

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε. -ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

20/01/2010

ΘΕΜΑ 1<sup>ο</sup>

**A.** Το κτίριο το σχήματος 1 σχεδιάστηκε αντισεισμικά σύμφωνα με τον ΕΑΚ, για περιοχή σεισμικότητας I, σπουδαιότητας Σ2, έδαφος κατηγορίας Β, και  $q=3,5$ . Το κτίριο στηρίζεται σε 4 ίδια υποστυλώματα. Το βάρος του υπολογίσθηκε σε 1000kN και η ιδιοπερίοδος 0.4sec.

Ζητούνται:

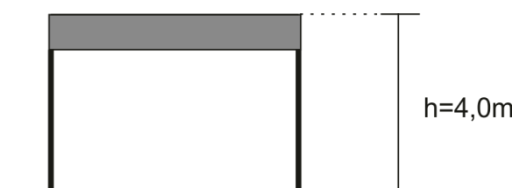
1. Η σεισμική δύναμη σχεδιασμού  $V_0$ , η τέμνουσα και η ροπή σχεδιασμού στην βάση κάθε υποστυλώματος.
2. Η αναμενόμενη μετακίνηση του κτιρίου σε περίπτωση σεισμού.

**B.** Μετά την κατασκευή του κτιρίου συνέβη σεισμός, το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων του οποίου φαίνεται στο σχήμα 2. Στην οροφή του κτιρίου υπήρχε επιταχυνσιογράφος, ο οποίος έδωσε το ελαστικό φάσμα του σχήματος 3.

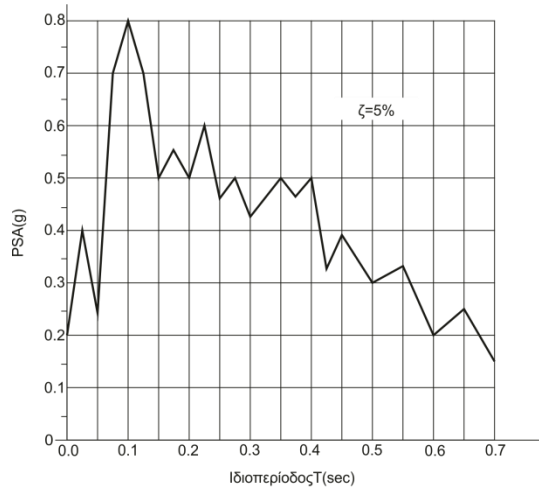
Ζητούνται:

1. Να εξεταστεί αν το κτίριο διέρρευσε κατά την διάρκεια του σεισμού.
2. Η υπεραντοχή που παρουσίασε το κτίριο.
3. Η πλαστιμότητα που απαιτήθηκε κατά την διάρκεια του σεισμού;
4. Η μέγιστη σχετική μετακίνηση του κτιρίου κατά την διάρκεια του σεισμού.
5. Νομίζετε ότι το κτίριο κινδύνευσε με κατάρρευση κατά την διάρκεια του σεισμού;

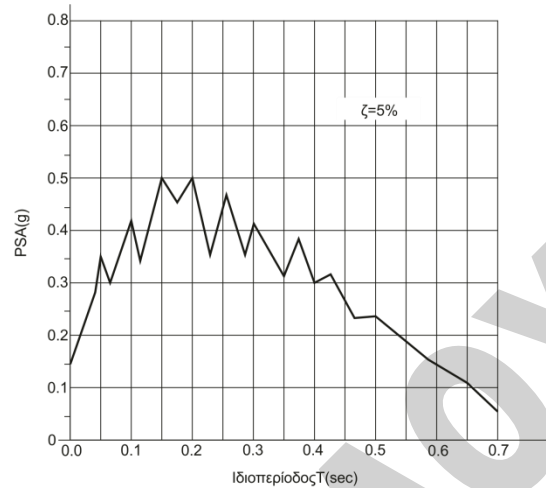
Θεωρείστε ότι τα υποστυλώματα έχουν ελαστική - πλήρως πλαστική συμπεριφορά.



