

Δεκέμβριος 2010

## Άσκηση 6

Η κάλυψη βιομηχανικού χώρου γίνεται από μεταλλική κατασκευή με κύριους φορείς δίστυλα πλαίσια, τοποθετημένα ανά 6,00m. Εξετάζονται δύο παραλλαγές πλαισίων, με οριζόντιο ζύγωμα (στεγάστρο 1) και με δίρριχτο ζύγωμα (στεγάστρο 2). Κάθετα στο επίπεδο των πλαισίων και επί των ζυγωμάτων, διατάσσονται τεγίδες, σε αποστάσεις μεταξύ τους ίσες με 1,65m. Η κάθε τεγίδα μορφώνεται ως συνεχής δοκός δύο ίσων ανοιγμάτων.

α) Να επιλεγεί η ελάχιστη απαιτούμενη διατομή από τη σειρά ΙΡΕ για τις τεγίδες του στεγάστρου 1, από χάλυβα ποιότητας S235, για φορτία:

Μόνιμα φορτία  $g=0,20 \text{ kN/m}^2$  (σε οριζόντια προβολή – περιλαμβάνει το ίδιο βάρος των τεγίδων και το βάρος των φύλλων επικάλυψης)

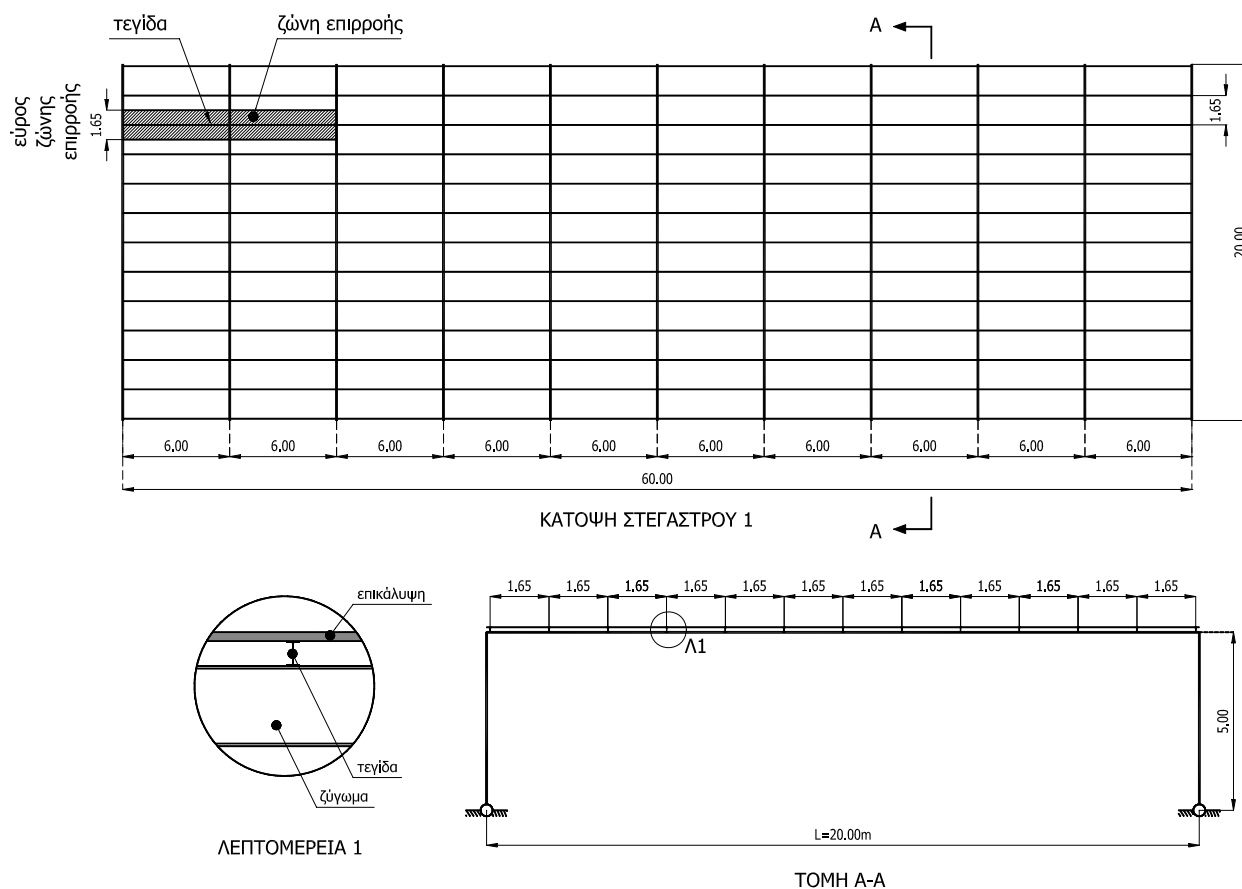
Χιόνι  $s=0,75 \text{ kN/m}^2$

Υποπίεση ανέμου  $w=0,60 \text{ kN/m}^2$  (κάθετα στην προσβαλλόμενη επιφάνεια)

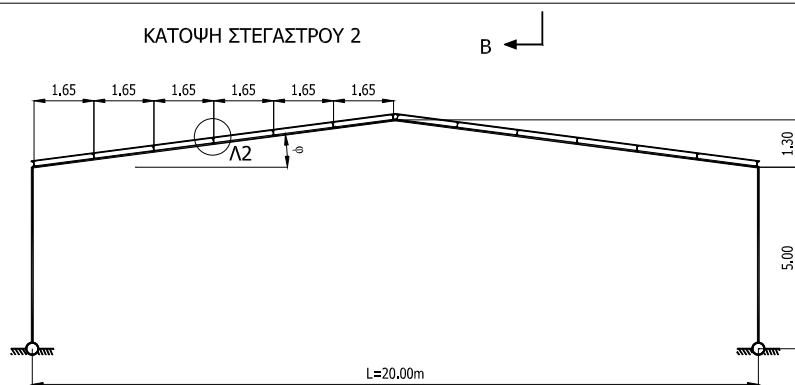
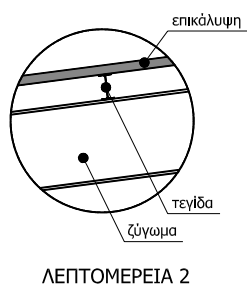
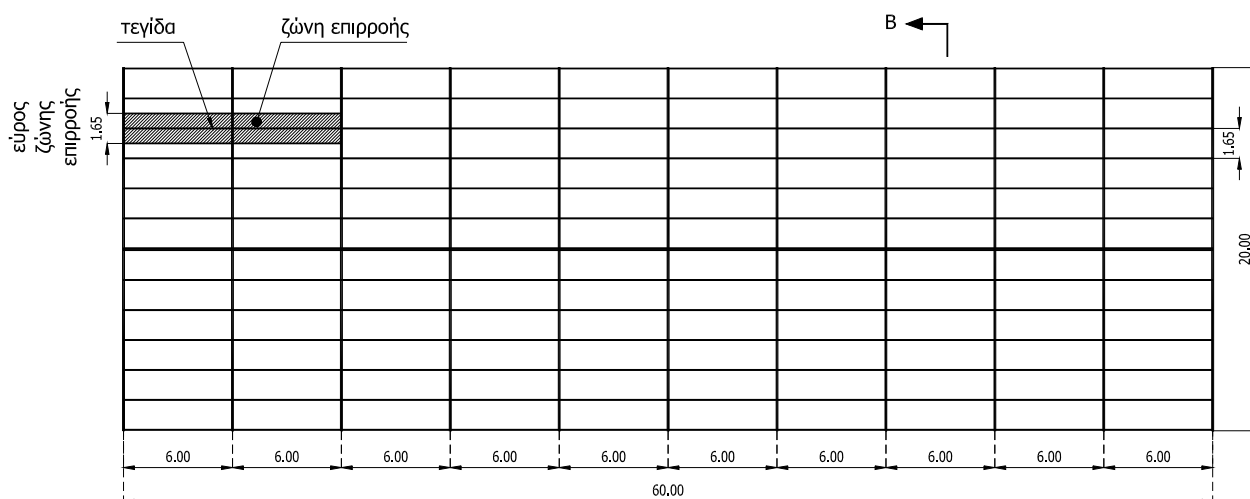
β) Να γίνει πλαστικός έλεγχος στην οριακή κατάσταση αστοχίας και έλεγχος λειτουργικότητας της διατομής που επιλέχθηκε για τις τεγίδες του στεγάστρου 1.

