

Αντισεισμικές Κατασκευές

Καθορισμός μεγεθών σεισμού

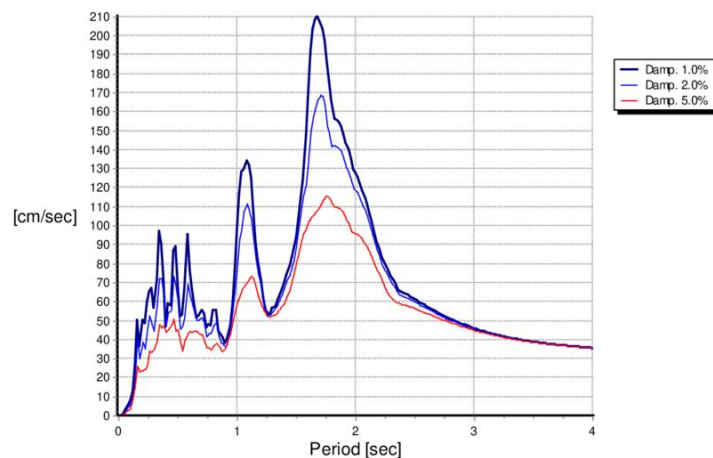
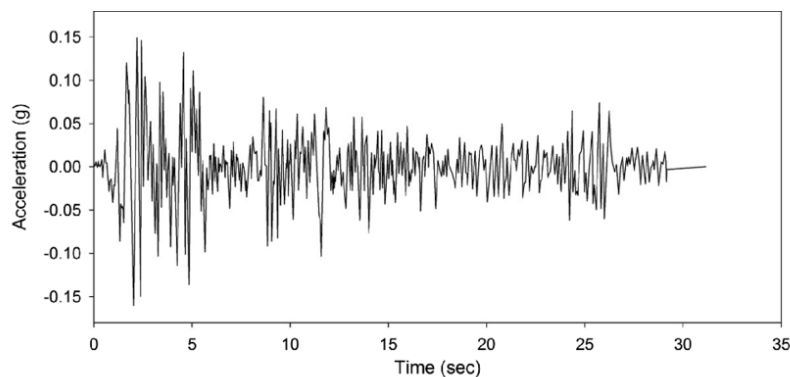


ΑΣΠΑΙΤΕ

Χαρακτηριστικά μεγέθη σεισμού

- Σημαντικότερα μεγέθη και αναμενόμενες τιμές τους

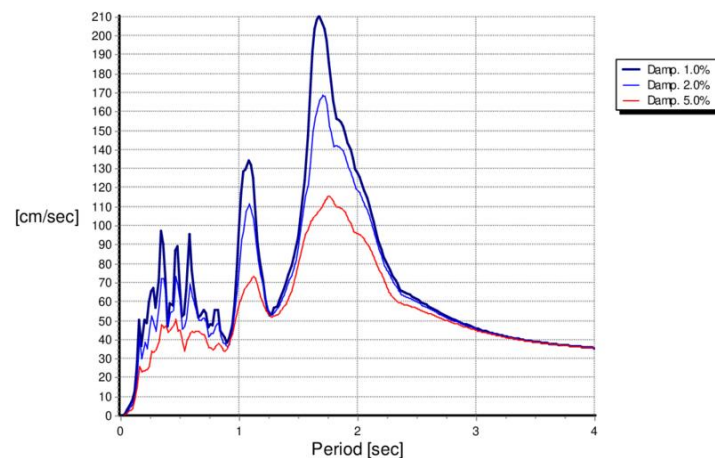
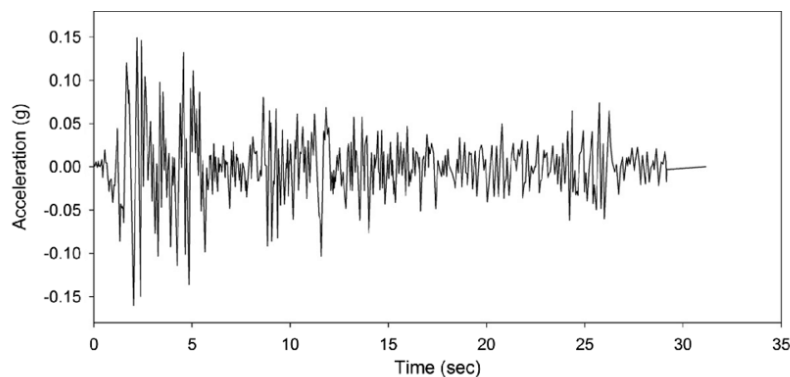
▪ Εδαφικές μετατοπίσεις	$u(t)$	0.1 – 0.3 m
▪ Εδαφικές ταχύτητες	$\dot{u}(t)$	0.1 – 0.3 m/s
▪ Εδαφικές επιταχύνσεις	$\ddot{u}(t)$	0.15 – 0.30 g
▪ Συχνότητα κίνησης εδάφους	T	0.03 – 10 s
▪ Διάρκεια σεισμού	t	5 – 20 s



Χαρακτηριστικά μεγέθη σεισμού

- Σημαντικότερα μεγέθη και αναμενόμενες τιμές τους

▪ Εδαφικές μετατοπίσεις	$d(t)$	0.1 – 0.3 m
▪ Εδαφικές ταχύτητες	$v(t)$	0.1 – 0.3 m/s
▪ Εδαφικές επιταχύνσεις	$a(t)$	0.15 – 0.30 g
▪ Συχνότητα κίνησης εδάφους	T	0.03 – 10 s
▪ Διάρκεια σεισμού	t	5 – 20 s