Σχήμα 2. Μονώροφο κτίριο



Σχήμα 2. Ελαστικό φάσμα στο έδαφος



Σχήμα 3. Ελαστικό φάσμα στην οροφή

Λύση:

Βρίσκω την εξίσωση της φασματικής επιτάχυνσης σχεδιασμού  $\Phi_d(T)$

**A. 1.** Για κατηγορία εδάφους B και ιδιοπερίοδο κτιρίου  $T=0,4\text{sec}$  θα έχω:

$$\Phi_d(T) = \gamma_i A \frac{n\theta\beta_0}{q} \Rightarrow \Phi_d(T) = 1,00 \frac{0,16 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 2,5}{3,5} = 1,143 \text{m/sec}^2$$

- Η μάζα της κατασκευής μας θα είναι:  $m = \frac{B}{g} \Rightarrow m = \frac{1000}{10} \Rightarrow m = 100\text{t}$
- Η τέμνουσα βάσης θα είναι:  $V_0 = \Phi_d(T)m = 1,143 \cdot 100 = 114,3\text{kN}$
- Η δυσκαμψία της θα είναι  $K = \frac{4\pi^2 m}{T^2} \Rightarrow K = \frac{4\pi^2 \cdot 100}{0,4^2} \Rightarrow K = 24.673,97\text{kN/m}$

Η σεισμική δύναμη που παραλαμβάνει κάθε υποστύλωμα εξαρτάται από την δυσκαμψία του. Θεωρώντας ότι τα ζυγώματα έχουν άπειρη ροπή αδράνειας ( $EI \rightarrow \infty$ ) και από το γεγονός ότι οι στύλοι έχουν ίδια δυσκαμψία (αφού η εκφώνηση αναφέρει ότι πρόκειται για τέσσερα ίδια υποστυλώματα) η τέμνουσα βάσης κατανέμεται εξίσου σε κάθε ένα. Δηλαδή:

$$F_{\text{στύλου}} = \frac{V_0}{4} \Rightarrow F_{\text{στύλου}} = \frac{114,3}{4} = 28,575\text{kN} = Q_{\text{στύλου}}$$

Γνωρίζοντας ότι τα υποστυλώματα της κατασκευής είναι αμφίπακτα τότε:

$$M = Q_{\text{στύλου}} \frac{h}{2} = \frac{28,575 \cdot 4}{2} = 57,15\text{kNm}$$

**A. 2.** Η κυκλική ιδιοσυχνότητα της κατασκευής είναι:  $\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{0,4} \Rightarrow \omega = 15,708 \text{ rad/sec}$

Η μετακίνηση διαρροής σχεδιασμού της κατασκευής είναι:

$$\Phi_d(T) = \omega^2 \delta_y^{\sigma\chi} \Rightarrow \delta_y^{\sigma\chi} = \frac{\Phi_d(T)}{\omega^2} \Rightarrow \delta_y^{\sigma\chi} = \frac{1,143}{15,708^2} \Rightarrow \delta_y^{\sigma\chi} = 4,632 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Στην παραπάνω μετακίνηση αντιστοιχεί η δύναμη διαρροής της κατασκευής η οποία είναι η τέμνουσα βάση της δηλαδή:  $F_y^{\sigma\chi} = V_0 = 114,3 \text{ kN}$

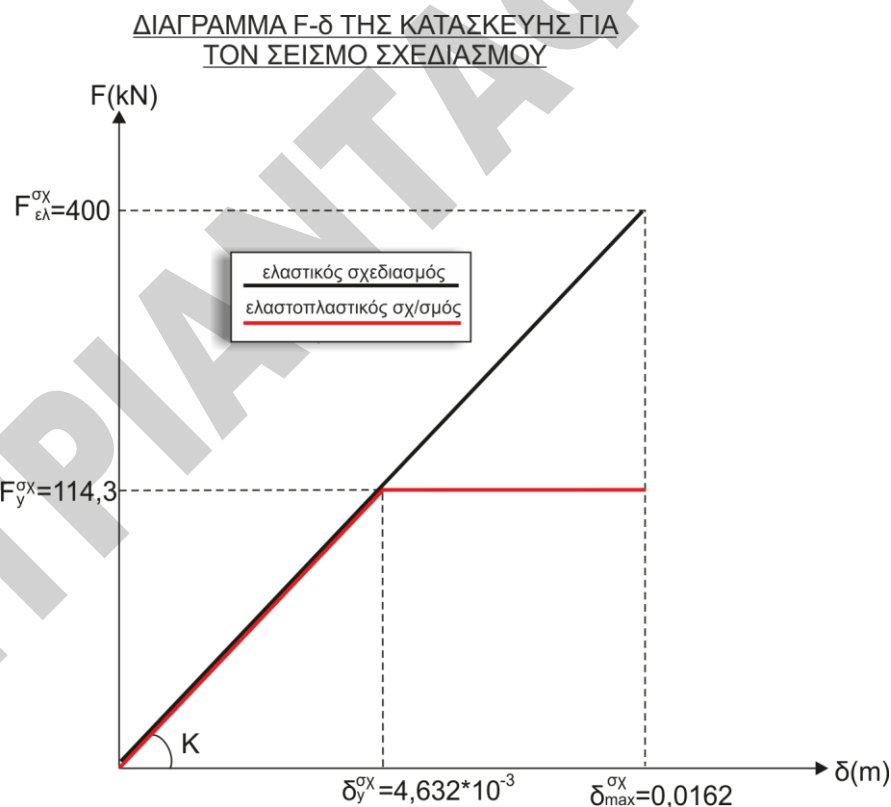
Η αναμενόμενη (μέγιστη) μετακίνηση της κατασκευής είναι:

$$\delta_{\max}^{\sigma\chi} = \delta_y^{\sigma\chi} q \Rightarrow \delta_{\max}^{\sigma\chi} = 4,632 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 \Rightarrow \delta_{\max}^{\sigma\chi} = 0,0162 \text{ m}$$

Τέλος αν η κατασκευή μου σχεδιαζόταν ελαστικά, η δύναμη σχεδιασμού της θα ήταν

$$F_{\varepsilon\lambda}^{\sigma\chi} = q F_y^{\sigma\chi} \Rightarrow F_{\varepsilon\lambda}^{\sigma\chi} = 3,5 \cdot 114,3 \Rightarrow F_{\varepsilon\lambda}^{\sigma\chi} = 400 \text{ kN}$$

Όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί φαίνονται στο κάτωθι διάγραμμα:



**B.1.** Για το ελαστικό φάσμα στο έδαφος η επιτάχυνση της οροφής της κατασκευής είναι

$$\text{Για } T=0,4\text{sec} \xrightarrow{\text{ΣΧΗΜΑ 2}} \text{PSA} \textcircled{1}=0,5g$$

Για το ελαστικό φάσμα της οροφής η επιτάχυνση της είναι

$$\text{Για } T=0\text{sec} \xrightarrow{\text{ΣΧΗΜΑ 3}} \text{PSA} \textcircled{2}=0,15g$$

Παρατηρώ ότι για τα δύο ελαστικά φάσματα η επιτάχυνση της οροφής δεν ταυτίζεται.

Αυτό σημαίνει ότι η κατασκευή μου έχει διαρρεύσει οπότε:

$$\alpha_y^{\text{πραγμ}}=0,15g$$

Τότε η δύναμη διαρροής της κατασκευής για την συγκεκριμένη σεισμική διέγερση θα είναι:

$$F_y^{\text{πραγμ}}=0,15g \cdot 100=150\text{kN}$$

Η αντίστοιχη μετατόπιση διαρροής για την συγκεκριμένη σεισμική διέγερση θα είναι:

$$\alpha_y^{\text{πραγμ}}=\omega^2\delta_y^{\text{πραγ}} \Rightarrow \delta_y^{\text{πραγ}}=\frac{\alpha_y^{\text{πραγμ}}}{\omega^2} \Rightarrow \delta_y^{\text{πραγ}}=\frac{0,15g}{15,708^2} \Rightarrow \delta_y^{\text{πραγ}}=6,08 \cdot 10^{-3}\text{m}$$

