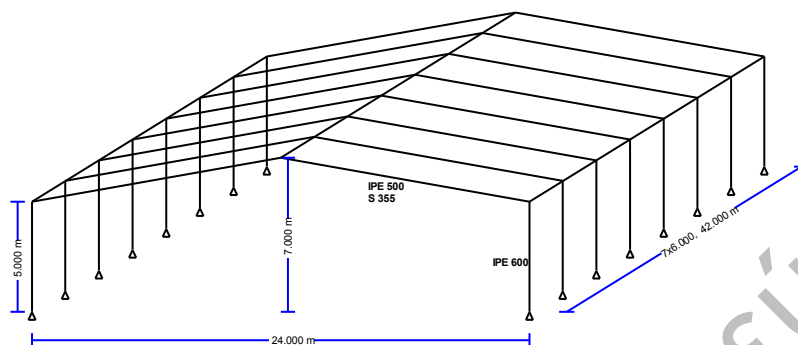


Δίστυλο πλαίσιο1. Κανονισμοί

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 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα, Γενικές αρχές
 EN1993-1-3:2005, Ευρωκώδικας 3-3 Σχεδ. κατασκ. από χάλυβα, Λεπτότοιχα μέλη ψυχρής έλασης
 EN1993-1-5:2006, Ευρωκώδικας 3-5 Σχεδ. κατασκ. από χάλυβα, Κύρτωση πλακών
 EN1993-1-8:2005, Ευρωκώδικας 3-8 Σχεδ. κατασκ. από χάλυβα, Συνδέσεις
 CEN/TS 1992-4-1:2009, Σχεδιασμός συνδέσεων με σκυρόδεμα, Γενικά
 CEN/TS 1992-4-2:2009, Σχεδιασμός συνδέσεων με σκυρόδεμα, Συνδέσεις κεφαλής
 EN1992-1-1:2004, Ευρωκώδικας 2 Ωπλισμένο σκυρόδεμα
 EN1997-1-1:2004, Ευρωκώδικας 7 Θεμελιώσεις
 EN1998-1-1:2004, Eurocode 8 Αντισεισμικός σχεδιασμός

2. Βασικά στοιχεία2.1. Γεωμετρικά στοιχεία πλαισίου

Άνοιγμα πλαισίου	$L = 24.000 \text{ m}$
Ολικό ύψος (μέγιστο)	$H = 7.000 \text{ m}$
Ύψος υποστυλώματος	$H1 = 5.000 \text{ m}$
Ολικό μήκος	$B = 42.000 \text{ m (7x6.000m)}$
Απόσταση μεταξύ πλαισίων	$s = 6.000 \text{ m}$
Γωνία στέγης	$\alpha = 9.46^\circ$
Μέγεθος ενίσχυσης	$L1 = L/10.0 = 2.400 \text{ m}$
Επικάλυψη	Πάχος χαλυβδόφυλλου $t_w = 0.750 \text{ mm}$, Ύψος προφίλ $h_w = 40.0 \text{ mm}$
Απόσταση τεγίδων	$= 3.000 \text{ m}$

Τεγίδα συγκρατούμενη πλευρικά, Συνεχής τεγίδα

2.2. Διατομές

Διατομή υποστυλωμάτων	IPE 600 - S 355
Διατομή ζυγμάτων	IPE 500 - S 355
Διατομή τεγίδων	IPE 160 - S 355
Εγκάρσιο σύστημα δυσκαμψίας	L100x100x10 - S 355
Εγκάρσιες συγκρατήσεις υποστυλωμάτων	$Lm1 = 4.250 \text{ m}$
Εγκάρσιες συγκρατήσεις ζυγμάτων	$Lm2 = 3.201 \text{ m}$
Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της ενίσχυσης υποστυλώματος	

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

2.4. Βάση υποστυλώματος και θεμελίωση

Κατηγορία χάλυβα πλάκας έδρασης	Πάχος $t_p=30$ mm, S 235
Αγκύρια	M24, Κατηγορία 5.6
Σκυρόδεμα πεδίου	C25/30-B500C
Επικάλυψη οπλισμού	$C_{nom}=35$ mm
Φέρουσα ικανότητα εδάφους	$q_u=0.200$ kN/mm ²
Ειδικό βάρος ξηρού εδάφους	$\gamma=18.00$ kN/m ³
Βάθος θεμελίωσης	$h_f=2.700$ m

3. Υλικά και παράμετροι κανονισμού**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

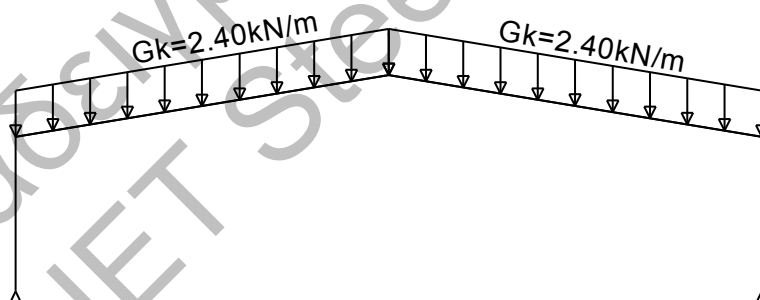
(EN1993-1-1, §6.1)

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

4. Φορτία**4.1. Μόνιμα φορτία**

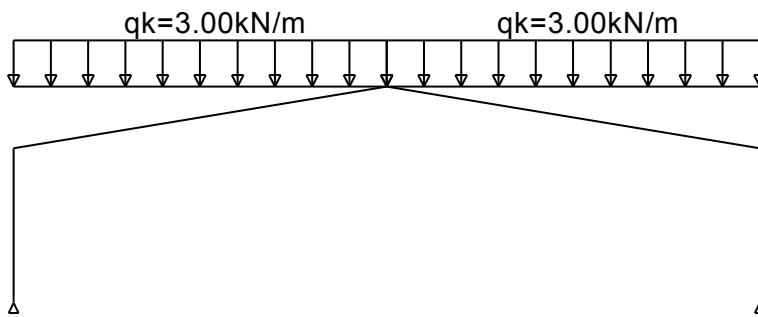
(EN1991-1-1)

Ιδιο βάρος τεγίδων και σανιδώματος	$g_{k1} = 0.200 + 0.155/3.000 = 0.252$ kN/m ²
Φορτίο οροφής κάτω επιφάνειας	$g_{k2} = 0.000$ kN/m ² $g_k = g_{k1} + g_{k2} = 0.252$ kN/m ²
Απόσταση μεταξύ πλαισίων	$s = 6.000$ m
Φορτίο στέγης ανά πλαίσιο	$(g_{k1} + g_{k2}) \cdot s = 0.252 \times 6.000 = 1.51$ kN/m
Ιδιο βάρος ζυγμάτων	$G(\text{IPE } 500) = 0.89$ kN/m
Μόνιμο φορτίο ανά πλαίσιο	$G_k = 1.51 + 0.89 = 2.40$ kN/m
Ιδιο βάρος υποστυλμάτων	$G(\text{IPE } 600) = 1.20$ kN/m

Φορτίο G (Μόνιμο φορτίο)**4.2. Επιβεβλημένα φορτία**

(EC1 EN1991-1-1:2002 Πιν.6.10)

Γωνία στέγης	$\alpha = 9.46^\circ$
Επιβεβλημένο φορτίο (κατηγορία H)	$q_k = 0.50$ kN/m ²
Φορτίο στέγης ανά πλαίσιο	$q_k \cdot s = 0.50 \times 6.000 = 3.00$ kN/m

Φορτίο Qk (Επιβεβλημένο φορτίο)**4.3. Φορτία χιονιού σύμφωνα με**

(EC1 EN1991-1-3:2003)

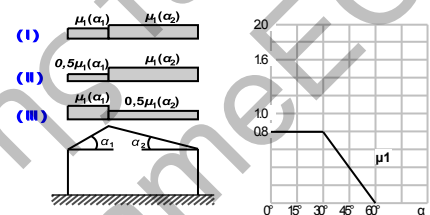
Φορτίο χιονιού επί του εδάφους

(EN1991-1-3 §4, Παράρτημα C)

Χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού επί εδάφους: $s_k = 0.800 \text{ kN/m}^2$ **Φορτίο χιονιού σε στέγη**

(EC1 EN1991-1-3:2003, §5,)

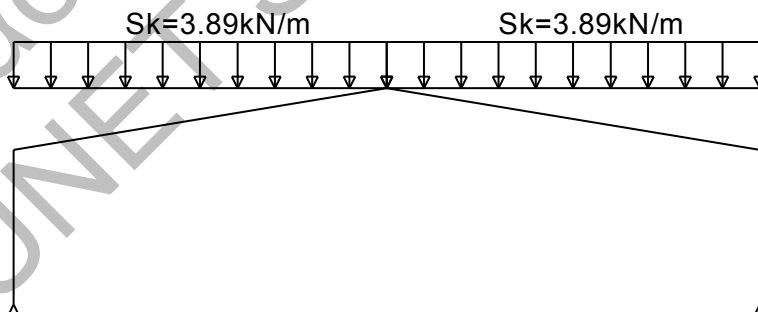
Δικλινείς στέγη (EC1-1-3 §5.3.3))

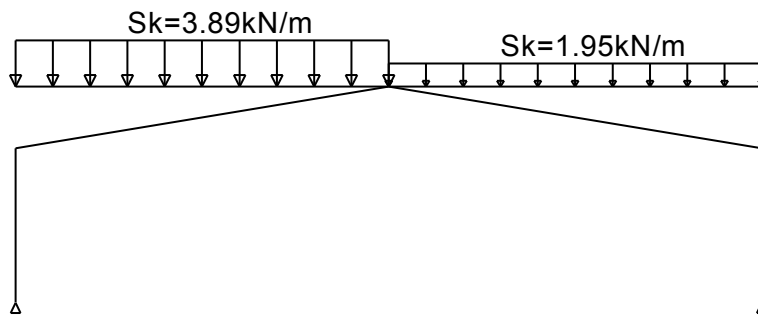
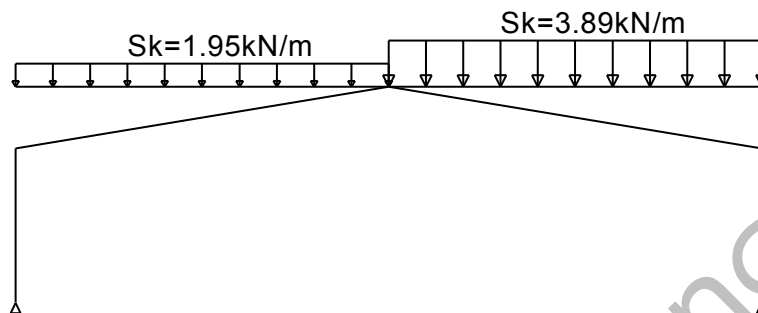
Γωνία κλίσης στέγης : $\alpha_1 = 9.462^\circ$ Γωνία κλίσης στέγης : $\alpha_2 = 9.462^\circ$ Συντελεστής έκθεσης : $C_e = 1.000$ (EC1-1-3 §5.2(7))Συντελεστής θερμότητας : $C_t = 1.000$ (EC1-1-3 §5.2(8))Συντελεστής μορφής $\mu_1(\alpha_1) = \mu_1(\alpha_2) = 0.800$ (EC1-1-3 T.5.2)) $S(\alpha_1) = \mu_1(\alpha_1) \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0.800 \times 1.000 \times 1.000 \times 0.800 = 0.640 \text{ kN/m}^2$ $S(\alpha_2) = \mu_1(\alpha_2) \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0.800 \times 1.000 \times 1.000 \times 0.800 = 0.640 \text{ kN/m}^2$ **Φορτίου χιονιού**

(EC1 EN1991-1-3:2003, §5.2, §5.3.3)

Περιπτώσεις φόρτισης (I) , $S(\text{Αριστ}) = S(\alpha_1) = 0.640 \text{ kN/m}^2$, $S(\text{Δεξιά}) = S(\alpha_2) = 0.640 \text{ kN/m}^2$ Περιπτώσεις φόρτισης (II) , $S(\text{Αριστ}) = 0.5 \times S(\alpha_1) = 0.320 \text{ kN/m}^2$, $S(\text{Δεξιά}) = S(\alpha_2) = 0.640 \text{ kN/m}^2$ Περιπτώσεις φόρτισης (III) , $S(\text{Αριστ}) = S(\alpha_1) = 0.640 \text{ kN/m}^2$, $S(\text{Δεξιά}) = 0.5 \times S(\alpha_2) = 0.320 \text{ kN/m}^2$ **4.4. Φορτίο χιονιού ανά πλαίσιο**

(EC1 EN1991-1-3:2003)

Φορτίο χιονιού επί του εδάφους $s_k = 0.800 \text{ kN/m}^2$ Φορτίο χιονιού σε στέγη $S_k = 0.8 \times 0.800 \times 1.00 \times 1.00 = 0.640 \text{ kN/m}^2$ Απόσταση μεταξύ πλαισίων $s = 6.000 \text{ m}$ Φορτίο χιονιού ανά πλαίσιο $S_{k1} = 0.640 \times 6.000 / \cos 9.46^\circ = 3.89 \text{ kN/m}$ $S_{k2} = 0.5 \times 0.640 \times 6.000 / \cos 9.46^\circ = 1.95 \text{ kN/m}$ Περιπτώσεις φόρτισης (I) $S_{k1} = 3.89 \text{ kN/m}$, $S_{k2} = 3.89 \text{ kN/m}$ Περιπτώσεις φόρτισης (II) $S_{k1} = 3.89 \text{ kN/m}$, $S_{k2} = 1.95 \text{ kN/m}$ Περιπτώσεις φόρτισης (III) $S_{k1} = 1.95 \text{ kN/m}$, $S_{k2} = 3.89 \text{ kN/m}$ **Φορτίο Qs1** (Φορτίο χιονιού)

Φορτίο Qs2 (Φορτίο χιονιού)**Φορτίο Qs3** (Φορτίο χιονιού)**4.5. Φορτίο ανέμου**

(EC1 EN1991-1-4:2005)

Επίδραση εδάφους

(EN1991-1-4, §4.3.2, Παράρτημα Α)

Κατηγορία εδάφους : 0

(EN1991-1-4, Πιν. 4.1)

Θάλασσα, παράκτιες περιοχές εκτεθειμένες σε ανοιχτή θάλασσα

Συντελεστής τραχύτητας $C_r(z)$

(EN1991-1-4, §4.3.2)

Κατηγορία εδάφους: 0, $z=7.000\text{m}$, $z_0=0.003\text{m}$, $z_{\min}=1\text{m}$, $z_{\max}=200\text{m}$, $z_{0II}=0.050\text{m}$ $k_r=0.19 \cdot (0.003/0.05)^{0.07}=0.156$, $C_r(z)=k_r \cdot \ln(z/z_0)=0.156 \times \ln(7.000/0.003)=1.210$ Συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης $C_o(z)$

(EN1991-1-4, §4.3.3)

 $C_o(z)=0.000$

(EN1991-1-4, §4.3.3)

Συντελεστής στροβιλισμού K_t

(EN1991-1-4, §4.4)

 $K_t=1.000$ Συντελεστής έκθεσης $C_e(z)$

(EN1991-1-4, §4.5)

Κατηγορία εδάφους : 0

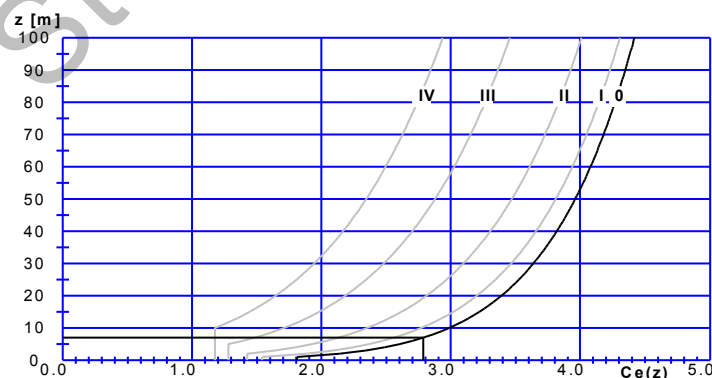
(EN1991-1-4, Πιν. 4.1)

 $z=7.00\text{ m}$, $k_r=0.156$, $l_v(z)=0.129$, C_e (EN1991-1-4, Εξ. Α.4.8, Εξ. Α.4.7, Εξ. Α.4.4, Εξ. Α.4.3)**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)

 $V_b=22.73\text{m/sec}$ $z=7.000\text{m}$ $C_r(z)=1.210$ $C_o(z)=0.000$ $K_t=1.000$ $C_e(z)=2.786$

$$\begin{aligned}
 q(z) &= C_e(z) \cdot (1/2 \rho) \cdot V_b^2 \\
 &= C_e(z) \times 0.625 \times 22.73^2 \\
 &= 0.900 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$



Δυνάμεις ανέμου σε δίκλινη στέγη, κατεύθυνση ανέμου: 0.00

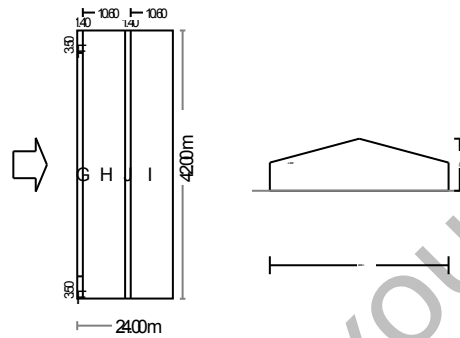
(EN1991-1-4, §7.2.5)

Συντελεστές πίεσης ανέμου C_{pe}

(EN1991-1-4, Πιν. 7.4a)

κατεύθυνση ανέμου: $\theta=0.00$ $b=42.00\text{m}$, $d=24.00\text{m}$, $h=7.00\text{m}$, $e=\min(b, 2h)=14.00\text{m}$ $e/4=3.50\text{m}$, $e/10=1.40\text{m}$, $e/2=7.00\text{m}$ Γωνία στέγης: $\alpha=9.462$

Ζώνη : F, A= 4.97m², $C_{pe,10}=-1.34$, $C_{pe,1}=-2.28$
 Ζώνη : F, A= 4.97m², $C_{pe,10}=+0.09$, $C_{pe,1}=+0.09$
 Ζώνη : G, A= 49.68m², $C_{pe,10}=-1.02$, $C_{pe,1}=-1.78$
 Ζώνη : G, A= 49.68m², $C_{pe,10}=+0.09$, $C_{pe,1}=+0.09$
 Ζώνη : H, A= 451.34m², $C_{pe,10}=-0.47$, $C_{pe,1}=-0.80$
 Ζώνη : H, A= 451.34m², $C_{pe,10}=+0.09$, $C_{pe,1}=+0.09$
 Ζώνη : I, A= 451.34m², $C_{pe,10}=-0.51$, $C_{pe,1}=-0.51$
 Ζώνη : I, A= 451.34m², $C_{pe,10}=-0.33$, $C_{pe,1}=-0.33$
 Ζώνη : J, A= 59.61m², $C_{pe,10}=-0.34$, $C_{pe,1}=-0.56$
 Ζώνη : J, A= 59.61m², $C_{pe,10}=-0.33$, $C_{pe,1}=-0.33$

Πίεσης ανέμου σε επιφάνειες στέγης $w_e=q(z) \cdot C_{pe}=0.900 \times C_{pe}$ [kN/m²]

(EN1991-1-4, 5.1)

F		G		H		I		J	
$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$
-1.209	-2.049	-0.919	-1.599	-0.420	-0.719	-0.460	-0.460	-0.302	-0.503
+0.080	+0.080	+0.080	+0.080	+0.080	+0.080	-0.299	-0.299	-0.299	-0.299

Δυνάμεις ανέμου σε κατακόρυφους τοίχους

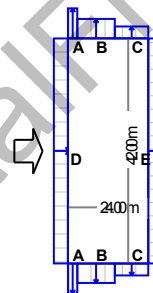
(EN1991-1-4, §7.2.2)

Συντελεστές πίεσης ανέμου C_{pe}

(EN1991-1-4, Πιν. 7.1)

 $h/d=5.00/24.00=0.208$, $e=10.00\text{m}$

Ζώνη : A, (2.00xh), $C_{pe,10}=-1.20$, $C_{pe,1}=-1.40$
 Ζώνη : B, (8.00xh), $C_{pe,10}=-0.80$, $C_{pe,1}=-1.10$
 Ζώνη : C, (14.00xh), $C_{pe,10}=-0.50$, $C_{pe,1}=-0.50$
 Ζώνη : D, (42.00xh), $C_{pe,10}=+0.70$, $C_{pe,1}=+1.00$
 Ζώνη : E, (42.00xh), $C_{pe,10}=-0.30$, $C_{pe,1}=-0.30$

Πίεσης ανέμου σε επιφάνειες τοίχων $w_e=q(z) \cdot C_{pe}$ [kN/m²]

(EN1991-1-4, 5.1)

A		B		C		D		E	
$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$
-1.080	-1.260	-0.720	-0.990	-0.450	-0.450	0.630	0.900	-0.270	-0.270

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

 $s= 6.000 \text{ m}$

Αριστερά υποστυλώμα

 $Wk1= 0.630 \times 6.000= 3.78 \text{ kN/m}$, $Wk1= 0.630 \times 6.000= 3.78 \text{ kN/m}$

Αριστερά ζύγωμα

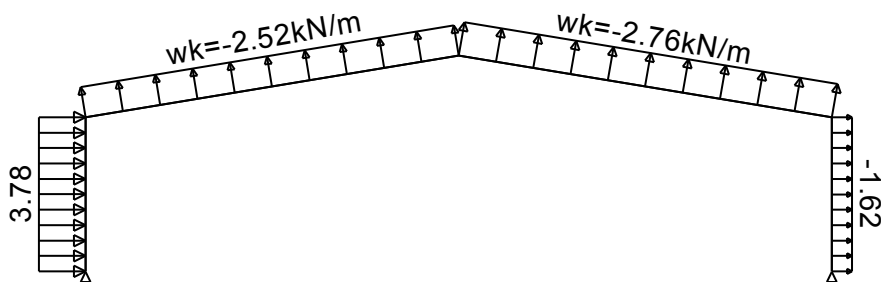
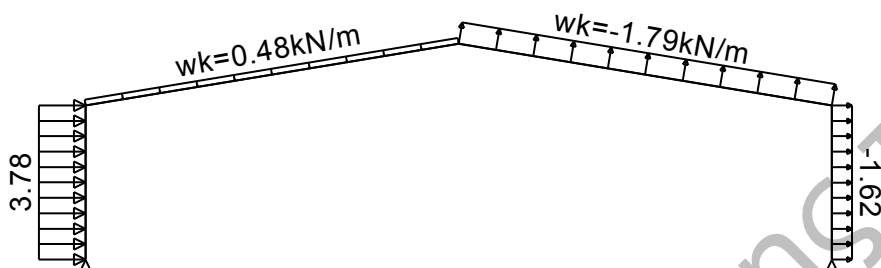
 $Wk2=-0.420 \times 6.000= -2.52 \text{ kN/m}$, $Wk2= 0.080 \times 6.000= 0.48 \text{ kN/m}$

Δεξιά ζύγωμα

 $Wk3=-0.460 \times 6.000= -2.76 \text{ kN/m}$, $Wk3=-0.299 \times 6.000= -1.79 \text{ kN/m}$

Δεξιά υποστυλώμα

 $Wk4=-0.270 \times 6.000= -1.62 \text{ kN/m}$, $Wk4=-0.270 \times 6.000= -1.62 \text{ kN/m}$

Φορτίο Qw1 (Φορτίο ανέμου)**Φορτίο Qw2 (Φορτίο ανέμου)****4.7. Σεισμικό φορτίο**

(EC8 EN1998-1-1:2004, §3)

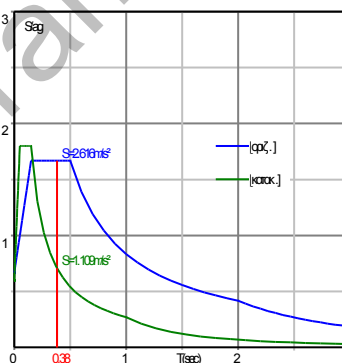
Οριζόντια σεισμική επιτάχυνση (§3.2.2.2)
 Κατακόρ./οριζ. σεισμική επιτάχυνση (§3.2.2.3)
 Συντ. σπουδαιότητας κτιρίου (§3.2.1, T.4.3)
 Συντ. θεμελίωσης [οριζ.] (§3.2.2.2)
 Συντ. συμπεριφοράς [οριζ.] (§3.2.2.5)
 Συντ. συμπεριφοράς [κατακ.]
 Συντ. φασματικής μορφής [οριζ.] (§3.2.2.5)
 Συντ. φασματικής μορφής [κατακ.] (§3.2.2.3)
 Διορθωτικός συντελεστής (§4.3.3.2.2.1)
 Κατανομή φορτίων $\zeta = z_i W_i / \sum z_j W_j$ (§4.3.3.2.3)
 Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος (§4.3.3.2.2.3)
 Συντελεστής συνδυασμού δράσεων χιονιού (EC0 T.A1.1)
 Χαρακτηριστικές περίοδοι φάσματος [οριζ.]
 Χαρακτηριστικές περίοδοι φάσματος [κατακ.]
 $S_d(T_1=0.38s) = 0.160 \times 1.00 \times 1.00 \times [2.50/1.50] = 2.616 \text{ m/s}^2$
 $S_v(T_1=0.38s) = 0.90 \times 0.160 \times 1.00 \times [(3.00/1.50) \times (0.15/0.382)] = 1.109 \text{ m/s}^2$

$a_{gr}/g = 0.10$
 $a_{vg}/a_{gr} = 0.90$
 $\gamma_i = 1.00$
 $S = 1.00$
 $q = 1.50$
 $q_v = 1.50$
 $\beta_h(T) = 2.50$
 $\beta_v(T) = 3.00$
 $\lambda = 1.00$
 $\zeta = 1.50$
 $(\text{sec}) = 0.38$
 $\psi_2 = 0.20$

$T_b = 0.15 \text{ sec}, T_c = 0.50 \text{ sec}, T_d = 2.00 \text{ sec}$
 $T_b = 0.05 \text{ sec}, T_c = 0.15 \text{ sec}, T_d = 1.00 \text{ sec}$

(EC8 §3.2.2.5(4), Εξ.3.13)

(EC8 §3.2.2.5(5))



5. Τιμές σχεδιασμού δράσεων

(EN1990 NA Greece ELOT EN, §6.4, §6.5)

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	$Q_w \psi_0=0.60, \psi_1=0.20, \psi_2=0.00$

5.2. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) (ΕQU)

$$E_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{k2} \quad (\text{Εξ. 6.10})$$

$\gamma_{G, \text{sup}}=1.10$ (Δυσμενής)
 $\gamma_{G, \text{inf}}=0.90$ (Ευνοϊκή)
 $\gamma_Q = 1.50$ (Δυσμενής)
 $\gamma_Q = 0.00$ (Ευνοϊκή)

Συνδυασμοί φορτίων (ULS) (ΕQU),**Μόνιμο φορτίο G_k , Επιβεβλημένο φορτίο Q_k , φορτίο Χιονιού Q_{s1}, Q_{s2}, Q_{s3} , φορτίο Ανέμου Q_{w1}, Q_{w2}**

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:	$1.10G_k+1.50Q_{s2}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 104:	$1.10G_k+1.50Q_{s3}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 105:	$1.10G_k+1.50Q_{w1}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 106:	$1.10G_k+1.50Q_{w2}$	(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:	$1.10G_k+1.50Q_{s1}+0.60 \times 1.50Q_{w2} = 1.10 \times G_k + 1.50Q_{s1} + 0.90Q_{w2}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 123:	$1.10G_k+1.50Q_{s2}+0.60 \times 1.50Q_{w1} = 1.10 \times G_k + 1.50Q_{s2} + 0.90Q_{w1}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 124:	$1.10G_k+1.50Q_{s2}+0.60 \times 1.50Q_{w2} = 1.10 \times G_k + 1.50Q_{s2} + 0.90Q_{w2}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 125:	$1.10G_k+1.50Q_{s3}+0.60 \times 1.50Q_{w1} = 1.10 \times G_k + 1.50Q_{s3} + 0.90Q_{w1}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 126:	$1.10G_k+1.50Q_{s3}+0.60 \times 1.50Q_{w2} = 1.10 \times G_k + 1.50Q_{s3} + 0.90Q_{w2}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 127:	$1.10G_k+1.50Q_{w1}+0.50 \times 1.50Q_{s1} = 1.10 \times G_k + 1.50Q_{w1} + 0.75Q_{s1}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 128:	$1.10G_k+1.50Q_{w1}+0.50 \times 1.50Q_{s2} = 1.10 \times G_k + 1.50Q_{w1} + 0.75Q_{s2}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 129:	$1.10G_k+1.50Q_{w1}+0.50 \times 1.50Q_{s3} = 1.10 \times G_k + 1.50Q_{w1} + 0.75Q_{s3}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 130:	$1.10G_k+1.50Q_{w2}+0.50 \times 1.50Q_{s1} = 1.10 \times G_k + 1.50Q_{w2} + 0.75Q_{s1}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 131:	$1.10G_k+1.50Q_{w2}+0.50 \times 1.50Q_{s2} = 1.10 \times G_k + 1.50Q_{w2} + 0.75Q_{s2}$	(Εξ. 6.10)
Σ.Φ. 132:	$1.10G_k+1.50Q_{w2}+0.50 \times 1.50Q_{s3} = 1.10 \times G_k + 1.50Q_{w2} + 0.75Q_{s3}$	(Εξ. 6.10)

5.3. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) (STR)

$$E_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{k1} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{k2} \quad (\text{Εξ. 6.10a})$$

$$E_d = \xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{k2} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\gamma_{G, \text{sup}} = 1.35 \quad (\text{Δυσμενής})$$

$$\gamma_{G, \text{inf}} = 1.00 \quad (\text{Ευνοϊκή})$$

$$\gamma_Q = 1.50 \quad (\text{Δυσμενής})$$

$$\gamma_Q = 0.00 \quad (\text{Ευνοϊκή})$$

$$\xi = 0.925, \quad \xi \cdot \gamma_G = 0.925 \times 1.35 = 1.25$$

Ευνδιασμοί φορτίων (ULS) (STR),

Μόνιμο φορτίο G_k , Επιβεβλημένο φορτίο Q_k , φορτίο Χιονιού Q_{s1}, Q_{s2}, Q_{s3} , φορτίο Ανέμου Q_{w1}, Q_{w2}

$$\Sigma. \Phi. 201: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_k = 1.25 G_k + 1.50 Q_k \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 202: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{s1} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{s1} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 203: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{s2} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{s2} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 204: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{s3} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{s3} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 205: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{w1} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 206: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{w2} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 210: 1.00 G_k + 1.50 Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 231: 1.35 G_k + 1.50 \times 0.50 Q_{s1} + 1.50 \times 0.60 Q_{w1} = 1.35 G_k + 0.75 Q_{s1} + 0.90 Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.10a})$$

$$\Sigma. \Phi. 232: 1.35 G_k + 1.50 \times 0.50 Q_{s1} + 1.50 \times 0.60 Q_{w2} = 1.35 G_k + 0.75 Q_{s1} + 0.90 Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.10a})$$

$$\Sigma. \Phi. 233: 1.35 G_k + 1.50 \times 0.50 Q_{s2} + 1.50 \times 0.60 Q_{w1} = 1.35 G_k + 0.75 Q_{s2} + 0.90 Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.10a})$$

$$\Sigma. \Phi. 234: 1.35 G_k + 1.50 \times 0.50 Q_{s2} + 1.50 \times 0.60 Q_{w2} = 1.35 G_k + 0.75 Q_{s2} + 0.90 Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.10a})$$

$$\Sigma. \Phi. 235: 1.35 G_k + 1.50 \times 0.50 Q_{s3} + 1.50 \times 0.60 Q_{w1} = 1.35 G_k + 0.75 Q_{s3} + 0.90 Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.10a})$$

$$\Sigma. \Phi. 236: 1.35 G_k + 1.50 \times 0.50 Q_{s3} + 1.50 \times 0.60 Q_{w2} = 1.35 G_k + 0.75 Q_{s3} + 0.90 Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.10a})$$

$$\Sigma. \Phi. 251: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{s1} + 1.50 \times 0.60 Q_{w1} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{s1} + 0.90 Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 252: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{s1} + 1.50 \times 0.60 Q_{w2} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{s1} + 0.90 Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 253: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{s2} + 1.50 \times 0.60 Q_{w1} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{s2} + 0.90 Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 254: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{s2} + 1.50 \times 0.60 Q_{w2} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{s2} + 0.90 Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 255: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{s3} + 1.50 \times 0.60 Q_{w1} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{s3} + 0.90 Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 256: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{s3} + 1.50 \times 0.60 Q_{w2} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{s3} + 0.90 Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 257: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{w1} + 1.50 \times 0.50 Q_{s1} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{w1} + 0.75 Q_{s1} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 258: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{w1} + 1.50 \times 0.50 Q_{s2} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{w1} + 0.75 Q_{s2} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 259: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{w1} + 1.50 \times 0.50 Q_{s3} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{w1} + 0.75 Q_{s3} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 260: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{w2} + 1.50 \times 0.50 Q_{s1} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{w2} + 0.75 Q_{s1} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 261: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{w2} + 1.50 \times 0.50 Q_{s2} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{w2} + 0.75 Q_{s2} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

$$\Sigma. \Phi. 262: 0.925 \times 1.35 G_k + 1.50 Q_{w2} + 1.50 \times 0.50 Q_{s3} = 1.25 G_k + 1.50 Q_{w2} + 0.75 Q_{s3} \quad (\text{Εξ. 6.10b})$$

5.4. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

$$E_d = G_k + Q_{k1} + \psi_0 \cdot Q_{k2} + \psi_0 \cdot Q_{k3} \quad (\text{Χαρακτηριστικός συνδυασμός}) \quad (\text{Εξ. 6.14b})$$

$$E_d = G_k + \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_2 \cdot Q_{k2} + \psi_2 \cdot Q_{k3} \quad (\text{Συχνός συνδυασμός}) \quad (\text{Εξ. 6.15b})$$

$$E_d = G_k + \psi_2 \cdot Q_{k1} + \psi_2 \cdot Q_{k2} + \psi_2 \cdot Q_{k3} \quad (\text{Οιονεί-μόνιμος συνδυασμός}) \quad (\text{Εξ. 6.16b})$$

Συνδυασμοί φορτίων (SLS)

Μόνιμο φορτίο G_k , Επιβεβλημένο φορτίο Q_k , φορτίο Χιονιού Q_{s1}, Q_{s2}, Q_{s3} , φορτίο Ανέμου Q_{w1}, Q_{w2}

$$\Sigma. \Phi. 301: G_k + Q_k \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 302: G_k + Q_{s1} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 303: G_k + Q_{s2} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 304: G_k + Q_{s3} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 305: G_k + Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 306: G_k + Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 311: G + Q_{s1} + 0.60Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 312: G + Q_{s1} + 0.60Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 313: G + Q_{s2} + 0.60Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 314: G + Q_{s2} + 0.60Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 315: G + Q_{s3} + 0.60Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 316: G + Q_{s3} + 0.60Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 317: G + Q_{w1} + 0.50Q_{s1} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 318: G + Q_{w1} + 0.50Q_{s2} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 319: G + Q_{w1} + 0.50Q_{s3} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 320: G + Q_{w2} + 0.50Q_{s1} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 321: G + Q_{w2} + 0.50Q_{s2} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 322: G + Q_{w2} + 0.50Q_{s3} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

$$\Sigma. \Phi. 331: G + 0.50Q_{s1} + 0.30Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 332: G + 0.50Q_{s1} + 0.30Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 333: G + 0.50Q_{s2} + 0.30Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 334: G + 0.50Q_{s2} + 0.30Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 335: G + 0.50Q_{s3} + 0.30Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 336: G + 0.50Q_{s3} + 0.30Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 337: G + 0.20Q_{w1} + 0.00Q_{s1} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 338: G + 0.20Q_{w1} + 0.00Q_{s2} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 339: G + 0.20Q_{w1} + 0.00Q_{s3} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 340: G + 0.20Q_{w2} + 0.00Q_{s1} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 341: G + 0.20Q_{w2} + 0.00Q_{s2} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 342: G + 0.20Q_{w2} + 0.00Q_{s3} \quad (\text{Εξ. 6.15a})$$

$$\Sigma. \Phi. 351: G + 0.00Q_{s1} + 0.30Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.16a})$$

$$\Sigma. \Phi. 352: G + 0.00Q_{s1} + 0.30Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.16a})$$

$$\Sigma. \Phi. 353: G + 0.00Q_{s2} + 0.30Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.16a})$$

$$\Sigma. \Phi. 354: G + 0.00Q_{s2} + 0.30Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.16a})$$

$$\Sigma. \Phi. 355: G + 0.00Q_{s3} + 0.30Q_{w1} \quad (\text{Εξ. 6.16a})$$

$$\Sigma. \Phi. 356: G + 0.00Q_{s3} + 0.30Q_{w2} \quad (\text{Εξ. 6.16a})$$

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 , Σεισμικά φορτία A_{ed}

$$\Sigma. \Phi. 601: G_k + 0.20Q_{s1} + A_{ed} \quad (\text{Εξ. 6.14a})$$

5.6. Σύνοψη συνδυασμών φορτίσεων

Μόνιμο φορτίο Q_k, Επίβραβημένο φορτίο Q_k, φορτίο Χιονιού Q_{s1}, Q_{s2}, Q_{s3}, φορτίο Ανέμου Q_{w1}, Q_{w2}

1	Σ.Φ.	101	(ULS) (EQU)	1.10Gk+1.50Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
2	Σ.Φ.	102	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+1.50Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
3	Σ.Φ.	103	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.50Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
4	Σ.Φ.	104	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+1.50Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
5	Σ.Φ.	105	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+1.50Qw1+0.00Qw2
6	Σ.Φ.	106	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+1.50Qw2
7	Σ.Φ.	111	(ULS) (EQU)	0.90Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+1.50Qw1+0.00Qw2
8	Σ.Φ.	121	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+1.50Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.90Qw1+0.00Qw2
9	Σ.Φ.	122	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+1.50Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.90Qw2
10	Σ.Φ.	123	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.50Qs2+0.00Qs3+0.90Qw1+0.00Qw2
11	Σ.Φ.	124	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.50Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.90Qw2
12	Σ.Φ.	125	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+1.50Qs3+0.90Qw1+0.00Qw2
13	Σ.Φ.	126	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+1.50Qs3+0.00Qw1+0.90Qw2
14	Σ.Φ.	127	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.75Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+1.50Qw1+0.00Qw2
15	Σ.Φ.	128	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.75Qs2+0.00Qs3+1.50Qw1+0.00Qw2
16	Σ.Φ.	129	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.75Qs3+1.50Qw1+0.00Qw2
17	Σ.Φ.	130	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.75Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+1.50Qw2
18	Σ.Φ.	131	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.75Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+1.50Qw2
19	Σ.Φ.	132	(ULS) (EQU)	1.10Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.75Qs3+0.00Qw1+1.50Qw2
20	Σ.Φ.	201	(ULS) (STR)	1.25Gk+1.50Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
21	Σ.Φ.	202	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+1.50Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
22	Σ.Φ.	203	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.50Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
23	Σ.Φ.	204	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+1.50Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
24	Σ.Φ.	205	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+1.50Qw1+0.00Qw2
25	Σ.Φ.	206	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+1.50Qw2
26	Σ.Φ.	210	(ULS) (STR)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+1.50Qw1+0.00Qw2
27	Σ.Φ.	231	(ULS) (STR)	1.35Gk+0.00Qk+0.75Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.90Qw1+0.00Qw2
28	Σ.Φ.	232	(ULS) (STR)	1.35Gk+0.00Qk+0.75Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.90Qw2
29	Σ.Φ.	233	(ULS) (STR)	1.35Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.75Qs2+0.00Qs3+0.90Qw1+0.00Qw2
30	Σ.Φ.	234	(ULS) (STR)	1.35Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.75Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.90Qw2
31	Σ.Φ.	235	(ULS) (STR)	1.35Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.75Qs3+0.90Qw1+0.00Qw2
32	Σ.Φ.	236	(ULS) (STR)	1.35Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.75Qs3+0.00Qw1+0.90Qw2
33	Σ.Φ.	251	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+1.50Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.90Qw1+0.00Qw2
34	Σ.Φ.	252	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+1.50Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.90Qw2
35	Σ.Φ.	253	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.50Qs2+0.00Qs3+0.90Qw1+0.00Qw2
36	Σ.Φ.	254	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.50Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.90Qw2
37	Σ.Φ.	255	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+1.50Qs3+0.90Qw1+0.00Qw2
38	Σ.Φ.	256	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+1.50Qs3+0.00Qw1+0.90Qw2
39	Σ.Φ.	257	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.75Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+1.50Qw1+0.00Qw2
40	Σ.Φ.	258	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.75Qs2+0.00Qs3+1.50Qw1+0.00Qw2
41	Σ.Φ.	259	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.75Qs3+1.50Qw1+0.00Qw2
42	Σ.Φ.	260	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.75Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+1.50Qw2
43	Σ.Φ.	261	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.75Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+1.50Qw2
44	Σ.Φ.	262	(ULS) (STR)	1.25Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.75Qs3+0.00Qw1+1.50Qw2
45	Σ.Φ.	301	(SLS)	1.00Gk+1.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
46	Σ.Φ.	302	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+1.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
47	Σ.Φ.	303	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
48	Σ.Φ.	304	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+1.00Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2
49	Σ.Φ.	305	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+1.00Qw1+0.00Qw2
50	Σ.Φ.	306	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+1.00Qw2
51	Σ.Φ.	311	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+1.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.60Qw1+0.00Qw2
52	Σ.Φ.	312	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+1.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.60Qw2
53	Σ.Φ.	313	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.00Qs2+0.00Qs3+0.60Qw1+0.00Qw2
54	Σ.Φ.	314	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+1.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.60Qw2
55	Σ.Φ.	315	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+1.00Qs3+0.60Qw1+0.00Qw2
56	Σ.Φ.	316	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+1.00Qs3+0.00Qw1+0.60Qw2
57	Σ.Φ.	317	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.50Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+1.00Qw1+0.00Qw2
58	Σ.Φ.	318	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.50Qs2+0.00Qs3+1.00Qw1+0.00Qw2
59	Σ.Φ.	319	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.50Qs3+1.00Qw1+0.00Qw2
60	Σ.Φ.	320	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.50Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+1.00Qw2
61	Σ.Φ.	321	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.50Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+1.00Qw2
62	Σ.Φ.	322	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.50Qs3+0.00Qw1+1.00Qw2
63	Σ.Φ.	331	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.50Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.30Qw1+0.00Qw2
64	Σ.Φ.	332	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.50Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.30Qw2
65	Σ.Φ.	333	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.50Qs2+0.00Qs3+0.30Qw1+0.00Qw2
66	Σ.Φ.	334	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.50Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.30Qw2
67	Σ.Φ.	335	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.50Qs3+0.30Qw1+0.00Qw2
68	Σ.Φ.	336	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.50Qs3+0.00Qw1+0.30Qw2
69	Σ.Φ.	337	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.20Qw1+0.00Qw2
70	Σ.Φ.	338	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.20Qw1+0.00Qw2
71	Σ.Φ.	339	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.20Qw1+0.00Qw2
72	Σ.Φ.	340	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.20Qw2
73	Σ.Φ.	341	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.20Qw2
74	Σ.Φ.	342	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.20Qw2
75	Σ.Φ.	351	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.30Qw1+0.00Qw2
76	Σ.Φ.	352	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.30Qw2
77	Σ.Φ.	353	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.30Qw1+0.00Qw2
78	Σ.Φ.	354	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.30Qw2
79	Σ.Φ.	355	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.30Qw1+0.00Qw2
80	Σ.Φ.	356	(SLS)	1.00Gk+0.00Qk+0.00Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.30Qw2
81	Σ.Φ.	601	(SESM)	1.00Gk+0.00Qk+0.20Qs1+0.00Qs2+0.00Qs3+0.00Qw1+0.00Qw2 + Aed