γ) Να ελεγχθεί εάν η ίδια διατομή επαρκεί και για τις τεγίδες του στεγάστρου 2.

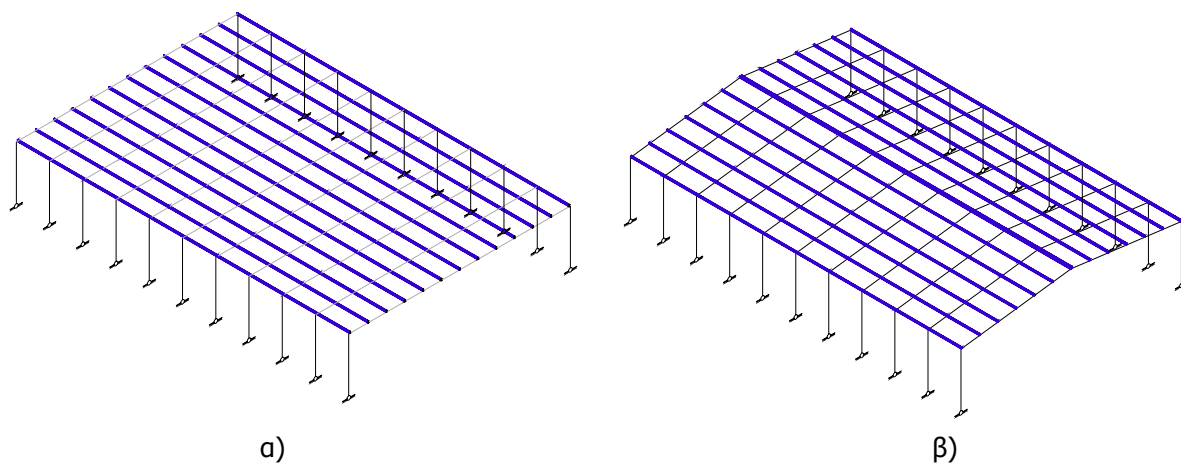
Επισημαίνεται ότι στα σχήματα απεικονίζονται μόνο τα μέλη που αφορούν στην άσκηση, ενώ τα υπόλοιπα μέλη (οριζόντιοι και κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας, μετωπικοί στύλοι, μηκίδες) δεν έχουν σχεδιαστεί για λόγους ευκρίνειας.



Σχήμα 1: Γεωμετρία στεγάστρου 1



Σχήμα 2: Γεωμετρία στεγαστρου 2



α) β)  
Σχήμα 3: Προοπτικό α) στεγαστρου 1 β) στεγαστρου 2

## ΛΥΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ 6

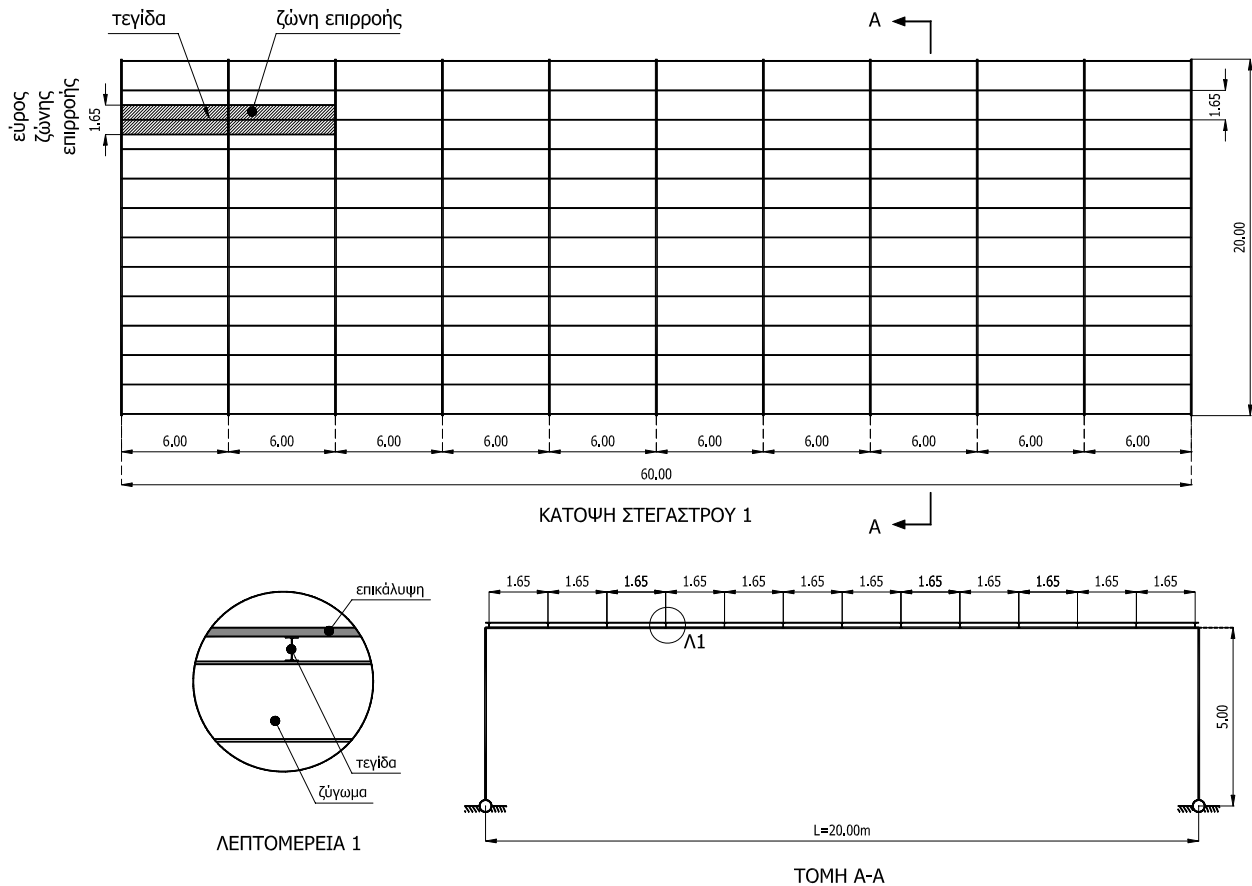
**Υλικά**

Ποιότητα δομικού χάλυβα S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$E = 210000 \text{ MPa} = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