Χαρακτηριστικά μεγέθη σεισμού

- Η μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση a_0 είναι μείζονος σημασίας στον αντισεισμικό σχεδιασμό
- Σχετίζεται με τη σεισμική ένταση I ή το σεισμικό μέγεθος M μέσω εμπειρικών σχέσεων για κάθε γεωγραφική περιοχή με επαρκώς καταγεγραμμένη σεισμική ιστορία.
- Για τον ελλαδικό χώρο:

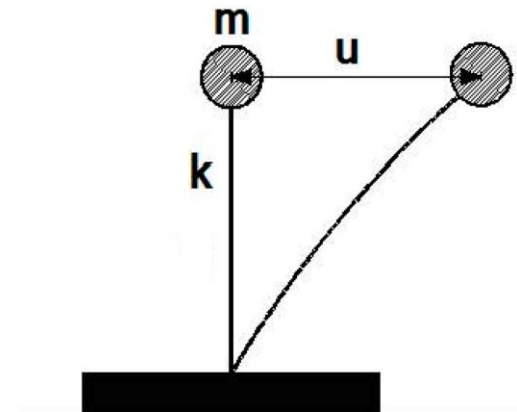
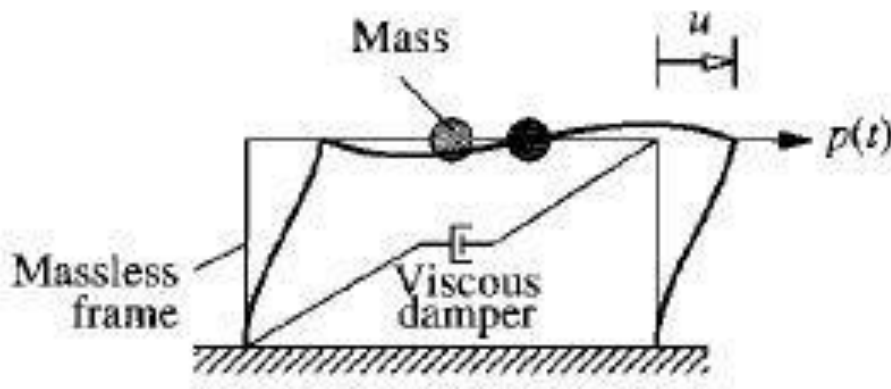
$$I = 6.362 + 1.20 \cdot M - 4.402 \cdot \log(\Delta + 15)$$

$$\log a_0 = 3.775 + 0.38 \cdot M - 2.370 \cdot \log(\Delta + 13)$$

a_0	επιτάχυνση [g/1000]
I	ένταση Mercalli
Δ	επικεντρική απόσταση [km]
M	μέγεθος Richter

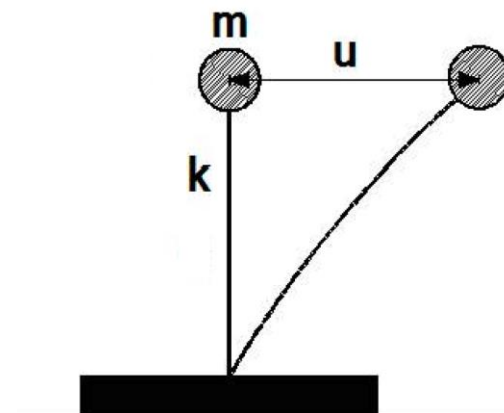
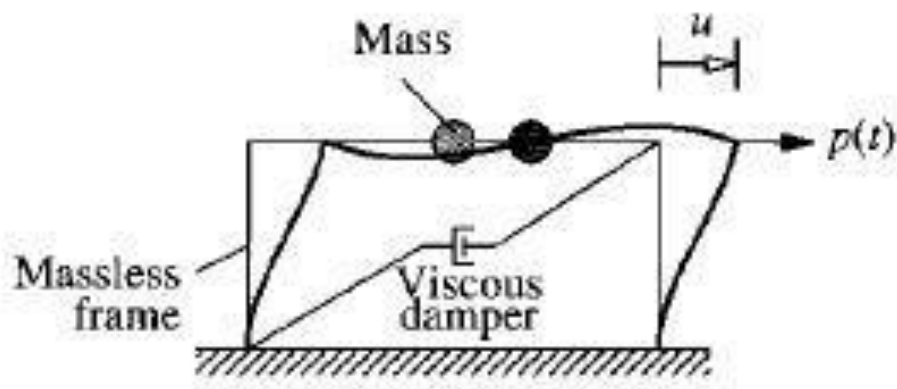
Μονοβάθμιο σύστημα

- Δυναμικό σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας, με δεδομένη μάζα m , δυσκαμψία k και απόσβεση c , υποβαλλόμενο σε χρονικώς μεταβαλλόμενη εξωτερική δύναμη $p(t)$ ή/και διέγερση βάσης $u_g(t)$.
- Ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός της μετατόπισης $u(t)$