6. Διατομές

6.1. Διατομή υποστυλωμάτων

Χαρακτηριστικά διατομών

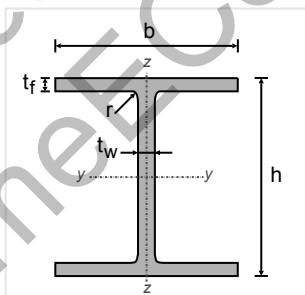
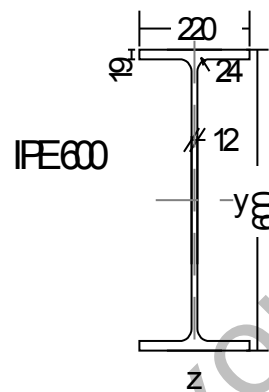
Διατομή IPE 600-S 355

Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h=	600.00	mm
Πλάτος διατομής	b=	220.00	mm
Υψος κορμού	hw=	581.00	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	Iy=920.80x10 ⁶	mm ⁴	Iz=33.870x10 ⁶	mm ⁴		
Ελαστική ροπή αντίστασης	Wy=3069.0x10 ³	mm ³	Wz=307.90x10 ³	mm ³		
Πλαστική ροπή αντίστασης	Wpy=3512.0x10 ³	mm ³	Wpz=485.60x10 ³	mm ³		
Ακτίνα αδρανείας	iy=	243.0	mm	iz=	46.6	mm
Επιφάνεια διάτμησης	Avz=	8380	mm ²	Avy=	8360	mm ²
Σταθερά στρέψης	It=	1.654x10 ⁶	mm ⁴	ip=	247	mm
Σταθερά στρέβλωσης	Iw=	2845.5x10 ⁹	mm ⁶			



6.2. Διατομή ζυγωμάτων

Χαρακτηριστικά διατομών

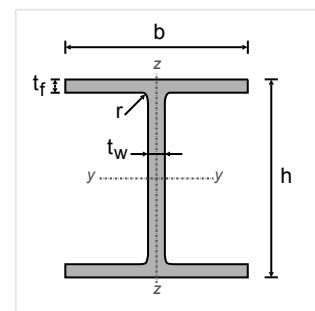
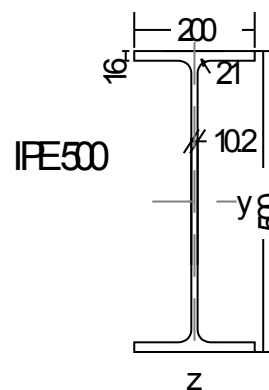
Διατομή IPE 500-S 355

Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	h=	500.00	mm
Πλάτος διατομής	b=	200.00	mm
Υψος κορμού	hw=	484.00	mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	dw=	426.00	mm
Πάχος κορμού	tw=	10.20	mm
Πάχος πέλματος	tf=	16.00	mm
Ακτίνα συναρμογής	r=	21.00	mm
Μάζα	=	90.70	Kg/m

Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A=	11550	mm ²	
Ροπή αδρανείας	Iy=	482.00x10 ⁶	mm ⁴	Iz=21.420x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	Wy=	1928.0x10 ³	mm ³	Wz=214.20x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	Wpy=	2194.0x10 ³	mm ³	Wpz=335.90x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	iy=	204.3	mm	iz= 43.1 mm
Επιφάνεια διάτμησης	Avz=	5985	mm ²	Avy= 6400 mm ²
Σταθερά στρέψης	It=	0.893x10 ⁶	mm ⁴	ip= 209 mm
Σταθερά στρέβλωσης	Iw=	1249.4x10 ⁹	mm ⁶	



6.3. Διατομή ενίσχυσης στο τέλος της ενίσχυσης**Χαρακτηριστικά διατομών**

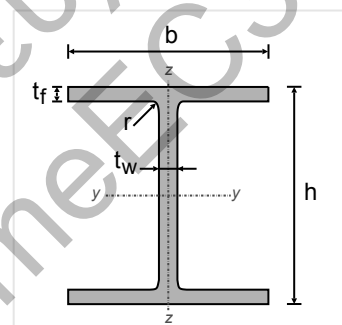
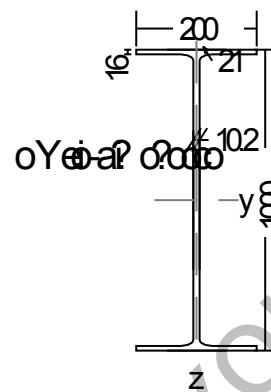
Συγκολλητή διατομή

Διατομή τέλος-ενίσχυσης-S 355**Διαστάσεις διατομής**

Υψος διατομής	h= 1000.00 mm
Πλάτος διατομής	b= 200.00 mm
Υψος κορμού	hw= 984.00 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	dw= 908.60 mm
Πάχος κορμού	tw= 10.20 mm
Πάχος πέλματος	tf= 16.00 mm
Ακτίνα συναρμογής	r= 21.00 mm
Μάζα	= 127.83 Kg/m

Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A= 16274 mm ²	
Ροπή αδρανείας	Iy=2320.3x10 ⁶ mm ⁴	Iz=21.419x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	Wy=4640.7x10 ³ mm ³	Wz=214.19x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	Wpy=5538.2x10 ³ mm ³	Wpz=345.18x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	iy= 377.6 mm	iz= 36.3 mm
Επιφάνεια διάτμησης	Avz= 10037 mm ²	Avy= 6400 mm ²
Σταθερά στρέψης	It= 0.879x10 ⁶ mm ⁴	ip= 379 mm
Σταθερά στρέβλωσης	Iw=5164.0x10 ⁹ mm ⁶	
Πλάτος συγκόλλησης	a= 21.0x10 ⁹ mm	

**6.4. Διατομή ενίσχυσης στο μέσο της ενίσχυσης****Χαρακτηριστικά διατομών**

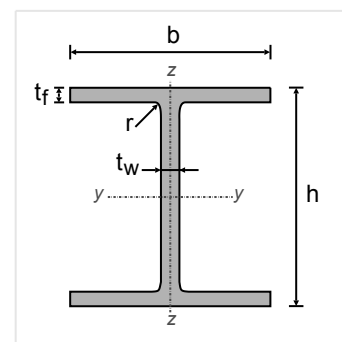
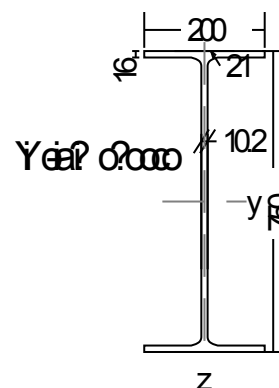
Συγκολλητή διατομή

Διατομή μέσο-ενίσχυσης-S 355**Διαστάσεις διατομής**

Υψος διατομής	h= 750.00 mm
Πλάτος διατομής	b= 200.00 mm
Υψος κορμού	hw= 734.00 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	dw= 658.60 mm
Πάχος κορμού	tw= 10.20 mm
Πάχος πέλματος	tf= 16.00 mm
Ακτίνα συναρμογής	r= 21.00 mm
Μάζα	= 107.80 Kg/m

Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	A= 13724 mm ²	
Ροπή αδρανείας	Iy=1176.8x10 ⁶ mm ⁴	Iz=21.397x10 ⁶ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	Wy=3138.1x10 ³ mm ³	Wz=213.97x10 ³ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	Wpy=3663.4x10 ³ mm ³	Wpz=338.68x10 ³ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	iy= 292.8 mm	iz= 39.5 mm
Επιφάνεια διάτμησης	Avz= 7487 mm ²	Avy= 6400 mm ²
Σταθερά στρέψης	It= 0.790x10 ⁶ mm ⁴	ip= 295 mm
Σταθερά στρέβλωσης	Iw=2873.4x10 ⁹ mm ⁶	
Πλάτος συγκόλλησης	a= 21.0x10 ⁹ mm	



7. 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 ζυγωμάτων με υποστυλώματα και ζυγωμάτων μεταξύ τους θεωρήθηκαν άκαμπτες. Η αύξηση ακαμψίας ζυγωμάτων λόγω ενισχύσεων ελήφθη υπόψη στο μοντέλο κατασκευής. Οι καθολικές και τοπικές ατέλειες πλαισίων 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.

7.1. Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ελαστική ανάλυση**Κόμβοι κατασκευής**

Κόμβος	x [mm]	y [mm]
1	0	0
2	0	5000
3	12000	7000
4	24000	5000
5	24000	0

Στηρίξεις κατασκευής

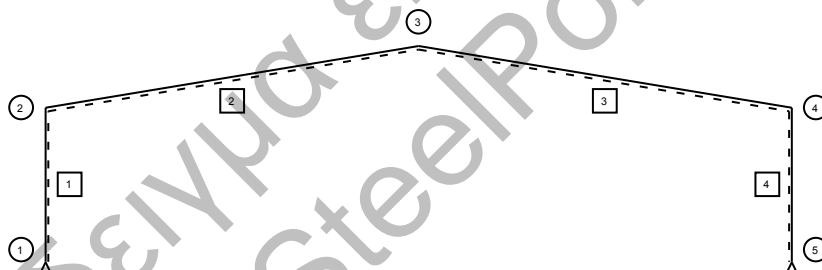
Κόμβος	είδος	ux [mm]	uy [mm]	ur [rad]
1	άρθρωση δx=δy=0			
5	άρθρωση δx=δy=0			

Στοιχεία κατασκευής

Στοιχ.	κόμβ.-1	κόμβ.-2	μήκος (mm)	γωνία (°)	E (GPa)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
1	1	2	5000	90.00	210	15600	920800×10 ³
2	2	3	12166	9.46	210	11550	482000×10 ³
3	3	4	12166	350.54	210	11550	482000×10 ³
4	4	5	5000	270.00	210	15600	920800×10 ³

Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων (FEM)

Ελαστική γραμμική ανάλυση



8. Αποτελέσματα στατικής ελαστικής γραμμικής ανάλυσης**8.1. Μετατοπίσεις [mm]**

Σ.Φ.	Οριζον. μετατ. Υποστ. Dx mm	Κατακ. μετατ. Κορυφής Dy mm	Καμπτικό βέλος ζυγώματος w mm
101 ULS-EQU	7.890	49.477	3.969
102 ULS-EQU	9.370	58.758	4.714
103 ULS-EQU	11.321	48.643	4.714
104 ULS-EQU	11.321	48.643	4.714
105 ULS-EQU	6.204	11.521	0.864
106 ULS-EQU	6.765	9.337	1.875
111 ULS-EQU	6.734	14.848	1.131
121 ULS-EQU	9.043	40.867	3.437
122 ULS-EQU	11.679	53.382	4.958
123 ULS-EQU	10.995	30.752	3.437
124 ULS-EQU	13.630	43.267	4.958
125 ULS-EQU	5.849	30.752	3.315
126 ULS-EQU	7.224	43.267	3.804
127 ULS-EQU	5.599	8.709	0.963
128 ULS-EQU	6.575	3.652	0.963
129 ULS-EQU	3.010	3.652	0.759
130 ULS-EQU	9.991	29.568	3.498
131 ULS-EQU	10.967	24.510	3.498
132 ULS-EQU	7.402	24.510	2.686
201 ULS-STR	8.288	51.973	4.169
202 ULS-STR	9.768	61.254	4.914
203 ULS-STR	11.719	51.138	4.914
204 ULS-STR	11.719	51.138	4.914
205 ULS-STR	5.806	9.026	0.664
206 ULS-STR	7.163	11.832	2.075
210 ULS-STR	6.469	13.185	0.997
231 ULS-STR	6.480	24.795	2.147
232 ULS-STR	9.115	37.310	3.668
233 ULS-STR	7.456	19.738	2.147
234 ULS-STR	10.091	32.253	3.668
235 ULS-STR	3.891	19.738	2.025
236 ULS-STR	6.527	32.253	2.857
251 ULS-STR	9.441	43.362	3.637
252 ULS-STR	12.077	55.877	5.158
253 ULS-STR	11.392	33.247	3.637
254 ULS-STR	14.028	45.762	5.158
255 ULS-STR	6.246	33.247	3.515
256 ULS-STR	7.622	45.762	4.004
257 ULS-STR	5.997	11.204	1.163
258 ULS-STR	6.973	6.147	1.163
259 ULS-STR	3.408	6.147	0.959
260 ULS-STR	10.389	32.063	3.698
261 ULS-STR	11.365	27.005	3.698
262 ULS-STR	7.800	27.005	2.887
301 SLS	5.967	37.421	3.002
302 SLS	6.954	43.608	3.498
303 SLS	8.255	36.865	3.498
304 SLS	8.255	36.864	3.498
305 SLS	3.429	3.245	0.220
306 SLS	5.217	10.660	1.606
311 SLS	6.736	31.681	2.647
312 SLS	8.493	40.024	3.661
313 SLS	8.037	24.937	2.647
314 SLS	9.794	33.280	3.661
315 SLS	4.606	24.937	2.566
316 SLS	5.523	33.280	2.891
317 SLS	4.440	10.242	0.998
318 SLS	5.090	6.870	0.998
319 SLS	2.714	6.870	0.862
320 SLS	7.368	24.147	2.688
321 SLS	8.018	20.776	2.688
322 SLS	5.642	20.776	2.147
331 SLS	4.694	24.157	1.991
332 SLS	5.573	28.329	2.498
333 SLS	5.345	20.786	1.991
334 SLS	6.223	24.957	2.498
335 SLS	3.629	20.786	1.950
336 SLS	4.088	24.957	2.113
337 SLS	2.580	12.658	1.050
338 SLS	2.580	12.658	1.050
339 SLS	2.580	12.658	1.050
340 SLS	3.165	15.439	1.388
341 SLS	3.165	15.439	1.388
342 SLS	3.165	15.439	1.388
351 SLS	2.543	10.670	0.909
352 SLS	3.422	14.842	1.416
353 SLS	2.543	10.670	0.909
354 SLS	3.422	14.842	1.416
355 SLS	2.543	10.670	0.909
356 SLS	3.422	14.842	1.416

8.2. 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
101	ULS-EQU	59.2	93.5	0.0	-59.2	93.5	0.0
102	ULS-EQU	70.3	109.8	0.0	-70.3	109.8	0.0
103	ULS-EQU	58.2	100.9	0.0	-58.2	83.1	0.0
104	ULS-EQU	58.2	83.1	0.0	-58.2	100.9	0.0
105	ULS-EQU	-31.0	-9.2	0.0	3.3	-8.3	0.0
106	ULS-EQU	-2.9	37.2	0.0	-18.6	16.6	0.0
111	ULS-EQU	-35.0	-16.2	0.0	7.3	-15.4	0.0
121	ULS-EQU	38.6	81.0	0.0	-55.2	81.5	0.0
122	ULS-EQU	55.4	108.8	0.0	-68.3	96.5	0.0
123	ULS-EQU	26.5	72.1	0.0	-43.1	54.9	0.0
124	ULS-EQU	43.3	99.9	0.0	-56.2	69.9	0.0
125	ULS-EQU	26.5	54.4	0.0	-43.1	72.6	0.0
126	ULS-EQU	43.3	82.2	0.0	-56.2	87.6	0.0
127	ULS-EQU	-6.8	26.3	0.0	-20.9	27.2	0.0
128	ULS-EQU	-12.8	21.9	0.0	-14.8	13.9	0.0
129	ULS-EQU	-12.8	13.0	0.0	-14.8	22.7	0.0
130	ULS-EQU	21.3	72.7	0.0	-42.8	52.2	0.0
131	ULS-EQU	15.2	68.2	0.0	-36.7	38.8	0.0
132	ULS-EQU	15.2	59.4	0.0	-36.7	47.7	0.0
201	ULS-STR	62.2	98.7	0.0	-62.2	98.7	0.0
202	ULS-STR	73.3	115.0	0.0	-73.3	115.0	0.0
203	ULS-STR	61.2	106.2	0.0	-61.2	88.4	0.0
204	ULS-STR	61.2	88.4	0.0	-61.2	106.2	0.0
205	ULS-STR	-28.0	-3.9	0.0	0.4	-3.1	0.0
206	ULS-STR	0.1	42.4	0.0	-21.6	21.9	0.0
210	ULS-STR	-33.0	-12.7	0.0	5.3	-11.9	0.0
231	ULS-STR	19.4	54.3	0.0	-35.9	54.8	0.0
232	ULS-STR	36.2	82.1	0.0	-49.1	69.8	0.0
233	ULS-STR	13.3	49.9	0.0	-29.9	41.5	0.0
234	ULS-STR	30.1	77.7	0.0	-43.0	56.5	0.0
235	ULS-STR	13.3	41.0	0.0	-29.9	50.4	0.0
236	ULS-STR	30.1	68.8	0.0	-43.0	65.4	0.0
251	ULS-STR	41.6	86.3	0.0	-58.1	86.8	0.0
252	ULS-STR	58.4	114.1	0.0	-71.3	101.8	0.0
253	ULS-STR	29.5	77.4	0.0	-46.0	60.2	0.0
254	ULS-STR	46.3	105.2	0.0	-59.2	75.2	0.0
255	ULS-STR	29.5	59.7	0.0	-46.0	77.9	0.0
256	ULS-STR	46.3	87.5	0.0	-59.2	92.9	0.0
257	ULS-STR	-3.8	31.6	0.0	-23.8	32.5	0.0
258	ULS-STR	-9.8	27.2	0.0	-17.8	19.1	0.0
259	ULS-STR	-9.8	18.3	0.0	-17.8	28.0	0.0
260	ULS-STR	24.3	78.0	0.0	-45.8	57.4	0.0
261	ULS-STR	18.2	73.5	0.0	-39.7	44.1	0.0
262	ULS-STR	18.2	64.6	0.0	-39.7	53.0	0.0
301	SLS	44.8	71.7	0.0	-44.8	71.7	0.0
302	SLS	52.2	82.6	0.0	-52.2	82.6	0.0
303	SLS	44.1	76.6	0.0	-44.1	64.8	0.0
304	SLS	44.1	64.8	0.0	-44.1	76.6	0.0
305	SLS	-15.3	3.3	0.0	-3.1	3.8	0.0
306	SLS	3.4	34.2	0.0	-17.7	20.5	0.0
311	SLS	31.0	63.4	0.0	-42.1	63.7	0.0
312	SLS	42.2	81.9	0.0	-50.9	73.7	0.0
313	SLS	23.0	57.5	0.0	-34.0	46.0	0.0
314	SLS	34.2	76.0	0.0	-42.8	56.0	0.0
315	SLS	23.0	45.6	0.0	-34.0	57.8	0.0
316	SLS	34.2	64.2	0.0	-42.8	67.8	0.0
317	SLS	0.8	26.9	0.0	-19.2	27.5	0.0
318	SLS	-3.2	24.0	0.0	-15.2	18.6	0.0
319	SLS	-3.2	18.1	0.0	-15.2	24.5	0.0
320	SLS	19.5	57.8	0.0	-33.8	44.2	0.0
321	SLS	15.5	54.9	0.0	-29.8	35.3	0.0
322	SLS	15.5	49.0	0.0	-29.8	41.2	0.0
331	SLS	25.5	49.3	0.0	-31.0	49.5	0.0
332	SLS	31.1	58.6	0.0	-35.4	54.5	0.0
333	SLS	21.4	46.3	0.0	-27.0	40.6	0.0
334	SLS	27.0	55.6	0.0	-31.3	45.6	0.0
335	SLS	21.4	40.4	0.0	-27.0	46.5	0.0
336	SLS	27.0	49.7	0.0	-31.3	51.5	0.0
337	SLS	12.9	28.8	0.0	-16.5	28.9	0.0
338	SLS	12.9	28.8	0.0	-16.5	28.9	0.0
339	SLS	12.9	28.8	0.0	-16.5	28.9	0.0
340	SLS	16.6	35.0	0.0	-19.5	32.3	0.0
341	SLS	16.6	35.0	0.0	-19.5	32.3	0.0
342	SLS	16.6	35.0	0.0	-19.5	32.3	0.0
351	SLS	9.3	25.6	0.0	-14.9	25.8	0.0
352	SLS	14.9	34.9	0.0	-19.2	30.8	0.0
353	SLS	9.3	25.6	0.0	-14.9	25.8	0.0
354	SLS	14.9	34.9	0.0	-19.2	30.8	0.0
355	SLS	9.3	25.6	0.0	-14.9	25.8	0.0
356	SLS	14.9	34.9	0.0	-19.2	30.8	0.0

8.3. Αξονικές δυνάμεις Ned [kN]

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλίου Ned,1	Αριστερά ζύγωμα 2 Ned,2	Δεξιά ζύγωμα 3 Ned,3	Δεξιά υποστυλίου 4 Ned,4
101 ULS-EQU	-90.2	-65.5	-65.5	-90.2
102 ULS-EQU	-106.5	-77.8	-77.8	-106.5
103 ULS-EQU	-97.6	-64.4	-64.4	-79.8
104 ULS-EQU	-79.8	-64.4	-64.4	-97.6
105 ULS-EQU	12.5	0.4	0.2	11.6
106 ULS-EQU	-33.9	-26.0	-22.7	-13.3
111 ULS-EQU	18.9	4.8	4.6	18.1
121 ULS-EQU	-77.7	-63.1	-63.1	-78.2
122 ULS-EQU	-105.5	-78.9	-76.9	-93.2
123 ULS-EQU	-68.8	-49.7	-49.7	-51.6
124 ULS-EQU	-96.6	-65.5	-63.5	-66.6
125 ULS-EQU	-51.1	-49.7	-49.7	-69.3
126 ULS-EQU	-78.9	-65.5	-63.5	-84.3
127 ULS-EQU	-23.0	-26.4	-26.6	-23.9
128 ULS-EQU	-18.6	-19.7	-19.9	-10.6
129 ULS-EQU	-9.7	-19.7	-19.9	-19.4
130 ULS-EQU	-69.4	-52.8	-49.5	-48.9
131 ULS-EQU	-64.9	-46.1	-42.8	-35.5
132 ULS-EQU	-56.1	-46.1	-42.8	-44.4
201 ULS-STR	-95.0	-68.8	-68.8	-95.0
202 ULS-STR	-111.3	-81.1	-81.1	-111.3
203 ULS-STR	-102.4	-67.7	-67.7	-84.6
204 ULS-STR	-84.6	-67.7	-67.7	-102.4
205 ULS-STR	7.7	-2.9	-3.1	6.8
206 ULS-STR	-38.7	-29.3	-26.0	-18.2
210 ULS-STR	15.7	2.6	2.4	14.9
231 ULS-STR	-50.2	-41.8	-41.9	-50.8
232 ULS-STR	-78.1	-57.6	-55.6	-65.7
233 ULS-STR	-45.8	-35.1	-35.2	-37.4
234 ULS-STR	-73.6	-50.9	-48.9	-52.4
235 ULS-STR	-36.9	-35.1	-35.2	-46.3
236 ULS-STR	-64.7	-50.9	-48.9	-61.3
251 ULS-STR	-82.5	-66.4	-66.5	-83.1
252 ULS-STR	-110.4	-82.2	-80.2	-98.0
253 ULS-STR	-73.7	-53.0	-53.1	-56.4
254 ULS-STR	-101.5	-68.8	-66.8	-71.4
255 ULS-STR	-55.9	-53.0	-53.1	-74.2
256 ULS-STR	-83.7	-68.8	-66.8	-89.2
257 ULS-STR	-27.9	-29.7	-29.9	-28.7
258 ULS-STR	-23.4	-23.0	-23.2	-15.4
259 ULS-STR	-14.5	-23.0	-23.2	-24.3
260 ULS-STR	-74.2	-56.1	-52.8	-53.7
261 ULS-STR	-69.8	-49.4	-46.1	-40.4
262 ULS-STR	-60.9	-49.4	-46.1	-49.3
301 SLS	-68.7	-49.6	-49.6	-68.7
302 SLS	-79.6	-57.8	-57.8	-79.6
303 SLS	-73.6	-48.8	-48.8	-61.8
304 SLS	-61.8	-48.8	-48.8	-73.6
305 SLS	-0.3	-5.6	-5.7	-0.8
306 SLS	-31.2	-23.2	-21.0	-17.5
311 SLS	-60.4	-47.9	-48.0	-60.7
312 SLS	-78.9	-58.5	-57.1	-70.7
313 SLS	-54.5	-39.0	-39.0	-43.0
314 SLS	-73.0	-49.5	-48.2	-53.0
315 SLS	-42.6	-39.0	-39.0	-54.8
316 SLS	-61.2	-49.5	-48.2	-64.8
317 SLS	-23.9	-23.5	-23.6	-24.5
318 SLS	-21.0	-19.0	-19.1	-15.6
319 SLS	-15.1	-19.0	-19.1	-21.5
320 SLS	-54.8	-41.1	-38.8	-41.2
321 SLS	-51.9	-36.6	-34.4	-32.3
322 SLS	-46.0	-36.6	-34.4	-38.2
331 SLS	-46.3	-35.0	-35.0	-46.5
332 SLS	-55.6	-40.3	-39.6	-51.5
333 SLS	-43.3	-30.5	-30.5	-37.6
334 SLS	-52.6	-35.8	-35.1	-42.6
335 SLS	-37.4	-30.5	-30.5	-43.5
336 SLS	-46.7	-35.8	-35.1	-48.5
337 SLS	-25.8	-18.7	-18.8	-25.9
338 SLS	-25.8	-18.7	-18.8	-25.9
339 SLS	-25.8	-18.7	-18.8	-25.9
340 SLS	-32.0	-22.3	-21.8	-29.3
341 SLS	-32.0	-22.3	-21.8	-29.3
342 SLS	-32.0	-22.3	-21.8	-29.3
351 SLS	-22.6	-17.1	-17.1	-22.8
352 SLS	-31.9	-22.4	-21.7	-27.8
353 SLS	-22.6	-17.1	-17.1	-22.8
354 SLS	-31.9	-22.4	-21.7	-27.8
355 SLS	-22.6	-17.1	-17.1	-22.8
356 SLS	-31.9	-22.4	-21.7	-27.8

8.4. Διατμητικές δυνάμεις Ved [kN]

Σ.Φ.		Αριστερά υποστυλίου		Αριστερά ζύγωμα 2		Δεξιά ζύγωμα 3			Δεξιά υποστυλίου 4		
		VedA,1	VedB,1	VedA,2	VedB,2	VedA,3	VedC,3	VedB,3	VedA,4	VedB,4	
101	ULS-EQU	-59.2	-59.2	75.9	59.0	-9.7	9.7	-59.0	-75.9	59.2	59.2
102	ULS-EQU	-70.3	-70.3	90.2	70.1	-11.6	11.6	-70.1	-90.2	70.3	70.3
103	ULS-EQU	-58.2	-58.2	83.4	63.4	-18.3	0.8	-52.7	-65.9	58.2	58.2
104	ULS-EQU	-58.2	-58.2	65.9	52.7	-0.8	18.3	-63.4	-83.4	58.2	58.2
105	ULS-EQU	31.0	2.6	-16.4	-13.6	-2.1	-3.1	11.9	15.5	-15.5	-3.3
106	ULS-EQU	2.9	-25.4	26.2	18.2	-14.3	-7.0	-3.4	-6.0	6.4	18.6
111	ULS-EQU	35.0	6.6	-21.5	-17.5	-1.5	-3.8	15.8	20.6	-19.5	-7.3
121	ULS-EQU	-38.6	-55.6	63.5	48.9	-10.7	7.5	-49.9	-64.0	47.9	55.2
122	ULS-EQU	-55.4	-72.4	89.1	68.0	-18.0	5.2	-60.7	-76.9	61.0	68.3
123	ULS-EQU	-26.5	-43.5	56.8	42.1	-17.4	-3.2	-32.5	-39.7	35.8	43.1
124	ULS-EQU	-43.3	-60.3	82.3	61.2	-24.7	-5.6	-43.4	-52.6	48.9	56.2
125	ULS-EQU	-26.5	-43.5	39.2	31.5	0.1	14.3	-43.1	-57.3	35.8	43.1
126	ULS-EQU	-43.3	-60.3	64.8	50.6	-7.2	12.0	-54.0	-70.2	48.9	56.2
127	ULS-EQU	6.8	-21.6	14.7	10.6	-6.1	0.9	-12.3	-15.5	8.7	20.9
128	ULS-EQU	12.8	-15.5	11.3	7.2	-9.5	-4.5	-1.8	-3.4	2.7	14.8
129	ULS-EQU	12.8	-15.5	2.5	1.9	-0.7	4.3	-8.9	-12.1	2.7	14.8
130	ULS-EQU	-21.3	-49.6	57.3	42.4	-18.2	-3.0	-30.3	-37.0	30.6	42.8
131	ULS-EQU	-15.2	-43.6	53.9	39.0	-21.6	-8.4	-21.6	-24.9	24.6	36.7
132	ULS-EQU	-15.2	-43.6	45.1	33.7	-12.9	0.3	-26.9	-33.6	24.6	36.7
201	ULS-STR	-62.2	-62.2	79.8	62.0	-10.2	10.2	-62.0	-79.8	62.2	62.2
202	ULS-STR	-73.3	-73.3	94.0	73.1	-12.0	12.0	-73.1	-94.0	73.3	73.3
203	ULS-STR	-61.2	-61.2	87.3	66.3	-18.8	1.3	-55.7	-69.7	61.2	61.2
204	ULS-STR	-61.2	-61.2	69.7	55.7	-1.3	18.8	-66.3	-87.3	61.2	61.2
205	ULS-STR	28.0	-0.4	-12.5	-10.6	-2.6	-2.6	8.9	11.7	-12.5	-0.4
206	ULS-STR	-0.1	-28.4	30.0	21.2	-14.8	-6.5	-9.2	-9.8	9.4	21.6
210	ULS-STR	33.0	4.6	-18.9	-15.5	-1.8	-3.4	13.8	18.1	-17.5	-5.3
231	ULS-STR	-19.4	-36.4	38.8	29.7	-7.5	4.4	-30.7	-39.3	28.6	35.9
232	ULS-STR	-36.2	-53.2	64.4	48.8	-14.8	2.0	-41.5	-52.3	41.8	49.1
233	ULS-STR	-13.3	-30.3	35.5	26.3	-10.9	-1.0	-22.0	-27.2	22.6	29.9
234	ULS-STR	-30.1	-47.1	61.0	45.4	-18.2	-3.4	-32.9	-40.1	35.7	43.0
235	ULS-STR	-13.3	-30.3	26.7	21.0	-2.1	7.8	-27.3	-36.0	22.6	29.9
236	ULS-STR	-30.1	-47.1	52.3	40.1	-9.4	5.4	-38.2	-48.9	35.7	43.0
251	ULS-STR	-41.6	-58.6	67.3	51.9	-11.2	8.0	-52.9	-67.8	50.9	58.1
252	ULS-STR	-58.4	-75.4	92.9	70.9	-18.4	5.7	-63.7	-80.8	64.0	71.3
253	ULS-STR	-29.5	-46.5	60.6	45.1	-17.9	-2.7	-35.5	-43.6	38.8	46.0
254	ULS-STR	-46.3	-63.3	86.1	64.2	-25.2	-5.1	-46.3	-56.5	51.9	59.2
255	ULS-STR	-29.5	-46.5	43.1	34.5	-0.4	14.8	-46.1	-61.1	38.8	46.0
256	ULS-STR	-46.3	-63.3	68.6	53.6	-7.7	12.4	-56.9	-74.0	51.9	59.2
257	ULS-STR	3.8	-24.6	18.5	13.6	-6.6	1.4	-15.3	-19.3	11.7	23.8
258	ULS-STR	9.8	-18.5	15.1	10.2	-10.0	-4.0	-6.6	-7.2	5.6	17.8
259	ULS-STR	9.8	-18.5	6.4	4.9	-1.2	4.7	-11.9	-16.0	5.6	17.8
260	ULS-STR	-24.3	-52.6	61.1	45.3	-18.7	-2.6	-33.3	-40.9	33.6	45.8
261	ULS-STR	-18.2	-46.6	57.7	42.0	-22.1	-7.9	-24.6	-28.7	27.6	39.7
262	ULS-STR	-18.2	-46.6	49.0	36.7	-13.4	0.8	-29.9	-37.5	27.6	39.7
301	SLS	-44.8	-44.8	57.4	44.7	-7.4	7.4	-44.7	-57.4	44.8	44.8
302	SLS	-52.2	-52.2	66.9	52.0	-8.6	8.6	-52.0	-66.9	52.2	52.2
303	SLS	-44.1	-44.1	62.4	47.5	-13.1	1.4	-40.5	-50.7	44.1	44.1
304	SLS	-44.1	-44.1	50.7	40.5	-1.4	13.1	-47.5	-62.4	44.1	44.1
305	SLS	15.3	-3.6	-4.1	-3.8	-2.3	-1.2	2.6	3.6	-5.0	3.1
306	SLS	-3.4	-22.3	24.3	17.4	-10.4	-3.8	-9.4	-10.8	9.6	17.7
311	SLS	-31.0	-42.4	49.2	37.9	-8.0	5.9	-38.6	-49.5	37.2	42.1
312	SLS	-42.2	-53.6	66.2	50.6	-12.8	4.3	-45.8	-58.1	46.0	50.9
313	SLS	-23.0	-34.3	44.6	33.4	-12.5	-1.3	-27.0	-33.3	29.2	34.0
314	SLS	-34.2	-45.5	61.7	46.1	-17.4	-2.8	-34.2	-41.9	37.9	42.8
315	SLS	-23.0	-34.3	33.0	26.3	-0.8	10.4	-34.0	-45.0	29.2	34.0
316	SLS	-34.2	-45.5	50.0	39.0	-5.7	8.8	-41.3	-53.6	37.9	42.8
317	SLS	-0.8	-19.7	16.6	12.3	-4.9	1.5	-13.5	-17.1	11.1	19.2
318	SLS	3.2	-15.7	14.3	10.1	-7.2	-2.1	-7.7	-9.1	7.1	15.2
319	SLS	3.2	-15.7	8.5	6.6	-1.4	3.7	-11.2	-14.9	7.1	15.2
320	SLS	-19.5	-38.4	45.0	33.5	-13.0	-1.2	-25.5	-31.5	25.7	33.8
321	SLS	-15.5	-34.4	42.7	31.3	-15.3	-4.7	-19.7	-23.4	21.7	29.8
322	SLS	-15.5	-34.4	36.9	27.7	-9.5	1.1	-23.3	-29.2	21.7	29.8
331	SLS	-25.5	-31.1	37.3	28.9	-5.6	4.6	-29.2	-37.5	28.6	31.0
332	SLS	-31.1	-36.7	45.9	35.2	-8.1	3.8	-32.8	-41.8	32.9	35.4
333	SLS	-21.4	-27.1	35.1	26.6	-7.9	1.0	-23.4	-29.4	24.5	27.0
334	SLS	-27.0	-32.7	43.6	33.0	-10.3	0.2	-27.0	-33.7	28.9	31.3
335	SLS	-21.4	-27.1	29.2	23.1	-2.0	6.8	-26.9	-35.3	24.5	27.0
336	SLS	-27.0	-32.7	37.8	29.4	-4.5	6.1	-30.6	-39.6	28.9	31.3
337	SLS	-12.9	-16.6	19.6	15.1	-3.1	2.4	-15.4	-19.7	14.9	16.5
338	SLS	-12.9	-16.6	19.6	15.1	-3.1	2.4	-15.4	-19.7	14.9	16.5
339	SLS	-12.9	-16.6	19.6	15.1	-3.1	2.4	-15.4	-19.7	14.9	16.5
340	SLS	-16.6	-20.4	25.3	19.4	-4.7	1.9	-17.8	-22.6	17.8	19.5
341	SLS	-16.6	-20.4	25.3	19.4	-4.7	1.9	-17.8	-22.6	17.8	19.5
342	SLS	-16.6	-20.4	25.3	19.4	-4.7	1.9	-17.8	-22.6	17.8	19.5
351	SLS	-9.3	-15.0	16.6	12.8	-3.0	1.9	-13.1	-16.8	12.4	14.9
352	SLS	-14.9	-20.6	25.2	19.1	-5.4	1.1	-16.7	-21.1	16.8	19.2
353	SLS	-9.3	-15.0	16.6	12.8	-3.0	1.9	-13.1	-16.8	12.4	14.9
354	SLS	-14.9	-20.6	25.2	19.1	-5.4	1.1	-16.7	-21.1	16.8	19.2
355	SLS	-9.3	-15.0	16.6	12.8	-3.0	1.9	-13.1	-16.8	12.4	14.9
356	SLS	-14.9	-20.6	25.2	19.1	-5.4	1.1	-16.7	-21.1	16.8	19.2

Α: αριστερό άκρο, C: τέλος ενίσχυσης, B: δεξί άκρο

8.5. Καμπτικές ροπές Med [kNm]

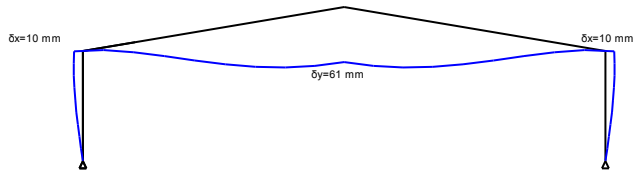
Σ.Φ.		Αριστερά υποστυλίου 1		Δεξιά υποστυλίου 4		
		MedA,1	MedB,1	MedA,4	MedB,4	
101	ULS-EQU	0.0	-148.0	-296.0	-148.0	0.0
102	ULS-EQU	0.0	-175.8	-351.5	-175.8	0.0
103	ULS-EQU	0.0	-145.5	-291.0	-145.5	0.0
104	ULS-EQU	0.0	-145.5	-291.0	-145.5	0.0
105	ULS-EQU	0.0	42.0	84.0	23.6	0.0
106	ULS-EQU	0.0	0.8	-62.6	-31.3	0.0
111	ULS-EQU	0.0	52.0	103.9	33.5	0.0
121	ULS-EQU	0.0	-117.7	-235.5	-128.8	0.0
122	ULS-EQU	0.0	-159.8	-319.6	-161.7	0.0
123	ULS-EQU	0.0	-87.5	-174.9	-98.5	0.0
124	ULS-EQU	0.0	-129.5	-259.1	-131.4	0.0
125	ULS-EQU	0.0	-87.5	-174.9	-98.5	0.0
126	ULS-EQU	0.0	-129.5	-259.1	-131.4	0.0
127	ULS-EQU	0.0	4.0	-73.9	-37.0	0.0
128	ULS-EQU	0.0	14.5	-43.7	-21.8	0.0
129	ULS-EQU	0.0	14.5	-43.7	-21.8	0.0
130	ULS-EQU	0.0	-88.6	-177.2	-91.8	0.0
131	ULS-EQU	0.0	-73.5	-153.3	-76.7	0.0
132	ULS-EQU	0.0	-73.5	-153.3	-76.7	0.0
201	ULS-STR	0.0	-155.5	-310.9	-155.5	0.0
202	ULS-STR	0.0	-183.2	-366.5	-183.2	0.0
203	ULS-STR	0.0	-153.0	-305.9	-153.0	0.0
204	ULS-STR	0.0	-153.0	-305.9	-153.0	0.0
205	ULS-STR	0.0	69.1	32.2	16.1	0.0
206	ULS-STR	0.0	-35.6	-71.1	-38.7	0.0
210	ULS-STR	0.0	47.0	57.1	28.5	0.0
231	ULS-STR	0.0	-69.6	-139.3	-80.7	0.0
232	ULS-STR	0.0	-111.7	-223.4	-113.6	0.0
233	ULS-STR	0.0	-54.5	-109.0	-65.6	0.0
234	ULS-STR	0.0	-96.6	-193.2	-98.5	0.0
235	ULS-STR	0.0	-54.5	-109.0	-65.6	0.0
236	ULS-STR	0.0	-96.6	-193.2	-98.5	0.0
251	ULS-STR	0.0	-125.2	-250.4	-136.3	0.0
252	ULS-STR	0.0	-167.3	-334.5	-169.2	0.0
253	ULS-STR	0.0	-94.9	-189.9	-106.0	0.0
254	ULS-STR	0.0	-137.0	-274.0	-138.9	0.0
255	ULS-STR	0.0	-94.9	-189.9	-106.0	0.0
256	ULS-STR	0.0	-137.0	-274.0	-138.9	0.0
257	ULS-STR	0.0	1.3	-88.9	-44.4	0.0
258	ULS-STR	0.0	8.5	-58.6	-29.3	0.0
259	ULS-STR	0.0	8.5	-58.6	-29.3	0.0
260	ULS-STR	0.0	-96.1	-192.2	-99.3	0.0
261	ULS-STR	0.0	-81.0	-161.9	-84.1	0.0
262	ULS-STR	0.0	-81.0	-161.9	-84.1	0.0
301	SLS	0.0	-111.9	-223.9	-111.9	0.0
302	SLS	0.0	-130.4	-260.9	-130.4	0.0
303	SLS	0.0	-110.3	-220.5	-110.3	0.0
304	SLS	0.0	-110.3	-220.5	-110.3	0.0
305	SLS	0.0	31.1	29.5	-2.9	0.0
306	SLS	0.0	-32.0	-64.0	-34.1	0.0
311	SLS	0.0	-91.8	-183.5	-99.1	0.0
312	SLS	0.0	-119.8	-239.6	-121.1	0.0
313	SLS	0.0	-71.6	-143.2	-79.0	0.0
314	SLS	0.0	-99.6	-199.2	-100.9	0.0
315	SLS	0.0	-71.6	-143.2	-79.0	0.0
316	SLS	0.0	-99.6	-199.2	-100.9	0.0
317	SLS	0.0	-25.6	-51.2	-37.9	0.0
318	SLS	0.0	1.4	-31.1	-27.8	0.0
319	SLS	0.0	1.4	-31.1	-27.8	0.0
320	SLS	0.0	-72.3	-144.7	-74.5	0.0
321	SLS	0.0	-62.3	-124.5	-64.4	0.0
322	SLS	0.0	-62.3	-124.5	-64.4	0.0
331	SLS	0.0	-70.8	-141.5	-74.4	0.0
332	SLS	0.0	-84.8	-169.5	-85.4	0.0
333	SLS	0.0	-60.7	-121.3	-64.4	0.0
334	SLS	0.0	-74.7	-149.4	-75.3	0.0
335	SLS	0.0	-60.7	-121.3	-64.4	0.0
336	SLS	0.0	-74.7	-149.4	-75.3	0.0
337	SLS	0.0	-36.9	-73.7	-39.3	0.0
338	SLS	0.0	-36.9	-73.7	-39.3	0.0
339	SLS	0.0	-36.9	-73.7	-39.3	0.0
340	SLS	0.0	-46.2	-92.4	-46.6	0.0
341	SLS	0.0	-46.2	-92.4	-46.6	0.0
342	SLS	0.0	-46.2	-92.4	-46.6	0.0
351	SLS	0.0	-30.4	-60.8	-34.1	0.0
352	SLS	0.0	-44.4	-88.8	-45.1	0.0
353	SLS	0.0	-30.4	-60.8	-34.1	0.0
354	SLS	0.0	-44.4	-88.8	-45.1	0.0
355	SLS	0.0	-30.4	-60.8	-34.1	0.0
356	SLS	0.0	-44.4	-88.8	-45.1	0.0