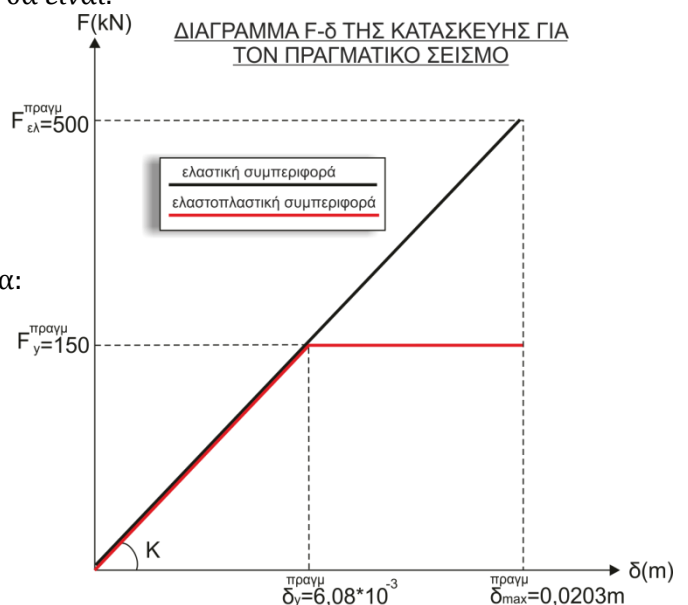
Τέλος αν ήθελα να διαστασιολογήσω την κατασκευή μου ώστε να κινηθεί ελαστικά για την συγκεκριμένη διέγερση θα έπρεπε η τέμνουσα σχεδιασμού μου να ήταν :

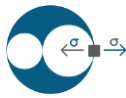
$$V_0=0,5gm \Rightarrow V_0=5 \cdot 100 \Rightarrow V_0=500\text{kN}$$

**B.4.** Τότε η μέγιστη πραγματική μετακίνηση θα είναι:

$$K=\frac{F_{\text{ελ}}^{\text{πραγμ}}}{\delta_{\text{max}}^{\text{πραγ}}} \Rightarrow \delta_y^{\text{πραγ}}=\frac{F_{\text{ελ}}^{\text{πραγμ}}}{K} \Rightarrow \delta_y^{\text{πραγ}}=\frac{500}{24.673,97} \Rightarrow \delta_y^{\text{πραγ}}=0,0203\text{m}$$

Όλα τα παραπάνω φαίνονται στο διάγραμμα:





Με βάση τα προηγούμενα δύο διαγράμματα F-δ απαντώ σε όλα τα υπόλοιπα ερωτήματα της άσκησης.

**B.2.** Η υπεραντοχή της κατασκευής δίνεται από την σχέση:

$$\gamma_{RD} = \frac{F_y^{\text{πραγ}}}{F_y^{\text{σχεδ}}} = \frac{150}{114,3} = 1,312$$

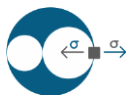
**B.3.** Η πλαστιμότητα που απαιτήθηκε κατά την διάρκεια της σεισμικής διέγερσης είναι:

$$\mu = \frac{\delta_{\max}^{\text{πραγ}}}{\delta_y^{\text{πραγ}}} = \frac{0,0203}{6,08 \cdot 10^{-3}} = 3,33$$

**B.5.** Το κτίριο κινδύνευσε για το συγκεκριμένο σεισμό αφού :

$$\delta_{\max}^{\text{σχεδ}} = 0,0162\text{m} < \delta_{\max}^{\text{πραγ}} = 0,0203\text{m}$$





Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε. -ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Δύο γειτονικές κατασκευές Α και Β με ίδια μάζα και ιδιοπερίοδο, σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τον ΕΑΚ. Η Α σχεδιάστηκε με  $q=1,0$  και  $R_d(T)=0,90g$  χωρίς να διαθέτει καθόλου υπεραντοχή. Η Β σχεδιάστηκε για  $q=3,0$  και διαθέτει κάποια υπεραντοχή.

1. Κατά την διάρκεια ενός σεισμού η Α έπαθε σημαντικές ζημιές ενώ στην οροφή της Β μετρήθηκε μέγιστη επιτάχυνση  $0,45g$ . Πόση υπεραντοχή διαθέτει η κατασκευή Β;
2. Κατά την διάρκεια ενός άλλου σεισμού η μέγιστη επιτάχυνση που μετρήθηκε στην οροφή της κατασκευής Β ήταν  $0,30g$ . Τι συμπεράσματα βγάζετε για τις βλάβες που υπέστη η κατασκευή Α; Αν η ιδιοπερίοδος των κατασκευών Α και Β ήταν  $0,628sec$  πόση θα ήταν η πραγματική μετακίνηση κάθε κατασκευής σε αυτόν τον σεισμό;

Λύση:

1. Το γεγονός ότι το κτίριο Α έπαθε σημαντικές ζημιές σημαίνει ότι η μέγιστη μετακίνηση του ξεπέρασε την  $u_u$  (μετακίνηση θραύσης). Φυσικά εννοείται ότι το ίδιο συνέβηκε και για την κατασκευή Β και άρα η μέγιστη επιτάχυνση  $0,45g$  που καταγράφηκε είναι η επιτάχυνση διαρροής της κατασκευής (Β).