Μονοβάθμιο σύστημα

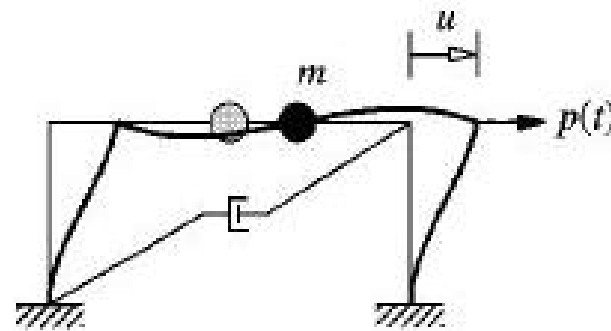
- **Μάζα** συγκεντρωμένη στο επίπεδο της οροφής
 - Αβαρή υποστυλώματα
- **Ιξώδης αποσβεστήρας**: κατανάλωση ενέργειας ταλάντωσης
- **Δυσκαμψία**: υποστύλωμα υποβαλλόμενο σε κάμψη
 - Δοκοί και υποστυλώματα: αξονικώς απαραμόρφωτα



Μονοβάθμιο σύστημα – Ασκούμενες δυνάμεις

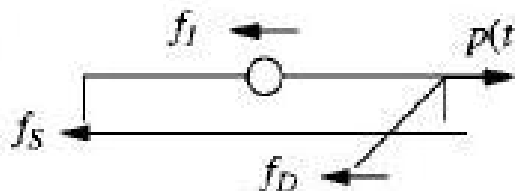
1. Δύναμη δυσκαμψίας

$$f_s = k \cdot u$$



2. Δύναμη απόσβεσης

$$f_D = c \cdot \frac{du}{dt} = c \cdot \dot{u}$$



3. Δύναμη αδράνειας

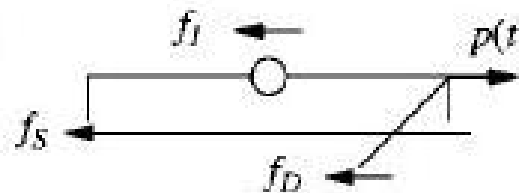
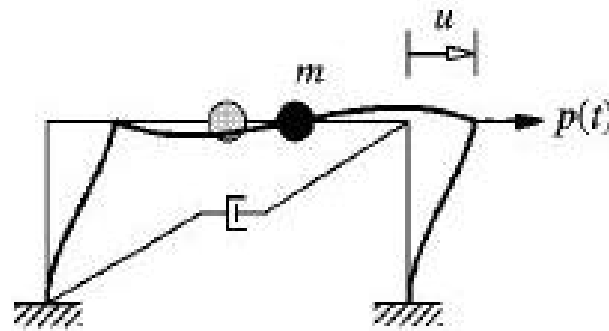
$$f_I = m \frac{d^2u}{dt^2} = m \cdot \ddot{u}$$

Μονοβάθμιο σύστημα – Ισορροπία δυνάμεων

$$\sum F = 0$$

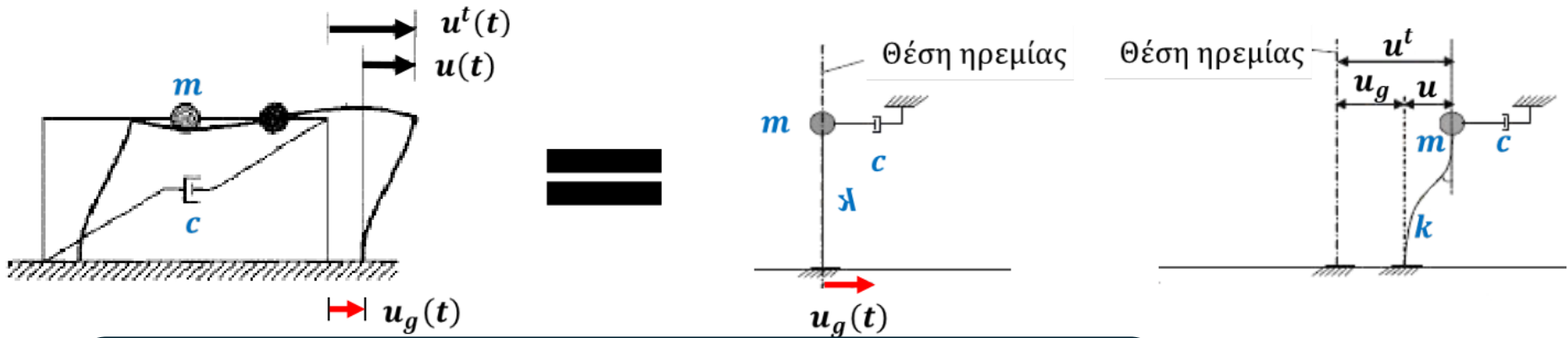
$$f_I + f_s + f_D = p(t)$$

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = p(t)$$





Μονοβάθμιο σύστημα – Σεισμική διέγερση



$u_g(t)$ μετατόπιση του εδάφους
 $u^t(t)$ συνολική μετατόπιση της μάζας
 $u(t)$ σχετική μετατόπιση της μάζας ως προς το έδαφος

$$u^t(t) = u(t) + u_g(t)$$

$$\dot{u}^t(t) = \dot{u}(t) + \dot{u}_g(t)$$

$$\ddot{u}^t(t) = \ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)$$

$$\begin{aligned} \sum F = 0 &\Rightarrow f_I + f_s + f_D = 0 \\ m \cdot (\ddot{u} + \ddot{u}_g) + c \cdot \dot{u} + k \cdot u &= 0 \end{aligned}$$