Α:αριστερό άκρο, Β δεξί άκρο

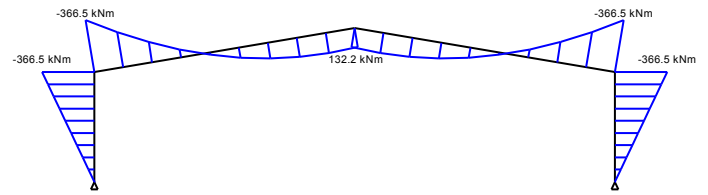
Σ.Φ.		Αριστερά ζύγωμα 2		MedB, 2	Δεξιά ζύγωμα 3		MedC3	MedB, 3
		MedA, 2	MedC2		MedA, 3	MedM, 3		
101	ULS-EQU	-296.0	-134.0	113.5	106.8	113.5	-134.0	-296.0
102	ULS-EQU	-351.5	-159.2	134.8	126.8	134.8	-159.2	-351.5
103	ULS-EQU	-291.0	-114.9	125.0	105.0	105.0	-148.6	-291.0
104	ULS-EQU	-291.0	-148.6	105.0	105.0	125.0	-114.9	-291.0
105	ULS-EQU	84.0	48.1	27.7	-28.5	-31.7	14.2	47.1
106	ULS-EQU	-56.2	-2.9	47.1	16.5	-23.0	-47.0	-62.6
111	ULS-EQU	103.9	57.1	34.1	-35.7	-39.2	23.2	67.0
121	ULS-EQU	-235.5	-100.6	95.3	86.0	90.8	-120.9	-257.6
122	ULS-EQU	-319.6	-131.2	131.3	113.0	115.0	-158.2	-323.4
123	ULS-EQU	-174.9	-56.3	89.1	64.2	-66.5	-110.4	-197.1
124	ULS-EQU	-259.1	-86.9	125.9	91.2	-85.9	-147.7	-262.9
125	ULS-EQU	-174.9	-90.1	-55.4	64.2	81.5	-76.6	-197.1
126	ULS-EQU	-259.1	-120.6	95.6	91.2	101.8	-113.9	-262.9
127	ULS-EQU	-37.0	-6.7	26.0	15.1	15.4	-40.6	-73.9
128	ULS-EQU	-6.8	15.4	30.6	4.2	-19.7	-34.2	-43.7
129	ULS-EQU	-6.8	-1.5	5.2	4.2	10.9	-18.4	-43.7
130	ULS-EQU	-177.2	-57.7	87.0	60.1	-61.7	-102.8	-183.6
131	ULS-EQU	-147.0	-35.5	86.9	49.2	-52.1	-97.5	-153.3
132	ULS-EQU	-147.0	-52.4	66.6	49.2	49.3	-80.7	-153.3
201	ULS-STR	-310.9	-140.8	119.2	112.1	119.2	-140.8	-310.9
202	ULS-STR	-366.5	-165.9	140.5	132.2	140.5	-165.9	-366.5
203	ULS-STR	-305.9	-121.6	130.7	110.3	110.5	-155.4	-305.9
204	ULS-STR	-305.9	-155.4	110.5	110.3	130.7	-121.6	-305.9
205	ULS-STR	69.1	41.3	23.0	-23.2	-26.1	7.5	32.2
206	ULS-STR	-71.1	-9.6	51.4	21.9	-27.8	-54.7	-77.5
210	ULS-STR	94.0	52.6	30.9	-32.1	-35.5	18.7	57.1
231	ULS-STR	-139.3	-57.0	58.7	51.3	54.0	-77.3	-161.4
232	ULS-STR	-223.4	-87.6	95.1	78.3	78.8	-114.7	-227.2
233	ULS-STR	-109.0	-34.9	56.0	40.4	-45.4	-72.1	-131.2
234	ULS-STR	-193.2	-65.5	92.8	67.4	-64.8	-109.4	-197.0
235	ULS-STR	-109.0	-51.8	41.3	40.4	48.8	-55.2	-131.2
236	ULS-STR	-193.2	-82.3	76.1	67.4	70.7	-92.5	-197.0
251	ULS-STR	-250.4	-107.3	101.0	91.4	96.5	-127.6	-272.5
252	ULS-STR	-334.5	-137.9	137.0	118.4	120.6	-165.0	-338.3
253	ULS-STR	-189.9	-63.1	94.5	69.5	-71.2	-117.1	-212.0
254	ULS-STR	-274.0	-93.6	131.3	96.6	-90.6	-154.5	-277.8
255	ULS-STR	-189.9	-96.8	69.6	69.5	87.1	-83.4	-212.0
256	ULS-STR	-274.0	-127.4	101.3	96.6	107.4	-120.7	-277.8
257	ULS-STR	-52.0	-13.5	31.0	20.5	21.1	-47.3	-88.9
258	ULS-STR	-21.7	8.6	33.7	9.6	-24.5	-42.1	-58.6
259	ULS-STR	-21.7	-8.2	10.8	9.6	16.2	-25.2	-58.6
260	ULS-STR	-192.2	-64.4	92.3	65.5	-66.5	-109.5	-198.5
261	ULS-STR	-161.9	-42.3	91.9	54.6	-56.8	-104.3	-168.3
262	ULS-STR	-161.9	-59.2	72.0	54.6	54.7	-87.4	-168.3
301	SLS	-223.9	-101.4	85.8	80.7	85.8	-101.4	-223.9
302	SLS	-260.9	-118.1	100.0	94.1	100.0	-118.1	-260.9
303	SLS	-220.5	-88.6	93.3	79.5	79.8	-111.1	-220.5
304	SLS	-220.5	-111.1	79.8	79.5	93.3	-88.6	-220.5
305	SLS	29.5	20.0	10.0	-9.5	-11.3	-2.5	4.9
306	SLS	-64.0	-13.9	39.5	20.6	-23.8	-44.0	-68.2
311	SLS	-183.5	-79.1	73.7	66.9	70.7	-92.6	-198.3
312	SLS	-239.6	-99.4	97.6	84.9	86.7	-117.5	-242.1
313	SLS	-143.2	-49.6	69.0	52.3	-52.8	-85.6	-157.9
314	SLS	-199.2	-69.9	93.5	70.3	-65.7	-110.5	-201.8
315	SLS	-143.2	-72.1	52.5	52.3	64.2	-63.1	-157.9
316	SLS	-199.2	-92.4	73.9	70.3	78.0	-88.0	-201.8
317	SLS	-51.2	-16.5	26.5	19.7	20.3	-39.1	-75.8
318	SLS	-31.1	-1.7	27.0	12.4	-21.6	-35.6	-55.6
319	SLS	-31.1	-13.0	13.5	12.4	16.9	-24.3	-55.6
320	SLS	-144.7	-50.5	67.5	49.7	-49.6	-80.5	-148.9
321	SLS	-124.5	-35.7	66.9	42.4	-43.2	-77.0	-128.8
322	SLS	-124.5	-47.0	54.1	42.4	42.6	-65.8	-128.8
331	SLS	-141.5	-62.1	55.9	51.4	54.4	-68.8	-148.9
332	SLS	-169.5	-72.2	67.7	60.4	62.3	-81.3	-170.8
333	SLS	-121.3	-47.3	52.9	44.1	44.3	-65.3	-128.7
334	SLS	-149.4	-57.5	65.1	53.1	53.1	-77.8	-150.6
335	SLS	-121.3	-58.5	44.9	44.1	50.9	-54.1	-128.7
336	SLS	-149.4	-68.7	56.0	53.1	58.0	-66.5	-150.6
337	SLS	-73.7	-32.0	29.4	26.8	28.4	-36.5	-78.6
338	SLS	-73.7	-32.0	29.4	26.8	28.4	-36.5	-78.6
339	SLS	-73.7	-32.0	29.4	26.8	28.4	-36.5	-78.6
340	SLS	-92.4	-38.8	37.3	32.8	33.7	-44.8	-93.2
341	SLS	-92.4	-38.8	37.3	32.8	33.7	-44.8	-93.2
342	SLS	-92.4	-38.8	37.3	32.8	33.7	-44.8	-93.2
351	SLS	-60.8	-25.5	25.0	22.3	23.5	-32.3	-68.2
352	SLS	-88.8	-35.7	37.1	31.3	31.6	-44.7	-90.1
353	SLS	-60.8	-25.5	25.0	22.3	23.5	-32.3	-68.2
354	SLS	-88.8	-35.7	37.1	31.3	31.6	-44.7	-90.1
355	SLS	-60.8	-25.5	25.0	22.3	23.5	-32.3	-68.2
356	SLS	-88.8	-35.7	37.1	31.3	31.6	-44.7	-90.1

Α: αριστερό άκρο, C: τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο

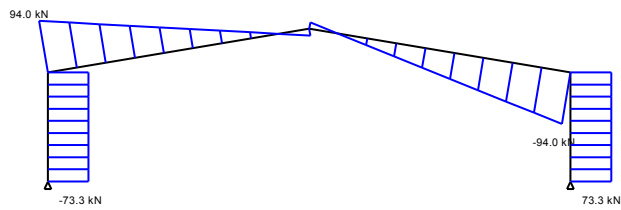
Σ.Φ. 202 Μετατοπίσεις mm



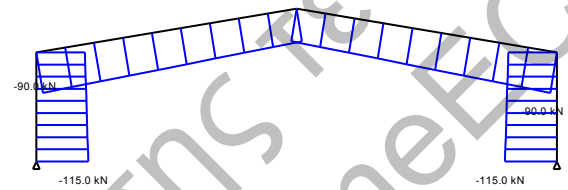
Σ.Φ. 202 Καμπ. ροπ. kNm



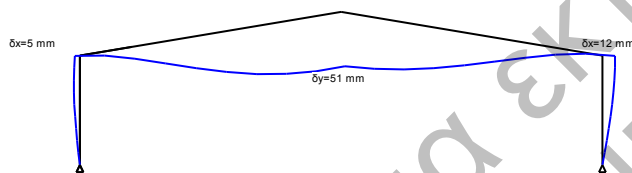
Σ.Φ. 202 Διατμ. δυν. kN



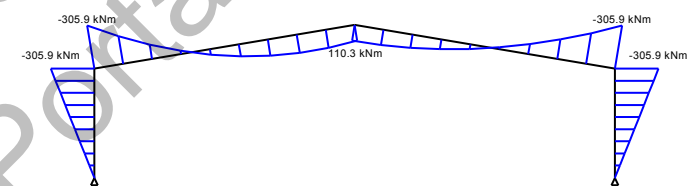
Σ.Φ. 202 Αξον. δυν. kN



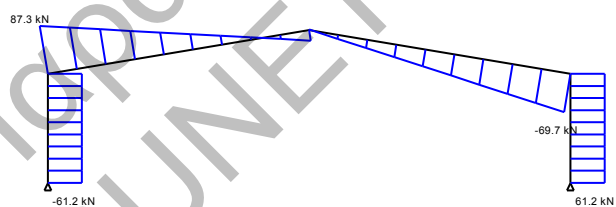
Σ.Φ. 203 Μετατοπίσεις mm



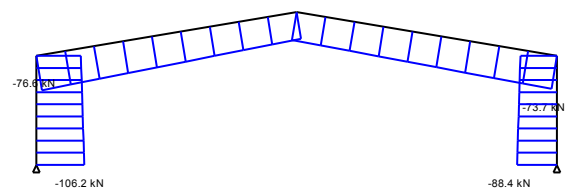
Σ.Φ. 203 Καμπ. ροπ. kNm



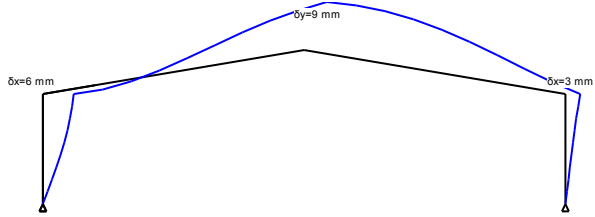
Σ.Φ. 203 Διατμ. δυν. kN



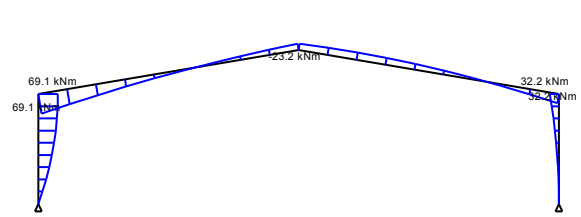
Σ.Φ. 203 Αξον. δυν. kN



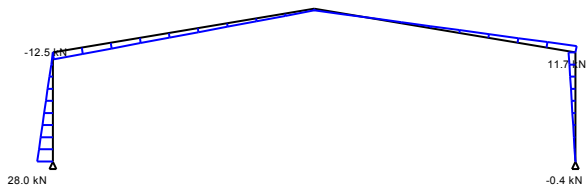
Σ.Φ. 205 Μετατοπίσεις mm



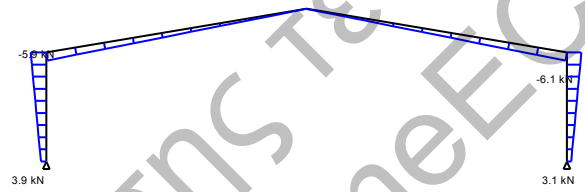
Σ.Φ. 205 Καμπ. ροπ. kNm



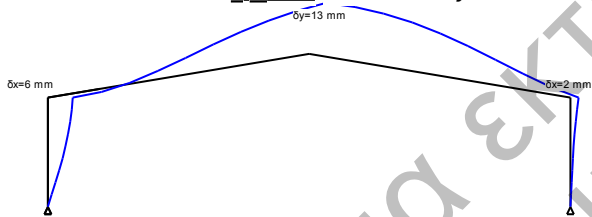
Σ.Φ. 205 Διατμ. δυν. kN



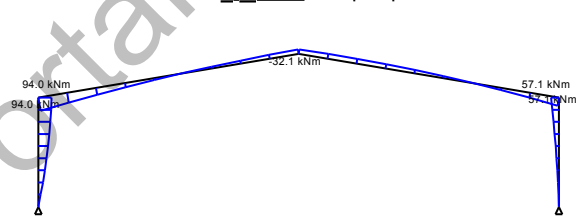
Σ.Φ. 205 Αξον. δυν. kN



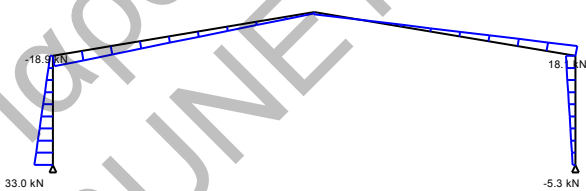
Σ.Φ. 210 Μετατοπίσεις mm



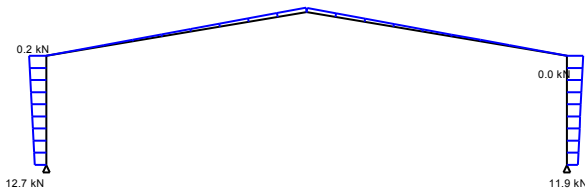
Σ.Φ. 210 Καμπ. ροπ. kNm

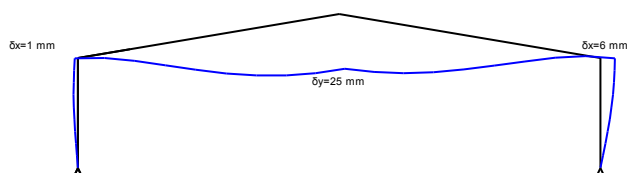
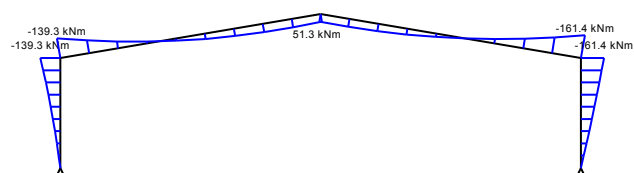
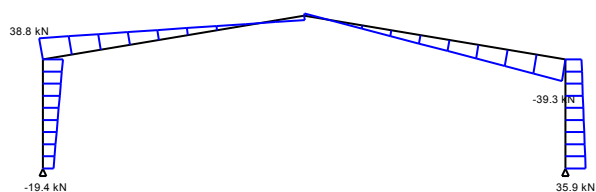
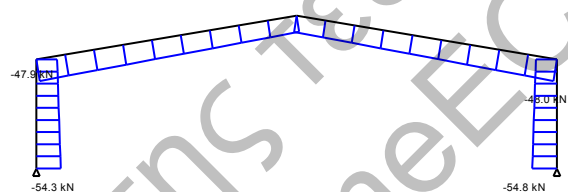
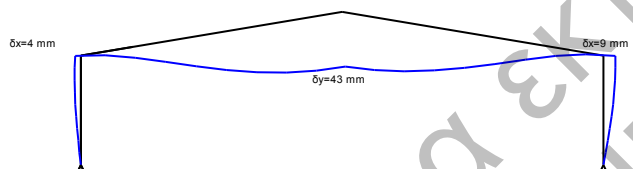
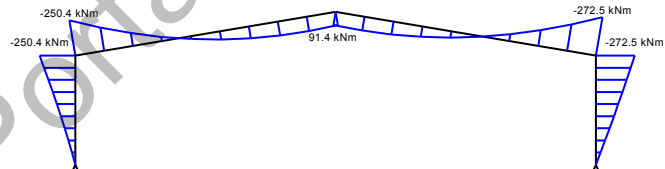
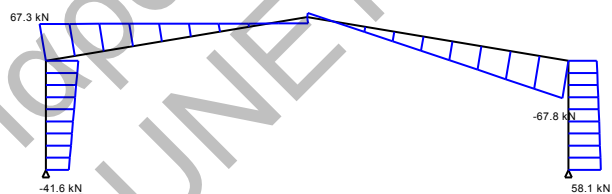
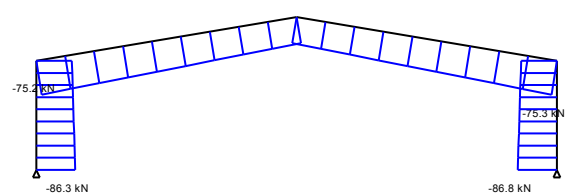


Σ.Φ. 210 Διατμ. δυν. kN

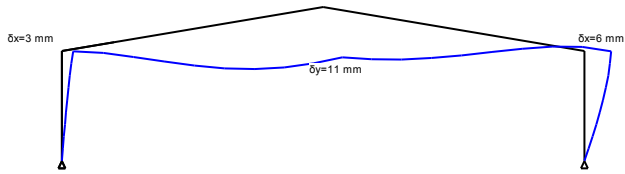


Σ.Φ. 210 Αξον. δυν. kN

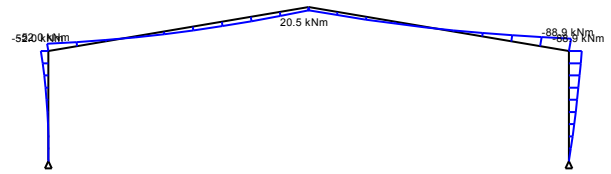


Σ.Φ. 231 Μετατοπίσεις mm**Σ.Φ. 231** Καμπ. ροπ. kNm**Σ.Φ. 231** Διατμ. δυν. kN**Σ.Φ. 231** Αξον. δυν. kN**Σ.Φ. 251** Μετατοπίσεις mm**Σ.Φ. 251** Καμπ. ροπ. kNm**Σ.Φ. 251** Διατμ. δυν. kN**Σ.Φ. 251** Αξον. δυν. kN

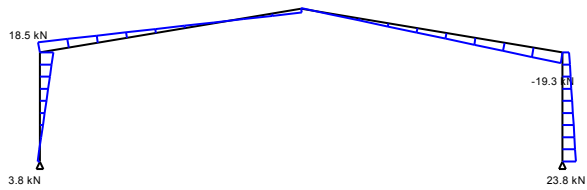
Σ.Φ. 257 Μετατοπίσεις mm



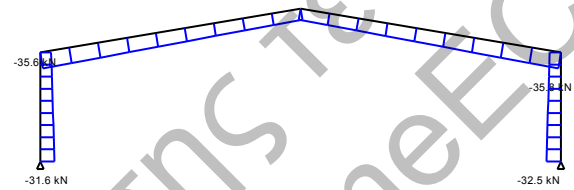
Σ.Φ. 257 Καμπ. ροτ. kNm



Σ.Φ. 257 Διατμ. δυν. kN



Σ.Φ. 257 Αξον. δυν. kN



9. Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης**9.1. Ιδιοσυχνότητες και ιδιομορφίες της κατασκευής**

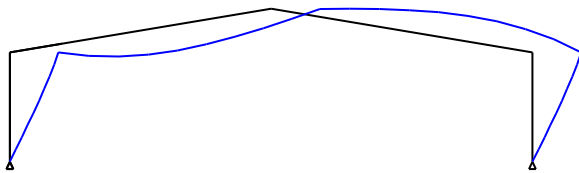
Σεισμική μάζα κτιρίου, για φόρτιση: Σ.Φ. 601: $G_k + 0.20Q_{s1}$

Ολικό κατακόρυφο φορτίο κτιρίου, για φόρτιση: Σ.Φ. 601: $G_k + 0.20Q_{s1}$, $G=89.3$ kN

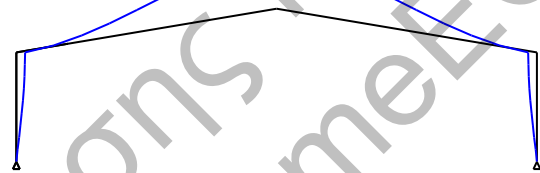
Σεισμική μάζα κτιρίου: $m=89.339 \times 1000 / 9.81 = 9.11 \times 10^3$ kg

1	f=	2.616 Hz	T=	0.382 sec
2	f=	3.896 Hz	T=	0.257 sec
3	f=	10.732 Hz	T=	0.093 sec
4	f=	29.103 Hz	T=	0.034 sec
5	f=	42.721 Hz	T=	0.023 sec
6	f=	59.397 Hz	T=	0.017 sec
7	f=	112.457 Hz	T=	0.009 sec
8	f=	149.552 Hz	T=	0.007 sec
9	f=	153.281 Hz	T=	0.007 sec

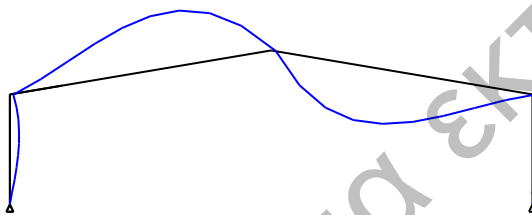
Ιδιομορφία :1, f=2.616[Hz], T=0.382[sec]



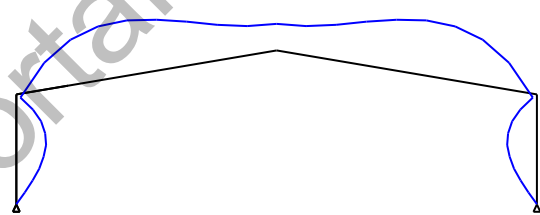
Ιδιομορφία :2, f=3.896[Hz], T=0.257[sec]



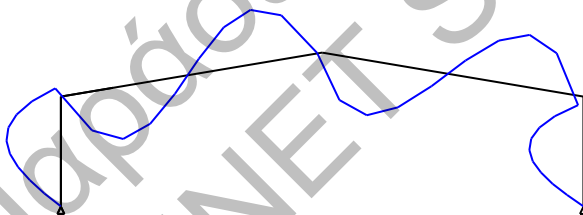
Ιδιομορφία :3, f=10.732[Hz], T=0.093[sec]



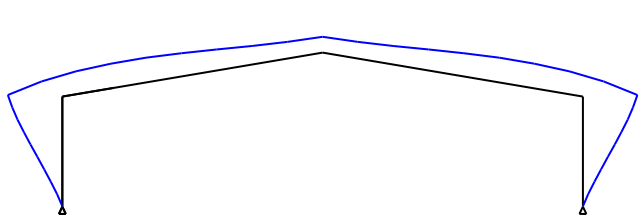
Ιδιομορφία :4, f=29.103[Hz], T=0.034[sec]



Ιδιομορφία :5, f=42.721[Hz], T=0.023[sec]



Ιδιομορφία :6, f=59.397[Hz], T=0.017[sec]



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)

$$T1 = 0.085 \cdot H^{0.75} = 0.085 \times 7.00^{0.75} = 0.366 \text{ sec}$$

Τιμή θεμελιώδους ιδιοπεριόδου που προκύπτει από τη δυναμική ανάλυση T1=0.382 sec

Από το οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού με περίοδο ταλάντωσης T1=0.382sec προκύπτει

$$S_d(T1) = 0.160 \times 1.00 \times 1.00 \times [2.50/1.50] = 0.267 \cdot g = 2.616 \text{ m/s}^2$$

Από το κατακόρυφο φάσμα σχεδιασμού με περίοδο ταλάντωσης T1=0.382sec προκύπτει

$$S_{ve}(T1) = 0.90 \times 0.160 \times 1.00 \times [(3.00/1.50) \times (0.15/0.382)] = 0.113 \cdot g = 1.109 \text{ m/s}^2$$

Ολικό κατακόρυφο φορτίο κτιρίου, για φόρτιση: Σ.Φ. 601: Gk + 0.20Qs1, G=89.3 kN

Σεισμική μάζα κτιρίου: m=89.339x1000/9.81=9.11x10³kg

Σεισμική διατμητική δύναμη στη βάση Fb=S(T1) · m · λ

(EC8 §4.3.3.2.2, Εξ.4.5)

$$S(T1) = 2.616 \text{ m/s}^2, m = 9.11 \times 10^3 \text{ kg}, \lambda = 1.00, F_b = 2.616 \times 9.11 \times 1.00 = 23.8 \text{ kN}$$

Συντελεστής επάυξης για στρεπτικά φαινόμενα

(EC8 §4.3.3.2.3, Εξ.4.12)

$$\delta = 1 + 0.60 \cdot x/Lc = 1 + 0.60 \times 21000/42000 = 1.30$$

Σεισμική διατμητική δύναμη στη βάση Fb=1.30x23.8=31.0 kN

Οριζόντια σεισμική δύναμη Fb=30.97kN εφαρμόζεται σε στάθμη H=5.000m

Κατακόρυφη σεισμική δύναμη Fv=1.109x9.11=10.1 kN

Μετατοπίσεις και εσωτερικές δυνάμεις M,V,N από γραμμική ελαστική ανάλυση**Μετατοπίσεις [mm]**

Σ.Φ.	Οριζόν. μετατ. Υποστ. Dx mm	Κατακ. μετατ. Κορυφής Dy mm	Καμπτικό βέλος ζυγώματος w mm
602	16.820	19.242	1.767

Αντιδράσεις στηρίξεων**Οριζόντια δύναμη Hed [kN], Κατακόρυφη δύναμη Ved [kN], Ροπή Med [kNm]**

Σ.Φ.	Αριστερή στήριξη 1 Hed,1 kN Ved,1 kN Med,1 kNm	Δεξιά στήριξη 2 Hed,2 kN Ved,2 kN Med,2 kNm
602	8.1 38.2 0.0	-39.1 51.1 0.0

Αξονικές δυνάμεις Ned [kN]

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλωμα Ned,1	Αριστερά ζύγωμα 2 Ned,2	Δεξιά ζύγωμα 3 Ned,3	Δεξιά υποστυλωμα 4 Ned,4
602	-35.2	-40.7	-42.8	-48.1

Διατμητικές δυνάμεις Ved [kN]

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλωμα VedA,1 VedB,1	Αριστερά ζύγωμα 2 VedA,2 VedC,2 VedB,2	Δεξιά ζύγωμα 3 VedA,3 VedC,3 VedB,3	Δεξιά υποστυλωμα 4 VedA,4 VedB,4
602	-8.1 -8.1	25.4 0.0 -12.8	0.1 0.0 -38.1	39.1 39.1

A:αριστερό άκρο, C:τέλος ενίσχυσης, B: δεξί άκρο

Καμπτικές ροπές Med [kNm]

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλωμα 1 MedA,1	MedB,1	Δεξιά υποστυλωμα 4 MedA,4	MedB,4
602	0.0	-20.3 -40.6	-195.4	-97.7 0.0

A:αριστερό άκρο, B δεξί άκρο

Σ.Φ.	Αριστερά ζύγωμα 2 MedA,2 MedC2 MedM,2	MedB,2	Δεξιά ζύγωμα 3 MedA,3 MedM,3 MedC3	MedB,3
602	-40.6	35.8	35.8	-195.4

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	=	-51.1kN
NedB	=	-45.1kN
VedA	=	39.1kN
VedB	=	39.1kN
MedA	=	0.0kNm
MedB	=	195.4kNm
Nedmax	=	-51.1kN
Vedmax	=	39.1kN
Medmax	=	195.4kNm

Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων dx=16.8 mm

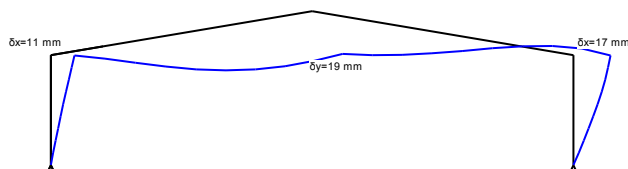
Ζυγώματα

NedA	=	-46.0 kN
NedB	=	-39.6 kN
VedA	=	38.1 kN
VedB	=	12.8 kN
MedA	=	195.4 kNm
MedB	=	35.8 kNm
Nedmax	=	-46.0 kN
Vedmax	=	38.1 kN
Medmax	=	195.4 kNm

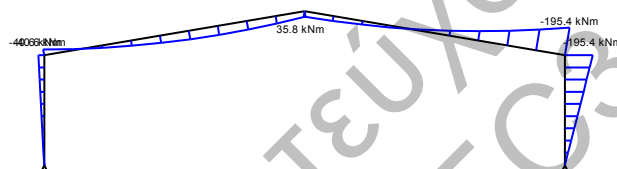
Estimate of seismic force at supports

Μέγιστη κατακόρυφη δύναμη προς τα κάτω $F_{v-} = -51.1 - 10.1/2 = -56.2$ kN
 Μέγιστη κατακόρυφη δύναμη προς τα πάνω $F_{v+} = -38.2 + 10.1/2 = 0.0$ kN

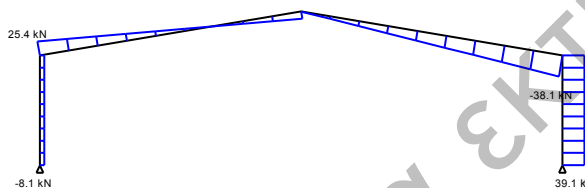
Σ.Φ. 602 Μετατοπίσεις mm



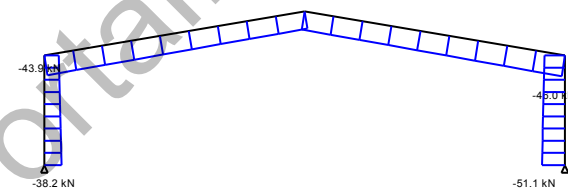
Σ.Φ. 602 Καμπ. ροπ. kNm



Σ.Φ. 602 Διατμ. δυν. kN



Σ.Φ. 602 Αξον. δυν. kN



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	0.382	0.267	2.616	0.113	1.109
2	0.257	0.267	2.616	0.168	1.651
3	0.093	0.206	2.021	0.288	2.825
4	0.034	0.143	1.406	0.228	2.236
5	0.023	0.132	1.291	0.186	1.824

$S_d(T)$: οριζόντιο ελαστικό φάσμα, $S_{ve}(T)$: 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 επάυξησης για στρεπτικά φαινόμενα	(EC8 §4.3.3.2.3, Εξ.4.12)
$\delta = 1 + 0.60 \cdot x / L_c = 1 + 0.60 \times 21000 / 42000 = 1.30$	

	T sec	Mi kg	Li kg	mi kg	qi m
1	0.382	1.000×10^3	2.925×10^3	2.925×10^3	$(0.32 \times M_{tot})$
2	0.257	1.000×10^3	2.266×10^3	2.266×10^3	$(0.25 \times M_{tot})$
3	0.093	1.000×10^3	1.191×10^3	1.191×10^3	$(0.13 \times M_{tot})$
4	0.034	1.000×10^3	-1.436×10^3	1.436×10^3	$(0.16 \times M_{tot})$
5	0.023	1.000×10^3	1.987×10^3	1.289×10^3	$(0.14 \times M_{tot})$
		$M_{tot} = 9.107 \times 10^3 \text{ Kg}$		9.107×10^3	$(1.00 \times M_{tot})$

Ανύσματα ιδιομορφικών μετατοπίσεων

u1	u2	u3	u4	u5
0.000×10^{-3}	0.000×10^{-3}	0.000×10^{-3}	0.000×10^{-6}	0.000×10^{-6}
0.000×10^{-3}	0.000×10^{-3}	0.000×10^{-3}	0.000×10^{-6}	0.000×10^{-6}
2.852×10^{-3}	0.373×10^{-3}	0.028×10^{-3}	-14.503×10^{-6}	-11.080×10^{-6}
12.779×10^{-3}	1.205×10^{-3}	0.023×10^{-3}	-3.735×10^{-6}	-1.994×10^{-6}
0.013×10^{-3}	0.013×10^{-3}	-0.002×10^{-3}	2.876×10^{-6}	2.966×10^{-6}
1.960×10^{-3}	-0.023×10^{-3}	-0.041×10^{-3}	24.832×10^{-6}	17.822×10^{-6}
12.820×10^{-3}	0.000×10^{-3}	0.027×10^{-3}	0.000×10^{-6}	-1.779×10^{-6}
0.000×10^{-3}	7.422×10^{-3}	0.000×10^{-3}	-24.247×10^{-6}	0.000×10^{-6}
-0.986×10^{-3}	0.000×10^{-3}	0.169×10^{-3}	0.000×10^{-6}	16.497×10^{-6}
12.779×10^{-3}	-1.205×10^{-3}	0.023×10^{-3}	3.735×10^{-6}	-1.994×10^{-6}
-0.013×10^{-3}	0.013×10^{-3}	0.002×10^{-3}	2.876×10^{-6}	-2.966×10^{-6}
1.960×10^{-3}	0.023×10^{-3}	-0.041×10^{-3}	-24.832×10^{-6}	17.822×10^{-6}
0.000×10^{-3}	0.000×10^{-3}	0.000×10^{-3}	0.000×10^{-6}	0.000×10^{-6}
0.000×10^{-3}	0.000×10^{-3}	0.000×10^{-3}	0.000×10^{-6}	0.000×10^{-6}
2.852×10^{-3}	-0.373×10^{-3}	0.028×10^{-3}	14.503×10^{-6}	-11.080×10^{-6}

Ιδιομορφικές εσωτερικές εντάσεις

	0.382s	0.257s	0.093s	0.034s	0.023s
Υποστυλώματα					
NA kN	-8.7	-8.7	1.0	-1.9	-1.9
NB kN	-8.7	-8.7	1.0	-1.9	-1.9
VA kN	13.9	6.1	1.1	-0.5	-0.3
VB kN	-13.9	-6.1	-1.1	0.5	0.3
MA kNm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MB kNm	-69.2	-30.7	-5.3	2.9	2.0
Συγώματα					
NA kN	-7.6	-5.9	-0.7	0.2	0.1
NB kN	-7.6	-5.9	-0.7	0.2	0.1
VA kN	-5.8	-5.6	-0.5	-0.1	-0.2
VB kN	5.8	5.6	0.5	0.1	0.2
MA kNm	71.6	36.9	1.0	1.0	1.1
MB kNm	-1.4	31.1	5.1	0.3	0.9

Μέγιστες εσωτερικές εντάσεις, Δυναμική φασματική μέθοδος ανάλυσης

(EC8 §4.3.3.3.2 (2))

Υποστυλώμα	
NedA =	$-44.7 - \sqrt{[8.7^2 + 8.7^2 + 1.0^2 + 1.9^2 + 1.9^2]} = -57.3 \text{ kN}$
NedB =	$-38.7 - \sqrt{[8.7^2 + 8.7^2 + 1.0^2 + 1.9^2 + 1.9^2]} = -51.3 \text{ kN}$
VedA =	$-26.4 - \sqrt{[13.9^2 + 6.1^2 + 1.1^2 + 0.5^2 + 0.3^2]} = 41.6 \text{ kN}$
VedB =	$-26.4 - \sqrt{[13.9^2 + 6.1^2 + 1.1^2 + 0.5^2 + 0.3^2]} = 41.6 \text{ kN}$
MedA =	$0.0 + \sqrt{[0.0^2 + 0.0^2 + 0.0^2 + 0.0^2 + 0.0^2]} = 0.0 \text{ kNm}$
MedB =	$-131.8 - \sqrt{[69.2^2 + 30.7^2 + 5.3^2 + 2.9^2 + 2.0^2]} = -207.8 \text{ kNm}$
Nedmax =	-57.3 kN
Vedmax =	41.6 kN
Medmax =	207.8 kNm

Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων dx=16.3 mm

Σύγωμα	
Ned A =	$-32.4 - \sqrt{[7.6^2 + 5.9^2 + 0.7^2 + 0.2^2 + 0.1^2]} = -42.0 \text{ kN}$
Ned B =	$-26.0 - \sqrt{[7.6^2 + 5.9^2 + 0.7^2 + 0.2^2 + 0.1^2]} = -35.7 \text{ kN}$
Ved A =	$33.8 + \sqrt{[5.8^2 + 5.6^2 + 0.5^2 + 0.1^2 + 0.2^2]} = 41.9 \text{ kN}$
Ved B =	$-4.3 - \sqrt{[5.8^2 + 5.6^2 + 0.5^2 + 0.1^2 + 0.2^2]} = 12.4 \text{ kN}$
Med A =	$-131.8 - \sqrt{[71.6^2 + 36.9^2 + 1.0^2 + 1.0^2 + 1.1^2]} = -212.3 \text{ kNm}$
Med B =	$47.5 + \sqrt{[1.4^2 + 31.1^2 + 5.1^2 + 0.3^2 + 0.9^2]} = 79.1 \text{ kNm}$
Nedmax =	-42.0 kN
Vedmax =	41.9 kN
Medmax =	212.3 kNm

9.4. Σχεδιασμός σε σεισμικά φορτία

(EN1998-1-1, §6)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού για Μετατοπίσεις και Εσωτερικές ΕντάσειςΥποστυλώματα

NedA	=	-57.3kN
NedB	=	-51.3kN
VedA	=	41.6kN
VedB	=	41.6kN
MedA	=	0.0kNm
MedB	=	207.8kNm
Nedmax	=	-57.3kN
Vedmax	=	41.6kN
Medmax	=	207.8kNm

Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων $dx=16.8$ mmΖυγώματα

NedA	=	-46.0kN
NedB	=	-39.6kN
VedA	=	41.9kN
VedB	=	12.8kN
MedA	=	212.3kNm
MedB	=	79.1kNm
Nedmax	=	-46.0kN
Vedmax	=	41.9kN
Medmax	=	212.3kNm, στην αρχή της ενίσχυσης Medmax = 169.9kNm

9.5. Φαινόμενα δευτέρας τάξεως

(EC8 §4.4.2.2(2))

$$\theta = P_{tot} \cdot dr / (V_{tot} \cdot h) = 89.3 \times 16.8 / (31.0 \times 5000) = 0.010$$

$$\theta = 0.010 \leq 0.20, \quad 1 / (1 - \theta) = 1 / (1 - 0.010) = 1.010$$

Φαινόμενα δευτέρας τάξεως λαμβάνονται υπόψη πολλαπλασιάζοντας την σεισμικές (EC8 §4.4.2.2(3))

δράσεις με ένα συντελεστή $1 / (1 - \theta) = 1.010$ **9.6. Μέγιστες τιμές δυνάμεων και καμπτικών ροπών για σχεδιασμό σε σεισμικά φορτία**

(EC8 §6.6)

Υποστυλώματα

(EC8 §6.6.3(1))

$$Ned = Ned, g + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot [1 / (1 - \theta)] \cdot Ned, e$$

$$Ved = Ved, g + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot [1 / (1 - \theta)] \cdot Ved, e$$

$$Med = Med, g + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot [1 / (1 - \theta)] \cdot Med, e$$

Ζυγώματα

(EC8 §6.6.2(2))

$$Ned = Ned, g + [1 / (1 - \theta)] \cdot Ned, e$$

$$Ved = Ved, g + [1 / (1 - \theta)] \cdot Ved, e$$

$$Med = Med, g + [1 / (1 - \theta)] \cdot Med, e$$

$$\gamma_{ov} = 1.25$$

(EC8 §6.2(3))

$$\Omega = M_{pl, rd} / Med = [10^{-6}] \times (2.194 \times 10^6 \times 355 / 1.00) / 169.9 = 4.585$$

(EC8 §6.6.3(1))

Υποστυλώματα

(EC8 §6.6.3(1))

NedA	=	-44.7+1.10x1.25x4.585x1.010x(	44.7-	57.3)=	-125.0kN
NedB	=	-38.7+1.10x1.25x4.585x1.010x(	38.7-	51.3)=	-119.0kN
VedA	=	26.4+1.10x1.25x4.585x1.010x(	41.6-	26.4)=	123.4kN
VedB	=	26.4+1.10x1.25x4.585x1.010x(	41.6-	26.4)=	123.4kN
MedA	=	0.0+1.10x1.25x4.585x1.010x(	0.0-	0.0)=	0.0kNm
MedB	=	131.8+1.10x1.25x4.585x1.010x(	207.8-	131.8)=	615.6kNm
Nedmax	=	-125.0kN			
Vedmax	=	123.4kN			
Medmax	=	615.6kNm			

Ζυγώματα

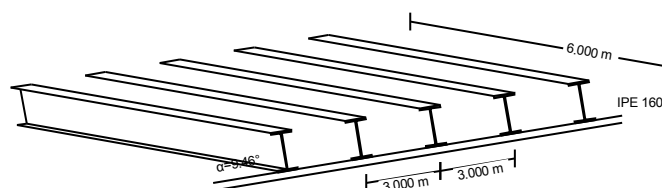
(EC8 §6.6.2(2))

NedA	=	-32.4+1.010x(	32.4-	46.0)=	-46.1kN
NedB	=	-26.0+1.010x(	26.0-	39.6)=	-39.7kN
VedA	=	33.8+1.010x(	41.9-	33.8)=	41.9kN
VedB	=	4.3+1.010x(	12.8-	4.3)=	12.9kN
MedA	=	131.8+1.010x(	212.3-	131.8)=	213.1kNm
MedB	=	47.5+1.010x(	79.1-	47.5)=	79.4kNm
Nedmax	=	-46.1kN			
Vedmax	=	41.9kN			
Medmax	=	213.1kNm			

