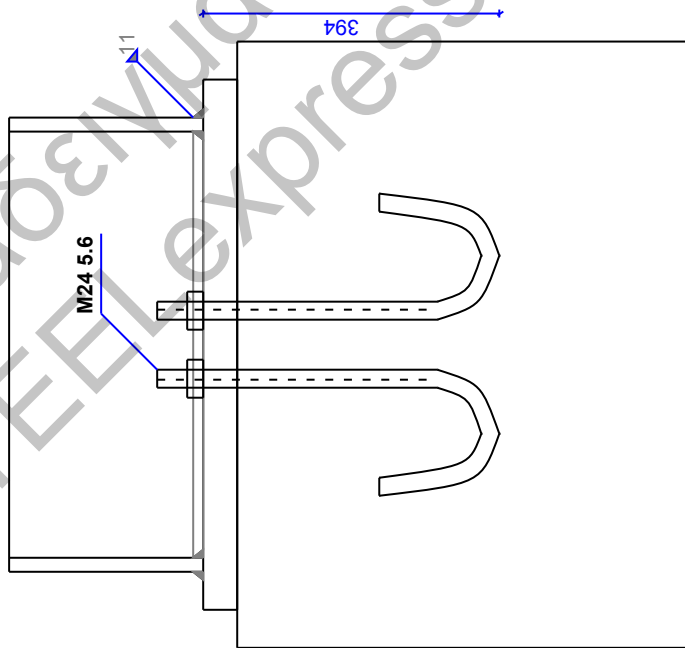
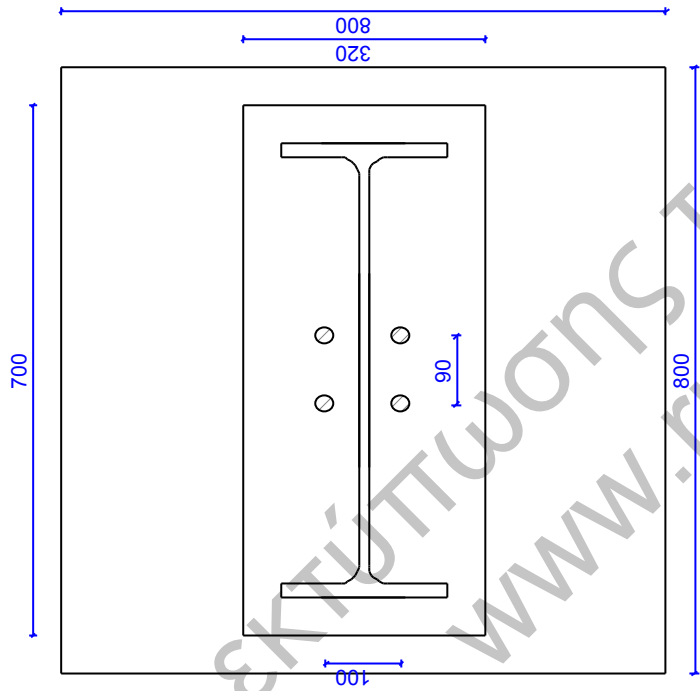


Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος Κλίμακα 1:20 (mm)





Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος Κλίμακα 1:10 (mm)



Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος Κλίμακα 1:10 (mm)

10. ΣΥΝΔ. Δ-004

Απλή έδραση υποστυλώματος

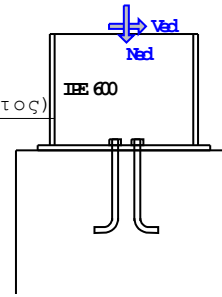
(EC3 EN1993-1-8:2005, §3, §6)

V_{ed} = 129.00 kN
 N_{ed} = 1816.00 kN
 M_{ed} = 444.00 kNm

10.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

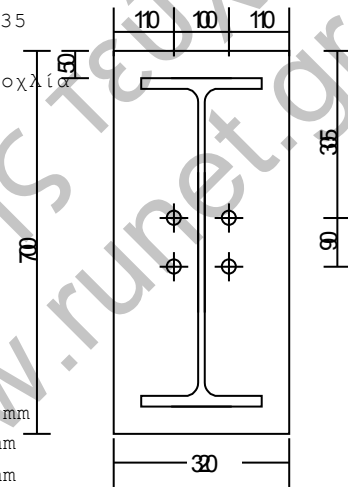
Δυνάμεις σχεδιασμού σύνδεσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

Αξονική δύναμη (θλίψη)	N _{ed} = -225 kN,
Αξονική δύναμη (εφελκυσμός)	N _{ed} = 36 kN,
Διατμητική δύναμη υποστυλώματος	V _{ed} = 120 kN,
Ροπή	M _{ed} = 0 kNm,



Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

Κατηγορία χάλυβα πλάκας έδρασης	700x320x25 mm, S 235
Αγκύρια	M24, Κατηγορία 5.6
Επίπεδο διάτμησης ήλου	εντός σπειρώματος κοχλιών μέσον 2x2=4
Συνολικός αριθμός κοχλιών	= 4
Διάμετρος οπών	d _o = 26 mm
Διατομή υποστυλωμάτων	IPE 600, S 355
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	100 mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα	11 mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	7 mm



Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους

Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών	e1=e2=ex= 110 mm
Απόσταση άκρου διατομής και σειράς κοχλιών	ec= 44 mm
Απόσταση άκρου πέλματος και σειράς κοχλιών	ef= 45 mm
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών	p1=p3=p= 90 mm
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	p2=g=w= 100 mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα	atf >= 0.55tf = 0.55x19.0 = 11 mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	aw >= 0.55tw = 0.55x12.0 = 7 mm

Σκυρόδεμα πεδίου

Σκυρόδεμα-Χάλυβας	C25/30-B500C	(EC2 §3.1, §3.2)
Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ _m	γ _c =1.50, γ _s =1.15	(EC2 §2.4.2.4)
Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού	f _{cd} =acc·f _{ck} /γ _c =0.85x25/1.50=14.17 N/mm ²	(EC2 §3.1.6)
Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού	f _{ctd} =act·f _{ctk05} /γ _c =0.85x2/1.50=1.02 N/mm ²	
Φέρουσα αντοχή	f _{jd} =β·√Ac1/Aco·f _{cd} =(2/3)x1.5x14.17=14.17N/mm ²	(EC2 §6.7)

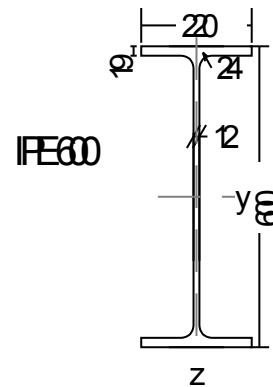
10.2. Διατομή υποστυλωμάτων

Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

Διατομή IPE 600-S 355

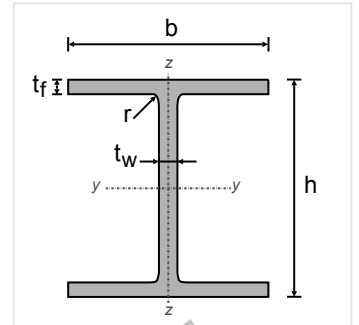
Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h= 600.00 mm
Πλάτος διατομής	b= 220.00 mm
Υψος κορμού	hw= 562.00 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	dw= 514.00 mm
Πάχος κορμού	tw= 12.00 mm
Πάχος πέλματος	tf= 19.00 mm
Ακτίνα συναρμογής	r= 24.00 mm
Μάζα	= 122.00 Kg/m



Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	15600	mm ²		
Ροπή αδρανείας	I _y =	920.80x10 ⁶	mm ⁴	I _z =	33.870x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	3069.0x10 ³	mm ³	W _z =	307.90x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	3512.0x10 ³	mm ³	W _{pz} =	485.60x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	243.0	mm	i _z =	46.6 mm
Επιφάνεια διάτμησης	A _{vz} =	8380	mm ²	A _{vy} =	8360 mm ²
Σταθερά στρέψης	I _t =	1.654x10 ⁶	mm ⁴	i _p =	247 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	87.061x10 ³	mm ³		
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	2845.5x10 ⁹	mm ⁶		



(EC3-1-8 §3.6.1, Πιν.3.4)

10.3. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίου (έδραση υποστυλώματος)

Κατηγορία αντοχής κοχλιών=5.6, f_{ub} =500N/mm², A_s=353.0mm², γ_{M2}=1.25

Εφελκυστική αντοχή κοχλιών F_{t,rd}=k₂·f_{ub}·A_s/γ_{M2}, (k₂=0.90)
 F_{t,rd}=[10⁻³]x0.90x500x353.0/1.25=127 kN

Διατμητική αντοχή κοχλιών F_{v,rd}=α_v·f_{ub}·A_s/γ_{M2}, (α_v=0.60)
 F_{v,rd}=[10⁻³]x0.60x500x353.0/1.25=85 kN

10.4. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

e=e_x=110 mm, e_{min}=110 mm

m_{x,x}=(100-12.0-2x0.8x7x√2)/2= 36.1 mm

m_{x,y}= 36.1 mm

n_{x,x}= e_{min} <=1.25m_{x,x} = min(110.0,1.25x36.1=45.1)= 45.1 mm

n_{x,y}= e_{min} <=1.25m_{x,y} = min(110.0,1.25x36.1=45.1)= 45.1 mm

min(m_{x,x}, m_{x,y})=min(36.1,36.1)=36.1mm, max(m_{x,x}, m_{x,y})=max(36.1,36.1)=36.1mm

min(n_{x,x}, n_{x,y})=min(45.1,45.1)=45.1mm, max(n_{x,x}, n_{x,y})=max(45.1,45.1)=45.1mm

10.5. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.6.5 Πιν.6.6)

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

l_{eff}=2π·m_x =2πx36.1= 226.8 mm

=4m+1.25e =4x36.1+1.25x110.0= 281.9 mm

=2p =2x90.0= 180.0 mm

=p = 90.0 mm

l_{eff,4b}=min(226.8, 281.9, 180.0, 90.0)= 90.0 mm

l_{eff,4b}= 90.0 mm

10.6. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

M_{p1,1,rd}=M_{p1,2,rd}=0.25l_{eff}·t_f²·f_y/γ_{M0}=[10⁻⁶]x0.25x90.0x25.0²x235/1.00=3.305kNm

Μορφή 1 F_{t,1,rd}= 4M_{p1,1,rd}/m = [10³]x4x3.305/36.1 = 366 kN

Μορφή 2 F_{t,2,rd}= (2M_{p1,2,rd}+nΣF_{t,rd})/(m+n)=([10³]x2x3.305+45.1x2x127)/(36.1+45.1)=222kN

Μορφή 3 F_{t,3,rd}= ΣF_{t,rd} =2x127 = 254 kN

F_{t,rd}= min(366, 222, 254)= 222 kN

10.7. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εφελκυσμό (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.6.8)

F_{t,wb,rd} = b_{eff,t,wb}·t_{wb}·f_{y,wb}/γ_{M0}

b_{eff,t,wb}=l_{eff}= l_{eff,4b} = 90.0 mm

F_{t,wb,rd} = [10⁻³]x90.0x12.0x355/1.00= 383 kN

min F_{t,rd}=min(222, 383)= 222 kN

10.8. Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης

(EN1993-1-8, §6.2.4)

Δύναμη σύνδεσης προς τα πάνω F_{t,ed}= 36 kN

Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης F_{t,rd}= 2x222 = 444 kN

N_{ed}= 36 kN < 444 kN =N_{rd}, Ελεγχος ικανοποιείται

10.9. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Διατμητική αντοχή κοχλιών

$$F_{v,rd} = \alpha_n \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.60 \times 500 \times 353.0 / 1.25 = 85 \text{ kN}$$

Επίπεδο διάτμησης ήλου: εντός σπειρώματος κοχλίας

Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$$

$$t = 25.0 \text{ mm}, d = 24 \text{ mm}, d_o = 26 \text{ mm}, e_1 = 110 \text{ mm}, e_2 = 110 \text{ mm}, p_1 = 90 \text{ mm}, f_{ub} = 500 \text{ kN/mm}^2, f_u = 360 \text{ kN/mm}^2, \alpha_b = \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] =$$

$$= \min[500/360, 1.0, 110/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.90$$

$$k_1 = \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 110/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50$$

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.90 \times 360 \times 24 \times 25.0 / 1.25 = 390 \text{ kN}$$

Διατμητική αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίας = $\min(85, 390) = 85 \text{ kN}$

Εφελκυσμός και διάτμηση

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Μεγίστη εφελκυστική δύναμη σε κοχλίες

$$F_{t,ed} = 222/2 = 111 \text{ kN}$$

Μείωση διατμητικής αντοχής λόγω εφελκυσμού

$$\rho = 1 - F_{t,ed} / 1.40 F_{t,rd} = 1 - 111 / (1.40 \times 127) = 0.38$$

Διατμητική αντοχή με εφελκυσμό για όλους τους κοχλίες

$$V_{rd} = 4 \times 0.38 \times 85 = 129 \text{ kN}$$

$V_{ed} = 120 \text{ kN} < 129 \text{ kN} = V_{rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

10.10. Αντοχή σύνδεσης σε σύνθλιψη (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §6.2.5)

Θλιπτική αντοχή πέλματος T-διατομής $F_{c,rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff}$

(§6.2.5(3) Εξ.6.4), §6.2.5(7)

$$f_{jd} = \beta \cdot \sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \cdot f_{cd} = (2/3) \times \sqrt{(2.25)} \times 14.17 = 14.17 \text{ N/mm}^2$$

(EC2 EN1992-1-1:2004, §6.7, Εξ.6.63)

$$h = 600.0 \text{ mm}, b = 220.0 \text{ mm}, t_f = 19.0 \text{ mm}, t_w = 12.0 \text{ mm}, t_p = 25.0 \text{ mm}$$

$$c = t_p \cdot (f_y / (3f_{jd} \cdot \gamma_{M0}))^{0.5} = 25 \times (235.00 / (3 \times 14.17 \times 1.00))^{0.5} = 58.8, < 50.0, c = 50.0 \text{ mm}$$

(Εξ.6.5)

$$2c + b_f = 2 \times 50.0 + 220 = 320.0 \text{ mm} \leq b_p = 320 \text{ mm}, l_{eff} = 320.0 \text{ mm}$$

$$A_{c0, f} = l_{eff} \cdot (2c + t_f) = 320.0 \times (2 \times 50.0 + 19.0) = 38080 \text{ mm}^2$$

(EC3-1-8, Σχ.6.4)

$$A_{c0, w} = (h - 2t_f - 2c) \cdot (t_w + 2c) = (600.0 - 2 \times 19.0 - 2 \times 50.0) \times (12.0 + 2 \times 50.0) = 51744 \text{ mm}^2$$

$$N_{j,rd} = [10^{-3}] \times 14.2 \times (2 \times 38080 + 51744) = [10^{-3}] \times 14.2 \times 127904 = 1816 \text{ kN}$$

$N_{j,ed} = 225 \text{ kN} < 1816 \text{ kN} = N_{j,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

Καμπτική αντοχή πλάκας έδρασης

(EN1993-1-8, §6.2.6.10)

$$M_{p,rd} = W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] (320 \times 25.0^2 / 6) \times 235 / 1.0 = 8 \text{ kNm}$$

(§6.2.5)

$$M_{p,ed} = b_p \cdot q_{ed} \cdot c^2 / 2 = [10^{-6}] [320 \times 225000 / (2 \times 38080 + 51744.0)] \times 50.0^2 / 2 = 1 \text{ kNm}$$

$M_{p,ed} = 1.0 \text{ kNm} < 8.0 \text{ kNm} = M_{p,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

10.11. Αντοχή αγκύρωσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §6.2.6.12)

Αγκιστρο αγκυρίου

(EN1992-1-1 §8.4)

Αριθμός αγκυρίων : 4, με διάμετρο 24mm, $A_s = 353 \text{ mm}^2$

Βασικό μήκος αγκύρωσης $l_{b,rqd}$, Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = 0.70 l_{b,rqd}$

$$l_{b,rqd} = (\sigma_s / 4) (\sigma_{sd} / f_{bd}) = (24/4) \times (25.5/1.02) = 150 \text{ mm}$$

$$\sigma_{sd} = [10^3] \times 36 / (4 \times 353) = 25.5 \text{ N/mm}^2, f_{bd} = f_{ctd} = 1.02 \text{ N/mm}^2$$

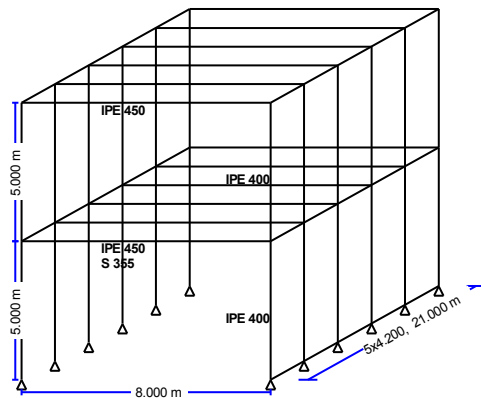
Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = 0.70 \times 150 > (10 \times 24, 100) \quad l_{bd} = 250 \text{ mm}$

11. ΠΛΑΙΣΙΟ-002

Διώροφο πλαίσιο ενός ανοίγματος

(EC3 EN1993-1-1:2005, +NA-ΕΛΟΤ:2010)

ΠΛΑΙΣΙΟ-002



11.1. Κανονισμοί

EN1990:2002, Ευρωκώδικας 0 Βάσεις σχεδιασμού
 EN1991-1-1:2002, Ευρωκώδικας 1-1 Δράσεις
 EN1991-1-3:2003, Ευρωκώδικας 1-3 Φορτία Χιονιού
 EN1991-1-4:2005, Ευρωκώδικας 1-4 Φορτία Ανέμου
 EN1993-1-1:2005, Ευρωκώδικας 3 1-1 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα
 EN1993-1-3:2005, Ευρωκώδικας 3 1-3 Μέλη και φύλλα ψυχρής έλασης
 EN1993-1-5:2006, Ευρωκώδικας 3 1-5 Δομικά στοιχεία από επίπεδα ελάσματα
 EN1993-1-8:2005, Ευρωκώδικας 3 1-8 Σχεδιασμός κόμβων
 CEN/TS 1992-4-1:2009, Σχεδιασμός συνδέσεων με σκυρόδεμα, Γενικά
 CEN/TS 1992-4-2:2009, Σχεδιασμός συνδέσεων με σκυρόδεμα, Συνδέσεις κεφαλής

11.2. Βασικά στοιχεία

11.2.1. Γεωμετρικά στοιχεία πλαισίου

Άνοιγμα πλαισίου	L = 8.000 m
Ύψος υποστυλώματος	H1 = 5.000 m
	H2 = 5.000 m
Ολικό μήκος	B = 21.000 m (5x4.200m)
Απόσταση μεταξύ πλαισίων	s = 4.200 m
Γωνία στέγης	$\alpha = 0.00^\circ$
Απόσταση διαδοκίδων	= 3.000 m

11.2.2. Διατομές

Διατομή υποστυλωμάτων	IPE 400 - S 355
Διατομή δοκού	IPE 450 - S 355
Εγκάρσιες συγκρατήσεις υποστυλωμάτων	Lm1= 4.775 m
Εγκάρσιες συγκρατήσεις δοκών	Lm2= 3.201 m
Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της σύνδεσης ζυγώματος με υποστυλώμα	

11.2.3. Συνδέσεις

Είδος σύνδεσης	Μετωπική πλάκα σύνδεσης, μη-προεντεταμένοι κοχλίες
Κατηγορία σύνδεσης	Κατηγορία A: σύνθλιψη Κατηγορία Δ: μη-προεντεταμένοι κοχλίες
Μετωπική πλάκα	Πάχος $t_p=20$ mm, S 235
Κοχλίες	M24, Κατηγορία 10.9

11.3. Υλικά και παράμετροι κανονισμού

11.3.1. Υλικά

Χάλυβας: S 355

(EN1993-1-1, §3.2)

$t \leq 40$ mm, Αντοχή διαρροής $f_y = 355$ N/mm², Αντοχή αστοχίας $f_u = 510$ N/mm²

$40\text{mm} < t \leq 80$ mm, Αντοχή διαρροής $f_y = 335$ N/mm², Αντοχή αστοχίας $f_u = 470$ N/mm²

Μέτρο ελαστικότητας $E = 210000$ N/mm², Λόγος Poisson $\nu = 0.30$, Πυκνότητα $\rho = 7850$ Kg/m³

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_m

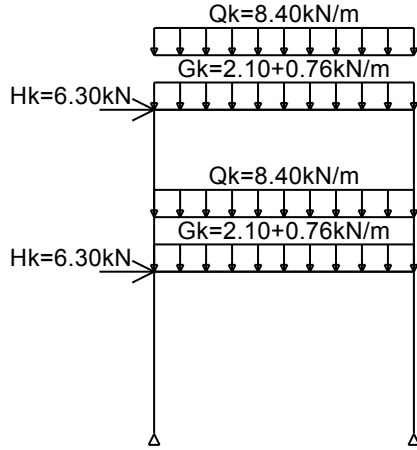
(EN1993-1-1, §6.1)

$\gamma_{M0} = 1.00$, $\gamma_{M1} = 1.00$, $\gamma_{M2} = 1.25$

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους
STEELexpress, www.runet.gr

11.4. Φορτία

Μόνιμο φορτίο	$g_{k1} = 2.100 \text{ kN/m}$	$g_{k2} = 2.100 \text{ kN/m}$
Ιδίο βάρος δοκών	$G(\text{IPE } 450) = 0.76 \text{ kN/m}$	$G(\text{IPE } 450) = 0.76 \text{ kN/m}$
Μόνιμο φορτίο ανά πλαίσιο	$G_{k1} = 2.10 + 0.76 = 2.86 \text{ kN/m}$	$G_{k2} = 2.10 + 0.76 = 2.86 \text{ kN/m}$
Ιδίο βάρος υποσυλωμάτων	$G(\text{IPE } 400) = 0.65 \text{ kN/m}$	$G(\text{IPE } 400) = 0.65 \text{ kN/m}$
Μεταβλητό φορτίο-1	$Q_{k1} = 8.400 \text{ kN/m}$	$Q_{k2} = 8.400 \text{ kN/m}$
Μεταβλητό φορτίο-2	$H_{k1} = 6.300 \text{ kN}$	$H_{k2} = 6.300 \text{ kN}$



Φορτία G_k, Q_k, H_k

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους
 STEELexpress, www.runet.gr

11.4.1. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) (STR)

$$E_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{k2} \quad (\text{Εξ.6.10})$$

$\gamma_{G, \text{sup}} = 1.35$ (Δυσμενής)
 $\gamma_{G, \text{inf}} = 1.00$ (Ευνοϊκή)
 $\gamma_Q = 1.50$ (Δυσμενής)
 $\gamma_Q = 0.00$ (Ευνοϊκή)
 $\psi_0 = 0.70$ (Συνδιασμός φορτίου)

Συνδιασμοί φορτίων (ULS) (STR),

Μόνιμο φορτίο G_k , Μεταβλητό φορτίο-1 Q_k Μεταβλητό φορτίο-2 H_k

Σ.Φ. 201: $1.35G_k + 1.50Q_k$ (Εξ.6.10)

Σ.Φ. 202: $1.35G_k + 1.50H_k$ (Εξ.6.10)

Σ.Φ. 221: $1.35G_k + 1.50Q_k + 0.70 \times 1.50H_k = 1.35G_k + 1.50Q_k + 1.05H_k$ (Εξ.6.10)

Σ.Φ. 222: $1.35G_k + 1.50H_k + 0.70 \times 1.50Q_k = 1.35G_k + 1.50H_k + 1.05Q_k$ (Εξ.6.10)

11.4.2. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

$$E_d = G_k + Q_{k1} + \psi_0 \cdot Q_{k2} + \psi_0 \cdot Q_{k3} \quad (\text{Χαρακτηριστικός συνδυασμός}) \quad (\text{Εξ.6.14b})$$

Συνδιασμοί φορτίων (SLS)

Μόνιμο φορτίο G_k , Μεταβλητό φορτίο-1 Q_k Μεταβλητό φορτίο-2 H_k

Σ.Φ. 301: $G_k + Q_k$ (Εξ.6.14a)

Σ.Φ. 302: $G_k + H_k$ (Εξ.6.14a)

Σ.Φ. 311: $G_k + Q_k + 0.70H_k$ (Εξ.6.14a)

Σ.Φ. 312: $G_k + H_k + 0.70Q_k$ (Εξ.6.14a)

11.4.3. Σύνοψη συνδυασμών φορτίσεων

Μόνιμο φορτίο G_k , Μεταβλητό φορτίο-1 Q_k Μεταβλητό φορτίο-2 H_k

1	Σ.Φ. 201 (ULS) (STR)	$1.35G_k + 1.50Q_k + 0.00H_k$
2	Σ.Φ. 202 (ULS) (STR)	$1.35G_k + 0.00Q_k + 1.50H_k$
3	Σ.Φ. 221 (ULS) (STR)	$1.35G_k + 1.50Q_k + 1.05H_k$
4	Σ.Φ. 222 (ULS) (STR)	$1.35G_k + 1.05Q_k + 1.50H_k$
5	Σ.Φ. 301 (SLS)	$1.00G_k + 1.00Q_k + 0.00H_k$
6	Σ.Φ. 302 (SLS)	$1.00G_k + 0.00Q_k + 1.00H_k$
7	Σ.Φ. 311 (SLS)	$1.00G_k + 1.00Q_k + 0.70H_k$
8	Σ.Φ. 312 (SLS)	$1.00G_k + 0.70Q_k + 1.00H_k$

11.5. Διατομές

11.5.1. Διατομή υποστυλωμάτων

Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

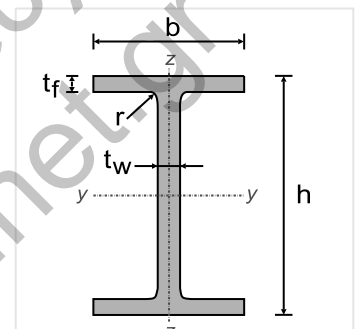
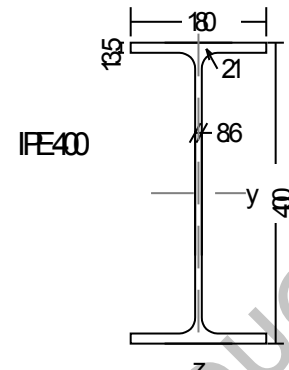
Διατομή IPE 400-S 355

Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h=	400.00 mm
Πλάτος διατομής	b=	180.00 mm
Υψος κορμού	hw=	373.00 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	dw=	331.00 mm
Πάχος κορμού	tw=	8.60 mm
Πάχος πέλματος	tf=	13.50 mm
Ακτίνα συναρμογής	r=	21.00 mm
Μάζα	=	66.30 Kg/m

Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	8446 mm ²	
Ροπή αδρανείας	I _y =	231.30x10 ⁶ mm ⁴	I _z =13.180x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	1156.0x10 ³ mm ³	W _z =146.40x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	1307.0x10 ³ mm ³	W _{pz} =229.00x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	165.5 mm	i _z = 39.5 mm
Επιφάνεια διάτμησης	Av _z =	4269 mm ²	Av _y = 4860 mm ²
Σταθερά στρέψης	It=	0.511x10 ⁶ mm ⁴	ip= 170 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	37.834x10 ³ mm ³	
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	490.05x10 ⁹ mm ⁶	



11.5.2. Διατομή δοκού

Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

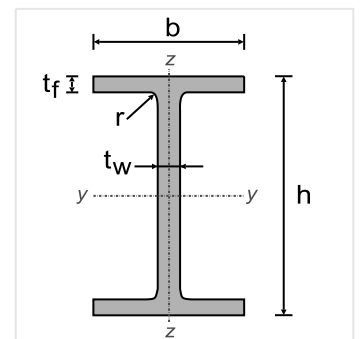
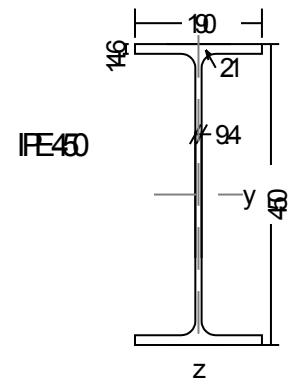
Διατομή IPE 450-S 355

Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h=	450.00 mm
Πλάτος διατομής	b=	190.00 mm
Υψος κορμού	hw=	420.80 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	dw=	378.80 mm
Πάχος κορμού	tw=	9.40 mm
Πάχος πέλματος	tf=	14.60 mm
Ακτίνα συναρμογής	r=	21.00 mm
Μάζα	=	77.60 Kg/m

Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	9882 mm ²	
Ροπή αδρανείας	I _y =	337.40x10 ⁶ mm ⁴	I _z =16.760x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	1500.0x10 ³ mm ³	W _z =176.40x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	1702.0x10 ³ mm ³	W _{pz} =276.40x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	184.8 mm	i _z = 41.2 mm
Επιφάνεια διάτμησης	Av _z =	5084 mm ²	Av _y = 5548 mm ²
Σταθερά στρέψης	It=	0.669x10 ⁶ mm ⁴	ip= 189 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	45.804x10 ³ mm ³	
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	791.01x10 ⁹ mm ⁶	



11.6. Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία

(EN1993-1-1, §5.1)

Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων FRAME2Dexpres® Runet χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση. Οι βάσεις στηρίξεων των υποστυλωμάτων θεωρήθηκαν αρθρώσεις. Οι συνδέσεις ζυγμάτων με υποστυλώματα και ζυγμάτων μεταξύ τους θεωρήθηκαν άκαμπτες. Οι καθολικές και τοπικές ατέλειες πλαισίων ελήφθησαν υπόψη με ισοδύναμα φορτία.

Ελαστική-γραμμική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό και ανάλυση σε στατικά φορτία.

11.6.1. Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ελαστική ανάλυση

Κόμβοι κατασκευής

Κόμβος	x [mm]	y [mm]
1	0	0
2	0	5000
3	0	10000
4	8000	10000
5	8000	5000
6	8000	0

Στηρίξεις κατασκευής

Κόμβος	είδος	ux [mm]	uy [mm]	ur [rad]
1	άρθρωση	δx=δy=0		
6	άρθρωση	δx=δy=0		

Στοιχεία κατασκευής

Στοιχ.	κόμβ.-1	κόμβ.-2	μήκος (mm)	γωνία(°)	E (GPa)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
1	1	2	5000	90.00	210	8446	231300x10 ³
2	2	3	5000	90.00	210	8446	231300x10 ³
3	2	5	8000	0.00	210	9882	337400x10 ³
4	3	4	8000	0.00	210	9882	337400x10 ³
5	4	5	5000	270.00	210	8446	231300x10 ³
6	5	6	5000	270.00	210	8446	231300x10 ³



Ελαστική γραμμική ανάλυση

11.6.2. Ομοιόμορφα φορτία μέλους, q κάθετα στο μέλος, qy κατακόρυφη, qx οριζόντια [kN/m]

Σ.Φ.		Υποστυλώμα(1)			Υποστυλώμα(2)			Δοκός(1)			Δοκός(2)		
		q	qy	qx	q	qy	qx	q	qy	qx	q	qy	qx
201	ULS-STR	0.00	0.88	0	0.00	0.88	0	0.00	16.46	0	0.00	16.46	0
202	ULS-STR	0.00	0.88	0	0.00	0.88	0	0.00	3.86	0	0.00	3.86	0
221	ULS-STR	0.00	0.88	0	0.00	0.88	0	0.00	16.46	0	0.00	16.46	0
222	ULS-STR	0.00	0.88	0	0.00	0.88	0	0.00	12.68	0	0.00	12.68	0
301	SLS	0.00	0.65	0	0.00	0.65	0	0.00	11.26	0	0.00	11.26	0
302	SLS	0.00	0.65	0	0.00	0.65	0	0.00	2.86	0	0.00	2.86	0
311	SLS	0.00	0.65	0	0.00	0.65	0	0.00	11.26	0	0.00	11.26	0
312	SLS	0.00	0.65	0	0.00	0.65	0	0.00	8.74	0	0.00	8.74	0

11.7. Αποτελέσματα στατικής ελαστικής γραμμικής ανάλυσης

11.7.1. Μετατοπίσεις [mm]

Σ.Φ.	Οριζον. μετατ. Δx mm	Υποστ. Βέλος δοκού(1) wy mm	Βέλος δοκού(2) wy mm
201 ULS-STR	0.045	3.434	5.762
202 ULS-STR	7.144	0.805	1.344
221 ULS-STR	5.039	3.433	5.757
222 ULS-STR	7.169	2.644	4.432
301 SLS	0.031	2.349	3.941
302 SLS	4.764	0.596	0.996
311 SLS	3.360	2.348	3.938
312 SLS	4.780	1.822	3.055

11.7.2. Αντιδράσεις στηρίξεων

Οριζόντια δύναμη Hed [kN], Κατακόρυφη δύναμη Ved [kN], Ροπή Med [kNm]

Σ.Φ.	Αριστερή στήριξη 1			Δεξιά στήριξη 2		
	Hed,1 kN	Ved,1 kN	Med,1 kNm	Hed,2 kN	Ved,2 kN	Med,2 kNm
201 ULS-STR	4.3	140.5	0.0	-4.3	140.5	0.0
202 ULS-STR	-3.7	33.8	0.0	-5.7	45.6	0.0
221 ULS-STR	1.0	136.3	0.0	-7.6	144.6	0.0
222 ULS-STR	-1.4	104.3	0.0	-8.0	116.1	0.0
301 SLS	3.0	96.6	0.0	-3.0	96.6	0.0
302 SLS	-2.4	25.4	0.0	-3.9	33.3	0.0
311 SLS	0.7	93.8	0.0	-5.2	99.3	0.0
312 SLS	-0.9	72.5	0.0	-5.4	80.4	0.0

11.7.3. Αξονικές δυνάμεις Ned [kN]

Σ.Φ.	Υποστώλιμα(1) Ned,6	Υποστώλιμα(2) Ned,5	Δοκός(1) Ned,3	Δοκός(2) Ned,4
201 ULS-STR	-138.3	-68.0	19.2	-23.5
202 ULS-STR	-43.4	-18.4	-0.2	-5.5
221 ULS-STR	-142.4	-68.6	15.9	-23.5
222 ULS-STR	-113.9	-53.7	10.1	-18.1
301 SLS	-95.0	-46.7	13.1	-16.1
302 SLS	-31.7	-13.6	0.2	-4.1
311 SLS	-97.7	-47.0	10.9	-16.1
312 SLS	-78.7	-37.1	7.1	-12.5

11.7.4. Διατμητικές δυνάμεις Ved [kN]

Σ.Φ.	Υποστώλιμα(1) VedA,6 VedB,6		Υποστώλιμα(2) VedA,5 VedB,5		Δοκός(1) VedA,3 VedB,3		Δοκός(2) VedA,4 VedB,4	
	201 ULS-STR	4.3	4.3	23.5	23.5	65.8	-65.8	65.8	-65.8
202 ULS-STR	5.7	5.7	5.5	5.5	10.3	-20.6	14.7	-16.2
221 ULS-STR	7.6	7.6	23.5	23.5	62.3	-69.4	65.3	-66.4
222 ULS-STR	8.0	8.0	18.1	18.1	45.6	-55.8	49.9	-51.5
301 SLS	3.0	3.0	16.1	16.1	45.0	-45.0	45.0	-45.0
302 SLS	3.9	3.9	4.1	4.1	8.0	-14.9	10.9	-12.0
311 SLS	5.2	5.2	16.1	16.1	42.7	-47.4	44.7	-45.4
312 SLS	5.4	5.4	12.5	12.5	31.5	-38.4	34.4	-35.5

A:αριστερό άκρο, B δεξί άκρο

11.7.5. Καμπτικές ροπές Med [kNm]