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = -m \cdot \ddot{u}_g$$

Μονοβάθμιο σύστημα – Βασικά δυναμικά χαρακτηριστικά

- Κυκλική ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης συστήματος [rad/s]

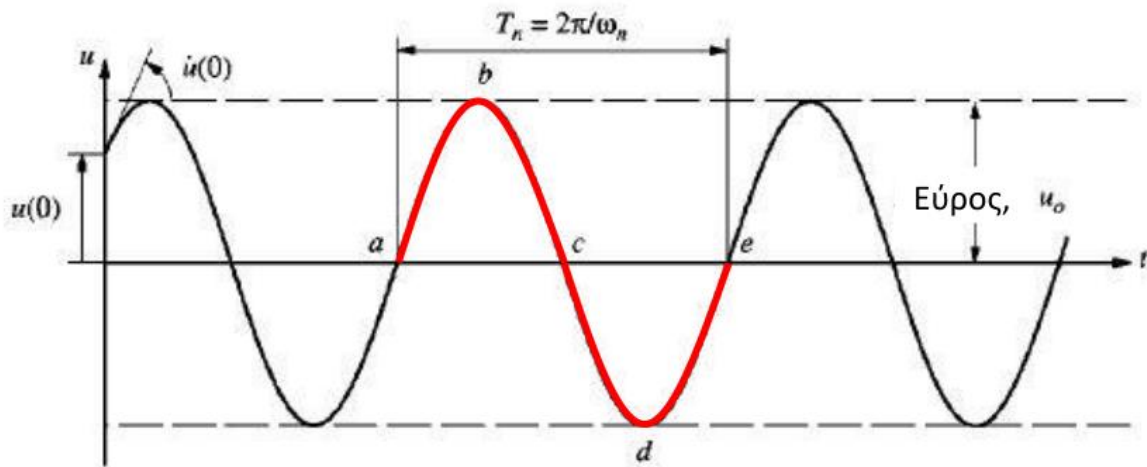
$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

- Ιδιοπερίοδος ταλάντωσης συστήματος [s]

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

- Ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης συστήματος [Hz]

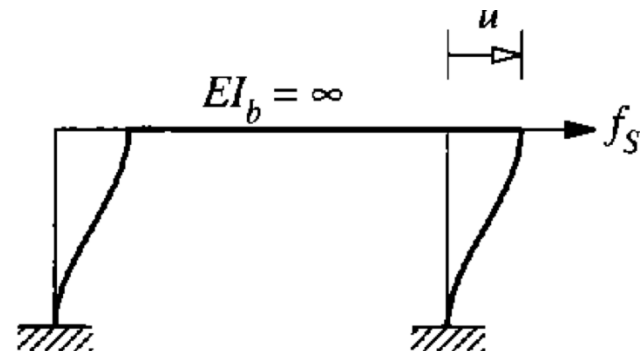
$$f_n = \frac{1}{T_n} = \frac{\omega_n}{2\pi}$$