10. Μελέτη τεγίδων

Τεγίδα συγκρατούμενη πλευρικά, IPE 160 S 355

Συνεχής τεγίδα, L= 6.000 m, s= 3.000 m

**10.1. Υλικά****Χάλυβας: S 355**

(EN1993-1-1, §3.2)

t ≤ 40 mm, Αντοχή διαρροής f_y = 355 N/mm², Αντοχή αστοχίας f_u = 510 N/mm²40 mm < t ≤ 80 mm, Αντοχή διαρροής f_y = 335 N/mm², Αντοχή αστοχίας f_u = 470 N/mm²Μέτρο ελαστικότητας E = 210000 N/mm², Λόγος Poisson ν = 0.30, Πυκνότητα ρ = 7850 Kg/m³**Συντ. μόνιμης και μεταβλητής δράσης**

(EN1990, Παράρτημα A1)

γ_{G,sup} = 1.35, γ_Q = 1.50, γ_{G,inf} = 1.00, ψ₀ = 0.70**Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_m**

(EN1993-1-1, §6.1)

γ_{M0} = 1.00, γ_{M1} = 1.00, γ_{M2} = 1.25**10.2. Φορτίο**

(EN1991-1-1)

Φορτία στέγης

Γωνία στέγης

α = 9.46°

Φορτίο επικάλυψης

g_{k1} = 0.200 kN/m²

(EN1991-1-1 §5)

Επιβεβλημένο φορτίο (κατηγορία H)

q_k = 0.500 kN/m²

(EN1991-1-1 §6.3.4.2)

Φορτίο χιονιού

s_k = 0.640 kN/m²

(EN1991-1-3 §5.3)

Πίεση ανέμου

w_k = 0.000 kN/m²

(EN1991-1-4 §7.2)

Αναρόφηση ανέμου

w_k = -0.460 kN/m²Φορτία σε τεγίδα

Απόσταση τεγίδων

s = 3.000 m

Φορτίο επικάλυψης

G_{k1} = 3.000 × 0.200 = 0.60 kN/m

Βάρος τεγίδας

G_{k2} = 0.15 kN/m

Μόνιμο φορτίο

G_k = G_{k1} + G_{k2} = 0.60 + 0.15 = 0.75 kN/m

Επιβεβλημένο φορτίο (κατηγορία H)

Q_{kk} = 3.000 × 0.500 = 1.50 kN/m

Φορτίο χιονιού

Q_{sk} = 3.000 × 0.640 = 1.92 kN/m

Αναρόφηση ανέμου

Q_{wk} = -3.000 × 0.460 = -1.38 kN/mΦορτίο επί τεγίδας σε κύριο άξονα(z) τεγίδας και εγκάρσια κατεύθυνση(y)

Μόνιμο φορτίο

G_{k,z} = 0.75 × cos(9.46) = 0.74 kN/m, G_{k,y} = 0.75 × sin(9.46) = 0.12 kN/m

Επιβεβλημένο φορτίο (κατηγορία H)

Q_{kk,z} = 1.50 × cos(9.46) = 1.48 kN/m, Q_{kk,y} = 1.50 × sin(9.46) = 0.25 kN/m

Φορτίο χιονιού

Q_{sk,z} = 1.92 × cos(9.46) = 1.89 kN/m, Q_{sk,y} = 1.92 × sin(9.46) = 0.32 kN/m

Πίεση ανέμου

Q_{wk,z} = 0.00 kN/m, Q_{wk,y} = 0.00 kN/m

Αναρόφηση ανέμου

Q_{wk,z} = -1.38 kN/m, Q_{wk,y} = 0.00 kN/m

10.3. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδιασμοί φορτίων

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Συνδιασμοί φορτίων		(EN1990 §6.4.3.2, T.A1.2A, T.A1.2B)
Πίεση	$\gamma_G \cdot \sup \cdot G_k, z + \gamma_Q \cdot Q_k, z + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{wk}, z$	$= 1.35 \times 0.74 + 1.50 \times 1.89 + 1.50 \times 0.60 \times 0.00 = 3.84 \text{ kN/m}$
Αναρόφηση	$\gamma_G \cdot \inf \cdot G_k, z - \gamma_Q \cdot Q_{wk}, z$	$= 1.00 \times 0.74 - 1.50 \times 1.38 = -1.33 \text{ kN/m}$
Εγκάρσια	$\gamma_G \cdot \sup \cdot G_k, y + \gamma_Q \cdot Q_k, y$	$= 1.35 \times 0.12 + 1.50 \times 0.32 = 0.64 \text{ kN/m}$

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Συνδιασμοί φορτίων		(EN1990 §6.5.3, T.A1.4)
Πίεση	$G_k, z + Q_k, z + \psi_0 \cdot Q_{wk}, z$	$= 0.74 + 1.89 + 0.60 \times 0.00 = 2.63 \text{ kN/m}$
Αναρόφηση	$G_k, z + Q_{wk}, z$	$= 0.74 - 1.38 = -0.64 \text{ kN/m}$

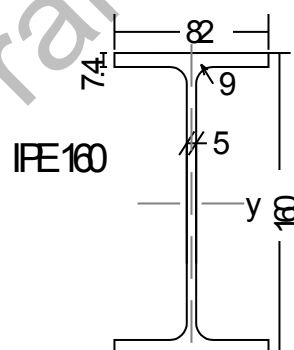
10.4. Φορτία σχεδιασμού

Φορτία σχεδιασμού, Οριακή κατάσταση αστοχίας	
Πίεση	$M_{yed, o} = 0.078 \times 3.84 \times 6.000^2 = 10.78 \text{ kNm}$, $M_{yed, s} = -0.105 \times 3.84 \times 6.000^2 = -14.51 \text{ kNm}$ $V_{zed} = 0.605 \times 3.84 \times 6.000 = 13.94 \text{ kN}$
Αναρόφηση	$M_{yed, o} = -0.078 \times 1.33 \times 6.000^2 = -3.74 \text{ kNm}$, $M_{yed, s} = 0.105 \times 1.33 \times 6.000^2 = 5.03 \text{ kNm}$ $V_{zed} = 0.605 \times 1.33 \times 6.000 = 4.83 \text{ kN}$
Εγκάρσια	Πλευρικά συγκρατούμενη

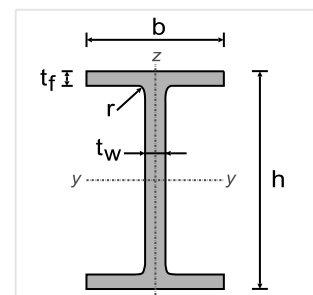
Φορτία σχεδιασμού, Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)	
Πίεση	$M_{yed, o} = 0.078 \times 2.63 \times 6.000^2 = 7.40 \text{ kNm}$, $M_{yed, s} = -0.105 \times 2.63 \times 6.000^2 = -9.96 \text{ kNm}$
Αναρόφηση	$M_{yed, o} = -0.078 \times 0.64 \times 6.000^2 = -1.80 \text{ kNm}$, $M_{yed, s} = 0.105 \times 0.64 \times 6.000^2 = 2.42 \text{ kNm}$

10.5. Χαρακτηριστικά διατομών, Τεγίδες**Διατομή IPE 160-S 355****Διαστάσεις διατομής**

Υψος διατομής	$h = 160.00 \text{ mm}$
Πλάτος διατομής	$b = 82.00 \text{ mm}$
Υψος κορμού	$h_w = 152.60 \text{ mm}$
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	$d_w = 127.20 \text{ mm}$
Πάχος κορμού	$t_w = 5.00 \text{ mm}$
Πάχος πέλματος	$t_f = 7.40 \text{ mm}$
Ακτίνα συναρμογής	$r = 9.00 \text{ mm}$
Μάζα	$= 15.80 \text{ Kg/m}$

**Χαρακτηριστικά διατομών**

Εμβαδόν	$A = 2009 \text{ mm}^2$	
Ροπή αδρανείας	$I_y = 8.693 \times 10^6 \text{ mm}^4$	$I_z = 0.683 \times 10^6 \text{ mm}^4$
Ελαστική ροπή αντίστασης	$W_y = 108.70 \times 10^3 \text{ mm}^3$	$W_z = 16.660 \times 10^3 \text{ mm}^3$
Πλαστική ροπή αντίστασης	$W_{py} = 123.90 \times 10^3 \text{ mm}^3$	$W_{pz} = 26.100 \times 10^3 \text{ mm}^3$
Ακτίνα αδρανείας	$i_y = 65.8 \text{ mm}$	$i_z = 18.4 \text{ mm}$
Επιφάνεια διάτμησης	$A_{vz} = 966 \text{ mm}^2$	$A_{vy} = 1214 \text{ mm}^2$
Σταθερά στρέψης	$I_t = 0.036 \times 10^6 \text{ mm}^4$	$i_p = 68 \text{ mm}$
Σταθερά στρέβλωσης	$I_w = 3.959 \times 10^9 \text{ mm}^6$	



(EN1993-1-1, §7)

10.6. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Τεγίδες**Βέλος κάμψης τεγίδας, Πίεση**

Φορτίο	$G+Q: w = 2.63 \times 6000^4 / (153.6 \times 2.1 \times 10^5 \times 8.693 \times 10^6) = 12.17 \text{ mm} = L/493 < L/200$
Φορτίο	$Q: w = 1.89 \times 6000^4 / (153.6 \times 2.1 \times 10^5 \times 8.693 \times 10^6) = 8.75 \text{ mm} = L/686 < L/250$

Βέλος κάμψης τεγίδας, Αναρόφηση

Φορτίο	$G+Q: w = -0.64 \times 6000^4 / (153.6 \times 2.1 \times 10^5 \times 8.693 \times 10^6) = -2.96 \text{ mm} = L/2026 < L/200$
Φορτίο	$Q: w = -1.38 \times 6000^4 / (153.6 \times 2.1 \times 10^5 \times 8.693 \times 10^6) = -6.38 \text{ mm} = L/939 < L/250$

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

10.7. Κατάταξη διατομών, Κάμψη M_y (Διατομή τεγίδων)

(EN1993-1-1, §5.5)

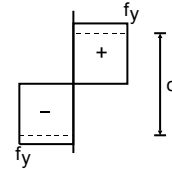
Κορμός

$$c=160.0-2 \times 7.4-2 \times 9.0=127.2 \text{ mm}, t=5.0 \text{ mm}, c/t=127.2/5.0=25.44$$

$$S_{355}, t=5.0 \leq 40 \text{ mm}, f_y=355 \text{ N/mm}^2, \epsilon=(235/355)^{0.5}=0.81$$

$$c/t=25.44 \leq 72 \epsilon=72 \times 0.81=58.32$$

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

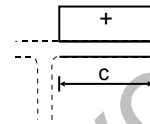
Πέλμα

$$c=82.0/2-5.0/2-9.0=29.5 \text{ mm}, t=7.4 \text{ mm}, c/t=29.5/7.4=3.99$$

$$S_{355}, t=7.4 \leq 40 \text{ mm}, f_y=355 \text{ N/mm}^2, \epsilon=(235/355)^{0.5}=0.81$$

$$c/t=3.99 \leq 9 \epsilon=9 \times 0.81=7.29$$

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

**Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη M_y, ed** **10.8. Αντοχή διατομής, Διατομή τεγίδων**

(EN1993-1-1, §6.2)

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

(EN1993-1-1, §6.2.5)

$$M_{y,ed} = 14.51 \text{ kNm}$$

$$\text{Καμπτική αντοχή } M_{ply,rd} = W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 123.90 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 43.98 \text{ kNm}$$

$$M_{y,ed} = 14.51 \text{ kNm} < 43.98 \text{ kNm} = M_{y,rd} = M_{ply,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

$$V_{z,ed} = 13.94 \text{ kNm}$$

$$A_v = A - 2b \cdot t_{f1} + (t_w + 2r) t_{f1} = 2009 - 2 \times 82.0 \times 7.4 + (5.0 + 2 \times 9.0) \times 7.4 = 966 \text{ mm}^2$$

(EC3 §6.2.6.3)

$$A_v = 966 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (160.0 - 2 \times 7.4) \times 5.0 = 1.00 \times 152.6 \times 5.0 = 763 \text{ mm}^2$$

$$\text{Πλαστική διατμητική αντοχή } V_{pl,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 966 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 197.91 \text{ kN}$$

$$V_{z,ed} = 13.94 \text{ kN} < 197.91 \text{ kN} = V_{z,rd} = V_{pl,z,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$h_w / t_w = (160.0 - 2 \times 7.4) / 5.0 = 152.6 / 5.0 = 30.52 \leq 72 \epsilon = 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \epsilon / \eta = 58.32 \quad (\eta = 1.00)$$

$$S_{355}, t = 5.0 \leq 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$$

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)

$$N_{ed} = 0.00 \text{ kN}, V_{z,ed} = 13.94 \text{ kN}, M_{y,ed} = 14.51 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,y,rd} = 43.98 \text{ kNm}, V_{pl,z,rd} = 197.91 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{ed} = 13.94 \text{ kN} \leq 0.50 \times 197.91 = 0.50 \times V_{pl,z,rd} = 98.96 \text{ kN}$$

$$\text{Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται}$$

(EC3 §6.2.8.2)

10.9. Πλευρική δέσμευση χαλυβδόφυλλου

(EC3 EN1993-1-3:2005, §10.1)

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

Διατμητική ακαμψία χαλυβδόφυλλου

(EN1993-1-3, §10.1.1 Εξ.10.1b)

$$S = t^{1.5} (50 + 10b^{0.33}) s / h_w = 0.750^{1.5} \times (50 + 10 \times 6000^{0.33}) \times 3000 / 40.0 = 11288 \text{ kNm/m}$$

Ελάχιστη απαιτούμενη διατμητική ακαμψία, για πλευρικά δεσμευμένη τεγίδα

(\$10.1.1 Εξ.10.1a)

$$S_{min} = [\pi^2 E \cdot I_w / L^2 + G \cdot I_t + \pi^2 E \cdot I_z (h/2)^2 / L^2] \cdot 70 / h = [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 3.959 \times 10^9 / 6000^2 + 8.1 \times 10^4 \times 0.036 \times 10^6 + \pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.683 \times 10^6 \times 80^2 / 6000^2] \times 70 / 160 = 9272 \text{ kNm/m}$$

$$s = 11288 \text{ kNm/m} > 9272 \text{ kNm/m}$$

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

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

(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)

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

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

(EN1993-1-3, Εξ.10.17)

$$C_{100} = 2.0, k_{ba} = 1.25 \times 160 / 100 = 2.00, k_t = (0.75 / 0.75)^{1.5} = 1.00, k_{br} = 1.0, k_a = 1.0, k_{bt} = 1.0$$

$$C_{d,a} = 2.0 \times 2.00 \times 1.00 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 4.0 \text{ kNm/m}$$

$$C_d = C_{d,a} = 3.7 \text{ kNm/m}$$

10.10. Πλευρικός λυγισμός (Τεγίδα συγκρατούμενη πλευρικά)

(EN1993-1-1, §6.3.2)

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

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

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

Αναρόφηση

$k \cdot L = 6000 \text{ mm}, z_g = -80 \text{ mm}, z_j = 0 \text{ mm}$ (EN1993:2002 T.C.1)

$kz = 1.0, kw = 1.0, C_1 = 1.680, C_2 = 0.809, C_3 = 0.000$ (EN1993:2002 T.C.1)

$$M_{cr} = [10^{-6}] 1.680 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.683 \times 10^6 / 6000^2]$$

$$\times \{ [1.0 \times (3.959 \times 10^9 / 0.683 \times 10^6)$$

$$+ 6000^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.203 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.683 \times 10^6)$$

$$+ (-0.809 \times 80)^2]^{0.5} - (-0.809 \times 80) \} = 47.4 \text{ kNm}$$

$$I_{t,eq} = (0.036 \times 10^6 + 10^3 \times 3.7 \times 6000^2 / (\pi^2 \times 8.1 \times 10^4)) = 0.203 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$\bar{\lambda}_{1t} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \times 123.90 \times 10^3 \times 355 / 47.4)} = 0.963$ (EC3 Εξ.6.56)

$h/b = 160/82 = 1.95 \leq 2.00$ καμπύλη λυγισμού: b

συντελεστής ατελειών: $\alpha_{1t} = 0.34, \beta = 0.75, \chi_{1t} = 0.722$ (T.6.3, T.6.5, Σχ.6.4)

$\Phi_{1t} = 0.5[1 + \alpha_{1t}(\bar{\lambda}_{1t} - \bar{\lambda}_{1to}) + \beta \bar{\lambda}_{1t}^2] = 0.5[1 + 0.34 \times (0.963 - 0.40) + 0.75 \times 0.963^2] = 0.944$

$\chi_{1t} = 1 / [\Phi_{1t} + \sqrt{(\Phi_{1t}^2 - \beta \bar{\lambda}_{1t}^2)}] = 1 / [0.944 + \sqrt{(0.944^2 - 0.75 \times 0.944^2)}] = 0.722$

Μειωτικός συντελεστής $\chi_{1t} = 1 / [\Phi_{1t} + \sqrt{(\Phi_{1t}^2 - \beta \bar{\lambda}_{1t}^2)}], \chi_{1t} \leq 1.0, 1 / \bar{\lambda}_{1t}^2, \chi_{1t} = 0.722$ (Εξ.6.57)

$M_{b,rd} = \chi_{1t} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.722 \times [10^{-6}] \times 123.90 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 31.76 \text{ kNm}$ (EC3 Εξ.6.55)

$M_{y,ed} = 5.03 \text{ kNm} < 31.76 \text{ kNm} = M_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

11. Καθολική ανάλυση

(EN1993-1-1, §5.2)

11.1. Μεγεθυντικός συντελεστής λυγισμού

(EN1993-1-1, §5.2.1)

$$\alpha_{cr} = (Hnhf/Ved) (h/\delta h, ed)$$

(Εξ.5.2)

Από ελαστική ανάλυση προκύπτει, Σ.Φ. 202: $0.925 \times 1.35Gk + 1.50Qs1 = 1.25 \times Gk + 1.50Qs1$

Κατακόρυφη αντίδραση στη βάση υποστυλώματος

Ved= 115.0 kN

Οριζόντια αντίδραση στη βάση υποστυλώματος

Hed= 73.3 kN

Αξονική δύναμη ζυγμάτων

Nred= 90.0 kN

Υποθετική οριζόντια δύναμη εφαρμόζεται στην κορυφή των υποστυλμάτων

Hnhf= 1.0 kN

Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή των υποστυλμάτων για υποθετική οριζόντια δύναμη

 $\delta h, ed = 0.93 \text{ mm}$

$$\alpha_{cr} = (1.0/115.0) (5000/0.93) = 46.86$$

(Εξ.5.2)

Ελεγχος αξονικής θλίψης στα ζυγώματα. Αξονική θλίψη είναι σημαντική αν

(\$5.2.1, (4)B)

$$\lambda = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr})} > 0.3 \sqrt{(A \cdot f_y / N_{ed})}, \quad N_{ed} > 0.09 N_{cr}$$

(\$5.2.1 Εξ.5.3)

Ανεπτυγμένο μήκος ζυγμάτων από υποστυλόμετρο σε υποστυλόμετρο $L = 24000 / \cos 9.46^\circ = 24331 \text{ mm}$

$$N_{cr} = \pi^2 EI / L^2 = \pi^2 \times 210 \times 482.00 \times 10^6 / (24331)^2 = 1687.5 \text{ kN}$$

Μεγίστη αξονική δύναμη στα ζυγώματα $N_{ed} = 90.0 \text{ kN}$, Σ.Φ. 202: $0.925 \times 1.35Gk + 1.50Qs1$

$$\lambda = \sqrt{(11550 \times 355 / 1687502)} = 1.56 < 0.3 \sqrt{(11550 \times 355 / 89974)} = 2.03$$

Η αξονική θλίψη στα ζυγώματα δεν είναι σημαντική, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε Εξ.5.2

$$\alpha_{cr} = 46.86 > 10$$

(Εξ.5.1)

Της-τάξεως ελαστική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί

(\$5.2.2.1)

$$\text{Μεγεθυντικός συντελεστής για ροπές σχεδιασμού} \delta = 1 / (1 - 1/\alpha_{cr}) = 1 / (1 - 1/46.86) = 1.02$$

(Εξ.5.4)

11.2. Ατέλειες για καθολική ανάλυση

(EN1993-1-1, §5.3.2)

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \cdot \delta = (1/200) \times 0.894 \times 0.866 \times 1.022 = 3.957 \times 10^{-3} = 1/253$$

(Εξ.5.5)

$$\phi_0 = 1/200, \quad \alpha_h = 2/\sqrt{h} = 2/\sqrt{5.000} = 0.894 \quad 2/3 \leq \alpha_h \leq 1.0, \quad \alpha_m = \sqrt{(0.5(1+1/2))} = 0.866$$

Ατέλειες σε αρχική οριζόντια μετατόπιση μπορούν να παραβλεπτούν όταν $Hed > 0$. (\$5.3.2(4) Εξ.5.7)

$$\text{Επίδραση ατελειών σε αρχική οριζόντια μετατόπιση} H_{eq} = 3.957 \times 10^{-3} \times Ved$$

(\$5.3.2 (5))

11.3. Ατέλειες σε οριζόντια μετατόπιση υποστυλμάτων

(EN1993-1-1, §5.3.2)

Αντιδράσεις στηρίξεων, Οριζόντια δύναμη Hed [kN], Κατακόρυφη δύναμη Ved [kN]

		Αριστερά	υποστυλώμα	Δεξιά	υποστυλώμα	Hed1+Hed2	Ved1+Ved2		$\phi \cdot Ved$
		Hed, 1	Ved, 1	Hed, 2	Ved, 2	Hed	Ved	Hed/Vhe	Hed kN
201	ULS-STR	62.2	98.7	-62.2	98.7	0.0	197.5	0.00	0.391
202	ULS-STR	73.3	115.0	-73.3	115.0	0.0	230.1	0.00	0.455
203	ULS-STR	61.2	106.2	-61.2	88.4	0.0	194.6	0.00	0.420
204	ULS-STR	61.2	88.4	-61.2	106.2	0.0	194.6	0.00	0.420
205	ULS-STR	-28.0	-3.9	0.4	-3.1	-27.6	-7.0	3.97	0.000
206	ULS-STR	0.1	42.4	-21.6	21.9	-21.5	64.4	0.33	0.000
210	ULS-STR	-33.0	-12.7	5.3	-11.9	-27.6	-24.6	1.12	0.000
231	ULS-STR	19.4	54.3	-35.9	54.8	-16.6	109.1	0.15	0.000
232	ULS-STR	36.2	82.1	-49.1	69.8	-12.9	151.9	0.09	0.325
233	ULS-STR	13.3	49.9	-29.9	41.5	-16.6	91.3	0.18	0.000
234	ULS-STR	30.1	77.7	-43.0	56.5	-12.9	134.1	0.10	0.307
235	ULS-STR	13.3	41.0	-29.9	50.4	-16.6	91.3	0.18	0.000
236	ULS-STR	30.1	68.8	-43.0	65.4	-12.9	134.1	0.10	0.272
251	ULS-STR	41.6	86.3	-58.1	86.8	-16.6	173.1	0.10	0.344
252	ULS-STR	58.4	114.1	-71.3	101.8	-12.9	215.9	0.06	0.452
253	ULS-STR	29.5	77.4	-46.0	60.2	-16.6	137.6	0.12	0.306
254	ULS-STR	46.3	105.2	-59.2	75.2	-12.9	180.4	0.07	0.416
255	ULS-STR	29.5	59.7	-46.0	77.9	-16.6	137.6	0.12	0.308
256	ULS-STR	46.3	87.5	-59.2	92.9	-12.9	180.4	0.07	0.368
257	ULS-STR	-3.8	31.6	-23.8	32.5	-27.6	64.1	0.43	0.000
258	ULS-STR	-9.8	27.2	-17.8	19.1	-27.6	46.3	0.60	0.000
259	ULS-STR	-9.8	18.3	-17.8	28.0	-27.6	46.3	0.60	0.000
260	ULS-STR	24.3	78.0	-45.8	57.4	-21.5	135.4	0.16	0.000
261	ULS-STR	18.2	73.5	-39.7	44.1	-21.5	117.7	0.18	0.000
262	ULS-STR	18.2	64.6	-39.7	53.0	-21.5	117.7	0.18	0.000

11.4. Εσωτερικές δυνάμεις και καρτικές ροπές με επίδραση ατελειών**11.5. Αξονικές δυνάμεις Ned [kN]**

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλίου		Δεξιά ζύγωμα 2		Δεξιά ζύγωμα 3		Δεξιά υποστυλίου 4	
	Ned,1	Ned,2	Ned,2	Ned,3	Ned,3	Ned,4	Ned,4	Ned,4
201 ULS-STR	-94.9	-69.0	-69.0	-69.0	-69.0	-95.1	-95.1	-95.1
202 ULS-STR	-111.2	-81.3	-81.3	-81.3	-81.3	-111.4	-111.4	-111.4
203 ULS-STR	-102.3	-67.9	-67.9	-67.9	-67.9	-84.7	-84.7	-84.7
204 ULS-STR	-84.6	-67.9	-67.9	-67.9	-67.9	-102.5	-102.5	-102.5
205 ULS-STR	7.7	-2.9	-3.1	-3.1	-3.1	6.8	6.8	6.8
206 ULS-STR	-38.7	-29.3	-26.0	-26.0	-26.0	-18.2	-18.2	-18.2
210 ULS-STR	15.7	2.6	2.4	2.4	2.4	14.9	14.9	14.9
231 ULS-STR	-50.2	-41.8	-41.9	-41.9	-41.9	-50.8	-50.8	-50.8
232 ULS-STR	-78.0	-57.7	-55.7	-55.7	-55.7	-65.8	-65.8	-65.8
233 ULS-STR	-45.8	-35.1	-35.2	-35.2	-35.2	-37.4	-37.4	-37.4
234 ULS-STR	-73.6	-51.0	-49.0	-49.0	-49.0	-52.5	-52.5	-52.5
235 ULS-STR	-36.9	-35.1	-35.2	-35.2	-35.2	-46.3	-46.3	-46.3
236 ULS-STR	-64.7	-51.0	-49.0	-49.0	-49.0	-61.4	-61.4	-61.4
251 ULS-STR	-82.5	-66.5	-66.6	-66.6	-66.6	-83.1	-83.1	-83.1
252 ULS-STR	-110.3	-82.4	-80.4	-80.4	-80.4	-98.1	-98.1	-98.1
253 ULS-STR	-73.6	-53.1	-53.2	-53.2	-53.2	-56.5	-56.5	-56.5
254 ULS-STR	-101.4	-69.0	-67.0	-67.0	-67.0	-71.5	-71.5	-71.5
255 ULS-STR	-55.8	-53.1	-53.2	-53.2	-53.2	-74.2	-74.2	-74.2
256 ULS-STR	-83.6	-68.9	-67.0	-67.0	-67.0	-89.2	-89.2	-89.2
257 ULS-STR	-27.9	-29.7	-29.9	-29.9	-29.9	-28.7	-28.7	-28.7
258 ULS-STR	-23.4	-23.0	-23.2	-23.2	-23.2	-15.4	-15.4	-15.4
259 ULS-STR	-14.5	-23.0	-23.2	-23.2	-23.2	-24.3	-24.3	-24.3
260 ULS-STR	-74.2	-56.1	-52.8	-52.8	-52.8	-53.7	-53.7	-53.7
261 ULS-STR	-69.8	-49.4	-46.1	-46.1	-46.1	-40.4	-40.4	-40.4
262 ULS-STR	-60.9	-49.4	-46.1	-46.1	-46.1	-49.3	-49.3	-49.3

11.6. Διατμητικές δυνάμεις Ved [kN]

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλίου		Αριστερά ζύγωμα 2		Δεξιά ζύγωμα 3		Δεξιά υποστυλίου 4	
	VedA,1	VedB,1	VedA,2	VedC,2	VedC,3	VedB,3	VedA,4	VedB,4
201 ULS-STR	-62.0	-62.0	79.7	61.9	-10.3	10.2	-62.1	-79.8
202 ULS-STR	-73.0	-73.0	93.9	73.0	-12.2	12.0	-73.2	-94.1
203 ULS-STR	-60.9	-60.9	87.1	66.2	-18.9	1.2	-55.8	-69.8
204 ULS-STR	-60.9	-60.9	69.6	55.6	-1.4	18.8	-66.4	-87.3
205 ULS-STR	28.0	-0.4	-12.5	-10.6	-2.6	-2.6	8.9	11.7
206 ULS-STR	-0.1	-28.4	30.0	21.2	-14.8	-6.5	-9.2	-9.8
210 ULS-STR	33.0	4.6	-18.9	-15.5	-1.8	-3.4	13.8	18.1
231 ULS-STR	-19.4	-36.4	38.8	29.7	-7.5	4.4	-30.7	-39.3
232 ULS-STR	-36.0	-53.0	64.3	48.7	-14.9	2.0	-41.6	-52.3
233 ULS-STR	-13.3	-30.3	35.5	26.3	-10.9	-1.0	-22.0	-27.2
234 ULS-STR	-29.9	-47.0	60.9	45.3	-18.3	-3.4	-32.9	-40.2
235 ULS-STR	-13.3	-30.3	26.7	21.0	-2.1	7.8	-27.3	-36.0
236 ULS-STR	-30.0	-47.0	52.2	40.0	-9.5	5.4	-38.2	-48.9
251 ULS-STR	-41.4	-58.4	67.3	51.8	-11.3	8.0	-52.9	-67.9
252 ULS-STR	-58.1	-75.1	92.8	70.8	-18.6	5.6	-63.8	-80.8
253 ULS-STR	-29.3	-46.3	60.5	45.0	-18.0	-2.8	-35.5	-43.6
254 ULS-STR	-46.0	-63.1	86.0	64.1	-25.3	-5.1	-46.4	-56.5
255 ULS-STR	-29.3	-46.3	43.0	34.4	-0.5	14.8	-46.2	-61.1
256 ULS-STR	-46.1	-63.1	68.5	53.5	-7.8	12.4	-57.0	-74.0
257 ULS-STR	3.8	-24.6	18.5	13.6	-6.6	1.4	-15.3	-19.3
258 ULS-STR	9.8	-18.5	15.1	10.2	-10.0	-4.0	-6.6	-7.2
259 ULS-STR	9.8	-18.5	6.4	4.9	-1.2	4.7	-11.9	-16.0
260 ULS-STR	-24.3	-52.6	61.1	45.3	-18.7	-2.6	-33.3	-40.9
261 ULS-STR	-18.2	-46.6	57.7	42.0	-22.1	-7.9	-24.6	-28.7
262 ULS-STR	-18.2	-46.6	49.0	36.7	-13.4	0.8	-29.9	-37.5

A: αριστερό άκρο, C: τέλος ενίσχυσης, B: δεξί άκρο

11.7. Καμπτικές ροπές Med [kNm]

Σ.Φ.	Αριστερά υποστυλίου 1		Δεξιά υποστυλίου 4	
	MedA,1	MedB,1	MedA,4	MedB,4
201 ULS-STR	0.0	-154.9	-309.8	-311.7
202 ULS-STR	0.0	-182.6	-365.1	-367.4
203 ULS-STR	0.0	-152.4	-304.7	-306.8
204 ULS-STR	0.0	-152.4	-304.7	-306.8
205 ULS-STR	0.0	69.1	32.2	16.1
206 ULS-STR	0.0	-35.6	-71.1	-77.5
210 ULS-STR	0.0	47.0	94.0	57.1
231 ULS-STR	0.0	-69.6	-139.3	-161.4
232 ULS-STR	0.0	-111.2	-222.5	-227.9
233 ULS-STR	0.0	-54.5	-109.0	-131.2
234 ULS-STR	0.0	-96.1	-192.3	-197.6
235 ULS-STR	0.0	-54.5	-109.0	-131.2
236 ULS-STR	0.0	-96.2	-192.4	-197.5
251 ULS-STR	0.0	-124.7	-249.4	-273.2
252 ULS-STR	0.0	-166.6	-333.2	-339.3
253 ULS-STR	0.0	-94.5	-189.0	-212.6
254 ULS-STR	0.0	-136.4	-272.8	-278.7
255 ULS-STR	0.0	-94.5	-189.0	-212.6
256 ULS-STR	0.0	-136.5	-272.9	-278.6
257 ULS-STR	0.0	1.3	-52.0	-88.9
258 ULS-STR	0.0	8.5	-21.7	-58.6
259 ULS-STR	0.0	8.5	-21.7	-58.6
260 ULS-STR	0.0	-96.1	-192.2	-198.5
261 ULS-STR	0.0	-81.0	-161.9	-168.3
262 ULS-STR	0.0	-81.0	-161.9	-168.3

A: αριστερό άκρο, B: δεξί άκρο

Σ.Φ.		Αριστερά ζύγωμα 2				Δεξιά ζύγωμα 3			
		MedA,2	MedC2	MedM,2	MedB,2	MedA,3	MedM,3	MedC3	MedB,3
201	ULS-STR	-309.8	-139.9	119.2	112.0	112.0	119.0	-141.4	-311.7
202	ULS-STR	-365.1	-164.9	140.5	132.0	132.0	140.2	-166.7	-367.4
203	ULS-STR	-304.7	-120.7	130.7	110.2	110.2	110.3	-156.1	-306.8
204	ULS-STR	-304.7	-154.4	110.4	110.2	110.2	130.4	-122.4	-306.8
205	ULS-STR	69.1	41.3	23.0	-23.2	-23.2	-26.1	7.5	32.2
206	ULS-STR	-71.1	-9.6	51.4	21.9	21.9	-27.8	-54.7	-77.5
210	ULS-STR	94.0	52.6	30.9	-32.1	-32.1	-35.5	18.7	57.1
231	ULS-STR	-139.3	-57.0	58.7	51.3	51.3	54.0	-77.3	-161.4
232	ULS-STR	-222.5	-86.9	95.2	78.2	78.2	78.6	-115.2	-227.9
233	ULS-STR	-109.0	-34.9	56.0	40.4	40.4	-45.4	-72.1	-131.2
234	ULS-STR	-192.3	-64.8	92.9	67.3	67.3	-65.2	-109.9	-197.6
235	ULS-STR	-109.0	-51.8	41.3	40.4	40.4	48.8	-55.2	-131.2
236	ULS-STR	-192.4	-81.7	76.2	67.3	67.3	70.5	-93.0	-197.5
251	ULS-STR	-249.4	-106.6	101.1	91.2	91.2	96.3	-128.2	-273.2
252	ULS-STR	-333.2	-136.9	137.0	118.2	118.2	120.4	-165.8	-339.3
253	ULS-STR	-189.0	-62.4	94.6	69.4	69.4	-71.6	-117.6	-212.6
254	ULS-STR	-272.8	-92.7	131.4	96.4	96.4	-91.1	-155.2	-278.7
255	ULS-STR	-189.0	-96.1	69.5	69.4	69.4	86.9	-83.9	-212.6
256	ULS-STR	-272.9	-126.5	101.3	96.4	96.4	107.2	-121.3	-278.6
257	ULS-STR	-52.0	-13.5	31.0	20.5	20.5	21.1	-47.3	-88.9
258	ULS-STR	-21.7	8.6	33.7	9.6	9.6	-24.5	-42.1	-58.6
259	ULS-STR	-21.7	-8.2	10.8	9.6	9.6	16.2	-25.2	-58.6
260	ULS-STR	-192.2	-64.4	92.3	65.5	65.5	-66.5	-109.5	-198.5
261	ULS-STR	-161.9	-42.3	91.9	54.6	54.6	-56.8	-104.3	-168.3
262	ULS-STR	-161.9	-59.2	72.0	54.6	54.6	54.7	-87.4	-168.3

A: αριστερό άκρο, C: τέλος ενίσχυσης, M: άνοιγμα, B: δεξί άκρο

12. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

(EN1993-1-1, §7)

12.1. Κατακόρυφη μετατόπιση κόμβου κορυφής

(EN1993-1-1, §7.2.1)

Μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση, Σ.Φ. 302: $G_k + Q_{s1}$

$$D_y = 44 \text{ mm} = 24000/545 = L/545$$

Κατακόρυφη μετατόπιση λόγω επιβεβλημένου φορτίου μόνον

$$D_y = 21 \text{ mm} = 24000/889 = L/1143$$

Κατακόρυφη μετατόπιση λόγω φορτίου χιονιού μόνον

$$D_y = 27 \text{ mm} = 24000/889 = L/889$$

Οριο Κατακόρυφης μετατόπισης $L/200$, Έλεγχος ικανοποιείται**12.2. Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων**

(EN1993-1-1, §7.2.2)

Μέγιστη οριζόντια μετατόπιση, Σ.Φ. 304: $G_k + Q_{s3}$

$$D_x = 8 \text{ mm} = 5000/625 = h/625$$

Οριζόντια μετατόπιση λόγω φορτίου ανέμου μόνο

$$D_x = 6 \text{ mm} = 5000/833 = h/833$$

Οριο Οριζόντιας μετατόπισης $H/150$, Έλεγχος ικανοποιείται**12.3. Χαρακτηριστικά δυναμικής ανάλυσης**

(EN1993-1-1, §7.2.3)

Ιδιοσυχνότητες και ιδιομορφίες της κατασκευής

Σεισμική μάζα κτιρίου, για φόρτιση: Σ.Φ. 601: $G_k + 0.20Q_{s1}$

$$1 \quad f = 2.616 \text{ Hz} \quad T = 0.382 \text{ sec}$$

$$2 \quad f = 3.896 \text{ Hz} \quad T = 0.257 \text{ sec}$$

$$3 \quad f = 10.732 \text{ Hz} \quad T = 0.093 \text{ sec}$$

$$4 \quad f = 29.103 \text{ Hz} \quad T = 0.034 \text{ sec}$$

$$5 \quad f = 42.721 \text{ Hz} \quad T = 0.023 \text{ sec}$$

$$6 \quad f = 59.397 \text{ Hz} \quad T = 0.017 \text{ sec}$$

$$7 \quad f = 112.457 \text{ Hz} \quad T = 0.009 \text{ sec}$$

$$8 \quad f = 149.552 \text{ Hz} \quad T = 0.007 \text{ sec}$$

$$9 \quad f = 153.281 \text{ Hz} \quad T = 0.007 \text{ sec}$$

13. Ελεγχος υποστυλωμάτων (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6)

Διατομή : IPE 600-S 355

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: 1.25xGk+1.50Qs1

$$N_{ed} = 115.1 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 73.5 \text{ kN}$$

$$M_{yed} = 367.4 \text{ kNm}, \quad M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$$

$$M_{yed} = 312.3 \text{ kNm} \text{ (Κορυφή υποστυλώματος κάτω της ενίσχυσης)}$$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο $L_{cr,y} = 5000 \text{ mm}$ (Μήκος συστήματος) (EC3 §5.5.2.(7))Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου $L_{cr,z} = 4250 \text{ mm}$ (Μήκος υποστυλώματος χωρίς την ενίσχυση)Μήκος λυγισμού, στρεπτικός λυγισμός $L_{cr,t} = 4250 \text{ mm}$ Μήκος λυγισμού, πλευρικός στρεπτικός λυγισμός $L_{cr,lt} = 4250 \text{ mm}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού για ανάλυση σε σεισμικά φορτία

$$N_{ed} = 125.0 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 123.4 \text{ kN}$$

$$M_{yed} = 615.6 \text{ kNm}, \quad M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$$

$$M_{yed} = 523.3 \text{ kNm} \text{ (Κορυφή υποστυλώματος κάτω της ενίσχυσης)}$$

13.1. Κατάταξη διατομών, Υποσύλωνα

(EN1993-1-1, §5.5)

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

$$\sigma = [10^{-3}]115/15600 \pm [10^{-6}]367/3069.0 \times 10^3 \pm [10^{-6}]0/307.9 \times 10^3$$

$$\sigma_1 = 127 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_2 = -112 \text{ N/mm}^2 \text{ (Θλίψη θετική)}$$

Κορμός

$$c = 600.0 - 2 \times 19.0 - 2 \times 24.0 = 514.0 \text{ mm}, \quad t = 12.0 \text{ mm}, \quad c/t = 514.0/12.0 = 42.83$$

$$S \ 355, \quad t = 12.0 \leq 40 \text{ mm}, \quad f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \quad \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$$

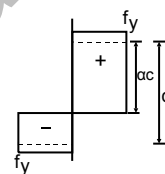
Θέση ουδέτερου άξονα για συνδυασμό Κάμψη και Θλίψη

$$N_{ed}/(2t_w \cdot f_y/\gamma_{M0}) = 115100/(2 \times 12.0 \times 355/1.00) = 13.5 \text{ mm}$$

$$\alpha = (514.0/2 + 13.5)/514.0 = 0.526 > 0.5$$

$$c/t = 42.83 \leq 396 \times 0.81/(13 \times 0.526 - 1) = 54.91$$

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

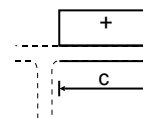
**Πέλμα**

$$c = 220.0/2 - 12.0/2 - 24.0 = 80.0 \text{ mm}, \quad t = 19.0 \text{ mm}, \quad c/t = 80.0/19.0 = 4.21$$

$$S \ 355, \quad t = 19.0 \leq 40 \text{ mm}, \quad f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \quad \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$$

$$c/t = 4.21 \leq 9 \epsilon = 9 \times 0.81 = 7.29$$

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

Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 1, Κάμψη και Θλίψη $N_{c,ed} + M_{y,ed}$ **13.2. Αντοχή διατομής, Υποσύλωνα (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

$$N_{c,ed} = 125.00 \text{ kN}$$

$$\text{Θλιπτική αντοχή } N_{pl,rd} = A \cdot f_y/\gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 15600 \times 355/1.00 = 5538.00 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 125.00 \text{ kN} < 5538.00 \text{ kN} = N_{c,rd} = N_{pl,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη y-y

(EN1993-1-1, §6.2.5)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

$$M_{y,ed} = 615.62 \text{ kNm}$$

$$\text{Καμπτική αντοχή } M_{pl,y,rd} = W_{pl,y} \cdot f_y/\gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355/1.00 = 1246.76 \text{ kNm}$$

$$M_{y,ed} = 615.62 \text{ kNm} < 1246.76 \text{ kNm} = M_{y,rd} = M_{pl,y,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

$$V_{z,ed}=123.40 \text{ kNm}$$

$$A_v=A-2b \cdot t_f+(t_w+2r) t_f=15600-2 \times 220.0 \times 19.0+(12.0+2 \times 24.0) \times 19.0=8380 \text{ mm}^2 \quad (\text{EC3 } §6.2.6.3)$$

$$A_v=8380 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w=1.00 \times (600.0-2 \times 19.0) \times 12.0=1.00 \times 581.0 \times 12.0=6972 \text{ mm}^2$$

$$\text{Πλαστική διατμητική αντοχή } V_{pl,z,rd}=A_v(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}=[10^{-3}] \times 8380 \times (355/1.73)/1.00=1717.56 \text{ kN}$$

$$V_{z,ed}=123.40 \text{ kN} < 1717.56 \text{ kN}=V_{z,rd}=V_{pl,z,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$h_w/t_w=(600.0-2 \times 19.0)/12.0=581.0/12.0=48.42 \leq 72 \times 0.81/1.00=72 \epsilon/\eta=58.32 \quad (\eta=1.00)$$

$$S_{355}, t=12.0 \leq 40 \text{ mm}, f_y=355 \text{ N/mm}^2, \epsilon=(235/355)^{0.5}=0.81$$