Σ.Φ.	Υποστώλιμα(1) MedA,6 MedM,6		MedB,6	Υποστώλιμα(2) MedA,5 MedM,5 MedB,5		
	201 ULS-STR	-21.6		-10.8	0.0	-64.5	-5.7	53.2
202 ULS-STR	-28.6	-14.3	0.0	-18.3	-4.5	9.4
221 ULS-STR	-38.1	-19.1	0.0	-66.7	-7.9	51.0
222 ULS-STR	-40.2	-20.1	0.0	-52.9	-7.5	37.9
301 SLS	-14.8	-7.4	0.0	-44.1	-3.9	36.4
302 SLS	-19.5	-9.7	0.0	-13.3	-3.1	7.2
311 SLS	-25.8	-12.9	0.0	-45.6	-5.3	34.9
312 SLS	-27.2	-13.6	0.0	-36.4	-5.1	26.2

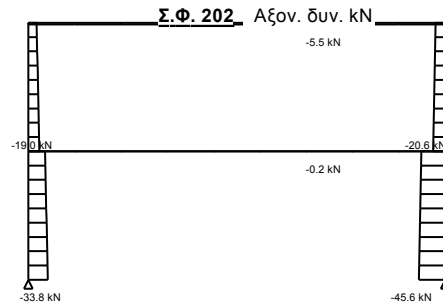
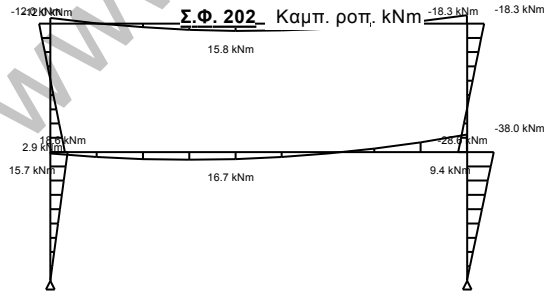
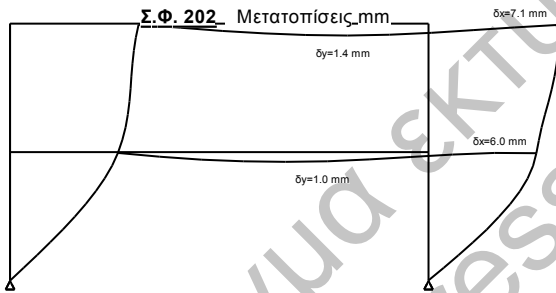
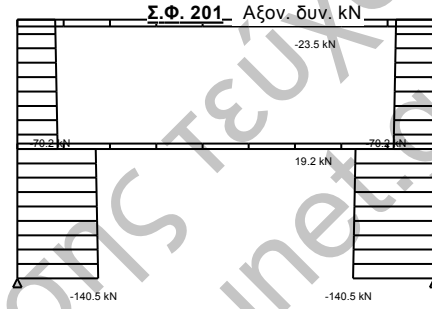
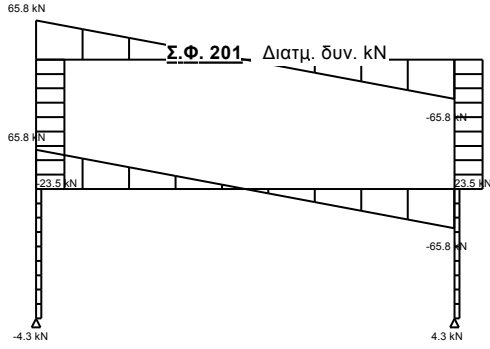
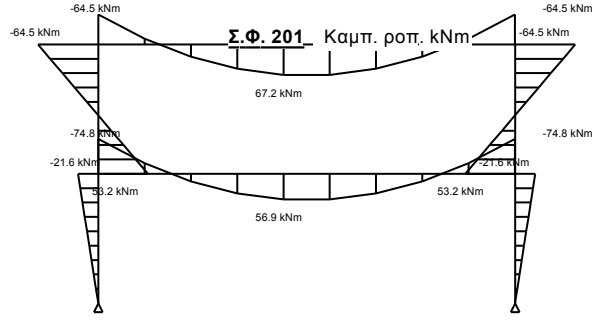
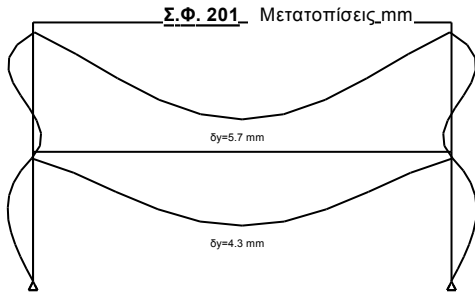
A:αριστερό άκρο, C:τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress

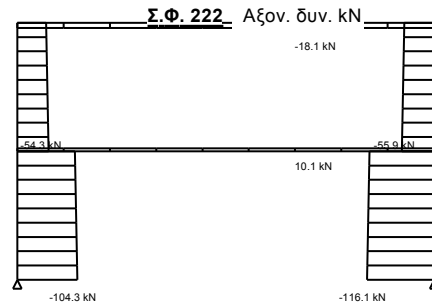
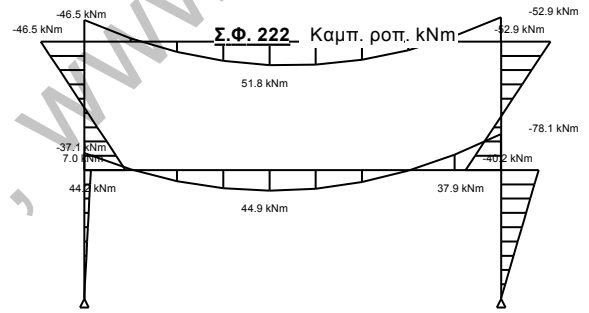
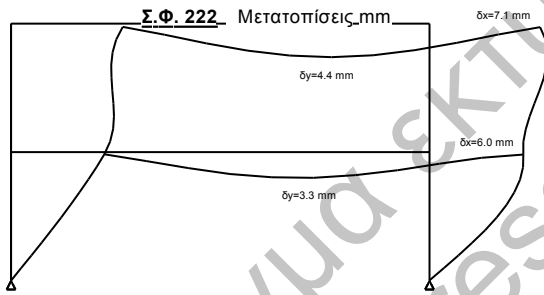
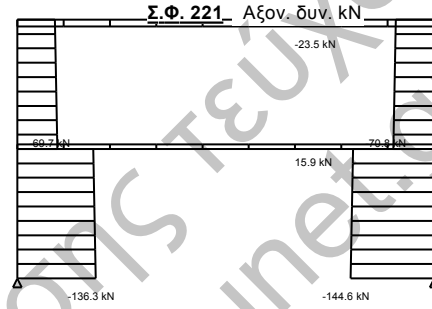
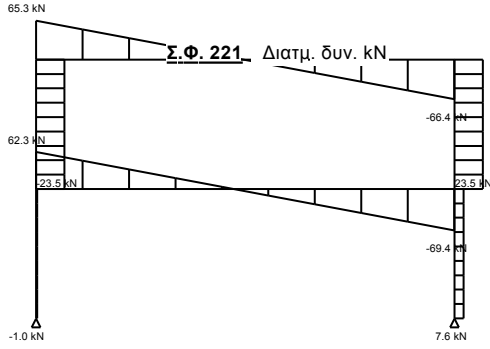
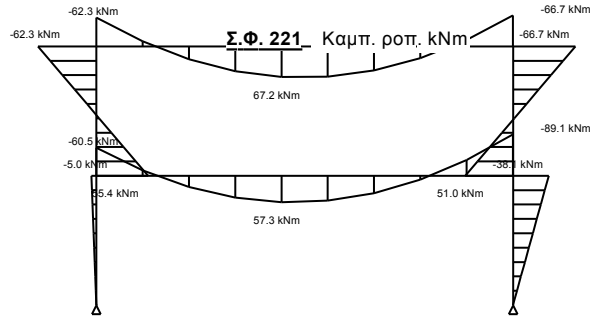
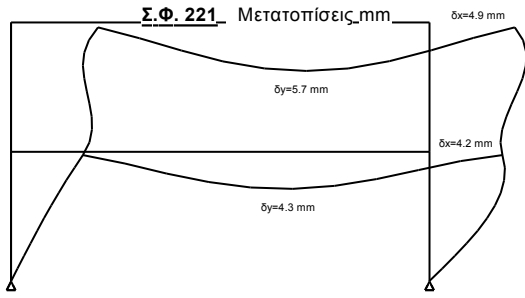
Σ.Φ.		Δοκός(1)			Δοκός(2)		
		MedA, 3	MedM, 3	MedB, 3	MedA, 4	MedM, 4	MedB, 4
201	ULS-STR	-74.8	56.9	-74.8	-64.5	67.2	-64.5
202	ULS-STR	2.9	16.7	-38.0	-12.0	15.8	-18.3
221	ULS-STR	-60.5	57.3	-89.1	-62.3	67.2	-66.7
222	ULS-STR	-37.1	44.9	-78.1	-46.5	51.8	-52.9
301	SLS	-51.2	38.9	-51.2	-44.1	46.0	-44.1
302	SLS	0.6	11.9	-26.6	-9.1	11.7	-13.3
311	SLS	-41.6	39.2	-60.7	-42.6	46.0	-45.6
312	SLS	-26.1	30.9	-53.4	-32.1	35.7	-36.4

A:αριστερό άκρο, C:τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους
STEELexpress, www.runet.gr



Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress



11.8. Καθολική ανάλυση

(EN1993-1-1, §5.2)

11.8.1. Μεγεθυντικός συντελεστής λυγισμού

(EN1993-1-1, §5.2.1)

$\alpha_{cr} = (H_{nhf}/V_{ed}) (h/\delta h, ed)$ (Εξ.5.2)

Από ελαστική ανάλυση προκύπτει, Σ.Φ. 221: $1.35G_k + 1.50Q_k + 0.70 \times 1.50H_k = 1.35 \times G_k + 1.50 \times Q_k + 1.05H_k$

Κατακόρυφη αντίδραση στη βάση υποστυλώματος V_{ed}= 144.6 kN

Οριζόντια αντίδραση στη βάση υποστυλώματος H_{ed}= 7.6 kN

Αξονική δύναμη ζυγμάτων N_{red}= 23.5 kN

Υποθετική οριζόντια δύναμη εφαρμόζεται στην κορυφή των υποστυλωμάτων H_{nhf}= 1.0 kN

Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή των υποστυλωμάτων για υποθετική οριζόντια δύναμη δ_{h,ed}= 2.78 mm

$\alpha_{cr} = (1.0/144.6) (5000/2.78) = 12.43$ (Εξ.5.2)

Ελεγχος αξονικής θλίψης στα ζυγώματα. Αξονική θλίψη είναι σημαντική αν (§5.2.1, (4)B)

$\lambda = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr})} > 0.3 \sqrt{(A \cdot f_y / N_{ed})}$, $N_{ed} > 0.09 N_{cr}$ (§5.2.1 Εξ.5.3)

Ανεπτυγμένο μήκος ζυγμάτων από υποστύλωμα σε υποστύλωμα $L = 8000 / \cos 0.00^\circ = 8000 \text{ mm}$

$N_{cr} = \pi^2 EI / L^2 = \pi^2 \times 210 \times 337.40 \times 10^6 / (8000)^2 = 10926.6 \text{ kN}$

Μεγίστη αξονική δύναμη στα ζυγώματα $N_{ed} = 23.5 \text{ kN}$, Σ.Φ. 221: $1.35G_k + 1.50Q_k + 0.70 \times 1.50H_k$

$\lambda = \sqrt{(9882 \times 355 / 10926577)} = 0.57 \leq 0.3 \sqrt{(9882 \times 355 / 23540)} = 3.66$

Η αξονική θλίψη στα ζυγώματα δεν είναι σημαντική, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε Εξ.5.2

$\alpha_{cr} = 12.43 > 10$ (Εξ.5.1)

1ης-τάξεως ελαστική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί (§5.2.2.1)

Μεγεθυντικός συντελεστής για ροπές σχεδιασμού $\delta = 1 / (1 - 1/\alpha_{cr}) = 1 / (1 - 1/12.43) = 1.09$ (Εξ.5.4)

11.8.2. Ατέλειες για καθολική ανάλυση

(EN1993-1-1, §5.3.2)

$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \cdot \delta = (1/200) \times 0.894 \times 0.866 \times 1.087 = 4.212 \times 10^{-3} = 1/237$ (Εξ.5.5)

$\phi_0 = 1/200$, $\alpha_h = 2/\sqrt{h} = 2/\sqrt{5.000} = 0.894$, $2/3 \leq \alpha_h \leq 1.0$, $\alpha_m = \sqrt{(0.5(1+1/2))} = 0.866$

Ατέλειες σε αρχική οριζόντια μετατόπιση μπορούν να παραβλεπτούν όταν $H_{ed} > 0.15 V_e$ (§5.3.2 (4) Εξ.5.7)

Επίδραση ατελειών σε αρχική οριζόντια μετατόπιση $H_{eq} = 4.212 \times 10^{-3} \times V_{ed}$ (§5.3.2 (5))

11.8.3. Ατέλειες σε οριζόντια μετατόπιση υποστυλωμάτων

(EN1993-1-1, §5.3.2)

Αντιδράσεις στηρίξεων, Οριζόντια δύναμη H_{ed} [kN], Κατακόρυφη δύναμη V_{ed} [kN]

		Αριστερή στήριξη 1	Δεξιά στήριξη 2	H _{ed1} +H _{ed2}	V _{ed1} +V _{ed2}	H _{ed} /V _{he}	φ·V _{ed}
		H _{ed,1}	H _{ed,2}	H _{ed}	V _{ed}		H _{eq} kN
201	ULS-STR	4.3	65.8	70.2	164.0	0.43	0.592
202	ULS-STR	-3.7	16.2	12.5	39.3	0.32	0.192
221	ULS-STR	1.0	66.4	67.4	159.9	0.42	0.609
222	ULS-STR	-1.4	51.5	50.1	122.5	0.41	0.489
301	SLS	3.0	45.0	48.0	112.7	0.43	0.407
302	SLS	-2.4	12.0	9.6	29.5	0.32	0.140
311	SLS	0.7	45.4	46.2	109.9	0.42	0.418
312	SLS	-0.9	35.5	34.6	85.0	0.41	0.338

11.8.4. Εσωτερικές δυνάμεις και καμτικές ροπές με επίδραση ατελειών

11.8.5. Αξονικές δυνάμεις Ned [kN]

Σ.Φ.	Υποστύλωμα(1) N _{ed,6}	Υποστύλωμα(2) N _{ed,5}	Δοκός(1) N _{ed,3}	Δοκός(2) N _{ed,4}	
201	ULS-STR	-139.4	-68.3	18.9	-23.8
202	ULS-STR	-43.7	-18.5	-0.3	-5.6
221	ULS-STR	-143.5	-68.9	15.6	-23.8
222	ULS-STR	-114.9	-53.9	9.9	-18.4
301	SLS	-95.7	-46.9	12.9	-16.3
302	SLS	-32.0	-13.7	0.1	-4.2
311	SLS	-98.5	-47.2	10.7	-16.3
312	SLS	-79.4	-37.3	6.9	-12.7

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress

11.8.6. Διατμητικές δυνάμεις Ved [kN]

Σ.Φ.		Υποστυλώμα(1)		Υποστυλώμα(2)		Δοκός(1)		Δοκός(2)	
		VedA,6	VedB,6	VedA,5	VedB,5	VedA,3	VedB,3	VedA,4	VedB,4
201	ULS-STR	4.9	4.9	23.8	23.8	65.0	-66.7	65.6	-66.1
202	ULS-STR	5.9	5.9	5.6	5.6	10.1	-20.8	14.6	-16.3
221	ULS-STR	8.2	8.2	23.8	23.8	61.4	-70.3	65.0	-66.7
222	ULS-STR	8.5	8.5	18.4	18.4	44.9	-56.5	49.7	-51.7
301	SLS	3.4	3.4	16.3	16.3	44.5	-45.6	44.8	-45.2
302	SLS	4.0	4.0	4.2	4.2	7.8	-15.0	10.8	-12.0
311	SLS	5.6	5.6	16.3	16.3	42.1	-48.0	44.5	-45.6
312	SLS	5.8	5.8	12.7	12.7	31.1	-38.8	34.3	-35.6

A:αριστερό άκρο, B δεξί άκρο

11.8.7. Καμπτικές ροπές Med [kNm]

Σ.Φ.		Υποστυλώμα(1)			Υποστυλώμα(2)		
		MedA,6	MedM,6	MedB,6	MedA,5	MedM,5	MedB,5
201	ULS-STR	-24.6	-12.3	0.0	-65.6	-6.0	53.5
202	ULS-STR	-29.6	-14.8	0.0	-18.7	-4.6	9.5
221	ULS-STR	-41.2	-20.6	0.0	-67.9	-8.3	51.3
222	ULS-STR	-42.7	-21.3	0.0	-53.8	-7.8	38.1
301	SLS	-16.8	-8.4	0.0	-44.9	-4.1	36.6
302	SLS	-20.2	-10.1	0.0	-13.6	-3.2	7.3
311	SLS	-27.9	-13.9	0.0	-46.4	-5.6	35.2
312	SLS	-28.9	-14.4	0.0	-37.0	-5.3	26.4

A:αριστερό άκρο, C:τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο

Σ.Φ.		Δοκός(1)			Δοκός(2)		
		MedA,3	MedM,3	MedB,3	MedA,4	MedM,4	MedB,4
201	ULS-STR	-71.5	56.9	-78.1	-63.3	67.2	-65.6
202	ULS-STR	4.0	17.1	-39.1	-11.6	15.8	-18.7
221	ULS-STR	-57.1	57.5	-92.5	-61.1	67.2	-67.9
222	ULS-STR	-34.4	45.2	-80.8	-45.6	51.8	-53.8
301	SLS	-48.9	38.9	-53.4	-43.3	46.0	-44.9
302	SLS	1.4	12.2	-27.4	-8.8	11.7	-13.6
311	SLS	-39.3	39.3	-63.0	-41.8	46.0	-46.4
312	SLS	-24.2	31.1	-55.2	-31.5	35.7	-37.0

A:αριστερό άκρο, C:τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο

11.9. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

(EN1993-1-1, §7)

11.9.1. Κατακόρυφη μετατόπιση κόμβου κορυφής

(EN1993-1-1, §7.2.1)

Μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση, Σ.Φ. 301: $G_k + Q_k$ $D_y = 2.3 \text{ mm} = 8000/3478 = L/3478$
Οριο Κατακόρυφης μετατόπισης $L/200$, Έλεγχος ικανοποιείται

11.9.2. Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων

(EN1993-1-1, §7.2.2)

Μέγιστη οριζόντια μετατόπιση, Σ.Φ. 302: $G_k + H_k$ $D_x = 4.0 \text{ mm} = 5000/1250 = h/1250$
Οριο Οριζόντιας μετατόπισης $H/150$, Έλεγχος ικανοποιείται

11.9.3. Χαρακτηριστικά δυναμικής ανάλυσης

(EN1993-1-1, §7.2.3)

Ιδιοσυχνότητες και ιδιομορφίες της κατασκευής

Σεισμική μάζα κτιρίου, για φόρτιση: Σ.Φ. 301: $G_k + Q_k$

1	f=	1.262 Hz	T=	0.792 sec
2	f=	5.802 Hz	T=	0.172 sec
3	f=	10.604 Hz	T=	0.094 sec
4	f=	14.152 Hz	T=	0.071 sec
5	f=	28.290 Hz	T=	0.035 sec
6	f=	36.100 Hz	T=	0.028 sec
7	f=	65.487 Hz	T=	0.015 sec
8	f=	86.196 Hz	T=	0.012 sec
9	f=	90.316 Hz	T=	0.011 sec
10	f=	97.029 Hz	T=	0.010 sec
11	f=	112.550 Hz	T=	0.009 sec
12	f=	128.277 Hz	T=	0.008 sec
13	f=	161.222 Hz	T=	0.006 sec
14	f=	193.235 Hz	T=	0.005 sec

11.10. Ελεγχος υποσυλωμάτων, Υποστούλωμα(1), (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6)

Διατομή : IPE 400-S 355

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 222: 1.35xGk+1.50Hk+1.05Qk

Ned = 117.0 kN

Ved = 8.5 kN

Myed = 42.7 kNm, Mzed = 0.0 kNm

Myed = 40.7 kNm (Κορυφή υποσυλωματος κάτω της δοκού)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο Lcr,y = 4217mm (Αμετάθετα συστήματα) (EC3 §5.5.2.(7))

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου Lcr,z = 4775mm (Μήκος συστήματος)

Μήκος λυγισμού, Στρεπτικός λυγισμός Lcr,t = 4775mm

Μήκος λυγισμού, Πλευρικός στρεπτικός λυγισμός Lcr,lt = 4775mm

11.10.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Υποστούλωμα(1)

(EN1993-1-1, §5.5)

Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής $\sigma = N_{ed}/A_{el} \pm M_{yed}/W_{el,y} \pm M_{zed}/W_{el,z}$

$\sigma = [10^3]117.00/8446 \pm [10^6]42.70/1156.0 \times 10^3 \pm [10^6]0.00/146.4 \times 10^3$

$\sigma_1 = 51 \text{ N/mm}^2, \sigma_2 = -23 \text{ N/mm}^2$ (Θλίψη θετική)

Κορμός

$c = 400.0 - 2 \times 13.5 - 2 \times 21.0 = 331.0 \text{ mm}, t = 8.6 \text{ mm}, c/t = 331.0/8.6 = 38.49$

S 355, $t = 8.6 \leq 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$

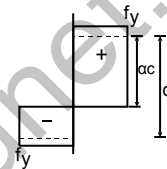
Θέση ουδέτερου άξονα για συνδυασμό Κάμψη και θλίψη

$N_{ed}/(2t_w \cdot f_y/\gamma_{M0}) = 117000/(2 \times 8.6 \times 355/1.00) = 19.2 \text{ mm}$

$\alpha = (331.0/2 + 19.2)/331.0 = 0.558 > 0.5$

$c/t = 38.49 \leq 396 \times 0.81/(13 \times 0.558 - 1) = 51.30$

Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



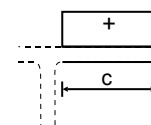
Πέλμα

$c = 180.0/2 - 8.6/2 - 21.0 = 64.7 \text{ mm}, t = 13.5 \text{ mm}, c/t = 64.7/13.5 = 4.79$

S 355, $t = 13.5 \leq 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$

$c/t = 4.79 \leq 9 \epsilon = 9 \times 0.81 = 7.29$

Το πέλμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη και θλίψη Nc,ed+My,ed

11.10.2. Αντοχή διατομής, Υποστούλωμα(1) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.2)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη

(EN1993-1-1, §6.2.4)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Nc,ed = 145.70 kN

Θλιπτική αντοχή Nplrd = A · fy / γM0 = [10⁻³] × 8446 × 355 / 1.00 = 2998.33 kN

Ned = 145.70 kN < 2998.33 kN = Nc,rd = Nplrd, Έλεγχος ικανοποιείται

Ned/Nc,rd = 145.70/2998.33 = 0.049 < 1

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη y-y

(EN1993-1-1, §6.2.5)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 222: 1.35xGk+1.50Hk+1.05Qk

My,ed = 42.70 kNm

Καμπτική αντοχή Mply,rd = Wply · fy / γM0 = [10⁻⁶] × 1307.0 × 10³ × 355 / 1.00 = 463.98 kNm

My,ed = 42.70 kNm < 463.98 kNm = Mply,rd, Έλεγχος ικανοποιείται

My,ed/Mply,rd = 42.70/463.98 = 0.092 < 1

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 222: 1.35xGk+1.50Hk+1.05Qk

Vz,ed = 8.50 kN

$A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 8446 - 2 \times 180.0 \times 13.5 + (8.6 + 2 \times 21.0) \times 13.5 = 4269 \text{ mm}^2$

(EC3 §6.2.6.3)

$A_v = 4269 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (400.0 - 2 \times 13.5) \times 8.6 = 1.00 \times 373.0 \times 8.6 = 3208 \text{ mm}^2$

Πλαστική διατμητική αντοχή Vpl,z,rd = Av (fy / √3) / γM0 = [10⁻³] × 4269 × (355 / 1.73) / 1.00 = 874.99 kN

Vz,ed = 8.50 kN < 874.99 kN = Vz,rd = Vpl,z,rd, Έλεγχος ικανοποιείται

Vz,ed/Vz,rd = 8.50/874.99 = 0.010 < 1

$$h_w/t_w = (400.0 - 2 \times 13.5) / 8.6 = 373.0 / 8.6 = 43.37 <= 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \epsilon / \eta = 58.32 \quad (\eta = 1.00)$$

$$S \ 355, \ t = 8.6 <= 40 \text{ mm}, \ f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \ \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$$

Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα

(EC3 §6.2.6.6)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη (EN1993-1-1, §6.2.9)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 222: $1.35 \times G_k + 1.50 H_k + 1.05 Q_k$

$$N_{\text{ed}} = 117.00 \text{ kN (Θλίψη)}, \ V_{\text{z,ed}} = 8.50 \text{ kN}, \ M_{\text{y,ed}} = 42.70 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{plrd}} = 2998.33 \text{ kN}, \ M_{\text{pl,y,rd}} = 463.98 \text{ kNm}, \ V_{\text{pl,z,rd}} = 874.99 \text{ kN}$$

$$N_{\text{ed}} = 117.00 \text{ kN} <= 0.25 \times 2998.33 = 0.25 \times N_{\text{plrd}} = 749.58 \text{ kN}$$

$$N_{\text{ed}} = 117.00 \text{ kN} <= [10^{-3}] \times 0.5 \times 373.0 \times 8.6 \times 355 / 1.00 = 0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 569.38 \text{ kN}$$

$$n = N_{\text{ed}} / N_{\text{plrd}} = 117 / 2998 = 0.039$$

H επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.9.1 Εξ.6.33, Εξ.6.34, Εξ.6.35)

$$V_{\text{ed}} = 8.50 \text{ kN} <= 0.50 \times 874.99 = 0.50 \times V_{\text{pl,rd}} = 437.49 \text{ kN}$$

H επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.8.2)

$$M_{\text{y,ed}} = 42.70 \text{ kNm} < 463.98 \text{ kNm} = M_{\text{pl,y,rd}}, \ \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_{\text{y,ed}} / M_{\text{pl,y,rd}} = 42.70 / 463.98 = 0.092 < 1$$

11.10.3. Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο

(EN1993-1-1, §5.2.2.8)

Μήκη λυγισμού ENV 1993-1-1:1992 Annex E

$$k_c = I_{c1} / H_1 = 231 \times 10^6 / 5000 = 46260.00, \ k_1 = I_{c2} / H_2 = 231 \times 10^6 / 5000 = 46260.00$$

$$k_{l2} = 1.50 I_{b1} / L = 1.50 \times 337 \times 10^6 / 8000 = 63262.50$$

$$\eta_2 = 1.00, \ \eta_1 = (k_c + k_1) / (k_c + k_1 + k_{l2}) = (46260.00 + 46260.00) / (46260.00 + 46260.00 + 63262.50) = 0.594$$

Υποστύλωμα αμετάθετου πλαισίου, $k_y = 0.843, \ L_{cr,y} = 0.843 \times 5000 = 4217 \text{ mm}$, ENV 1993-1-1:1992 Annex E.5

11.10.4. Καμπτικός λυγισμός, Υποστύλωμα(1) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.3.1)

$$N_{\text{c,ed}} = 145.70 \text{ kN}, \ L_{cr,y} = 4.217 \text{ m}, \ L_{cr,z} = 4.775 \text{ m}$$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: $1.35 \times G_k + 1.50 Q_k + 1.05 H_k$

Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y} = 0.843 \times 5000 = 4217 \text{ mm}$, $L_{cr,z} = 0.955 \times 5000 = 4775 \text{ mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (4217 / 165.5) \times (1 / 76.06) = 0.335$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (4775 / 39.5) \times (1 / 76.06) = 1.589$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \epsilon = 76.06, \ \epsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$$

$$h/b = 400 / 180 = 2.22 >= 1.20, \ t_f = 13.5 \text{ mm} <= 40 \text{ mm}$$

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: } a, \ \text{συντελεστής ατελειών: } \alpha_y = 0.21, \ \chi_y = 0.969$$

(Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4)

$$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 [1 + 0.21 \times (0.335 - 0.2) + 0.335^2] = 0.570$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [0.570 + \sqrt{(0.570^2 - 0.335^2)}] = 0.969 <= 1 \quad \chi_y = 0.969$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: } b, \ \text{συντελεστής ατελειών: } \alpha_z = 0.34, \ \chi_z = 0.311$$

$$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 [1 + 0.34 \times (1.589 - 0.2) + 1.589^2] = 1.999$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.999 + \sqrt{(1.999^2 - 1.589^2)}] = 0.311 <= 1 \quad \chi_z = 0.311$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}], \ \chi <= 1.0, \ \Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2], \ \chi = 0.311$$

(EC3 Εξ.6.49)

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.311 \times [10^{-3}] \times 8446 \times 355 / 1.00 = 932.48 \text{ kN}$$

(EC3 Εξ.6.47)

$$N_{\text{c,ed}} = 145.70 \text{ kN} < 932.48 \text{ kN} = N_{b,rd}, \ \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{\text{c,ed}} / N_{b,rd} = 145.70 / 932.48 = 0.156 < 1$$

11.10.5. Πλευρικός λυγισμός, Υποστύλωμα(1) (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

$$M_{\text{y,ed}} = 40.75 \text{ kNm}, \ L = 5.000 \text{ m}, \ L_{cr,y} = 4.217 \text{ m}, \ L_{cr,z} = 4.775 \text{ m}, \ L_{cr,lt} = 4.775 \text{ m}$$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 222: $1.35 \times G_k + 1.50 H_k + 1.05 Q_k$

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$$M_{cr} = C_1 \cdot \pi^2 EI_z / (kL)^2 \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GI_t / (\pi^2 EI_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2]} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$$

Μέθοδος υπολογισμού C_1, C_2, C_3 : ECCS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$$\psi = M_b / M_a = 0.0 / -40.7 = 0.00, \ C_1 = 1.770, \ C_2 = 0.000, \ C_3 = 1.000,$$

$$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$k \cdot L = 4775 \text{ mm}, \ z_g = h/2 = 400/2 = 200 \text{ mm}, \ z_j = 0 \text{ mm}$$

(EN1993:2002 Εξ.C.11)

$$k_y = 0.8, \ k_z = 1.0, \ k_w = 1.0, \ C_1 = 1.770, \ C_2 = 0.000, \ C_3 = 1.000$$

$$M_{cr} = [10^{-6}] 1.770 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 13.180 \times 10^6 / 4775^2]$$

$$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (490.05 \times 10^9 / 13.180 \times 10^6)]$$

$$+ 4775^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.511 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 13.180 \times 10^6) \}^{0.5} = 567.5 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}, lt = \sqrt{(Wpl, y \cdot fy / Mcr)} = \sqrt{([10^{-6}] \times 1307.0 \times 10^3 \times 355 / 567.5)} = 0.904 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

$h/b = 400/180 = 2.22 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c
 συντελεστής ατελειών: $\alpha, lt = 0.49, \beta = 0.75, \chi, lt = 0.698 \quad (\text{Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4})$
 $\Phi, lt = 0.5 [1 + \alpha, lt (\bar{\lambda}, lt - \bar{\lambda}, lto) + \beta \bar{\lambda}, lt^2] = 0.5 \times [1 + 0.49 \times (0.904 - 0.40) + 0.75 \times 0.904^2] = 0.930$
 $\chi, lt = 1 / [\Phi, lt + \sqrt{(\Phi, lt^2 - \beta \bar{\lambda}, lt^2)}] = 1 / [0.930 + \sqrt{(0.930^2 - 0.75 \times 0.930^2)}] = 0.698$
 Μειωτικός συντελεστής $\chi, lt = 1 / [\Phi, lt + \sqrt{(\Phi, lt^2 - \beta \bar{\lambda}, lt^2)}], \chi, lt \leq 1.0, 1 / \bar{\lambda}, lt^2, \chi, lt = 0.698 \quad (\text{Εξ.6.57})$

$$\chi, lt, mod = \chi, lt / f, \chi, lt, mod \leq 1, \chi, lt, mod \leq 1 / \bar{\lambda}, lt^2 = 1 / 0.904^2 = 1.22 \quad (\text{EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58})$$

$$Kc = 1 / (1.33 - 0.33\psi) = 0.752, \psi = 0.00 \quad (\text{EC3 Πιν.6.6})$$

$$f = 1 - 0.5(1 - kc) [1 - 2.0(\bar{\lambda}, lt - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.752) [1 - 2.0 \times (0.904 - 0.8)^2] = 0.879, f \leq 1.0$$

$$\chi, lt, mod = \chi, lt / f = 0.698 / 0.879 = 0.794, \chi, lt, mod \leq 1.0, \chi, lt, mod \leq 1.22, \chi, lt, mod = 0.794$$

$$Mb, rd = \chi, lt \cdot Wpl, y \cdot fy / \gamma M1 = 0.794 \times [10^{-6}] \times 1307.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 368.40 \text{ kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

$M_{y, ed} = 40.75 \text{ kNm} < 368.40 \text{ kNm} = M_{b, rd}$, Ελεγχος ικανοποιείται
 $M_{y, ed} / M_{b, rd} = 40.75 / 368.40 = 0.111 < 1$

11.10.6. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, Υποσύλωμα(1) (ULS) (EN1993-1-1, §6.3.3)

Ned=117.00 kN, My,ed=40.75 kNm

$$Ned / (\chi_y \cdot Nrk / \gamma M1) + k_{yy} \cdot My, ed / (\chi_{LT} \cdot My, rk / \gamma M1) \leq 1 \quad (\text{EC3 Εξ.6.61})$$

$$Ned / (\chi_z \cdot Nrk / \gamma M1) + k_{zy} \cdot My, ed / (\chi_{LT} \cdot My, rk / \gamma M1) \leq 1 \quad (\text{EC3 Εξ.6.62})$$

$Nrk = A \cdot fy = [10^{-3}] \times 8446 \times 355 = 2998.3 \text{ kN} \quad (\text{Πιν.6.7})$
 $My, rk = Wpl, y \cdot fy = [10^{-6}] \times 1307.0 \times 10^3 \times 355 = 464.0 \text{ kNm}$
 $\chi_y \cdot Nrk / \gamma M1 = \chi_y \cdot A \cdot fy / \gamma M1 = 0.969 \times [10^{-3}] \times 8446 \times 355 / 1.00 = 2905.4 \text{ kN}$
 $\chi_z \cdot Nrk / \gamma M1 = \chi_z \cdot A \cdot fy / \gamma M1 = 0.311 \times [10^{-3}] \times 8446 \times 355 / 1.00 = 932.5 \text{ kN}$
 $\chi_{LT} \cdot My, rk / \gamma M1 = \chi_{LT} \cdot Wpl, y \cdot fy / \gamma M1 = 0.794 \times [10^{-6}] \times 1307.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 368.4 \text{ kNm}$