Μονοβάθμιο σύστημα – Πλευρική καμπτική δυσκαμψία

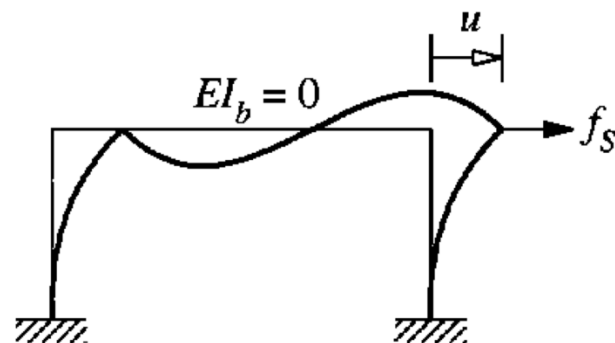
- **Αμφίπακτα** υποστυλώματα

$$k = \frac{12EI}{h^3}$$



- **Μονόπακτα** υποστυλώματα

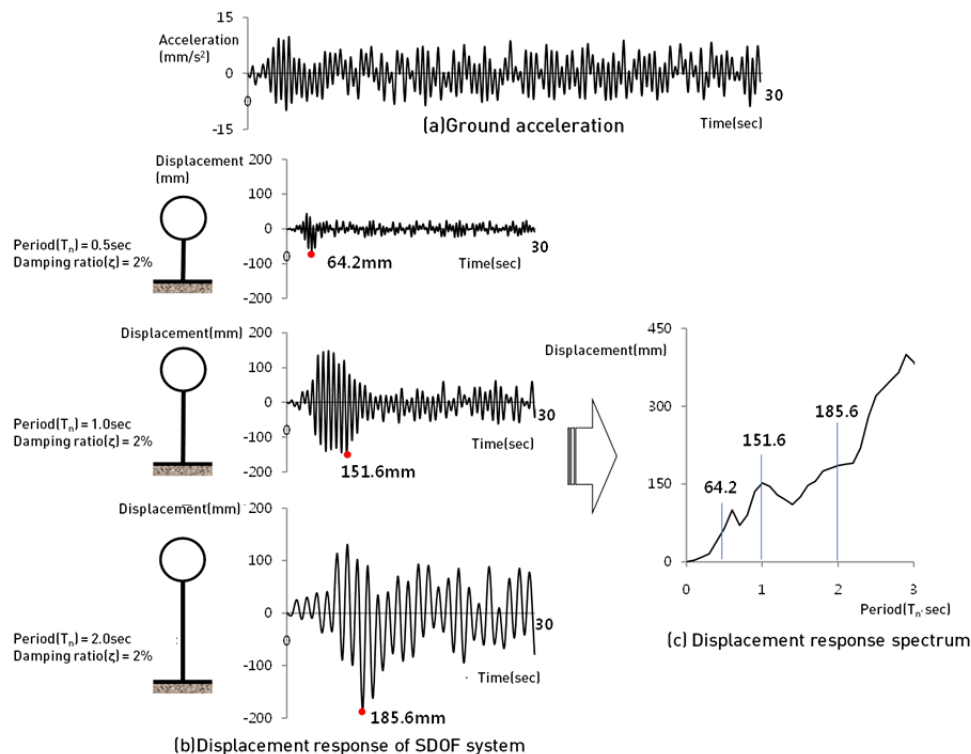
$$k = \frac{3EI}{h^3}$$



Φάσμα απόκρισης

Ορισμός

- Γραφική παράσταση της **μέγιστης απόκρισης** (σε όρους μετατόπισης u_0 , ταχύτητας $\dot{u}_0$ ή επιτάχυνσης $\ddot{u}_0$) μιας σειράς **μονοβάθμιων ταλαντωτών** με διαφορετικές συχνότητες για μία συγκεκριμένη διέγερση βάσης και δεδομένη απόσβεση.



Φάσμα απόκρισης

Για χαμηλές τιμές απόσβεσης ($\zeta \leq 20\%$) ισχύει:

$$\dot{u}_0 \cong \omega_n \cdot u_0 = \omega_n \cdot D = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right) \cdot u_0 = V \quad \text{Ψευδοφασματική ταχύτητα}$$

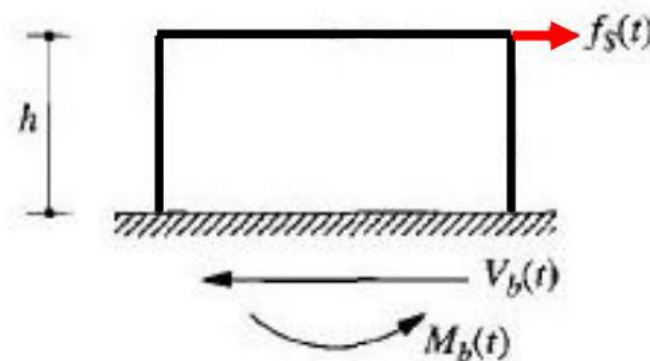
$$\ddot{u}_0 \cong \omega_n^2 \cdot u_0 = \omega_n^2 \cdot D = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2 \cdot u_0 = A \quad \text{Ψευδοφασματική επιτάχυνση}$$

- Η χρήση των ψευδο-τιμών A και V , επιτρέπει τον υπολογισμό των φασμάτων απόλυτων επιταχύνσεων και σχετικών ταχυτήτων απ' αυθείας από το φάσμα των σχετικών μετακινήσεων.
- Με δεδομένο κάποιο από τα φασματικά μεγέθη D, V, A , προκύπτουν οι μέγιστες τιμές των εσωτερικών δυνάμεων μιας κατασκευής που απαιτούνται στο δομικό σχεδιασμό:

Μέγιστο ισοδύναμο στατικό φορτίο $f_{s0} = k \cdot u_0 = (m \cdot \omega_n^2) \cdot u_0 = m \cdot A$

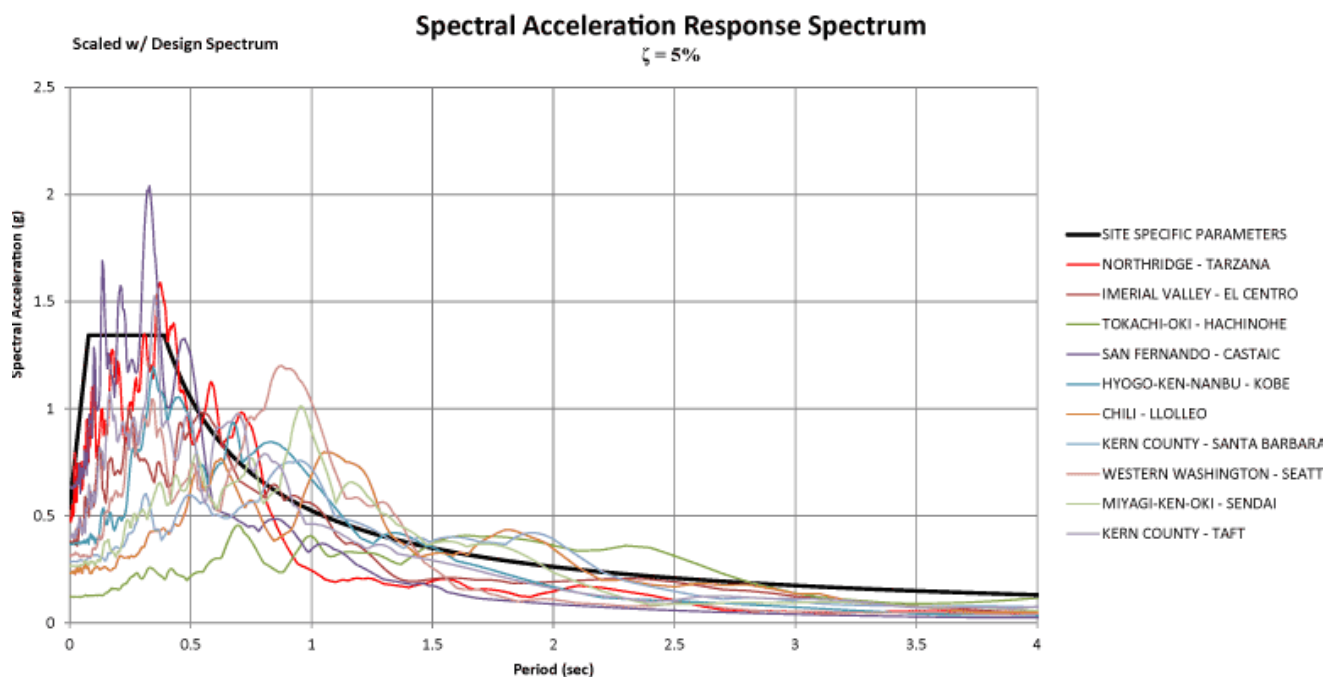
Μέγιστη τέμνουσα βάσης $V_{b0} = f_{s0}$