**1. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΥΠΙΚΗΣ ΤΕΓΙΔΑΣ ΣΤΕΓΑΣΤΡΟΥ 1**

Σχήμα 1: Γεωμετρία στεγάστρου 1

**1.1. Φορτία**

Τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη είναι:

Μόνιμα  $g = 0,20 \text{ kN/m}^2$

Χιόνι  $s = 0,75 \text{ kN/m}^2$

Υποπίεση ανέμου  $w = -0,60 \text{ kN/m}^2$

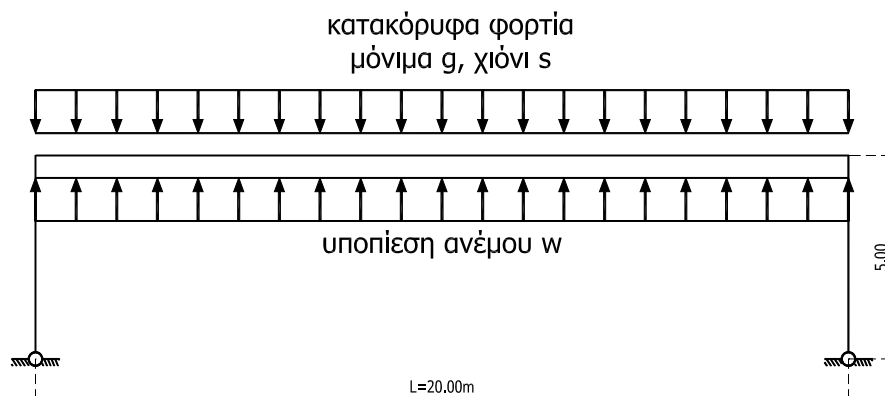
Το πλάτος επιρροής της τεγίδας είναι 1,65m

Η κατανομή των φορτίων ανά τεγίδα θα είναι:

$$g = 0,20 \text{ kN/m}^2 \times 1,65 \text{ m} = 0,33 \text{ kN/m}$$

$$s = 0,75 \text{ kN/m}^2 \times 1,65 \text{ m} = 1,24 \text{ kN/m}$$

$$w = -0,60 \text{ kN/m}^2 \times 1,65 \text{ m} = -0,99 \text{ kN/m}$$



Σχήμα 2: Φορτία στο στεγάστρο 1

**1.2. Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση αστοχίας**

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

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

$\gamma_{Q,i} = 1,50$  (δυσμενής επιρροή)  
 $= 0,00$  (ευμενής επιρροή)

$\psi_{0,i} = 0,50$  χιόνι  
 $= 0,60$  άνεμος

Οι δύο συνδυασμοί που μορφώνονται για τα δύο κινητά φορτία είναι:

$$E_{d1} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} \quad (\text{κύριο κινητό το χιόνι})$$

$$E_{d2} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} \quad (\text{κύριο κινητό ο άνεμος})$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$$E_{d1} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} = 1,35 \times \mathbf{g} + 1,50 \times \mathbf{s} + 0,00 \times 0,60 \times \mathbf{w}$$

$$= 1,35 \times 0,33 \text{ kN/m} + 1,50 \times 1,24 \text{ kN/m} = 2,30 \text{ kN/m}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$$E_{d2} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} = 1,00 \times \mathbf{g} + 1,50 \times \mathbf{w} + 0,00 \times 0,50 \times \mathbf{s}$$

$$= 1,00 \times 0,33 \text{ kN/m} - 1,50 \times 0,99 \text{ kN/m} = -1,16 \text{ kN/m}$$

Κρίσιμος είναι ο πρώτος συνδυασμός φορτίσεων.

**1.3. Εντατικά μεγέθη**

Εξετάζεται η τεγίδα ως συνεχής δύο ίσων ανοιγμάτων με μήκος κάθε ανοίγματος  $L=6,00\text{m}$

Φορτίο ομοιόμορφα κατανομημένο στην τεγίδα  $q=E_{d1}=2,30\text{kN/m}$

Υπολογισμός αντιδράσεων:

$$V_o = 3q_z L / 8 = 3 \times 2,30 \text{ kN/m} \times 6,0 \text{ m} / 8 = 5,18 \text{ kN} \quad (\text{στην ακραία στήριξη})$$

$$V_\mu = 10q_z L / 8 = 10 \times 2,30 \text{ kN/m} \times 6,0 \text{ m} / 8 = 17,25 \text{ kN} \quad (\text{στη μεσαία στήριξη})$$

Υπολογισμός μεγίστων ροπών κάμψης τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

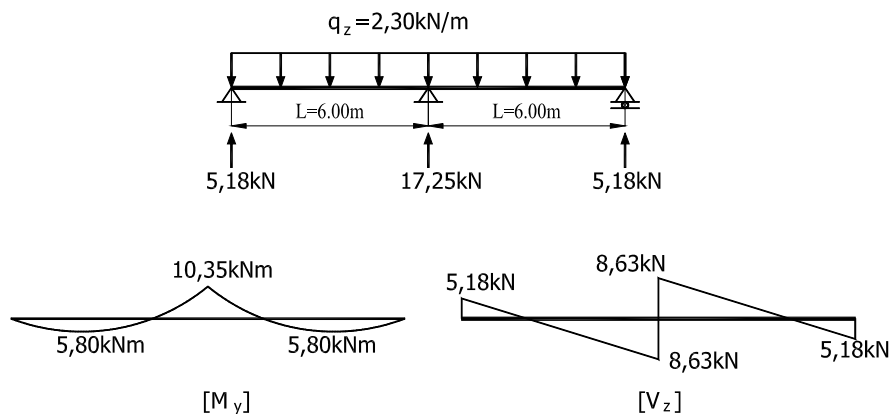
$$M_{Ed,y} = 0,07q_z L^2 = 0,07 \times 2,30 \text{ kN/m} \times (6,0 \text{ m})^2 = 5,80 \text{ kNm} \quad (\text{στα ανοίγματα})$$

$$M_{Ed,y} = q_z L^2 / 8 = 2,30 \text{ kN/m} \times (6,0 \text{ m})^2 / 8 = 10,35 \text{ kNm} \quad (\text{στη μεσαία στήριξη})$$

Υπολογισμός μεγίστων τεμνουσών δυνάμεων τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

$$V_{Ed,z} = 3q_z L / 8 = 3 \times 2,30 \text{ kN/m} \times 6,0 \text{ m} / 8 = 5,18 \text{ kN} \quad (\text{στην ακραία στήριξη})$$

$$V_{Ed,z} = 5q_z L / 8 = 5 \times 2,30 \text{ kN/m} \times 6,0 \text{ m} / 8 = 8,63 \text{ kN} \quad (\text{στη μεσαία στήριξη})$$



Σχήμα 3: Εντατικά μεγέθη τεγίδας στεγάστρου 1

**1.4. Επιλογή διατομής**

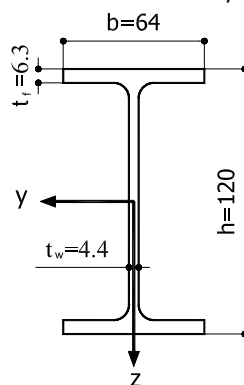
Η κατ' αρχήν επιλογή της διατομής γίνεται με βάση την αντοχή σε κάμψη (υποτίθεται ότι η διατομή θα είναι κατηγορίας 1 ή 2, οπότε η αντοχή της σε κάμψη προκύπτει από την ροπή πλήρους διαρροής):