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

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη (EN1993-1-1, §6.2.9)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: 1.25xGk+1.50Qs1

$$N_{ed}=115.10 \text{ kN (Θλίψη)}, V_{z,ed}=73.50 \text{ kNm}, M_{y,ed}=367.40 \text{ kNm}$$

$$N_{plrd}=5538.00 \text{ kN}, M_{pl,y,rd}=1246.76 \text{ kNm}, V_{pl,z,rd}=1717.56 \text{ kN}$$

$$N_{ed}=115.10 \text{ kN} \leq 0.25 \times 5538.00=0.25 \times N_{plrd}=1384.50 \text{ kN}$$

$$N_{ed}=115.10 \text{ kN} \leq [10^{-3}] \times 0.5 \times 581.0 \times 12.0 \times 355/1.00=0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y/\gamma_{M0}=1237.53 \text{ kN}$$

$$n=N_{ed}/N_{plrd}=115/5538=0.021$$

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

$$V_{ed}=73.50 \text{ kN} \leq 0.50 \times 1717.56=0.50 \times V_{pl,rd}=858.78 \text{ kN}$$

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

$$M_{y,ed}=367.40 \text{ kNm} < 1246.76 \text{ kNm}=M_{pl,y,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη (EN1993-1-1, §6.2.9)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

$$N_{ed}=125.00 \text{ kN (Θλίψη)}, V_{z,ed}=123.40 \text{ kNm}, M_{y,ed}=615.62 \text{ kNm}$$

$$N_{plrd}=5538.00 \text{ kN}, M_{pl,y,rd}=1246.76 \text{ kNm}, V_{pl,z,rd}=1717.56 \text{ kN}$$

$$N_{ed}=125.00 \text{ kN} \leq 0.25 \times 5538.00=0.25 \times N_{plrd}=1384.50 \text{ kN}$$

$$N_{ed}=125.00 \text{ kN} \leq [10^{-3}] \times 0.5 \times 581.0 \times 12.0 \times 355/1.00=0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y/\gamma_{M0}=1237.53 \text{ kN}$$

$$n=N_{ed}/N_{plrd}=125/5538=0.023$$

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

$$V_{ed}=123.40 \text{ kN} \leq 0.50 \times 1717.56=0.50 \times V_{pl,rd}=858.78 \text{ kN}$$

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

$$M_{y,ed}=615.62 \text{ kNm} < 1246.76 \text{ kNm}=M_{pl,y,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

13.3. Καμπτικός λυγισμός, Υποστώμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6.3.1)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

$$\text{Μήκη λυγισμού: } L_{cr,y}=1.000 \times 5000=5000 \text{ mm}, L_{cr,z}=0.850 \times 5000=4250 \text{ mm}$$

$$\text{Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)}$$

(EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y=\sqrt{(A \cdot f_y/N_{cr,y})}=(L_{cr,y}/i_y) \cdot (1/\lambda_1)=(5000/243.0) \times (1/76.06)=0.271$$

$$\bar{\lambda}_z=\sqrt{(A \cdot f_y/N_{cr,z})}=(L_{cr,z}/i_z) \cdot (1/\lambda_1)=(4250/46.6) \times (1/76.06)=1.199$$

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

$$h/b=600/220=2.73 > 1.20, t_f=19.0 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: } a, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_y=0.21, \chi_y=0.984 \quad (\text{T.6.2, T.6.1, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_y=0.5[1+\alpha_y(\bar{\lambda}_y-0.2)+\bar{\lambda}_y^2]=0.5 \times [1+0.21 \times (0.271-0.2)+0.271^2]=0.544$$

$$\chi_y=1/[\Phi_y+\sqrt{(\Phi_y^2-\bar{\lambda}_y^2)}]=1/[0.544+\sqrt{(0.544^2-0.271^2)}]=0.984 \leq 1 \quad \chi_y=0.984$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: } b, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_z=0.34, \chi_z=0.479$$

$$\Phi_z=0.5[1+\alpha_z(\bar{\lambda}_z-0.2)+\bar{\lambda}_z^2]=0.5 \times [1+0.34 \times (1.199-0.2)+1.199^2]=1.389$$

$$\chi_z=1/[\Phi_z+\sqrt{(\Phi_z^2-\bar{\lambda}_z^2)}]=1/[1.389+\sqrt{(1.389^2-1.199^2)}]=0.479 \leq 1 \quad \chi_z=0.479$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi=1/[\Phi+\sqrt{(\Phi^2-\bar{\lambda}^2)}], \chi \leq 1.0, \Phi=0.5[1+\alpha(\bar{\lambda}-0.2)+\bar{\lambda}^2], \chi=0.479 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_{b,rd}=\chi \cdot A \cdot f_y/\gamma_{M1}=0.479 \times [10^{-3}] \times 15600 \times 355/1.00=2652.70 \text{ kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_{c,ed}=125.00 \text{ kN} < 2652.70 \text{ kN}=N_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

13.4. Πλευρικός λυγισμός, Υποσύλωμα

(EN1993-1-1, §6.3.2)

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

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

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

$$k \cdot L = 4250 \text{ mm}, \quad z_g = h/2 = 600/2 = 300 \text{ mm}, \quad z_j = 0 \text{ mm}$$

(EN1993:2002 T.C.1)

$$kz = 1.0, \quad kw = 1.0, \quad \psi = 0.000, \quad C_1 = 1.847, \quad C_2 = 0.000, \quad C_3 = 0.000$$

(EN1993:2002 T.C.1)

$$M_{cr} = [10^{-6}] 1.847 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 33.870 \times 10^6 / 4250^2]$$

$$\times \{ [1.0 \times (2845.5 \times 10^9 / 33.870 \times 10^6)]$$

$$+ 4250^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 1.654 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 33.870 \times 10^6) \}^{0.5} = 2469.9 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}, l_t = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 / 2469.9)} = 0.710$$

(EC3 Εξ.6.56)

$$h/b = 600/220 = 2.73 > 2.00 \text{ καμπύλη λυγισμού: c}$$

$$\text{συντελεστής ατελειών: } \alpha, l_t = 0.49, \quad \beta = 0.75, \quad \chi, l_t = 0.819$$

(T.6.3, T.6.5, Σχ.6.4)

$$\Phi, l_t = 0.5[1 + \alpha, l_t (\bar{\lambda}, l_t - \bar{\lambda}, l_{to}) + \beta \bar{\lambda}, l_t^2] = 0.5 \times [1 + 0.49 \times (0.710 - 0.40) + 0.75 \times 0.710^2] = 0.765$$

$$\chi, l_t = 1 / [\Phi, l_t + \sqrt{(\Phi, l_t^2 - \beta \bar{\lambda}, l_t^2)}] = 1 / [0.765 + \sqrt{(0.765^2 - 0.75 \times 0.765^2)}] = 0.819$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi, l_t = 1 / [\Phi, l_t + \sqrt{(\Phi, l_t^2 - \beta \bar{\lambda}, l_t^2)}], \quad \chi, l_t \leq 1.0, \quad 1 / \bar{\lambda}, l_t^2, \quad \chi, l_t = 0.819 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$\chi, l_t, \text{mod} = \chi, l_t / f, \quad \chi, l_t, \text{mod} \leq 1, \quad \chi, l_t, \text{mod} \leq 1 / \bar{\lambda}, l_t^2 = 1 / 0.710^2 = 1.98$$

(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)

$$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}, l_t - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.752) [1 - 2.0 \times (0.710 - 0.8)^2] = 0.878, \quad f \leq 1.0$$

$$\chi, l_t, \text{mod} = \chi, l_t / f = 0.819 / 0.878 = 0.933, \quad \chi, l_t, \text{mod} \leq 1.0, \quad \chi, l_t, \text{mod} \leq 1.98, \quad \chi, l_t, \text{mod} = 0.933$$

$$M_{b,rd} = \chi, l_t \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.933 \times [10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 1163.23 \text{ kNm}$$

(EC3 Εξ.6.55)

$$M_{y,ed} = 523.30 \text{ kNm} < 1163.23 \text{ kNm} = M_{b,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

13.5. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, Υποσύλωμα

(EN1993-1-1, §6.3.3)

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

(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)

$$N_{rk} = A \cdot f_y = [10^{-3}] \times 15600 \times 355 = 5538.0 \text{ kN}$$

(Πιν.6.7)

$$M_{y,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = [10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 = 1246.8 \text{ kNm}$$

$$\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.984 \times [10^{-3}] \times 15600 \times 355 / 1.00 = 5449.4 \text{ kN}$$

$$\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.479 \times [10^{-3}] \times 15600 \times 355 / 1.00 = 2652.7 \text{ kN}$$

$$\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.933 \times [10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 1163.2 \text{ kNm}$$

Συντελεστές κύρτωσης, Μέθοδος υπολογισμού: Μέθοδος 1 Παράρτημα A

(EC3 ΠαράρτημαA)

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

(EC3 Πιν.Α.1)

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

$$N_{cr,y} = \pi^2 EI_y / l_{cr,y}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 920.80 \times 10^6 / 5000^2 = 76339 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 EI_z / l_{cr,z}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 33.870 \times 10^6 / 4250^2 = 3886 \text{ kN}$$

$$N_{cr,t} = (1 / i_p^2) \times (G \cdot I_t + \pi^2 EI_w / L_{cr,t}^2)$$

(EC3 NCCI SN003b-EN-EU)

$$N_{cr,t} = [10^{-3}] \times (1 / 247^2) [80769 \times 1.654 \times 10^6 + \pi^2 \times 210000 \times 2845.5 \times 10^9 / 4250^2] = 7519 \text{ kN}$$

$$\mu_y = (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{ed} / N_{cr,y}) = (1 - 115.1 / 76339) / (1 - 0.984 \times 115.1 / 76339) = 1.000$$

$$\mu_z = (1 - N_{ed} / N_{cr,z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{ed} / N_{cr,z}) = (1 - 115.1 / 3886) / (1 - 0.479 \times 115.1 / 3886) = 0.984$$

$$\alpha_{lt} = 1 - I_t / I_y > 0 = 1 - 1.654 \times 10^6 / 920.80 \times 10^6 = 0.998$$

(EC3 Παράρτημα Α.1)

$$w_y = W_{pl,y} / W_{el,y} \leq 1.50, \quad w_y = 3.512 \times 10^6 / 3.069 \times 10^6 = 1.144 \leq 1.50$$

(EC3 Παράρτημα Α.1)

$$w_z = W_{pl,z} / W_{el,z} \leq 1.50, \quad w_z = 0.486 \times 10^6 / 0.308 \times 10^6 = 1.577 > 1.50, \quad w_z = 1.50$$

$$n_{pl} = N_{ed} / (N_{rk} / \gamma_{M1}) = 115.10 / (5538.00 / 1.00) = 0.021$$

$$\bar{\lambda}_{max} = \max(0.271, 1.199) = 1.200$$

(EC3 Παράρτημα Α.1)

$$M_{cr,o} = (1.00 / 1.85) \times 2469.90 = 1337.3, \quad C_1 = 1.00$$

$$\bar{\lambda}_o = \sqrt{([10^{-6}] \times 3512.0 \times 10^3 \times 355 / 1337.3)} = 0.970$$

$$\bar{\lambda}_{o,lim} = 0.2 \sqrt{C_1 [(1 - N_{ed} / N_{cr,z}) (1 - N_{ed} / N_{cr,t})]}^{0.25}$$

(EC3 Παράρτημα Α.1)

$$\bar{\lambda}_{o,lim} = 0.2 \sqrt{1.847 [(1 - 115.1 / 3886) (1 - 115.1 / 7519)]}^{0.25} = 0.269$$

$$\epsilon_y = (M_{y,ed} / N_{ed}) (A / W_{el}) = ([10^3] \times 312.29 / 115.10) \times (15600.0 / 3069.0 \times 10^3) = 13.79$$

$C_{my,o}=0.79+0.21\psi+0.36(\psi-0.33)\times(115.10/76339.0)=0.790, (\psi=0.00)$ (EC3 Παράρτημα A, T.A.1)
 $\bar{\lambda}_o=0.970 > \bar{\lambda}_{o,lim}=0.269$
 $C_{my}=C_{my,o}+(1-C_{my,o})(\sqrt{\varepsilon_y \cdot \alpha_{lt}})/(1+\sqrt{\varepsilon_y \cdot \alpha_{lt}})=$
 $=0.790+(1-0.790)\times(\sqrt{13.791\times 0.998})/(1+\sqrt{13.791\times 0.998})=0.955$
 $C_{m1t}=C_{my}^2 \cdot \alpha_{lt}/\sqrt{[(1-N_{ed}/N_{cr,z})(1-N_{ed}/N_{cr,t})]} \geq 1$
 $C_{m1t}=0.955^2 \times 0.998/\sqrt{[(1-115.1/3886.0)(1-115.1/7519.0)]}=0.931, C_{m1t}=1.000$

$C_{yy}=1+(w_y-1)[(2-1.6C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}/w_y-1.6C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2/w_y)n_{pl}-b_{lt}] \geq W_{el,y}/W_{pl,y}$ (Παράρτημα A, T.A.1)
 $b_{lt}=0.5\alpha_{lt} \cdot \bar{\lambda}_o^2 [M_{y,ed}/(\chi_{lt} \cdot M_{pl,y,rd})] [M_{z,ed}/M_{pl,z,rd}] =$
 $=0.5 \times 0.998 \times 0.970^2 [312.3/(0.933 \times 1089.5)] (0.0/109.3) = 0.000$
 $C_{yy}=1+(1.144-1)[(2-1.6 \times 0.955^2 \times 1.200/1.144-1.6 \times 0.955^2 \times 1.200^2/1.144) \times 0.021-0.000]=0.996$
 $C_{yy} \geq 3069.0 \times 10^3 / 3512.0 \times 10^3 = 0.874, C_{yy}=0.996$

$C_{zy}=1+(w_y-1)[(2-14.0C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2/w_y^5)n_{pl}-d_{lt}] \geq 0.6\sqrt{(w_y/w_z)} (W_{el,y}/W_{pl,y})$ (Παράρτημα A, T.A.1)
 $d_{lt}=2\alpha_{lt} \cdot [\bar{\lambda}_o/(0.1+\bar{\lambda}_z^4)] [M_{y,ed}/(C_{my} \cdot \chi_{lt} \cdot M_{pl,y,rd})] [M_{z,ed}/(C_{mz} \cdot M_{pl,z,rd})] =$
 $=20.998 \times [0.970/(0.1+1.199^4)] [312.3/(0.955 \times 0.933 \times 1089.5)] [0.0/(0.000 \times 109.3)] = 0.000$
 $C_{zy}=1+(1.144-1)[(2-14.0 \times 0.955^2 \times 1.200^2/1.144^5) 0.021-0.000]=0.978$
 $C_{zy} \geq 0.6\sqrt{(1.144/1.500)} (3069.0 \times 10^3 / 3512.0 \times 10^3) = 0.458, C_{zy}=0.978$

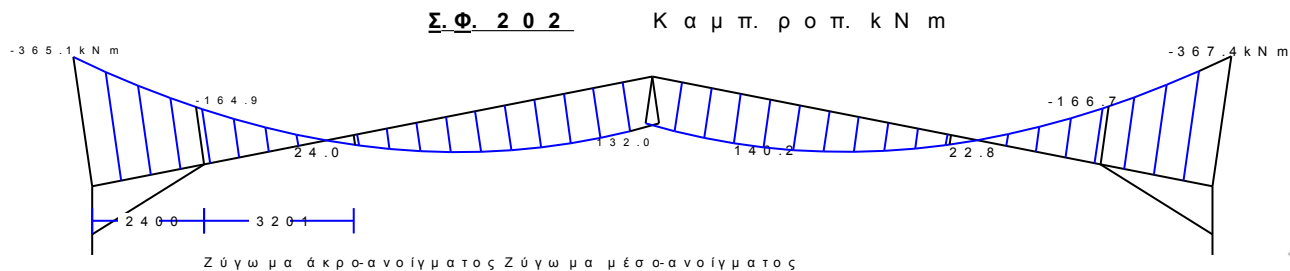
$C_{yy}=0.996, C_{zy}=0.978$ (Παράρτημα A, T.A.1)
 $k_{yy}=0.955 \times 1.000 \times 1.000 / (1-115.10/76339.0) \times (1/0.996)=0.960$
 $k_{zy}=0.955 \times 1.000 \times 0.984 / (1-115.10/76339.0) \times (1/0.978) \times 0.6 \times \sqrt{(1.144/1.500)}=0.504$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: 1.25xGk+1.50Qs1
 $N_{ed}/(\chi_y \cdot N_{rk}/\gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}/\gamma_{M1}) =$ (EC3 Εξ.6.61)
 $115.1/(0.984 \times 5538.0/1.00) + 0.960 \times 312.3/(0.933 \times 1246.8/1.00) = 0.021 + 0.258 = 0.279$
 $0.279 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$
 $N_{ed}/(\chi_z \cdot N_{rk}/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}/\gamma_{M1}) =$ (EC3 Εξ.6.62)
 $115.1/(0.479 \times 5538.0/1.00) + 0.504 \times 312.3/(0.933 \times 1246.8/1.00) = 0.043 + 0.135 = 0.179$
 $0.179 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο
 $N_{ed}/(\chi_y \cdot N_{rk}/\gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}/\gamma_{M1}) =$ (EC3 Εξ.6.61)
 $125.0/(0.984 \times 5538.0/1.00) + 0.960 \times 523.3/(0.933 \times 1246.8/1.00) = 0.023 + 0.432 = 0.455$
 $0.455 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$
 $N_{ed}/(\chi_z \cdot N_{rk}/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,ed}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}/\gamma_{M1}) =$ (EC3 Εξ.6.62)
 $125.0/(0.479 \times 5538.0/1.00) + 0.504 \times 523.3/(0.933 \times 1246.8/1.00) = 0.047 + 0.227 = 0.274$
 $0.274 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$

14. Ελεγχος ζυγμάτων (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6)



Διατομή : IPE 500-S 355

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: 1.25xGk+1.50Qs1

$N_{ed} = 81.3 \text{ kN}$
 $V_{ed} = 73.2 \text{ kN}$
 $M_{yed} = 166.7 \text{ kNm}, M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$
 $M_{yed} = 140.5 \text{ kNm}$ (στο μέσο ανοίγματος)
 $M_{yed} = -166.7 \text{ kNm}$ (στην αρχή της ενίσχυσης)
 $M_{yed} = -339.2 \text{ kNm}$ (στο τέλος της ενίσχυσης)
 $M_{yed} = -367.4 \text{ kNm}$ (στον άξονα του υποστυλώματος)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

$N_{ed} = 2.4 \text{ kN}$
 $V_{ed} = 13.8 \text{ kN}$
 $M_{yed} = -35.5 \text{ kNm}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού για ανάλυση σε σεισμικά φορτία

$N_{ed} = 46.1 \text{ kN}$
 $V_{ed} = 41.9 \text{ kN}$
 $M_{yed} = 170.5 \text{ kNm}, M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$
 $M_{yed} = 170.5 \text{ kNm}$ (στην αρχή της ενίσχυσης)
 $M_{yed} = 207.8 \text{ kNm}$ (στο τέλος της ενίσχυσης)

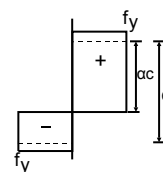
14.1. Κατάταξη διατομών, Ζύγωμα

(EN1993-1-1, §5.5)

Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής $\sigma = N_{ed}/A_{el} \pm M_{yed}/W_{el.y} \pm M_{zed}/W_{el.z}$
 $\sigma = [10^{-3}] 81/11550 \pm [10^{-6}] 167/1928.0 \times 10^3 \pm [10^{-6}] 0/214.2 \times 10^3$
 $\sigma_1 = 94 \text{ N/mm}^2, \sigma_2 = -79 \text{ N/mm}^2$ (θλίψη θετική)

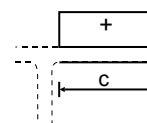
Κορμός

$c = 500.0 - 2 \times 16.0 - 2 \times 21.0 = 426.0 \text{ mm}, t = 10.2 \text{ mm}, c/t = 426.0/10.2 = 41.76$
 $S 355, t = 10.2 \leq 40 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$
 θέση ουδέτερου άξονα για συνδυασμό Κάμψη και θλίψη
 $N_{ed}/(2t_w \cdot f_y/\gamma_{M0}) = 81300/(2 \times 10.2 \times 355/1.00) = 11.2 \text{ mm}$
 $\alpha = (426.0/2 + 11.2)/426.0 = 0.526 > 0.5$
 $c/t = 41.76 \leq 396 \times 0.81/(13 \times 0.526 - 1) = 54.90$
 Ο κορμός είναι κατηγορία 1 (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 1, Κάμψη και θλίψη $N_{c,ed} + M_{y,ed}$

14.2. Αντοχή διατομής, Ζύγωμα (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. 252: $1.25xG+1.50Q_{s1}+0.90Q_{w2}$

$$N_{c,ed} = 82.40 \text{ kN}$$

$$\theta_{\text{λειτουργία}} \text{ αντοχή } N_{pl,rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 11550 \times 355 / 1.00 = 4100.25 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 82.40 \text{ kN} < 4100.25 \text{ kN} = N_{c,rd} = N_{pl,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη γ-γ

(EN1993-1-1, §6.2.5)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

$$M_{y,ed} = 170.50 \text{ kNm}$$

$$\text{Καμπτική αντοχή } M_{pl,y,rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 778.87 \text{ kNm}$$

$$M_{y,ed} = 170.50 \text{ kNm} < 778.87 \text{ kNm} = M_{y,rd} = M_{pl,y,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: $1.25xG_k+1.50Q_{s1}$

$$V_{z,ed} = 73.20 \text{ kN}$$

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

$$A_v = 5985 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (500.0 - 2 \times 16.0) \times 10.2 = 1.00 \times 484.0 \times 10.2 = 4937 \text{ mm}^2$$

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

$$V_{z,ed} = 73.20 \text{ kN} < 1226.72 \text{ kN} = V_{z,rd} = V_{pl,z,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$h_w / t_w = (500.0 - 2 \times 16.0) / 10.2 = 484.0 / 10.2 = 47.45 \leq 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \epsilon / \eta = 58.32 \quad (\eta = 1.00)$$

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

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. 202: $1.25xG_k+1.50Q_{s1}$

$$N_{ed} = 81.30 \text{ kN} (\theta \lambda \iota \psi \eta), V_{z,ed} = 73.20 \text{ kNm}, M_{y,ed} = 166.70 \text{ kN}$$

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

$$N_{ed} = 81.30 \text{ kN} \leq 0.25 \times 4100.25 = 0.25 \times N_{pl,rd} = 1025.06 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 81.30 \text{ kN} \leq [10^{-3}] \times 0.5 \times 484.0 \times 10.2 \times 355 / 1.00 = 0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 876.28 \text{ kN}$$

$$n = N_{ed} / N_{pl,rd} = 81 / 4100 = 0.020$$

Η επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται

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

$$V_{ed} = 73.20 \text{ kN} \leq 0.50 \times 1226.72 = 0.50 \times V_{pl,rd} = 613.36 \text{ kN}$$

Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.8.2)

$$M_{y,ed} = 166.70 \text{ kNm} < 778.87 \text{ kNm} = M_{pl,y,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

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

(EN1993-1-1, §6.2.9)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

$$N_{ed} = 46.10 \text{ kN} (\theta \lambda \iota \psi \eta), V_{z,ed} = 41.90 \text{ kNm}, M_{y,ed} = 170.50 \text{ kN}$$

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

$$N_{ed} = 46.10 \text{ kN} \leq 0.25 \times 4100.25 = 0.25 \times N_{pl,rd} = 1025.06 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 46.10 \text{ kN} \leq [10^{-3}] \times 0.5 \times 484.0 \times 10.2 \times 355 / 1.00 = 0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 876.28 \text{ kN}$$

$$n = N_{ed} / N_{pl,rd} = 46 / 4100 = 0.011$$

Η επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται

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

$$V_{ed} = 41.90 \text{ kN} \leq 0.50 \times 1226.72 = 0.50 \times V_{pl,rd} = 613.36 \text{ kN}$$

Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.8.2)

$$M_{y,ed} = 170.50 \text{ kNm} < 778.87 \text{ kNm} = M_{pl,y,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

14.3. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 252: $1.25xG+1.50Q_{s1}+0.90Q_{w2}$

$$N_{ed} = 81.3 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 94.1 \text{ kN}$$

$$M_{y,ed} = 140.2 \text{ kNm}, M_{z,ed} = 0.0 \text{ kNm}$$

$$\text{Μήκος ζυγώματος } L_r = \sqrt{[(24000/2)^2 + (7000-5000)^2]} = 12042 \text{ mm}$$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο

$$\alpha_{cr} = 46.86, N_{ed} = 81.3 \text{ kN}, L_{cr,y} = \pi \sqrt{[EI / \alpha_{cr} \cdot N_{ed}]} \geq L_r = 12042 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = \pi \sqrt{[210000 \times 482.00 \times 10^6 / (46.86 \times 81.3 \times 10^3)]} = 16190 \text{ mm}, L_{cr,y} = 16190 \text{ mm}$$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο $L_{cr,y} = 16190 \text{ mm}$ (Μήκος συστήματος)Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου $L_{cr,z} = 3000 \text{ mm}$ (Απόσταση τεγίδων)

14.4. Καμπτικός λυγισμός, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχία) (EN1993-1-1, §6.3.1)Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 252: $1.25xG+1.50Q_{s1}+0.90Q_{w2}$ Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y}=1.344 \times 12042=16190\text{mm}$, $L_{cr,z}=0.249 \times 12042=3000\text{mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (16190 / 204.3) \times (1 / 76.06) = 1.042$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3000 / 43.1) \times (1 / 76.06) = 0.916$$

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

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

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: } a, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_y = 0.21, \quad \chi_y = 0.636$$

(Τ.6.2, Τ.6.1, Σχ.6.4)

$$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 [1 + 0.21 \times (1.042 - 0.2) + 1.042^2] = 1.131$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [1.131 + \sqrt{(1.131^2 - 1.042^2)}] = 0.636 \leq 1 \quad \chi_y = 0.636$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: } b, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_z = 0.34, \quad \chi_z = 0.651$$

$$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 [1 + 0.34 \times (0.916 - 0.2) + 0.916^2] = 1.041$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.041 + \sqrt{(1.041^2 - 0.916^2)}] = 0.651 \leq 1 \quad \chi_z = 0.651$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}], \quad \chi \leq 1.0, \quad \Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2], \quad \chi = 0.636 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.636 \times [10^{-3}] \times 11550 \times 355 / 1.00 = 2607.76\text{kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_{c,ed} = 81.33\text{ kN} < 2607.76\text{ kN} = N_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

14.5. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος

(EN1993-1-1, §6.3.2)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: $1.25xG_k+1.50Q_{s1}$

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

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

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

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

(EN1993:2002 T.C.1)

$$kz = 1.0, \quad kw = 1.0, \quad \psi = 1.000, \quad C_1 = 1.000, \quad C_2 = 0.000, \quad C_3 = 0.000$$

(EN1993:2002 T.C.1)

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

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

$$+ 3000^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.893 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 21.420 \times 10^6)]^{0.5} \} = 1332.3 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 1332.3)} = 0.765$$

(EC3 Εξ.6.56)

$$h/b = 500/200 = 2.50 > 2.00 \text{ καμπύλη λυγισμού: } c$$

$$\text{συντελεστής ατελειών: } \alpha_{lt} = 0.49, \quad \beta = 0.75, \quad \chi_{lt} = 0.786$$

(Τ.6.3, Τ.6.5, Σχ.6.4)

$$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - 0.8) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 [1 + 0.49 \times (0.765 - 0.8) + 0.75 \times 0.765^2] = 0.809$$

$$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [0.809 + \sqrt{(0.809^2 - 0.75 \times 0.809^2)}] = 0.786$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}], \quad \chi_{lt} \leq 1.0, \quad 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2, \quad \chi_{lt} = 0.786 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1, \quad \chi_{lt,mod} = 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2 = 1 / 0.765^2 = 1.71$$

(EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)

$$K_c = 1.00$$

(EC3 Πιν.6.6)

$$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 1.000) [1 - 2.0 \times (0.765 - 0.8)^2] = 1.000, \quad f \leq 1.0$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.786 / 1.000 = 0.786, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1.0, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1.71, \quad \chi_{lt,mod} = 0.786$$

$$M_{b,rd} = \chi_{lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.786 \times [10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 612.19\text{kNm}$$

(EC3 Εξ.6.55)

$$M_{y,ed} = 140.24\text{ kNm} < 612.19\text{ kNm} = M_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

14.6. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος

(EN1993-1-1, §6.3.3)

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

(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)

$$N_{rk} = A \cdot f_y = [10^{-3}] \times 11550 \times 355 = 4100.2\text{ kN}$$

(Πιν.6.7)

$$M_{y,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = [10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 = 778.9\text{ kNm}$$

$$\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.636 \times [10^{-3}] \times 11550 \times 355 / 1.00 = 2607.8\text{kN}$$

$$\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.651 \times [10^{-3}] \times 11550 \times 355 / 1.00 = 2669.3\text{kN}$$

$$\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.786 \times [10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 612.2\text{kNm}$$

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)

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

$N_{cr,y} = \pi^2 EI_y / l_{cr,y}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 482.00 \times 10^6 / 16190^2 = 3811 \text{ kN}$
 $N_{cr,z} = \pi^2 EI_z / l_{cr,z}^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 21.420 \times 10^6 / 3000^2 = 4933 \text{ kN}$
 $N_{cr,t} = (1 / i_p^2) \times (G \cdot I_t + \pi^2 EI_w / L_{cr,t}^2)$ (EC3 NCCI SN003b-EN-EU)
 $N_{cr,t} = [10^{-3}] \times (1 / 209^2) [80769 \times 0.893 \times 10^6 + \pi^2 \times 210000 \times 1249.4 \times 10^9 / 4033^2] = 5306 \text{ kN}$

$\mu_y = (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{ed} / N_{cr,y}) = (1 - 81.3 / 3811) / (1 - 0.636 \times 81.3 / 3811) = 0.992$
 $\mu_z = (1 - N_{ed} / N_{cr,z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{ed} / N_{cr,z}) = (1 - 81.3 / 4933) / (1 - 0.651 \times 81.3 / 4933) = 0.994$
 $alt = 1 - I_t / I_y > 0 = 1 - 0.893 \times 10^6 / 482.00 \times 10^6 = 0.998$ (EC3 Παράρτημα A.1)

$w_y = W_{pl,y} / W_{el,y} < 1.50$, $w_y = 2.194 \times 10^6 / 1.928 \times 10^6 = 1.138 < 1.50$ (EC3 Παράρτημα A.1)
 $w_z = W_{pl,z} / W_{el,z} < 1.50$, $w_z = 0.336 \times 10^6 / 0.214 \times 10^6 = 1.568 > 1.50$, $w_z = 1.50$
 $n_{pl} = N_{ed} / (N_{rk} / \gamma_{M1}) = 81.33 / (4100.20 / 1.00) = 0.020$

$\bar{\lambda}_{max} = \max(1.042, 0.916) = 1.040$ (EC3 Παράρτημα A.1)
 $M_{cr,o} = (1.00 / 1.00) \times 1332.30 = 1332.3$, $C1 = 1.00$
 $\bar{\lambda}_o = \sqrt{([10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 1332.3)} = 0.760$
 $\bar{\lambda}_o, \lim = 0.2 \sqrt{C1} [(1 - N_{ed} / N_{cr,z}) (1 - N_{ed} / N_{cr,t})]^{0.25}$ (EC3 Παράρτημα A.1)
 $\bar{\lambda}_o, \lim = 0.2 \sqrt{1.000} [(1 - 81.3 / 4933) (1 - 81.3 / 5306)]^{0.25} = 0.198$
 $\epsilon_y = (M_y, ed / N_{ed}) (A / W_{el}) = ([10^3] \times 140.24 / 81.33) \times (11550.0 / 1928.0 \times 10^3) = 10.33$

$C_{my,o} = 0.79 + 0.21\psi + 0.36(\psi - 0.33) \times (81.33 / 3811.0) = 1.005$, ($\psi = 1.00$) (EC3 Παράρτημα A, T.A.1)
 $\bar{\lambda}_o = 0.760 > \bar{\lambda}_o, \lim = 0.198$
 $C_{my} = C_{my,o} + (1 - C_{my,o}) (\sqrt{\epsilon_y \cdot alt}) / (1 + \sqrt{\epsilon_y \cdot alt}) =$
 $= 1.005 + (1 - 1.005) \times (\sqrt{10.329 \times 0.998}) / (1 + \sqrt{10.329 \times 0.998}) = 1.001$
 $C_{m1t} = C_{my} \cdot alt / \sqrt{[(1 - N_{ed} / N_{cr,z}) (1 - N_{ed} / N_{cr,t})]} > 1$
 $C_{m1t} = 1.001^2 \times 0.998 / \sqrt{[(1 - 81.3 / 4933.0) (1 - 81.3 / 5306.0)]} = 1.016$, $C_{m1t} = 1.016$

$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) [(2 - 1.6 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} / w_y - 1.6 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y) n_{pl} - blt] > W_{el,y} / W_{pl,y}$ (Παράρτημα A, T.A.1)
 $blt = 0.5 alt \cdot \bar{\lambda}_o^2 [M_y, ed / (\chi_{lt} \cdot M_{pl,y}, rd)] (M_z, ed / M_{pl,z}, rd) =$
 $= 0.5 \times 0.998 \times 0.760^2 [0.0 / (0.786 \times 684.4)] (0.0 / 76.0) = 0.000$
 $C_{yy} = 1 + (1.138 - 1) [(2 - 1.6 \times 1.001^2 \times 1.040 / 1.138 - 1.6 \times 1.001^2 \times 1.040^2 / 1.138) \times 0.020 - 0.000] = 0.997$
 $C_{yy} > 1928.0 \times 10^3 / 2194.0 \times 10^3 = 0.879$, $C_{yy} = 0.997$

$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) [(2 - 14.0 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y^5) n_{pl} - dlt] > 0.6 \sqrt{(w_y / w_z) (W_{el,y} / W_{pl,y})}$ (Παράρτημα A, T.A.1)
 $dlt = 2 alt \cdot [\bar{\lambda}_o / (0.1 + \bar{\lambda}_z^4)] [M_y, ed / (C_{my} \cdot \chi_{lt} \cdot M_{pl,y}, rd)] [M_z, ed / (C_{mz} \cdot M_{pl,z}, rd)] =$
 $= 20.998 \times [0.760 / (0.1 + 0.916^4)] [0.0 / (1.001 \times 0.786 \times 684.4)] [0.0 / (0.000 \times 76.0)] = 0.000$
 $C_{zy} = 1 + (1.138 - 1) [(2 - 14.0 \times 1.001^2 \times 1.040^2 / 1.138^5) 0.020 - 0.000] = 0.984$
 $C_{zy} > 0.6 \sqrt{(1.138 / 1.500) (1928.0 \times 10^3 / 2194.0 \times 10^3)} = 0.459$, $C_{zy} = 0.984$

$C_{yy} = 0.997$, $C_{zy} = 0.984$ (Παράρτημα A, T.A.1)
 $k_{yy} = 1.001 \times 1.016 \times 0.992 / (1 - 81.33 / 3811.0) \times (1 / 0.997) = 1.034$
 $k_{zy} = 1.001 \times 1.016 \times 0.994 / (1 - 81.33 / 3811.0) \times (1 / 0.984) \times 0.6 \times \sqrt{(1.138 / 1.500)} = 0.549$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: $1.25 \times G_k + 1.50 Q_{s1}$
 $N_{ed} / (\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) =$ (EC3 Εξ.6.61)
 $81.3 / (0.636 \times 4100.2 / 1.00) + 1.034 \times 140.2 / (0.786 \times 778.9 / 1.00) = 0.031 + 0.237 = 0.268$
 $0.268 < 1.000$, Έλεγχος ικανοποιείται

$N_{ed} / (\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) =$ (EC3 Εξ.6.62)
 $81.3 / (0.651 \times 4100.2 / 1.00) + 0.549 \times 140.2 / (0.786 \times 778.9 / 1.00) = 0.030 + 0.126 = 0.156$
 $0.156 < 1.000$, Έλεγχος ικανοποιείται

14.7. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγμα άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 252: $1.25 \times G_k + 1.50 Q_{s1} + 0.90 Q_{w2}$

$N_{ed} = 90.2 \text{ kN}$

$V_{ed} = 94.1 \text{ kN}$

$M_{yed} = 166.7 \text{ kNm}$, $M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$

Μήκος ζυγώματος $L_r = \sqrt{[(24000/2)^2 + (7000 - 5000)^2]} = 12042 \text{ mm}$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο $L_{cr,y} = 16190 \text{ mm}$ (Μήκος συστήματος)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου $L_{cr,z} = 3201 \text{ mm}$ (Εγκάρσιες συγκρατήσεις ζυγωμάτων)

14.8. Καμπτικός λυγισμός, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχία) (EN1993-1-1, §6.3.1)Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 252: $1.25xG+1.50Q_{s1}+0.90Q_{w2}$ Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y}=1.344x12042=16190\text{mm}$, $L_{cr,z}=0.266x12042=3201\text{mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (16190 / 204.3) \cdot (1 / 76.06) = 1.042$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3201 / 43.1) \cdot (1 / 76.06) = 0.977$$

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

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

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: } a, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_y = 0.21, \quad \chi_y = 0.636$$

(Τ.6.2, Τ.6.1, Σχ.6.4)

$$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 [1 + 0.21 \cdot (1.042 - 0.2) + 1.042^2] = 1.131$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [1.131 + \sqrt{(1.131^2 - 1.042^2)}] = 0.636 \leq 1 \quad \chi_y = 0.636$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: } b, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_z = 0.34, \quad \chi_z = 0.612$$

$$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 [1 + 0.34 \cdot (0.977 - 0.2) + 0.977^2] = 1.109$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.109 + \sqrt{(1.109^2 - 0.977^2)}] = 0.612 \leq 1 \quad \chi_z = 0.612$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}], \quad \chi \leq 1.0, \quad \Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2], \quad \chi = 0.612 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.612 \cdot [10^{-3}] \cdot 11550 \cdot 355 / 1.00 = 2509.35 \text{ kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_{c,ed} = 90.17 \text{ kN} < 2509.35 \text{ kN} = N_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

14.9. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος

(EN1993-1-1, §6.3.2)

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

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

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

$$k \cdot L = 3201 \text{mm}, \quad z_g = h/2 = 500/2 = 250 \text{mm}, \quad z_j = 0 \text{mm}$$

(EN1993:2002 T.C.1)

$$kz = 1.0, \quad kw = 1.0, \quad \psi = -0.137, \quad C_1 = 2.044, \quad C_2 = 0.000, \quad C_3 = 0.000$$

(EN1993:2002 T.C.1)

$$M_{cr} = [10^{-6}] 2.044 \cdot [\pi^2 \cdot 2.1 \times 10^5 \cdot 21.420 \times 10^6 / 3201^2]$$

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

$$+ 3201^2 \cdot 8.1 \times 10^4 \cdot 0.893 \times 10^6 / (\pi^2 \cdot 2.1 \times 10^5 \cdot 21.420 \times 10^6)]^{0.5} \} = 2425.0 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \cdot 2194.0 \times 10^3 \cdot 355 / 2425.0)} = 0.567$$

(EC3 Εξ.6.56)

$$h/b = 500/200 = 2.50 > 2.00 \text{ καμπύλη λυγισμού: } c$$

$$\text{συντελεστής ατελειών: } \alpha_{lt} = 0.49, \quad \beta = 0.75, \quad \chi_{lt} = 0.905$$

(Τ.6.3, Τ.6.5, Σχ.6.4)

$$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - 0.2) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 [1 + 0.49 \cdot (0.567 - 0.40) + 0.75 \cdot 0.567^2] = 0.661$$

$$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [0.661 + \sqrt{(0.661^2 - 0.75 \cdot 0.567^2)}] = 0.905$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}], \quad \chi_{lt} \leq 1.0, \quad 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2, \quad \chi_{lt} = 0.905 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2 = 1 / 0.567^2 = 3.11$$

(EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58)

$$K_c = 1 / (1.33 - 0.33\psi) = 0.727, \quad \psi = -0.14$$

(EC3 Πιν.6.6)

$$f = 1 - 0.5(1 - K_c) [1 - 2.0(\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \cdot (1 - 0.727) [1 - 2.0 \cdot (0.567 - 0.8)^2] = 0.878, \quad f \leq 1.0$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.905 / 0.878 = 1.030, \quad \chi_{lt,mod} \leq 1.0, \quad \chi_{lt,mod} \leq 3.11, \quad \chi_{lt,mod} = 1.000$$

$$M_{b,rd} = \chi_{lt} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1.000 \cdot [10^{-6}] \cdot 2194.0 \times 10^3 \cdot 355 / 1.00 = 778.87 \text{ kNm}$$

(EC3 Εξ.6.55)

$$M_{y,ed} = 170.50 \text{ kNm} < 778.87 \text{ kNm} = M_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

14.10. Αξονική δύναμη και καμπτική ροπή, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος

(EN1993-1-1, §6.3.3)

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

(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)

$$N_{rk} = A \cdot f_y = [10^{-3}] \cdot 11550 \cdot 355 = 4100.2 \text{ kN}$$

(Πιν.6.7)

$$M_{y,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = [10^{-6}] \cdot 2194.0 \times 10^3 \cdot 355 = 778.9 \text{ kNm}$$

$$\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.636 \cdot [10^{-3}] \cdot 11550 \cdot 355 / 1.00 = 2607.8 \text{ kN}$$

$$\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1} = \chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.612 \cdot [10^{-3}] \cdot 11550 \cdot 355 / 1.00 = 2509.4 \text{ kN}$$

$$\chi_{LT} \cdot M_{y,rk} / \gamma_{M1} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1.000 \cdot [10^{-6}] \cdot 2194.0 \times 10^3 \cdot 355 / 1.00 = 778.9 \text{ kNm}$$

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)