Μέγιστη ροπής ανατροπής βάσης $M_{b0} = h \cdot V_{b0}$



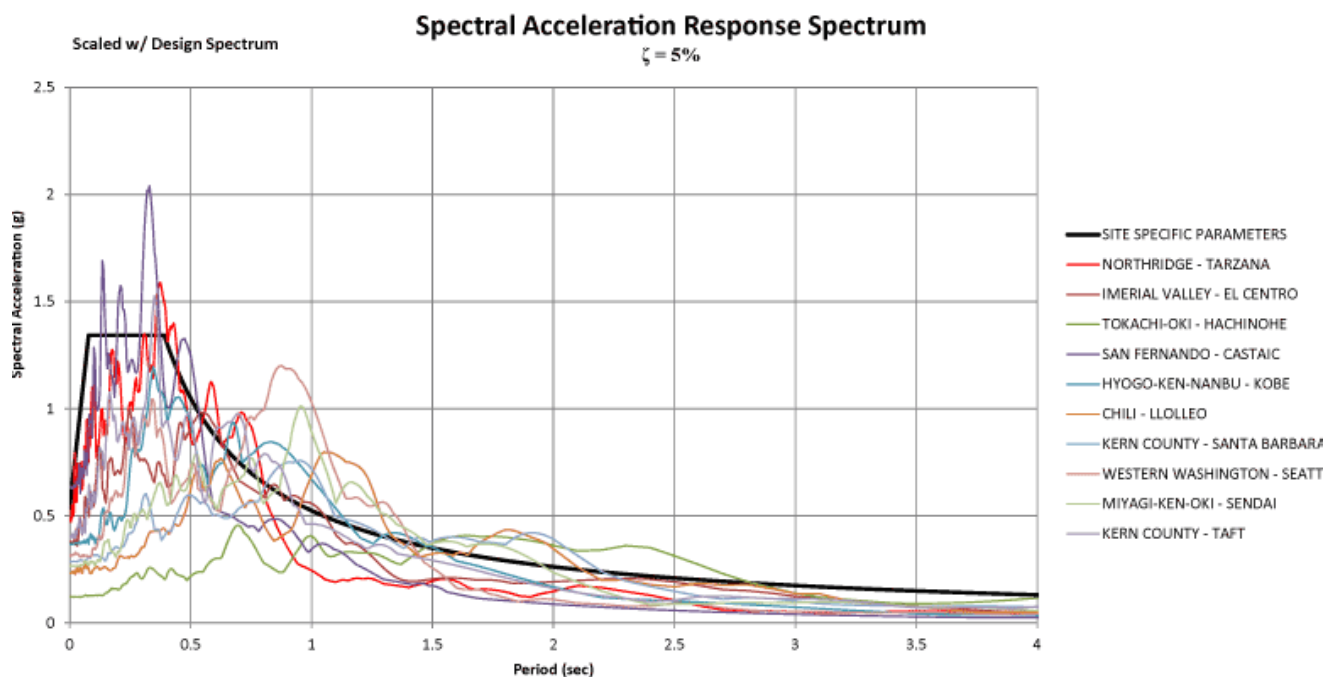
Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού

- Στον αντισεισμικό σχεδιασμό η χρήση καταγραφών σεισμού είναι η εξαίρεση
- Το φάσμα απόκρισης ενός μελλοντικού σεισμού είναι αδύνατον να προβλεφθεί
- Δεν μας ενδιαφέρει τόσο η χρονική εξέλιξη της ταλάντωσης όσο η μέγιστη τιμή της προκαλούμενης μετατόπισης