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} \Rightarrow M_{Ed} \leq \frac{W_{pl,Rd} f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow 1035 \text{ kNm} \leq W_{pl} \times 23,5 \text{ kN/cm}^2 / 1,00 \Rightarrow W_{pl} \geq 44,04 \text{ cm}^3$$

Από τους πίνακες επιλέγεται διατομή IPE120 με  $W_{pl}=60,73 \text{ cm}^3$

**Χαρακτηριστικά διατομής**

IPE 120	$I_y=317,8 \text{ cm}^4$	$W_{el,y}=52,96 \text{ cm}^3$	$W_{pl,y}=60,73 \text{ cm}^3$
	$I_z=27,67 \text{ cm}^4$	$W_{el,z}=8,65 \text{ cm}^3$	$W_{pl,z}=13,58 \text{ cm}^3$
	$b=64 \text{ mm}$	$t_f=6,3 \text{ mm}$	
	$h=120 \text{ mm}$	$t_w=4,4 \text{ mm}$	
	$A=13,2 \text{ cm}^2$	$r=7 \text{ mm}$	
		$d=93,4 \text{ mm}$	



Σχήμα 4: Διατομή IPE120

**1.5. Κατηγορία διατομής**

Προϋπόθεση για την επιλογή διατομής με βάση την πλαστική αντοχή σε κάμψη είναι η διατομή να κατατάσσεται σε μία εκ των κατηγοριών 1 ή 2, διαφορετικά, αν κατατάσσεται στην κατηγορία 3 δεν έχουμε δικαίωμα πλαστικού ελέγχου και η επιλογή της διατομής θα πρέπει να γίνει με βάση την ελαστική αντοχή σε κάμψη.

**Κατηγορία κορμού**

Με βάση τους πίνακες με τις πρότυπες διατομές και σύμφωνα με τον πίνακα για την κατηγοριοποίηση του κορμού έχουμε:

$$d=93,4 \text{ mm}$$

$$c/t=d/t_w=93,4/4,4=21,23 < 72 \epsilon$$

$$\text{όπου } \varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 1$$

και  $f_y = 235 \text{ MPa}$ , το όριο διαρροής του χάλυβα.  
Επομένως ο κορμός ανήκει στην κατηγορία 1.

### Κατηγορία πέλματος

Με βάση τους πίνακες με τις πρότυπες διατομές και σύμφωνα με τον πίνακα για την κατηγοριοποίηση του πέλματος έχουμε:

$$\frac{c}{t} = \frac{(b - t_w) / 2 - r}{t_f} = \frac{(64 - 4,4) \text{ mm} / 2 - 7 \text{ mm}}{6,3 \text{ mm}} = 3,62 < 9\varepsilon$$

όπου  $\varepsilon = 1$

Επομένως και το πέλμα ανήκει στην κατηγορία 1.

### Συμπεώς: Κατηγορία διατομής 1

Επιτρέπεται πλαστικός έλεγχος.

**Παρατήρηση:** Η επιλογή και ο έλεγχος θα μπορούσε (συντηρητικά) να γίνει με βάση την ελαστική αντοχή (όπως στην άσκηση 5). Σε τέτοια περίπτωση θα έπρεπε να επιλέγαμε διατομή IPE140. Δηλαδή, ο ελαστικός έλεγχος είναι συντηρητικότερος και πιο αντιοικονομικός από τον πλαστικό. Όταν επιτρέπεται, δηλαδή όταν η εξεταζόμενη διατομή είναι κατηγορίας 1 ή 2, κάνουμε πλαστικό έλεγχο, εκτός αν ζητείται διαφορετικά.

### 1.6. Πλαστικός έλεγχος σε τέμνουσα

Σύμφωνα με τον πλαστικό έλεγχο διάτμησης θα πρέπει να ισχύει:

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

όπου

$$V_{Ed} = 8,63 \text{ kN}$$

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

και

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2 \times r) \times t_f = 13,2 \text{ cm}^2 - 2 \times 6,4 \text{ cm} \times 0,63 \text{ cm} + (0,44 \text{ cm} + 2 \times 0,7 \text{ cm}) \times 0,63 \text{ cm} = 6,30 \text{ cm}^2$$

Έλεγχος:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 6,30 \text{ cm}^2 \times \frac{23,5 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 85,48 \text{ kN} > V_{Ed} = 8,63 \text{ kN}$$

Επομένως ο πλαστικός έλεγχος της τεγίδας σε τέμνουσα ικανοποιείται.

### 1.7. Έλεγχος απομείωσης της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω παρουσίας τέμνουσας

Ισχύει:

$$V_{Ed} = 8,63 \text{ kN} < 0,50 V_{pl,Rd} = 42,74 \text{ kN}$$

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

### 1.8. Πλαστικός έλεγχος σε μονοαξονική κάμψη

Ο έλεγχος αυτός έχει ουσιαστικά ήδη εκτελεστεί κατά την επιλογή διατομής, και επαναλαμβάνεται εδώ απλώς για λόγους πληρότητας. Αφού η διατομή είναι κατηγορίας 1, επιτρέπεται να εκτελεστεί πλαστικός έλεγχος. Σύμφωνα με τον πλαστικό έλεγχο σε μονοαξονική κάμψη θα πρέπει να ισχύει:

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd}$$

όπου

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0} = 60,73 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2 / 1,00 = 1427,16 \text{ kNcm}$$

Ισχύει

$$M_{pl,Rd} = 1427,16 \text{ kNcm} > M_{Ed} = 1035 \text{ kNcm}$$

Επομένως ο πλαστικός έλεγχος της τεγίδας σε μονοαξονική κάμψη ικανοποιείται.

### 1.9. Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

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

$$\begin{aligned} \text{όπου } \gamma_{G,j} &= 1,00 \text{ (δυσμενής επιρροή)} & \gamma_{Q,i} &= 1,00 \text{ (δυσμενής επιρροή)} & \psi_{0,i} &= 0,50 \text{ χιόνι} \\ &= 1,00 \text{ (ευμενής επιρροή)} & &= 0,00 \text{ (ευμενής επιρροή)} & &= 0,60 \text{ άνεμος} \end{aligned}$$

#### Δυσμενείς συνδυασμοί με μόνιμα και κινητά φορτία

Οι δύο συνδυασμοί που μορφώνονται για τα δύο κινητά φορτία είναι:

$$E_{d1} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} \text{ (κύριο κινητό φορτίο το χιόνι)}$$

$$E_{d2} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} \text{ (κύριο κινητό φορτίο ο άνεμος)}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} = 1,00 \times \mathbf{g} + 1,00 \times \mathbf{s} + 0,00 \times 0,60 \times \mathbf{w} \\ &= 1,00 \times 0,33 \text{ kN/m} + 1,00 \times 1,24 \text{ kN/m} = 1,57 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$$\begin{aligned} E_{d2} &= \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} = 1,00 \times \mathbf{g} + 1,00 \times \mathbf{w} + 0,00 \times 0,50 \times \mathbf{s} \\ &= 1,00 \times 0,33 \text{ kN/m} - 1,00 \times 0,99 \text{ kN/m} = -0,66 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Κρίσιμος ο πρώτος συνδυασμός φορτίσεων.