Γνωρίζουμε ότι η υπεραντοχή δίνεται από την σχέση:

$$\gamma_{Rd} = \frac{F_{y_{πραγμ}}^{(B)}}{F_{y_{σχεδ}}^{(B)}} \quad (1)$$

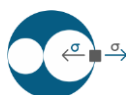
Με βάση τα προηγούμενα που αναφέρθηκαν:  $F_{y_{πραγμ}}^{(B)} = m(PSA) \Rightarrow F_{y_{πραγμ}}^{(B)} = 0,45gm \quad (2)$

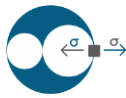
Αρκεί να υπολογίσουμε την  $F_{y_{σχεδ}}^{(B)}$ . Θα είναι:  $F_{y_{σχεδ}}^{(B)} = m\Phi_d(T) = m\frac{0,90g}{3} = 3m \quad (3)$

$$\text{Η } (1) \xrightarrow{(2),(3)} \gamma_{Rd} = \frac{4,5}{3} \Rightarrow \gamma_{Rd} = 1,5 \text{ (50\% υπεραντοχή)}$$

2.

• Εφόσον ο νέος σεισμός κατέγραψε επιτάχυνση μικρότερη από την επιτάχυνση διαρροής της κατασκευής Β σημαίνει ότι η κατασκευή Β κινήθηκε στην ελαστική περιοχή. Άρα και η κατασκευή Α κινήθηκε στην ελαστική περιοχή οπότε δεν καταγράφηκαν βλάβες σε καμία από τις δύο.





- Αν η ιδιοπερίοδος των κατασκευών ήταν  $T=0,628\text{sec}$  τότε οι μετακινήσεις και των δύο κατασκευών θα ήταν:  $u_{(A)}=u_{(B)}=\frac{P\Delta A}{\omega^2}=\frac{0,30\cdot 10}{\left(\frac{2\cdot 3,1415}{0,628}\right)^2}\Rightarrow u_{(A)}=u_{(B)}=0,03\text{m}$

Γ.Ρ. ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ



Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε. -ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣΘΕΜΑ 3<sup>ο</sup>