Συντελεστές κύρτωσης, Μέθοδος υπολογισμού: Μέθοδος 1 Παράρτημα A (EC3 ΠαράρτημαA)

$$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} (\mu_y / (1 - Ned / Ncr, y) (1 / C_{yy}), \mu_y = (1 - Ned / Ncr, y) / (1 - \chi_y \cdot Ned / Ncr, y) \quad (\text{EC3 Πιν.A.1})$$

$$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} (\mu_z / (1 - Ned / Ncr, y) (1 / C_{zy}) 0.60 \sqrt{(w_y / w_z)}, \mu_z = (1 - Ned / Ncr, z) / (1 - \chi_z \cdot Ned / Ncr, z)$$

$$Ncr, y = \pi^2 EI_y / lcr, y^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 231.30 \times 10^6 / 4217^2 = 26958 \text{ kN}$$

$$Ncr, z = \pi^2 EI_z / lcr, z^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 13.180 \times 10^6 / 4775^2 = 1198 \text{ kN}$$

$$Ncr, t = (1 / i_p^2) \times (G \cdot It + \pi^2 EI_w / Lcr, t^2) \quad (\text{EC3 NCCI SN003b-EN-EU})$$

$$Ncr, t = [10^{-3}] \times (1 / 170^2) [80769 \times 0.511 \times 10^6 + \pi^2 \times 210000 \times 490.05 \times 10^9 / 4775^2] = 2964 \text{ kN}$$

$$\mu_y = (1 - Ned / Ncr, y) / (1 - \chi_y \cdot Ned / Ncr, y) = (1 - 117.0 / 26958) / (1 - 0.969 \times 117.0 / 26958) = 1.000$$

$$\mu_z = (1 - Ned / Ncr, z) / (1 - \chi_z \cdot Ned / Ncr, z) = (1 - 117.0 / 1198) / (1 - 0.311 \times 117.0 / 1198) = 0.931$$

$$alt = 1 - It / I_y > 0 = 1 - 0.511 \times 10^6 / 231.30 \times 10^6 = 0.998 \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1})$$

$$w_y = Wpl, y / W_{el, y} \leq 1.50, w_y = 1.307 \times 10^6 / 1.156 \times 10^6 = 1.131 \leq 1.50 \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1})$$

$$w_z = Wpl, z / W_{el, z} \leq 1.50, w_z = 0.229 \times 10^6 / 0.146 \times 10^6 = 1.564 > 1.50, w_z = 1.50$$

$$npl = Ned / (Nrk / \gamma M1) = 117.00 / (2998.30 / 1.00) = 0.039$$

$$\bar{\lambda}_{max} = \max(0.335, 1.589) = 1.590 \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1})$$

$$Mcr_o = C1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w / I_z) + (kL)^2 GIt / (\pi^2 EI_z)]}, C1 = 1.00$$

$$Mcr_o = [10^{-6}] 1.0 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 13.180 \times 10^6 / 4775^2]$$

$$\times \{ [(1.0 / 1.0)^2 \times (490.05 \times 10^9 / 13.180 \times 10^6) + 4775^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.511 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 13.180 \times 10^6)]^{0.5} \} = 320.6 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_o = \sqrt{([10^{-6}] \times 1307.0 \times 10^3 \times 355 / 320.6)} = 1.200$$

$$\bar{\lambda}_o, lim = 0.2 \sqrt{C1 [(1 - Ned / Ncr, z) (1 - Ned / Ncr, t)]^{0.25}} \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1})$$

$$\bar{\lambda}_o, lim = 0.2 \sqrt{1.770 [(1 - 117.0 / 1198) (1 - 117.0 / 2964)]^{0.25}} = 0.257$$

$$\epsilon_y = (My, ed / Ned) (A / W_{el, y}) = ([10^3] \times 40.75 / 117.00) \times (8446.0 / 1156.0 \times 10^3) = 2.55$$

$$C_{my, o} = 0.79 + 0.21\psi + 0.36(\psi - 0.33) \times (117.00 / 26958.0) = 0.789, (\psi = 0.00) \quad (\text{EC3 Παράρτημα A, Π.A.1})$$

$$\bar{\lambda}_o = 1.200 > \bar{\lambda}_o, lim = 0.257$$

$$C_{my} = C_{my, o} + (1 - C_{my, o}) (\sqrt{\epsilon_y \cdot alt}) / (1 + \sqrt{\epsilon_y \cdot alt}) =$$

$$= 0.789 + (1 - 0.789) \times (\sqrt{2.545 \times 0.998}) / (1 + \sqrt{2.545 \times 0.998}) = 0.919$$

$$C_{m1t} = C_{my}^2 \cdot alt / \sqrt{[(1 - Ned / Ncr, z) (1 - Ned / Ncr, t)]} \geq 1$$

$$C_{m1t} = 0.919^2 \times 0.998 / \sqrt{[(1 - 117.0 / 1198.0) (1 - 117.0 / 2964.0)]} = 0.905, C_{m1t} = 1.000$$

$$C_{yy}=1+(w_y-1) [(2-1.6C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}/w_y-1.6C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2/w_y) n_{pl}-blt] \geq W_{el,y}/W_{pl,y} \quad (\text{Παράρτημα Α, Π.Α.1})$$

$$blt=0.5alt \cdot \bar{\lambda}_o^2 [M_{y,ed}/(\chi_{lt} \cdot M_{pl,y,rd})] (M_{z,ed}/M_{pl,z,rd}) =$$

$$=0.5 \times 0.998 \times 1.200^2 [40.7/(0.794 \times 410.4)] (0.0/52.0) = 0.000$$

$$C_{yy}=1+(1.131-1) [(2-1.6 \times 0.919^2 \times 1.590/1.131-1.6 \times 0.919^2 \times 1.590^2/1.131) \times 0.039-0.000]=0.985$$

$$C_{yy} \geq 1156.0 \times 10^3 / 1307.0 \times 10^3 = 0.884, C_{yy}=0.985$$

$$C_{zy}=1+(w_y-1) [(2-14.0C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2/w_y^5) n_{pl}-dlt] \geq 0.6 \sqrt{w_y/w_z} (W_{el,y}/W_{pl,y}) \quad (\text{Παράρτημα Α, Π.Α.1})$$

$$dlt=2alt \cdot [\bar{\lambda}_o / (0.1 + \bar{\lambda}_z^4)] [M_{y,ed}/(C_{my} \cdot \chi_{lt} \cdot M_{pl,y,rd})] [M_{z,ed}/(C_{mz} \cdot M_{pl,z,rd})] =$$

$$=20.998 \times [1.200 / (0.1 + 1.589^4)] [40.7 / (0.919 \times 0.794 \times 410.4)] [0.0 / (0.000 \times 52.0)] = 0.000$$

$$C_{zy}=1+(1.131-1) [(2-14.0 \times 0.919^2 \times 1.590^2/1.131^5) 0.039-0.000]=0.928$$

$$C_{zy} \geq 0.6 \sqrt{1.131/1.500} (1156.0 \times 10^3 / 1307.0 \times 10^3) = 0.461, C_{zy}=0.928$$

$$C_{yy}=0.985, C_{zy}=0.928 \quad (\text{Παράρτημα Α, Π.Α.1})$$

$$k_{yy}=0.919 \times 1.000 \times 1.000 / (1-117.00/26958.0) \times (1/0.985) = 0.937$$

$$k_{zy}=0.919 \times 1.000 \times 0.931 / (1-117.00/26958.0) \times (1/0.928) \times 0.6 \times \sqrt{1.131/1.500} = 0.482$$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 222: 1.35xGk+1.50Hk+1.05Qk

$$N_{ed}/(\chi_y \cdot N_{rk}/\gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,rd}/\gamma_{M1}) = \quad (\text{EC3 Εξ.6.61})$$

$$117.0 / (0.969 \times 2998.3 / 1.00) + 0.937 \times 40.7 / (0.794 \times 464.0 / 1.00) = 0.040 + 0.104 = 0.144$$

0.144 < 1.000, Έλεγχος ικανοποιείται

$$N_{ed}/(\chi_z \cdot N_{rk}/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,rd}/\gamma_{M1}) = \quad (\text{EC3 Εξ.6.62})$$

$$117.0 / (0.311 \times 2998.3 / 1.00) + 0.482 \times 40.7 / (0.794 \times 464.0 / 1.00) = 0.125 + 0.053 = 0.179$$

0.179 < 1.000, Έλεγχος ικανοποιείται

11.11. Έλεγχος υποστυλωμάτων, Υποστύλωμα(2), (Οριακή κατάσταση αστοχίας) (EN1993-1-1, §6)

Διατομή : IPE 400-S 355

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

N_{ed} = 71.1 kN
 V_{ed} = 23.8 kN
 M_{y,ed} = 67.9 kNm, M_{z,ed} = 0.0 kNm
 M_{y,ed} = 62.5 kNm (Κορυφή υποστυλώματος κάτω της δοκού)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο L_{cr,y} = 3446mm (Αμετάθετα συστήματα) (EC3 §5.5.2.(7))
 Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου L_{cr,z} = 4775mm (Μήκος συστήματος)
 Μήκος λυγισμού, Στρεπτικός λυγισμός L_{cr,t} = 4775mm
 Μήκος λυγισμού, Πλευρικός στρεπτικός λυγισμός L_{cr,lt} = 4775mm

11.11.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Υποστύλωμα(2) (EN1993-1-1, §5.5)

Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής $\sigma = N_{ed}/A_{el} \pm M_{y,ed}/W_{el,y} \pm M_{z,ed}/W_{el,z}$

$$\sigma = [10^3] 71.10/8446 \pm [10^6] 67.90/1156.0 \times 10^3 \pm [10^6] 0.00/146.4 \times 10^3$$

$\sigma_1 = 67 \text{ N/mm}^2, \sigma_2 = -50 \text{ N/mm}^2$ (Θλίψη θετική)

Κορμός

$$c = 400.0 - 2 \times 13.5 - 2 \times 21.0 = 331.0 \text{ mm}, t = 8.6 \text{ mm}, c/t = 331.0/8.6 = 38.49$$

S 355, $t = 8.6 \leq 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$

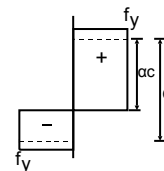
Θέση ουδέτερου άξονα για συνδυασμό Κάμψη και Θλίψη

$$N_{ed}/(2t_w \cdot f_y/\gamma_{M0}) = 71100 / (2 \times 8.6 \times 355 / 1.00) = 11.6 \text{ mm}$$

$$\alpha = (331.0/2 + 11.6) / 331.0 = 0.535 > 0.5$$

$$c/t = 38.49 \leq 396 \times 0.81 / (13 \times 0.535 - 1) = 53.84$$

Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



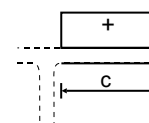
Πέλμα

$$c = 180.0/2 - 8.6/2 - 21.0 = 64.7 \text{ mm}, t = 13.5 \text{ mm}, c/t = 64.7/13.5 = 4.79$$

S 355, $t = 13.5 \leq 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$

$$c/t = 4.79 \leq 9 \epsilon = 9 \times 0.81 = 7.29$$

Το πέλμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη και Θλίψη N_{c,ed}+M_{y,ed}

11.11.2. Αντοχή διατομής, Υποσύλωμα(2) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.2)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη

(EN1993-1-1, §6.2.4)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Nc.ed= 71.10 kN

Θλιπτική αντοχή $N_{plrd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 8446 \times 355 / 1.00 = 2998.33 \text{ kN}$

$N_{ed} = 71.10 \text{ kN} < 2998.33 \text{ kN} = N_{c,rd} = N_{plrd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$N_{ed}/N_{c,rd} = 71.10/2998.33 = 0.024 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη y-y

(EN1993-1-1, §6.2.5)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

My.ed= 67.90 kNm

Καμπτική αντοχή $M_{ply,rd} = W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 1307.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 463.98 \text{ kNm}$

$M_{y,ed} = 67.90 \text{ kNm} < 463.98 \text{ kNm} = M_{y,rd} = M_{ply,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed}/M_{y,rd} = 67.90/463.98 = 0.146 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Vz.ed= 23.80 kN

$A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 8446 - 2 \times 180.0 \times 13.5 + (8.6 + 2 \times 21.0) \times 13.5 = 4269 \text{ mm}^2$ (EC3 §6.2.6.3)

$A_v = 4269 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (400.0 - 2 \times 13.5) \times 8.6 = 1.00 \times 373.0 \times 8.6 = 3208 \text{ mm}^2$

Πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 4269 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 874.99 \text{ kN}$

$V_{z,ed} = 23.80 \text{ kN} < 874.99 \text{ kN} = V_{z,rd} = V_{pl,z,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$V_{z,ed}/V_{z,rd} = 23.80/874.99 = 0.027 < 1$

$h_w/t_w = (400.0 - 2 \times 13.5) / 8.6 = 373.0 / 8.6 = 43.37 \leq 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \epsilon / \eta = 58.32$ ($\eta = 1.00$)

S 355, $t = 8.6 \leq 40 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$

Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα

(EC3 §6.2.6.6)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη

(EN1993-1-1, §6.2.9)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

N.ed= 71.10kN (θλίψη), Vz.ed= 23.80kN, My.ed= 67.90kNm

$N_{plrd} = 2998.33 \text{ kN}$, $M_{pl,y,rd} = 463.98 \text{ kNm}$, $V_{pl,z,rd} = 874.99 \text{ kN}$

$N_{ed} = 71.10 \text{ kN} \leq 0.25 \times 2998.33 = 0.25 \times N_{plrd} = 749.58 \text{ kN}$

$N_{ed} = 71.10 \text{ kN} \leq [10^{-3}] \times 0.5 \times 373.0 \times 8.6 \times 355 / 1.00 = 0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 569.38 \text{ kN}$

$n = N_{ed} / N_{plrd} = 71 / 2998 = 0.024$

Η επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.9.1 Εξ.6.33, Εξ.6.34, Εξ.6.35)

$V_{ed} = 23.80 \text{ kN} \leq 0.50 \times 874.99 = 0.50 \times V_{pl,rd} = 437.49 \text{ kN}$

Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.8.2)

$M_{y,ed} = 67.90 \text{ kNm} < 463.98 \text{ kNm} = M_{ply,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed}/M_{ply,rd} = 67.90/463.98 = 0.146 < 1$

11.11.3. Μήκος λυγισμού, Λυγισμός στο επίπεδο

(EN1993-1-1, §5.2.2.8)

Μήκη λυγισμού ENV 1993-1-1:1992 Annex E

$k_c = I_{c2}/H^2 = 231 \times 10^6 / 5000 = 46260.00$, $k_2 = I_{c1} \times 10^6 / H^2 = 231 / 5000 = 46260.00$

$k_{12} = 1.50 I_{b2} / L = 1.50 \times 337 \times 10^6 / 8000 = 63262.50$, $k_{22} = 1.50 I_{b1} / L = 1.50 \times 337 \times 10^6 / 8000 = 63262.50$

$\eta_2 = (K_c + k_1) / (k_c + K_1 + k_{12}) = (46260.00 + 46260.00) / (46260.00 + 46260.00 + 63262.50) = 0.594$

$\eta_1 = K_c / (k_c + k_{22}) = 46260.00 / (46260.00 + 63262.50) = 0.422$

Υποσύλωμα αμετάθετου πλαισίου, $\kappa_y = 0.689$, $L_{cr,y} = 0.689 \times 5000 = 3446 \text{ mm}$, ENV 1993-1-1:1992 Annex E.5

11.11.4. Καμπτικός λυγισμός, Υποσύλωμα(2) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.3.1)

Nc.ed=71.10 kN, Lcr,y=3.446 m, Lcr,z=4.775 m

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y} = 0.689 \times 5000 = 3446 \text{ mm}$, $L_{cr,z} = 0.955 \times 5000 = 4775 \text{ mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (3446 / 165.5) \times (1 / 76.06) = 0.274$

$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (4775 / 39.5) \times (1 / 76.06) = 1.589$

$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \epsilon = 76.06$, $\epsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$

$$h/b=400/180=2.22 \geq 1.20, \quad t_f=13.5\text{mm} \leq 40 \text{ mm}$$

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: } a, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_y=0.21, \quad \chi_y=0.983 \quad (\text{Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_y=0.5[1+\alpha_y(\bar{\lambda}_y-0.2)+\bar{\lambda}_y^2]=0.5 \times [1+0.21 \times (0.274-0.2)+0.274^2]=0.545$$

$$\chi_y=1/[\Phi_y+\sqrt{(\Phi_y^2-\bar{\lambda}_y^2)}]=1/[0.545+\sqrt{(0.545^2-0.274^2)}]=0.983 \leq 1 \quad \chi_y=0.983$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: } b, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_z=0.34, \quad \chi_z=0.311$$

$$\Phi_z=0.5[1+\alpha_z(\bar{\lambda}_z-0.2)+\bar{\lambda}_z^2]=0.5 \times [1+0.34 \times (1.589-0.2)+1.589^2]=1.999$$

$$\chi_z=1/[\Phi_z+\sqrt{(\Phi_z^2-\bar{\lambda}_z^2)}]=1/[1.999+\sqrt{(1.999^2-1.589^2)}]=0.311 \leq 1 \quad \chi_z=0.311$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi=1/[\Phi+\sqrt{(\Phi^2-\bar{\lambda}^2)}], \quad \chi \leq 1.0, \quad \Phi=0.5[1+\alpha(\bar{\lambda}-0.2)+\bar{\lambda}^2], \quad \chi=0.311 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_b, rd = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.311 \times [10^{-3}] \times 84446 \times 355 / 1.00 = 932.48 \text{ kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_c, ed = 71.10 \text{ kN} < 932.48 \text{ kN} = N_b, rd, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_c, ed / N_b, rd = 71.10 / 932.48 = 0.076 < 1$$

11.11.5. Πλευρικός λυγισμός, Υποσύλωμα(2) (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

$$M_y, ed = 62.51 \text{ kNm}, \quad L = 5.000 \text{ m}, \quad L_{cr, y} = 3.446 \text{ m}, \quad L_{cr, z} = 4.775 \text{ m}, \quad L_{cr, lt} = 4.775 \text{ m}$$

$$\text{Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Ελεγχος για φόρτιση: } \Sigma \cdot \Phi \cdot 221: 1.35 \times G_k + 1.50 Q_k + 1.05 H_k$$

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$$M_{cr} = C_1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GIt / (\pi^2 EI_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2]} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$$

Μέθοδος υπολογισμού C1, C2, C3 : ECCS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$$\psi = M_b / M_a = 51.3 / -62.5 = -0.82, \quad C_1 = 2.564, \quad C_2 = 0.000, \quad C_3 = 1.000,$$

$$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$k \cdot L = 4775 \text{ mm}, \quad z_g = h/2 = 400/2 = 200 \text{ mm}, \quad z_j = 0 \text{ mm}$$

(EN1993:2002 Εξ. C.11)

$$k_y = 0.7, \quad k_z = 1.0, \quad k_w = 1.0, \quad C_1 = 2.564, \quad C_2 = 0.000, \quad C_3 = 1.000$$

$$M_{cr} = [10^{-6}] 2.564 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 13.180 \times 10^6 / 4775^2]$$

$$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (490.05 \times 10^9 / 13.180 \times 10^6)]$$

$$+ 4775^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.511 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 13.180 \times 10^6) \}^{0.5} \} = 822.2 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl, y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{[10^{-6}] \times 1307.0 \times 10^3 \times 355 / 822.2} = 0.751$$

(EC3 Εξ.6.56)

$$h/b=400/180=2.22 > 2.00 \text{ καμπύλη λυγισμού: } c$$

$$\text{συντελεστής ατελειών: } \alpha_{lt}=0.49, \quad \beta=0.75, \quad \chi_{lt}=0.794$$

(Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)

$$\Phi_{lt} = 0.5[1+\alpha_{lt}(\bar{\lambda}_{lt}-0.2)+\bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 \times [1+0.49 \times (0.751-0.40)+0.75 \times 0.751^2] = 0.798$$

$$\chi_{lt} = 1/[\Phi_{lt}+\sqrt{(\Phi_{lt}^2-\beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1/[0.798+\sqrt{(0.798^2-0.75 \times 0.798^2)}] = 0.794$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi_{lt} = 1/[\Phi_{lt}+\sqrt{(\Phi_{lt}^2-\beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}], \quad \chi_{lt} \leq 1.0, \quad 1/\bar{\lambda}_{lt}^2, \quad \chi_{lt} = 0.794 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$\chi_{lt, mod} = \chi_{lt} / f, \quad \chi_{lt, mod} \leq 1, \quad \chi_{lt, mod} \leq 1/\bar{\lambda}_{lt}^2 = 1/0.751^2 = 1.77$$

(EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)

$$K_c = 1 / (1.33 - 0.33\psi) = 0.625, \quad \psi = -0.82$$

(EC3 Πιν.6.6)

$$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.625) [1 - 2.0 \times (0.751 - 0.8)^2] = 0.813, \quad f \leq 1.0$$

$$\chi_{lt, mod} = \chi_{lt} / f = 0.794 / 0.813 = 0.976, \quad \chi_{lt, mod} \leq 1.0, \quad \chi_{lt, mod} \leq 1.77, \quad \chi_{lt, mod} = 0.976$$

$$M_b, rd = \chi_{lt} \cdot W_{pl, y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.976 \times [10^{-6}] \times 1307.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 452.85 \text{ kNm}$$

(EC3 Εξ.6.55)

$$M_y, ed = 62.51 \text{ kNm} < 452.85 \text{ kNm} = M_b, rd, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_y, ed / M_b, rd = 62.51 / 452.85 = 0.138 < 1$$

11.11.6. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, Υποσύλωμα(2) (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.3)

$$N_{ed} = 71.10 \text{ kN}, \quad M_y, ed = 62.51 \text{ kNm}$$

$$N_{ed} / (\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) \leq 1$$

(EC3 Εξ.6.61)

$$N_{ed} / (\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) \leq 1$$

(EC3 Εξ.6.62)

$$N_{rk} = A \cdot f_y = [10^{-3}] \times 84446 \times 355 = 2998.3 \text{ kN}$$

(Πιν.6.7)

$$M_y, rk = W_{pl, y} \cdot f_y = [10^{-6}] \times 1307.0 \times 10^3 \times 355 = 464.0 \text{ kNm}$$

$$\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.983 \times [10^{-3}] \times 84446 \times 355 / 1.00 = 2947.4 \text{ kN}$$

$$\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.311 \times [10^{-3}] \times 84446 \times 355 / 1.00 = 932.5 \text{ kN}$$

$$\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1} = \chi_{LT} \cdot W_{pl, y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.976 \times [10^{-6}] \times 1307.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 452.8 \text{ kNm}$$

Συντελεστές κύρτωσης, Μέθοδος υπολογισμού: Μέθοδος 1 Παράρτημα Α

(EC3 ΠαράρτημαΑ)

$$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} (\mu_y / (1 - N_{ed} / N_{cr, y}) (1 / C_{yy}), \quad \mu_y = (1 - N_{ed} / N_{cr, y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{ed} / N_{cr, y})$$

(EC3 Πιν.Α.1)

$$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} (\mu_z / (1 - N_{ed} / N_{cr, y}) (1 / C_{zy}) 0.60 \sqrt{(w_y / w_z)}, \quad \mu_z = (1 - N_{ed} / N_{cr, z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{ed} / N_{cr, z})$$

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους STEELexpress

$$N_{cr,y} = \pi^2 EI_y / l_{cr,y}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 231.30 \times 10^6 / 3446^2 = 40371 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 EI_z / l_{cr,z}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 13.180 \times 10^6 / 4775^2 = 1198 \text{ kN}$$

$$N_{cr,t} = (1/i_p^2) \times (G \cdot I_t + \pi^2 EI_w / L_{cr,t}^2) \quad (\text{EC3 NCCI SN003b-EN-EU})$$

$$N_{cr,t} = [10^{-3}] \times (1/170^2) [80769 \times 0.511 \times 10^6 + \pi^2 \times 210000 \times 490.05 \times 10^9 / 4775^2] = 2964 \text{ kN}$$

$$\mu_y = (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{ed} / N_{cr,y}) = (1 - 71.1 / 40371) / (1 - 0.983 \times 71.1 / 40371) = 1.000$$

$$\mu_z = (1 - N_{ed} / N_{cr,z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{ed} / N_{cr,z}) = (1 - 71.1 / 1198) / (1 - 0.311 \times 71.1 / 1198) = 0.958$$

$$\alpha_{lt} = 1 - I_t / I_y > 0 = 1 - 0.511 \times 10^6 / 231.30 \times 10^6 = 0.998 \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1})$$

$$w_y = W_{pl,y} / W_{el,y} < 1.50, \quad w_y = 1.307 \times 10^6 / 1.156 \times 10^6 = 1.131 < 1.50 \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1})$$

$$w_z = W_{pl,z} / W_{el,z} < 1.50, \quad w_z = 0.229 \times 10^6 / 0.146 \times 10^6 = 1.564 > 1.50, \quad w_z = 1.50$$

$$n_{pl} = N_{ed} / (N_{rk} / \gamma_{M1}) = 71.10 / (2998.30 / 1.00) = 0.024$$

$$\bar{\lambda}_{max} = \max(0.274, 1.589) = 1.590 \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1})$$

$$M_{c,r0} = C_1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GI_t / (\pi^2 EI_z)]} \}, \quad C_1 = 1.00$$

$$M_{c,r0} = [10^{-6}] 1.0 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 13.180 \times 10^6 / 4775^2]$$

$$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (490.05 \times 10^9 / 13.180 \times 10^6)]$$

$$+ 4775^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.511 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 13.180 \times 10^6) \}^{0.5} = 320.6 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_0 = \sqrt{([10^{-6}] \times 1307.0 \times 10^3 \times 355 / 320.6)} = 1.200$$

$$\bar{\lambda}_0, \text{lim} = 0.2 \sqrt{C_1 [(1 - N_{ed} / N_{cr,z}) (1 - N_{ed} / N_{cr,t})]^{0.25}} \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1})$$

$$\bar{\lambda}_0, \text{lim} = 0.2 \sqrt{2.564 [(1 - 71.1 / 1198) (1 - 71.1 / 2964)]^{0.25}} = 0.313$$

$$\varepsilon_y = (M_y, ed / N_{ed}) (A / W_{el,y}) = ([10^3] \times 62.51 / 71.10) \times (8446.0 / 1156.0 \times 10^3) = 6.42$$

$$C_{m,y,0} = 0.79 + 0.21\psi + 0.36(\psi - 0.33) \times (71.10 / 40371.0) = 0.617, \quad (\psi = -0.82) \quad (\text{EC3 Παράρτημα A, Π.Α.1})$$

$$\bar{\lambda}_0 = 1.200 > \bar{\lambda}_0, \text{lim} = 0.313$$

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + (1 - C_{m,y,0}) (\sqrt{\varepsilon_y \cdot \alpha_{lt}}) / (1 + \sqrt{\varepsilon_y \cdot \alpha_{lt}}) =$$

$$= 0.617 + (1 - 0.617) \times (\sqrt{6.423 \times 0.998}) / (1 + \sqrt{6.423 \times 0.998}) = 0.891$$

$$C_{m,lt} = C_{m,y}^2 \cdot \alpha_{lt} / \sqrt{[(1 - N_{ed} / N_{cr,z}) (1 - N_{ed} / N_{cr,t})]} > 1$$

$$C_{m,lt} = 0.891^2 \times 0.998 / \sqrt{[(1 - 71.1 / 1198.0) (1 - 71.1 / 2964.0)]} = 0.827, \quad C_{m,lt} = 1.000$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) [(2 - 1.6 C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} / w_y - 1.6 C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y) n_{pl} - d_{lt}] > W_{el,y} / W_{pl,y} \quad (\text{Παράρτημα A, Π.Α.1})$$

$$d_{lt} = 0.5 \alpha_{lt} \cdot \bar{\lambda}_0^2 [M_y, ed / (\chi_{lt} \cdot M_{pl,y, rd})] [M_z, ed / M_{pl,z, rd}] =$$

$$= 0.5 \times 0.998 \times 1.200^2 [62.5 / (0.976 \times 410.4)] (0.0 / 52.0) = 0.000$$

$$C_{yy} = 1 + (1.131 - 1) [(2 - 1.6 \times 0.891^2 \times 1.590 / 1.131 - 1.6 \times 0.891^2 \times 1.590^2 / 1.131) \times 0.024 - 0.000] = 0.992$$

$$C_{yy} > 1156.0 \times 10^3 / 1307.0 \times 10^3 = 0.884, \quad C_{yy} = 0.992$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) [(2 - 14.0 C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y^5) n_{pl} - d_{lt}] > 0.6 \sqrt{(w_y / w_z)} (W_{el,y} / W_{pl,y}) \quad (\text{Παράρτημα A, Π.Α.1})$$

$$d_{lt} = 2 \alpha_{lt} \cdot [\bar{\lambda}_0 / (0.1 + \bar{\lambda}_z^4)] [M_y, ed / (C_{m,y} \cdot \chi_{lt} \cdot M_{pl,y, rd})] [M_z, ed / (C_{m,z} \cdot M_{pl,z, rd})] =$$

$$= 20.998 \times [1.200 / (0.1 + 1.589^4)] [62.5 / (0.891 \times 0.976 \times 410.4)] [0.0 / (0.000 \times 52.0)] = 0.000$$

$$C_{zy} = 1 + (1.131 - 1) [(2 - 14.0 \times 0.891^2 \times 1.590^2 / 1.131^5) \times 0.024 - 0.000] = 0.959$$

$$C_{zy} > 0.6 \sqrt{(1.131 / 1.500)} (1156.0 \times 10^3 / 1307.0 \times 10^3) = 0.461, \quad C_{zy} = 0.959$$

$$C_{yy} = 0.992, \quad C_{zy} = 0.959 \quad (\text{Παράρτημα A, Π.Α.1})$$

$$k_{yy} = 0.891 \times 1.000 \times 1.000 / (1 - 71.10 / 40371.0) \times (1 / 0.992) = 0.900$$

$$k_{zy} = 0.891 \times 1.000 \times 0.958 / (1 - 71.10 / 40371.0) \times (1 / 0.959) \times 0.6 \times \sqrt{(1.131 / 1.500)} = 0.465$$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

$$N_{ed} / (\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) = \quad (\text{EC3 Εξ.6.61})$$

$$71.1 / (0.983 \times 2998.3 / 1.00) + 0.900 \times 62.5 / (0.976 \times 464.0 / 1.00) = 0.024 + 0.124 = 0.148$$

$$0.148 < 1.000, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{ed} / (\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) = \quad (\text{EC3 Εξ.6.62})$$

$$71.1 / (0.311 \times 2998.3 / 1.00) + 0.465 \times 62.5 / (0.976 \times 464.0 / 1.00) = 0.076 + 0.064 = 0.140$$

$$0.140 < 1.000, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

11.12. Έλεγχος δοκών, Δοκός(1), (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6)

Διατομή : IPE 450-S 355

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Ned = 15.6 kN
 Ved = 70.3 kN
 Myed = 92.5 kNm, Mzed = 0.0 kNm
 Myed = 57.5 kNm (στο μέσο ανοίγματος)
 Myed = -78.4 kNm (στην παρειά υποστρώματος)

11.12.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Δοκός(1)

(EN1993-1-1, §5.5)

Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής $\sigma = N_{ed}/A_{el} \pm M_{yed}/W_{el,y} \pm M_{zed}/W_{el,z}$
 $\sigma = [10^3]15.60/9882 \pm [10^6]92.50/1500.0 \times 10^3 \pm [10^6]0.00/176.4 \times 10^3$
 $\sigma_1 = 63 \text{ N/mm}^2, \sigma_2 = -60 \text{ N/mm}^2$ (θλίψη θετική)

Κορμός

c=450.0-2x14.6-2x21.0=378.8 mm, t=9.4 mm, c/t=378.8/9.4=40.30
 S 355, t=9.4 <= 40 mm, fy=355 N/mm², ε=(235/355)^{0.5}=0.81

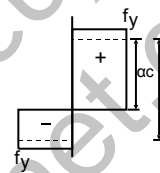
Θέση ουδέτερου άξονα για συνδυασμό Κάμψη και θλίψη

$N_{ed}/(2t_w \cdot f_y/\gamma_{M0}) = 15600/(2 \times 9.4 \times 355/1.00) = 2.3 \text{ mm}$

$\alpha = (378.8/2 + 2.3)/378.8 = 0.506 > 0.5$

$c/t = 40.30 <= 396 \times 0.81/(13 \times 0.506 - 1) = 57.48$

Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



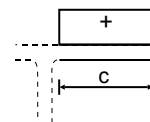
Πέλυμα

c=190.0/2-9.4/2-21.0=69.3 mm, t=14.6 mm, c/t=69.3/14.6=4.75

S 355, t=14.6 <= 40 mm, fy=355 N/mm², ε=(235/355)^{0.5}=0.81

$c/t = 4.75 <= 9 \times \epsilon = 9 \times 0.81 = 7.29$

Το πέλυμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη και θλίψη Nc,ed+My,ed

11.12.2. Αντοχή διατομής, Δοκός(1) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.2)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη

(EN1993-1-1, §6.2.4)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 201: 1.35Gk+1.50Qk

Nc.ed= 18.90 kN

Θλιπτική αντοχή Nplrd= A · fy/γM0=[10⁻³]x9882x355/1.00=3508.11kN

Ned= 18.90 kN < 3508.11 kN =Nc,rd=Nplrd, Έλεγχος ικανοποιείται

$N_{ed}/N_{c,rd} = 18.90/3508.11 = 0.005 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη y-y

(EN1993-1-1, §6.2.5)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

My.ed= 92.50 kNm

Καμπτική αντοχή Mply,rd=Wply · fy/γM0=[10⁻⁶]x1702.0x10³x355/1.00= 604.21kNm

My,ed= 92.50 kNm < 604.21 kNm =My,rd=Mply,rd, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed}/M_{y,rd} = 92.50/604.21 = 0.153 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Vz.ed= 70.30 kN

$A_v = A - 2b \cdot t_{ff} + (t_w + 2r) t_f = 9882 - 2 \times 190.0 \times 14.6 + (9.4 + 2 \times 21.0) \times 14.6 = 5084 \text{ mm}^2$

(EC3 §6.2.6.3)

$A_v = 5084 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (450.0 - 2 \times 14.6) \times 9.4 = 1.00 \times 420.8 \times 9.4 = 3956 \text{ mm}^2$

Πλαστική διατμητική αντοχή Vpl,z,rd=Av(fy/√3)/γM0= [10⁻³]x5084x(355/1.73)/1.00= 1042.10kN

Vz,ed= 70.30 kN < 1042.10 kN =Vz,rd=Vpl,z,rd, Έλεγχος ικανοποιείται

$V_{z,ed}/V_{z,rd} = 70.30/1042.10 = 0.067 < 1$

$h_w/t_w = (450.0 - 2 \times 14.6) / 9.4 = 420.8 / 9.4 = 44.77 <= 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \times \epsilon / \eta = 58.32$ (η=1.00)

S 355, t=9.4 <= 40 mm, fy=355 N/mm², ε=(235/355)^{0.5}=0.81

Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα

(EC3 §6.2.6.6)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη (EN1993-1-1, §6.2.9)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

N.ed= 15.60kN (Θλίψη), Vz.ed= 70.30kN, My.ed= 92.50kNm

Nplrd=3508.11kN, Mpl,y,rd=604.21kNm, Vpl,z,rd=1042.10kN

Ned=15.60kN <= 0.25x3508.11=0.25xNplrd=877.03kN

Ned=15.60kN <= [10⁻³] \times 0.5x420.8x9.4x355/1.00=0.5hw \cdot tw \cdot fy/γM0=702.10 kN

Η επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται (EC3 §6.2.9.1 Εξ.6.33, Εξ.6.34, Εξ.6.35)

Ved=70.30kN <= 0.50x1042.10=0.50xVpl,rd=521.05kN

Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται (EC3 §6.2.8.2)

My,ed= 92.50 kNm < 604.21 kNm =Mpl,y,rd, Έλεγχος ικανοποιείται

My,ed/Mpl,y,rd= 92.50/604.21= 0.153<1

11.12.3. Αντοχή σε λυγισμό, Δοκός(1) μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Ned = 15.6 kN

Ved = 61.4 kN

Myed = 57.5 kNm, Mzed =0.0 kNm

Μήκος ζυγώματος Lr=8000 mm

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο

acr=12.43, Ned=15.6kN, Lcr,y=π \sqrt [EI/acr \cdot Ned] <= Lr=8000 mm

Lcr,y=π \sqrt [210000x337.40x10⁶/(12.43x15.6x10³)]=60029mm, Lcr,y=8000mm

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο Lcr,y=8000mm (Μήκος συστήματος)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου Lcr,z=3000mm (Απόσταση διαδοκίδων)

11.12.4. Καρπτικός λυγισμός, Δοκός(1) μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχία) (EN1993-1-1, §6.3.1)

Nc,ed=15.61 kN, Lcr,y=8.000 m, Lcr,z=3.000 m

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Μήκη λυγισμού: Lcr,y=1.000x8000=8000mm, Lcr,z=0.375x8000=3000mm

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (8000 / 184.8) \times (1 / 76.06) = 0.569$

$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3000 / 41.2) \times (1 / 76.06) = 0.958$

$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \text{ ε} = 76.06, \text{ ε} = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$

h/b=450/190=2.37>=1.20, tf=14.6mm<=40 mm

γ-γ καμπύλη λυγισμού: a, συντελεστής ατελειών: αy=0.21, χy=0.901

(Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4)