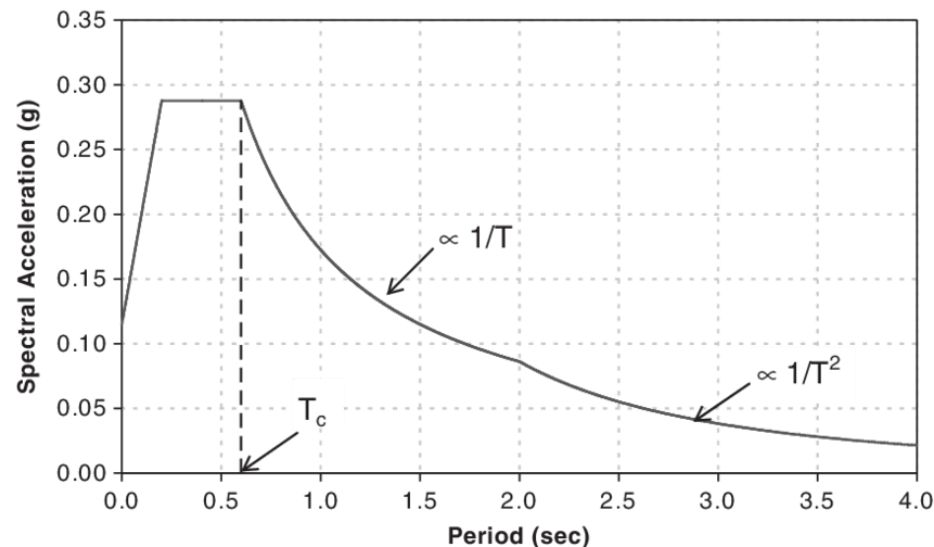
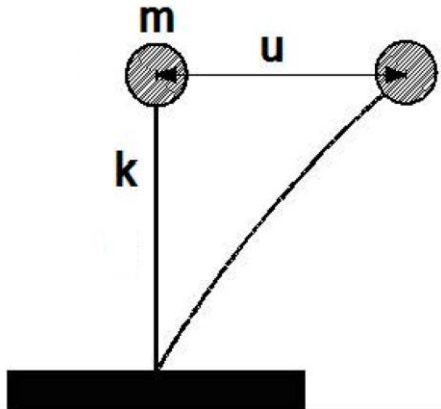
Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού

- Κυρίως γίνεται χρήση απλοποιημένων (εξομαλυμένων) φασμάτων απόκρισης σε όρους επιταχύνσεων
- Τα απλοποιημένα φάσματα σχεδιασμού μιας περιοχής προκύπτουν από **στατιστική κατεργασία** ελαστικών φασμάτων καταγεγραμμένων σεισμών ίδιας περίπου έντασης σε περιοχές με παρόμοιες τεκτονικές και γεωλογικές συνθήκες.



Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού

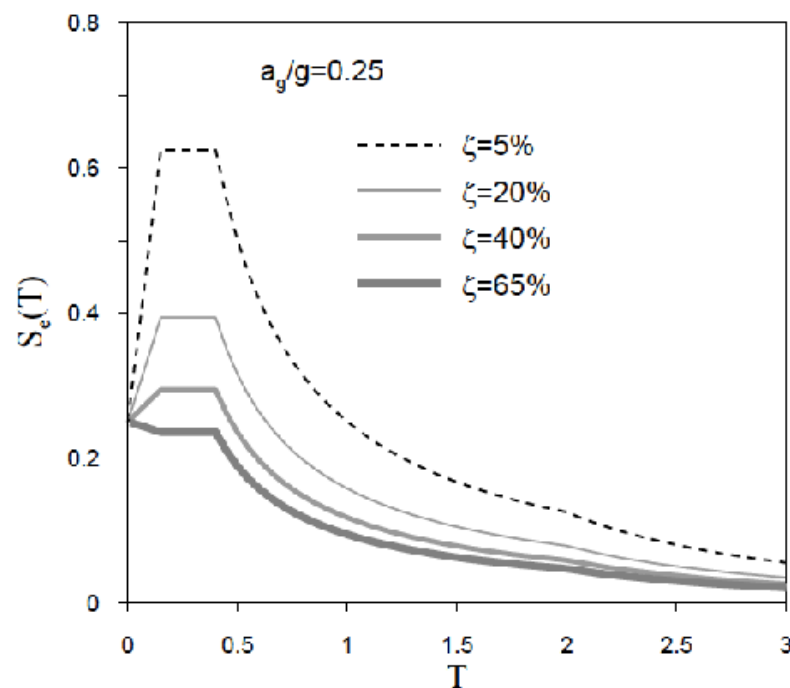
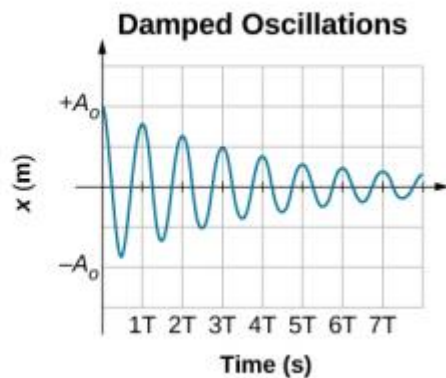
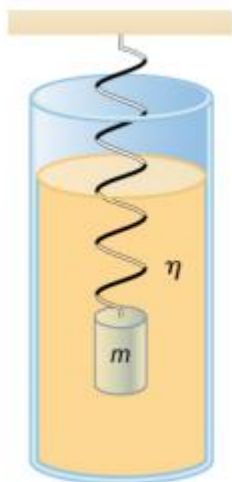
- Βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού:
 - Μέγιστο μέγεθος εδαφικής κίνησης για δεδομένη συχνότητα φάσματος
 - Περιοχή συχνοτήτων της μέγιστης μεγέθυνσης
 - Μέγιστος συντελεστής μεγέθυνσης