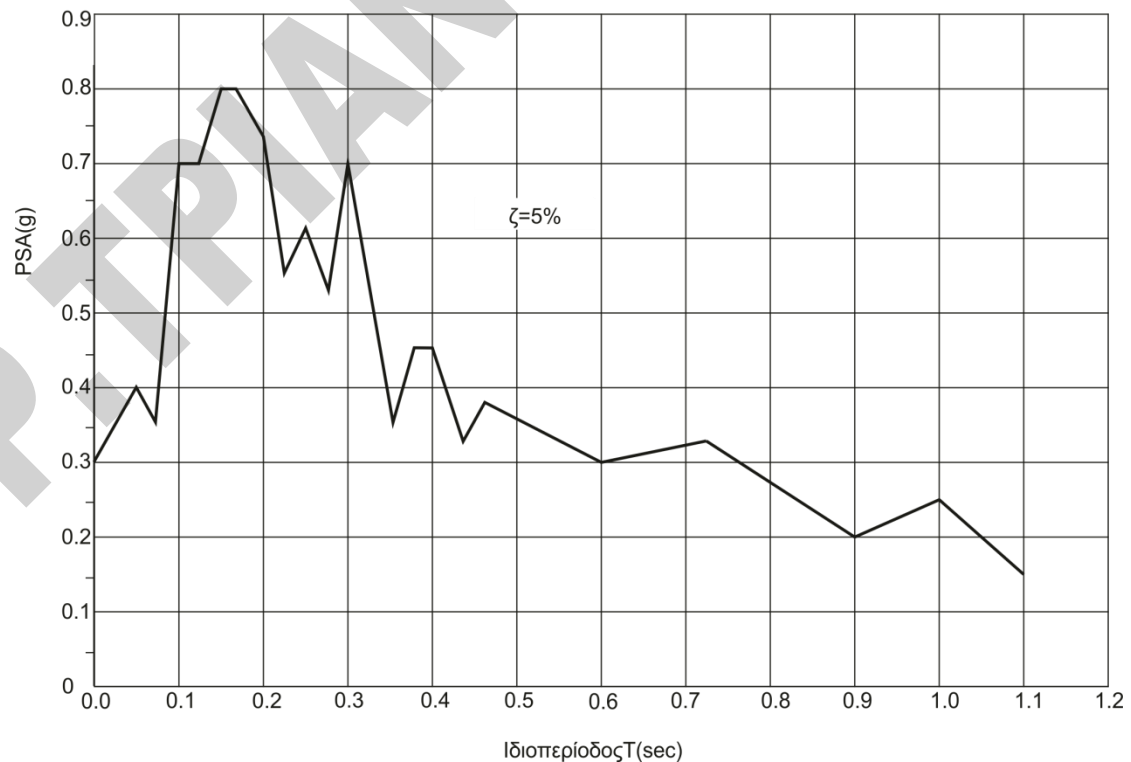
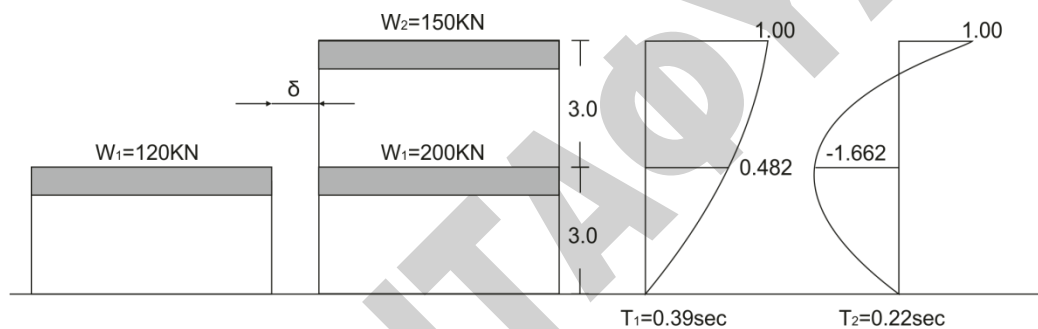
Διώροφο κτίριο Ω.Σ. του οποίου οι ιδιοπερίοδοι και οι ιδιομορφές δίνονται στο σχήμα βρίσκονται σε απόσταση  $\delta=4\text{cm}$  από ένα μονώροφο κτίριο Ω.Σ. Στην περιοχή συνέβη σεισμός η καταγραφή του οποίου δίνει το ελαστικό φάσμα του σχήματος.

Ζητείται να ελεγχθεί αν τα κτίρια συγκρούστηκαν κατά την διάρκεια του σεισμού;

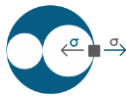
Δίνονται:  $g=10\text{m/sec}^2$ ,  $E=29\text{GPa}$ .

Τα κτίρια αποτελούνται από πλαίσια. Το μονώροφο κτίριο στηρίζεται σε 4 αμφίπακτα υποστυλώματα διατομής  $25\times 25\text{cm}$ .

Για τον υπολογισμό να χρησιμοποιηθούν και οι δύο ιδιομορφές.







Λύση:

- ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΟΝΟΡΟΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

$$\text{Η μάζα της κατασκευής είναι } m = \frac{B}{g} = \frac{120}{10} = 12 \text{tn}$$

Επειδή πρόκειται για αμφίπακτα υποστύλωματα η δυσκαμψία του καθενός θα είναι:

$$K = \frac{12EI}{l^3} \Rightarrow K = \frac{12 \cdot 29 \cdot 10^6 \cdot 0,25^4}{3^3} \Rightarrow K = 4.195,60 \text{kN/m}$$

Άρα η συνολική δυσκαμψία της μονώροφης κατασκευής θα είναι:

$$K_{0\Lambda} = 4K \Rightarrow K_{0\Lambda} = 4 \cdot 4.195,60 \Rightarrow K_{0\Lambda} = 16.782,41 \text{kN/m}$$

Η ιδιοπερίοδος της δίνεται από την σχέση:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \Rightarrow T = 2 \cdot 3,1415 \sqrt{\frac{12}{16.782,41}} \Rightarrow T = 0,168 \text{sec}$$