Φy=0.5[1+αy($\bar{\lambda}_y$ -0.2)+ $\bar{\lambda}_y^2$]=0.5x[1+0.21x(0.569-0.2)+0.569²]=0.701

χy=1/[Φy+ \sqrt (Φy²- $\bar{\lambda}_y^2$)]=1/[0.701+ \sqrt (0.701²-0.569²)]=0.901 <=1 χy=0.901

z-z καμπύλη λυγισμού: b, συντελεστής ατελειών: αz=0.34, χz=0.624

Φz=0.5[1+αz($\bar{\lambda}_z$ -0.2)+ $\bar{\lambda}_z^2$]=0.5x[1+0.34x(0.958-0.2)+0.958²]=1.088

χz=1/[Φz+ \sqrt (Φz²- $\bar{\lambda}_z^2$)]=1/[1.088+ \sqrt (1.088²-0.958²)]=0.624 <=1 χz=0.624

Μειωτικός συντελεστής χ=1/[Φ+ \sqrt (Φ²- $\bar{\lambda}^2$)], χ<=1.0, Φ=0.5[1+α($\bar{\lambda}$ -0.2)+ $\bar{\lambda}^2$], χ=0.624

(EC3 Εξ.6.49)

Nb,rd=χ \cdot A \cdot fy/γM1= 0.624x[10⁻³] \times 9882x355/1.00=2189.06kN

(EC3 Εξ.6.47)

Nc,ed= 15.61 kN < 2189.06 kN =Nb,rd, Έλεγχος ικανοποιείται

Nc,ed/Nb,rd= 15.61/2189.06= 0.007<1

11.12.5. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός(1) μέσο-ανοίγματος (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

My,ed=57.50 kN, L=8.000m, Lcr,y=8.000m, Lcr,z=3.000m, Lcr,lt=3.000m

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

Mcr=C1 \cdot [π²EIz/(kL)²]{ \sqrt [(kz/kw)²(Iw/Iz)+(kL)²GI_t/(π²EIz)+(C2 \cdot zg-C3 \cdot zj)²]- (C2 \cdot zg-C3 \cdot zj)}

Μέθοδος υπολογισμού C1, C2, C3 : ECCS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

μ=Mo/M=qL²/8M=18.5/57.5=0.32, ψ=Mb/Ma=-13.2/57.5=-0.23, C1=1.369, C2=0.164

G=E/(2(1+ν))=210000/(2(1+0.30))=80769=8.1x10⁴ N/mm²

k \cdot L=3000mm, zg=h/2=450/2=225mm, zj=0mm

(EN1993:2002 Εξ.C.11)

ky=1.0, kz=1.0, kw=1.0, C1=1.369, C2=0.164, C3=0.000

Mcr=[10⁻⁶] \times 1.369x[π²x2.1x10⁵x16.760x10⁶/3000²]

x{ [(1.0/1.0)²x(791.01x10⁹/16.760x10⁶)

+3000²x8.1x10⁴x0.669x10⁶/(π²x2.1x10⁵x16.760x10⁶)

+ (0.164x225)² }^{0.5} - (0.164x225) } = 1126.9 kNm

$$\bar{\lambda}, l_t = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1126.9)} = 0.732 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

$h/b = 450/190 = 2.37 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c

συντελεστής ατελειών: $\alpha, l_t = 0.49, \beta = 0.75, \chi, l_t = 0.806 \quad (\text{Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4})$

$$\Phi, l_t = 0.5 [1 + \alpha, l_t (\bar{\lambda}, l_t - \bar{\lambda}, l_t) + \beta \bar{\lambda}, l_t^2] = 0.5 \times [1 + 0.49 \times (0.732 - 0.40) + 0.75 \times 0.732^2] = 0.782$$

$$\chi, l_t = 1 / [\Phi, l_t + \sqrt{(\Phi, l_t^2 - \beta \bar{\lambda}, l_t^2)}] = 1 / [0.782 + \sqrt{(0.782^2 - 0.75 \times 0.732^2)}] = 0.806$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi, l_t = 1 / [\Phi, l_t + \sqrt{(\Phi, l_t^2 - \beta \bar{\lambda}, l_t^2)}], \chi, l_t \leq 1.0, 1 / \bar{\lambda}, l_t^2, \chi, l_t = 0.806 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$\chi, l_t, \text{mod} = \chi, l_t / f, \chi, l_t, \text{mod} \leq 1, \chi, l_t, \text{mod} \leq 1 / \bar{\lambda}, l_t^2 = 1 / 0.732^2 = 1.87 \quad (\text{EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58})$$

$$k_c = 1.00 \quad (\text{EC3 Πιν.6.6})$$

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}, l_t - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 1.000) [1 - 2.0 \times (0.732 - 0.8)^2] = 1.000, f \leq 1.0$$

$$\chi, l_t, \text{mod} = \chi, l_t / f = 0.806 / 1.000 = 0.806, \chi, l_t, \text{mod} \leq 1.0, \chi, l_t, \text{mod} \leq 1.87, \chi, l_t, \text{mod} = 0.806$$

$$M_{b,rd} = \chi, l_t \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.806 \times [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 486.99 \text{ kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

$$M_{y,ed} = 57.50 \text{ kNm} < 486.99 \text{ kNm} = M_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 57.50 / 486.99 = 0.118 < 1$$

11.12.6. Αντοχή σε λυγισμό, Δοκός(1) άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

$$N_{ed} = 15.6 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 61.4 \text{ kN}$$

$$M_{yed} = 56.6 \text{ kNm}, M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$$

Μήκος ζυγώματος $L_r = 8000 \text{ mm}$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο $L_{cr,y} = 8000 \text{ mm}$ (Μήκος συστήματος)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου $L_{cr,z} = 3201 \text{ mm}$ (Εγκάρσιες συγκρατήσεις δοκών)

11.12.7. Καμπτικός λυγισμός, Δοκός(1) άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας) (EN1993-1-1, §6.3.1)

$N_{c,ed} = 15.61 \text{ kN}, L_{cr,y} = 8.000 \text{ m}, L_{cr,z} = 3.201 \text{ m}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y} = 1.000 \times 8000 = 8000 \text{ mm}, L_{cr,z} = 0.400 \times 8000 = 3201 \text{ mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1) (EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (8000 / 184.8) \times (1 / 76.06) = 0.569$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3201 / 41.2) \times (1 / 76.06) = 1.022$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \text{ ε} = 76.06, \text{ ε} = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$$

$$h/b = 450/190 = 2.37 > 1.20, t_f = 14.6 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: } a, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_y = 0.21, \chi_y = 0.901 \quad (\text{Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.569 - 0.2) + 0.569^2] = 0.701$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [0.701 + \sqrt{(0.701^2 - 0.569^2)}] = 0.901 \leq 1, \chi_y = 0.901$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: } b, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_z = 0.34, \chi_z = 0.583$$

$$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (1.022 - 0.2) + 1.022^2] = 1.162$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.162 + \sqrt{(1.162^2 - 1.022^2)}] = 0.583 \leq 1, \chi_z = 0.583$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}], \chi \leq 1.0, \Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2], \chi = 0.583 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.583 \times [10^{-3}] \times 9882 \times 355 / 1.00 = 2045.23 \text{ kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_{c,ed} = 15.61 \text{ kN} < 2045.23 \text{ kN} = N_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{c,ed} / N_{b,rd} = 15.61 / 2045.23 = 0.008 < 1$$

11.12.8. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός(1) άκρο-ανοίγματος (ULS) (EN1993-1-1, §6.3.2)

$M_{y,ed} = 56.61 \text{ kNm}, L = 8.000 \text{ m}, L_{cr,y} = 8.000 \text{ m}, L_{cr,z} = 3.201 \text{ m}, L_{cr,lt} = 3.201 \text{ m}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού (EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$$M_{cr} = C_1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GIt / (\pi^2 EI_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2]} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$$

Μέθοδος υπολογισμού C_1, C_2, C_3 : *ECSS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006*

$$\mu = M_o / M = qL^2 / 8M = 21.1 / 56.6 = 0.37, \psi = M_b / M_a = -45.1 / 56.6 = -0.80, C_1 = 1.697, C_2 = 0.209$$

$$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$k \cdot L = 3201 \text{ mm}, z_g = h/2 = 450/2 = 225 \text{ mm}, z_j = 0 \text{ mm} \quad (\text{EN1993:2002 Εξ.C.11})$$

$$k_y = 1.0, k_z = 1.0, k_w = 1.0, C_1 = 1.697, C_2 = 0.209, C_3 = 0.000$$

$$M_{cr} = [10^{-6}] 1.697 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6 / 3201^2]$$

$$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (791.01 \times 10^9 / 16.760 \times 10^6)$$

$$+ 3201^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.669 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6)$$

$$+ (0.209 \times 225)^2 \}^{0.5} - (0.209 \times 225) \} = 1200.4 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}, l_t = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{[10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1200.4} = 0.709 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

$$h/b = 450/190 = 2.37 > 2.00 \text{ καμπύλη λυγισμού: c}$$

$$\text{συντελεστής ατελειών: } \alpha, l_t = 0.49, \beta = 0.75, \chi, l_t = 0.820 \quad (\text{Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4})$$

$$\Phi, l_t = 0.5 [1 + \alpha, l_t (\bar{\lambda}, l_t - \bar{\lambda}, l_{to}) + \beta \bar{\lambda}, l_t^2] = 0.5 [1 + 0.49 \times (0.709 - 0.40) + 0.75 \times 0.709^2] = 0.765$$

$$\chi, l_t = 1 / [\Phi, l_t + \sqrt{(\Phi, l_t^2 - \beta \bar{\lambda}, l_t^2)}] = 1 / [0.765 + \sqrt{(0.765^2 - 0.75 \times 0.765^2)}] = 0.820$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi, l_t = 1 / [\Phi, l_t + \sqrt{(\Phi, l_t^2 - \beta \bar{\lambda}, l_t^2)}], \chi, l_t \leq 1.0, 1 / \bar{\lambda}, l_t^2, \chi, l_t = 0.820 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$\chi, l_t, \text{mod} = \chi, l_t / f, \chi, l_t, \text{mod} \leq 1, \chi, l_t, \text{mod} \leq 1 / \bar{\lambda}, l_t^2 = 1 / 0.709^2 = 1.99 \quad (\text{EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58})$$

$$K_c = 1 / (1.33 - 0.33\psi) = 0.628, \psi = -0.80 \quad (\text{EC3 Πιν.6.6})$$

$$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}, l_t - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.628) [1 - 2.0 \times (0.709 - 0.8)^2] = 0.817, f \leq 1.0$$

$$\chi, l_t, \text{mod} = \chi, l_t / f = 0.820 / 0.817 = 1.004, \chi, l_t, \text{mod} \leq 1.0, \chi, l_t, \text{mod} \leq 1.99, \chi, l_t, \text{mod} = 1.000$$

$$M_{b,rd} = \chi, l_t \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1.000 \times [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 604.21 \text{ kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

$$M_{y,ed} = 56.61 \text{ kNm} < 604.21 \text{ kNm} = M_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 56.61 / 604.21 = 0.094 < 1$$

11.12.9. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

$$N_{ed} = 15.6 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 61.4 \text{ kN}$$

$$M_{yed} = 57.5 \text{ kNm}, M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$$

Μήκος ζυγμάτος $L_r = 8000 \text{ mm}$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο

$$\alpha_{cr} = 12.43, N_{ed} = 15.6 \text{ kN}, L_{cr,y} = \pi \sqrt{[EI / \alpha_{cr} \cdot N_{ed}]} \leq L_r = 8000 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = \pi \sqrt{[210000 \times 337.40 \times 10^6 / (12.43 \times 15.6 \times 10^3)]} = 60029 \text{ mm}, L_{cr,y} = 8000 \text{ mm}$$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο $L_{cr,y} = 8000 \text{ mm}$ (Μήκος συστήματος)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου $L_{cr,z} = 3201 \text{ mm}$ (Απόσταση διαδοκίδων)

11.12.10. Καμπτικός λυγισμός, Δοκός(1) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.3.1)

$N_{c,ed} = 15.61 \text{ kN}, L_{cr,y} = 8.000 \text{ m}, L_{cr,z} = 3.000 \text{ m}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y} = 1.000 \times 8000 = 8000 \text{ mm}, L_{cr,z} = 0.375 \times 8000 = 3000 \text{ mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (8000 / 184.8) \times (1 / 76.06) = 0.569$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3000 / 41.2) \times (1 / 76.06) = 0.958$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \text{ ε} = 76.06, \text{ ε} = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$$

$$h/b = 450/190 = 2.37 > 1.20, t_f = 14.6 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: a, συντελεστής ατελειών: } \alpha_y = 0.21, \chi_y = 0.901 \quad (\text{Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 [1 + 0.21 \times (0.569 - 0.2) + 0.569^2] = 0.701$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [0.701 + \sqrt{(0.701^2 - 0.569^2)}] = 0.901 \leq 1, \chi_y = 0.901$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: b, συντελεστής ατελειών: } \alpha_z = 0.34, \chi_z = 0.624$$

$$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 [1 + 0.34 \times (0.958 - 0.2) + 0.958^2] = 1.088$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.088 + \sqrt{(1.088^2 - 0.958^2)}] = 0.624 \leq 1, \chi_z = 0.624$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}], \chi \leq 1.0, \Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2], \chi = 0.624 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.624 \times [10^{-3}] \times 9882 \times 355 / 1.00 = 2189.06 \text{ kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_{c,ed} = 15.61 \text{ kN} < 2189.06 \text{ kN} = N_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{c,ed} / N_{b,rd} = 15.61 / 2189.06 = 0.007 < 1$$

11.12.11. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός(1) (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

My,ed=57.50 kNm, L=8.000m, Lcr,y=8.000m, Lcr,z=3.000m, Lcr,lt=3.000m

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού (EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$$M_{cr} = C_1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GIt / (\pi^2 EI_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2]} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$$

Μέθοδος υπολογισμού C1, C2, C3 : ECCS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$$\mu = M_o/M = qL^2/8M = -21.1/61.1 = -0.34, \psi = M_b/M_a = 55.1/-61.1 = -0.90, C_1 = 2.135, C_2 = 0.270$$

$$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$k \cdot L = 3000 \text{ mm}, z_g = h/2 = 450/2 = 225 \text{ mm}, z_j = 0 \text{ mm}$$

(EN1993:2002 Εξ. C.11)

$$k_y = 1.0, k_z = 1.0, k_w = 1.0, C_1 = 2.135, C_2 = 0.270, C_3 = 0.000$$

$$M_{cr} = [10^{-6}] 2.135 [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6 / 3000^2]$$

$$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (791.01 \times 10^9 / 16.760 \times 10^6) + 3000^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.669 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6) + (0.270 \times 225)^2]^{0.5} - (0.270 \times 225) \} = 1599.0 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{[10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1599.0} = 0.615$$

(EC3 Εξ. 6.56)

h/b=450/190=2.37>2.00 καμπύλη λυγισμού: c

συντελεστής ατελειών: α_{lt}=0.49, β=0.75, χ_{lt}=0.877

(Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)

$$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - \bar{\lambda}_{lt0}) + \beta \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 \times [1 + 0.49 \times (0.615 - 0.40) + 0.75 \times 0.615^2] = 0.694$$

$$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [0.694 + \sqrt{(0.694^2 - 0.75 \times 0.615^2)}] = 0.877$$

Μειωτικός συντελεστής χ_{lt}=1/[Φ_{lt}+√(Φ_{lt}²-βλ̄_{lt}²)], χ_{lt}≤1.0, 1/λ̄_{lt}², χ_{lt}=0.877 (Εξ.6.57)

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f, \chi_{lt,mod} \leq 1, \chi_{lt,mod} \leq 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2 = 1 / 0.615^2 = 2.65$$

(EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)

$$K_c = 0.90$$

(EC3 Πιν.6.6)

$$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.900) [1 - 2.0 \times (0.615 - 0.8)^2] = 0.953, f < 1.0$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.877 / 0.953 = 0.920, \chi_{lt,mod} \leq 1.0, \chi_{lt,mod} \leq 2.65, \chi_{lt,mod} = 0.920$$

$$M_{b,rd} = \chi_{lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.920 \times [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 555.87 \text{ kNm}$$

(EC3 Εξ.6.55)

$$M_{y,ed} = 57.50 \text{ kNm} < 555.87 \text{ kNm} = M_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 57.50 / 555.87 = 0.103 < 1$$

11.13. Έλεγχος δοκών, Δοκός(2), (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6)

Διατομή : IPE 450-S 355

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

$$N_{ed} = 23.8 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 66.7 \text{ kN}$$

$$M_{yed} = 67.9 \text{ kNm}, M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$$

$$M_{yed} = 67.2 \text{ kNm (στο μέσο ανοίγματος)}$$

$$M_{yed} = -54.6 \text{ kNm (στην παρεία υποστυλώματος)}$$

11.13.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Δοκός(2)

(EN1993-1-1, §5.5)

Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής σ=N_{ed}/A_{e1} ± M_{yed}/W_{el,y} ± M_{zed}/W_{el,z}

$$\sigma = [10^3] 23.80 / 9882 \pm [10^6] 67.90 / 1500.0 \times 10^3 \pm [10^6] 0.00 / 176.4 \times 10^3$$

$$\sigma_1 = 48 \text{ N/mm}^2, \sigma_2 = -43 \text{ N/mm}^2 \text{ (θλίψη θετική)}$$

Κορμός

$$c = 450.0 - 2 \times 14.6 - 2 \times 21.0 = 378.8 \text{ mm}, t = 9.4 \text{ mm}, c/t = 378.8 / 9.4 = 40.30$$

$$S 355, t = 9.4 \leq 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \epsilon = (235 / 355)^{0.5} = 0.81$$

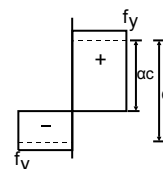
Θέση ουδέτερου άξονα για συνδυασμό Κάμψη και θλίψη

$$N_{ed} / (2t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}) = 23800 / (2 \times 9.4 \times 355 / 1.00) = 3.6 \text{ mm}$$

$$\alpha = (378.8 / 2 + 3.6) / 378.8 = 0.509 > 0.5$$

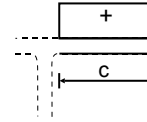
$$c/t = 40.30 \leq 396 \times 0.81 / (13 \times 0.509 - 1) = 57.05$$

Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Πέλυμα

$c=190.0/2-9.4/2-21.0=69.3$ mm, $t=14.6$ mm, $c/t=69.3/14.6=4.75$
 S 355, $t=14.6 \leq 40$ mm, $f_y=355$ N/mm², $\epsilon=(235/355)^{0.5}=0.81$
 $c/t=4.75 \leq 9\epsilon=9 \times 0.81=7.29$
 Το πέλυμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη και θλίψη $N_{c,ed}+M_{y,ed}$

11.13.2. Αντοχή διατομής, Δοκός(2) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.2)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη

(EN1993-1-1, §6.2.4)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: $1.35 \times G_k + 1.50 Q_k + 1.05 H_k$
 $N_{c,ed} = 23.80$ kN
 Θλιπτική αντοχή $N_{plrd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 9882 \times 355 / 1.00 = 3508.11$ kN
 $N_{ed} = 23.80$ kN < 3508.11 kN = $N_{c,rd} = N_{plrd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $N_{ed}/N_{c,rd} = 23.80/3508.11 = 0.007 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη $\gamma-y$

(EN1993-1-1, §6.2.5)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: $1.35 \times G_k + 1.50 Q_k + 1.05 H_k$
 $M_{y,ed} = 67.90$ kNm
 Καμπτική αντοχή $M_{ply,rd} = W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 604.21$ kNm
 $M_{y,ed} = 67.90$ kNm < 604.21 kNm = $M_{y,rd} = M_{ply,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $M_{y,ed}/M_{y,rd} = 67.90/604.21 = 0.112 < 1$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: $1.35 \times G_k + 1.50 Q_k + 1.05 H_k$
 $V_{z,ed} = 66.70$ kN
 $A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 9882 - 2 \times 190.0 \times 14.6 + (9.4 + 2 \times 21.0) \times 14.6 = 5084$ mm² (EC3 §6.2.6.3)
 $A_v = 5084$ mm² > $\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (450.0 - 2 \times 14.6) \times 9.4 = 1.00 \times 420.8 \times 9.4 = 3956$ mm²
 Πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 5084 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 1042.10$ kN
 $V_{z,ed} = 66.70$ kN < 1042.10 kN = $V_{z,rd} = V_{pl,z,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $V_{z,ed}/V_{z,rd} = 66.70/1042.10 = 0.064 < 1$

$h_w/t_w = (450.0 - 2 \times 14.6) / 9.4 = 420.8 / 9.4 = 44.77 \leq 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \epsilon / \eta = 58.32$ ($\eta = 1.00$)

S 355, $t = 9.4 \leq 40$ mm, $f_y = 355$ N/mm², $\epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$

Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα

(EC3 §6.2.6.6)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη

(EN1993-1-1, §6.2.9)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: $1.35 \times G_k + 1.50 Q_k + 1.05 H_k$
 $N_{ed} = 23.80$ kN (θλίψη), $V_{z,ed} = 66.70$ kN, $M_{y,ed} = 67.90$ kNm
 $N_{plrd} = 3508.11$ kN, $M_{pl,y,rd} = 604.21$ kNm, $V_{pl,z,rd} = 1042.10$ kN
 $N_{ed} = 23.80$ kN < $0.25 \times 3508.11 = 0.25 \times N_{plrd} = 877.03$ kN
 $N_{ed} = 23.80$ kN < $[10^{-3}] \times 0.5 \times 420.8 \times 9.4 \times 355 / 1.00 = 0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 702.10$ kN
 Η επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται (EC3 §6.2.9.1 Εξ.6.33, Εξ.6.34, Εξ.6.35)
 $V_{ed} = 66.70$ kN < $0.50 \times 1042.10 = 0.50 \times V_{pl,rd} = 521.05$ kN
 Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται (EC3 §6.2.8.2)

$M_{y,ed} = 67.90$ kNm < 604.21 kNm = $M_{ply,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed}/M_{ply,rd} = 67.90/604.21 = 0.112 < 1$

11.13.3. Αντοχή σε λυγισμό, Δοκός(2) μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: $1.35 \times G_k + 1.50 Q_k + 1.05 H_k$

$N_{ed} = 23.8$ kN

$V_{ed} = 65.0$ kN

$M_{yed} = 67.2$ kNm, $M_{zed} = 0.0$ kNm

Μήκος ζυγώματος $L_r = 8000$ mm

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο

$\alpha_{cr} = 12.43$, $N_{ed} = 23.8$ kN, $L_{cr,y} = \pi \sqrt{[EI / \alpha_{cr} \cdot N_{ed}]} \leq L_r = 8000$ mm

$L_{cr,y} = \pi \sqrt{[210000 \times 337.40 \times 10^6 / (12.43 \times 23.8 \times 10^3)]} = 48574$ mm, $L_{cr,y} = 8000$ mm

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο $L_{cr,y} = 8000$ mm (Μήκος συστήματος)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου $L_{cr,z} = 3000$ mm (Απόσταση διαδοκίδων)

11.13.4. Καμπτικός λυγισμός, Δοκός(2) μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχί (EN1993-1-1, §6.3.1)

Nc,ed=23.84 kN, Lcr,y=8.000 m, Lcr,z=3.000 m

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Μήκη λυγισμού: Lcr,y=1.000x8000=8000mm, Lcr,z=0.375x8000=3000mm

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (8000 / 184.8) \times (1 / 76.06) = 0.569$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3000 / 41.2) \times (1 / 76.06) = 0.958$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \text{ ε} = 76.06, \text{ ε} = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$$

$$h/b = 450 / 190 = 2.37 > 1.20, t_f = 14.6 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: } a, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_y = 0.21, \chi_y = 0.901 \quad (\text{Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.569 - 0.2) + 0.569^2] = 0.701$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [0.701 + \sqrt{(0.701^2 - 0.569^2)}] = 0.901 < 1 \quad \chi_y = 0.901$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: } b, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_z = 0.34, \chi_z = 0.624$$

$$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (0.958 - 0.2) + 0.958^2] = 1.088$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.088 + \sqrt{(1.088^2 - 0.958^2)}] = 0.624 < 1 \quad \chi_z = 0.624$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}], \chi \leq 1.0, \Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2], \chi = 0.624 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.624 \times [10^{-3}] \times 9882 \times 355 / 1.00 = 2189.06 \text{ kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_{c,ed} = 23.84 \text{ kN} < 2189.06 \text{ kN} = N_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{c,ed} / N_{b,rd} = 23.84 / 2189.06 = 0.011 < 1$$

11.13.5. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός(2) μέσο-ανοίγματος (ULS) (EN1993-1-1, §6.3.2)

M_{y,ed}=67.22 kNm, L=8.000m, L_{cr,y}=8.000m, L_{cr,z}=3.000m, L_{cr,lt}=3.000m

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού

(EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$$M_{cr} = C_1 \cdot [\pi^2 E I_z / (k L)^2] \{ \sqrt{[(k_z / k_w)^2 (I_w / I_z) + (k L)^2 G I_t / (\pi^2 E I_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2]} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$$

Μέθοδος υπολογισμού C₁, C₂, C₃ : ECSS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$$\mu = M_o / M = q L^2 / 8 M = 18.5 / 67.2 = 0.28, \psi = M_b / M_a = -19.8 / 67.2 = -0.30, C_1 = 1.479, C_2 = 0.147$$

$$G = E / (2(1 + \nu)) = 210000 / (2(1 + 0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$k \cdot L = 3000 \text{ mm}, z_g = h / 2 = 450 / 2 = 225 \text{ mm}, z_j = 0 \text{ mm}$$

(EN1993:2002 Εξ.C.11)

$$k_y = 1.0, k_z = 1.0, k_w = 1.0, C_1 = 1.479, C_2 = 0.147, C_3 = 0.000$$

$$M_{cr} = [10^{-6}] 1.479 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6 / 3000^2]$$

$$\times \{ [(1.0 / 1.0)^2 \times (791.01 \times 10^9 / 16.760 \times 10^6)$$

$$+ 3000^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.669 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6)$$

$$+ (0.147 \times 225)^2 \}^{0.5} - (0.147 \times 225) \} = 1236.0 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1236.0)} = 0.699 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

h/b=450/190=2.37>2.00 καμπύλη λυγισμού: c

$$\text{συντελεστής ατελειών: } \alpha_{lt} = 0.49, \beta = 0.75, \chi_{lt} = 0.826 \quad (\text{Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - 0.8) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 \times [1 + 0.49 \times (0.699 - 0.8) + 0.699^2] = 0.757$$

$$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [0.757 + \sqrt{(0.757^2 - 0.75 \times 0.699^2)}] = 0.826$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}], \chi_{lt} \leq 1.0, 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2, \chi_{lt} = 0.826 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f, \chi_{lt,mod} \leq 1, \chi_{lt,mod} \leq 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2 = 1 / 0.699^2 = 2.05 \quad (\text{EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58})$$

$$K_c = 1.00 \quad (\text{EC3 Πιν.6.6})$$

$$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 1.000) [1 - 2.0 \times (0.699 - 0.8)^2] = 1.000, f \leq 1.0$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.826 / 1.000 = 0.826, \chi_{lt,mod} \leq 1.0, \chi_{lt,mod} \leq 2.05, \chi_{lt,mod} = 0.826$$

$$M_{b,rd} = \chi_{lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.826 \times [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 499.08 \text{ kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

$$M_{y,ed} = 67.22 \text{ kNm} < 499.08 \text{ kNm} = M_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 67.22 / 499.08 = 0.135 < 1$$

11.13.6. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, Δοκός(2) μέσο-ανοίγματος (ULS)
Ned=23.84 kN, My,ed=67.22 kNm

(EN1993-1-1, §6.3.3)

$$\begin{aligned} \text{Ned}/(\chi_y \cdot \text{Nr}_k/\gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot \text{My,ed}/(\chi_{LT} \cdot \text{My,rk}/\gamma_{M1}) &\leq 1 && \text{(EC3 Εξ.6.61)} \\ \text{Ned}/(\chi_z \cdot \text{Nr}_k/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot \text{My,ed}/(\chi_{LT} \cdot \text{My,rk}/\gamma_{M1}) &\leq 1 && \text{(EC3 Εξ.6.62)} \\ \text{Nr}_k = A \cdot f_y = [10^{-3}] \times 9882 \times 355 = 3508.1 \text{ kN} &&& \text{(Πιν.6.7)} \\ \text{My,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 = 604.2 \text{ kNm} \\ \chi_y \cdot \text{Nr}_k/\gamma_{M1} = \chi_y \cdot A \cdot f_y/\gamma_{M1} = 0.901 \times [10^{-3}] \times 9882 \times 355/1.00 = 3160.8 \text{ kN} \\ \chi_z \cdot \text{Nr}_k/\gamma_{M1} = \chi_z \cdot A \cdot f_y/\gamma_{M1} = 0.624 \times [10^{-3}] \times 9882 \times 355/1.00 = 2189.1 \text{ kN} \\ \chi_{LT} \cdot \text{My,rk}/\gamma_{M1} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y/\gamma_{M1} = 0.826 \times [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355/1.00 = 499.1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Συντελεστές κύρτισης, Μέθοδος υπολογισμού: Μέθοδος 1 Παράρτημα Α

(EC3 ΠαράρτημαΑ)

$$\begin{aligned} k_{yy} &= C_{my} \cdot C_{mLT}(\mu_y / (1 - \text{Ned}/\text{Ncr},y) (1/C_{yy}), \mu_y = (1 - \text{Ned}/\text{Ncr},y) / (1 - \chi_y \cdot \text{Ned}/\text{Ncr},y) && \text{(EC3 Πιν.Α.1)} \\ k_{zy} &= C_{my} \cdot C_{mLT}(\mu_z / (1 - \text{Ned}/\text{Ncr},y) (1/C_{zy}) 0.60 \sqrt{w_y/w_z}, \mu_z = (1 - \text{Ned}/\text{Ncr},z) / (1 - \chi_z \cdot \text{Ned}/\text{Ncr},z) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ncr},y &= \pi^2 EI_y / l_{cr},y^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 337.40 \times 10^6 / 8000^2 = 10927 \text{ kN} \\ \text{Ncr},z &= \pi^2 EI_z / l_{cr},z^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 16.760 \times 10^6 / 3000^2 = 3860 \text{ kN} \\ \text{Ncr},t &= (1/i_p^2) \times (G \cdot I_t + \pi^2 EI_w / L_{cr},t^2) && \text{(EC3 NCCI SN003b-EN-EU)} \\ \text{Ncr},t &= [10^{-3}] \times (1/189^2) [80769 \times 0.669 \times 10^6 + \pi^2 \times 210000 \times 791.01 \times 10^9 / 3000^2] = 6590 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_y &= (1 - \text{Ned}/\text{Ncr},y) / (1 - \chi_y \cdot \text{Ned}/\text{Ncr},y) = (1 - 23.8 / 10927) / (1 - 0.901 \times 23.8 / 10927) = 1.000 \\ \mu_z &= (1 - \text{Ned}/\text{Ncr},z) / (1 - \chi_z \cdot \text{Ned}/\text{Ncr},z) = (1 - 23.8 / 3860) / (1 - 0.624 \times 23.8 / 3860) = 0.998 \\ \text{alt} &= 1 - I_t / I_y > 0 = 1 - 0.669 \times 10^6 / 337.40 \times 10^6 = 0.998 && \text{(EC3 Παράρτημα Α.1)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_y &= W_{pl,y} / W_{el,y} < 1.50, w_y = 1.702 \times 10^6 / 1.500 \times 10^6 = 1.135 < 1.50 && \text{(EC3 Παράρτημα Α.1)} \\ w_z &= W_{pl,z} / W_{el,z} < 1.50, w_z = 0.276 \times 10^6 / 0.176 \times 10^6 = 1.567 > 1.50, w_z = 1.50 \\ n_{pl} &= \text{Ned} / (\text{Nr}_k/\gamma_{M1}) = 23.84 / (3508.10/1.00) = 0.007 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_{max} &= \max(0.569, 0.958) = 0.960 && \text{(EC3 Παράρτημα Α.1)} \\ M_{cro} &= C_1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 G I_t / (\pi^2 EI_z)]} \}, C_1 = 1.00 \\ M_{cro} &= [10^{-6}] 1.0 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6 / 3000^2] \\ &\quad \times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (791.01 \times 10^9 / 16.760 \times 10^6) + 3000^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.669 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6)]^{0.5} \} = 954.8 \text{ kNm} \\ \bar{\lambda}_o &= \sqrt{([10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 954.8)} = 0.800 \\ \bar{\lambda}_{o,lim} &= 0.2 \sqrt{C_1 [(1 - \text{Ned}/\text{Ncr},z) (1 - \text{Ned}/\text{Ncr},t)]^{0.25}} && \text{(EC3 Παράρτημα Α.1)} \\ \bar{\lambda}_{o,lim} &= 0.2 \sqrt{1.479 [(1 - 23.8/3860) (1 - 23.8/6590)]^{0.25}} = 0.243 \\ \epsilon_y &= (My,ed/\text{Ned}) (A/W_{el,y}) = ([10^{-3}] \times 67.22 / 23.84) \times (9882.0 / 1500.0 \times 10^3) = 18.57 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{my,o} &= 0.79 + 0.21\psi + 0.36(\psi - 0.33) \times (23.84/10927.0) = 0.728, (\psi = -0.30) && \text{(EC3 Παράρτημα Α, Π.Α.1)} \\ \bar{\lambda}_o &= 0.800 > \bar{\lambda}_{o,lim} = 0.243 \\ C_{my} &= C_{my,o} + (1 - C_{my,o}) (\sqrt{\epsilon_y \cdot \text{alt}}) / (1 + \sqrt{\epsilon_y \cdot \text{alt}}) = \\ &= 0.728 + (1 - 0.728) \times (\sqrt{18.571 \times 0.998}) / (1 + \sqrt{18.571 \times 0.998}) = 0.949 \\ C_{m1t} &= C_{my}^2 \cdot \text{alt} / \sqrt{[(1 - \text{Ned}/\text{Ncr},z) (1 - \text{Ned}/\text{Ncr},t)]} > 1 \\ C_{m1t} &= 0.949^2 \times 0.998 / \sqrt{[(1 - 23.8/3860.0) (1 - 23.8/6590.0)]} = 0.903, C_{m1t} = 1.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{yy} &= 1 + (w_y - 1) [(2 - 1.6 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} / w_y - 1.6 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y) n_{pl} - b_{lt}] > W_{el,y} / W_{pl,y} && \text{(Παράρτημα Α, Π.Α.1)} \\ b_{lt} &= 0.5 \text{alt} \cdot \bar{\lambda}_o^2 [My,ed / (\chi_{lt} \cdot M_{pl,y},rd)] (Mz,ed / M_{pl,z},rd) = \\ &= 0.5 \times 0.998 \times 0.800^2 [0.0 / (0.826 \times 532.5)] (0.0 / 62.6) = 0.000 \\ C_{yy} &= 1 + (1.135 - 1) [(2 - 1.6 \times 0.949^2 \times 0.960 / 1.135 - 1.6 \times 0.949^2 \times 0.960^2 / 1.135) \times 0.007 - 0.000] = 1.000 \\ C_{yy} &> 1500.0 \times 10^3 / 1702.0 \times 10^3 = 0.881, C_{yy} = 1.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{zy} &= 1 + (w_y - 1) [(2 - 14.0 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y^5) n_{pl} - d_{lt}] > 0.6 \sqrt{w_y/w_z} (W_{el,y} / W_{pl,y}) && \text{(Παράρτημα Α, Π.Α.1)} \\ d_{lt} &= 2 \text{alt} \cdot [\bar{\lambda}_o / (0.1 + \bar{\lambda}_z^4)] [My,ed / (C_{my} \cdot \chi_{lt} \cdot M_{pl,y},rd)] [Mz,ed / (C_{mz} \cdot M_{pl,z},rd)] = \\ &= 20.998 \times [0.800 / (0.1 + 0.958^4)] [0.0 / (0.949 \times 0.826 \times 532.5)] [0.0 / (0.000 \times 62.6)] = 0.000 \\ C_{zy} &= 1 + (1.135 - 1) [(2 - 14.0 \times 0.949^2 \times 0.960^2 / 1.135^5) 0.007 - 0.000] = 0.996 \\ C_{zy} &> 0.6 \sqrt{1.135/1.500} (1500.0 \times 10^3 / 1702.0 \times 10^3) = 0.460, C_{zy} = 0.996 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{yy} &= 1.000, C_{zy} = 0.996 && \text{(Παράρτημα Α, Π.Α.1)} \\ k_{yy} &= 0.949 \times 1.000 \times 1.000 / (1 - 23.84/10927.0) \times (1/1.000) = 0.951 \\ k_{zy} &= 0.949 \times 1.000 \times 0.998 / (1 - 23.84/10927.0) \times (1/0.996) \times 0.6 \times \sqrt{1.135/1.500} = 0.497 \end{aligned}$$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

$$N_{ed}/(\chi_y \cdot N_{rk}/\gamma_{M1}) + k_{\chi y} \cdot M_{y,ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}/\gamma_{M1}) = 23.8/(0.901 \times 3508.1/1.00) + 0.951 \times 67.2/(0.826 \times 604.2/1.00) = 0.008 + 0.128 = 0.136$$

$$0.136 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται} \quad (\text{EC3 Εξ.6.61})$$

$$N_{ed}/(\chi_z \cdot N_{rk}/\gamma_{M1}) + k_{\chi z} \cdot M_{y,ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}/\gamma_{M1}) = 23.8/(0.624 \times 3508.1/1.00) + 0.497 \times 67.2/(0.826 \times 604.2/1.00) = 0.011 + 0.067 = 0.078$$

$$0.078 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται} \quad (\text{EC3 Εξ.6.62})$$