#### Δυσμενείς συνδυασμοί με κινητά φορτία

$$E_{d3} = \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} \text{ (κύριο κινητό φορτίο το χιόνι)}$$

$$E_{d4} = \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} \text{ (κύριο κινητό φορτίο ο άνεμος)}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$$E_{d3} = \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} = 1,00 \times \mathbf{s} + 0,00 \times 0,60 \times \mathbf{w} = (1,00 \times 1,24 \text{ kN/m}) = 1,24 \text{ kN/m}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$$E_{d4} = \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} = 1,00 \times \mathbf{w} + 0,00 \times 0,50 \times \mathbf{s} = -1,00 \times 0,99 \text{ kN/m} = -0,99 \text{ kN/m}$$

Κρίσιμος είναι ο πρώτος συνδυασμός

### 1.10. Βέλη κάμψεως

$$\text{Μέγιστο βέλος δοκού δύο ίσων ανοιγμάτων: } w = \frac{qL^4}{192,8EI}$$

#### Συνδυασμός για μόνιμα και κινητά

$$w = \frac{qL^4}{192,8EI_y} = \frac{0,0157 \text{ kN/cm} \times (600 \text{ cm})^4}{192,8 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 317,8 \text{ cm}^4} = 1,58 \text{ cm} < w_{\max} = 600/200 = 3,00 \text{ cm}$$

$$\text{όπου } q = E_{d1} = 1,57 \text{ kN/m} = 0,0157 \text{ kN/cm}$$

#### Συνδυασμός μόνο για πρόσθετα φορτία (κινητά) για υπολογισμό του βέλους διακύμανσης

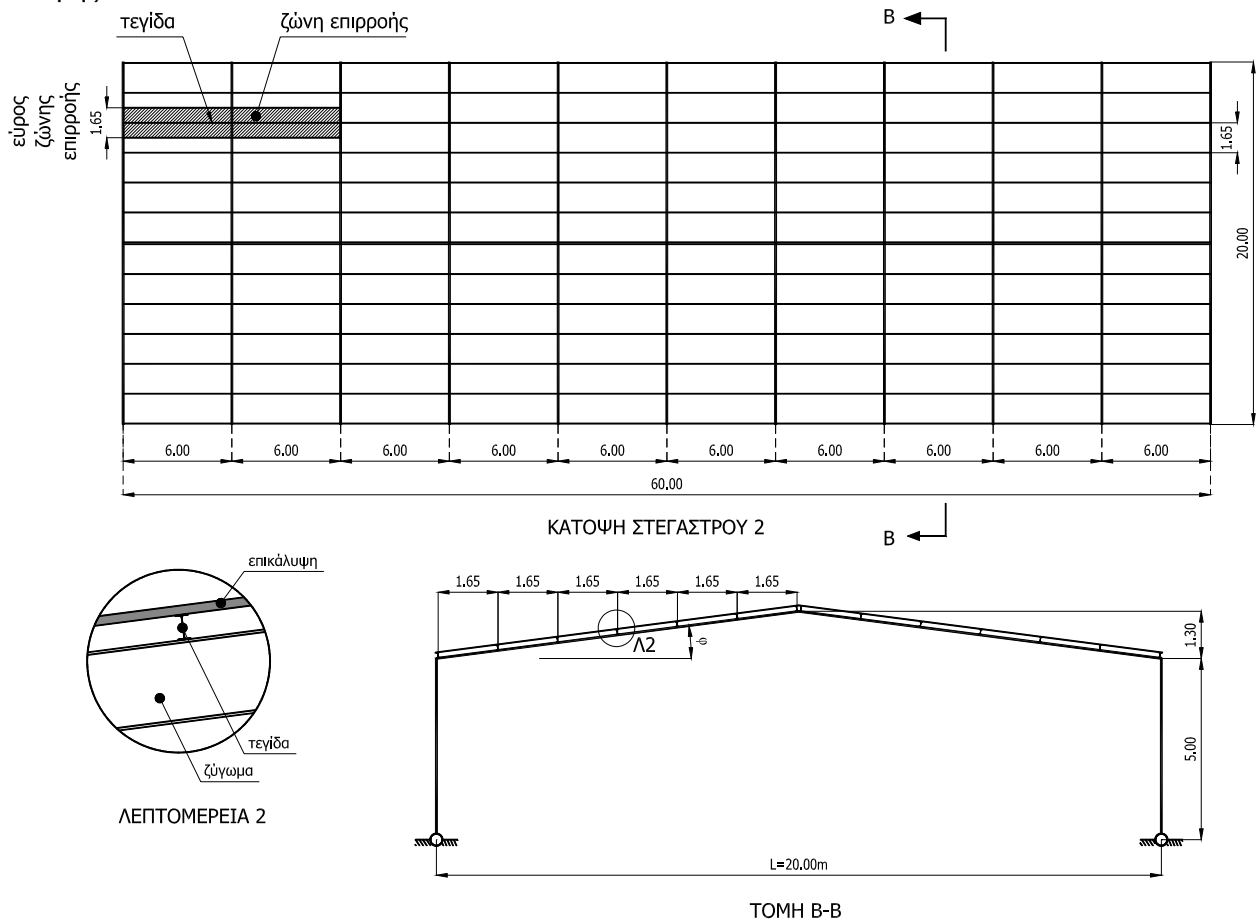
$$w = \frac{qL^4}{192,8EI_y} = \frac{0,0124 \text{ kN/cm} \times (600 \text{ cm})^4}{192,8 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 317,8 \text{ cm}^4} = 1,24 \text{ cm} < w_3 = 600/250 = 2,40 \text{ cm}$$

$$\text{όπου } q = E_{d3} = 1,24 \text{ kN/m} = 0,0124 \text{ kN/cm}$$

Επομένως ο έλεγχος βελών της τεγίδας ικανοποιείται.

## 2. ΠΛΑΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΤΕΓΙΔΑΣ ΣΤΕΓΑΣΤΡΟΥ 2

Εξετάζεται το στέγαστρο 2 με διατομή τεγίδας ΙΡΕ120. Πλέον, λόγω της κλίσης του ζυγώματος, οι τεγίδες καταπονούνται από εγκάρσια φορτία τα οποία προκαλούν κάμψη και περί τους 2 κύριους άξονες της διατομής.



Σχήμα 5: Γεωμετρία στεγαστρου 2

### 2.1. Γεωμετρία

Η γωνία  $\varphi$  θα είναι  $\varphi = \arctan(1,30/10,00) = 7,407^\circ$   
 $\sin(7,407) = 0,129$   $\cos(7,407) = 0,992$

### 2.2. Φορτία

Τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη είναι:

Μόνιμα (σε οριζόντια προβολή)

Χιόνι (σε οριζόντια προβολή)

Υποπίεση ανέμου (κάθετα στο επίπεδο της στέγης)

Η κατανομή των φορτίων ανά τεγίδα θα είναι:

$$g = 0,20 \text{ kN/m}^2 \times 1,65 \text{ m} = 0,33 \text{ kN/m}$$

$$s = 0,75 \text{ kN/m}^2 \times 1,65 \text{ m} = 1,24 \text{ kN/m}$$

$$w = -0,60 \text{ kN/m}^2 \times 1,65 \text{ m} / \cos \varphi = -0,60 \text{ kN/m}^2 \times 1,65 \text{ m} / 0,992 = -1,00 \text{ kN/m}$$