Από το επιταχυνσιογράφημα για:

$$T = 0,168 \text{sec} \rightarrow \text{PSA}(g) = 0,80g (= \delta_{\max}^{\text{πραγ}})$$

$$\text{Άρα } \delta_{\max}^{\text{ελ}} = \frac{F_{\max}^{\text{ελ}}}{K} \Rightarrow \delta_{\max}^{\text{ελ}} = \frac{m(\text{PSA})}{K} = \frac{12 \cdot 0,8 \cdot 10}{16.782,41} = 5,72 \cdot 10^{-3} \text{m}$$

- ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΩΡΟΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Εύρεση μαζών ορόφων

$$m_1 = \frac{B_1}{g} = \frac{200}{10} = 20 \text{tn}, m_2 = \frac{B_2}{g} = \frac{150}{10} = 15 \text{tn}$$

Εύρεση συντελεστών συμμετοχής

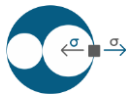
Για την πρώτη ιδιομορφή (1):

$$Y_1 = \frac{m_1 \varphi_1^{(1)} + m_2 \varphi_2^{(1)}}{m_1 [\varphi_1^{(1)}]^2 + m_2 [\varphi_2^{(1)}]^2} = \frac{20 \cdot 0,482 + 15 \cdot 1,0}{20 \cdot (0,482)^2 + 15 \cdot (1,0)^2} = \frac{24,64}{19,647} = 1,254$$

Για την δεύτερη ιδιομορφή (2):

$$Y_2 = \frac{m_1 \varphi_1^{(2)} + m_2 \varphi_2^{(2)}}{m_1 [\varphi_1^{(2)}]^2 + m_2 [\varphi_2^{(2)}]^2} = \frac{20 \cdot (-1,662) + 15 \cdot 1}{20 \cdot (-1,662)^2 + 15 \cdot 1,0} = \frac{-18,24}{70,245} = -0,26$$





- Εύρεση ιδιοσυχνοτήτων

Για την πρώτη ιδιομορφή (1):

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} \Rightarrow \omega_1 = \frac{2\pi}{0,39} \Rightarrow \omega = 16,111 \text{ rad/sec}$$

Για την δεύτερη ιδιομορφή (2):

$$\omega_2 = \frac{2\pi}{T_2} \Rightarrow \omega_2 = \frac{2\pi}{0,22} \Rightarrow \omega = 28,56 \text{ rad/sec}$$

Αν συγκρουστούν τα κτίρια θα συγκρουστούν στον 1<sup>ο</sup> όροφο. Βρίσκω την μετακίνηση του πρώτου ορόφου.

Εύρεση μετακίνησης πρώτου ορόφου

Για την πρώτη ιδιομορφή (1):

$$\text{Για } T_1 = 0,39 \text{ sec} \xrightarrow{\text{σχήμα}} \text{PSA}(T_1) = 0,45 \text{ g}$$

$$u_1^{(1)} = \frac{y_1 \text{PSA}(T_1) \varphi_1^{(1)}}{\omega_1^2} = \frac{1,254 * 0,45 * 10 * 0,482}{16,111^2} = \frac{2,72}{259,564} = 0,0105 \text{ m}$$

Για την δεύτερη ιδιομορφή (2):

$$\text{Για } T_2 = 0,22 \text{ sec} \xrightarrow{\text{σχήμα}} \text{PSA}(T_2) = 0,55 \text{ g}$$

$$u_1^{(2)} = \frac{y_2 \text{PSA}(T_2) \varphi_1^{(2)}}{\omega_2^2} = \frac{(-0,26) * 0,55 * 10 * (-1,662)}{28,56^2} = \frac{2,377}{815,674} = 2,914 * 10^{-3} \text{ m}$$

Άρα η ολική μετακίνηση του διώροφου κτιρίου στο πρώτο όροφο του θα είναι:

$$u_1 = \sqrt{0,0105^2 + (2,914 * 10^{-3})^2} = 0,0109 \text{ m}$$

- ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΑΡΜΟΥ

Ο αρμός που απαιτείται να έχουν τα δύο κτίρια είναι:

$$\delta = \sqrt{0,0109^2 + (5,72 * 10^{-3})^2} = 0,0123 \text{ m} = 1,23 \text{ cm} < \delta_{\text{κατ}} = 4,0 \text{ cm}$$

Άρα τα κτίρια δεν συγκρούστηκαν