11.13.7. Αντοχή σε λυγισμό, Δοκός(2) άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk
 $N_{ed} = 23.8 \text{ kN}$
 $V_{ed} = 65.0 \text{ kN}$
 $M_{yed} = 63.7 \text{ kNm}, M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$
 Μήκος ζυγώματος $L_r = 8000 \text{ mm}$
 Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο $L_{cr,y} = 8000 \text{ mm}$ (Μήκος συστήματος)
 Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου $L_{cr,z} = 3201 \text{ mm}$ (Εγκάρσιες συγκρατήσεις δοκών)

11.13.8. Καμπτικός λυγισμός, Δοκός(2) άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας) (EN1993-1-1, §6.3.1)

$N_{c,ed} = 23.84 \text{ kN}, L_{cr,y} = 8.000 \text{ m}, L_{cr,z} = 3.201 \text{ m}$
 Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk
 Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y} = 1.000 \times 8000 = 8000 \text{ mm}, L_{cr,z} = 0.400 \times 8000 = 3201 \text{ mm}$
 Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1) (EC3 §6.3.1.3)
 $\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (8000 / 184.8) \times (1 / 76.06) = 0.569$
 $\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3201 / 41.2) \times (1 / 76.06) = 1.022$
 $\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \text{ ε} = 76.06, \text{ ε} = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$

$h/b = 450/190 = 2.37 > 1.20, t_f = 14.6 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$
 $\gamma\text{-}\gamma$ καμπύλη λυγισμού: a , συντελεστής ατελειών: $\alpha_y = 0.21, \chi_y = 0.901$ (Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4)
 $\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 [1 + 0.21 \times (0.569 - 0.2) + 0.569^2] = 0.701$
 $\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [0.701 + \sqrt{(0.701^2 - 0.569^2)}] = 0.901 \leq 1, \chi_y = 0.901$
 $z\text{-}z$ καμπύλη λυγισμού: b , συντελεστής ατελειών: $\alpha_z = 0.34, \chi_z = 0.583$
 $\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 [1 + 0.34 \times (1.022 - 0.2) + 1.022^2] = 1.162$
 $\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.162 + \sqrt{(1.162^2 - 1.022^2)}] = 0.583 \leq 1, \chi_z = 0.583$

Μειωτικός συντελεστής $\chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}], \chi \leq 1.0, \Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2], \chi = 0.583$ (EC3 Εξ.6.49)
 $N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.583 \times [10^{-3}] \times 9882 \times 355 / 1.00 = 2045.23 \text{ kN}$ (EC3 Εξ.6.47)
 $N_{c,ed} = 23.84 \text{ kN} < 2045.23 \text{ kN} = N_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$
 $N_{c,ed} / N_{b,rd} = 23.84 / 2045.23 = 0.012 < 1$

11.13.9. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός(2) άκρο-ανοίγματος (ULS) (EN1993-1-1, §6.3.2)

$M_{y,ed} = 63.74 \text{ kNm}, L = 8.000 \text{ m}, L_{cr,y} = 8.000 \text{ m}, L_{cr,z} = 3.201 \text{ m}, L_{cr,lt} = 3.201 \text{ m}$
 Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk
 Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού (EC3 §6.3.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)
Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961
 $M_{cr} = C_1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GI_t / (\pi^2 EI_z) + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2]} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \}$
Μέθοδος υπολογισμού C1, C2, C3 : ECCS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006
 $\mu = M_o / M = \alpha L^2 / 8M = 21.1 / 63.7 = 0.33, \psi = M_b / M_a = -54.9 / 63.7 = -0.86, C_1 = 1.824, C_2 = 0.195$
 $G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
 $k \cdot L = 3201 \text{ mm}, z_g = h/2 = 450/2 = 225 \text{ mm}, z_j = 0 \text{ mm}$ (EN1993:2002 Εξ.6.3.11)
 $k_y = 1.0, k_z = 1.0, k_w = 1.0, C_1 = 1.824, C_2 = 0.195, C_3 = 0.000$
 $M_{cr} = [10^{-6}] 1.824 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6 / 3201^2]$
 $\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (791.01 \times 10^9 / 16.760 \times 10^6) + 3201^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.669 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6) + (0.195 \times 225)^2]^{0.5} - (0.195 \times 225) \} = 1305.7 \text{ kNm}$

$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{[10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1305.7} = 0.680$ (EC3 Εξ.6.56)
 $h/b = 450/190 = 2.37 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c
 συντελεστής ατελειών: $\alpha_{lt} = 0.49, \beta = 0.75, \chi_{lt} = 0.838$ (Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)
 $\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - 0.2) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 [1 + 0.49 \times (0.680 - 0.2) + 0.680^2] = 0.742$
 $\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [0.742 + \sqrt{(0.742^2 - 0.680^2)}] = 0.838$
 Μειωτικός συντελεστής $\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \bar{\lambda}_{lt}^2)}], \chi_{lt} \leq 1.0, 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2, \chi_{lt} = 0.838$ (Εξ.6.57)

$\chi, \lambda_t, \text{mod} = \chi, \lambda_t / f, \chi, \lambda_t, \text{mod} \leq 1, \chi, \lambda_t, \text{mod} \leq 1 / \bar{\lambda}, \lambda_t^2 = 1 / 0.680^2 = 2.16$ (EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)
 $K_c = 1 / (1.33 - 0.33\psi) = 0.620, \psi = -0.86$ (EC3 Πιν.6.6)
 $f = 1 - 0.5(1 - k_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}, \lambda_t - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.620) [1 - 2.0 \times (0.680 - 0.8)^2] = 0.815, f \leq 1.0$
 $\chi, \lambda_t, \text{mod} = \chi, \lambda_t / f = 0.838 / 0.815 = 1.028, \chi, \lambda_t, \text{mod} \leq 1.0, \chi, \lambda_t, \text{mod} \leq 2.16, \chi, \lambda_t, \text{mod} = 1.000$

$M_b, \text{rd} = \chi, \lambda_t \cdot W_{pl, y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1.000 \times [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 604.21 \text{ kNm}$ (EC3 Εξ.6.55)
 $M_{y, \text{ed}} = 63.74 \text{ kNm} < 604.21 \text{ kNm} = M_b, \text{rd}, \text{ Ελεγχος ικανοποιείται}$
 $M_{y, \text{ed}} / M_b, \text{rd} = 63.74 / 604.21 = 0.105 < 1$

11.13.10. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, Δοκός(2) άκρο-ανοίγματος (ULS) (EN1993-1-1, §6.3.3)

Ned=23.84 kN, My,ed=63.74 kNm

$N_{\text{ed}} / (\chi_y \cdot N_{r,k} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y, \text{ed}} / (\chi_{LT} \cdot M_{y, r,k} / \gamma_{M1}) \leq 1$ (EC3 Εξ.6.61)
 $N_{\text{ed}} / (\chi_z \cdot N_{r,k} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y, \text{ed}} / (\chi_{LT} \cdot M_{y, r,k} / \gamma_{M1}) \leq 1$ (EC3 Εξ.6.62)
 $N_{r,k} = A \cdot f_y = [10^{-3}] \times 9882 \times 355 = 3508.1 \text{ kN}$ (Πιν.6.7)
 $M_{y, r,k} = W_{pl, y} \cdot f_y = [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 = 604.2 \text{ kNm}$
 $\chi_y \cdot N_{r,k} / \gamma_{M1} = \chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.901 \times [10^{-3}] \times 9882 \times 355 / 1.00 = 3160.8 \text{ kN}$
 $\chi_z \cdot N_{r,k} / \gamma_{M1} = \chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.583 \times [10^{-3}] \times 9882 \times 355 / 1.00 = 2045.2 \text{ kN}$
 $\chi_{LT} \cdot M_{y, r,k} / \gamma_{M1} = \chi_{LT} \cdot W_{pl, y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1.000 \times [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 604.2 \text{ kNm}$

Συντελεστές κύρτισης, Μέθοδος υπολογισμού: Μέθοδος 1 Παράρτημα Α (EC3 Παράρτημα Α)

$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} (\mu_y / (1 - N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, y}) (1 / C_{yy}), \mu_y = (1 - N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, y})$ (EC3 Πιν.Α.1)
 $k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} (\mu_z / (1 - N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, y}) (1 / C_{zy}) 0.60 \sqrt{w_y / w_z}, \mu_z = (1 - N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, z})$

$N_{\text{cr}, y} = \pi^2 EI_y / l_{\text{cr}, y}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 337.40 \times 10^6 / 8000^2 = 10927 \text{ kN}$
 $N_{\text{cr}, z} = \pi^2 EI_z / l_{\text{cr}, z}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 16.760 \times 10^6 / 3201^2 = 3390 \text{ kN}$
 $N_{\text{cr}, t} = (1 / i_p^2) \times (G \cdot I_t + \pi^2 EI_w / L_{\text{cr}, t}^2)$ (EC3 NCCI SN003b-EN-EU)
 $N_{\text{cr}, t} = [10^{-3}] \times (1 / 189^2) [80769 \times 0.669 \times 10^6 + \pi^2 \times 210000 \times 791.01 \times 10^9 / 3201^2] = 5972 \text{ kN}$

$\mu_y = (1 - N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, y}) = (1 - 23.8 / 10927) / (1 - 0.901 \times 23.8 / 10927) = 1.000$
 $\mu_z = (1 - N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, z}) = (1 - 23.8 / 3390) / (1 - 0.583 \times 23.8 / 3390) = 0.997$
 $\text{alt} = 1 - I_t / I_y \geq 0 = 1 - 0.669 \times 10^6 / 337.40 \times 10^6 = 0.998$ (EC3 Παράρτημα Α.1)

$w_y = W_{pl, y} / W_{el, y} \leq 1.50, w_y = 1.702 \times 10^6 / 1.500 \times 10^6 = 1.135 \leq 1.50$ (EC3 Παράρτημα Α.1)
 $w_z = W_{pl, z} / W_{el, z} \leq 1.50, w_z = 0.276 \times 10^6 / 0.176 \times 10^6 = 1.567 > 1.50, w_z = 1.50$
 $n_{pl} = N_{\text{ed}} / (N_{r,k} / \gamma_{M1}) = 23.84 / (3508.10 / 1.00) = 0.007$

$\bar{\lambda}_{\text{max}} = \max(0.569, 1.022) = 1.020$ (EC3 Παράρτημα Α.1)
 $M_{\text{cro}} = C_1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 G I_t / (\pi^2 EI_z)]} \}, C_1 = 1.00$
 $M_{\text{cro}} = [10^{-6}] 1.0 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6 / 3201^2]$
 $\times \{ [(1.0 / 1.0)^2 \times (791.01 \times 10^9 / 16.760 \times 10^6) + 3201^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.669 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6)]^{0.5} \} = 851.8 \text{ kNm}$

$\bar{\lambda}_o = \sqrt{([10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 851.8)} = 0.840$
 $\bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.2 \sqrt{C_1 [(1 - N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, z}) (1 - N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, t})]^{0.25}}$ (EC3 Παράρτημα Α.1)
 $\bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.2 \sqrt{1.824 [(1 - 23.8 / 3390) (1 - 23.8 / 5972)]^{0.25}} = 0.269$
 $e_y = (M_{y, \text{ed}} / N_{\text{ed}}) (A / W_{el, y}) = ([10^3] \times 63.74 / 23.84) \times (9882.0 / 1500.0 \times 10^3) = 17.61$

$C_{m,y, o} = 0.79 + 0.21\psi + 0.36(\psi - 0.33) \times (23.84 / 10927.0) = 0.608, (\psi = -0.86)$ (EC3 Παράρτημα Α, Π.Α.1)
 $\bar{\lambda}_o = 0.840 > \bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.269$

$C_{m,y} = C_{m,y, o} + (1 - C_{m,y, o}) (\sqrt{e_y \cdot \text{alt}}) / (1 + \sqrt{e_y \cdot \text{alt}}) =$
 $= 0.608 + (1 - 0.608) \times (\sqrt{17.610 \times 0.998}) / (1 + \sqrt{17.610 \times 0.998}) = 0.924$
 $C_{m,lt} = C_{m,y} \cdot \text{alt} / \sqrt{[(1 - N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, z}) (1 - N_{\text{ed}} / N_{\text{cr}, t})]} \geq 1$
 $C_{m,lt} = 0.924^2 \times 0.998 / \sqrt{[(1 - 23.8 / 3390.0) (1 - 23.8 / 5972.0)]} = 0.857, C_{m,lt} = 1.000$

$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) [(2 - 1.6 C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\text{max}} / w_y - 1.6 C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\text{max}}^2 / w_y) n_{pl} - \text{blt}] \geq W_{el, y} / W_{pl, y}$ (Παράρτημα Α, Π.Α.1)
 $\text{blt} = 0.5 \text{alt} \cdot \bar{\lambda}_o^2 [M_{y, \text{ed}} / (\chi, \lambda_t \cdot M_{pl, y, rd})] (M_z, \text{ed} / M_{pl, z, rd}) =$
 $= 0.5 \times 0.998 \times 0.840^2 [0.0 / (1.000 \times 532.5)] (0.0 / 62.6) = 0.000$
 $C_{yy} = 1 + (1.135 - 1) [(2 - 1.6 \times 0.924^2 \times 1.020 / 1.135 - 1.6 \times 0.924^2 \times 1.020^2 / 1.135) \times 0.007 - 0.000] = 1.000$
 $C_{yy} \geq 1500.0 \times 10^3 / 1702.0 \times 10^3 = 0.881, C_{yy} = 1.000$

$$C_{zy}=1+(w_y-1) [(2-14.0C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2/w_y^5) n_{pl-dlt}] \geq 0.6 \sqrt{(w_y/w_z)} (W_{el,y}/W_{pl,y}) \quad (\text{Παράρτημα Α, Π.Α.1})$$

$$dlt=2alt \cdot [\bar{\lambda}_o / (0.1 + \bar{\lambda}_z^4)] [M_{y,ed} / (C_{my} \cdot \chi_{lt} \cdot M_{pl,y,rd})] [M_{z,ed} / (C_{mz} \cdot M_{pl,z,rd})] =$$

$$= 20.998 \times [0.840 / (0.1 + 1.022^4)] [0.0 / (0.924 \times 1.000 \times 532.5)] [0.0 / (0.000 \times 62.6)] = 0.000$$

$$C_{zy}=1+(1.135-1) [(2-14.0 \times 0.924^2 \times 1.020^2 / 1.135^5) 0.007 - 0.000] = 0.996$$

$$C_{zy} \geq 0.6 \sqrt{(1.135/1.500)} (1500.0 \times 10^3 / 1702.0 \times 10^3) = 0.460, C_{zy} = 0.996$$

$$C_{yy}=1.000, C_{zy}=0.996 \quad (\text{Παράρτημα Α, Π.Α.1})$$

$$k_{yy}=0.924 \times 1.000 \times 1.000 / (1-23.84/10927.0) \times (1/1.000) = 0.926$$

$$k_{zy}=0.924 \times 1.000 \times 0.997 / (1-23.84/10927.0) \times (1/0.996) \times 0.6 \times \sqrt{(1.135/1.500)} = 0.484$$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

$$N_{ed} / (\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,ed} / (\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1}) = \quad (\text{EC3 Εξ.6.61})$$

$$23.8 / (0.901 \times 3508.1 / 1.00) + 0.926 \times 63.7 / (1.000 \times 604.2 / 1.00) = 0.008 + 0.098 = 0.105$$

$$0.105 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{ed} / (\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,ed} / (\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1}) = \quad (\text{EC3 Εξ.6.62})$$

$$23.8 / (0.583 \times 3508.1 / 1.00) + 0.484 \times 63.7 / (1.000 \times 604.2 / 1.00) = 0.012 + 0.051 = 0.063$$

$$0.063 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

11.13.11. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

$$N_{ed} = 23.8 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 65.0 \text{ kN}$$

$$M_{yed} = 67.2 \text{ kNm}, M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$$

Μήκος ζυγώματος $L_r = 8000 \text{ mm}$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο

$$\alpha_{cr} = 12.43, N_{ed} = 23.8 \text{ kN}, L_{cr,y} = \pi \sqrt{[EI / \alpha_{cr} \cdot N_{ed}]} \leq L_r = 8000 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = \pi \sqrt{[210000 \times 337.40 \times 10^6 / (12.43 \times 23.8 \times 10^3)]} = 48574 \text{ mm}, L_{cr,y} = 8000 \text{ mm}$$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο $L_{cr,y} = 8000 \text{ mm}$ (Μήκος συστήματος)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου $L_{cr,z} = 3201 \text{ mm}$ (Απόσταση διαδοκίδων)

11.13.12. Καμπτικός λυγισμός, Δοκός(2) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.3.1)

$N_{c,ed} = 23.84 \text{ kN}, L_{cr,y} = 8.000 \text{ m}, L_{cr,z} = 3.000 \text{ m}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y} = 1.000 \times 8000 = 8000 \text{ mm}, L_{cr,z} = 0.375 \times 8000 = 3000 \text{ mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (8000 / 184.8) \times (1 / 76.06) = 0.569$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3000 / 41.2) \times (1 / 76.06) = 0.958$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \text{ e} = 76.06, \text{ e} = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$$

$$h/b = 450/190 = 2.37 \geq 1.20, t_f = 14.6 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

y-y καμπύλη λυγισμού: a, συντελεστής ατελειών: $\alpha_y = 0.21, \chi_y = 0.901$

(Π.6.2, Π.6.1, Σχ.6.4)

$$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 [1 + 0.21 \times (0.569 - 0.2) + 0.569^2] = 0.701$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [0.701 + \sqrt{(0.701^2 - 0.569^2)}] = 0.901 \leq 1 \quad \chi_y = 0.901$$

z-z καμπύλη λυγισμού: b, συντελεστής ατελειών: $\alpha_z = 0.34, \chi_z = 0.624$

$$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 [1 + 0.34 \times (0.958 - 0.2) + 0.958^2] = 1.088$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.088 + \sqrt{(1.088^2 - 0.958^2)}] = 0.624 \leq 1 \quad \chi_z = 0.624$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}], \chi \leq 1.0, \Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2], \chi = 0.624 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.624 \times [10^{-3}] \times 9882 \times 355 / 1.00 = 2189.06 \text{ kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_{c,ed} = 23.84 \text{ kN} < 2189.06 \text{ kN} = N_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$N_{c,ed} / N_{b,rd} = 23.84 / 2189.06 = 0.011 < 1$$

11.13.13. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός (2) (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

My,ed=67.22 kN, L=8.000m, Lcr,y=8.000m, Lcr,z=3.000m, Lcr,lt=3.000m

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 221: 1.35xGk+1.50Qk+1.05Hk

Ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού (EC3 §6.3.2.2.2, EN1993:2002 ΠαράρτημαC)

Timoshenko, S.P, Gere, J.M, Theory of elastic stability, McGraw-Hill, 1961

$M_{cr} = C1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 GIt / (\pi^2 EI_z) + (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j)^2]} - (C2 \cdot z_g - C3 \cdot z_j) \}$

Μέθοδος υπολογισμού C1, C2, C3 : ECCS 119/Galea SN030a-EN-EU Access Steel 2006

$\mu = M_o/M = qL^2/8M = -21.1/61.1 = -0.34$, $\psi = M_b/M_a = 55.1/-61.1 = -0.90$, $C1 = 2.135$, $C2 = 0.270$

$G = E / (2(1+\nu)) = 210000 / (2(1+0.30)) = 80769 = 8.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

$k \cdot L = 3000\text{mm}$, $z_g = h/2 = 450/2 = 225\text{mm}$, $z_j = 0\text{mm}$

(EN1993:2002 Εξ. C.11)

$k_y = 1.0$, $k_z = 1.0$, $k_w = 1.0$, $C1 = 2.135$, $C2 = 0.270$, $C3 = 0.000$

$M_{cr} = [10^{-6}] 2.135 [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6 / 3000^2]$

$\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (791.01 \times 10^9 / 16.760 \times 10^6) + 3000^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.669 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6) + (0.270 \times 225)^2]^{0.5} - (0.270 \times 225) \} = 1599.0 \text{ kNm}$

$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{[10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1599.0} = 0.615$

(EC3 Εξ. 6.56)

$h/b = 450/190 = 2.37 > 2.00$ καμπύλη λυγισμού: c

συντελεστής ατελειών: $\alpha_{lt} = 0.49$, $\beta = 0.75$, $\chi_{lt} = 0.877$

(Π.6.3, Π.6.5, Σχ.6.4)

$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - \bar{\lambda}_{lt0}) + \beta \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 [1 + 0.49 \times (0.615 - 0.40) + 0.75 \times 0.615^2] = 0.694$

$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [0.694 + \sqrt{(0.694^2 - 0.75 \times 0.615^2)}] = 0.877$

Μειωτικός συντελεστής $\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}]$, $\chi_{lt} \leq 1.0$, $1/\bar{\lambda}_{lt}^2$, $\chi_{lt} = 0.877$ (Εξ.6.57)

$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f$, $\chi_{lt,mod} \leq 1$, $\chi_{lt,mod} \leq 1/\bar{\lambda}_{lt}^2 = 1/0.615^2 = 2.65$

(EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)

$K_c = 0.90$

(EC3 Πιν.6.6)

$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.90) [1 - 2.0 \times (0.615 - 0.8)^2] = 0.953$, $f \leq 1.0$

$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.877 / 0.953 = 0.920$, $\chi_{lt,mod} \leq 1.0$, $\chi_{lt,mod} \leq 2.65$, $\chi_{lt,mod} = 0.920$

$M_{b,rd} = \chi_{lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.920 \times [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 555.87 \text{ kNm}$

(EC3 Εξ.6.55)

$M_{y,ed} = 67.22 \text{ kNm} < 555.87 \text{ kNm} = M_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$M_{y,ed} / M_{b,rd} = 67.22 / 555.87 = 0.121 < 1$

11.13.14. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, Δοκός (2) (ULS)

(EN1993-1-1, §6.3.3)

Ned=23.84 kN, My,ed=67.22 kNm

$N_{ed} / (\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,ed} / (\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1}) \leq 1$

(EC3 Εξ.6.61)

$N_{ed} / (\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,ed} / (\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1}) \leq 1$

(EC3 Εξ.6.62)

$N_{rk} = A \cdot f_y = [10^{-3}] \times 9882 \times 355 = 3508.1 \text{ kN}$

(Πιν.6.7)

$M_{y,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 = 604.2 \text{ kNm}$

$\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.901 \times [10^{-3}] \times 9882 \times 355 / 1.00 = 3160.8 \text{ kN}$

$\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.624 \times [10^{-3}] \times 9882 \times 355 / 1.00 = 2189.1 \text{ kN}$

$\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.920 \times [10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 555.9 \text{ kNm}$

Συντελεστές κύρτισης, Μέθοδος υπολογισμού: Μέθοδος 1 Παράρτημα A

(EC3 ΠαράρτημαA)

$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} (\mu_y / (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) (1 / C_{yy}), \mu_y = (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{ed} / N_{cr,y})$

(EC3 Πιν.A.1)

$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} (\mu_z / (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) (1 / C_{zy}), \mu_z = (1 - N_{ed} / N_{cr,z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{ed} / N_{cr,z})$

$N_{cr,y} = \pi^2 EI_y / l_{cr,y}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 337.40 \times 10^6 / 8000^2 = 10927 \text{ kN}$

$N_{cr,z} = \pi^2 EI_z / l_{cr,z}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 16.760 \times 10^6 / 3000^2 = 3860 \text{ kN}$

$N_{cr,t} = (1 / i_p^2) \times (G \cdot I_t + \pi^2 EI_w / L_{cr,t}^2)$

(EC3 NCCI SN003b-EN-EU)

$N_{cr,t} = [10^{-3}] \times (1 / 189^2) [80769 \times 0.669 \times 10^6 + \pi^2 \times 210000 \times 791.01 \times 10^9 / 3000^2] = 6590 \text{ kN}$

$\mu_y = (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{ed} / N_{cr,y}) = (1 - 23.8 / 10927) / (1 - 0.901 \times 23.8 / 10927) = 1.000$

$\mu_z = (1 - N_{ed} / N_{cr,z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{ed} / N_{cr,z}) = (1 - 23.8 / 3860) / (1 - 0.624 \times 23.8 / 3860) = 0.998$

$\alpha_{lt} = 1 - I_t / I_y > 0 = 1 - 0.669 \times 10^6 / 337.40 \times 10^6 = 0.998$

(EC3 Παράρτημα A.1)

$w_y = W_{pl,y} / W_{el,y} \leq 1.50$, $w_y = 1.702 \times 10^6 / 1.500 \times 10^6 = 1.135 \leq 1.50$

(EC3 Παράρτημα A.1)

$w_z = W_{pl,z} / W_{el,z} \leq 1.50$, $w_z = 0.276 \times 10^6 / 0.176 \times 10^6 = 1.567 > 1.50$, $w_z = 1.50$

$n_{pl} = N_{ed} / (N_{rk} / \gamma_{M1}) = 23.84 / (3508.10 / 1.00) = 0.007$

$\bar{\lambda}_{max} = \max(0.569, 0.958) = 0.960$ (EC3 Παράρτημα A.1)
 $M_{c\phi} = C_1 \cdot [\pi^2 EI_z / (kL)^2] \{ \sqrt{[(kz/kw)^2 (I_w/I_z) + (kL)^2 G I_t / (\pi^2 EI_z)]} \}$, $C_1 = 1.00$
 $M_{c\phi} = [10^{-6}] 1.0 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6 / 3000^2]$
 $\times \{ [(1.0/1.0)^2 \times (791.01 \times 10^9 / 16.760 \times 10^6) + 3000^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.669 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 16.760 \times 10^6)]^{0.5} \} = 954.8 \text{ kNm}$
 $\bar{\lambda}_o = \sqrt{([10^{-6}] \times 1702.0 \times 10^3 \times 355 / 954.8)} = 0.800$
 $\bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.2 \sqrt{C_1 [(1 - N_{ed} / N_{cr, z}) (1 - N_{ed} / N_{cr, t})]^{0.25}}$ (EC3 Παράρτημα A.1)
 $\bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.2 \sqrt{2.135 [(1 - 23.8 / 3860) (1 - 23.8 / 6590)]^{0.25}} = 0.292$
 $e_y = (M_y, ed / N_{ed}) (A / W_{el, y}) = ([10^3] \times 67.22 / 23.84) \times (9882.0 / 1500.0 \times 10^3) = 18.57$

$C_{m_y, o} = 1 + [\pi^2 EI \delta / L^2 M - 1] (N_{ed} / N_{cr, y})$ (EC3 Παράρτημα A, Π.Α.1)
 $= 1 + [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 337.4 \times 10^6 \times 0.6 / (8000)^2 \times 67.9 \times 10^6 - 1] \times (23.84 / 10927.0) = 0.998$
 $\bar{\lambda}_o = 0.800 > \bar{\lambda}_o, \text{lim} = 0.292$
 $C_{m_y} = C_{m_y, o} + (1 - C_{m_y, o}) (\sqrt{e_y \cdot \text{alt}}) / (1 + \sqrt{e_y \cdot \text{alt}}) =$
 $= 0.998 + (1 - 0.998) \times (\sqrt{18.571 \times 0.998}) / (1 + \sqrt{18.571 \times 0.998}) = 1.000$
 $C_{m1t} = C_{m_y} \cdot \text{alt} / \sqrt{[(1 - N_{ed} / N_{cr, z}) (1 - N_{ed} / N_{cr, t})]} >= 1$
 $C_{m1t} = 1.000^2 \times 0.998 / \sqrt{[(1 - 23.8 / 3860.0) (1 - 23.8 / 6590.0)]} = 1.003, C_{m1t} = 1.003$

$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) [(2 - 1.6 C_{m_y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} / w_y - 1.6 C_{m_y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y) n_{pl} - b_{lt}] >= W_{el, y} / W_{pl, y}$ (Παράρτημα A, Π.Α.1)
 $b_{lt} = 0.5 \text{alt} \cdot \bar{\lambda}_o^2 [M_y, ed / (\chi_{lt} \cdot M_{pl, y, rd})] (M_z, ed / M_{pl, z, rd}) =$
 $= 0.5 \times 0.998 \times 0.800^2 [0.0 / (0.920 \times 532.5)] (0.0 / 62.6) = 0.000$
 $C_{yy} = 1 + (1.135 - 1) [(2 - 1.6 \times 1.000^2 \times 0.960 / 1.135 - 1.6 \times 1.000^2 \times 0.960^2 / 1.135) \times 0.007 - 0.000] = 0.999$
 $C_{yy} >= 1500.0 \times 10^3 / 1702.0 \times 10^3 = 0.881, C_{yy} = 0.999$

$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) [(2 - 14.0 C_{m_y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y^5) n_{pl} - d_{lt}] >= 0.6 \sqrt{(w_y / w_z)} (W_{el, y} / W_{pl, y})$ (Παράρτημα A, Π.Α.1)
 $d_{lt} = 2 \text{alt} \cdot [\bar{\lambda}_o / (0.1 + \bar{\lambda}_o^4)] [M_y, ed / (C_{m_y} \cdot \chi_{lt} \cdot M_{pl, y, rd})] [M_z, ed / (C_{m_z} \cdot M_{pl, z, rd})] =$
 $= 20.998 \times [0.800 / (0.1 + 0.958^4)] [0.0 / (1.000 \times 0.920 \times 532.5)] [0.0 / (0.000 \times 62.6)] = 0.000$
 $C_{zy} = 1 + (1.135 - 1) [(2 - 14.0 \times 1.000^2 \times 0.960^2 / 1.135^5) \times 0.007 - 0.000] = 0.995$
 $C_{zy} >= 0.6 \sqrt{(1.135 / 1.500)} (1500.0 \times 10^3 / 1702.0 \times 10^3) = 0.460, C_{zy} = 0.995$

$C_{yy} = 0.999, C_{zy} = 0.995$ (Παράρτημα A, Π.Α.1)
 $k_{yy} = 1.000 \times 1.003 \times 1.000 / (1 - 23.84 / 10927.0) \times (1 / 0.999) = 1.006$
 $k_{zy} = 1.000 \times 1.003 \times 0.998 / (1 - 23.84 / 10927.0) \times (1 / 0.995) \times 0.6 \times \sqrt{(1.135 / 1.500)} = 0.526$

$N_{ed} / (\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) =$ (EC3 Εξ.6.61)
 $23.8 / (0.901 \times 3508.1 / 1.00) + 1.006 \times 67.2 / (0.920 \times 604.2 / 1.00) = 0.008 + 0.122 = 0.129$
 $0.129 < 1.000, \text{ Ελεγχος ικανοποιείται}$

$N_{ed} / (\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) =$ (EC3 Εξ.6.62)
 $23.8 / (0.624 \times 3508.1 / 1.00) + 0.526 \times 67.2 / (0.920 \times 604.2 / 1.00) = 0.011 + 0.064 = 0.074$
 $0.074 < 1.000, \text{ Ελεγχος ικανοποιείται}$

Συνδέσεις

11.14. Κύρια δεδομένα σύνδεσης

(EN1993-1-8)

11.14.1. Δεδομένα κοχλιών σύνδεσης

(EN1993-1-8)

Είδος σύνδεσης	Μετωπική πλάκα σύνδεσης, μη-προεντεταμένοι κοχλίες
Κατηγορία σύνδεσης	Κατηγορία Α: σύνθλιψη (EC3-1-8 §3.4.1) Κατηγορία Δ: μη-προεντεταμένοι (EC3-1-8 §3.4.2)
Μετωπική πλάκα	Πάχος $t_p=20$ mm, S 235
Πλάκα σύνδεσης κόμβου ζυγώματος-υποστυλώματος	190x585x20 mm, S 235 190x585x20 mm, S 235
Κοχλίες	M24, Ποιότητα 10.9
Διάμετρος κοχλιών	$d = 24$ mm
Διάμετρος οπών	$d_o = 26$ mm
Ονομαστικό εμβαδό	$p d^2 / 4 = \pi \times 24^2 / 4 = 452.4$ mm ²
Εφελκυσμένο εμβαδόν	$A_s = 353.0$ mm ²
Κατηγορία αντοχής κοχλιών	10.9, $f_{yb}=900$ N/mm ² , $f_{ub}=1000$ N/mm ² (EC3-1-8 §3.1.1)

11.14.2. Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους

(EN1993-1-8, §3.5, Πιν.3.3)

Ελάχιστη απόσταση από άκρο	$e_1=1.2d_o=1.2 \times 26=32$ mm $e_2=1.2d_o=1.2 \times 26=32$ mm
Μέγιστη απόσταση από άκρο	$e_1=4t+40=4 \times 13.5+40=95$ mm $e_2=4t+40=4 \times 13.5+40=95$ mm
Ελάχιστη απόσταση μεταξύ κοχλιών	$p_1=2.2d_o=2.2 \times 26=58$ mm $p_2=2.4d_o=2.4 \times 26=63$ mm
Μέγιστη απόσταση μεταξύ κοχλιών	$p_1=\min(14t, 200)=\min(14 \times 13.5, 200)=190$ mm $p_2=\min(14t, 200)=\min(14 \times 13.5, 200)=190$ mm
Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών	$e_1=e_2=e_x=45$ mm
Απόσταση άκρου διατομής και σειράς κοχλιών	$e_c=45$ mm
Απόσταση άκρου πέλματος και σειράς κοχλιών	$e_f=45$ mm
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών	$p_1=p_3=p=90$ mm
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	$p_2=g=w=100$ mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα	$a_{t_f} \geq 0.55t_f=0.55 \times 14.6=8$ mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	$a_w \geq 0.55t_w=0.55 \times 9.4=6$ mm

11.14.3. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία

(EC3-1-8 §3.6.1, Πιν.3.4)

Κατηγορία αντοχής κοχλιών	$=10.9$, $f_{ub}=1000$ N/mm ² , $A_s=353.0$ mm ² , $\gamma_{M2}=1.25$
Εφελκυστική αντοχή κοχλιών	$F_{t,rd}=k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$, ($k_2=0.90$) $F_{t,rd}=[10^{-3}] \times 0.90 \times 1000 \times 353.0 / 1.25=254$ kN
Διατμητική αντοχή κοχλιών	$F_{v,rd}=\alpha_n \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$, ($\alpha_n=0.50$) $F_{v,rd}=[10^{-3}] \times 0.50 \times 1000 \times 353.0 / 1.25=141$ kN