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

$$\begin{aligned}
 N_{cr,y} &= \pi^2 EI_y / l_{cr}, y^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 482.00 \times 10^6 / 16190^2 = 3811 \text{ kN} \\
 N_{cr,z} &= \pi^2 EI_z / l_{cr}, z^2 = 3.14^2 \times [10^{-3}] \times 210000 \times 21.420 \times 10^6 / 3201^2 = 4333 \text{ kN} \\
 N_{cr,t} &= (1/i_p^2) \times (G \cdot I_t + \pi^2 EI_w / L_{cr}, t^2) \quad (\text{EC3 NCCI SN003b-EN-EU}) \\
 N_{cr,t} &= [10^{-3}] \times (1/209^2) [80769 \times 0.893 \times 10^6 + \pi^2 \times 210000 \times 1249.4 \times 10^9 / 4304^2] = 4862 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_y &= (1 - N_{ed} / N_{cr,y}) / (1 - \chi_y \cdot N_{ed} / N_{cr,y}) = (1 - 90.2 / 3811) / (1 - 0.636 \times 90.2 / 3811) = 0.991 \\
 \mu_z &= (1 - N_{ed} / N_{cr,z}) / (1 - \chi_z \cdot N_{ed} / N_{cr,z}) = (1 - 90.2 / 4333) / (1 - 0.612 \times 90.2 / 4333) = 0.992 \\
 \alpha_t &= 1 - I_t / I_y > 0 = 1 - 0.893 \times 10^6 / 482.00 \times 10^6 = 0.998 \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_y &= W_{pl,y} / W_{el,y} < 1.50, w_y = 2.194 \times 10^6 / 1.928 \times 10^6 = 1.138 < 1.50 \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1}) \\
 w_z &= W_{pl,z} / W_{el,z} < 1.50, w_z = 0.336 \times 10^6 / 0.214 \times 10^6 = 1.568 > 1.50, w_z = 1.50 \\
 n_{pl} &= N_{ed} / (N_{rk} / \gamma_{M1}) = 90.17 / (4100.20 / 1.00) = 0.022
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_{max} &= \max(1.042, 0.977) = 1.040 \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1}) \\
 M_{cr,o} &= (1.00 / 2.04) \times 2425.00 = 1186.3, C1 = 1.00 \\
 \bar{\lambda}_o &= \sqrt{([10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 1186.3)} = 0.810 \\
 \bar{\lambda}_{o,lim} &= 0.2 \sqrt{C1 [(1 - N_{ed} / N_{cr,z}) (1 - N_{ed} / N_{cr,t})]^{0.25}} \quad (\text{EC3 Παράρτημα A.1}) \\
 \bar{\lambda}_{o,lim} &= 0.2 \sqrt{2.044 [(1 - 90.2 / 4333) (1 - 90.2 / 4862)]^{0.25}} = 0.283 \\
 \varepsilon_y &= (M_y, ed / N_{ed}) (A / W_{el}) = ([10^3] \times 166.70 / 90.17) \times (11550.0 / 1928.0 \times 10^3) = 11.07
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{my,o} &= 0.79 + 0.21\psi + 0.36(\psi - 0.33) \times (90.17 / 3811.0) = 0.757, (\psi = -0.14) \quad (\text{EC3 Παράρτημα A, T.A.1}) \\
 \bar{\lambda}_o &= 0.810 > \bar{\lambda}_{o,lim} = 0.283 \\
 C_{my} &= C_{my,o} + (1 - C_{my,o}) (\sqrt{\varepsilon_y \cdot \alpha_t}) / (1 + \sqrt{\varepsilon_y \cdot \alpha_t}) = \\
 &= 0.757 + (1 - 0.757) \times (\sqrt{11.075 \times 0.998}) / (1 + \sqrt{11.075 \times 0.998}) = 0.944 \\
 C_{m1t} &= C_{my} \cdot \alpha_t / \sqrt{[(1 - N_{ed} / N_{cr,z}) (1 - N_{ed} / N_{cr,t})]} > 1 \\
 C_{m1t} &= 0.944^2 \times 0.998 / \sqrt{[(1 - 90.2 / 4333.0) (1 - 90.2 / 4862.0)]} = 0.907, C_{m1t} = 1.000
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{yy} &= 1 + (w_y - 1) [(2 - 1.6 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} / w_y - 1.6 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y) n_{pl} - b_{lt}] > W_{el,y} / W_{pl,y} \quad (\text{Παράρτημα A, T.A.1}) \\
 b_{lt} &= 0.5 \alpha_t \cdot \bar{\lambda}_o^2 [M_y, ed / (\chi_{lt} \cdot M_{pl,y}, rd)] (M_z, ed / M_{pl,z}, rd) = \\
 &= 0.5 \times 0.998 \times 0.810^2 [0.0 / (1.000 \times 684.4)] (0.0 / 76.0) = 0.000 \\
 C_{yy} &= 1 + (1.138 - 1) [(2 - 1.6 \times 0.944^2 \times 1.040 / 1.138 - 1.6 \times 0.944^2 \times 1.040^2 / 1.138) \times 0.022 - 0.000] = 0.998 \\
 C_{yy} &> 1928.0 \times 10^3 / 2194.0 \times 10^3 = 0.879, C_{yy} = 0.998
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{zy} &= 1 + (w_y - 1) [(2 - 14.0 C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 / w_y^5) n_{pl} - d_{lt}] > 0.6 \sqrt{(w_y / w_z)} (W_{el,y} / W_{pl,y}) \quad (\text{Παράρτημα A, T.A.1}) \\
 d_{lt} &= 2 \alpha_t \cdot [\bar{\lambda}_o / (0.1 + \bar{\lambda}_z^4)] [M_y, ed / (C_{my} \cdot \chi_{lt} \cdot M_{pl,y}, rd)] [M_z, ed / (C_{mz} \cdot M_{pl,z}, rd)] = \\
 &= 20.998 \times [0.810 / (0.1 + 0.977^4)] [0.0 / (0.944 \times 1.000 \times 684.4)] [0.0 / (0.000 \times 76.0)] = 0.000 \\
 C_{zy} &= 1 + (1.138 - 1) [(2 - 14.0 \times 0.944^2 \times 1.040^2 / 1.138^5) 0.022 - 0.000] = 0.985 \\
 C_{zy} &> 0.6 \sqrt{(1.138 / 1.500)} (1928.0 \times 10^3 / 2194.0 \times 10^3) = 0.459, C_{zy} = 0.985
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{yy} &= 0.998, C_{zy} = 0.985 \quad (\text{Παράρτημα A, T.A.1}) \\
 k_{yy} &= 0.944 \times 1.000 \times 0.991 / (1 - 90.17 / 3811.0) \times (1 / 0.998) = 0.960 \\
 k_{zy} &= 0.944 \times 1.000 \times 0.992 / (1 - 90.17 / 3811.0) \times (1 / 0.985) \times 0.6 \times \sqrt{(1.138 / 1.500)} = 0.509
 \end{aligned}$$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: 1.25xGk+1.50Qs1

$$\begin{aligned}
 N_{ed} / (\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) &= \\
 90.2 / (0.636 \times 4100.2 / 1.00) + 0.960 \times 166.7 / (1.000 \times 778.9 / 1.00) &= 0.035 + 0.205 = 0.240 \\
 0.240 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται} &
 \end{aligned} \quad (\text{EC3 Εξ.6.61})$$

$$\begin{aligned}
 N_{ed} / (\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) &= \\
 90.2 / (0.612 \times 4100.2 / 1.00) + 0.509 \times 166.7 / (1.000 \times 778.9 / 1.00) &= 0.036 + 0.109 = 0.145 \\
 0.145 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται} &
 \end{aligned} \quad (\text{EC3 Εξ.6.62})$$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

$$\begin{aligned}
 N_{ed} / (\chi_y \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) &= \\
 46.1 / (0.636 \times 4100.2 / 1.00) + 0.960 \times 170.5 / (1.000 \times 778.9 / 1.00) &= 0.018 + 0.210 = 0.228 \\
 0.228 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται} &
 \end{aligned} \quad (\text{EC3 Εξ.6.61})$$

$$\begin{aligned}
 N_{ed} / (\chi_z \cdot N_{rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_y, ed / (\chi_{LT} \cdot M_y, rk / \gamma_{M1}) &= \\
 46.1 / (0.612 \times 4100.2 / 1.00) + 0.509 \times 170.5 / (1.000 \times 778.9 / 1.00) &= 0.018 + 0.111 = 0.130 \\
 0.130 < 1.000, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται} &
 \end{aligned} \quad (\text{EC3 Εξ.6.62})$$

14.11. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

$$N_{ed} = 2.4 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 13.8 \text{ kN}$$

$$M_{yed} = 35.5 \text{ kNm}, \quad M_{zed} = 0.0 \text{ kNm}$$

$$\text{Μήκος ζυγώματος } L_r = \sqrt{[(24000/2)^2 + (7000-5000)^2]} = 12042 \text{ mm}$$

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο Lcr,y=16190mm (Μήκος συστήματος)

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου Lcr,z=3201mm (Εγκάρσιες συγκρατήσεις ζυγμάτων)

14.12. Καμπτικός λυγισμός, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου (Οριακή κατάσταση αστοχίας) (EN1993-1-1, §6.3.1)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

$$\text{Μήκη λυγισμού: } L_{cr,y} = 1.344 \times 12042 = 16190 \text{ mm}, \quad L_{cr,z} = 0.266 \times 12042 = 3201 \text{ mm}$$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 1)

(EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \cdot (1 / \lambda_1) = (16190 / 204.3) \times (1 / 76.06) = 1.042$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (3201 / 43.1) \times (1 / 76.06) = 0.977$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \epsilon = 76.06, \quad \epsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81$$

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

$$y-y \text{ καμπύλη λυγισμού: } a, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_y = 0.21, \quad \chi_y = 0.636 \quad (\text{T.6.2, T.6.1, } \Sigma \chi.6.4)$$

$$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (1.042 - 0.2) + 1.042^2] = 1.131$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [1.131 + \sqrt{(1.131^2 - 1.042^2)}] = 0.636 < 1 \quad \chi_y = 0.636$$

$$z-z \text{ καμπύλη λυγισμού: } b, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_z = 0.34, \quad \chi_z = 0.612$$

$$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (0.977 - 0.2) + 0.977^2] = 1.109$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [1.109 + \sqrt{(1.109^2 - 0.977^2)}] = 0.612 < 1 \quad \chi_z = 0.612$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}], \quad \chi < 1.0, \quad \Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2], \quad \chi = 0.612 \quad (\text{EC3 Εξ.6.49})$$

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.612 \times [10^{-3}] \times 11550 \times 355 / 1.00 = 2509.35 \text{ kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.47})$$

$$N_{c,ed} = 2.44 \text{ kN} < 2509.35 \text{ kN} = N_{b,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

14.13. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου

(EN1993-1-1, §6.3.2)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 210: 1.00Gk+1.50Qw1

Αναρόφηση

$$k \cdot L = 3201 \text{ mm}, \quad z_g = -250 \text{ mm}, \quad z_j = 0 \text{ mm} \quad (\text{EN1993:2002 T.C.1})$$

$$k_z = 1.0, \quad k_w = 1.0, \quad C_1 = 1.000, \quad C_2 = 0.000, \quad C_3 = 1.000 \quad (\text{EN1993:2002 T.C.1})$$

$$M_{cr} = [10^{-6}] 1.000 \times [\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 21.420 \times 10^6 / 3201^2]$$

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

$$+ 3201^2 \times 8.1 \times 10^4 \times 0.893 \times 10^6 / (\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 21.420 \times 10^6) \}^{0.5} = 1186.4 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{(W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr})} = \sqrt{([10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 1186.4)} = 0.810 \quad (\text{EC3 Εξ.6.56})$$

$$h/b = 500/200 = 2.50 > 2.00 \text{ καμπύλη λυγισμού: } c$$

$$\text{συντελεστής ατελειών: } \alpha_{lt} = 0.49, \quad \beta = 0.75, \quad \chi_{lt} = 0.757 \quad (\text{T.6.3, T.6.5, } \Sigma \chi.6.4)$$

$$\Phi_{lt} = 0.5 [1 + \alpha_{lt} (\bar{\lambda}_{lt} - 0.2) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0.5 \times [1 + 0.49 \times (0.810 - 0.40) + 0.75 \times 0.810^2] = 0.847$$

$$\chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}] = 1 / [0.847 + \sqrt{(0.847^2 - 0.75 \times 0.847^2)}] = 0.757$$

$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi_{lt} = 1 / [\Phi_{lt} + \sqrt{(\Phi_{lt}^2 - \beta \bar{\lambda}_{lt}^2)}], \quad \chi_{lt} < 1.0, \quad 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2, \quad \chi_{lt} = 0.757 \quad (\text{Εξ.6.57})$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f, \quad \chi_{lt,mod} < 1, \quad \chi_{lt,mod} < 1 / \bar{\lambda}_{lt}^2 = 1 / 0.810^2 = 1.52 \quad (\text{EC3 §6.3.2.3(2), Εξ.6.58})$$

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

$$f = 1 - 0.5 (1 - k_c) [1 - 2.0 (\bar{\lambda}_{lt} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \times (1 - 0.752) [1 - 2.0 \times (0.810 - 0.8)^2] = 0.876, \quad f < 1.0$$

$$\chi_{lt,mod} = \chi_{lt} / f = 0.757 / 0.876 = 0.864, \quad \chi_{lt,mod} < 1.0, \quad \chi_{lt,mod} < 1.52, \quad \chi_{lt,mod} = 0.864$$

$$M_{b,rd} = \chi_{lt,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.864 \times [10^{-6}] \times 2194.0 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 672.94 \text{ kNm} \quad (\text{EC3 Εξ.6.55})$$

$$M_{y,ed} = 35.46 \text{ kNm} < 672.94 \text{ kNm} = M_{b,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

15. Ελεγχος ενίσχυσης υποστυλωμάτων (Οριακή κατάσταση αστοχίας)

(EN1993-1-1, §6)

Η ενίσχυση κατασκευάζεται από συγκολλούμενο τμήμα IPE 500 διατομής - S 355

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: 1.25xGk+1.50Qs1

στο τέλος της ενίσχυσης	στο μέσο της ενίσχυσης	στην αρχή της ενίσχυσης
Ned = 90.2 kN	Ned = 89.5 kN	Ned = 86.7 kN
Ved = 94.1 kN	Ved = 81.8 kN	Ved = 73.2 kN
Myed = 339.2 kNm	Myed = 247.4 kNm	Myed = 166.7 kNm

Μήκος λυγισμού, λυγισμός στο επίπεδο Lcr,y=2400mm

Μήκος λυγισμού, λυγισμός εκτός επιπέδου Lcr,z=2400mm

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

στο τέλος της ενίσχυσης	στο μέσο της ενίσχυσης	στην αρχή της ενίσχυσης
Ned = 46.1 kN	Ned = 46.1 kN	Ned = 46.1 kN
Ved = 41.9 kN	Ved = 41.9 kN	Ved = 41.9 kN
Myed = 207.8 kNm	Myed = 191.8 kNm	Myed = 170.5 kNm

15.1. Κατάταξη διατομών, στο τέλος της ενίσχυσης

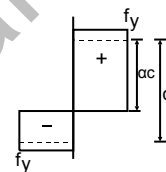
(EN1993-1-1, §5.5)

Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής $\sigma = N_{ed}/A_{el} \pm M_{yed}/W_{el,y} \pm M_{zed}/W_{el,z}$ $\sigma = [10^{-3}] 90/16274 \pm [10^{-6}] 339/4640.7 \times 10^3 \pm [10^{-6}] 0/214.2 \times 10^3$ $\sigma_1 = 79 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_2 = -68 \text{ N/mm}^2$ (θλίψη θετική)**Κορμός** $c = 1000.0 - 2 \times 16.0 - 2 \times 21.0 = 926.0 \text{ mm}$, $t = 10.2 \text{ mm}$, $c/t = 926.0/10.2 = 90.78$ 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

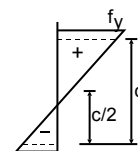
 $N_{ed}/(2t_w \cdot f_y/\gamma_{M0}) = 90200/(2 \times 10.2 \times 355/1.00) = 12.5 \text{ mm}$ $\alpha = (926.0/2 + 12.5)/926.0 = 0.513 > 0.5$ $c/t = 90.78 > 456 \times 0.81/(13 \times 0.513 - 1) = 65.09$

Ο κορμός δεν είναι κατηγορία 1 ή 2

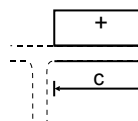
 $\sigma = N_{ed}/A_{el} \pm M_{yed} \cdot (0.5d)/I_y$, $\sigma_1 = 73 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_2 = -62 \text{ N/mm}^2$ $\psi = -62/73 = -0.850 > -1$ $c/t = 90.78 > 42 \times 0.81/(0.67 + 0.33 \times -0.850) = 87.34$

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 $N_{c,ed} + M_{y,ed}$** **Ιδιότητες ενεργού διατομής σε διατομές κατηγορίας 4**

(EN1993-1-1, §6.2.2.5)

Κορμός $\bar{\lambda}_p = (b/t) / [28.40 \epsilon \sqrt{K\sigma}]$

(EN1993-1-3, §5.5.2, Εξ.5.5, Tab1.5.3)

 $b = d = 926.0 \text{ mm}$, $t = 10.2 \text{ mm}$, $\epsilon = 0.81$, $\psi = 1.00$, $K\sigma = 4.00$, $\bar{\lambda}_p = 1.973$ $\bar{\lambda}_p = 1.973 > 0.673$ $\rho = [1 - 0.055(3 + 1.00)/1.973]/1.973 = 0.450$ ($\rho < 1.0$), $d_{eff} = \rho \cdot d = 0.450 \times 926 = 417.0 \text{ mm}$ Ενεργό εμβαδόν $A_{eff} = 16274 - 1 \times (926.0 - 417.0) \times 10.20 = 11081 \text{ mm}^2$

Κορμός

$$\bar{\lambda}_p = (b/t) / [28.40 \varepsilon \sqrt{K\sigma}] \quad (\text{EN1993-1-3, §5.5.2, Εξ.5.5, Tab1.5.3})$$

$$b=d=926.0\text{mm}, t=10.2\text{mm}, \varepsilon=0.81, \psi=-1.00, K\sigma=23.90, \bar{\lambda}_p=0.807$$

$$\bar{\lambda}_p=0.807 > 0.673 \quad \rho = [1 - 0.055(3 + -1.00) / 0.807] / 0.807 = 1.070 \quad (\rho < 1.0), \quad h_{eff} = \rho \cdot d / 2 = 1.000 \times 463 = 463.0 \text{ mm}$$

$$\text{Ενεργό εμβαδόν } A_{eff} = 16274 - 1 \times (463.0 - 463.0) \times 10.20 = 16274 \text{ mm}^2$$

$$e_{y277.80 \times (16274 / 16274 - 1)} = 0.00 \text{ mm}, I_{y,eff} = 2320.3 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Ενεργή ροπή αντίστασης } W_{y,eff} = 2320.3 \times 10^6 / (1000.0 / 2 + 0.00) = 4640.7 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

15.2. Αντοχή διατομής, στο τέλος της ενίσχυσης (Οριακή κατάσταση αστοχίας) (EN1993-1-1, §6.2)**Ιδιότητες ενεργού διατομής σε διατομές κατηγορίας 4**

(EN1993-1-1, §6.2.2.5)

Κορμός

$$\bar{\lambda}_p = (b/t) / [28.40 \varepsilon \sqrt{K\sigma}] \quad (\text{EN1993-1-3, §5.5.2, Εξ.5.5, Tab1.5.3})$$

$$b=d=926.0\text{mm}, t=10.2\text{mm}, \varepsilon=0.81, \psi=1.00, K\sigma=4.00, \bar{\lambda}_p=1.973$$

$$\bar{\lambda}_p=1.973 > 0.673 \quad \rho = [1 - 0.055(3 + 1.00) / 1.973] / 1.973 = 0.450 \quad (\rho < 1.0), \quad h_{eff} = \rho \cdot d = 0.450 \times 926 = 417.0 \text{ mm}$$

$$\text{Ενεργό εμβαδόν } A_{eff} = 16274 - 1 \times (926.0 - 417.0) \times 10.20 = 11081 \text{ mm}^2$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη

(EN1993-1-1, §6.2.4)

$$\text{Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 252: } 1.25 \times G + 1.50 Q_{s1} + 0.90 Q_{w2}$$

$$N_{c,ed} = 91.20 \text{ kN}$$

$$\text{Θλιπτική αντοχή } N_{c,rd} = A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 11081 \times 355 / 1.00 = 3933.90 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 91.20 \text{ kN} < 3933.90 \text{ kN} = N_{c,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Ιδιότητες ενεργού διατομής σε διατομές κατηγορίας 4

(EN1993-1-1, §6.2.2.5)

Κορμός

$$\bar{\lambda}_p = (b/t) / [28.40 \varepsilon \sqrt{K\sigma}] \quad (\text{EN1993-1-3, §5.5.2, Εξ.5.5, Tab1.5.3})$$

$$b=d=926.0\text{mm}, t=10.2\text{mm}, \varepsilon=0.81, \psi=-1.00, K\sigma=23.90, \bar{\lambda}_p=0.807$$

$$\bar{\lambda}_p=0.807 > 0.673 \quad \rho = [1 - 0.055(3 + -1.00) / 0.807] / 0.807 = 1.070 \quad (\rho < 1.0), \quad h_{eff} = \rho \cdot d / 2 = 1.000 \times 463 = 463.0 \text{ mm}$$

$$\text{Ενεργό εμβαδόν } A_{eff} = 16274 - 1 \times (463.0 - 463.0) \times 10.20 = 16274 \text{ mm}^2$$

$$e_{y277.80 \times (16274 / 16274 - 1)} = 0.00 \text{ mm}, I_{y,eff} = 2320.3 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Ενεργή ροπή αντίστασης } W_{y,eff} = 2320.3 \times 10^6 / (1000.0 / 2 + 0.00) = 4640.7 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε κάμψη y-y

(EN1993-1-1, §6.2.5)

$$\text{Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: } 1.25 \times G_k + 1.50 Q_{s1}$$

$$M_{y,ed} = 339.20 \text{ kNm}$$

$$\text{Καμπτική αντοχή } M_{y,rd} = W_{eff,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 4640.7 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 1647.43 \text{ kNm}$$

$$M_{y,ed} = 339.20 \text{ kNm} < 1647.43 \text{ kNm} = M_{y,rd} = M_{p,y,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

$$\text{Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: } 1.25 \times G_k + 1.50 Q_{s1}$$

$$V_{z,ed} = 94.10 \text{ kNm}$$

$$A_v = A - 2b \cdot t_{ff} + (t_w + 2r) t_{ff} = 16274 - 2 \times 200.0 \times 16.0 + (10.2 + 2 \times 21.0) \times 16.0 = 10709 \text{ mm}^2 \quad (\text{EC3 §6.2.6.3})$$

$$A_v = 10709 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (1000.0 - 2 \times 16.0) \times 10.2 = 1.00 \times 984.0 \times 10.2 = 10037 \text{ mm}^2$$

$$\text{Πλαστική διατμητική αντοχή } V_{p1,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 10709 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 2194.87 \text{ kN}$$

$$V_{z,ed} = 94.10 \text{ kN} < 2194.87 \text{ kN} = V_{z,rd} = V_{p1,z,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

$$h_w / t_w = (1000.0 - 2 \times 16.0) / 10.2 = 984.0 / 10.2 = 96.47 > 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \varepsilon / \eta = 58.32 \quad (\eta = 1.00)$$

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

$$\text{Απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα}$$

(EC3 §6.2.6.6)

Αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα

(EC3 EN1993-1-5:2006, §5)

$$\bar{\lambda}_w = (926.0 / 10.2) / (37.4 \times 0.81 \times \sqrt{5.34}) = 1.297, \quad K_t = 5.34$$

(EC3-1-5 §5, Εξ.5.6, A.3)

$$\bar{\lambda}_w = 1.297 > 1.08, \quad \chi_v = 0.83 / 1.297 = 0.640$$

(EC3-1-5 Πιν.5.1)

$$V_{b,rd} = \chi_v \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t / (\sqrt{3} \gamma_{M1}) = 0.001 \times 355 \times 0.640 \times 926.0 \times 10.2 / (1.73 \times 1.00) = 1239.04 \text{ kN} \quad (\text{EC3-1-5 Πιν.5.1})$$

$$V_{ed} = 94 \text{ kN} < 1239 = V_{b,rd} \text{ kN}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη (EN1993-1-1, §6.2.9)Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: $1.25 \times G_k + 1.50 Q_{s1}$ **N.ed= 90.20kN (Θλίψη), Vz.ed= 94.10kNm, My.ed= 339.20kN**Nplrd=3933.90kN, $M_{c,y,rd}=1647.43\text{kNm}$, $V_{pl,z,rd}=1239.04\text{kN}$ Ned=90.20kN $\leq 0.25 \times 3933.90 = 0.25 \times N_{plrd} = 983.47\text{kN}$ Ned=90.20kN $\leq [10^{-3}] \times 0.5 \times 984.0 \times 10.2 \times 355 / 1.00 = 0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1781.53 \text{ kN}$ $n = N_{ed} / N_{plrd} = 90 / 3934 = 0.023$

Η επίδραση αξονικής δύναμης παραλείπεται

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

Ved=94.10kN $\leq 0.50 \times 1239.04 = 0.50 \times V_{pl,rd} = 619.52\text{kN}$

Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται

(EC3 §6.2.8.2)

Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής $\sigma = N_{ed} / A_{eff} \pm M_{y,ed} / W_{eff,y} \pm M_{z,ed} / W_{eff,z}$ $\sigma = [10^{-3}] 0 / 11081 \pm [10^{-6}] 339 / 4640.7 \times 10^3 \pm [10^{-6}] 0 / 214.2 \times 10^3$ $\sigma_1 = 73 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_2 = -73 \text{ N/mm}^2$ (Θλίψη θετική) $\sigma_{x,ed} = 73 < 355 / 1.00 = 355 = f_y / \gamma_{M0} \text{ N/mm}^2$, Έλεγχος ικανοποιείται

(EC3 Εξ.6.43, Εξ.6.44)

15.3. Λυγισμός εκτός επιπέδου, στο τέλος της ενίσχυσης (Οριακή κατάσταση) (EN1993-1-1, §6.3.2.4)

Ελέγχουμε μία ισοδύναμη T-διατομή για το θλιβόμενο μέρος της ενίσχυσης

Η ισοδύναμη T-διατομή αποτελείται από το πέλμα και 1/3 από το θλιβόμενο μέρος του κορμού

Ιδιότητες ισοδύναμης T-διατομήςΥψος διατομής $h_f = 167 \text{ mm}$ Πλάτος διατομής $b_f = 200 \text{ mm}$ Πάχος κορμού $t_w = 10.20 \text{ mm}$ Πάχος πέλματος $t_f = 16.00 \text{ mm}$ Εμβαδόν $A_f = 4737 \text{ mm}^2$ Ροπή αδρανείας $I_{f,z} = 10.667 \times 10^6 \text{ mm}^4$ Ακτίνα αδρανείας $i_{f,z} = \sqrt{(10.667 \times 10^6 / 4737)} = 47.5 \text{ mm}$ Θλίψη στην ισοδύναμη T-διατομήΜέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 252: $1.25 \times G_k + 1.50 Q_{s1} + 0.90 Q_{w2}$ $N_{ed,f} = N_{ed} \cdot A_f / A + M_{ed} \cdot A_f / W_{el,y} = 90.2 \times 4737 / 16274 + 339.2 \times 4737 \times 10^3 / 4640.7 \times 10^3 = 372.5 \text{ kN}$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

 $N_{ed,f} = N_{ed} \cdot A_f / A + M_{ed} \cdot A_f / W_{el,y} = 46.1 \times 4737 / 16274 + 207.8 \times 4737 \times 10^3 / 4640.7 \times 10^3 = 225.5 \text{ kN}$ $N_{ed} = \max(372.5, 225.5) = 372.5 \text{ kN}$ $\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \sqrt{(A_{eff} / A) / \lambda_1} = (2400 / 47.5) \times (1.000 / 76.06) = 0.665$ $f_{z-f,z}$ καμπύλη λυγισμού: c, συντελεστής ατελειών: $\alpha_{f,z} = 0.49$, $\chi_{f,z} = 0.746$ (Τ.6.2, Τ.6.1, Σχ.6.4) $\Phi_{f,z} = 0.5 [1 + \alpha_{f,z} (\bar{\lambda}_{f,z} - 0.2) + \bar{\lambda}_{f,z}^2] = 0.5 [1 + 0.49 \times (0.665 - 0.2) + 0.665^2] = 0.835$ $\chi_{f,z} = 1 / [\Phi_{f,z} + \sqrt{(\Phi_{f,z}^2 - \bar{\lambda}_{f,z}^2)}] = 1 / [0.835 + \sqrt{(0.835^2 - 0.665^2)}] = 0.746 < 1$ $\chi_{f,z} = 0.746$ $N_{b,rd} = \chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.746 \times 4737 \times 355 / 1.00 = 1254.45 \text{ kN}$

(EC3 Εξ.6.47)

 $N_{c,ed} = 372.48 \text{ kN} < 1254.45 \text{ kN} = N_{b,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται**15.4. Κατάταξη διατομών, στο μέσο της ενίσχυσης**

(EN1993-1-1, §5.5)

Μέγιστη και ελάχιστη ορθή τάση διατομής $\sigma = N_{ed} / A_{el} \pm M_{y,ed} / W_{el,y} \pm M_{z,ed} / W_{el,z}$ $\sigma = [10^{-3}] 90 / 13724 \pm [10^{-6}] 247 / 3138.1 \times 10^3 \pm [10^{-6}] 0 / 214.0 \times 10^3$ $\sigma_1 = 85 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_2 = -72 \text{ N/mm}^2$ (Θλίψη θετική)Κορμός $\sigma = 750.0 - 2 \times 16.0 - 2 \times 21.0 = 676.0 \text{ mm}$, $t = 10.2 \text{ mm}$, $c/t = 676.0 / 10.2 = 66.27$ $S \leq 355$, $t = 10.2 \leq 40 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon = (235 / 355)^{0.5} = 0.81$

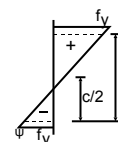
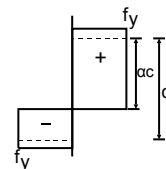
Θέση ουδέτερου άξονα για συνδυασμό Κάμψη και Θλίψη

 $N_{ed} / (2 t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}) = 89500 / (2 \times 10.2 \times 355 / 1.00) = 12.4 \text{ mm}$ $\alpha = (676.0 / 2 + 12.4) / 676.0 = 0.518 > 0.5$ $c/t = 66.27 > 45 \times 0.81 / (13 \times 0.518 - 1) = 64.37$

Ο κορμός δεν είναι κατηγορία 1 ή 2

 $\sigma = N_{ed} / A \pm M_{y,ed} \cdot (0.5d) / I_y$, $\sigma_1 = 78 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_2 = -65 \text{ N/mm}^2$ $\psi = -65 / 78 = -0.830 > -1$ $c/t = 66.27 \leq 42 \times 0.81 / (0.67 + 0.33 \times -0.830) = 85.89$

Ο κορμός είναι κατηγορία 3 (EN1993-1-1, Πιν.5.2)



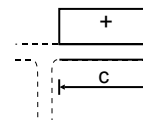
Πέλμα

$c=200.0/2-10.2/2-21.0=73.9 \text{ mm}$, $t=16.0 \text{ mm}$, $c/t=73.9/16.0=4.62$

S 355, $t=16.0 \leq 40 \text{ mm}$, $f_y=355 \text{ N/mm}^2$, $\varepsilon=(235/355)^{0.5}=0.81$

$c/t=4.62 \leq 9\varepsilon=9 \times 0.81=7.29$

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



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 3, Κάμψη και θλίψη $N_{c,ed} + M_{y,ed}$

15.5. Αντοχή διατομής, στο μέσο της ενίσχυσης (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. 252: $1.25xG+1.50Q_{s1}+0.90Q_{w2}$

$N_{c,ed}= 89.50 \text{ kN}$

Θλιπτική αντοχή $N_{plrd}= A \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 13724 \times 355 / 1.00 = 4871.88 \text{ kN}$

$N_{ed}= 89.50 \text{ kN} < 4871.88 \text{ kN} = N_{c,rd} = N_{plrd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

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

(EN1993-1-1, §6.2.5)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: $1.25xG_k+1.50Q_{s1}$

$M_{y,ed}=260.80 \text{ kNm}$

Καμπτική αντοχή $M_{el,y,rd}=W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 3138.1 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 1114.01 \text{ kNm}$

$M_{y,ed}= 260.80 \text{ kNm} < 1114.01 \text{ kNm} = M_{y,rd} = M_{pl,y,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε διάτμηση z

(EN1993-1-1, §6.2.6)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 202: $1.25xG_k+1.50Q_{s1}$

$V_{z,ed}= 83.60 \text{ kN}$

$A_v = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) t_f = 13724 - 2 \times 200.0 \times 16.0 + (10.2 + 2 \times 21.0) \times 16.0 = 8159 \text{ mm}^2$ (EC3 §6.2.6.3)

$A_v = 8159 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.00 \times (750.0 - 2 \times 16.0) \times 10.2 = 1.00 \times 734.0 \times 10.2 = 7487 \text{ mm}^2$

Πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl,z,rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 8159 \times (355 / 1.73) / 1.00 = 1672.22 \text{ kN}$

$V_{z,ed}= 83.60 \text{ kN} < 1672.22 \text{ kN} = V_{z,rd} = V_{pl,z,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

$h_w / t_w = (750.0 - 2 \times 16.0) / 10.2 = 734.0 / 10.2 = 71.96 > 72 \times 0.81 / 1.00 = 72 \varepsilon / \eta = 58.32$ ($\eta=1.00$)

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

Απαιτείται έλεγχος της αντίστασης λυγισμού σε τέμνουσα (EC3 §6.2.6.6)

Αντίσταση λυγισμού σε τέμνουσα

(EC3 EN1993-1-5:2006, §5)

$\bar{\lambda}_w = (676.0 / 10.2) / (37.4 \times 0.81 \times \sqrt{5.34}) = 0.947$, $K_t = 5.34$ (EC3-1-5 §5, Εξ.5.6, Α.3)

$0.83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w = 0.947 < 1.08$, $\chi_w = 0.83 / 0.947 = 0.877$ ($\eta=1.00$) (EC3-1-5 Πιν.5.1)

$V_{b,rd} = \chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t / (\sqrt{3} \gamma_{M1}) = 0.877 \times 355 \times 0.877 \times 676.0 \times 10.2 / (1.73 \times 1.00) = 1239.04 \text{ kN}$ (EC3-1-5 Πιν.5.1)

$V_{ed} = 84 \text{ kN} < 1239 = V_{b,rd} \text{ kN}$, Έλεγχος ικανοποιείται

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε αξονική δύναμη, διάτμηση και κάμψη (EN1993-1-1, §6.2.9)

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 252: $1.25xG+1.50Q_{s1}+0.90Q_{w2}$

$N_{ed}= 89.50 \text{ kN}$ (θλίψη), $V_{z,ed}= 81.80 \text{ kNm}$, $M_{y,ed}= 247.40 \text{ kN}$

$N_{plrd}=4871.88 \text{ kN}$, $M_{el,y,rd}=1114.01 \text{ kNm}$, $V_{pl,z,rd}=1239.04 \text{ kN}$

$N_{ed}=89.50 \text{ kN} \leq 0.25 \times 4871.88 = 0.25 \times N_{plrd} = 1217.97 \text{ kN}$

$N_{ed}=89.50 \text{ kN} \leq [10^{-3}] \times 0.5 \times 734.0 \times 10.2 \times 355 / 1.00 = 0.5 h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1328.91 \text{ kN}$

$n = N_{ed} / N_{plrd} = 90 / 4872 = 0.018$

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

$V_{ed}=81.80 \text{ kN} \leq 0.50 \times 1239.04 = 0.50 \times V_{pl,rd} = 619.52 \text{ kN}$

Η επίδραση διατμητικής δύναμης παραλείπεται (EC3 §6.2.8.2)

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

$\sigma = [10^{-3}] 0 / 13724 \pm [10^{-6}] 247 / 3138.1 \times 10^3 \pm [10^{-6}] 0 / 214.0 \times 10^3$

$\sigma_1 = 79 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_2 = -79 \text{ N/mm}^2$ (θλίψη θετική)

$\sigma_{x,ed} = 79 < 355 / 1.00 = 355 = f_y / \gamma_{M0} \text{ N/mm}^2$, Έλεγχος ικανοποιείται (EC3 Εξ.6.42)

15.6. Λυγισμός εκτός επιπέδου, στο μέσο της ενίσχυσης (Οριακή κατάσταση) (EN1993-1-1, §6.3.2.4)

Ελέγχουμε μία ισοδύναμη T-διατομή για το θλιβόμενο μέρος της ενίσχυσης

Η ισοδύναμη T-διατομή αποτελείται από το πέλμα και 1/3 από το θλιβόμενο μέρος του κορμού

Ιδιότητες ισοδύναμης T-διατομής

Υψος διατομής	hf =	125 mm
Πλάτος διατομής	bf =	200 mm
Πάχος κορμού	tw =	10.20 mm
Πάχος πέλματος	tf =	16.00 mm
Εμβαδόν	Af =	4312 mm ²
Ροπή αδρανείας	If,z =	10.667x10 ⁶ mm ⁴
Ακτίνα αδρανείας	if,z =	$\sqrt{(10.667 \times 10^6 / 4312)} = 49.7 \text{ mm}$

Θλίψη στην ισοδύναμη T-διατομή

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σ.Φ. 252: 1.25xG+1.50Qs1+0.90Qw2

$$N_{ed,f} = N_{ed} \cdot A_f / A + M_{ed} \cdot A_f / W_{el,y} = 89.5 \times 4312 / 13724 + 228.4 \times 4312 \times 10^3 / 3138.1 \times 10^3 = 342.0 \text{ kN}$$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού. Έλεγχος για φόρτιση: Σεισμικό φορτίο

$$N_{ed,f} = N_{ed} \cdot A_f / A + M_{ed} \cdot A_f / W_{el,y} = 46.1 \times 4312 / 13724 + 191.8 \times 4312 \times 10^3 / 3138.1 \times 10^3 = 278.0 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = \max(342.0, 278.0) = 342.0 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \cdot (1 / \lambda_1) = (2400 / 49.7) \times (1 / 76.06) = 0.634$$

$$f_{z-f,z} \text{ καμπύλη λυγισμού: } c, \text{ συντελεστής ατελειών: } \alpha_{f,z} = 0.49, \chi_{f,z} = 0.765 \quad (\text{T.6.2, T.6.1, Σχ.6.4})$$

$$\Phi_{f,z} = 0.5 [1 + \alpha_{f,z} (\bar{\lambda}_{f,z} - 0.2) + \bar{\lambda}_{f,z}^2] = 0.5 [1 + 0.49 \times (0.634 - 0.2) + 0.634^2] = 0.807$$

$$\chi_{f,z} = 1 / [\Phi_{f,z} + \sqrt{(\Phi_{f,z}^2 - \bar{\lambda}_{f,z}^2)}] = 1 / [0.807 + \sqrt{(0.807^2 - 0.634^2)}] = 0.765 < 1 \quad \chi_{f,z} = 0.765$$

$$N_{b,rd} = \chi_{f,z} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.765 \times 4312 \times 355 / 1.00 = 1170.98 \text{ kN}$$

(EC3 Εξ.6.47)

$$N_{c,ed} = 342.00 \text{ kN} < 1170.98 \text{ kN} = N_{b,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Συνδέσεις16. Κύρια δεδομένα σύνδεσης

(EN1993-1-8)

16.1. 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-προεντεταμέ (EC3-1-8 §3.4.2)
Μετωπική πλάκα	Πάχος $t_p=20$ mm, S 235
Πλάκα σύνδεσης κορυφαίου κόμβου	200x706x20 mm, S 235
Πλάκα σύνδεσης κόμβου ζυγώματος-υποστυλώματος	200x1140x20 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 (EC3-1-8 §3.1.1)

16.2. Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους (ζύγωμ-υποστ, κορ (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	$e_1=e_2=e_x=50$ 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	$a_{tf} \geq 0.55t_f=0.55 \times 16.0=9$ mm
Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα	$a_w \geq 0.55t_w=0.55 \times 10.2=6$ mm

16.3. 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

17. Σύνδεση κορυφαίου κόμβου**17.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση κορυφαίου κόμβου)**

Δυνάμεις σχεδιασμού σύνδεσης ((Σύνδεση κορυφαίου κόμβου))

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού (Σ.Φ. 202: $0.925 \times 1.35G_k + 1.50Q_{s1} = 1.25 \times G_k + 1.50Q_{s1}$)

$$N_{ed} = -69.5 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 23.9 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 132.0 \text{ kNm}$$

Μέγιστες τιμές σχεδιασμού (Σεισμικό φορτίο)

$$N_{ed} = -39.7 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 12.9 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 79.4 \text{ kNm}$$

17.2. Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση κορυφαίου κόμβου)

Δεδομένα κοχλιών σύνδεσης

Μετωπική πλάκα 200x706x20 mm, S 235

Κοχλίες M24, Κατηγορία αντοχής κοχλιών 10.9

Αριθμός κοχλιών άνω 2x1=2

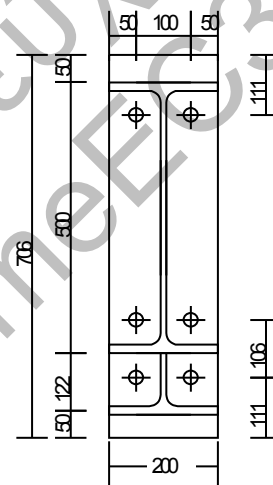
κάτω 2x2=4

Συνολικός αριθμός κοχλιών =6

Διάμετρος οπών $d_o = 26 \text{ mm}$

Επίπεδο διαίτησης ήλου εντός σπειρώματος κοχλία

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 $e_c = 45 \text{ mm}$ 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 $a_{tf} \geq 0.55t_f = 0.55 \times 16.0 = 9 \text{ mm}$ Συγκόλληση κορμού με μετωπική πλάκα $a_w \geq 0.55t_w = 0.55 \times 10.2 = 6 \text{ mm}$ **17.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (Σύνδεση κορυφαίου κόμβου) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)**

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

$$m_{x,x} = (100 - 10.2 - 2 \times 0.8 \times 6 \times \sqrt{2}) / 2 = 38.1 \text{ mm}$$

$$m_{x,y} = 45 - 0.8 \times 9 \times \sqrt{2} = 34.8 \text{ mm}$$

$$n_{x,x} = e_{\min} \leq 1.25m_{x,x} = \min(50.0, 1.25 \times 38.1) = 47.6 \text{ mm}$$

$$n_{x,y} = e_{\min} \leq 1.25m_{x,y} = \min(50.0, 1.25 \times 34.8) = 43.5 \text{ mm}$$

$$\min(m_{x,x}, m_{x,y}) = \min(38.1, 34.8) = 34.8 \text{ mm}, \max(m_{x,x}, m_{x,y}) = \max(38.1, 34.8) = 38.1 \text{ mm}$$

$$\min(n_{x,x}, n_{x,y}) = \min(47.6, 43.5) = 43.5 \text{ mm}, \max(n_{x,x}, n_{x,y}) = \max(47.6, 43.5) = 47.6 \text{ mm}$$

17.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (Σύνδεση κορυφαίου κόμβου)