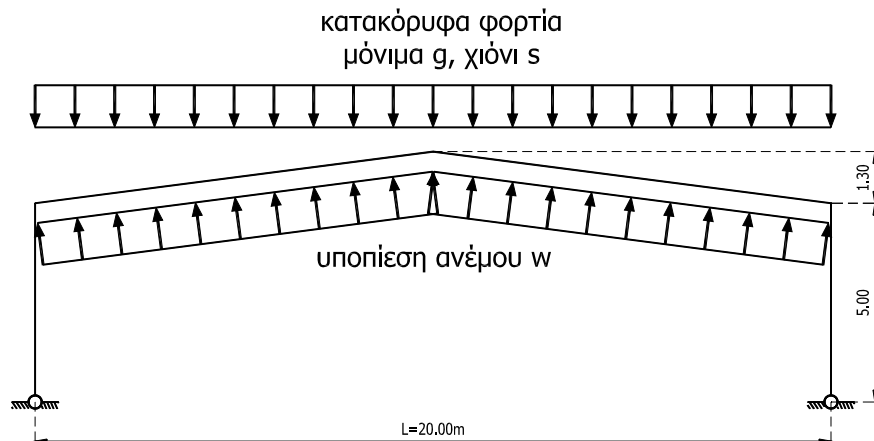
Η υποπίεση ανέμου εφαρμόζεται κάθετα στο επίπεδο της στέγης.

$$g = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

$$s = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

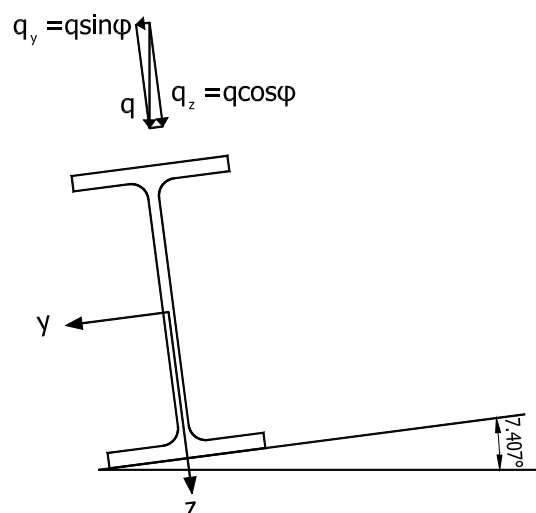
$$w = -0,60 \text{ kN/m}^2$$





Σχήμα 6: Φορτία στο στέγαστρο 2

Προκειμένου να συνδυαστούν τα φορτία μεταξύ τους θα πρέπει πρώτα να αναλυθούν σε δύο συνιστώσες σύμφωνα με το τοπικό σύστημα αξόνων της τεγίδας. Έτσι τα κατακόρυφα φορτία των μόνιμων φορτίων και του φορτίου χιονιού θα πρέπει να αναλυθούν σε δύο συνιστώσες  $q_y$  και  $q_z$  όπως δίνεται στο παρακάτω σχήμα, ενώ το φορτίο υποπίεσης του ανέμου, το οποίο ασκείται παράλληλα με τον τοπικό άξονα  $z$ , δεν χρειάζεται να αναλυθεί.



Σχήμα 7: Τοπικοί άξονες και ανάλυση κατακόρυφων φορτίων τεγίδας στεγαστρού 2

### 2.3. Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση αστοχίας

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

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

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ (δυσμενής επιρροή)} \\ = 0,00 \text{ (ευμενής επιρροή)}$$

$$\psi_{0,i} = 0,50 \text{ χιόνι} \\ = 0,60 \text{ άνεμος}$$

Οι δύο συνδυασμοί που μορφώνονται για τα δύο κινητά φορτία είναι:

$$E_{d1} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} \text{ (κύριο κινητό το χιόνι)}$$

$$E_{d2} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} \text{ (κύριο κινητό ο άνεμος)}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$$E_{d1} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} = 1,35 \times \mathbf{g} + 1,50 \times \mathbf{s} + 0,00 \times 0,60 \times \mathbf{w}$$

$$E_{d1,z} = (1,35 \times 0,33 \text{ kN/m} + 1,50 \times 1,24 \text{ kN/m}) \times \cos \varphi = 2,30 \times 0,992 = 2,28 \text{ kN/m}$$

$$E_{d1,y} = (1,35 \times 0,33 \text{ kN/m} + 1,50 \times 1,24 \text{ kN/m}) \times \sin \varphi = 2,30 \times 0,129 = 0,30 \text{ kN/m}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$$E_{d2} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} = 1,00 \times \mathbf{g} + 1,50 \times \mathbf{w} + 0,00 \times 0,50 \times \mathbf{s}$$

$$E_{d2,z} = 1,00 \times g \times \cos \varphi - 1,50 w = (1,00 \times 0,33 \text{ kN/m}) \times 0,992 - 1,50 \times 1,00 \text{ kN/m} = -1,17 \text{ kN/m}$$

$$E_{d2,y} = 1,00 \times g \times \sin \varphi = 1,00 \times 0,33 \text{ kN/m} \times 0,129 = 0,04 \text{ kN/m}$$

Κρίσιμος είναι ο πρώτος συνδυασμός φορτίσεων.

## 2.4. Εντατικά μεγέθη

Εξετάζεται η τεγίδα ως συνεχής δύο ίσων ανοιγμάτων με μήκος κάθε ανοίγματος  $L=6,00\text{m}$

Λόγω του ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου στην τεγίδα κατά τον άξονα  $z$  ( $q_z=E_{d1,z}=2,28\text{kN/m}$ ) αναπτύσσονται καμπτικές ροπές  $M_y$  και τέμνουσες δυνάμεις  $V_z$ , ενώ λόγω του ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου κατά τον άξονα  $y$  ( $q_y=E_{d1,y}=0,30\text{kN/m}$ ) αναπτύσσονται καμπτικές ροπές  $M_z$  και τέμνουσες δυνάμεις  $V_y$ . Οι αντιδράσεις και τα εντατικά μεγέθη δίνονται ως εξής:

### Φορτία $q_z$ :

Υπολογισμός αντιδράσεων:

$$V_{a,z}=3q_zL/8=3 \times 2,28\text{kN/m} \times 6,0\text{m}/8=5,13\text{kN} \text{ (στην ακραία στήριξη)}$$

$$V_{\mu,z}=10q_zL/8=10 \times 2,28\text{kN/m} \times 6,0\text{m}/8=17,10\text{kN} \text{ (στη μεσαία στήριξη)}$$

Υπολογισμός μεγίστων ροπών κάμψως τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

$$M_{Ed,y}=0,07q_zL^2=0,07 \times 2,28\text{kN/m} \times (6,0\text{m})^2=5,75\text{kNm} \text{ (στα ανοίγματα)}$$

$$M_{Ed,y}=q_zL^2/8=2,28\text{kN/m} \times (6,0\text{m})^2/8=10,26\text{kNm} \text{ (στη μεσαία στήριξη)}$$

Υπολογισμός μεγίστων τεμνουσών δυνάμεων τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

$$V_{Ed,z}=3q_zL/8=3 \times 2,28\text{kN/m} \times 6,0\text{m}/8=5,13\text{kN} \text{ (στην ακραία στήριξη)}$$

$$V_{Ed,z}=5q_zL/8=5 \times 2,28\text{kN/m} \times 6,0\text{m}/8=8,55\text{kN} \text{ (στη μεσαία στήριξη)}$$