11.14.4. Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους

(EN1993-1-8, §3.5, Πιν.3.3)

Ελάχιστη απόσταση από άκρο	$e_1=1.2d_o=1.2 \times 26=32$ mm $e_2=1.2d_o=1.2 \times 26=32$ mm
Μέγιστη απόσταση από άκρο	$e_1=4t+40=4 \times 13.5+40=95$ mm $e_2=4t+40=4 \times 13.5+40=95$ mm
Ελάχιστη απόσταση μεταξύ κοχλιών	$p_1=2.2d_o=2.2 \times 26=58$ mm $p_2=2.4d_o=2.4 \times 26=63$ mm
Μέγιστη απόσταση μεταξύ κοχλιών	$p_1=\min(14t, 200)=\min(14 \times 13.5, 200)=190$ mm $p_2=\min(14t, 200)=\min(14 \times 13.5, 200)=190$ mm
Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών	$e_1=e_2=e_x=45$ mm
Απόσταση άκρου διατομής και σειράς κοχλιών	$e_c=45$ mm
Απόσταση άκρου πέλματος και σειράς κοχλιών	$e_f=45$ mm
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών	$p_1=p_3=p=90$ mm
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	$p_2=g=w=100$ mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα	$a_{t_f} \geq 0.55t_f=0.55 \times 14.6=8$ mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	$a_w \geq 0.55t_w=0.55 \times 9.4=6$ mm

11.14.5. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία

(EC3-1-8 §3.6.1, Πιν.3.4)

Κατηγορία αντοχής κοχλιών=10.9, $f_{ub} = 1000\text{N/mm}^2$, $A_s = 353.0\text{mm}^2$, $\gamma_{M2} = 1.25$

Εφελκυστική αντοχή κοχλιών $F_{t,rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$, ($k_2 = 0.90$)

$$F_{t,rd} = [10^{-3}] \times 0.90 \times 1000 \times 353.0 / 1.25 = 254 \text{ kN}$$

Διατμητική αντοχή κοχλιών $F_{v,rd} = \alpha_n \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$, ($\alpha_n = 0.50$)

$$F_{v,rd} = [10^{-3}] \times 0.50 \times 1000 \times 353.0 / 1.25 = 141 \text{ kN}$$

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους
STEELexpress, www.runet.gr

11.15. Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1)

11.15.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1))

Δυνάμεις σχεδιασμού σύνδεσης (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1))

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού (Σ.Φ. 221: $1.35G_k+1.50Q_k+0.70 \times 1.50H_k = 1.35 \times G_k+1.50Q_k+1.05H_k$)

Ned = -15.6 kN
Ved = 70.3 kN
Med = -78.5 kNm

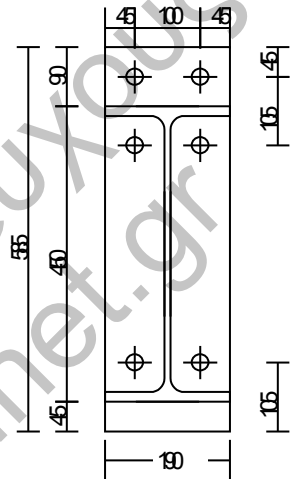
11.15.2. Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1))

Δεδομένα κοχλιών σύνδεσης

Μετωπική πλάκα 190x585x20 mm, S 235
Κοχλίες M24, Κατηγορία αντοχής κοχλιών 10.9
Αριθμός κοχλιών άνω 2x2=4
κάτω 2x1=2
Συνολικός αριθμός κοχλιών =6
Διάμετρος οπών do = 26 mm
Επίπεδο διαίτησης ήλου εντός σπειρώματος κοχλίας

Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους

Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών e1=e2=ex= 45 mm
Απόσταση άκρου διατομής και σειράς κοχλιών ec= 45 mm
Απόσταση άκρου πέλματος και σειράς κοχλιών ef= 45 mm
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών p1=p3=p= 90 mm
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών p2=g =w= 100 mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα atf>= 0.55tf=0.55x14.6= 8 mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα aw>= 0.55tw=0.55x 9.4= 6 mm



Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της ενίσχυσης υποστυλώματος

Νεύρωση ενίσχυσης πάχους ts= 20.0 mm

11.15.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώ (EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

e=ex=45 mm, emin=45 mm
mx,x=(100-9.4-2x0.8x6x√2)/2= 38.5 mm
mx,y=45-0.8x8x√2= 35.9 mm
nx,x= emin <=1.25mx,x = min(45.0,1.25x38.5=48.1)= 45.0 mm
nx,y= emin <=1.25mx,y = min(45.0,1.25x35.9=44.9)= 44.9 mm
min(mx,x, mx,y)=min(38.5,35.9)=35.9mm, max(mx,x, mx,y)=max(38.5,35.9)=38.5mm
min(nx,x, nx,y)=min(45.0,44.9)=44.9mm, max(nx,x, nx,y)=max(45.0,44.9)=45.0mm

11.15.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1) (EC3-1-8 §6.2.6.5 Πιν.6.6)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέλμα

leff=2π·mx =2πx35.9= 225.6 mm
=π·mx+w =πx35.9+100.0= 212.8 mm
=π·mx+2e=πx35.9+2x45.0= 202.8 mm
=4mx+1.25ex = 4x35.9+1.25x45.0=199.9 mm
=e+2mx+0.625ex = 45.0+2x35.9+0.625x45.0=144.9 mm
=0.5bp = 0.5x190= 95.0 mm
=0.5w+2mx+0.625ex=0.5x100.0+2x35.9+0.625x45.0= 149.9 mm
leff,lb=min(225.6, 212.8, 202.8, 199.9, 144.9, 95.0, 149.9)= 95.0 mm
leff,lb= 95.0 mm

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα μεμονωμένη

leff=2π·mx =2πx35.9= 225.6 mm
=α·m =6.28x35.9=225.6 mm (λ1=λ2=m/(m+e)=0.44, α=6.28) (EC3-1-8 Σχ.6.11)
leff,2b=min(225.6, 225.6)= 225.6 mm
leff,2b= = 225.6 mm

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff,2p,mx} &= 2\pi \times 35.9 = 225.6 \text{ mm} \\ &= \alpha \cdot m = 6.28 \times 35.9 = 225.6 \text{ mm} \quad (\lambda_1 = \lambda_2 = m / (m + e) = 0.44, \alpha = 6.28) \\ &= \pi m + p = \pi \times 35.9 + 90.0 = 202.8 \text{ mm} \\ &= 0.5p + \alpha \cdot m - (2m + 0.625e) = 0.5 \times 90.0 + 6.3 \times 35.9 - (2 \times 35.9 + 0.625 \times 45.0) = 170.6 \text{ mm} \\ l_{eff,3b} &= \min(225.6, 225.6, 202.8, 170.6) = 170.6 \text{ mm} \\ l_{eff,3b} &= 170.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff,2p,mx} &= 2\pi \times 38.5 = 241.9 \text{ mm} \\ &= 4m + 1.25e = 4 \times 38.5 + 1.25 \times 45.0 = 210.3 \text{ mm} \\ &= 2p = 2 \times 90.0 = 180.0 \text{ mm} \\ &= p = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff,4b} &= \min(241.9, 210.3, 180.0, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff,4b} &= 90.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

11.15.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλατος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ. (1)) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέλαμα

$$\begin{aligned} M_{pl,1,rd} &= M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 95.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.233 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t,1,rd} &= 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.233 / 35.9 = 249 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t,2,rd} &= (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.233 + 44.9 \times 2 \times 254) / (35.9 + 44.9) = 338 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t,3,rd} &= \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t,rd} &= \min(249, 338, 508) = 249 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα μεμονωμένη

$$\begin{aligned} M_{pl,1,rd} &= M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 225.6 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 5.302 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t,1,rd} &= 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 5.302 / 35.9 = 591 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t,2,rd} &= (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 5.302 + 44.9 \times 2 \times 254) / (35.9 + 44.9) = 414 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t,3,rd} &= \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t,rd} &= \min(591, 414, 508) = 414 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl,1,rd} &= M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 170.6 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 4.009 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t,1,rd} &= 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 4.009 / 35.9 = 447 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t,2,rd} &= (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 4.009 + 44.9 \times 2 \times 254) / (35.9 + 44.9) = 382 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t,3,rd} &= \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t,rd} &= \min(447, 382, 508) = 382 \text{ kN} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl,1,rd} &= M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.115 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t,1,rd} &= 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.115 / 38.5 = 220 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t,2,rd} &= (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.115 + 45.0 \times 2 \times 254) / (38.5 + 45.0) = 324 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t,3,rd} &= \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t,rd} &= \min(220, 324, 508) = 220 \text{ kN} \end{aligned}$$

11.15.6. Πέλαμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (ζύγωμ-υποστύλ. (1)) (EC3-1-8 §6.2.6.7)

$$\begin{aligned} F_c, f_b, r_d &= M_{c,rd} / (h - t_f), \quad M_{c,rd} = W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ W_{el,y} &= (190 \times 14.6 \times 435.4^2 + 9.4 \times 420.8^3 / 6) / 450 = 1428.0 \times 10^3 \text{ mm}^3 \\ M_{c,rd} &= [10^{-6}] \times 1428.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 507 \text{ kNm}, \quad F_c, f_b, r_d = [10^3] \times 507 / 435.4 = 1164 \text{ kN} \\ F_c, f_b, r_d, \max &= b \cdot t \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 190.0 \times 14.6 \times 235 / 1.00 = 652 \text{ kN} \quad (h \leq 600 \text{ mm}) \\ F_c, f_b, r_d &= \min(1164, 652) = 652 \text{ kN} \end{aligned}$$

11.15.7. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ. (1)) (EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$\begin{aligned} F_{t,wb,rd} &= b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ b_{eff,t,wb} &= l_{eff} = \min(l_{eff,3b}, l_{eff,4b}) = \min(170.6, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\ F_{t,wb,rd} &= [10^{-3}] \times 90.0 \times 9.4 \times 355 / 1.00 = 300 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\min F_{t,rd} = \min(249, 414, 382, 220, 300) = 220 \text{ kN}$$

11.15.8. Γεωμετρία σύνδεσης πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ. (1))

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

$e=e_x=40 \text{ mm}$, $e_{\min}=40 \text{ mm}$
 $m_{x,x}=(100-8.6-2 \times 0.8 \times 21)/2=28.9 \text{ mm}$
 $m_{x,y}=45-0.8 \times 8 \times \sqrt{2}=35.9 \text{ mm}$
 $n_{x,x}=e_{\min} \leq 1.25m_{x,x}=\min(40.0, 1.25 \times 28.9)=36.1 \text{ mm}$
 $n_{x,y}=e_{\min} \leq 1.25m_{x,y}=\min(40.0, 1.25 \times 35.9)=44.9 \text{ mm}$
 $\min(m_{x,x}, m_{x,y})=\min(28.9, 35.9)=28.9 \text{ mm}$, $\max(m_{x,x}, m_{x,y})=\max(28.9, 35.9)=35.9 \text{ mm}$
 $\min(n_{x,x}, n_{x,y})=\min(36.1, 44.9)=36.1 \text{ mm}$, $\max(n_{x,x}, n_{x,y})=\max(36.1, 44.9)=44.9 \text{ mm}$

11.15.9. Ενεργά μήκη πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ. (1))

(EC3-1-8 §6.2.6.4 Πιν.6.4)

Εξωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$l_{eff}=2\pi \cdot m=2\pi \times 28.9=181.6 \text{ mm}$
 $=\pi \cdot m+2e_1=\pi \times 28.9+2 \times 45.0=180.8 \text{ mm}$
 $=4m+1.25e=4 \times 28.9+1.25 \times 40.0=165.6 \text{ mm}$
 $=2m+0.63e+e_1=2 \times 28.9+0.63 \times 40.0+45.0=127.8 \text{ mm}$
 $=\pi \cdot m+p=\pi \times 28.9+90.0=180.8 \text{ mm}$
 $=2e_1+p=2 \times 45.0+90.0=180.0 \text{ mm}$
 $=2m+0.63e+0.5p=2 \times 28.9+0.63 \times 40.0+0.5 \times 90.0=127.8 \text{ mm}$
 $=e_1+0.5p=45.0+0.5 \times 90.0=90.0 \text{ mm}$
 $l_{eff,1c}=\min(181.6, 180.8, 165.6, 127.8, 180.8, 180.0, 127.8, 90.0)=90.0 \text{ mm}$
 $l_{eff,1c}=90.0 \text{ mm}$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$l_{eff}=2\pi \cdot m=2\pi \times 28.9=181.6 \text{ mm}$
 $=4m+1.25e=4 \times 28.9+1.25 \times 40.0=165.6 \text{ mm}$
 $=2p=2 \times 90.0=180.0 \text{ mm}$
 $=p=90.0 \text{ mm}$
 $l_{eff,2c}=\min(181.6, 165.6, 180.0, 90.0)=90.0 \text{ mm}$
 $l_{eff,2c}=90.0 \text{ mm}$

11.15.10. Πλευρά υποστυλώματος, Άντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ. (1))

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Εξωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$M_{pl,1,rd}=M_{pl,2,rd}=0.25l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}=[10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 13.5^2 \times 355 / 1.00=1.456 \text{ kNm}$
 Μορφή 1 $F_{t,1,rd}=4M_{pl,1,rd}/m=[10^3] \times 4 \times 1.456 / 28.9=202 \text{ kN}$
 Μορφή 2 $F_{t,2,rd}=(2M_{pl,2,rd}+n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n)=[10^3] \times 2 \times 1.456 + 36.1 \times 2 \times 254 / (28.9+36.1)=327 \text{ kN}$
 Μορφή 3 $F_{t,3,rd}=\Sigma F_{t,rd}=2 \times 254=508 \text{ kN}$
 $F_{t,rd}=\min(202, 327, 508)=202 \text{ kN}$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$M_{pl,1,rd}=M_{pl,2,rd}=0.25l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}=[10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 13.5^2 \times 355 / 1.00=1.456 \text{ kNm}$
 Μορφή 1 $F_{t,1,rd}=4M_{pl,1,rd}/m=[10^3] \times 4 \times 1.456 / 28.9=202 \text{ kN}$
 Μορφή 2 $F_{t,2,rd}=(2M_{pl,2,rd}+n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n)=[10^3] \times 2 \times 1.456 + 36.1 \times 2 \times 254 / (28.9+36.1)=327 \text{ kN}$
 Μορφή 3 $F_{t,3,rd}=\Sigma F_{t,rd}=2 \times 254=508 \text{ kN}$
 $F_{t,rd}=\min(202, 327, 508)=202 \text{ kN}$

11.15.11. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εγκάρσιο εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ. (1))

(EC3-1-8 §6.2.6.3)

$F_{t,wc,rd}=\omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_y / \gamma_{M0}$
 $\beta=1$, $\omega=\omega_1=1 / \sqrt{[1+1.3(b_{eff,c} \cdot t_{wc} / A_{vc})^2]}$, $b_{eff,c}=90.0 \text{ mm}$ (EC3-1-8 §6.2.6.2, Πιν.6.3)
 $\omega=1 / \sqrt{[1+1.3 \times (90.0 \times 8.6 / 4269)^2]}=0.98$
 $F_{t,wc,rd}=[10^{-3}] \times 0.98 \times 90.0 \times 8.6 \times 355 / 1.00=269 \text{ kN}$

11.15.12. Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού νεύρωσης ενίσχυσης (ζύγωμ-υποστύλ. (1))

(EC3-1-5 §9.1)

Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της ενίσχυσης υποστυλώματος $t_s = 20.0$ mm

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, b_s = (190 - 8.6 - 2 \times 21.0) / 2 = 69.7 \text{ mm}, t_s = 20.0 \text{ mm}, t_w = 8.6 \text{ mm}, \varepsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$$

$$A_{eff,s} = 2 \times 69.7 \times 20.0 + (2 \times 15 \times 0.81 \times 8.6 + 20.0) \times 8.6 = 4757 \text{ mm}^2 \quad (\text{EC3-1-5 §9.1(2)})$$

$$l_{eff,s} = \min(69.7, 14 \times 0.81 \times 20.0) = \min(69.7, 226.80) = 69.7 \text{ mm}, \quad (\text{EC3 Πιν.5.2})$$

$$I_{eff,s} = (2 \times 69.7 + 8.6)^3 \times 20.0 / 12 = 5403.0 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$i_{eff,s} = \sqrt{(5403 \times 10^3 / 4757)} = 33.7 \text{ mm}, \lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \varepsilon = 76.06$$

$$L_{cr} = 0.75 \times (400 - 2 \times 13.5) = 279.8 \text{ mm} \quad (\text{EC3-1-5 §9.4(2)})$$

$$\bar{\lambda} = L_{cr} / (i_{eff,s} \cdot \lambda_1) = 279.8 / (33.7 \times 76.06) = 0.11 \quad (\text{EC3 §6.3.1.3(1)})$$

$$\bar{\lambda} < 0.20, \chi = 1.00 \quad (\text{EC3 §6.3.1.2.4})$$

$$F_c, w_c, r_d = \chi \cdot A_{eff,s} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1.000 \times 4757 \times 235 / 1.00 = 1118 \text{ kN} > F_c, f_b, r_d = 652 \text{ kN}$$

Νεύρωση ενίσχυσης, Έλεγχος ικανοποιείται

11.15.13. Ροπή αντοχής σύνδεσης (ζύγωμ-υποστύλ. (1))

(EN1993-1-8, §6.2.7.2)

$$M_{j,rd} = \Sigma h_r \cdot F_{tr,rd} \quad (\text{EN1993-1-8, §6.2.7.2 Εξ.6.25})$$

h_r : αρίθμηση σειράς από πάνω, αποστάσεις από μέσο κάτω (θλιβόμενου) πέλματος

Κάμψη μετωπικής πλάκας (EC3-1-8 §6.2.4.5)

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 487.7 \text{ mm, } F_{t,rd} = 249 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 383.1 \text{ mm, } F_{t,rd} = 414 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} = 249 + 414 = 663 \text{ kN}$$

Κάμψη μετωπικής πλάκας (EC3-1-8 §6.2.4.4)

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 487.7 \text{ mm, } F_{t,rd} = 202 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 383.1 \text{ mm, } F_{t,rd} = 202 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} = 202 + 202 = 404 \text{ kN}$$

Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$F_{t,wb,rd} = 300 \text{ kN}$$

Πέλμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (EC3-1-8 §6.2.4.7)

$$F_{c,fb,rd} = 652 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} \leq F_{t,wb,rd} = 300 \text{ kN, } F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} \leq F_{c,fb,rd} = 652 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} \leq F_{c,wc,rd} = 1118 \text{ kN}$$

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών (EC3-1-8 §6.2.7.2.(7))

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 487.7 \text{ mm, } F_{t,rd} = 202 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 383.1 \text{ mm, } F_{t,rd} = 202 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} = 202 + 202 = 404 \text{ kN}$$

Ροπή αντοχής σύνδεσης (EN1993-1-8, §6.2.7.2(10))

$$M_{j,rd} = [10^{-3}] \times [202 \times 487.7 + 202 \times 383.1]$$

$$M_{j,rd} = 176 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = 78.5 \text{ kNm} < 175.9 \text{ kNm} = M_{j,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

11.15.14. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος (1))

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Διατμητική αντοχή κοχλιών

$$F_{v,rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.50 \times 1000 \times 353.0 / 1.25 = 141 \text{ kN}$$

Επίπεδο διάτμησης ήλου: εντός σπειρώματος κοχλίας

Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$$

Μετωπική-πλάκα

$$t=20.0\text{mm}, d=24\text{mm}, d_o=26\text{mm}, e_1=45\text{mm}, e_2=45\text{mm}, p_1=90\text{mm}, f_{ub}=1000\text{kN/mm}^2, f_u=360\text{kN/mm}^2,$$

$$\alpha_b = \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] =$$

$$= \min[1000/360, 1.0, 45/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.58$$

$$k_1 = \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 45/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50$$

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.58 \times 360 \times 24 \times 20.0 / 1.25 = 199 \text{ kN}$$

Πλευρά υποστυλώματος

$$t=13.5\text{mm}, d=24\text{mm}, d_o=26\text{mm}, e_1=45\text{mm}, e_2=45\text{mm}, p_1=90\text{mm}, f_{ub}=1000\text{kN/mm}^2, f_u=510\text{kN/mm}^2,$$

$$\alpha_b = \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] =$$

$$= \min[1000/510, 1.0, 45/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.58$$

$$k_1 = \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 45/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50$$

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.58 \times 510 \times 24 \times 13.5 / 1.25 = 191 \text{ kN}$$

Διατμητική αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίου = $\min(141, 199, 191) = 141 \text{ kN}$

Καμπτική ροπή και διάτμηση

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Μεγίστη εφελκυστική δύναμη σε κοχλίες

$$F_{t,ed} = 202/2 = 101 \text{ kN}$$

Μείωση διατμητικής αντοχής λόγω κάμψης

$$\rho = 1 - F_{t,ed} / 1.40 F_{t,rd} = 1 - 101 / (1.40 \times 254) = 0.72$$

Διατμητική αντοχή με καμπτική ροπή για όλους τους κοχλίες

$$V_{rd} = 6 \times 0.72 \times 141 = 609 \text{ kN}$$

$V_{ed} = 70 \text{ kN} < 609 \text{ kN} = V_{rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

11.16. Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2)

11.16.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2))

Δυνάμεις σχεδιασμού σύνδεσης (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2))

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού (Σ.Φ. 221: $1.35G_k+1.50Q_k+0.70 \times 1.50H_k = 1.35 \times G_k+1.50Q_k+1.05H_k$)

Ned = -23.8 kN
Ved = 66.7 kN
Med = -54.5 kNm

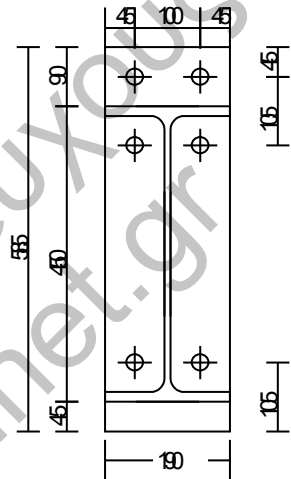
11.16.2. Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2))

Δεδομένα κοχλιών σύνδεσης

Μετωπική πλάκα 190x585x20 mm, S 235
Κοχλίες M24, Κατηγορία αντοχής κοχλιών 10.9
Αριθμός κοχλιών άνω 2x2=4
κάτω 2x1=2
Συνολικός αριθμός κοχλιών =6
Διάμετρος οπών do = 26 mm
Επίπεδο διάτμησης ήλου εντός σπειρώματος κοχλίας

Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους

Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών e1=e2=ex= 45 mm
Απόσταση άκρου διατομής και σειράς κοχλιών ec= 45 mm
Απόσταση άκρου πέλματος και σειράς κοχλιών ef= 45 mm
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών p1=p3=p= 90 mm
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών p2=g =w= 100 mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα atf>= 0.55tf=0.55x14.6= 8 mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα aw>= 0.55tw=0.55x 9.4= 6 mm



Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της ενίσχυσης υποστυλώματος

Νεύρωση ενίσχυσης πάχους ts= 20.0 mm

11.16.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώ (EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

e=ex=45 mm, emin=45 mm
mx,x=(100-9.4-2x0.8x6x√2)/2= 38.5 mm
mx,y=45-0.8x8x√2= 35.9 mm
nx,x= emin <=1.25mx,x = min(45.0,1.25x38.5=48.1)= 45.0 mm
nx,y= emin <=1.25mx,y = min(45.0,1.25x35.9=44.9)= 44.9 mm
min(mx,x, mx,y)=min(38.5,35.9)=35.9mm, max(mx,x, mx,y)=max(38.5,35.9)=38.5mm
min(nx,x, nx,y)=min(45.0,44.9)=44.9mm, max(nx,x, nx,y)=max(45.0,44.9)=45.0mm

11.16.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2) (EC3-1-8 §6.2.6.5 Πιν.6.6)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέλμα

leff=2π·mx =2πx35.9= 225.6 mm
=π·mx+w =πx35.9+100.0= 212.8 mm
=π·mx+2e=πx35.9+2x45.0= 202.8 mm
=4mx+1.25ex = 4x35.9+1.25x45.0=199.9 mm
=e+2mx+0.625ex = 45.0+2x35.9+0.625x45.0=144.9 mm
=0.5bp = 0.5x190= 95.0 mm
=0.5w+2mx+0.625ex=0.5x100.0+2x35.9+0.625x45.0= 149.9 mm
leff,lb=min(225.6, 212.8, 202.8, 199.9, 144.9, 95.0, 149.9)= 95.0 mm
leff,lb= 95.0 mm

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα μεμονωμένη

leff=2π·mx =2πx35.9= 225.6 mm
=α·m =6.28x35.9=225.6 mm (λ1=λ2=m/(m+e)=0.44, α=6.28) (EC3-1-8 Σχ.6.11)
leff,2b=min(225.6, 225.6)= 225.6 mm
leff,2b= = 225.6 mm

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff,2p,mx} &= 2\pi \times 35.9 = 225.6 \text{ mm} \\ &= \alpha \cdot m = 6.28 \times 35.9 = 225.6 \text{ mm} \quad (\lambda_1 = \lambda_2 = m / (m + e) = 0.44, \alpha = 6.28) \\ &= \pi m + p = \pi \times 35.9 + 90.0 = 202.8 \text{ mm} \\ &= 0.5p + \alpha \cdot m - (2m + 0.625e) = 0.5 \times 90.0 + 6.3 \times 35.9 - (2 \times 35.9 + 0.625 \times 45.0) = 170.6 \text{ mm} \\ l_{eff,3b} &= \min(225.6, 225.6, 202.8, 170.6) = 170.6 \text{ mm} \\ l_{eff,3b} &= 170.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff,2p,mx} &= 2\pi \times 38.5 = 241.9 \text{ mm} \\ &= 4m + 1.25e = 4 \times 38.5 + 1.25 \times 45.0 = 210.3 \text{ mm} \\ &= 2p = 2 \times 90.0 = 180.0 \text{ mm} \\ &= p = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff,4b} &= \min(241.9, 210.3, 180.0, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff,4b} &= 90.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

11.16.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλατος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ. (2)) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέλαμα

$$\begin{aligned} M_{pl,1,rd} &= M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 95.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.233 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t,1,rd} &= 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.233 / 35.9 = 249 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t,2,rd} &= (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.233 + 44.9 \times 2 \times 254) / (35.9 + 44.9) = 338 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t,3,rd} &= \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t,rd} &= \min(249, 338, 508) = 249 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα μεμονωμένη

$$\begin{aligned} M_{pl,1,rd} &= M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 225.6 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 5.302 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t,1,rd} &= 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 5.302 / 35.9 = 591 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t,2,rd} &= (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 5.302 + 44.9 \times 2 \times 254) / (35.9 + 44.9) = 414 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t,3,rd} &= \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t,rd} &= \min(591, 414, 508) = 414 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλαμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl,1,rd} &= M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 170.6 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 4.009 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t,1,rd} &= 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 4.009 / 35.9 = 447 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t,2,rd} &= (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 4.009 + 44.9 \times 2 \times 254) / (35.9 + 44.9) = 382 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t,3,rd} &= \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t,rd} &= \min(447, 382, 508) = 382 \text{ kN} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl,1,rd} &= M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.115 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t,1,rd} &= 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.115 / 38.5 = 220 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t,2,rd} &= (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.115 + 45.0 \times 2 \times 254) / (38.5 + 45.0) = 324 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t,3,rd} &= \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t,rd} &= \min(220, 324, 508) = 220 \text{ kN} \end{aligned}$$

11.16.6. Πέλαμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (ζύγωμ-υποστύλ. (2)) (EC3-1-8 §6.2.6.7)

$$\begin{aligned} F_{c,fb,rd} &= M_{c,rd} / (h - t_f), \quad M_{c,rd} = W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ W_{el,y} &= (190 \times 14.6 \times 435.4^2 + 9.4 \times 420.8^3 / 6) / 450 = 1428.0 \times 10^3 \text{ mm}^3 \\ M_{c,rd} &= [10^{-6}] \times 1428.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 507 \text{ kNm}, \quad F_{c,fb,rd} = [10^3] \times 507 / 435.4 = 1164 \text{ kN} \\ F_{c,fb,rd,max} &= b \cdot t \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 190.0 \times 14.6 \times 235 / 1.00 = 652 \text{ kN} \quad (h \leq 600 \text{ mm}) \\ F_{c,fb,rd} &= \min(1164, 652) = 652 \text{ kN} \end{aligned}$$

11.16.7. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ. (2)) (EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$\begin{aligned} F_{t,wb,rd} &= b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ b_{eff,t,wb} &= l_{eff} = \min(l_{eff,3b}, l_{eff,4b}) = \min(170.6, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\ F_{t,wb,rd} &= [10^{-3}] \times 90.0 \times 9.4 \times 355 / 1.00 = 300 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\min F_{t,rd} = \min(249, 414, 382, 220, 300) = 220 \text{ kN}$$

11.16.8. Γεωμετρία σύνδεσης πέλα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ. (2))

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

$e=e_x=40 \text{ mm}$, $e_{\min}=40 \text{ mm}$
 $m_{x,x}=(100-8.6-2 \times 0.8 \times 21)/2=28.9 \text{ mm}$
 $m_{x,y}=45-0.8 \times 8 \times \sqrt{2}=35.9 \text{ mm}$
 $n_{x,x}=e_{\min} \leq 1.25 m_{x,x} = \min(40.0, 1.25 \times 28.9)=36.1 \text{ mm}$
 $n_{x,y}=e_{\min} \leq 1.25 m_{x,y} = \min(40.0, 1.25 \times 35.9)=44.9 \text{ mm}$
 $\min(m_{x,x}, m_{x,y})=\min(28.9, 35.9)=28.9 \text{ mm}$, $\max(m_{x,x}, m_{x,y})=\max(28.9, 35.9)=35.9 \text{ mm}$
 $\min(n_{x,x}, n_{x,y})=\min(36.1, 44.9)=36.1 \text{ mm}$, $\max(n_{x,x}, n_{x,y})=\max(36.1, 44.9)=44.9 \text{ mm}$

11.16.9. Ενεργά μήκη πέλα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ. (2))

(EC3-1-8 §6.2.6.4 Πιν.6.4)

Εξωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$l_{eff}=2\pi \cdot m = 2\pi \times 28.9=181.6 \text{ mm}$
 $=\pi \cdot m+2e_1 = \pi \times 28.9+2 \times 45.0=180.8 \text{ mm}$
 $=4m+1.25e = 4 \times 28.9+1.25 \times 40.0=165.6 \text{ mm}$
 $=2m+0.63e+e_1 = 2 \times 28.9+0.63 \times 40.0+45.0=127.8 \text{ mm}$
 $=\pi \cdot m+p = \pi \times 28.9+90.0=180.8 \text{ mm}$
 $=2e_1+p = 2 \times 45.0+90.0=180.0 \text{ mm}$
 $=2m+0.63e+0.5p = 2 \times 28.9+0.63 \times 40.0+0.5 \times 90.0=127.8 \text{ mm}$
 $=e_1+0.5p = 45.0+0.5 \times 90.0=90.0 \text{ mm}$
 $l_{eff,1c}=\min(181.6, 180.8, 165.6, 127.8, 180.8, 180.0, 127.8, 90.0)=90.0 \text{ mm}$
 $l_{eff,1c}=90.0 \text{ mm}$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$l_{eff}=2\pi \cdot m = 2\pi \times 28.9=181.6 \text{ mm}$
 $=4m+1.25e = 4 \times 28.9+1.25 \times 40.0=165.6 \text{ mm}$
 $=2p = 2 \times 90.0=180.0 \text{ mm}$
 $=p = 90.0 \text{ mm}$
 $l_{eff,2c}=\min(181.6, 165.6, 180.0, 90.0)=90.0 \text{ mm}$
 $l_{eff,2c}=90.0 \text{ mm}$

11.16.10. Πλευρά υποστυλώματος, Άντοχή πέλατος T-διατομής (ζύγωμ-υποστυλ. (2))

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Εξωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$M_{pl,1,rd}=M_{pl,2,rd}=0.25 l_{eff} \cdot t f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 13.5^2 \times 355 / 1.00 = 1.456 \text{ kNm}$
 Μορφή 1 $F_{t,1,rd} = 4 M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 1.456 / 28.9 = 202 \text{ kN}$
 Μορφή 2 $F_{t,2,rd} = (2 M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 1.456 + 36.1 \times 2 \times 254) / (28.9+36.1) = 327 \text{ kN}$
 Μορφή 3 $F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN}$
 $F_{t,rd} = \min(202, 327, 508) = 202 \text{ kN}$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$M_{pl,1,rd}=M_{pl,2,rd}=0.25 l_{eff} \cdot t f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 13.5^2 \times 355 / 1.00 = 1.456 \text{ kNm}$
 Μορφή 1 $F_{t,1,rd} = 4 M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 1.456 / 28.9 = 202 \text{ kN}$
 Μορφή 2 $F_{t,2,rd} = (2 M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 1.456 + 36.1 \times 2 \times 254) / (28.9+36.1) = 327 \text{ kN}$
 Μορφή 3 $F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN}$
 $F_{t,rd} = \min(202, 327, 508) = 202 \text{ kN}$

11.16.11. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εγκάρσιο εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ. (2))

(EC3-1-8 §6.2.6.3)

$F_{t,wc,rd} = \omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_y \cdot c / \gamma_{M0}$
 $\beta=1$, $\omega=\omega_1=1 / \sqrt{[1+1.3(b_{eff,c} \cdot t_{wc} / A_{vc})^2]}$, $b_{eff,c}=90.0 \text{ mm}$ (EC3-1-8 §6.2.6.2, Πιν.6.3)
 $\omega=1 / \sqrt{[1+1.3 \times (90.0 \times 8.6 / 4269)^2]} = 0.98$
 $F_{t,wc,rd} = [10^{-3}] \times 0.98 \times 90.0 \times 8.6 \times 355 / 1.00 = 269 \text{ kN}$

11.16.12. Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού νεύρωσης ενίσχυσης (ζύγωμ-υποστύλ. (2))

(EC3-1-5 §9.1)

Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της ενίσχυσης υποστυλώματος $t_s = 20.0$ mm

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, b_s = (190 - 8.6 - 2 \times 21.0) / 2 = 69.7 \text{ mm}, t_s = 20.0 \text{ mm}, t_w = 8.6 \text{ mm}, \varepsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$$

$$A_{eff,s} = 2 \times 69.7 \times 20.0 + (2 \times 15 \times 0.81 \times 8.6 + 20.0) \times 8.6 = 4757 \text{ mm}^2 \quad (\text{EC3-1-5 §9.1 (2)})$$

$$l_{eff,s} = \min(69.7, 14 \times 0.81 \times 20.0) = \min(69.7, 226.80) = 69.7 \text{ mm}, \quad (\text{EC3 Πιν.5.2})$$

$$I_{eff,s} = (2 \times 69.7 + 8.6)^3 \times 20.0 / 12 = 5403.0 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$i_{eff,s} = \sqrt{(5403 \times 10^3 / 4757)} = 33.7 \text{ mm}, \lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \varepsilon = 76.06$$

$$L_{cr} = 0.75 \times (400 - 2 \times 13.5) = 279.8 \text{ mm} \quad (\text{EC3-1-5 §9.4 (2)})$$

$$\bar{\lambda} = L_{cr} / (i_{eff,s} \cdot \lambda_1) = 279.8 / (33.7 \times 76.06) = 0.11 \quad (\text{EC3 §6.3.1.3 (1)})$$

$$\bar{\lambda} < 0.20, \chi = 1.00 \quad (\text{EC3 §6.3.1.2.4})$$

$$F_c, w_c, r_d = \chi \cdot A_{eff,s} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1.000 \times 4757 \times 235 / 1.00 = 1118 \text{ kN} > F_c, f_b, r_d = 652 \text{ kN}$$

Νεύρωση ενίσχυσης, Έλεγχος ικανοποιείται

11.16.13. Ροπή αντοχής σύνδεσης (ζύγωμ-υποστύλ. (2))

