

## ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 1

### ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

Περίοδος επανάληψης  $T_R$  σεισμού για πιθανότητα υπέρβασης  $p$  του μεγέθους σχεδιασμού σε  $t_d$  χρόνια:

$$T_R = \frac{-t_d}{\ln(1-p)} \cong \frac{t_d}{p}$$

Η εδαφική επιτάχυνση αναφοράς  $a_{gR}$  σε έδαφος κατηγορίας A του ΕΚ8 αντιστοιχεί σε  $p = 10\%$  και  $t_d = 50$  χρόνια, δηλαδή  $T_R = 475$  χρόνια. Η επιτάχυνση αυτή εφαρμόζεται για συνήθεις κατασκευές ( $\gamma_I = 1$ ). Για κατασκευές μεγαλύτερης σπουδαιότητας η αντίστοιχη εδαφική επιτάχυνση  $a_g$  αυξάνεται μέσω του συντελεστή σπουδαιότητας θέτοντας  $\gamma_I > 1$ .

### ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΣ ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ

Ιδιοπερίοδος:  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$

Ιδιοσυχνότητα:  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{K}{m}}$

Δυσκαμψίες: Αμφίπακτο υποστύλωμα:  $K = \frac{12 \cdot E \cdot I}{h^3}$

Μονόπακτο υποστύλωμα:  $K = \frac{3 \cdot E \cdot I}{h^3}$

### ΦΑΣΜΑΤΑ

Σχέση φασματικών μεγεθών:  $PSA = \omega^2 \cdot SD \approx SA$

$$PSV = \omega \cdot SD \approx SV$$

Όρια φασμάτων:  $T \rightarrow 0: \quad SD \rightarrow 0, \quad SV \rightarrow 0, \quad SA \rightarrow \ddot{x}_{g,max}$

$$T \rightarrow \infty: \quad SD \rightarrow x_{g,max}, \quad SV \rightarrow \dot{x}_{g,max}, \quad SA \rightarrow 0$$

όπου:  $x_{g,max}$  = μέγιστη μετακίνηση εδάφους,

$\dot{x}_{g,max}$  = μέγιστη ταχύτητα εδάφους,

$\ddot{x}_{g,max}$  = μέγιστη επιτάχυνση εδάφους.

**ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ**

Δείκτης πλαστιμότητας:  $\mu = \frac{d_m}{d_y}$

όπου:  $d_m$  = μέγιστη μετακίνηση,  
 $d_y$  = μετακίνηση διαρροής

Συντελεστής συμπεριφοράς:  $q = \frac{F_e}{F_d}$

όπου:  $F_e$  = μέγιστο σεισμικό φορτίο ισοδύναμου ελαστικού συστήματος  
 $F_d$  = φορτίο σχεδιασμού

Ισχύει:  $q = \gamma_{Rd} \cdot q_y$

όπου:  $q_y = \frac{F_e}{F_y}$  και

$\gamma_{Rd} = \frac{F_y}{F_d}$  = υπεραντοχή

$F_y$  = σεισμικό φορτίο διαρροής

Παραδοχή ίσων μετακινήσεων (μεταξύ ελαστικού και ελαστοπλαστικού συστήματος):  $q_y = \mu$

Παραδοχή ίσων ενεργειών (μεταξύ ελαστικού και ελαστοπλαστικού συστήματος):  $q_y = \sqrt{2\mu - 1}$

**ΜΟΝΩΡΟΦΟΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΤΡΟΦΗ**

Συντ/νες Κέντρου Δυσκαμψίας:  $X_{P_0} = \frac{\sum X_i \cdot K_{i,y}}{\sum_i K_{i,y}}$ ,  $Y_{P_0} = \frac{\sum Y_i \cdot K_{i,x}}{\sum_i K_{i,x}}$

Δυσκαμψίες συστήματος:

$K_x = \sum_i K_{i,x}$ ,  $K_y = \sum_i K_{i,y}$ ,  $K_\theta = \sum_i (K_{i,\theta} + x_i^2 \cdot K_{i,y} + y_i^2 \cdot K_{i,x})$

Γωνία στροφής:  $\vartheta = \frac{P \cdot \sin\phi \cdot x_{KM} - P \cdot \cos\phi \cdot y_{KM}}{K_\theta}$

Μετακίνηση τυχαίου σημείου Σ:  $u_{\Sigma,x} = \frac{P \cdot \cos\phi}{K_x} - y_\Sigma \cdot \vartheta$  (κατά x)