(EC3-1-8 §6.2.6.5 Πιν.6.6)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέλμα

$$l_{eff} = 2p \cdot m_x = 2 \times 34.8 = 218.7 \text{ mm}$$

$$= p \cdot m_x + w = 34.8 + 100.0 = 209.3 \text{ mm}$$

$$= p \cdot m_x + 2e = 34.8 + 2 \times 50.0 = 209.3 \text{ mm}$$

$$= 4m_x + 1.25e_x = 4 \times 34.8 + 1.25 \times 50.0 = 201.7 \text{ mm}$$

$$= e + 2m_x + 0.625e_x = 50.0 + 2 \times 34.8 + 0.625 \times 50.0 = 150.8 \text{ mm}$$

$$= 0.5b_p = 0.5 \times 200 = 100.0 \text{ mm}$$

$$= 0.5w + 2m_x + 0.625e_x = 0.5 \times 100.0 + 2 \times 34.8 + 0.625 \times 50.0 = 150.8 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1b} = \min(218.7, 209.3, 209.3, 201.7, 150.8, 100.0, 150.8) = 100.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1b} = 100.0 \text{ mm}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα μεμονωμένη

$$l_{eff} = 2p \cdot m_x = 2 \times 34.8 = 218.7 \text{ mm}$$

$$= \alpha \cdot m = 6.28 \times 34.8 = 218.7 \text{ mm} \quad (\lambda_1 = \lambda_2 = m / (m + e) = 0.41, \alpha = 6.28)$$

$$l_{eff,2b} = \min(218.7, 218.7) = 218.7 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2b} = 218.7 \text{ mm}$$

(EC3-1-8 Σχ.6.11)

Σειρά κοχλίων δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2\pi \cdot m_x = 2\pi \times 34.8 = 218.7 \text{ mm} \\ &= \alpha \cdot m = 6.28 \times 34.8 = 218.7 \text{ mm} \quad (\lambda_1 = \lambda_2 = m / (m + e) = 0.41, \alpha = 6.28) \\ &= m + p = \pi \times 34.8 + 90.0 = 199.3 \text{ mm} \\ &= 0.5p + \alpha \cdot m - (2m + 0.625e) = 0.5 \times 90.0 + 6.28 \times 34.8 - (2 \times 34.8 + 0.625 \times 50.0) = 162.8 \text{ mm} \\ l_{eff, 3b} &= \min(218.7, 218.7, 199.3, 162.8) = 162.8 \text{ mm} \\ l_{eff, 3b} &= 162.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλίων ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2\pi \cdot m_x = 2\pi \times 38.1 = 239.4 \text{ mm} \\ &= 4m + 1.25e = 4 \times 38.1 + 1.25 \times 50.0 = 214.9 \text{ mm} \\ &= 2p = 2 \times 90.0 = 180.0 \text{ mm} \\ &= p = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff, 4b} &= \min(239.4, 214.9, 180.0, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff, 4b} &= 90.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

17.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (κορυφαίος κόμβος) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Σειρά κοχλίων έξω από εφελκυσμένο πέλμα

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 100.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.350 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.350 / 34.8 = 270 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.350 + 43.5 \times 2 \times 254) / (34.8 + 43.5) = 342 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(270, 342, 508) = 270 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλίων δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα μεμονωμένη

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 218.7 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 5.139 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 5.139 / 34.8 = 591 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 5.139 + 43.5 \times 2 \times 254) / (34.8 + 43.5) = 413 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(591, 413, 508) = 413 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλίων δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 162.8 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 3.826 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 3.826 / 34.8 = 440 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 3.826 + 43.5 \times 2 \times 254) / (34.8 + 43.5) = 380 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(440, 380, 508) = 380 \text{ kN} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλίων ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.115 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.115 / 38.1 = 222 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.115 + 47.6 \times 2 \times 254) / (38.1 + 47.6) = 332 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(222, 332, 508) = 222 \text{ kN} \end{aligned}$$

17.6. Πέλμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (κορυφαίος κόμβος)

(EC3-1-8 §6.2.6.7)

$$\begin{aligned} F_{c, fb, rd} &= M_{c, rd} / (h - t_f), \quad M_{c, rd} = W_{el, y} \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ W_{el, y} &= (200 \times 16.0 \times 590.0^2 + 10.2 \times 574.0^3 / 6) / 606 = 2368.7 \times 10^3 \text{ mm}^3 \\ M_{c, rd} &= [10^{-6}] \times 2368.7 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 841 \text{ kNm}, \quad F_{c, fb, rd} = [10^3] \times 841 / 590.0 = 1425 \text{ kN} \\ F_{c, fb, rd, max} &= (1/0.8) b \cdot t \cdot f_y / \gamma_{M0} = (1/0.8) \times [10^{-3}] \times 200.0 \times 16.0 \times 235 / 1.00 = 940 \text{ kN} \quad (h > 600 \text{ mm}) \\ F_{c, fb, rd} &= \min(1425, 940) = 940 \text{ kN} \end{aligned}$$

17.7. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (κορυφαίος κόμβος)

(EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$\begin{aligned} F_{t, wb, rd} &= b_{eff, t, wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ b_{eff, t, wb} &= l_{eff} = \min(l_{eff, 3b}, l_{eff, 4b}) = \min(162.8, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\ F_{t, wb, rd} &= [10^{-3}] \times 90.0 \times 10.2 \times 355 / 1.00 = 326 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\min F_{t, rd} = \min(270, 413, 380, 222, 326) = 222 \text{ kN}$$

17.8. Ροπή αντοχής σύνδεσης (κορυφαίος κόμβος)

(EN1993-1-8, §6.2.7.2)

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

(EN1993-1-8, §6.2.7.2Εξ.6.25)

$h_{r,rd}$: αρίθμηση σειράς από κάτω, αποστάσεις από μέσο άνω (θλιβόμενου) πέλματος

Κάμψη μειωπικής πλάκας

(EC3-1-8 §6.2.4.5)

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλίων

Σειρά κοχλίων 1, $h_r = 537.0 \text{ mm}$, $F_{t,rd} = 380 \text{ kN}$

Σειρά κοχλίων 2, $h_r = 431.0 \text{ mm}$, $F_{t,rd} = 222 \text{ kN}$

Σειρά κοχλίων 3, $h_r = 53.0 \text{ mm}$, $F_{t,rd} = 413 \text{ kN}$

$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} = 380 + 222 + 413 = 1015 \text{ kN}$

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)

$$F_{c,fb,rd} = 940 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} \leq F_{t,wb,rd} = 326 \text{ kN}, F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} \leq F_{c,fb,rd} = 940 \text{ kN}$$

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλίων

(EC3-1-8 §6.2.7.2.(7))

Σειρά κοχλίων 1, $h_r = 537.0 \text{ mm}$, $F_{t,rd} = 326 \text{ kN}$

Σειρά κοχλίων 2, $h_r = 431.0 \text{ mm}$, $F_{t,rd} = 222 \text{ kN}$

Σειρά κοχλίων 3, $h_r = 53.0 \text{ mm}$, $F_{t,rd} = 326 \text{ kN}$

$$F_{c,ed} = \Sigma F_{t,rd} = 326 + 222 + 326 = 874 \text{ kN}$$

Ροπή αντοχής σύνδεσης

(EN1993-1-8, §6.2.7.2(10))

$$M_{j,rd} = [10^{-3}] \times [326 \times 537.0 + 222 \times 431.0 + 326 \times 53.0]$$

$$M_{j,rd} = 288 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = 132.0 \text{ kNm} < 288.0 \text{ kNm} = M_{j,rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

17.9. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση κορυφαίου κόμβου)

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Διατμητική αντοχή κοχλίων

$$F_{v,rd} = a_n \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.50 \times 1000 \times 353.0 / 1.25 = 141 \text{ kN}$$

Επίπεδο διάτμησης ήλου: εντός σπειρώματος κοχλίου

Αντοχή κοχλίων σε σύνθλιψη

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

$t = 20.0 \text{ mm}$, $d = 24 \text{ mm}$, $d_o = 26 \text{ mm}$, $e_1 = 50 \text{ mm}$, $e_2 = 50 \text{ mm}$, $p_1 = 90 \text{ mm}$, $f_{ub} = 1000 \text{ kN/mm}^2$, $f_u = 360 \text{ kN/mm}^2$,

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

$$= \min[1000/360, 1.0, 50/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.64$$

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

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

$$\text{Διατμητική αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίου} = \min(141, 222) = 141 \text{ kN}$$

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

$$\rho = 1 - F_{t,ed} / 1.40 F_{t,rd} = 1 - 163 / (1.40 \times 254) = 0.54$$

Διατμητική αντοχή με καμπτική ροπή για όλους τους κοχλίες

$$V_{rd} = 6 \times 0.54 \times 141 = 457 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 24 \text{ kN} < 457 \text{ kN} = V_{rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα μεμονωμένη

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2 \cdot m_x = 2 \pi \times 34.8 = 218.7 \text{ mm} \\ &= \alpha \cdot m = 6.28 \times 34.8 = 218.7 \text{ mm} \quad (\lambda_1 = \lambda_2 = m / (m + e) = 0.41, \alpha = 6.28) \\ l_{eff, 2b} &= \min(218.7, 218.7) = 218.7 \text{ mm} \\ l_{eff, 2b} &= 218.7 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{EC3-1-8 Σχ.6.11})$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2 \pi \cdot m_x = 2 \pi \times 34.8 = 218.7 \text{ mm} \\ &= \alpha \cdot m = 6.28 \times 34.8 = 218.7 \text{ mm} \quad (\lambda_1 = \lambda_2 = m / (m + e) = 0.41, \alpha = 6.28) \\ &= \pi m + p = \pi \times 34.8 + 90.0 = 199.3 \text{ mm} \\ &= 0.5p + \alpha \cdot m - (2m + 0.625e) = 0.5 \times 90.0 + 6.3 \times 34.8 - (2 \times 34.8 + 0.625 \times 50.0) = 162.8 \text{ mm} \\ l_{eff, 3b} &= \min(218.7, 218.7, 199.3, 162.8) = 162.8 \text{ mm} \\ l_{eff, 3b} &= 162.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} l_{eff} &= 2 \pi \cdot m_x = 2 \pi \times 38.1 = 239.4 \text{ mm} \\ &= 4m + 1.25e = 4 \times 38.1 + 1.25 \times 50.0 = 214.9 \text{ mm} \\ &= 2p = 2 \times 90.0 = 180.0 \text{ mm} \\ &= p = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff, 4b} &= \min(239.4, 214.9, 180.0, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\ l_{eff, 4b} &= 90.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

18.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ.) (EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Σειρά κοχλιών έξω από εφελκυσμένο πέλμα

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 100.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.350 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4 M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.350 / 34.8 = 270 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2 M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.350 + 43.5 \times 2 \times 254) / (34.8 + 43.5) = 342 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(270, 342, 508) = 270 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα μεμονωμένη

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 218.7 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 5.139 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4 M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 5.139 / 34.8 = 591 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2 M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 5.139 + 43.5 \times 2 \times 254) / (34.8 + 43.5) = 413 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(591, 413, 508) = 413 \text{ kN} \end{aligned}$$

Σειρά κοχλιών δίπλα στο εφελκυσμένο πέλμα ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 162.8 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 3.826 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4 M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 3.826 / 34.8 = 440 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2 M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 3.826 + 43.5 \times 2 \times 254) / (34.8 + 43.5) = 380 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(440, 380, 508) = 380 \text{ kN} \end{aligned}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned} M_{pl, 1, rd} &= M_{pl, 2, rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 20.0^2 \times 235 / 1.00 = 2.115 \text{ kNm} \\ \text{Μορφή 1} \quad F_{t, 1, rd} &= 4 M_{pl, 1, rd} / m = [10^3] \times 4 \times 2.115 / 38.1 = 222 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 2} \quad F_{t, 2, rd} &= (2 M_{pl, 2, rd} + n \Sigma F_{t, rd}) / (m + n) = ([10^3] \times 2 \times 2.115 + 47.6 \times 2 \times 254) / (38.1 + 47.6) = 332 \text{ kN} \\ \text{Μορφή 3} \quad F_{t, 3, rd} &= \Sigma F_{t, rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\ F_{t, rd} &= \min(222, 332, 508) = 222 \text{ kN} \end{aligned}$$

18.6. Πέλμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (ζύγωμ-υποστύλ.) (EC3-1-8 §6.2.6.7)

$$\begin{aligned} F_c, fb, rd &= M_{c, rd} / (h - t_f), \quad M_{c, rd} = W_{el, y} \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ W_{el, y} &= (200 \times 16.0 \times 984.0^2 + 10.2 \times 968.0^3 / 6) / 1000 = 4640.4 \times 10^3 \text{ mm}^3 \\ M_{c, rd} &= [10^{-6}] \times 4640.4 \times 10^3 \times 355 / 1.00 = 1647 \text{ kNm}, \quad F_c, fb, rd = [10^3] \times 1647 / 984.0 = 1674 \text{ kN} \\ F_c, fb, rd, max &= (1/0.8) b \cdot t \cdot f_y / \gamma_{M0} = (1/0.8) \times [10^{-3}] \times 200.0 \times 16.0 \times 235 / 1.00 = 940 \text{ kN} \quad (h > 600 \text{ mm}) \\ F_c, fb, rd &= \min(1674, 940) = 940 \text{ kN} \end{aligned}$$

18.7. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-8 §6.2.6.8)

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

$$b_{eff,t,wb} = l_{eff} = \min(l_{eff}, 3b) = \min(162.8, 90.0) = 90.0 \text{ mm}$$

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

$$\min F_{t,rd} = \min(270, 413, 380, 222, 326) = 222 \text{ kN}$$

18.8. Γεωμετρία σύνδεσης πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Σχ.6.2)

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

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

$$m_x, y = 45 - 0.8 \times 9 \times \sqrt{2} = 34.8 \text{ mm}$$

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

$$n_x, y = e_{min} \leq 1.25 m_x, y = \min(50.0, 1.25 \times 34.8 = 43.5) = 43.5 \text{ mm}$$

$$\min(m_x, x, m_x, y) = \min(24.8, 34.8) = 24.8 \text{ mm}, \max(m_x, x, m_x, y) = \max(24.8, 34.8) = 34.8 \text{ mm}$$

$$\min(n_x, x, n_x, y) = \min(31.0, 43.5) = 31.0 \text{ mm}, \max(n_x, x, n_x, y) = \max(31.0, 43.5) = 43.5 \text{ mm}$$

18.9. Ενεργά μήκη πέλμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-8 §6.2.6.4 Πιν.6.4)

Εξωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

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

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

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

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

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

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

18.10. Πλευρά υποστυλώματος, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Εξωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

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

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

$$\text{Μορφή 2 } F_{t,2,rd} = (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 3.044 + 31.0 \times 2 \times 254) / (24.8 + 31.0) = 391 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 3 } F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} = \min(491, 391, 508) = 391 \text{ kN}$$

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

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

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

$$\text{Μορφή 2 } F_{t,2,rd} = (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 2.883 + 31.0 \times 2 \times 254) / (24.8 + 31.0) = 386 \text{ kN}$$

$$\text{Μορφή 3 } F_{t,3,rd} = \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} = \min(465, 386, 508) = 386 \text{ kN}$$

18.11. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εγκάρσιο εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EC3-1-8 §6.2.6.3)

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

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

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

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

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

(EC3-1-5 §9.1)

Νεύρωση ενίσχυσης στη βάση της ενίσχυσης υποστυλώματος $t_s = 20.0 \text{ mm}$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$F_{c,wc,rd} = \chi \cdot A_{eff,s} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1.000 \times 6539 \times 235 / 1.00 = 1537 \text{ kN} > F_{c,fb,rd} = 940 \text{ kN}$$

Νεύρωση ενίσχυσης, Έλεγχος ικανοποιείται

18.13. Ροπή αντοχής σύνδεσης (ζύγωμ-υποστυλ.)

(EN1993-1-8, §6.2.7.2)

$$M_{j,rd} = \sum h_{r,i} \cdot F_{t,rd,i}$$

(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

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 1037.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 270 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 931.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 380 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 3, } h_r = 841.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 222 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \sum F_{t,rd} = 270 + 380 + 222 = 872 \text{ kN}$$

Κάμψη μετωπικής πλάκας

(EC3-1-8 §6.2.4.4)

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 1037.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 391 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 931.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 386 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 3, } h_r = 841.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 386 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \sum F_{t,rd} = 391 + 386 + 386 = 1163 \text{ kN}$$

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)

$$F_{c,fb,rd} = 940 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} \leq F_{t,wb,rd} = 326 \text{ kN, } F_{c,ed} = \sum F_{t,rd} \leq F_{c,fb,rd} = 940 \text{ kN}$$

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

Κατανομή δυνάμεων σε σειρές κοχλιών

(EC3-1-8 §6.2.7.2.(7))

$$\text{Σειρά κοχλιών 1, } h_r = 1037.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 270 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 2, } h_r = 931.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 326 \text{ kN}$$

$$\text{Σειρά κοχλιών 3, } h_r = 841.0 \text{ mm, } F_{t,rd} = 222 \text{ kN}$$

$$F_{c,ed} = \sum F_{t,rd} = 270 + 326 + 222 = 818 \text{ kN}$$

Ροπή αντοχής σύνδεσης

(EN1993-1-8, §6.2.7.2(10))

$$M_{j,rd} = [10^{-3}] \times [270 \times 1037.0 + 326 \times 931.0 + 222 \times 841.0]$$

$$M_{j,rd} = 770 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = 339.2 \text{ kNm} < 770.2 \text{ kNm} = M_{j,rd}, \quad \text{Έλεγχος ικανοποιείται}$$

18.14. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Διατμητική αντοχή κοχλιών

$$F_{v,rd} = \alpha_n \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.50 \times 1000 \times 353.0 / 1.25 = 141 \text{ kN}$$

Επίπεδο διάτμησης ήλου: εντός σπειρώματος κοχλίας

Αντοχή κοχλίων σε σύνθλιψη

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

Μετωπική-πλάκα

$$\begin{aligned} t &= 20.0 \text{ mm}, d = 24 \text{ mm}, d_o = 26 \text{ mm}, e_1 = 50 \text{ mm}, e_2 = 50 \text{ mm}, p_1 = 90 \text{ mm}, f_{ub} = 1000 \text{ kN/mm}^2, f_u = 360 \text{ kN/mm}^2, \\ \alpha_b &= \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] = \\ &= \min[1000/360, 1.0, 50/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.64 \\ k_1 &= \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 50/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50 \\ F_{b,rd} &= k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.64 \times 360 \times 24 \times 20.0 / 1.25 = 222 \text{ kN} \end{aligned}$$

Πλευρά υποστυλώματος

$$\begin{aligned} t &= 19.0 \text{ mm}, d = 24 \text{ mm}, d_o = 26 \text{ mm}, e_1 = 50 \text{ mm}, e_2 = 50 \text{ mm}, p_1 = 90 \text{ mm}, f_{ub} = 1000 \text{ kN/mm}^2, f_u = 510 \text{ kN/mm}^2, \\ \alpha_b &= \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] = \\ &= \min[1000/510, 1.0, 50/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.64 \\ k_1 &= \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 50/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50 \\ F_{b,rd} &= k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.64 \times 510 \times 24 \times 19.0 / 1.25 = 298 \text{ kN} \end{aligned}$$

Διατμητική αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίου = $\min(141, 222, 298) = 141 \text{ kN}$ 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

$$\rho = 1 - F_{t,ed} / 1.40 F_{t,rd} = 1 - 163 / (1.40 \times 254) = 0.54$$

Διατμητική αντοχή με καμπτική ροπή για όλους τους κοχλίες

$$V_{rd} = 8 \times 0.54 \times 141 = 609 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 107 \text{ kN} < 609 \text{ kN} = V_{rd}, \text{ Έλεγχος ικανοποιείται}$$

19. Σύνδεση στη βάση του υποστυλώματος**19.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)**

Δυνάμεις σχεδιασμού σύνδεσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

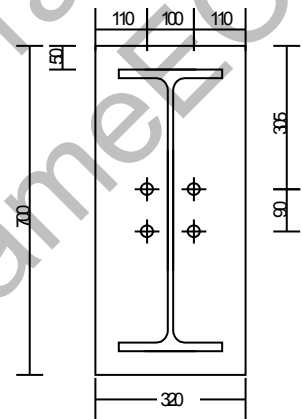
Αξονική δύναμη (θλίψη)	Ned=-115 kN, Σ.Φ. 202: $0.925 \times 1.35G_k + 1.50Q_{s1} = 1.25 \times G_k + 1.50Q_{s1}$
Αξονική δύναμη (εφελκυσμός)	Ned= 16 kN, Σ.Φ. 111: $0.90G_k + 1.50Q_{w1}$
Διατμητική δύναμη υποστυλώματος	Ved= 73 kN, Σ.Φ. 202: $0.925 \times 1.35G_k + 1.50Q_{s1} = 1.25 \times G_k + 1.50Q_{s1}$
Ροπή	Med= 0 kNm,
<u>Σεισμικό φορτίο</u>	
Θλίψη στη βάση	Ned= -57 kN
Εφελκυσμός στη βάση	Ned= 0 kN
Διάτμηση στη βάση	Ved= 42 kN

Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

Κατηγορία χάλυβα πλάκας έδρασης	700x320x30 mm, S 235
Αγκύρια	M24, Κατηγορία 5.6
Επίπεδο διάτμησης ήλου	εντός σπειρώματος κοχλίας μέσον $2 \times 2 = 4$
Συνολικός αριθμός κοχλιών	=4
Διάμετρος οπών	do = 26 mm
Διατομή υποστυλμάτων	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=1.00x25/1.50=16.67 N/mm ²	(EC2 §3.1.6)
Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού	fctd=act·fctk05/γc=1.00x2/1.50=1.20 N/mm ²	
Φέρουσα αντοχή	fjd=β·√Acl/Aco·fcd=(2/3)x1.5x16.67=16.67N/mm ²	(EC2 §6.7)

19.2. 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

19.3. 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

19.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.6.5 Πιν.6.6)

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned}
 l_{eff} &= 2\pi \cdot m_x = 2\pi \times 36.1 = 226.8 \text{ mm} \\
 &= 4m + 1.25e = 4 \times 36.1 + 1.25 \times 110.0 = 281.9 \text{ mm} \\
 &= 2p = 2 \times 90.0 = 180.0 \text{ mm} \\
 &= p = 90.0 \text{ mm} \\
 l_{eff,4b} &= \min(226.8, 281.9, 180.0, 90.0) = 90.0 \text{ mm} \\
 l_{eff,4b} &= 90.0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

19.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.4.1, Πιν.6.2)

Εσωτερική σειρά κοχλιών ενδιάμεση

$$\begin{aligned}
 M_{pl,1,rd} &= M_{pl,2,rd} = 0.25 l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-6}] \times 0.25 \times 90.0 \times 30.0^2 \times 235 / 1.00 = 4.759 \text{ kNm} \\
 \text{Μορφή 1} \quad F_{t,1,rd} &= 4M_{pl,1,rd} / m = [10^3] \times 4 \times 4.759 / 36.1 = 527 \text{ kN} \\
 \text{Μορφή 2} \quad F_{t,2,rd} &= (2M_{pl,2,rd} + n \Sigma F_{t,rd}) / (m+n) = ([10^3] \times 2 \times 4.759 + 45.1 \times 2 \times 127) / (36.1 + 45.1) = 258 \text{ kN} \\
 \text{Μορφή 3} \quad F_{t,3,rd} &= \Sigma F_{t,rd} = 2 \times 127 = 254 \text{ kN} \\
 F_{t,rd} &= \min(527, 258, 254) = 254 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

19.6. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εφελκυσμό (έδραση υποστυλώματος)

(EC3-1-8 §6.2.6.8)

$$\begin{aligned}
 F_{t,wb,rd} &= b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y / \gamma_{M0} \\
 b_{eff,t,wb} &= l_{eff} = l_{eff,4b} = 90.0 \text{ mm} \\
 F_{t,wb,rd} &= [10^{-3}] \times 90.0 \times 12.0 \times 355 / 1.00 = 383 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\min F_{t,rd} = \min(254, 383) = 254 \text{ kN}$$

19.7. Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης

(EN1993-1-8, §6.2.4)

$$\begin{aligned}
 \text{Δύναμη σύνδεσης προς τα πάνω} \quad F_{t,ed} &= 16 \text{ kN} \\
 \text{Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης} \quad F_{t,rd} &= 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \\
 N_{ed} = 16 \text{ kN} < 508 \text{ kN} = N_{rd}, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}
 \end{aligned}$$

19.8. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Διατμητική αντοχή κοχλιών

$$\begin{aligned}
 F_{v,rd} &= a_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.60 \times 500 \times 353.0 / 1.25 = 85 \text{ kN} \\
 \text{Επίπεδο διάτμησης ήλου: εντός σπειρώματος κοχλίας}
 \end{aligned}$$

Αντοχή κοχλιών σε σύνθλιψη

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

$$\begin{aligned}
 t &= 30.0 \text{ mm}, d = 24 \text{ mm}, d_o = 26 \text{ mm}, e_1 = 110 \text{ mm}, e_2 = 110 \text{ mm}, p_1 = 90 \text{ mm}, f_{ub} = 500 \text{ kN/mm}^2, f_u = 360 \text{ kN/mm}^2, \\
 a_b &= \min[f_{ub}/f_u, 1.0, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] = \\
 &= \min[500/360, 1.0, 110/(3 \times 26), 90/(3 \times 26) - 0.25] = 0.90 \\
 k_1 &= \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 1.4p_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 110/26 - 1.7, 1.4 \times 100/26 - 1.7, 2.5] = 2.50 \\
 F_{b,rd} &= k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.90 \times 360 \times 24 \times 30.0 / 1.25 = 469 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Διατμητική αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλίας} = \min(85, 469) = 85 \text{ kN}$$

Εφελκυσμός και διάτμηση

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

Μεγίστη εφελκυστική δύναμη σε κοχλίες

$$F_{t,ed} = 254 / 2 = 127 \text{ kN}$$

Μείωση διατμητικής αντοχής λόγω εφελκυσμού

$$\rho = 1 - F_{t,ed} / 1.40 F_{t,rd} = 1 - 127 / (1.40 \times 127) = 0.29$$

Διατμητική αντοχή με εφελκυσμό για όλους τους κοχλίες

$$V_{rd} = 4 \times 0.29 \times 85 = 99 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 73 \text{ kN} < 99 \text{ kN} = V_{rd}, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}$$

19.9. 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)
 $f_{jd} = \beta \cdot \sqrt{(A_{c1}/A_{co})} \cdot f_{cd} = (2/3) \times 1.5 \times 16.67 = 16.67 \text{ N/mm}^2$ (EC3-1-8 §6.2.5(7))
 $h = 600.0 \text{ mm}$, $b = 220.0 \text{ mm}$, $t_f = 19.0 \text{ mm}$, $t_w = 12.0 \text{ mm}$, $t_p = 30.0 \text{ mm}$
 $c = t_p \cdot (f_y / (3 f_{jd} \cdot \gamma_{M0}))^{0.5} = 30 \times (235.00 / (3 \times 16.67 \times 1.00))^{0.5} = 65.0$, < 50.0 , $c = 50.0 \text{ mm}$ (Εξ. 6.5)
 $2c + b_f = 2 \times 50.0 + 220 = 320.0 \text{ mm} \leq b_p = 320 \text{ mm}$, $l_{eff} = 320.0 \text{ mm}$
 $A_{co,f} = l_{eff} \cdot (2c + t_f) = 320.0 \times (2 \times 50.0 + 19.0) = 38080 \text{ mm}^2$ (EC3-1-8, Σχ.6.4)
 $A_{co,w} = (h - 2t_f - 2c) \cdot (t_w + 2c) = (600.0 - 2 \times 19.0 - 2 \times 50.0) \times (12.0 + 2 \times 50.0) = 51744 \text{ mm}^2$
 $N_{j,rd} = [10^{-3}] \times 16.7 \times (2 \times 38080 + 51744) = [10^{-3}] \times 16.7 \times 127904 = 2136 \text{ kN}$
 $N_{j,ed} = 115 \text{ kN} < 2136 \text{ kN} = N_{j,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

19.10. Αντοχή αγκύρωσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)

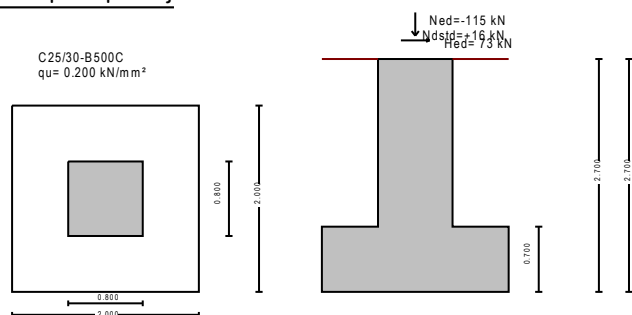
(EN1993-1-8, §6.2.6.12)

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 $l_{bd} = 0.70 l_{b,rqd}$
 $l_{b,rqd} = (\sigma_s / f_{bd}) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd}) = (24/4) \times (11.5/1.20) = 57 \text{ mm}$
 $\sigma_{sd} = [10^3] \times 16 / (4 \times 353) = 11.5 \text{ N/mm}^2$, $f_{bd} = f_{ctd} = 1.20 \text{ N/mm}^2$
 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = 0.70 \times 57 > (10 \times 24 / 100)$ $l_{bd} = 250 \text{ mm}$

20. Πέδιλο σκυροδέματος



20.1. Δυνάμεις σχεδιασμού στο πέδιλο σκυροδέματος

Αξονική δύναμη (προς τα κάτω)	Ned= 115 kN, Σ.Φ. 202: $0.925 \times 1.35G_k + 1.50Q_{s1} = 1.25 \times G_k + 1.50Q_{s1}$
Αξονική δύναμη (προς τα πάνω)	Ned= 16 kN, Σ.Φ. 111: $0.90G_k + 1.50Q_{w1}$
Διατμητική δύναμη υποστύλματος	Hed= 73 kN, Σ.Φ. 202: $0.925 \times 1.35G_k + 1.50Q_{s1} = 1.25 \times G_k + 1.50Q_{s1}$
Ροπή	Med= 0 kNm,

Σεισμικό φορτίο

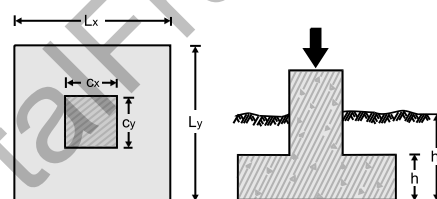
Αξονική δύναμη (προς τα κάτω)	Ned= 57 kN
Αξονική δύναμη (προς τα πάνω)	Ned= 0 kN
Διατμητική δύναμη υποστύλματος	Ved= 42 kN
Ροπή	Med= 0 kNm

20.2. Διαστάσεις-Υλικά-Φορτία (Πέδιλο σκυροδέματος)

Διαστάσεις

Πέδιλο	Lx= 2.000 m	Ly= 2.000 m
Υποστύλωμα	cx= 0.800 m	cy= 0.800 m
Υψος πεδίου	h= 0.700 m	
Βάθος πεδίου	hf= 2.700 m	

Εμβαδόν βάσης πεδίου	Af= 4.00 m ²
Όγκος πεδίου	Vf= 4.08 m ³



Υλικά πεδίου

Σκυρόδεμα-Χάλυβας: C25/30-B500C

(EN1992-1-1, §3)

Επικάλυψη οπλισμού: Cnom=35 mm

(EC2 §4.4.1)

Ωφέλιμο ύψος διατομής d=h-d1, d1=Cnom+Ø(3/2)=35+3x16/2=59mm, d=700-59=641mm

Βάρος σκυροδέματος: 25.0 kN/m³

γc=1.50, γs=1.15

(EC2 Πίνακας 2.1N)

fcd=αcc·fck/γc=1.00x25/1.50=16.67 MPa

(EC2 §3.1.6)

fyd=fyk/γs=500/1.15=435 MPa

(EC2 §3.2.7)

Εδάφος

Θλιπτική αντοχή εδάφους qu= 0.200 N/mm² (MPa)Ειδικό βάρος εδάφους γ=18.000 kN/m³

Φορτία

Ιδιο βάρος πεδίου (1.28+2.80)x25.00 Gf= 102.00 kN

Βάρος εδάφους επί πεδίου (4.00x2.70-4.08)x18.00 Gs= 120.96 kN

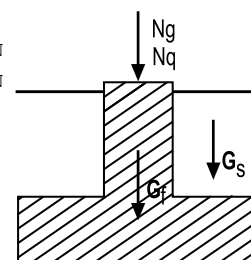
Φορτία και ροπές σχεδιασμού

Κατακόρυφο φορτίο προς τα κάτω Ned= 115.13 kN

Κατακόρυφο φορτίο προς τα πάνω Ndst,d= 16.22 kN

Οριζόντιο φορτίο Hed= 73.48 kN

Ροπή Med= 0.00 kNm



Κανονισμοί

Ελεγχοι αντοχής εδάφους με (EC7 EN1997-1-1:2004, §6)
 Επιμέρους συντελεστές για δράσεις και εδαφικές ιδιότητες (EC7 Πιν. A.1-A.4, EC8-5 §3.1)
 Οριακή κατάσταση Ισοροπίας (EQU), Δομικού τύπου (STR), Γεωτεχνικού τύπου (GEO)

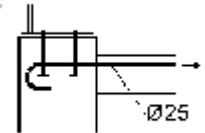
		(EQU)	(STR)	(GEO)
Δράση	Μόνιμη Δυσμενής	$\gamma_{Gdst}: 1.10$	1.35	1.00
	Μόνιμη Ευνοϊκή	$\gamma_{Gstb}: 0.90$	1.00	1.00
	Μεταβλητή Δυσμενής	$\gamma_{Qdst}: 1.50$	1.50	1.30
	Μεταβλητή Ευνοϊκή	$\gamma_{Qstb}: 0.00$	0.00	0.00
Εδαφικές ιδιότητες	Γωνία διατμητικής αντοχής	$\gamma_{\phi}: 1.25$	1.00	1.25
	Συνοχή c	$\gamma_c: 1.25$	1.00	1.25
	Διατμητική αντοχή cu	$\gamma_{cu}: 1.40$	1.00	1.40
	Θλιπτική αντοχή qu	$\gamma_{qu}: 1.40$	1.00	1.40
	Βάρος	$\gamma_w: 1.00$	1.00	1.00

Συντελεστές ασφαλείας δράσεων : $\gamma_G=1.35$, $\gamma_Q=1.50$ (EC0 Παράρτημα A1)
 Συνδυασμός τυχαίων δράσεων : (EC7) $\psi_2 = 0.30$
 Συνδυασμός τυχαίων δράσεων : (EC2) $\psi_2 = 0.30$

Ελεγχος ωπλισμένου σκυροδέματος με (EC2 EN1992-1-1:2004)

20.3. Ελκυστήρας για οριζόντιες δυνάμεις (Πέδιλο σκυροδέματος)

Η οριζόντια δύναμη που ενεργεί προς τα έξω παραλαμβάνεται από χαλύβδινο ελκυστήρα τοποθετημένο μέσα στην πλάκα δαπέδου που συνδέει τα υποστυλώματα.
 Μέγιστη οριζόντια δύναμη προς τα έξω $H_{ed} = 73 \text{ kN}$
 Ολπισμός B500C, ($f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$)
 Απαιτούμενο εμβαδό οπλισμού $A_s = H_{ed} / (f_y / \gamma_s) = 10^3 \times 73 / (500 / 1.15) = 169 \text{ mm}^2$
 Τοποθετούνται 2 ράβδοι οπλισμού $\varnothing 25 \text{ mm}$, ($A_s = 982 \text{ mm}^2$)

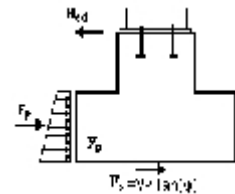


Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης (ράβδοι με κανονικό άγκυστρο) (EN1992-1-1 §8.4)
 Βασικό μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = (\varnothing / 4) (s_{sd} / f_{bd}) = (25 / 4) \times (75 / 2.70) = 173 \text{ mm}$
 $s_{sd} = 10^3 \times 73 / (2 \times 491) = 75 \text{ N/mm}^2$, $f_{bd} = 2.25 \times f_{ctd} = 2.25 \times 1.20 = 2.70 \text{ N/mm}^2$
 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = 0.70 \times 173$, $> (10 \times 25, 100) = 260 \text{ mm}$ (EC2 §8.4.4)
 Μήκος επικάλυψης οπλισμού $l_o = 1.5 \times 173$, $> (15 \times 25, 200) = 380 \text{ mm}$ (EC2 §8.7.3)

20.4. Παθητική ώθηση γαιών στο πλάι του πεδίλου

(EC7 EN1997-1-1:2004, §9.5)

Γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους $\phi / \gamma M = 30.00 / 1.25 = 24.00^\circ$
 Ειδικό βάρος ξηρού εδάφους $\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^3$
 Βάθος θεμελίου $h_f = 2.700 \text{ m}$
 Ύψος θεμελίου $h = 0.700 \text{ m}$
 Πλάτος θεμελίου $B_y = 2.000 \text{ m}$
 Συντελεστής παθητικής ώθησης $K_p = 2.371$
 Ωθηση (πίεση) στην κορυφή $p_1 = 18.00 \times 2.000 \times 2.371 = 85.36 \text{ kN/m}^2$
 Ωθηση (πίεση) στην βάση $p_2 = 18.00 \times 2.700 \times 2.371 = 115.24 \text{ kN/m}^2$
 Ωθηση (δύναμη) γαιών $F_{prd} = 0.5 \times (85.36 + 115.24) \times 2.000 \times 0.700 = 140.42 \text{ kN}$
 Σημείο εφαρμογής ώθησης γαιών $y_p = 0.433 \text{ m}$

**20.5. Εξέταση ευστάθειας φορτίων προς τα πάνω (Πέδιλο σκυροδέματος)**

Φόρτιση (EQU), $0.90 \times \text{Μόνιμα} + 1.50 \times \text{Κινητά}$

(EC7 §2.4.7.2)

Κατακόρυφες δυνάμεις προς τα πάνω $N_{dst,d} = 16 \text{ kN}$
 Κατακόρυφες δυνάμεις προς τα κάτω $G = 102.00 + 120.96 = 222.96 \text{ kN}$
 Δυνάμεις συγκράτησης προς τα κάτω $N_{stb,d} = \gamma_G \times G = 0.90 \times 222.96 = 201 \text{ kN}$

$N_{dst,d} = 16 \text{ kN} < 201 \text{ kN} = N_{stb,d}$, Έλεγχος ικανοποιείται

20.6. Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας εδάφους (Πέδιλο σκυροδέματος)

(EC7 EN1997-1-1:2004, §6)

Φόρτιση (STR,GEO), 1.35xΜόνιμα + 1.50xΚινητά

(EC7 §2.4.7.3)

Φορτία και ροπές σχεδιασμού

Κατακόρυφο φορτίο στη βάση του πεδίου $N_{ed} = 115.13 + 1.35 \times (102.00 + 120.96) = 416.13 \text{ kN}$ Κατακόρυφο φορτίο στην κορυφή του πεδίου $N_{ed1} = 115.13 + 1.35 \times 32.00 = 158.33 \text{ kN}$ Τάση εδάφους $q = 10^{-3} \times 416.13 / (2.000 \times 2.000) = 0.104 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$ Έλεγχος φέρουσας ικανότητας εδάφους $R_d \geq V_d$

(EC7 EN1997-1-1:2004, §6.5.2)

Ενεργός επιφάνεια σχεδιασμού θεμελίου $A' = 2.000 \times 2.000 = 4.00 \text{ m}^2$

(EC7 Παράρτημα D)

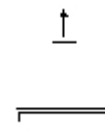
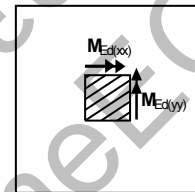
Φέρουσα ικανότητα θεμελίωσης $R_d = A' \cdot q_u / \gamma_{qu}$, $q_u = 0.20 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{qu}(\text{EQU,GEO}) = 1.40$ $R_d = 1000 \times 4.00 \times 0.200 / 1.40 = 571.43 \text{ kN} > V_d = 416.13 \text{ kN}$ $N_{ed} = 416.13 \text{ kN} < 571.43 \text{ kN} = N_{rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται**20.7. Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης (Πέδιλο σκυροδέματος)**

(EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1)

Κάμψη στην κάτω επιφάνεια $M_{ed}(yy) = 0.125 \times 158 \times 2.000 \times (1 - 0.800/2.000)^2 = 14.25 \text{ kNm}$ $M_{ed}(xx) = 0.125 \times 158 \times 2.000 \times (1 - 0.800/2.000)^2 = 14.25 \text{ kNm}$ $M_{ed} = 14.25 \text{ kNm}$, $b = 2000 \text{ mm}$, $d = 641 \text{ mm}$, $K_d = 24.01$, $x/d = 0.01$ $\varepsilon_c/\varepsilon_s = 0.2/20.0$, $K_s = 2.31$, $A_s = 0.51 \text{ cm}^2$ Ελάχιστος οπλισμός $s \leq 400 \text{ mm}$ ($\Psi 16/30.0$, $A_s = 6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$) (EC2 §9.3.1)Ελάχιστος οπλισμός $\varnothing 16/30.0$ ($6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$) $M_{ed} = 14.25 \text{ kNm}$, $b = 2000 \text{ mm}$, $d = 641 \text{ mm}$, $K_d = 24.01$, $x/d = 0.01$ $\varepsilon_c/\varepsilon_s = 0.2/20.0$, $K_s = 2.31$, $A_s = 0.51 \text{ cm}^2$ Ελάχιστος οπλισμός $s \leq 400 \text{ mm}$ ($\Psi 16/30.0$, $A_s = 6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$)Ελάχιστος οπλισμός $\varnothing 16/30.0$ ($6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$)**Οπλισμός πεδίου στην κάτω επιφάνεια**Οπλισμός κατά x-x διεύθυνση: $\varnothing 16/30.0$ ($6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$), 8 $\varnothing 16$ (16.08 cm^2)Οπλισμός κατά y-y διεύθυνση: $\varnothing 16/30.0$ ($6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$), 8 $\varnothing 16$ (16.08 cm^2)**Κάμψη στην πάνω επιφάνεια** $M_{ed}(yy) = 0.125 \times 16 \times 2.000 \times (1 - 0.800/2.000)^2 = 1.46 \text{ kNm}$ $M_{ed}(xx) = 0.125 \times 16 \times 2.000 \times (1 - 0.800/2.000)^2 = 1.46 \text{ kNm}$ $M_{ed} = 1.46 \text{ kNm}$, $b = 2000 \text{ mm}$, $d = 641 \text{ mm}$, $K_d = 75.03$, $x/d = 0.00$ $\varepsilon_c/\varepsilon_s = 0.1/20.0$, $K_s = 2.30$, $A_s = 0.05 \text{ cm}^2$ Ελάχιστος οπλισμός $s \leq 400 \text{ mm}$ ($\Psi 16/30.0$, $A_s = 6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$) (EC2 §9.3.1)Ελάχιστος οπλισμός $\varnothing 16/30.0$ ($6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$) $M_{ed} = 1.46 \text{ kNm}$, $b = 2000 \text{ mm}$, $d = 641 \text{ mm}$, $K_d = 75.03$, $x/d = 0.00$ $\varepsilon_c/\varepsilon_s = 0.1/20.0$, $K_s = 2.30$, $A_s = 0.05 \text{ cm}^2$ Ελάχιστος οπλισμός $s \leq 400 \text{ mm}$ ($\Psi 16/30.0$, $A_s = 6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$)Ελάχιστος οπλισμός $\varnothing 16/30.0$ ($6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$)**Οπλισμός πεδίου στην πάνω επιφάνεια**Οπλισμός κατά x-x διεύθυνση: $\varnothing 16/30.0$ ($6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$), 8 $\varnothing 16$ (16.08 cm^2)Οπλισμός κατά y-y διεύθυνση: $\varnothing 16/30.0$ ($6.70 \text{ cm}^2/\text{m}$), 8 $\varnothing 16$ (16.08 cm^2)**20.8. Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης (Πέδιλο σκυροδέματος)**

(EC2 EN1992-1-1:2004, §6.2)

Ο έλεγχος σε διάτμηση καλύπτεται από τον έλεγχο σε διάτμηση καθώς,
η κρίσιμη διατομή για έλεγχο διάτμησης είναι σε γωνία $\beta = 45^\circ$



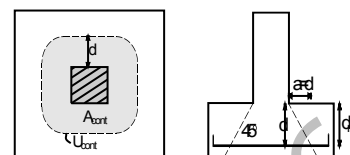
20.9. Διαστασιολόγηση έναντι διάτρησης (Πέδιλο σκυροδέματος)

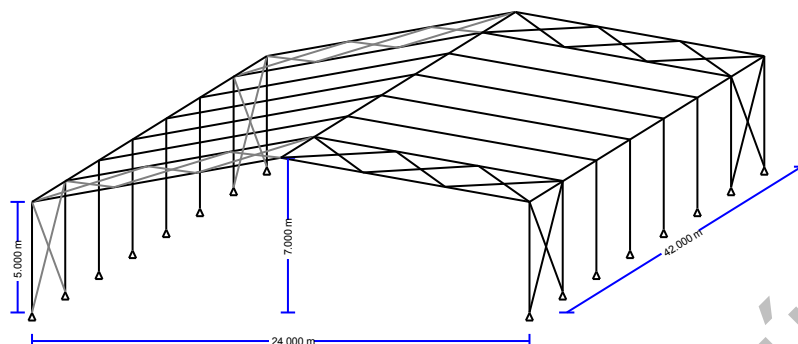
(EC2 EN1992-1-1:2004, §6.4)

πρόβολοι πεδίου κατά x-x, $L1=0.600<d=0.641m$, $L2=0.600<d=0.641m$
 πρόβολοι πεδίου κατά y-y, $L1=0.600<d=0.641m$, $L2=0.600<d=0.641m$

Οι πρόβολοι του πεδίου είναι $<$ του ύψους του πεδίου d .
 Η κρίσιμη επιφάνεια για κώνο διάτρησης υπό γωνία $\beta=45^\circ$,
 είναι εκτός της επιφάνειας του πεδίου.