(EN1993-1-8, §6.2.7.2)

$$M_{j,rd} = \sum h_r \cdot F_{t,rd} \quad (\text{EN1993-1-8, §6.2.7.2 Εξ.6.25})$$

h_r : αρίθμηση σειράς από πάνω, αποστάσεις από μέσο κάτω (θλιβόμενου) πέλματος

Κάμψη μετωπικής πλάκας (EC3-1-8 §6.2.4.5)

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 487.7 \text{ mm, } F_{t,rd} = 249 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 383.1 \text{ mm, } F_{t,rd} = 414 \text{ kN}$$

$$F_c, ed = \sum F_{t,rd} = 249 + 414 = 663 \text{ kN}$$

Κάμψη μετωπικής πλάκας (EC3-1-8 §6.2.4.4)

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 487.7 \text{ mm, } F_{t,rd} = 202 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 383.1 \text{ mm, } F_{t,rd} = 202 \text{ kN}$$

$$F_c, ed = \sum F_{t,rd} = 202 + 202 = 404 \text{ kN}$$

Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$F_{t,wb,rd} = 300 \text{ kN}$$

Πέλμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (EC3-1-8 §6.2.4.7)

$$F_c, f_b, r_d = 652 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} \leq F_{t,wb,rd} = 300 \text{ kN, } F_c, ed = \sum F_{t,rd} \leq F_c, f_b, r_d = 652 \text{ kN}$$

$$F_c, ed = \sum F_{t,rd} \leq F_c, w_c, r_d = 1118 \text{ kN}$$

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών (EC3-1-8 §6.2.7.2. (7))

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 487.7 \text{ mm, } F_{t,rd} = 202 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 383.1 \text{ mm, } F_{t,rd} = 202 \text{ kN}$$

$$F_c, ed = \sum F_{t,rd} = 202 + 202 = 404 \text{ kN}$$

Ροπή αντοχής σύνδεσης (EN1993-1-8, §6.2.7.2 (10))

$$M_{j,rd} = [10^{-3}] \times [202 \times 487.7 + 202 \times 383.1]$$

$$M_{j,rd} = 176 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = 54.5 \text{ kNm} < 175.9 \text{ kNm} = M_{j,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

11.16.14. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος (2))

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Διατμητική αντοχή κοχλιών

$$F_{v,rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.50 \times 1000 \times 353.0 / 1.25 = 141 \text{ kN}$$

Επίπεδο διάτμησης ήλου: εντός σπειρώματος κοχλίας

Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη

$$F_{b,rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$$

Μετωπική-πλάκα

$$\begin{aligned} t &= 20.0 \text{ mm}, d = 24 \text{ mm}, d_o = 26 \text{ mm}, e_1 = 45 \text{ mm}, e_2 = 45 \text{ mm}, p_1 = 90 \text{ mm}, f_{ub} = 1000 \text{ kN/mm}^2, f_u = 360 \text{ kN/mm}^2, \\ \alpha_b &= \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] = \\ &= \min[1000/360, 1.0, 45/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.58 \\ k_1 &= \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 45/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50 \\ F_{b,rd} &= k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.58 \times 360 \times 24 \times 20.0 / 1.25 = 199 \text{ kN} \end{aligned}$$

Πλευρά υποστυλώματος

$$\begin{aligned} t &= 13.5 \text{ mm}, d = 24 \text{ mm}, d_o = 26 \text{ mm}, e_1 = 45 \text{ mm}, e_2 = 45 \text{ mm}, p_1 = 90 \text{ mm}, f_{ub} = 1000 \text{ kN/mm}^2, f_u = 510 \text{ kN/mm}^2, \\ \alpha_b &= \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] = \\ &= \min[1000/510, 1.0, 45/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.58 \\ k_1 &= \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 45/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50 \\ F_{b,rd} &= k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.58 \times 510 \times 24 \times 13.5 / 1.25 = 191 \text{ kN} \end{aligned}$$

Διατμητική αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίου = $\min(141, 199, 191) = 141 \text{ kN}$

Καμπτική ροπή και διάτμηση

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Μεγίστη εφελκυστική δύναμη σε κοχλίες

$$F_{t,ed} = 202/2 = 101 \text{ kN}$$

Μείωση διατμητικής αντοχής λόγω κάμψης

$$\rho = 1 - F_{t,ed} / 1.40 F_{t,rd} = 1 - 101 / (1.40 \times 254) = 0.72$$

Διατμητική αντοχή με καμπτική ροπή για όλους τους κοχλίες

$$V_{rd} = 6 \times 0.72 \times 141 = 609 \text{ kN}$$

$V_{ed} = 67 \text{ kN} < 609 \text{ kN} = V_{rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

11.17. Σύνδεση στη βάση του υποστυλώματος

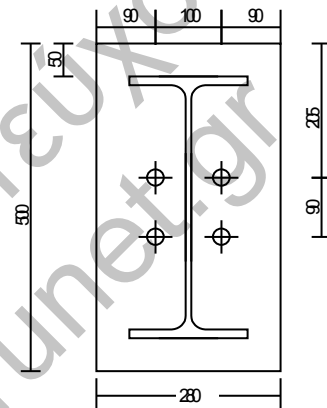
11.17.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

Δυνάμεις σχεδιασμού σύνδεσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

Αξονική δύναμη (θλίψη)	Ned=-146 kN, Σ.Φ. 221: 1.35Gk+1.50Qk+0.70x1.50Hk= 1.35xGk+1.50Qk+1.
Αξονική δύναμη (εφελκυσμός)	Ned= 0 kN,
Διατμητική δύναμη υποστυλώματος	Ved= 9 kN, Σ.Φ. 222: 1.35Gk+1.50Hk+0.70x1.50Qk= 1.35xGk+1.50Hk+1.
Ροπή	Med= 0 kNm,

Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

Κατηγορία χάλυβα πλάκας έδρασης	500x280x30 mm, S 235
Αγκύρια	M24, Κατηγορία 5.6
Επίπεδο διάτμησης ήλου	εντός σπειρώματος κοχλίας μέσον 2x2=4
Συνολικός αριθμός κοχλιών	=4
Διάμετρος οπών	do = 26 mm
Διατομή υποστυλωμάτων	IPE 400, S 355
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	100 mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα	8 mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	6 mm



Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους

Απόσταση άκρου πλάκας και σειράς κοχλιών	e1=e2=ex= 90 mm
Απόσταση άκρου διατομής και σειράς κοχλιών	ec= 46 mm
Απόσταση άκρου πέλματος και σειράς κοχλιών	ef= 45 mm
Απόσταση μεταξύ σειρών κοχλιών	p1=p3=p= 90 mm
Απόσταση μεταξύ κέντρων κοχλιών	p2=g =w= 100 mm
Συγκόλληση πέλματος με μετωπική πλάκα	atf>= 0.55tf=0.55x13.5= 8 mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	aw>= 0.55tw=0.55x 8.6= 6 mm

Σκυρόδεμα πεδίου

Σκυρόδεμα-Χάλυβας	C25/30-B500C	(EC2 §3.1, §3.2)
Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γm	γc=1.50, γs=1.15	(EC2 §2.4.2.4)
Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού	fcd=acc·fck/γc=0.85x25/1.50=14.17 N/mm ²	(EC2 §3.1.6)
Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού	fctd=act·fctk05/γc=0.85x2/1.50=1.02 N/mm ²	
Φέρουσα αντοχή	fjd=β·√Ac1/Aco·fcd=(2/3)x1.5x14.17=14.17N/mm ²	(EC2 §6.7)

11.17.2. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίας (έδραση υποστυλώματος) (EC3-1-8 §3.6.1, Πιν.3.4)

Κατηγορία αντοχής κοχλιών=5.6,	fub =500N/mm ² , As=353.0mm ² , γM2=1.25
Εφελκυστική αντοχή κοχλιών	Ft,rd=k2·fub·As/γM2, (k2=0.90) Ft,rd=[10 ⁻³]x0.90x500x353.0/1.25=127 kN
Διατμητική αντοχή κοχλιών	Fv,rd=αν·fub·As/γM2, (αν=0.60) Fv,rd=[10 ⁻³]x0.60x500x353.0/1.25=85 kN

11.17.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

e=ex=90 mm, emin=90 mm
mx,x=(100-8.6-2x0.8x6x√2)/2= 38.9 mm
mx,y= 38.9 mm
nx,x= emin <=1.25mx,x = min(90.0,1.25x38.9=48.6)= 48.6 mm
nx,y= emin <=1.25mx,y = min(90.0,1.25x38.9=48.6)= 48.6 mm
min(mx,x, mx,y)=min(38.9,38.9)=38.9mm, max(mx,x, mx,y)=max(38.9,38.9)=38.9mm
min(nx,x, nx,y)=min(48.6,48.6)=48.6mm, max(nx,x, nx,y)=max(48.6,48.6)=48.6mm

11.17.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.6.5 Πιν.6.6)

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2p \cdot m_x = 2 \times 38.9 = 244.4 \text{ mm} \\ &= 4m + 1.25e = 4 \times 38.9 + 1.25 \times 90.0 = 268.1 \text{ mm} \\ &= 2p = 2 \times 90.0 = 180.0 \text{ mm} \\ &= p = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff,4b} &= \min(244.4, 268.1, 180.0, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff,4b} &= 90.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

11.17.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (έδραση υποστυλώματ

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl,1,rd} &= M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 30.0^2 \times 235 / 1.00 = 4.759 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t,1,rd} &= 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 4.759 / 38.9 = 489 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t,2,rd} &= (2M_{pl,1,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 4.759 + 48.6 \times 2 \times 127) / (38.9 + 48.6) = 250 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t,3,rd} &= \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 127 = 254 \text{ kN} \\ F_{t,rd} &= \min(489, 250, 254) = 250 \text{ kN} \end{aligned}$$

11.17.6. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εφελκυσμό (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$\begin{aligned} F_{t,wb,rd} &= b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} \\ b_{eff,t,wb} &= l_{eff} = l_{eff,4b} = 90.0 \text{ mm} \\ F_{t,wb,rd} &= [10^{-3}] \times 90.0 \times 8.6 \times 355 / 1.00 = 275 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\min F_{t,rd} = \min(250, 275) = 250 \text{ kN}$$

11.17.7. Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης

(EN1993-1-8, §6.2.4)

$$\begin{aligned} \text{Δύναμη σύνδεσης προς τα πάνω} \quad F_{t,ed} &= 0 \text{ kN} \\ \text{Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης} \quad F_{t,rd} &= 2 \times 250 = 500 \text{ kN} \\ N_{ed} &= 0 \text{ kN} < 500 \text{ kN} = N_{rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται} \end{aligned}$$

11.17.8. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Διατμητική αντοχή κοχλιών

$$\begin{aligned} F_{v,rd} &= a_n \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.60 \times 500 \times 353.0 / 1.25 = 85 \text{ kN} \\ \text{Επίπεδο διάτμησης ήλου: εντός σπειρώματος κοχλίας} \end{aligned}$$

Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη

$$\begin{aligned} F_{b,rd} &= k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} \\ t &= 30.0 \text{ mm}, d = 24 \text{ mm}, d_o = 26 \text{ mm}, e_1 = 90 \text{ mm}, e_2 = 90 \text{ mm}, p_1 = 90 \text{ mm}, f_{ub} = 500 \text{ kN/mm}^2, f_u = 360 \text{ kN/mm}^2, \\ a_b &= \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] \\ &= \min[500/360, 1.0, 90/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.90 \\ k_1 &= \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 90/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50 \\ F_{b,rd} &= k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.90 \times 360 \times 24 \times 30.0 / 1.25 = 469 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Διατμητική αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίας} = \min(85, 469) = 85 \text{ kN}$$

Εφελκυσμός και διάτμηση

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

$$\begin{aligned} \text{Μεγίστη εφελκυστική δύναμη σε κοχλίες} \\ F_{t,ed} &= 250 / 2 = 125 \text{ kN} \\ \text{Μείωση διατμητικής αντοχής λόγω εφελκυσμού} \\ \rho &= 1 - F_{t,ed} / 1.40 F_{t,rd} = 1 - 125 / (1.40 \times 127) = 0.30 \\ \text{Διατμητική αντοχή με εφελκυσμό για όλους τους κοχλίες} \\ V_{rd} &= 4 \times 0.30 \times 85 = 102 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{ed} = 9 \text{ kN} < 102 \text{ kN} = V_{rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

11.17.9. Αντοχή σύνδεσης σε σύνθλιψη (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §6.2.5)

Θλιπτική αντοχή πέλματος T-διατομής $F_{c,rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff}$ (§6.2.5(3) Εξ.6.4), §6.2.5(7)
 $f_{jd} = \beta \cdot \sqrt{A_{c1}/A_{c0}} \cdot f_{cd} = (2/3) \cdot \sqrt{(2.25)} \cdot 14.17 = 14.17 \text{ N/mm}^2$ (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.7, Εξ.6.63)
 $h = 400.0 \text{ mm}$, $b = 180.0 \text{ mm}$, $t_f = 13.5 \text{ mm}$, $t_w = 8.6 \text{ mm}$, $t_p = 30.0 \text{ mm}$
 $c = t_p \cdot (f_y / (3f_{jd} \cdot \gamma_{M0}))^{0.5} = 30 \cdot (235.00 / (3 \cdot 14.17 \cdot 1.00))^{0.5} = 70.5$, < 50.0 , $c = 50.0 \text{ mm}$ (Εξ.6.5)
 $2c + b_f = 2 \cdot 50.0 + 180 = 280.0 \text{ mm} \leq b_p = 280 \text{ mm}$, $l_{eff} = 280.0 \text{ mm}$
 $A_{c0, f} = l_{eff} \cdot (2c + t_f) = 280.0 \cdot (2 \cdot 50.0 + 13.5) = 31780 \text{ mm}^2$ (EC3-1-8, Σχ.6.4)
 $A_{c0, w} = (h - 2t_f - 2c) \cdot (t_w + 2c) = (400.0 - 2 \cdot 13.5 - 2 \cdot 50.0) \cdot (8.6 + 2 \cdot 50.0) = 29648 \text{ mm}^2$
 $N_{j,rd} = [10^{-3}] \cdot 14.2 \cdot (2 \cdot 31780 + 29648) = [10^{-3}] \cdot 14.2 \cdot 93208 = 1324 \text{ kN}$
 $N_{j,ed} = 146 \text{ kN} < 1324 \text{ kN} = N_{j,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

Καμπτική αντοχή πλάκας έδρασης

(EN1993-1-8, §6.2.6.10)

$M_{p,rd} = W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] (280 \cdot 30.0^2 / 6) \cdot 235 / 1.0 = 10 \text{ kNm}$ (§6.2.5)
 $M_{p,ed} = b_p \cdot q_{ed} \cdot c^2 / 2 = [10^{-6}] [280 \cdot 145740 / (2 \cdot 31780 + 29648.0)] \cdot 50.0^2 / 2 = 1 \text{ kNm}$
 $M_{p,ed} = 1.0 \text{ kNm} < 10.0 \text{ kNm} = M_{p,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

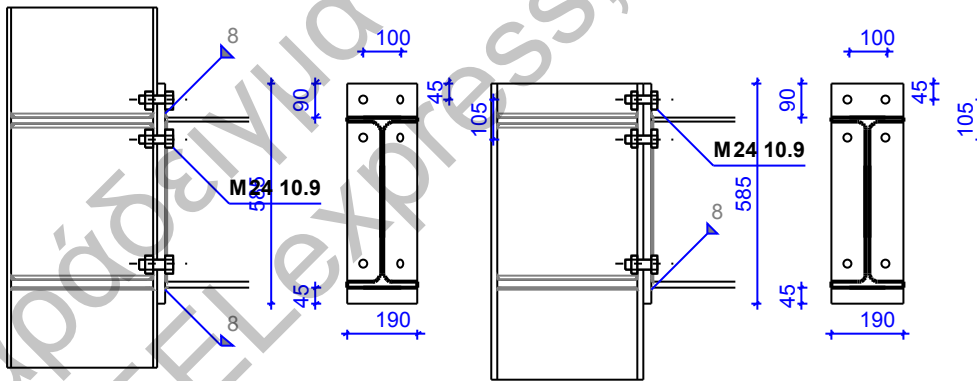
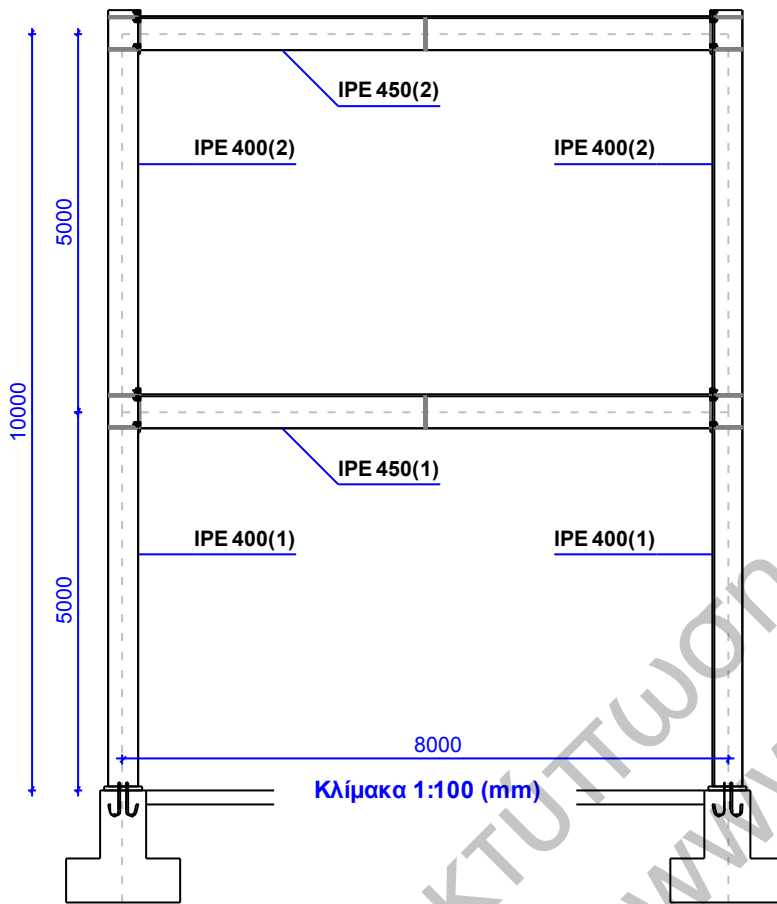
11.17.10. Αντοχή αγκύρωσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §6.2.6.12)

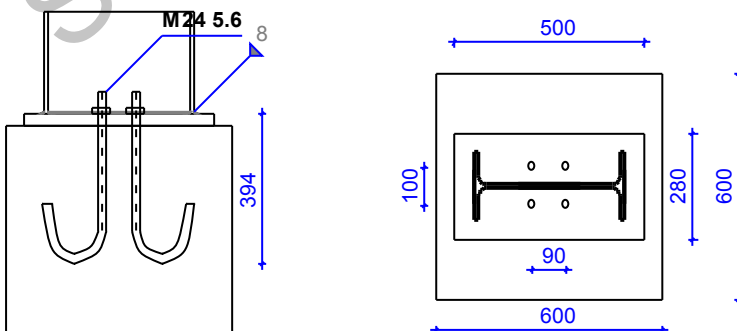
Αγκιστρο αγκυρίου

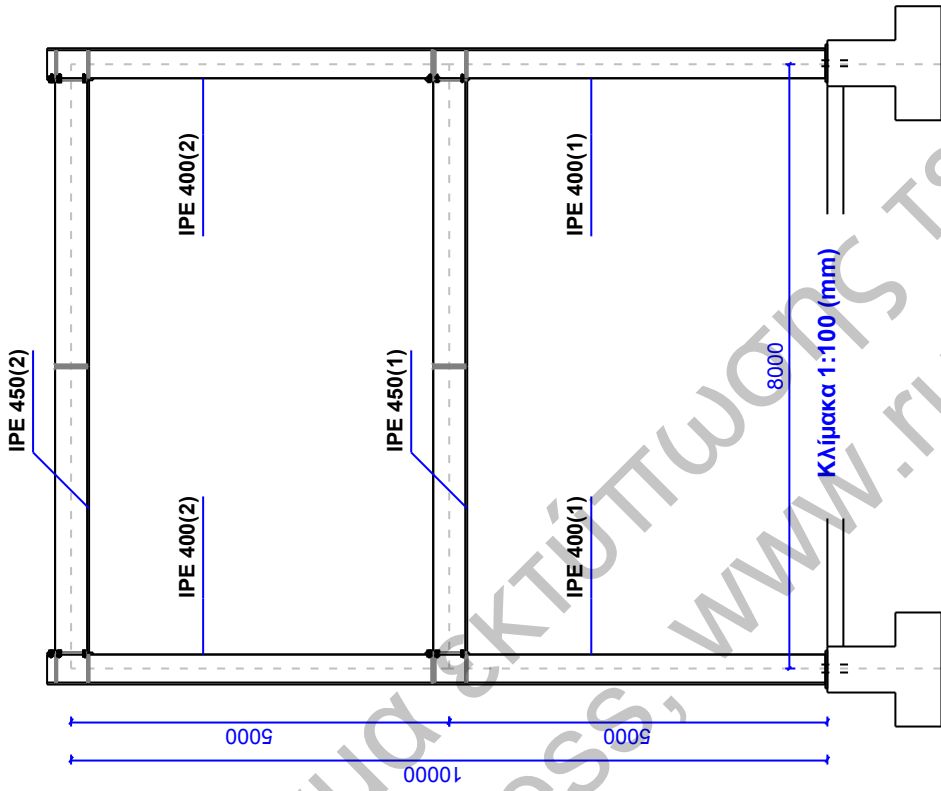
(EN1992-1-1 §8.4)

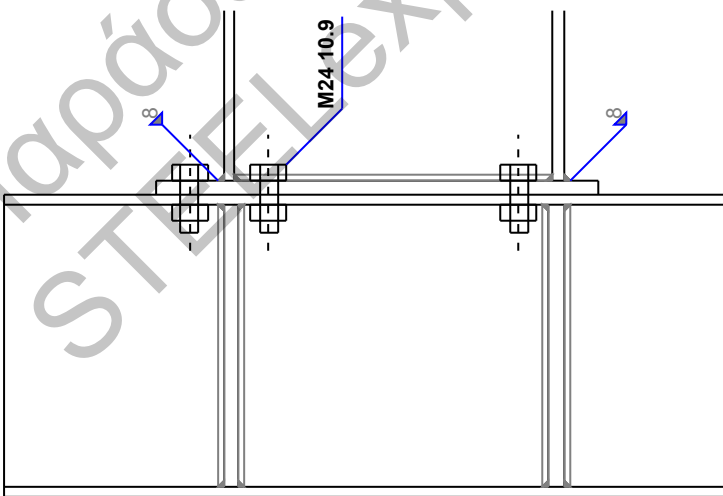
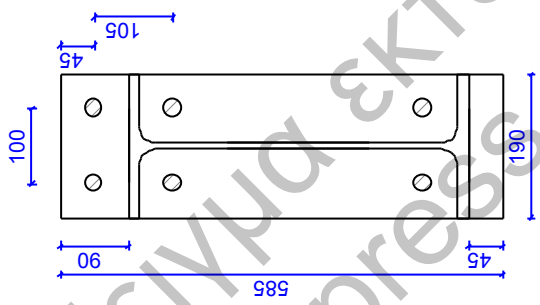
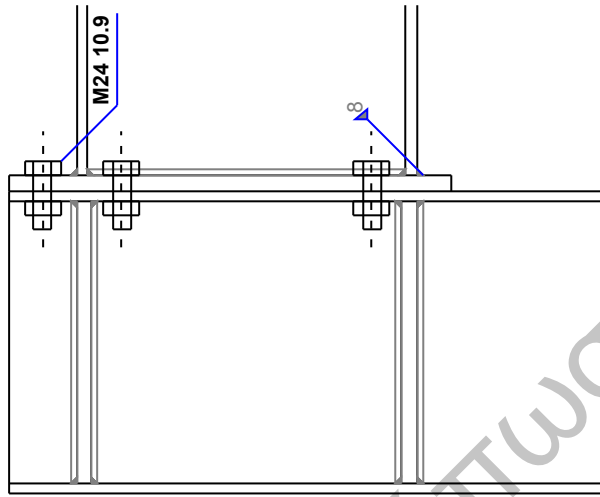
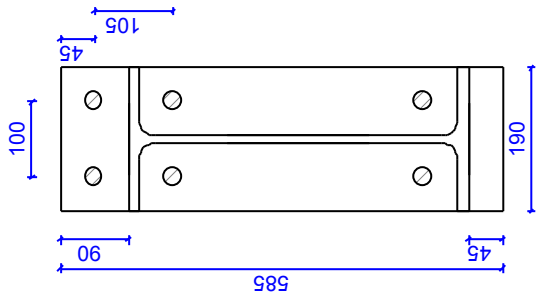
Αριθμός αγκυρίων : 4, με διάμετρο 24mm, $A_s = 353 \text{ mm}^2$
 Βασικό μήκος αγκύρωσης $l_{b,rqd}$, Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = 0.70 l_{b,rqd}$
 $l_{b,rqd} = (\sigma_{sd} / f_{bd}) = (24/4) \cdot (0.0 / 1.02) = 0 \text{ mm}$
 $\sigma_{sd} = [10^3] \cdot x_0 / (4 \cdot 353) = 0.0 \text{ N/mm}^2$, $f_{bd} = f_{ctd} = 1.02 \text{ N/mm}^2$
 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = 0.70 \cdot x_0 > (10 \cdot 24, 100)$ $l_{bd} = 250 \text{ mm}$



Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1) Κλίμακα: 20 (ζυγώματος-υποστυλώματος(2) Κλίμακα 1:20 (mm)

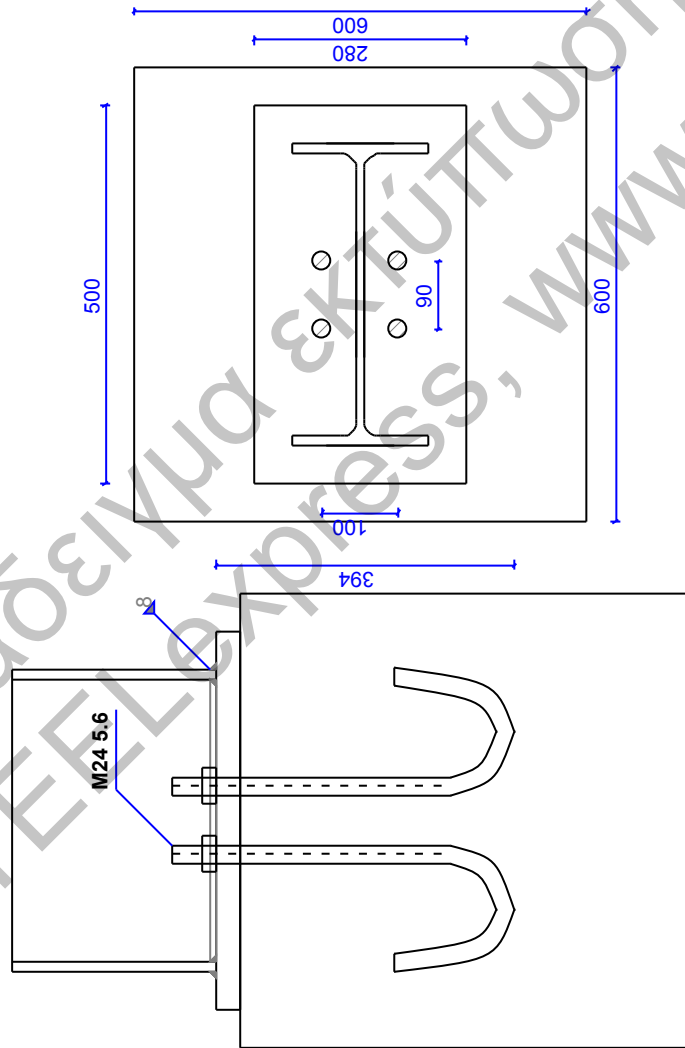






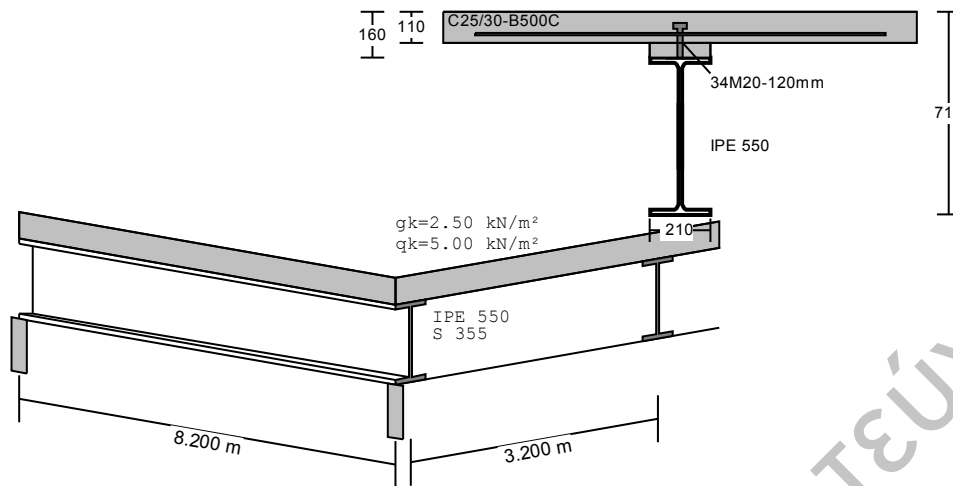
Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2) Κλίμακα 1:10 (mm)

Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1) Κλίμακα 1:10 (mm)



Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος Κλίμακα 1:10 (mm)

12. ΔΟΚΟΣ-004



12.1. Τεχνική Περιγραφή, παραδοχές, υλικά φορτία

12.1.1. Τρόπος Κατασκευής

Δοκός Σύνθετη δοκός, ανοίγματος L=8.200m
 Απόσταση δοκών bs=3.200m
 Πλάκα σκυροδέματος h=160mm, hc=110mm, hp=50mm C25/30-B500C
 Χαλύβδινη δοκός IPE 550 S 355

12.1.2. Κανονισμοί

EN1990:2002, Ευρωκώδικας 0 Βάσεις σχεδιασμού
 EN1991-1-1:2002, Ευρωκώδικας 1-1 Δράσεις
 EN1992-1-1:2004, Ευρωκώδικας 2 Ωπλισμένο σκυρόδεμα
 EN1993-1-1:2005, Ευρωκώδικας 3 Κατασκευές από χάλυβα
 EN1994-1-1:2000, Ευρωκώδικας 4 Σύμμικτες κατασκευές από σκυρόδεμα και χάλυβα

12.1.3. Ιδιότητες υλικών

Υλικά, Οπλισμένο σκυρόδεμα

Σκυρόδεμα-Χάλυβας : C25/30-B500C (EC2 §3)
 Βάρος σκυροδέματος : 25.0 kN/m³
 $\gamma_c=1.50, \gamma_s=1.15$ (EC2 Πίνακας 2.1N)
 $f_{cd}=\alpha_{sc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 25 / 1.50 = 14.17 \text{ MPa}$ (EC2 §3.1.6)
 $f_{ctd}=\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0.05} / \gamma_c = 0.85 \times 1.8 / 1.50 = 1.02 \text{ MPa}$ (EC2 §3.1.6)
 $f_{yd}=f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 435 \text{ MPa}$ (EC2 §3.2.7)
 Μέτρο Ελαστικότητας σκυροδέματος $E_{cm}=31.0 \text{ GPa}$

Υλικά, Δομικός χάλυβας

Χάλυβας: S 355 (EN1993-1-1, §3.2)
 $t \leq 40 \text{ mm}$, Αντοχή διαρροής $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, Αντοχή αστοχίας $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$
 $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$, Αντοχή διαρροής $f_y = 335 \text{ N/mm}^2$, Αντοχή αστοχίας $f_u = 470 \text{ N/mm}^2$
 Μέτρο ελαστικότητας $E=210000 \text{ N/mm}^2$, Λόγος Poisson $\nu=0.30$, Πυκνότητα $\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0} = 355 / 1.00 = 355.0 \text{ N/mm}^2$

διατμητικοί σύνδεσμοι

διάμετρος συνδέσμου	dsc=20mm
ύψος συνδέσμου	hsc=120mm
εφελκυστική αντοχή	fuk=450N/mm ²
επιμέρους συντελεστής	γν =1.25

12.1.4. Φορτίο

Κατανεμημένα φορτία δαπέδου

Φορτίο επικάλυψης δαπέδου	g1k= 2.000 kN/m ²
Ιδιο βάρος πλάκας σκυροδέματος	gok=0.001x(110.000+0.050x0.210/3.20)x25= 2.832 kN/m ²
Φορτίο οροφής κάτωθεν δαπέδου	g2k= 0.500 kN/m ² , go+g1k+g2k=2.000+2.832+0.500= 5.332 kN/m ²
Κινητό φορτίο δαπέδου	qk= 5.000 kN/m ²

Φορτία ανά m δοκού δαπέδου

Μόνιμο φορτίο	Gk1=3.200x5.332= 17.06 kN/m
Ιδιο βάρος δοκού	Gko= 1.06 kN/m (IPE 550)
Σύνολο μόνιμων φορτίων	Gk:=Gk1+Gko=17.060+1.060= 18.12 kN/m
Κινητό φορτίο	Qk=3.200x5.000= 16.00 kN/m

12.1.5. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων

Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS)

(EN1990 §6.4.3.2, Π.Α1.2Α, Π.Α1.2Β)

qed=γG·Gk+γQ·Qk = 1.35x18.12+1.50x16.00 =48.46kN/m

Φορτία σχεδιασμού, ULS

Ροπή κάμψης	q1 ² /8=48.46x8.200 ² /8= 407.30 kNm
Τέμνουσα δύναμη	q1/2=48.46x8.200 /2= 198.70 kN

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

(EN1990 §6.5.3, Π.Α1.4)

qed=Gk+Qk = 18.12+16.00 =34.12kN/m

Φορτία σχεδιασμού, SLS

Ροπή κάμψης	q1 ² /8=34.12x8.200 ² /8= 286.80 kNm
Τέμνουσα δύναμη	q1/2=34.12x8.200 /2= 139.90 kN

12.2. Ιδιότητες σύνθετης διατομής

12.2.1. Συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας

(EN1994-1-1 §5.4.1.2)

b_{eff}=b_o+Σ b_{ei}
 b_o=0, b_{ei}=l_e/8=8.200/8=1.025 m
 b_{eff}= 2x1.025=2.050 m <= 3.200 m, b_{eff}=2.050 m

12.2.2. Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

Διατομή IPE 550-S 355

Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h= 550.00 mm
Πλάτος διατομής	b= 210.00 mm
Υψος κορμού	h _w = 515.60 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	d _w = 467.60 mm
Πάχος κορμού	t _w = 11.10 mm
Πάχος πέλματος	t _f = 17.20 mm
Ακτίνα συναρμογής	r= 24.00 mm
Μάζα	= 106.00 Kg/m

Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	13440	mm ²		
Ροπή αδρανείας	I _y =	671.20x10 ⁶	mm ⁴	I _z =	26.680x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	W _y =	2441.0x10 ³	mm ³	W _z =	254.10x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	W _{py} =	2787.0x10 ³	mm ³	W _{pz} =	400.50x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	i _y =	223.5	mm	i _z =	44.6 mm
Επιφάνεια διάτμησης	A _{vz} =	7233	mm ²	A _{vy} =	7224 mm ²
Σταθερά στρέψης	I _t =	1.232x10 ⁶	mm ⁴	i _p =	228 mm
Ροπή αντίστασης σε στρέψη	W _t =	71.649x10 ³	mm ³		
Σταθερά στρέβλωσης	I _w =	1884.1x10 ⁹	mm ⁶		

12.2.3. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη M_y

(EN1993-1-1, §5.5)

Κορμός

c=550.0-2x17.2-2x24.0=467.6 mm, t=11.1 mm, c/t=467.6/11.1=42.13
 S 355, t=11.1 ≤ 40 mm, f_y=355 N/mm², ε=(235/355)^{0.5}=0.81
 c/t=42.13 ≤ 72ε=72x0.81=58.32
 Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)