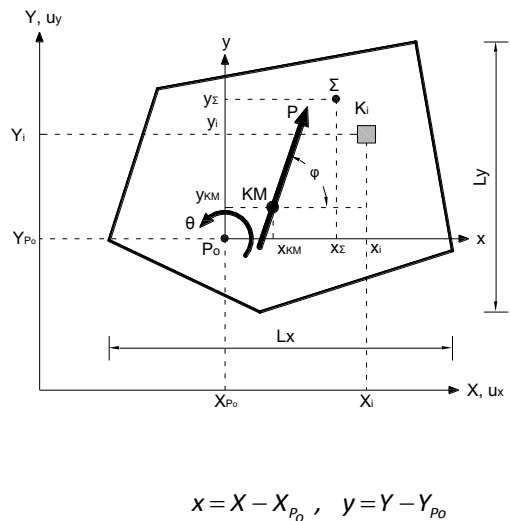
$u_{\Sigma,y} = \frac{P \cdot \sin\phi}{K_y} + x_\Sigma \cdot \vartheta$  (κατά y)

Τέμνουσες υποστυλώματος  $K_i$ :  $V_{i,x} = K_{i,x} \cdot u_{i,x}$ ,  $V_{i,y} = K_{i,y} \cdot u_{i,y}$

Ειδικές περιπτώσεις:

Σεισμός x ( $\phi=0^\circ$ ):  $\vartheta^{(x)} = -\frac{P \cdot y_{KM}}{K_\theta}$ ,  $u_{\Sigma,x}^{(x)} = \frac{P}{K_x} + \frac{P}{K_\theta} \cdot y_{KM} \cdot y_\Sigma$ ,  $u_{\Sigma,y}^{(x)} = -\frac{P}{K_\theta} \cdot y_{KM} \cdot x_\Sigma$

Σεισμός y ( $\phi=90^\circ$ ):  $\vartheta^{(y)} = +\frac{P \cdot x_{KM}}{K_\theta}$ ,  $u_{\Sigma,x}^{(y)} = -\frac{P}{K_\theta} \cdot x_{KM} \cdot y_\Sigma$ ,  $u_{\Sigma,y}^{(y)} = \frac{P}{K_y} + \frac{P}{K_\theta} \cdot x_{KM} \cdot x_\Sigma$



**ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Ιδιοσυχνότητες: προκύπτουν από τη λύση της χαρακτηριστικής εξίσωσης:  $[[K]-\omega^2[M]]=0$

Ιδιοδιανύσματα (ιδιομορφές): προκύπτουν από τη λύση του συστήματος:  $[[K]-\omega_i^2[M]]\{\varphi_i\}=\{0\}$

Συμβολισμός:  $\{\varphi_i\} = i$  ιδιομορφή,  $\varphi_j = j$  συνιστώσα της  $i$  ιδιομορφής

Στον ΕΚ8 οι ιδιομορφές συμβολίζονται με:  $\{s_i\}$

Ορθογωνικότητα ιδιομορφών:  $\{\varphi_i\}^T[M]\{\varphi_j\} = 0$  και  $\{\varphi_i\}^T[K]\{\varphi_j\} = 0$  για  $i \neq j$

Γενικευμένη μάζα  $i$  ιδιομορφής:  $\tilde{m}_i = \{\varphi_i\}^T[M]\{\varphi_i\}$

Σημείωση:  $\tilde{m}_i = \sum_j m_j \cdot \varphi_{ji}^2$  για διαγώνιο μητρώο μάζας

Γενικευμένη δυσκαμψία  $i$  ιδιομορφής:  $\tilde{k}_i = \{\varphi_i\}^T[K]\{\varphi_i\}$

Σημείωση: Ισχύει  $\tilde{k}_i = \tilde{m}_i \cdot \omega_i^2$

Συντελεστής συμμετοχής  $i$  ιδιομορφής:  $\Gamma_i = \frac{\{\varphi_i\}^T[M]\{r\}}{\{\varphi_i\}^T[M]\{\varphi_i\}}$ ,  $\{r\} =$  διάνυσμα κατεύθυνσης σεισμικής διέγερσης

Δρώσα ιδιομορφική μάζα  $i$  ιδιομορφής:  $m_i^* = \Gamma_i \cdot \{\varphi_i\}^T \cdot [M] \cdot \{r\}$

Σεισμικά φορτία σχεδιασμού  $i$  ιδιομορφής:  $\{F_i\} = [M] \cdot \{\varphi_i\} \cdot \Gamma_i \cdot S_d(T_i, \zeta_i)$ , όπου  $S_d =$  φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού

Στον  $j$  βαθμό ελευθερίας:  $F_j = m_j \cdot \varphi_{ji} \cdot \Gamma_i \cdot S_d(T_i, \zeta_i)$

Μετακινήσεις σχεδιασμού  $i$  ιδιομορφής:  $\{u_i\} = \{\varphi_i\} \cdot \Gamma_i \cdot q \cdot S_d(T_i, \zeta_i) / \omega_i^2$

Απλοποιημένοι τύποι για επίπεδη κίνηση στη διεύθυνση της σεισμικής διέγερσης:  $\{r\} = \{1\}$

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^N m_j \varphi_{ji}}{\sum_{j=1}^N m_j \varphi_{ji}^2} \quad \text{και} \quad m_i^* = \Gamma_i \sum_{j=1}^N m_j \varphi_{ji}$$

**ΣΥΝΕΧΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΣ ΠΡΟΒΟΛΟΣ**

Ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων:  $V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$

Ιδιοπερίοδοι:  $T_i = \frac{4H}{(2i-1)V_s}, \quad i = 1, 2, \dots$

Ιδιοσχήματα:  $\varphi_i(z) = \sin\left[\frac{(2i-1)\pi z}{2H}\right]$

Συντελεστές συμμετοχής:  $\Gamma_i = \frac{4}{(2i-1)\pi}$

Μέγιστες μετακινήσεις  $i$  ιδιομορφής:  $u_i(z) = \Gamma_i \cdot S_d(T_i, \zeta_i) \cdot \varphi_i(z)$

**ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ**

Τέμνουσα δύναμη βάσης:  $F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$

όπου:  $T_1 =$  θεμελιώδης ιδιοπερίοδος στην εξεταζόμενη διεύθυνση

$S_d(T_1) =$  φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού για περίοδο  $T_1$

$m =$  συνολική μάζα κτιρίου

$\lambda =$  διορθωτικός συντελεστής:

$\lambda = 0,85$  εάν  $T_1 \leq 2 \cdot T_c$  και το κτίριο έχει πάνω από 2 ορόφους

$\lambda = 1,00$  σε κάθε άλλη περίπτωση

Για κτίρια με ύψος  $H \leq 40$  m, η ιδιοπερίοδος  $T_1$  (σε sec) μπορεί να προσεγγιστεί από τις παρακάτω εμπειρικές σχέσεις:

1.  $T_1 = C_t \cdot H^{3/4}$

$$\text{όπου } C_t = \begin{cases} 0,085 & \text{για χαλύβδινα πλαίσια} \\ 0,075 & \text{για πλαίσια από σκυρόδεμα και για χαλύβδινα πλαίσια με έκκεντρους δικτυωτούς συνδέσμους} \\ 0,050 & \text{για κάθε άλλο φορέα} \end{cases}$$

Εναλλακτικά, για κτίρια με τοιχώματα:  $C_t = 0,075 / \sqrt{A_c}$

όπου:  $A_c = \sum A_i \cdot (0,2 + \ell_{wi} / H)^2$

$A_c =$  συνολική δρώσα επιφάνεια των τοιχωμάτων στον 1<sup>ο</sup> όροφο πάνω από τη στάθμη θεμελίωσης (σε m<sup>2</sup>)

$A_i =$  δρώσα επιφάνεια του τοιχώματος  $i$  στον 1<sup>ο</sup> όροφο πάνω από τη στάθμη θεμελίωσης (σε m<sup>2</sup>)

2.  $T_1 = 2 \cdot \sqrt{d}$

όπου:  $d =$  οριζόντια ελαστική μετακίνηση του δώματος (σε m) για οριζόντια φορτία ίσα με τα φορτία βαρύτητας

Κατανομή σεισμικών δυνάμεων:  $F_i = F_b \frac{m_i \cdot \varphi_i}{\sum m_j \cdot \varphi_j}$

Για 1<sup>η</sup> ιδιομορφή τριγωνικής μορφής:  $F_i = F_b \frac{m_i \cdot z_i}{\sum m_j \cdot z_j}$

**ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΟΜΒΩΝ**

Σε πλαίσια και ισοδύναμα προς πλαίσια συστήματα, στους κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων πρέπει να ικανοποιείται η σχέση:

$$\sum M_{Rc} \geq 1,3 \sum M_{Rb}$$

όπου:

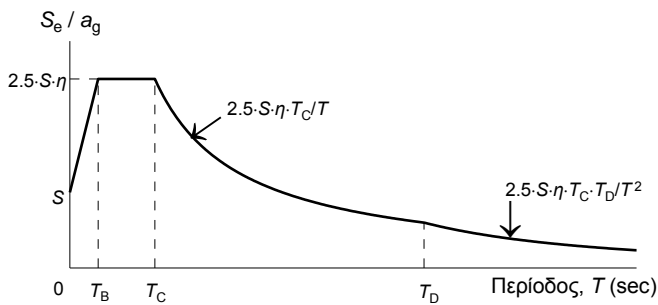
$\sum M_{Rc} =$  άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συμβάλλουν στον κόμβο

$\sum M_{Rb} =$  άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των δοκών που συμβάλλουν στον κόμβο

- Ο έλεγχος γίνεται και για τις δύο διευθύνσεις της σεισμικής δράσης (προκαλούν σεισμικές ροπές στις δοκούς με διαφορετικό πρόσημο).
- Δεν γίνεται έλεγχος στο δώμα πολυωρόφων κτιρίων.

**Ε.Κ. 8**

Ελαστικό φάσμα απόκρισης ( $S_e$ =ελαστική φασματική επιτάχυνση)



$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$$

όπου:

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{\zeta + 5}} \geq 0.55 = \text{συντελεστής απόσβεσης (το } \zeta \text{ τίθεται επί τοις εκατό)}$$

$S$  = συντελεστής εδάφους

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	$a_{gR}$ (g)	Κατηγορία Σπουδαιότητας		Κατηγορία Εδάφους	$T_B$ (sec)	$T_C$ (sec)	$T_D$ (sec)	$S$
			$\gamma_I$					
Z1	0.16	I	0.80	A	0.15	0.40	2.50	1.00
Z2	0.24	II	1.00	B	0.15	0.50	2.50	1.20
Z3	0.36	III	1.20	C	0.20	0.60	2.50	1.15
		IV	1.40	D	0.20	0.80	2.50	1.35
				E	0.15	0.50	2.50	1.40

Φάσμα σχεδιασμού για ανελαστική συμπεριφορά ( $S_d$ =φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού)

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$$

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, η τιμή  $\beta$  ορίζεται σε  $\beta=0.2$ .

**ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ**

Χωρικός συνδυασμός σεισμικών δράσεων (όταν μπορεί να αμεληθεί η κατακόρυφη συνιστώσα):

$$exE = \pm exE^{(x)} \pm 0.3 \cdot exE^{(y)} \quad \text{ή} \quad exE = \pm 0.3 \cdot exE^{(x)} \pm exE^{(y)}$$

όπου  $exE^{(x)}$  και  $exE^{(y)}$  οι ακραίες τιμές του μεγέθους  $E$  για σεισμική δράση κατά  $x$  και σεισμική δράση κατά  $y$  αντίστοιχα.

Σεισμικός συνδυασμός δράσεων:

$$E_d = \sum G_{k,j} \text{"+"} P \text{"+"} A_{ED} \text{"+"} \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

όπου: "+" = σε συνδυασμό με

$G_{k,j}$  = χαρακτηριστική τιμή μόνιμης δράσης  $j$

$P$  = προένταση

$A_{ED}$  = σεισμική δράση σχεδιασμού

$Q_{k,i}$  = χαρακτηριστική τιμή μεταβλητής δράσης  $i$

$\psi_{2,i}$  = συντελεστής συνδυασμού μεταβλητής δράσης  $i$  σύμφωνα με παρακάτω πίνακα:

Δράσεις	$\psi_2$
A: κατοικίες, συνήθη κτήρια κατοικιών	0,3
B: χώροι γραφείων	0,3
C: χώροι συνάθροισης	0,6
D: χώροι καταστημάτων	0,6
E: χώροι αποθήκευσης	0,8
F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων για βάρος οχημάτων $\leq 30\text{kN}$	0,6
G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων για $30\text{kN} < \text{βάρος οχημάτων} \leq 160\text{kN}$	0,3
H: στέγες	0
Φορτία χιονιού επάνω σε κτίρια: για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H > 1000 \text{ m}$ για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H \leq 1000 \text{ m}$	0,20 0
Φορτία ανέμου σε κτίρια	0
Θερμοκρασία (μη-πυρκαϊάς) σε κτίρια	0

Στο σεισμικό συνδυασμό δεν συμπεριλαμβάνονται δράσεις καταναγκασμού.