### Φορτία $q_y$ :

Υπολογισμός αντιδράσεων:

$$V_{a,y}=3q_yL/8=3 \times 0,30\text{kN/m} \times 6,0\text{m}/8=0,68\text{kN} \text{ (στην ακραία στήριξη)}$$

$$V_{\mu,y}=10q_yL/8=10 \times 0,30\text{kN/m} \times 6,0\text{m}/8=2,25\text{kN} \text{ (στη μεσαία στήριξη)}$$

Υπολογισμός μεγίστων ροπών κάμψως τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

$$M_{Ed,z}=0,07q_yL^2=0,07 \times 0,30\text{kN/m} \times (6,0\text{m})^2=0,76\text{kNm} \text{ (στα ανοίγματα)}$$

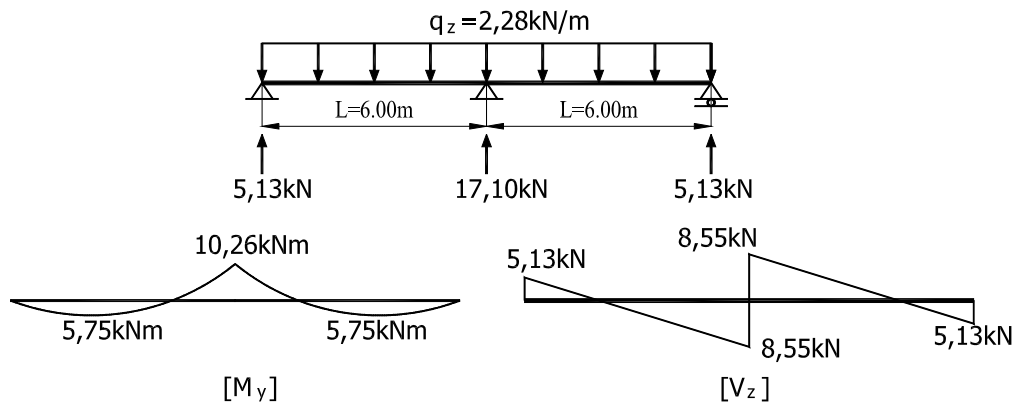
$$M_{Ed,z}=q_yL^2/8=0,30\text{kN/m} \times (6,0\text{m})^2/8=1,35\text{kNm} \text{ (στη μεσαία στήριξη)}$$

Υπολογισμός μεγίστων τεμνουσών δυνάμεων τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

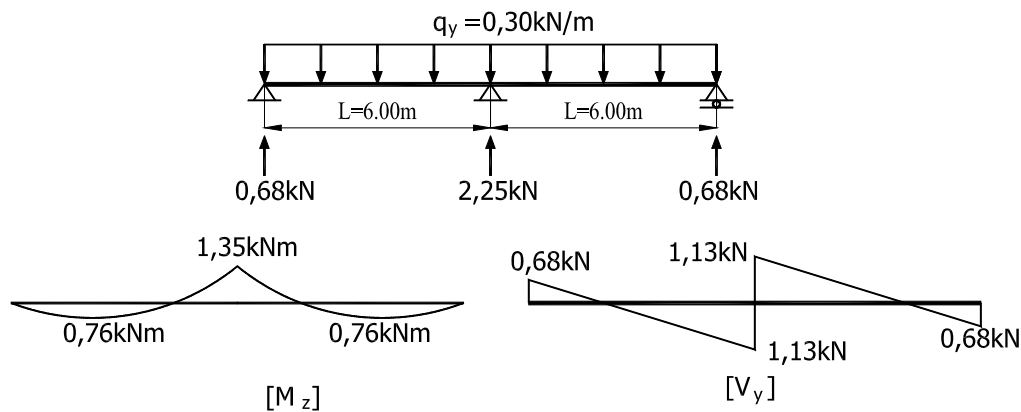
$$V_{Ed,y}=3q_yL/8=3 \times 0,30\text{kN/m} \times 6,0\text{m}/8=0,68\text{kN} \text{ (στην ακραία στήριξη)}$$

$$V_{Ed,y}=5q_yL/8=5 \times 0,30\text{kN/m} \times 6,0\text{m}/8=1,13\text{kN} \text{ (στη μεσαία στήριξη)}$$

Οι αντιδράσεις και τα διαγράμματα των εντατικών μεγεθών της τεγίδας δίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 8: Εντατικά μεγέθη τεγίδας στεγάστρου 2 για φορτία κατά τον τοπικό άξονα z



Σχήμα 9: Εντατικά μεγέθη τεγίδας στεγάστρου 2 για φορτία κατά τον τοπικό άξονα y

Η διατομή, όπως και στο στέγαστρο 1, είναι κατηγορίας 1, επομένως εκτελούνται πλαστικοί έλεγχοι επάρκειας σε οριακή κατάσταση αστοχίας.

## 2.5. Πλαστικός έλεγχος σε τέμνουσα

### Κατά τον τοπικό άξονα z

Σύμφωνα με τον πλαστικό έλεγχο διάτμησης θα πρέπει να ισχύει:

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

όπου

$$V_{Ed,z} = 8,55 \text{ kN}$$

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

και όπως υπολογίστηκε στην περίπτωση του στεγαστρου 1:

$$A_{vz} = 6,30 \text{ cm}^2$$

Επομένως θα έχουμε:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd,z} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 6,30 \text{ cm}^2 \times \frac{23,5 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 85,48 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 8,55 \text{ kN}$$

### Κατά τον τοπικό άξονα y

Σύμφωνα με τον πλαστικό έλεγχο διάτμησης θα πρέπει να ισχύει:

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

όπου

$$V_{Ed,y} = 1,13 \text{ kN}$$

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

και η επιφάνεια διάτμησης είναι:

$$A_{vy} = 2b t_f = 2 \times 6,4 \text{ cm} \times 0,63 \text{ cm} = 8,06 \text{ cm}^2$$

Επομένως θα έχουμε:

$$V_{c,Rd,y} = V_{pl,Rd,y} = A_{vy} \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 8,06 \text{ cm}^2 \frac{23,5 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 109,36 \text{ kN} > V_{Ed,y} = 1,13 \text{ kN}$$

Επομένως ο πλαστικός έλεγχος της τεγίδας σε τέμνουσα ικανοποιείται.

## 2.6. Έλεγχος απομείωσης της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω παρουσίας τέμνουσας

Ισχύει:

$$V_{Ed,z} = 8,55 \text{ kN} < 0,50 V_{pl,Rd,z} = 42,74 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 1,13 \text{ kN} < 0,50 V_{pl,Rd,y} = 54,68 \text{ kN}$$

Επομένως δεν χρειάζεται απομείωση των αντοχών σε ροπές κάμψης  $M_{pl,Rd,y}$  και  $M_{pl,Rd,z}$  αντίστοιχα, λόγω παρουσίας διάτμησης.