Ικανοποιείται ο έλεγχος οριακής κατάστασης αστοχίας





21. Εγκάρσιο σύστημα δυσκαμψίας

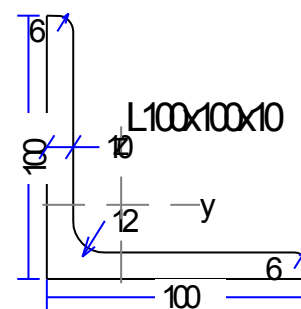
Πλαίσια σε εγκάρσια διεύθυνση 8 σε 6.000m. Σύνδεσμοι δυσκαμψίας τοποθετούνται ανά 2 πλαίσια. Κάθε σύστημα δυσκαμψίας παραλαμβάνει $1/2=0.50$ από το ολικό οριζόντιο φορτίο ανέμου ή σεισμού. Το οριζόντιο σύστημα δυσκαμψίας της οροφής αποτελείται από αντιανέμια διαγώνια μέλη μεταξύ $24/6=4.00$. Το πλευρικό κατακόρυφο σύστημα δυσκαμψίας αποτελείται από 2 διαγώνια μέλη από τη κορυφή στη βάση του επόμενου υποστυλώματος.

21.1. Χαρακτηριστικά διατομών, Σύστημα δυσκαμψίας

Διατομή L100x100x10-S 355

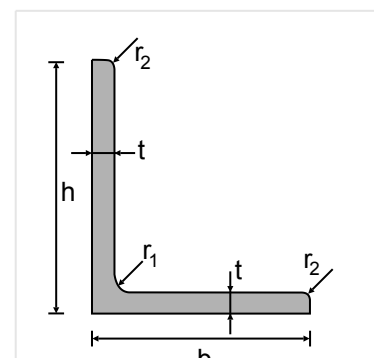
Διαστάσεις διατομής

Υψος διατομής	$h=$	100.00 mm
Πλάτος διατομής	$b=$	100.00 mm
Υψος κορμού	$h_w=$	100.00 mm
Υψος ευθύγραμμου τμήματος κορμού	$d_w=$	100.00 mm
Πάχος κορμού	$t_w=$	10.00 mm
Πάχος πέλματος	$t_f=$	10.00 mm
Ακτίνα συναρμογής	$r=$	12.00 mm
Μάζα	$=$	15.00 Kg/m



Χαρακτηριστικά διατομών

Εμβαδόν	$A=$	1915 mm ²	
Ροπή αδρανείας	$I_y=$	1.767×10^6 mm ⁴	$I_z= 1.767 \times 10^6$ mm ⁴
Ροπή αδρανείας	$I_u=$	2.807×10^6 mm ⁴	$I_v= 0.726 \times 10^6$ mm ⁴
Ελαστική ροπή αντίστασης	$W_y=$	24.610×10^3 mm ³	$W_z=24.610 \times 10^3$ mm ³
Πλαστική ροπή αντίστασης	$W_{py}=$	106.00×10^3 mm ³	$W_{pz}=52.000 \times 10^3$ mm ³
Ακτίνα αδρανείας	$i_y=$	30.4 mm	$i_z= 30.4$ mm
Ακτίνα αδρανείας	$i_u=$	38.3 mm	$i_v= 19.5$ mm
Επιφάνεια διάτμησης	$A_{vz}=$	1025 mm ²	$A_{vy}= 1000$ mm ²
Σταθερά στρέψης	$I_t=$	0.089×10^6 mm ⁴	$i_p= 43$ mm
Σταθερά στρέβλωσης	$I_w=$	1.688×10^9 mm ⁶	



21.2. Οριζόντια φορτία

Φορτίο ανέμου στην επιφάνεια τοίχου ,	$w_k=0.90 \text{ kN/m}^2$, $C_{pe}, D=0.8$, $C_{pe}, E=-0.5$ (EN1991-1-4, Πιν.7.1)
Σεισμική δύναμη από ισοδύναμη στατική ανάλυση, $F_b=31.0 \text{ kN}$	(EN1998-1-1, §4.3.3.2)
Εγκάρσιο φορτίο ανέμου /ανά m στη στέγη	$q_{ed}, w= 1.50 \times 0.90 \times (0.8+0.5) \times 7.000/2= 6.14 \text{ kN/m}$
Εγκάρσιο σεισμικό φορτίο /ανά m στη στέγη	$q_{ed}, e= 1.00 \times (7 \times 31.0) / 24.000= 9.03 \text{ kN/m}$
Εγκάρσιο φορτίο /ανά m στη στέγη	$= \max(6.14, 9.03) = 9.03 \text{ kN/m}$
Φορτίο/m στο σύστημα δυσκαμψίας, στέγη	$q_{ed}= (1/2) \times 9.03 = 4.51 \text{ kN/m}$
Φορτίο στο σύστημα δυσκαμψίας, στέγη	$Q_{ed1}= 4.51 \times 4.000 = 18.0 \text{ kN}$
Φορτίο στο σύστημα δυσκαμψίας στην κορυφή υποστυλώματος	$Q_{ed2}= 4.51 \times 24.000/2= 54.1 \text{ kN}$

Οριζόντια (στέγη) μέλη δυσκαμψίας

Τα μέλη του οριζόντιου συστήματος δυσκαμψίας στέγης φορτίζονται με σημειακά φορτία $Q_{ed1} = 4.5 \times 4.000 = 18.0 \text{ kN}$ στους κόμβους του συστήματος δυσκαμψίας (σε αποστάσεις $L/6 = 4.000 \text{ m}$).

Τα μέλη του συστήματος δυσκαμψίας στηρίζονται οριζόντια στα υποστυλώματα

Μήκος μελών συστήματος δυσκαμψίας 7.211 m , κλίση $\varphi = 56.31^\circ$, $\tan\varphi = 6.000/4.000 = 1.500$

Δυνάμεις στα μέλη του συστήματος δυσκαμψίας

Θλίψη $N_{ced1} = 1.00 \times 18.0 / \sin 56.31 = 21.6 \text{ kN}$

Εφελκυσμός $N_{ted1} = 0.50 \times 18.0 / \sin 56.31 = 10.8 \text{ kN}$

Κατακόρυφο (τοίχος) σύστημα δυσκαμψίας

Το κατακόρυφο σύστημα δυσκαμψίας φορτίζεται με σημειακό οριζόντιο φορτίο $Q_{ed2} = 54.1 \text{ kN}$ στην κορυφή του υποστυλώματος $h = 5.000 \text{ m}$.

Μήκος μελών συστήματος δυσκαμψίας 7.810 m , κλίση $\varphi = 39.81^\circ$, $\tan\varphi = 5.000/6.000 = 0.833$

Δυνάμεις στα μέλη του συστήματος δυσκαμψίας

Εφελκυσμός $N_{ted2} = 1.00 \times 54.1 / \cos 39.81 = 70.4 \text{ kN}$

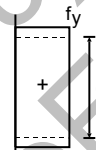
21.3. Κατάταξη διατομών, Θλίψη N_c (Σύστημα δυσκαμψίας)

(EN1993-1-1, §5.5)

$h/t = 100.0/10.0 = 10.00$, $(b+h)/2t = (100.0+100.0)/(2 \times 10.0) = 10.00$

S 355, $t = 10.0 \leq 40 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon = (235/355)^{0.5} = 0.81$

$h/t = 10.00 \leq 15\epsilon = 12.15$, $(b+h)/2t = 10.00 > 11.5\epsilon = 9.32$



Κατάταξη ολικής διατομής είναι κατηγορία 4, Θλίψη $N_{c,ed}$

Ιδιότητες ενεργού διατομής σε διατομές κατηγορίας 4

(EN1993-1-1, §6.2.2.5)

Κορμός

$\bar{\lambda}_p = (b/t) / [28.40 \epsilon \sqrt{K\sigma}]$

(EN1993-1-3, §5.5.2, Εξ.5.5, Tab1.5.3)

$b = d = 100.0 \text{ mm}$, $t = 10.0 \text{ mm}$, $\epsilon = 0.81$, $\psi = 1.00$, $K\sigma = 4.00$, $\bar{\lambda}_p = 0.217$

$\bar{\lambda}_p = 0.217 < 0.673$, $\rho = 1.0$, $d_{eff} = \rho \cdot d = 1.000 \times 100 = 100.0 \text{ mm}$

Πέδιμα

$\bar{\lambda}_p = (b/t) / [28.40 \epsilon \sqrt{K\sigma}]$

(EN1993-1-3, §5.5.2, Εξ.5.5, Tab1.5.3)

$b = c = 100.0 \text{ mm}$, $t = 10.0 \text{ mm}$, $\epsilon = 0.81$, $\psi = 1.00$, $K\sigma = 0.43$, $\bar{\lambda}_p = 0.663$

$\bar{\lambda}_p = 0.663 < 0.673$, $\rho = 1.0$, $c_{eff} = \rho \cdot c = 1.000 \times 100 = 100.0 \text{ mm}$

Ενεργό εμβαδόν $A_{eff} = 1915 - 1 \times (100.0 - 100.0) \times 10.00 - 1 \times (100.0 - 100.0) \times 10.00 = 1915 \text{ mm}^2$

Ενεργό εμβαδόν $A_{eff} = 0 \text{ mm}^2$

$e_{my} = 0.00 \text{ mm}$, $I_{y,eff} = 0.000 \times 10^6 \text{ mm}^4$

Ενεργή ροπή αντίστασης $W_{y,eff} = 0.000 \times 10^6 / (100.0/2 + 0.00) = 0.000 \times 10^3 \text{ mm}^3$

21.4. Αντοχή διατομής, Σύστημα δυσκαμψίας

(EN1993-1-1, §6.2)

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε εφελκυσμό

(EN1993-1-1, §6.2.3)

$N_{t,ed} = 70.42 \text{ kN}$

Εφελκυστική αντοχή $N_{plrd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 1915 \times 355 / 1.00 = 679.82 \text{ kN}$

$N_{t,ed} = 70.42 \text{ kN} < 679.82 \text{ kN} = N_{t,rd} = N_{plrd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

Ιδιότητες ενεργού διατομής σε διατομές κατηγορίας 4

(EN1993-1-1, §6.2.2.5)

Ενεργό εμβαδόν $A_{eff} = 1915 \text{ mm}^2$

Οριακή κατάσταση αστοχίας, Έλεγχος σε θλίψη

(EN1993-1-1, §6.2.4)

$N_{c,ed} = 21.60 \text{ kN}$

Θλιπτική αντοχή $N_{c,rd} = A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \times 1915 \times 355 / 1.00 = 679.82 \text{ kN}$

$N_{ed} = 21.60 \text{ kN} < 679.82 \text{ kN} = N_{c,rd}$, Έλεγχος ικανοποιείται

21.5. Καμπυλικοί λυγισμοί, Σύστημα δυσκαμψίας (Οριακή κατάσταση αστοχίας) (EN1993-1-1, §6.3.1)

Μήκη λυγισμού: $L_{cr,y}=1.000 \times 7211=7211\text{mm}$, $L_{cr,z}=1.000 \times 7211=7211\text{mm}$

Αδιάστατη λυγηρότητα (Κατηγορία διατομής: 4)

(EC3 §6.3.1.3)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,y})} = (L_{cr,y} / i_y) \sqrt{(A_{eff}/A) / \lambda_1} = (7211 / 30.4) \times (1.000 / 76.06) = 3.121$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,z})} = (L_{cr,z} / i_z) \sqrt{(A_{eff}/A) / \lambda_1} = (7211 / 30.4) \times (1.000 / 76.06) = 3.121$$

$$\bar{\lambda}_v = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr,v})} = (L_{cr,v} / i_v) \sqrt{(A_{eff}/A) / \lambda_1} = (7211 / 19.5) \times (1.000 / 76.06) = 4.868$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{(E / f_y)} = 93.9 \varepsilon = 76.06, \quad \varepsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0.81, \quad \sqrt{(A_{eff}/A)} = \sqrt{(1915 / 1915)} = 1.000$$

$$\bar{\lambda}_{eff,y} = 0.50 + 0.7 \times 3.121 = 2.685, \quad \bar{\lambda}_{eff,z} = 0.50 + 0.7 \times 3.121 = 2.685$$

(EC3 Παράρτημα BB.1.2)

$$\bar{\lambda}_{eff,v} = 0.35 + 0.7 \times 4.868 = 3.758$$

y-y καμπύλη λυγισμού: b, συντελεστής ατελειών: $\alpha_y = 0.34$, $\chi_y = 0.122$

(T.6.2, T.6.1, Σχ.6.4)

$$\Phi_y = 0.5 [1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 [1 + 0.34 \times (2.685 - 0.2) + 2.685^2] = 4.526$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}] = 1 / [4.526 + \sqrt{(4.526^2 - 2.685^2)}] = 0.122 \leq 1 \quad \chi_y = 0.122$$

z-z καμπύλη λυγισμού: b, συντελεστής ατελειών: $\alpha_z = 0.34$, $\chi_z = 0.122$

$$\Phi_z = 0.5 [1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 [1 + 0.34 \times (2.685 - 0.2) + 2.685^2] = 4.526$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}] = 1 / [4.526 + \sqrt{(4.526^2 - 2.685^2)}] = 0.122 \leq 1 \quad \chi_z = 0.122$$

v-v καμπύλη λυγισμού: b, συντελεστής ατελειών: $\alpha_v = 0.34$, $\chi_v = 0.065$

$$\Phi_v = 0.5 [1 + \alpha_v (\bar{\lambda}_v - 0.2) + \bar{\lambda}_v^2] = 0.5 [1 + 0.34 \times (3.758 - 0.2) + 3.758^2] = 8.165$$

$$\chi_v = 1 / [\Phi_v + \sqrt{(\Phi_v^2 - \bar{\lambda}_v^2)}] = 1 / [8.165 + \sqrt{(8.165^2 - 3.758^2)}] = 0.065 \leq 1 \quad \chi_v = 0.065$$

Μειωτικός συντελεστής $\chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}]$, $\chi \leq 1.0$, $\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$, $\chi = 0.065$ (EC3 Εξ.6.49)

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0.065 \times [10^{-3}] \times 1915 \times 355 / 1.00 = 44.19 \text{ kN} \quad (\text{EC3 Εξ.6.48})$$

$$N_{c,ed} = 21.60 \text{ kN} < 44.19 \text{ kN} = N_{b,rd}, \quad \text{Ελεγχος ικανοποιείται}$$

21.6. Κοχλιωτοί σύσδεσμοι συνδέσμων

Δεδομένα κοχλιών σύνδεσης, Σύστημα δυσκαμψίας

(EN1993-1-8)

Είδος σύνδεσης Μετωπική πλάκα σύνδεσης, μη-προεντεταμένοι κοχλίες

Κατηγορία σύνδεσης Κατηγορία A: σύνθλιψη

(EC3-1-8 §3.4.1)

Συνδεδεμένα μέλη Πάχος $t = 10 \text{ mm}$

Κοχλίες M20, Ποιότητα 10.9

Διάμετρος κοχλίων $d = 20 \text{ mm}$

Διάμετρος οπών $d_o = 22 \text{ mm}$

Ονομαστικό εμβαδό $n d^2 / 4 = \pi \times 20^2 / 4 = 314.2 \text{ mm}^2$

Εφελκυσμένο εμβαδό $A_s = 314.2 \text{ mm}^2$

Κατηγορία αντοχής κοχλίων 10.9, $f_{yb} = 900 \text{ N/mm}^2$, $f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$

(EC3-1-8 §3.1.1)

Διατμητική αντοχή κοχλίων

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

$$F_v,rd = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 0.50 \times 1000 \times 314.2 / 1.25 = 125.7 \text{ kN}$$

Αντοχή κοχλίων σε σύνθλιψη

(EN1993-1-8, §3.6.1 Πιν.3.4)

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

$$t = 10.0 \text{ mm}, d = 20 \text{ mm}, d_o = 22 \text{ mm}, e_1 = 50 \text{ mm}, e_2 = 50 \text{ mm}, p_1 = 100 \text{ mm}, f_{ub} = 1000 \text{ kN/mm}^2, f_u = 360 \text{ kN/mm}^2,$$

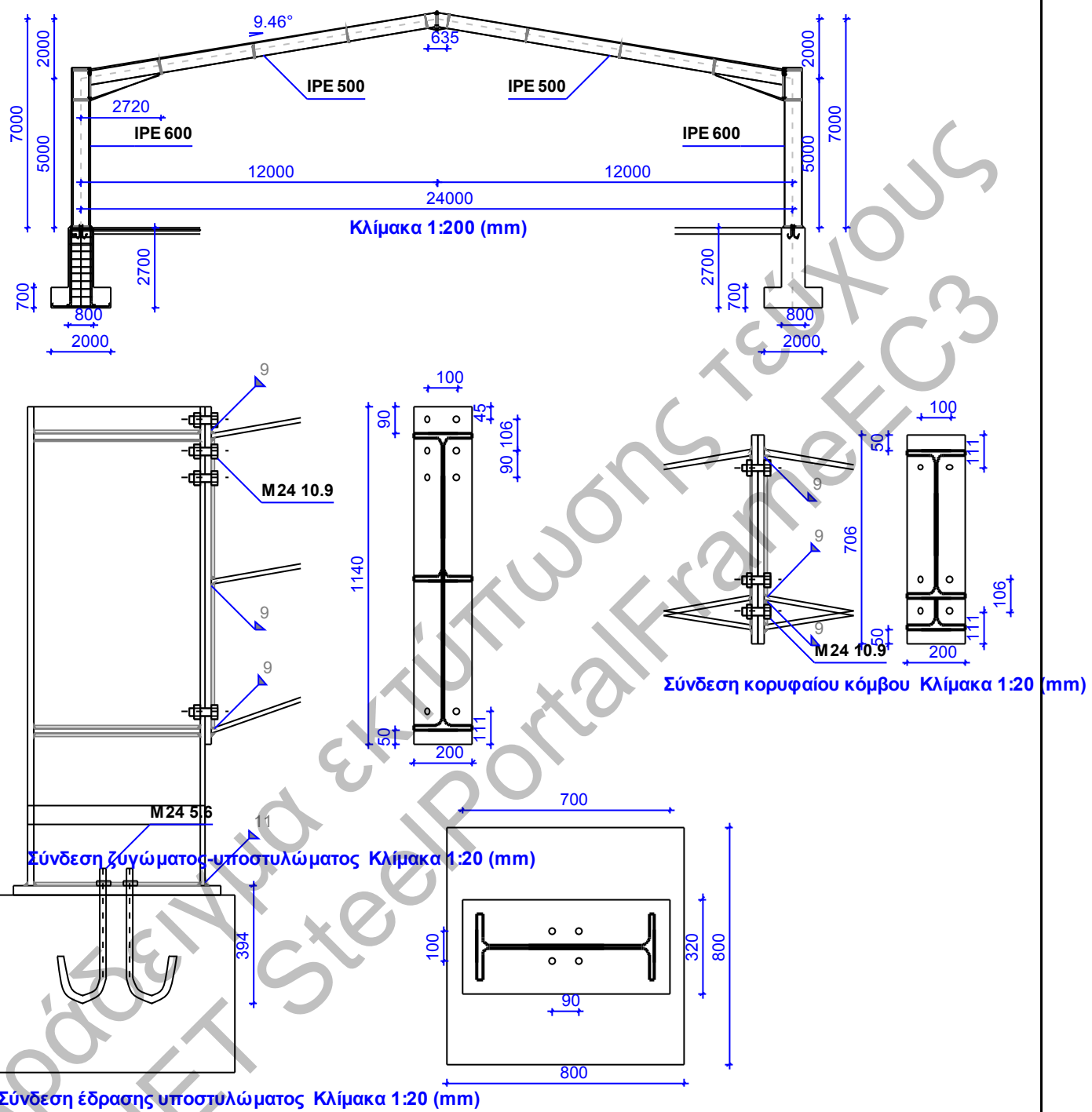
$$\alpha_b = \min[f_{ub}/f_u, 1, e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4] = \min[1000/360, 1, 50/(3 \times 22), 100/(3 \times 22) - 0.25] = 0.76$$

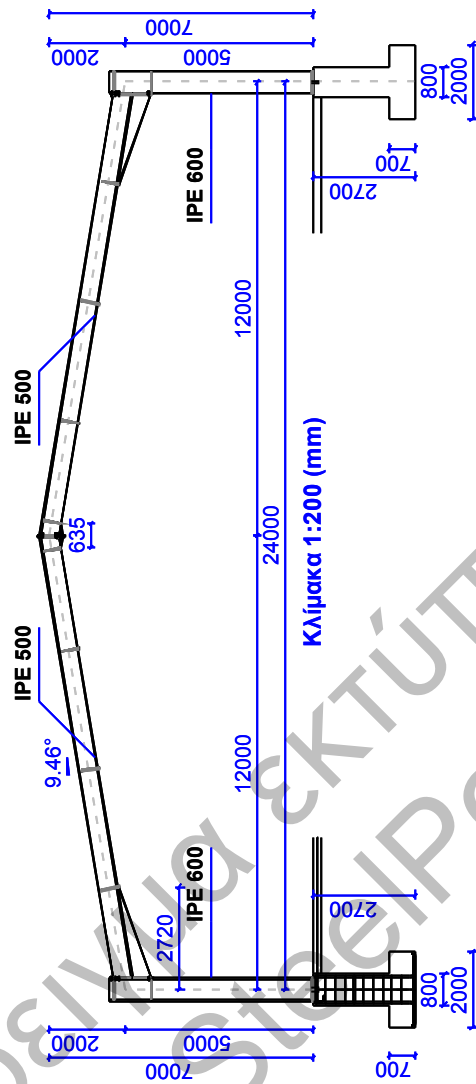
$$k_1 = \min[2.8e_2/d_o - 1.7, 2.5] = \min[2.8 \times 50/22 - 1.7, 2.5] = 2.50$$

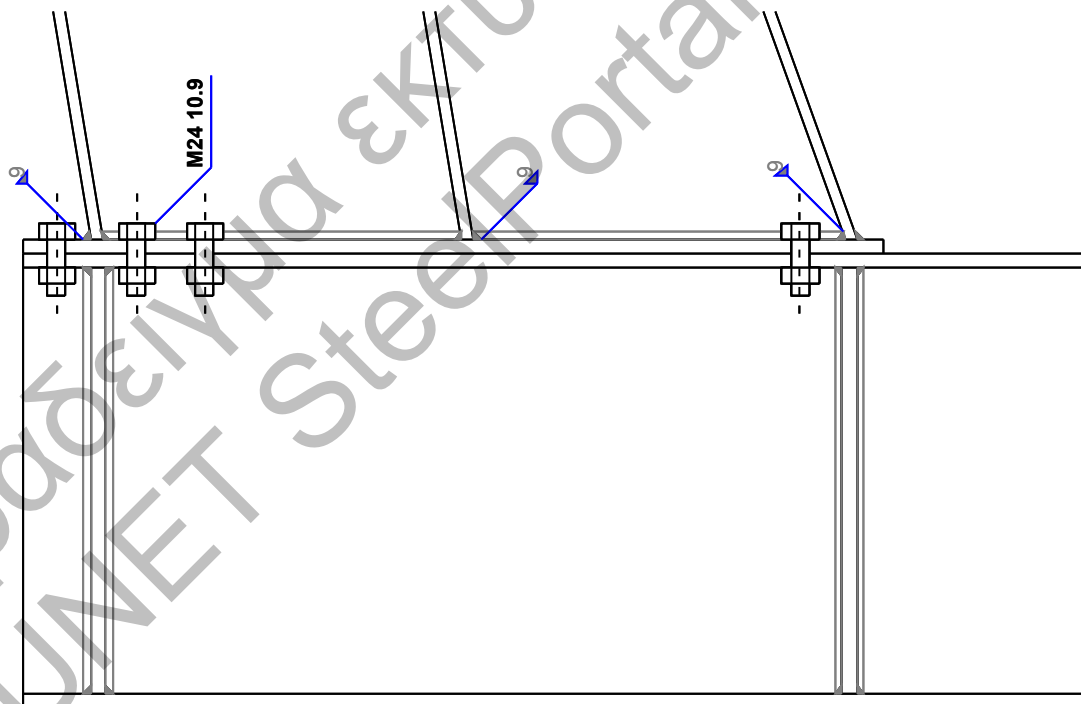
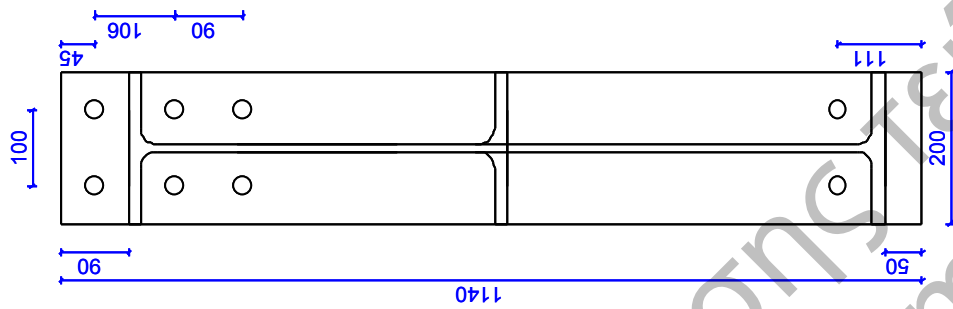
$$F_b,rd = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = [10^{-3}] \times 2.50 \times 0.76 \times 360 \times 20 \times 10.0 / 1.25 = 109.1 \text{ kN}$$

Αναγκαίοι κοχλίες ανά σύνδεσμο $70.4/109.1 = 1 \text{ M20}$, Κατηγορία 10.9

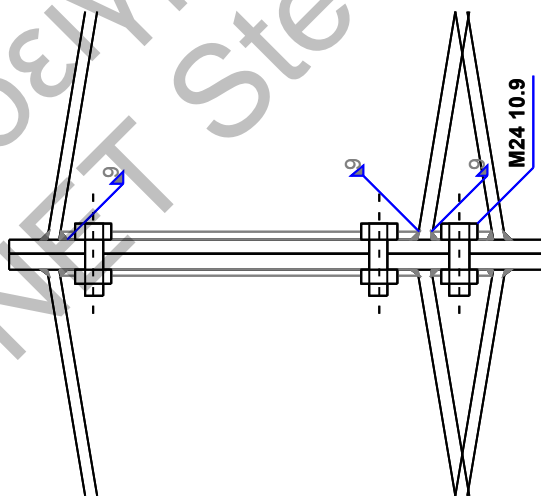
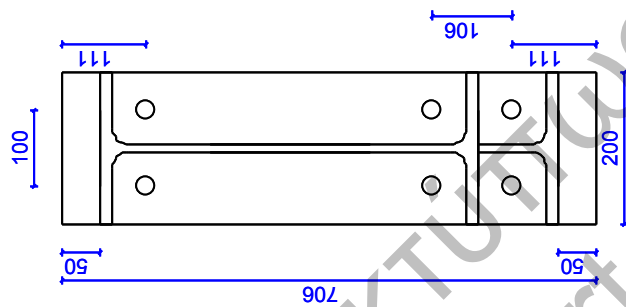
Παράδειγμα εκτύπωσης τεύχους
RUNET SteelPortalFrameEC3



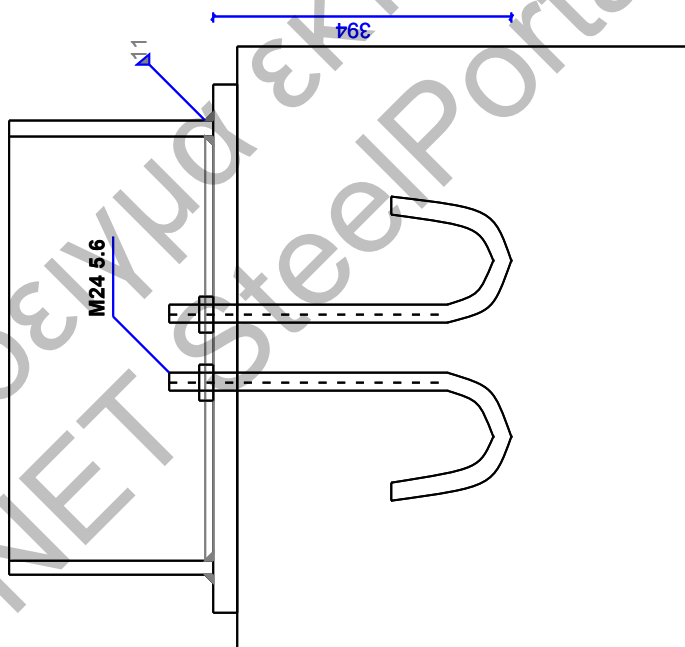
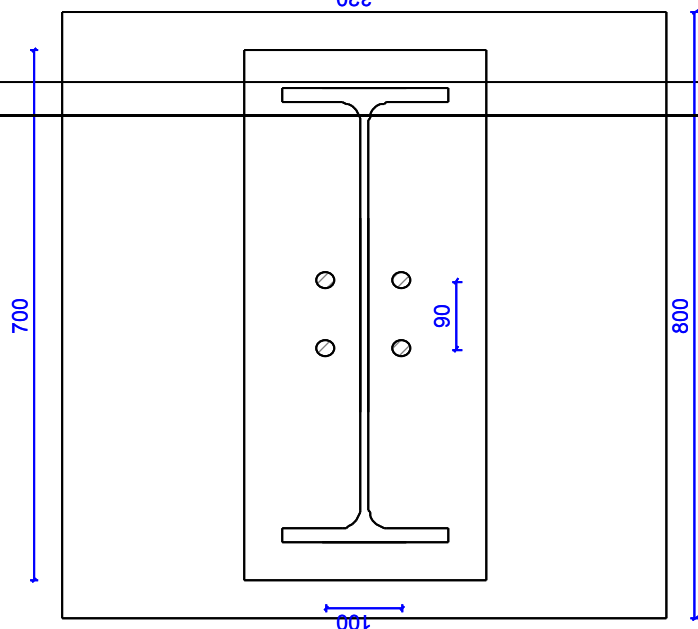




Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος Κλίμακα 1:10 (mm)



Σύνδεση κορυφαίου κόμβου Κλίμακα 1:10 (mm)



Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος Κλίμακα 1:10 (mm)

Περιεχόμενα

1. Κανονισμοί
2. Βασικά στοιχεία
 - 2.1. Γεωμετρικά στοιχεία πλαισίου
 - 2.2. Διατομές
 - 2.3. Συνδέσεις
 - 2.4. Βάση υποστυλώματος και θεμελίωση
3. Υλικά και παράμετροι κανονισμού
 - 3.1. Υλικά
4. Φορτία
 - 4.1. Μόνιμα φορτία
 - 4.2. Επιβεβλημένα φορτία
 - 4.3. Φορτία χιονιού σύμφωνα με
 - 4.4. Φορτίο χιονιού ανά πλαίσιο
 - 4.5. Φορτίο ανέμου
 - 4.6. Φορτίο ανέμου ανά πλαίσιο
 - 4.7. Σεισμικό φορτίο
5. Τιμές σχεδιασμού δράσεων
 - 5.1. Συνδυασμοί δράσεων
 - 5.2. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) (EQU)
 - 5.3. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) (STR)
 - 5.4. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)
 - 5.5. Οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) Αντισεισμικός σχεδιασμός
 - 5.6. Σύνοψη συνδυασμών φορτίσεων
6. Διατομές
 - 6.1. Διατομή υποστυλωμάτων
 - 6.2. Διατομή ζυγωμάτων
 - 6.3. Διατομή ενίσχυσης στο τέλος της ενίσχυσης
 - 6.4. Διατομή ενίσχυσης στο μέσο της ενίσχυσης
7. Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία
 - 7.1. Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ελαστική ανάλυση
8. Αποτελέσματα στατικής ελαστικής γραμμικής ανάλυσης
 - 8.1. Μετατοπίσεις [mm]
 - 8.2. Αντιδράσεις στηρίξεων
 - 8.3. Αξονικές δυνάμεις N_{ed} [kN]
 - 8.4. Διατμητικές δυνάμεις V_{ed} [kN]
 - 8.5. Καμπτικές ροπές M_{ed} [kNm]
9. Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης
 - 9.1. Ιδιοσυχνότητες και ιδιομορφίες της κατασκευής
 - 9.2. Σεισμικές δυνάμεις, Ισοδύναμη Στατική μέθοδος
 - 9.3. Σεισμικές δυνάμεις, Δυναμική φασματική μέθοδος ανάλυσης
 - 9.4. Σχεδιασμός σε σεισμικά φορτία
 - 9.5. Φαινόμενα δευτέρας τάξεως
 - 9.6. Μέγιστες τιμές δυνάμεων και καμπτικών ροπών για σχεδιασμό σε σεισμικά φορτία
10. Μελέτη τεγίδων
 - 10.1. Υλικά
 - 10.2. Φορτίο
 - 10.3. Τιμές σχεδιασμού δράσεων, Συνδυασμοί φορτίων
 - 10.4. Φορτία σχεδιασμού
 - 10.5. Χαρακτηριστικά διατομών, Τεγίδες
 - 10.6. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), Τεγίδες

Περιεχόμενα

- 10.7. Κατάταξη διατομών, Κάμψη M_y (Διατομή τεγίδων)
- 10.8. Αντοχή διατομής, Διατομή τεγίδων
- 10.9. Πλευρική δέσμευση χαλυβδόφυλου
- 10.10. Πλευρικός λυγισμός (Τεγίδα συγκρατούμενη πλευρικά)
- 11. Καθολική ανάλυση
 - 11.1. Μεγεθυντικός συντελεστής λυγισμού
 - 11.2. Ατέλειες για καθολική ανάλυση
 - 11.3. Ατέλειες σε οριζόντια μετατόπιση υποστυλωμάτων
 - 11.4. Εσωτερικές δυνάμεις και καμπικές ροπές με επίδραση ατελειών
 - 11.5. Αξονικές δυνάμεις N_{ed} [kN]
 - 11.6. Διατμητικές δυνάμεις V_{ed} [kN]
 - 11.7. Καμπικές ροπές M_{ed} [kNm]
- 12. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)
 - 12.1. Κατακόρυφη μετατόπιση κόμβου κορυφής
 - 12.2. Οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή υποστυλωμάτων
 - 12.3. Χαρακτηριστικά δυναμικής ανάλυσης
- 13. Έλεγχος υποστυλωμάτων (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 13.1. Κατάταξη διατομών, Υποστύλωμα
 - 13.2. Αντοχή διατομής, Υποστύλωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 13.3. Καμπικός λυγισμός, Υποστύλωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 13.4. Πλευρικός λυγισμός, Υποστύλωμα
 - 13.5. Αξονική δύναμη και καμπική ροπή, Υποστύλωμα
- 14. Έλεγχος ζυγωμάτων (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 14.1. Κατάταξη διατομών, Ζύγωμα
 - 14.2. Αντοχή διατομής, Ζύγωμα (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 14.3. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 14.4. Καμπικός λυγισμός, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 14.5. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος
 - 14.6. Αξονική δύναμη και καμπική ροπή, Ζύγωμα μέσο-ανοίγματος
 - 14.7. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 14.8. Καμπικός λυγισμός, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 14.9. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος
 - 14.10. Αξονική δύναμη και καμπική ροπή, Ζύγωμα άκρο-ανοίγματος
 - 14.11. Αντοχή σε λυγισμό, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 14.12. Καμπικός λυγισμός, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 14.13. Πλευρικός λυγισμός, Ζύγωμα-Υποπίεση ανέμου
- 15. Έλεγχος ενίσχυσης υποστυλωμάτων (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 15.1. Κατάταξη διατομών, στο τέλος της ενίσχυσης
 - 15.2. Αντοχή διατομής, στο τέλος της ενίσχυσης (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 15.3. Λυγισμός εκτός επιπέδου, στο τέλος της ενίσχυσης (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 15.4. Κατάταξη διατομών, στο μέσο της ενίσχυσης
 - 15.5. Αντοχή διατομής, στο μέσο της ενίσχυσης (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 15.6. Λυγισμός εκτός επιπέδου, στο μέσο της ενίσχυσης (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
- 16. Κύρια δεδομένα σύνδεσης
 - 16.1. Δεδομένα κοχλιών σύνδεσης (ζύγωμ-υποστ, κορυφή)
 - 16.2. Αποστάσεις κοχλιών από άκρα και μεταξύ τους (ζύγωμ-υποστ, κορυφή)
 - 16.3. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία (ζύγωμ-υποστ, κορυφή)
- 17. Σύνδεση κορυφαίου κόμβου
 - 17.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση κορυφαίου κόμβου)
 - 17.2. Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση κορυφαίου κόμβου)

Περιεχόμενα

- 17.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (Σύνδεση κορυφαίου κόμβου)
- 17.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (Σύνδεση κορυφαίου κόμβου)
- 17.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (κορυφαίος κόμβος)
- 17.6. Πέσμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (κορυφαίος κόμβος)
- 17.7. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (κορυφαίος κόμβος)
- 17.8. Ροπή αντοχής σύνδεσης (κορυφαίος κόμβος)
- 17.9. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση κορυφαίου κόμβου)
- 18. Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος
 - 18.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
 - 18.2. Κύρια δεδομένα σύνδεσης (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
 - 18.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
 - 18.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
 - 18.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 18.6. Πέσμα διατομής ζυγώματος σε θλίψη (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 18.7. Κορμός διατομής ζυγώματος σε εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 18.8. Γεωμετρία σύνδεσης πέσμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 18.9. Ενεργά μήκη πέσμα-υποστυλώματος (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 18.10. Πλευρά υποστυλώματος, Αντοχή πέλματος T-διατομής (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 18.11. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εγκάρσιο εφελκυσμό (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 18.12. Θλίπτική αντοχή σχεδιασμού νεύρωσης ενίσχυσης (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 18.13. Ροπή αντοχής σύνδεσης (ζύγωμ-υποστύλ.)
 - 18.14. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση ζυγώματος-υποστυλώματος)
- 19. Σύνδεση στη βάση του υποστυλώματος
 - 19.1. Βασικά στοιχεία (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
 - 19.2. Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένου κοχλία (έδραση υποστυλώματος)
 - 19.3. Γεωμετρία σύνδεσης μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)
 - 19.4. Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας (έδραση υποστυλώματος)
 - 19.5. Μετωπική-πλάκα, Αντοχή πέλματος T-διατομής (έδραση υποστυλώματος)
 - 19.6. Κορμός διατομής υποστυλώματος σε εφελκυσμό (έδραση υποστυλώματος)
 - 19.7. Εφελκυστική αντοχή σύνδεσης
 - 19.8. Διατμητική αντοχή (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
 - 19.9. Αντοχή σύνδεσης σε σύνθλιψη (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
 - 19.10. Αντοχή αγκύρωσης (Σύνδεση έδρασης υποστυλώματος)
- 20. Πέδιλο σκυροδέματος
 - 20.1. Δυνάμεις σχεδιασμού στο πέδιλο σκυροδέματος
 - 20.2. Διαστάσεις-Υλικά-Φορτία (Πέδιλο σκυροδέματος)
 - 20.3. Ελκυστήρας για οριζόντιες δυνάμεις (Πέδιλο σκυροδέματος)
 - 20.4. Παθητική ώθηση γαιών στο πλάι του πεδίου
 - 20.5. Εξέταση ευστάθειας φορτίων προς τα πάνω (Πέδιλο σκυροδέματος)
 - 20.6. Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας εδάφους (Πέδιλο σκυροδέματος)
 - 20.7. Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης (Πέδιλο σκυροδέματος)
 - 20.8. Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης (Πέδιλο σκυροδέματος)
 - 20.9. Διαστασιολόγηση έναντι διάτρησης (Πέδιλο σκυροδέματος)
- 21. Εγκάρσιο σύστημα δυσκαμψίας
 - 21.1. Χαρακτηριστικά διατομών, Σύστημα δυσκαμψίας
 - 21.2. Οριζόντια φορτία
 - 21.3. Κατάταξη διατομών, Θλίψη N_c (Σύστημα δυσκαμψίας)
 - 21.4. Αντοχή διατομής, Σύστημα δυσκαμψίας
 - 21.5. Καμπικός λυγισμός, Σύστημα δυσκαμψίας (Οριακή κατάσταση αστοχίας)
 - 21.6. Κοχλιωτοί σύσδεσμοι συνδέσμων