Πέλυμα

c=210.0/2-11.1/2-24.0=75.4 mm, t=17.2 mm, c/t=75.4/17.2=4.39
 S 355, t=17.2 ≤ 40 mm, f_y=355 N/mm², ε=(235/355)^{0.5}=0.81
 c/t=4.39 ≤ 9ε=9x0.81=7.29
 Το πέλυμα είναι κατηγορία 1 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)

Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη M_y,ed

12.3. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS)

(EN1994-1-1 §6)

12.3.1. Διατμητική αντοχή σχεδιασμού διατμητικού συνδέσμου

(EN1994-1-1 §6.6.3.1)

Prd = min(Prd1=0.8 · f_u · (π · d²/4) / γ_v, Prd2=0.29 · α · d² · √(f_{ck} · E_{cm}) / γ_v) (EN1994-1-1, Εξ.6.18, 6.19)
 Prd1 = [10⁻³]x0.8x450x(3.14x20²/4)/1.25 = 90.4 kN
 h_{sc}/d=120/20=6.00 > 4, α=1 (EN1994-1-1, Εξ.6.21)
 Prd2 = [10⁻³]x0.29x1.00x20²x√(25.0x31000)/1.25 = 81.7 kN
 Prd = min(90.4, 81.7) = 81.7 kN

12.3.2. Πλαστική ροπή αντοχής με πλήρη διατμητική σύνδεση

(EN1994-1-1 §6.2.1.2)

N_{cf} = b_{eff} · h_c · f_{cd} = [10⁻³]x2050x110x14.2 = 3195.3 kN
 N_{pl,a} = A_a · f_{yd} = [10⁻³]x13440x355 = 4771.2 kN
 x₁ = h_c = 110.0 mm
 N_{pl,f} = (N_{pl,a} - N_{cf}) / 2 = (4771.2 - 3195.3) / 2 = 788.0 kN
 x₂ = N_{pl,f} / b_f · f_{yd} = [10⁻³]x788.0 / (210x355) = 10.6 mm ≤ t_f = 17.2 mm
 x_{p1} = x₁ + x₂ = 110.0 + 10.6 = 120.6 mm
 z = h/2 + h_c + h_p - x_{p1} / 2 = 550/2 + 110 + 50 - 120.60/2 = 374.7 mm
 M_{pl,r,d} = N_{pl,a} · z + N_{pl,f} · (h - x₂) = [10⁻³]x[3195.3x374.7 + 788.0x(550 - 10.6)] = 1622.3 kNm
 V_{l,r,d} = min(3195.3, 4771.2) = 3195.3 kN

12.3.3. Αριθμός διατμητικών συνδέσμων

(EN1994-1-1 §6.6.1.2)

Απαιτούμενος αριθμός συνδέσμων n_f = V_{l,r,d} / Prd = 3195.3 / 81.7 = 39.1
 Απαιτούμενος ελάχιστος αριθμός συνδέσμων η (EN1994-1-1, Εξ.6.12, 6.13)
 L_c = 8.200 ≤ 25, η ≥ 1 - (355/355) (0.75 - 0.03x8.200) = 0.50, η ≥ 0.4, η ≥ 0.50
 Επιλεγόμενος αριθμός συνδέσμων n = 34
 Ποσοστό διατμητικής σύνδεσης η = 34 / 39.1 = 0.87 ≥ 0.50

12.3.4. Απόσταση συνδέσμων

(EN1994-1-1 §6.6.5.5)

Απόσταση συνδέσμων s = 8200 / (34) = 121 mm, Δύο (2) σύνδεμοι ανά διατομή
 s = 121 mm ≤ 6x110 = 660 mm (EN1994-1-1, §6.6.5.5(3))
 s = 121 mm ≤ 800 mm (EN1994-1-1, §6.6.5.5(3))
 s = 121 mm ≥ 5x20 = 100 mm (EN1994-1-1, §6.6.5.7(4))

12.3.5. Διατμητική αντοχή σχεδιασμού

(EN1994-1-1 §6.3.3)

Διατμητική αντοχή σχεδιασμού $V_{l,rd} = \eta \cdot Prd = 34 \times 81.7 = 2777.8$ kN
 $V_{led} = 198.70$ kN < 2777.80 kN = $V_{l,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $V_{led}/V_{l,rd} = 198.70/2777.80 = 0.072 < 1$

12.3.6. Πλαστική ροπή αντοχής σύνθετης διατομής

(EN1994-1-1 §6.2.1.3)

$N_c = \eta \cdot N_{cf} = \sum Prd = 34 \times 81.7 = 2777.8$ kN
 $N_{cf} = b_{eff} \cdot h_c \cdot f_{cd} = [10^{-3}] \times 2050 \times 110 \times 14.2 = 3195.3$ kN
 $N_{pla} = A_a \cdot f_{yd} = [10^{-3}] \times 13440 \times 355 = 4771.2$ kN
 $x_1 = (N_c/N_{cf}) \cdot h_c = (2777.8/3195.3) \times 110 = 95.6$ mm < $h_c = 110$ mm
 $N_{plf} = (N_{pla} - N_c) / 2 = (4771.2 - 2777.8) / 2 = 996.7$ kN
 $x_2 = N_{plf} / b_f \cdot f_{yd} = [10^3] \times 996.7 / (210 \times 355) = 13.4$ mm <= $t_f = 17.2$ mm
 $x_{pl} = x_1 + x_2 = 95.6 + 13.4 = 109.0$ mm
 $z = h/2 + h_c + h_p - x_{pl} / 2 = 550/2 + 110 + 50 - 109.00/2 = 380.5$ mm
 $M_{pl,rd} = N_{pla} \cdot z + N_{plf} \cdot (h - x_2) = [10^{-3}] \times [2777.8 \times 380.5 + 996.7 \times (550 - 13.4)] = 1591.8$ kNm
 $M_{ed} = 407.30$ kN < 1591.80 kN = M_{rd} , Έλεγχος ικανοποιείται
 $M_{ed}/M_{rd} = 407.30/1591.80 = 0.256 < 1$

12.3.7. Κατακόρυφη διατμητική αντοχή σύνθετης διατομής

(EN1994-1-1 §6.2.2)

Έλεγχος σε διάτμηση $V_{z,ed} = 198.7$ kN (EC3-1-3 6.2.6)
 $A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 13440 - 2 \times 210.0 \times 17.2 + (11.1 + 2 \times 24.0) \times 17.2 = 7233$ mm² (EC3 §6.2.6.3)
 $A_v = 7233$ mm² > $\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (550.0 - 2 \times 17.2) \times 11.1 = 1.00 \times 515.6 \times 11.1 = 5723$ mm²
 Πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 7233 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 1482.37$ kN
 $V_{z,ed} = 198.70$ kN < 1482.37 kN = $V_{z,rd} = V_{pl,z,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται
 $V_{z,ed}/V_{z,rd} = 198.70/1482.37 = 0.134 < 1$

$h_w/t_w = (550.0 - 2 \times 17.2) / 11.1 = 515.6 / 11.1 = 46.45 <= 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \times \eta / 58.32$ ($\eta = 1.00$)
 S_{355} , $t = 11.1 <= 40$ mm, $f_y = 355$ N/mm², $\epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$
 Δεν απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα (EC3 §6.2.6.6)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Κάμψη και διάτμηση

(EN1993-1-1, §6.2.8)

$V_{z,ed} = 99.35$ kN, $M_y,ed = 305.47$ kNm, Στη θέση $x = 2.050$ m
 $V_{z,ed} = 99.35 = kN <= V_{pl,z,rd} / 2 = 1482.37 / 2 = 741.18$ kN (EC3 §6.2.8(2))
 Επίδραση διάτμησης σε αντοχή κάμψης παραβλέπεται

12.3.8. Κατα μήκος διατμητική αντοχή πελμάτων πλάκας σκυροδέματος

(EN1994-1-1 §6.6.6)

Διάτμηση μεταξύ κορμού και πελμάτων (EC2 §6.2.4)
 Διατμητική αντοχή σχεδιασμού $V_{l,ed} = \min(N_{pla}, N_c, \sum Prd) = \min(4771.2, 3195.3, 2777.8) = 2777.8$ kN
 $\Delta F_d = V_{l,ed} / 2 = 2777.8 / 2 = 1388.9$ kN
 Ανοιγμα δοκού $L = 8.20$ m, $\Delta x = 1.00 \times 8.20 / 2 = 4.10$ m (EC2 §5.3.2.1)
 $V_{rd,max} = v \cdot h_f \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$, $f_{cd} = 14.17$ Mpa, $\theta = 45.0^\circ$
 $v = 0.6(1 - f_{ck}/250) = 0.54$ (EC2 Εξ.6.6N)
 $V_{rd,max} = 0.54 \times 110 \times 14.17 \times \sin 45.0^\circ \times \cos 45.0^\circ = 421$ kN/m (EC2 Εξ.6.22)
 $\Delta F_d / \Delta x = 1388.9 / 4.10 = 339 <= V_{rd,max} = 421$ kN/m, ο έλεγχος επαληθεύεται
 Εγκάρσιος οπλισμός σύνδεσης πελμάτων-κορμού A_{sf}/s_f (EC2 Εξ.6.21)
 $A_{sf}/s_f = 1000 \times 339 / (435 \times \cot 45.0^\circ) = 779$ mm²/m
 Ελάχιστος οπλισμός: $A_{s,min} = \rho_{w,min} \cdot h_c \cdot b$ (EC2 §9.2.2.5)
 $\rho_{w,min} = 0.08 \sqrt{f_{ck}/f_{yk}} = 0.08 \sqrt{25/500} = 0.0008$
 $A_{s,min} = \rho_{w,min} \cdot h_c \cdot b = 0.0008 \times 110 \times 1000 = 88$ mm²/m
Εγκάρσιος οπλισμός $A_{sf}/s_f = \varnothing 10/100$ mm (785 mm²/m)

12.4. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

(EN1994-1-1 §7.1.1)

12.4.1. Κατάσταση μη-σύνθετης διατομής, βέλος κάμψης

(EN1994-1-1 §7.3.1.1)

Φορτία σχεδιασμού $Q_d = 18.12 - 3.200 \times 0.500 = 16.52$ kN/m
 $\delta = (5/384) \cdot Q_d \cdot L^4 / (E_a \cdot I_a) =$
 $= (5/384) \times 16.52 \times (8200)^4 / (210000 \times 671.20 \times 10^6) = 6.9$ mm

12.4.2. Κατάσταση σύνθετης διατομής, βέλος κάμψης

(EN1994-1-1 §7.3.1.1)

Φορτία σχεδιασμού $Q_d=16.00+3.200 \times 0.500=17.60$ kN/m
 Μέτρο Ελαστικότητας σκυροδέματος : $E_{cm}=31.0$ GPa
 Μέτρο Ελαστικότητας χάλυβα : $E_a=210$ GPa
 $A_{a,i} \cdot a_{o,i} = E_a \cdot I, I = I_a + I_c / n + A_a (h + 2h_p + h_c)^2 / 4 (1 + n \cdot r)$
 $r = A_a / (b_{eff} \cdot h_c) = 13440 / (2050 \times 110) = 0.060$

μικρής διάρκ. φόρτιση

Λόγος μέτρων Ελαστικ., μικρής διάρκ. φόρτιση $n_o = E_a / (E_{cm}) = 210 / 15.5 = 6.8$ (EN1994-1-1 §5.4.2.2(1))
 $I_c / n_o = b_{eff} \cdot h_c^3 / (12 n_o) = 2050 \times 110^3 / (12 \times 6.8) = 33.565 \times 10^6$ mm⁴
 $A_a (h + 2h_p + h_c)^2 / 4 (1 + n_o \cdot r) = 13440 \times (550 + 2 \times 50 + 110)^2 / 4 \times (1 + 6.8 \times 0.060) = 1382.539 \times 10^6$ mm⁴
 $I_o = (671.200 + 33.565 + 1382.539) \times 10^6 = 2087.304 \times 10^6$ mm⁴
 $\delta_o = (5/384) \cdot Q_d \cdot L^4 / (E_a \cdot I_o) =$
 $= (5/384) \times 17.60 \times (8200)^4 / (210000 \times 2087.3 \times 10^6) = 2.4$ mm
 Ολικό βέλος κάμψης $\delta = 6.9 + 2.4 = 9.3$ mm = $L(8.200) / 885 < L(8.200) / 200$

μακράς διάρκ. φόρτ.

Λόγος μέτρων Ελαστικ., μακράς διάρκ. φόρτ. $n_L = E_a / (E_{cm}/2) = 210 / 15.5 = 13.5$ (EN1994-1-1 §5.4.2.2(11))
 $I_c / n_L = b_{eff} \cdot h_c^3 / (12 n_L) = 2050 \times 110^3 / (12 \times 13.5) = 16.783 \times 10^6$ mm⁴
 $A_a (h + 2h_p + h_c)^2 / 4 (1 + n_L \cdot r) = 13440 \times (550 + 2 \times 50 + 110)^2 / 4 \times (1 + 13.5 \times 0.060) = 1073.715 \times 10^6$ mm⁴
 $I = (671.200 + 16.783 + 1073.715) \times 10^6 = 1761.698 \times 10^6$ mm⁴
 $\delta = (5/384) \cdot Q_d \cdot L^4 / (E_a \cdot I) =$
 $= (5/384) \times 17.60 \times (8200)^4 / (210000 \times 1761.7 \times 10^6) = 2.8$ mm
 Ολικό βέλος κάμψης $\delta = 6.9 + 2.8 = 9.7$ mm = $L(8.200) / 845 < L(8.200) / 200$

12.4.3. Ταλάντωση δοκού

(EN1994-1-1 §7.3.2)

$\delta = (5/384) \cdot Q_d \cdot L^4 / (E_a \cdot I_o) =$
 $= (5/384) \times 18.12 \times (8200)^4 / (210000 \times 2087.3 \times 10^6) = 2.4$ mm
 Θεμελιώδης ιδιοσυχνότητα πατώματος : $f = 18 / \sqrt{\delta} = 18 / \sqrt{2.4} = 11.5$ Hz > 4.0 Hz

Περιεχόμενα

1. ΥΠΟΣΤΥΛ-001, Αντοχή σε λυγισμό, Μέλη σε θλίψη $N_{c,ed}$ - $M_{y,ed}$ - $M_{z,ed}$
 - 1.1. Κανονισμοί
 - 1.2. Υλικά
 - 1.3. Διαστάσεις και φορτία
 - 1.4. Φορτία σχεδιασμού
 - 1.5. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη και θλίψη
 - 1.6. Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη
 - 1.7. Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη $y-y$
 - 1.8. Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη και αξονική δύναμη
 - 1.9. Καμπτικός λυγισμός, (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 1.10. Πλευρικός λυγισμός, (ULS)
 - 1.11. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, (ULS)
2. ΔΟΚΟΣ-001, Δοκοί γενικά, Δοκός ενός ανοίγματος
 - 2.1. Κανονισμοί
 - 2.2. Υλικά
 - 2.3. Φορτίο
 - 2.4. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων
 - 2.5. Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής
 - 2.6. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)
 - 2.7. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη M_y
 - 2.8. Αντοχή διατομής, Διατομή δοκού
 - 2.9. Πλευρικός λυγισμός, (ULS)
3. ΔΟΚΟΣ-002, Δοκοί πατωμάτων, Πάτωμα δύο ανοιγμάτων
 - 3.1. Κανονισμοί
 - 3.2. Υλικά
 - 3.3. Φορτίο
 - 3.4. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων
 - 3.5. Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής
 - 3.6. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)
 - 3.7. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη M_y
 - 3.8. Αντοχή διατομής, Διατομή δοκού
 - 3.9. Πλευρικός λυγισμός, (ULS)
 - 3.10. Πλευρικός λυγισμός, (ULS)
4. ΔΟΚΟΣ-003, Δοκοί στέγης, Στέγη ενός ανοίγματος
 - 4.1. Κανονισμοί
 - 4.2. Υλικά
 - 4.3. Βασικά στοιχεία
 - 4.4. Φορτίο
 - 4.5. Μελέτη τεγίδων
 - 4.6. Διαστασιολόγηση δοκών
 - 4.7. Φορτίο
 - 4.8. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων
 - 4.9. Φορτία σχεδιασμού
 - 4.10. Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής
 - 4.11. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)
 - 4.12. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη M_y
 - 4.13. Αντοχή διατομής, (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 4.14. Πλευρικός λυγισμός, (ULS) (Ανοιγμα δοκού)
 - 4.15. Πλευρικός λυγισμός, (ULS) (Αναρόφηση)
5. ΥΠΟΣΤΥΛ-002, Υποστυλώματα γενικά, Υποσύλωμα υπό θλίψη και απλή κάμψη

Περιεχόμενα

- 5.1. Κανονισμοί
- 5.2. Υλικά
- 5.3. Φορτίο
- 5.4. Διαστάσεις
- 5.5. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων
- 5.6. Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής
- 5.7. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη και θλίψη
- 5.8. Αντοχή διατομής, Διατομή υποστυλωμάτων
- 5.9. Καμπτικός λυγισμός, (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
- 5.10. Πλευρικός λυγισμός, (ULS)
- 5.11. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, Υποστύλωμα (ULS)
6. ΣΥΝΔ.Δ-001, Διαστασιολόγηση στήριξης δοκού σε δοκό με γωνιακά
 - 6.1. Υλικά
 - 6.2. Δράσεις στη σύνδεση δοκού
 - 6.3. Βασικά στοιχεία, Διαστασιολόγηση στήριξης δοκού σε δοκό με γωνιακά
 - 6.4. Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους
 - 6.5. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία M24-8.8, Κυρία δοκός
 - 6.6. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία M24-8.8, Δευτερεύουσα δοκός
 - 6.7. Αντοχή κοχλιωτής σύνδεσης, Κυρία δοκός
 - 6.8. Αντοχή κοχλιωτής σύνδεσης, Δευτερεύουσα δοκός
 - 6.9. Συνδεόμενα γωνιακά
 - 6.10. Διατμητική αντοχή συνδεόμενων γωνιακών L80x80x6 (hc=240mm)
 - 6.11. Καμπτική αντοχή συνδεόμενων γωνιακών L80x80x6 (hc=240mm)
 - 6.12. Αντοχή σε απόσχιση, Δευτερεύουσα δοκός
 - 6.13. Αντοχή σε απόσχιση, Συνδεόμενα γωνιακά
7. ΣΥΝΔ.Δ-002, Σύνδεση ζυγώματος με υποστύλωμα
 - 7.1. Βασικά στοιχεία, Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος
 - 7.2. Κύρια δεδομένα σύνδεσης, Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος
 - 7.3. Διατομή υποστυλωμάτων
 - 7.4. Διατομή ζυγωμάτων
 - 7.5. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
 - 7.6. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
 - 7.7. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 7.8. Πέσμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 7.9. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 7.10. Γεωμετρία σύνδεσης πέσμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 7.11. Ενεργά μήκη πέσμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 7.12. Πλευρά υποστυλώματος, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 7.13. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εγκάρσιο εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 7.14. Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού νεύρωσης ενίσχυσης (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 7.15. Ροπή αντοχής σύνδεσης (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 7.16. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
8. ΣΥΝΔ.Δ-003, Πακτωμένη έδραση υποστυλώματος
 - 8.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
 - 8.2. Διατομή υποστυλωμάτων
 - 8.3. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία (έδραση υποστυλώματος)
 - 8.4. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)
 - 8.5. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)
 - 8.6. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (έδραση υποστυλώματος)
 - 8.7. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εφελκυσμό (έδραση υποστυλώματος)

Περιεχόμενα

- 8.8. Αντοχή αγκύρωσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
- 8.9. Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης
- 8.10. Αντοχή σύνδεσης σε σύνθλιψη (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
- 8.11. Καμπτική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
- 8.12. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
- 9. ΠΛΑΙΣΙΟ-001, Πλαίσιο ενός ανοίγματος
 - 9.1. Κανονισμοί
 - 9.2. Βασικά στοιχεία
 - 9.2.1. Γεωμετρικά στοιχεία πλαισίου
 - 9.2.2. Διατομές
 - 9.2.3. Συνδέσεις
 - 9.3. Υλικά και παράμετροι κανονισμού
 - 9.3.1. Υλικά
 - 9.4. Φορτία
 - 9.4.1. Μόνιμα φορτία
 - 9.4.2. Επιβεβλημένα φορτία
 - 9.4.3. Φορτία χιονιού
 - 9.4.4. Φορτίο χιονιού ανά πλαίσιο
 - 9.4.5. Φορτίο ανέμου
 - 9.4.6. Φορτίο ανέμου ανά πλαίσιο
 - 9.4.7. Σεισμικό φορτίο
 - 9.5. Τιμές σχεδιασμού δράσεων
 - 9.5.1. Συνδυασμοί δράσεων
 - 9.5.2. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) (EQU)
 - 9.5.3. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) (STR)
 - 9.5.4. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)
 - 9.5.5. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) Αντισεισμικός σχεδιασμός
 - 9.5.6. Σύνοψη συνδυασμών φορτίσεων
 - 9.6. Διατομές
 - 9.6.1. Διατομή υποστυλωμάτων
 - 9.6.2. Διατομή ζυγμάτων
 - 9.7. Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία
 - 9.7.1. Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ελαστική ανάλυση
 - 9.7.2. Ομοιόμορφα φορτία μέλους, q κάθετα στο μέλος, q_y κατακόρυφη, q_x οριζόντια [kN/m]
 - 9.8. Αποτελέσματα στατικής ελαστικής γραμμικής ανάλυσης
 - 9.8.1. Μετατοπίσεις [mm]
 - 9.8.2. Αντιδράσεις στηρίξεων
 - 9.8.3. Αξονικές δυνάμεις N_{ed} [kN]
 - 9.8.4. Διατμητικές δυνάμεις V_{ed} [kN]
 - 9.8.5. Καμπτικές ροπές M_{ed} [kNm]
 - 9.9. Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης
 - 9.9.1. Ιδιοσυχνότητες και ιδιομορφίες της κατασκευής
 - 9.9.2. Σεισμικές δυνάμεις, Ισοδύναμη Στατική μέθοδος
 - 9.9.3. Σεισμικές δυνάμεις, Δυναμική φασματική μέθοδος ανάλυσης
 - 9.9.4. Σχεδιασμός σε σεισμικά φορτία
 - 9.9.5. Φαινόμενα δευτέρας τάξεως
 - 9.9.6. Μέγιστες τιμές δυνάμεων και καμπτικών ροπών για σχεδιασμό σε σεισμικά φορτία
 - 9.10. Καθολική ανάλυση
 - 9.10.1. Μεγεθυντικός συντελεστής λυγισμού
 - 9.10.2. Ατέλειες για καθολική ανάλυση

Περιεχόμενα

- 9.10.3. Ατέλειες σε οριζόντια μετατόπιση υποστυλωμάτων
- 9.10.4. Εσωτερικές δυνάμεις και καμπικές ροπές με επίδραση ατελειών
- 9.10.5. Αξονικές δυνάμεις N_{ed} [kN]
- 9.10.6. Διατμητικές δυνάμεις V_{ed} [kN]
- 9.10.7. Καμπτικές ροπές M_{ed} [kNm]
- 9.11. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)
 - 9.11.1. Κατακόρυφη μετατόπιση κόμβου κορυφής
 - 9.11.2. Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων
 - 9.11.3. Χαρακτηριστικά δυναμικής ανάλυσης
- 9.12. Ελεγχος υποστυλωμάτων (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.12.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Υποστύλωμα
 - 9.12.2. Αντοχή διατομής, Υποστύλωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.12.3. Μήκος λυγισμού, Λυγισμός στο επίπεδο
 - 9.12.4. Καμπτικός λυγισμός, Υποστύλωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.12.5. Πλευρικός λυγισμός, Υποστύλωμα (ULS)
- 9.13. Ελεγχος ζυγμάτων (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.13.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Ζύγωμα
 - 9.13.2. Αντοχή διατομής, Ζύγωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.13.3. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.13.4. Καμπτικός λυγισμός, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.13.5. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος (ULS)
 - 9.13.6. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.13.7. Καμπτικός λυγισμός, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.13.8. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος (ULS)
 - 9.13.9. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.13.10. Καμπτικός λυγισμός, Ζύγωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.13.11. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα (ULS)
 - 9.13.12. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.13.13. Καμπτικός λυγισμός, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 9.13.14. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου (ULS)
- 9.14. Κύρια δεδομένα σύνδεσης
 - 9.14.1. Δεδομένα κοχλιών σύνδεσης (ζύγωμ-υποστ, κορυφή)
 - 9.14.2. Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους (ζύγωμ-υποστ, κορυφή)
 - 9.14.3. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία (ζύγωμ-υποστ, κορυφή)
- 9.15. Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος
 - 9.15.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
 - 9.15.2. Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
 - 9.15.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
 - 9.15.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
 - 9.15.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστυλ.)
 - 9.15.6. Πέλμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (ζύγωμ-υποστυλ.)
 - 9.15.7. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστυλ.)
 - 9.15.8. Γεωμετρία σύνδεσης πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστυλ.)
 - 9.15.9. Ενεργά μήκη πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστυλ.)
 - 9.15.10. Πλευρά υποστυλώματος, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστυλ.)
 - 9.15.11. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εγκάρσιο εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστυλ.)
 - 9.15.12. Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού νεύρωσης ενίσχυσης (ζύγωμ-υποστυλ.)
 - 9.15.13. Ροπή αντοχής σύνδεσης (ζύγωμ-υποστυλ.)
 - 9.15.14. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
- 9.16. Σύνδεση στη βάση του υποστυλώματος

Περιεχόμενα

- 9.16.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
- 9.16.2. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία (έδραση υποστυλώματος)
- 9.16.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)
- 9.16.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)
- 9.16.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (έδραση υποστυλώματος)
- 9.16.6. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εφελκυσμό (έδραση υποστυλώματος)
- 9.16.7. Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης
- 9.16.8. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
- 9.16.9. Αντοχή σύνδεσης σε σύνθλιψη (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
- 9.16.10. Αντοχή αγκύρωσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
- 10. ΣΥΝΔ.Δ-004, Απλή έδραση υποστυλώματος
 - 10.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
 - 10.2. Διατομή υποστυλωμάτων
 - 10.3. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία (έδραση υποστυλώματος)
 - 10.4. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)
 - 10.5. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)
 - 10.6. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (έδραση υποστυλώματος)
 - 10.7. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εφελκυσμό (έδραση υποστυλώματος)
 - 10.8. Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης
 - 10.9. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
 - 10.10. Αντοχή σύνδεσης σε σύνθλιψη (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
 - 10.11. Αντοχή αγκύρωσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
- 11. ΠΛΑΙΣΙΟ-002, Διώροφο πλαίσιο ενός ανοίγματος
 - 11.1. Κανονισμοί
 - 11.2. Βασικά στοιχεία
 - 11.2.1. Γεωμετρικά στοιχεία πλαισίου
 - 11.2.2. Διατομές
 - 11.2.3. Συνδέσεις
 - 11.3. Υλικά και παράμετροι κανονισμού
 - 11.3.1. Υλικά
 - 11.4. Φορτία
 - 11.4.1. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) (STR)
 - 11.4.2. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)
 - 11.4.3. Σύνοψη συνδυασμών φορτίσεων
 - 11.5. Διατομές
 - 11.5.1. Διατομή υποστυλωμάτων
 - 11.5.2. Διατομή δοκού
 - 11.6. Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία
 - 11.6.1. Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ελαστική ανάλυση
 - 11.6.2. Ομοιόμορφα φορτία μέλους, q κάθετα στο μέλος, qy κατακόρυφη, qx οριζόντια [kN/m]
 - 11.7. Αποτελέσματα στατικής ελαστικής γραμμικής ανάλυσης
 - 11.7.1. Μετατοπίσεις [mm]
 - 11.7.2. Αντιδράσεις στηρίξεων
 - 11.7.3. Αξονικές δυνάμεις Ned [kN]
 - 11.7.4. Διατμητικές δυνάμεις Ved [kN]
 - 11.7.5. Καμπτικές ροπές Med [kNm]
 - 11.8. Καθολική ανάλυση
 - 11.8.1. Μεγεθυντικός συντελεστής λυγισμού
 - 11.8.2. Ατέλειες για καθολική ανάλυση
 - 11.8.3. Ατέλειες σε οριζόντια μετατόπιση υποστυλωμάτων

Περιεχόμενα

- 11.8.4. Εσωτερικές δυνάμεις και καμπικές ροπές με επίδραση ατελειών
- 11.8.5. Αξονικές δυνάμεις Ned [kN]
- 11.8.6. Διαμητικές δυνάμεις Ved [kN]
- 11.8.7. Καμπτικές ροπές Med [kNm]
- 11.9. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)
 - 11.9.1. Κατακόρυφη μετατόπιση κόμβου κορυφής
 - 11.9.2. Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων
 - 11.9.3. Χαρακτηριστικά δυναμικής ανάλυσης
- 11.10. Έλεγχος υποστυλωμάτων, Υποσύλωμα(1), (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.10.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Υποσύλωμα(1)
 - 11.10.2. Αντοχή διατομής, Υποσύλωμα(1) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.10.3. Μήκος λυγισμού, Λυγισμός στο επίπεδο
 - 11.10.4. Καμπικός λυγισμός, Υποσύλωμα(1) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.10.5. Πλευρικός λυγισμός, Υποσύλωμα(1) (ULS)
 - 11.10.6. Αξονική δύναμη και καμπική ροπή, Υποσύλωμα(1) (ULS)
- 11.11. Έλεγχος υποστυλωμάτων, Υποσύλωμα(2), (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.11.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Υποσύλωμα(2)
 - 11.11.2. Αντοχή διατομής, Υποσύλωμα(2) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.11.3. Μήκος λυγισμού, Λυγισμός στο επίπεδο
 - 11.11.4. Καμπικός λυγισμός, Υποσύλωμα(2) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.11.5. Πλευρικός λυγισμός, Υποσύλωμα(2) (ULS)
 - 11.11.6. Αξονική δύναμη και καμπική ροπή, Υποσύλωμα(2) (ULS)
- 11.12. Έλεγχος δοκών, Δοκός(1), (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.12.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Δοκός(1)
 - 11.12.2. Αντοχή διατομής, Δοκός(1) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.12.3. Αντοχή σε λυγισμό, Δοκός(1) μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.12.4. Καμπικός λυγισμός, Δοκός(1) μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.12.5. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός(1) μέσο-ανοίγματος (ULS)
 - 11.12.6. Αντοχή σε λυγισμό, Δοκός(1) άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.12.7. Καμπικός λυγισμός, Δοκός(1) άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.12.8. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός(1) άκρο-ανοίγματος (ULS)
 - 11.12.9. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.12.10. Καμπικός λυγισμός, Δοκός(1) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.12.11. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός(1) (ULS)
- 11.13. Έλεγχος δοκών, Δοκός(2), (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.13.1. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Δοκός(2)
 - 11.13.2. Αντοχή διατομής, Δοκός(2) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.13.3. Αντοχή σε λυγισμό, Δοκός(2) μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.13.4. Καμπικός λυγισμός, Δοκός(2) μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.13.5. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός(2) μέσο-ανοίγματος (ULS)
 - 11.13.6. Αξονική δύναμη και καμπική ροπή, Δοκός(2) μέσο-ανοίγματος (ULS)
 - 11.13.7. Αντοχή σε λυγισμό, Δοκός(2) άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.13.8. Καμπικός λυγισμός, Δοκός(2) άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.13.9. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός(2) άκρο-ανοίγματος (ULS)
 - 11.13.10. Αξονική δύναμη και καμπική ροπή, Δοκός(2) άκρο-ανοίγματος (ULS)
 - 11.13.11. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.13.12. Καμπικός λυγισμός, Δοκός(2) (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 11.13.13. Πλευρικός λυγισμός, Δοκός(2) (ULS)
 - 11.13.14. Αξονική δύναμη και καμπική ροπή, Δοκός(2) (ULS)
- 11.14. Κύρια δεδομένα σύνδεσης

Περιεχόμενα

- 11.14.1. Δεδομένα κοχλιών σύνδεσης
- 11.14.2. Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους
- 11.14.3. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία
- 11.14.4. Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους
- 11.14.5. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία
- 11.15. Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1)
 - 11.15.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1))
 - 11.15.2. Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1))
 - 11.15.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1))
 - 11.15.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1))
 - 11.15.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ.(1))
 - 11.15.6. Πέλμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (ζύγωμ-υποστύλ.(1))
 - 11.15.7. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ.(1))
 - 11.15.8. Γεωμετρία σύνδεσης πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ.(1))
 - 11.15.9. Ενεργά μήκη πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ.(1))
 - 11.15.10. Πλευρά υποστυλώματος, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ.(1))
 - 11.15.11. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εγκάρσιο εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ.(1))
 - 11.15.12. Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού νεύρωσης ενίσχυσης (ζύγωμ-υποστύλ.(1))
 - 11.15.13. Ροπή αντοχής σύνδεσης (ζύγωμ-υποστύλ.(1))
 - 11.15.14. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(1))
- 11.16. Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2)
 - 11.16.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2))
 - 11.16.2. Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2))
 - 11.16.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2))
 - 11.16.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2))
 - 11.16.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ.(2))
 - 11.16.6. Πέλμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (ζύγωμ-υποστύλ.(2))
 - 11.16.7. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ.(2))
 - 11.16.8. Γεωμετρία σύνδεσης πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ.(2))
 - 11.16.9. Ενεργά μήκη πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ.(2))
 - 11.16.10. Πλευρά υποστυλώματος, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ.(2))
 - 11.16.11. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εγκάρσιο εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ.(2))
 - 11.16.12. Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού νεύρωσης ενίσχυσης (ζύγωμ-υποστύλ.(2))
 - 11.16.13. Ροπή αντοχής σύνδεσης (ζύγωμ-υποστύλ.(2))
 - 11.16.14. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος(2))
- 11.17. Σύνδεση στη βάση του υποστυλώματος
 - 11.17.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
 - 11.17.2. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία (έδραση υποστυλώματος)
 - 11.17.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)
 - 11.17.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)
 - 11.17.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (έδραση υποστυλώματος)
 - 11.17.6. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εφελκυσμό (έδραση υποστυλώματος)
 - 11.17.7. Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης
 - 11.17.8. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
 - 11.17.9. Αντοχή σύνδεσης σε σύνθλιψη (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
 - 11.17.10. Αντοχή αγκύρωσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
- 12. ΔΟΚΟΣ-004
 - 12.1. Τεχνική Περιγραφή, παραδοχές, υλικά φορτία
 - 12.1.1. Τρόπος Κατασκευής
 - 12.1.2. Κανονισμοί

Περιεχόμενα

- 12.1.3. Ιδιότητες υλικών
- 12.1.4. Φορτίο
- 12.1.5. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων
- 12.2. Ιδιότητες σύνθετης διατομής
 - 12.2.1. Συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας
 - 12.2.2. Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής
 - 12.2.3. Κατάταξη χαλύβδινης διατομής, Κάμψη My
- 12.3. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS)
 - 12.3.1. Διατμητική αντοχή σχεδιασμού διατμητικού συνδέσμου
 - 12.3.2. Πλαστική ροπή αντοχής με πλήρη διατμητική σύνδεση
 - 12.3.3. Αριθμός διατμητικών συνδέσμων
 - 12.3.4. Απόσταση συνδέσμων
 - 12.3.5. Διατμητική αντοχή σχεδιασμού
 - 12.3.6. Πλαστική ροπή αντοχής σύνθετης διατομής
 - 12.3.7. Κατακόρυφη διατμητική αντοχή σύνθετης διατομής
 - 12.3.8. Κατα μήκος διατμητική αντοχή πελμάτων πλάκας σκυροδέματος
- 12.4. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)
 - 12.4.1. Κατάσταση μη-σύνθετης διατομής, βέλος κάμψης
 - 12.4.2. Κατάσταση σύνθετης διατομής, βέλος κάμψης
 - 12.4.3. Ταλάντωση δοκού

Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους
STEELexpress, www.runet.gr