## 2.7. Πλαστικός έλεγχος σε διαξονική κάμψη

Σύμφωνα με τον πλαστικό έλεγχο σε διαξονική κάμψη θα πρέπει να ισχύει:

$$\left( \frac{M_{Ed,y}}{M_{pl,Rd,y}} \right)^{\alpha} + \left( \frac{M_{Ed,z}}{M_{pl,Rd,z}} \right)^{\beta} \leq 1$$

όπου

$$M_{pl,Rd,y} = W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,Rd,z} = W_{pl,z} f_y / \gamma_{M0}$$

και για διατομές διπλού ταυ:

$$\alpha = 2, \beta = 5n$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} \text{ με } \beta \geq 1$$

Στην περίπτωση της τεγίδας  $N_{Ed} = 0$  επομένως  $n = 0$  και  $\beta = 1$

Έλεγχος

$$\left( \frac{M_{Ed,y}}{M_{pl,Rd,y}} \right)^{\alpha} + \left( \frac{M_{Ed,z}}{M_{pl,Rd,z}} \right)^{\beta} = \left( \frac{M_{Ed,y}}{W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left( \frac{M_{Ed,z}}{W_{pl,z} f_y / \gamma_{M0}} \right) =$$

$$= \left( \frac{1026 \text{ kNcm}}{60,73 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2} \right)^2 + \left( \frac{135 \text{ kNcm}}{13,58 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2} \right) = 0,72^2 + 0,42 = 0,94 < 1$$

Επομένως ο πλαστικός έλεγχος της τεγίδας σε διαξονική κάμψη ικανοποιείται.

## 2.8. Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

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

$$\text{όπου } \gamma_{G,j} = 1,00 \text{ (δυσμενής επιρροή)}$$

$$= 1,00 \text{ (ευμενής επιρροή)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,00 \text{ (δυσμενής επιρροή)}$$

$$= 0,00 \text{ (ευμενής επιρροή)}$$

$$\psi_{0,i} = 0,50 \text{ χιόνι}$$

$$= 0,60 \text{ άνεμος}$$

**Δυσμενείς συνδυασμοί με μόνιμα και κινητά φορτία**

Οι δύο συνδυασμοί που μορφώνονται για τα δύο κινητά φορτία είναι:

$$E_{d1} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} \text{ (κύριο κινητό το χιόνι)}$$

$$E_{d2} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} \text{ (κύριο κινητό ο άνεμος)}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$$E_{d1} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} = 1,00 \times \mathbf{g} + 1,00 \times \mathbf{s} + 0,00 \times 0,60 \times \mathbf{w}$$

$$E_{d1,z} = (1,00 \times 0,33 \text{ kN/m} + 1,00 \times 1,24 \text{ kN/m}) \times \cos \varphi = 1,57 \times 0,992 = 1,56 \text{ kN/m}$$

$$E_{d1,y} = (1,00 \times 0,33 \text{ kN/m} + 1,00 \times 1,24 \text{ kN/m}) \times \sin \varphi = 1,57 \times 0,129 = 0,20 \text{ kN/m}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$$E_{d2} = \gamma_G \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} = 1,00 \times \mathbf{g} + 1,00 \times \mathbf{w} + 0,00 \times 0,50 \times \mathbf{s}$$

$$E_{d2,z} = \gamma_G g \times \cos \varphi + \gamma_{Q,1} w = 1,00 \times 0,33 \text{ kN/m} \times 0,992 - 1,00 \times 1,00 \text{ kN/m} = -0,67 \text{ kN/m}$$

$$E_{d2,y} = \gamma_G g \times \sin \varphi = 1,00 \times g \times \sin \varphi = 1,00 \times 0,33 \text{ kN/m} \times 0,129 = 0,04 \text{ kN/m}$$

Κρίσιμος είναι ο πρώτος συνδυασμός

### Δυσμενείς συνδυασμοί με κινητά φορτία

$$E_{d3} = \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} \text{ (κύριο κινητό το χιόνι)}$$

$$E_{d4} = \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} \text{ (κύριο κινητό ο άνεμος)}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$$E_{d3} = \gamma_{Q,1} \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{w} = 1,00 \times \mathbf{s} + 0,00 \times 0,60 \times \mathbf{w}$$

$$E_{d3,z} = (1,00 \times 1,24 \text{ kN/m}) \times \cos \varphi = 1,24 \times 0,992 = 1,23 \text{ kN/m}$$

$$E_{d3,y} = (1,00 \times 1,24 \text{ kN/m}) \times \sin \varphi = 1,24 \times 0,129 = 0,16 \text{ kN/m}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$$E_{d4} = \gamma_{Q,1} \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} \mathbf{s} = 1,00 \times \mathbf{w} + 0,00 \times 0,50 \times \mathbf{s}$$

$$E_{d4,z} = -1,00 \times 1,00 \text{ kN/m} = -1,00 \text{ kN/m}$$

$$E_{d4,y} = 0 \text{ kN/m}$$

Κρίσιμος είναι ο πρώτος συνδυασμός

## 2.9. Βέλη κάμψεως

Το μέγιστο βέλος της τεγίδας παρουσιάζεται στο μέσον του ανοιγμάτός της, λόγω των φορτίων κατά z και κατά y. Και κατά τους δύο άξονες η τεγίδα συμπεριφέρεται ως συνεχής δοκός δύο ανοιγμάτων.

### Συνδυασμός για μόνιμα και κινητά

$$\text{Μέγιστο βέλος δοκού δύο ίσων ανοιγμάτων: } w = \frac{qL^4}{192,8EI}$$

$$w_z = \frac{q_z L^4}{192,8EI_y} = \frac{0,0156 \text{ kN/cm} \times (600 \text{ cm})^4}{192,8 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 317,8 \text{ cm}^4} = 1,57 \text{ cm}$$

$$w_y = \frac{q_y L^4}{192,8EI_z} = \frac{0,0020 \text{ kN/cm} \times (600 \text{ cm})^4}{192,8 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 27,67 \text{ cm}^4} = 2,31 \text{ cm}$$

$$\text{όπου } q_z = E_{d1,z} = 1,56 \text{ kN/m} = 0,0156 \text{ kN/cm}$$

$$q_y = E_{d1,y} = 0,20 \text{ kN/m} = 0,0020 \text{ kN/cm}$$

Το συνολικό βέλος δίνεται ως εξής:

$$w = \sqrt{w_z^2 + w_y^2} = \sqrt{1,57^2 + 2,31^2} = 2,79 \text{ cm} < w_{\max} = 600/200 = 3,0 \text{ cm}$$

**Συνδυασμός μόνο για πρόσθετα φορτία (κινητά) για υπολογισμό του βέλους διακύμανσης**

$$w_z = \frac{q_z L^4}{192,8 E I_y} = \frac{0,0123 \text{ kN/cm} \times (600 \text{ cm})^4}{192,8 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 317,8 \text{ cm}^4} = 1,24 \text{ cm}$$

$$w_y = \frac{q_y L^4}{192,8 E I_z} = \frac{0,0016 \text{ kN/cm} \times (600 \text{ cm})^4}{192,8 \times 21000 \text{ kN/cm}^2 \times 27,67 \text{ cm}^4} = 1,85 \text{ cm}$$

όπου  $q_z = E_{d3,z} = 1,23 \text{ kN/m} = 0,0123 \text{ kN/cm}$

$q_y = E_{d3,y} = 0,16 \text{ kN/m} = 0,0016 \text{ kN/cm}$

Το συνολικό βέλος δίνεται ως εξής:

$$w = \sqrt{w_z^2 + w_y^2} = \sqrt{1,24^2 + 1,85^2} = 2,23 \text{ cm} < w_3 = 600/250 = 2,40 \text{ cm}$$

Επομένως ο έλεγχος βελών της τεγίδας ικανοποιείται.