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

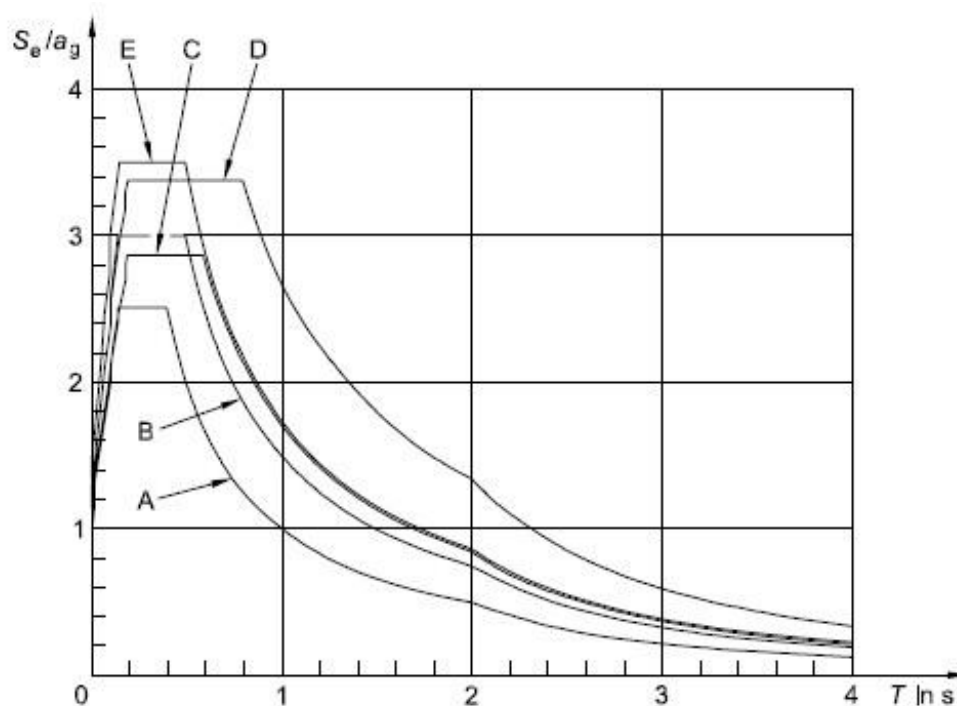
Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού

- Οι βασικές παράμετροι καθορίζονται κυρίως από:
 - Την απόσβεση του ταλαντωτή

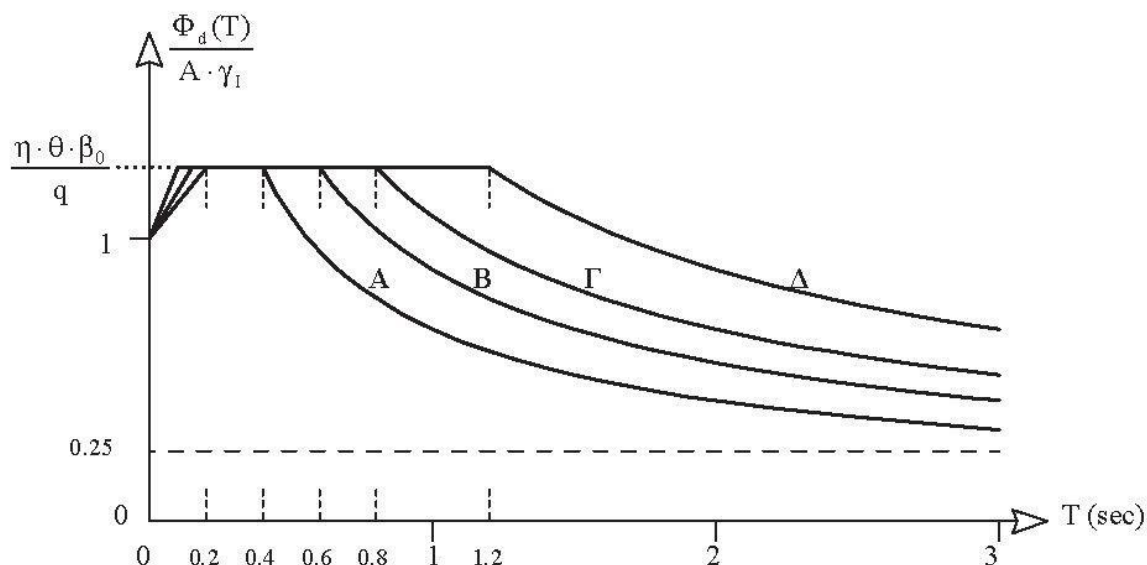


Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού

- Οι βασικές παράμετροι καθορίζονται κυρίως από:
 - Την κατηγορία του εδάφους θεμελίωσης



Φάσμα σχεδιασμού ΕΑΚ



$$0 \leq T < T_1: \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2: \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \dots\dots\dots$$

$$T_2 < T: \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \dots\dots\dots$$

$$\frac{\Phi_d(T)}{A \gamma_i} \geq 0.25$$

Φάσμα σχεδιασμού ΕΑΚ

- β_0 : Συντελεστής φασματικής ενίσχυσης (=2.50)
- η : διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης για $\zeta \neq 5\%$

$$0 \leq T < T_1 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \beta_0}{q} \dots\dots\dots$$

$$T_2 < T : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \beta_0}{q} \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \dots\dots\dots$$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \zeta}} \geq 0.7$$

Φάσμα σχεδιασμού ΕΑΚ

- T_1, T_2 : χαρακτηριστικές περιόδους

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
B	Εντόνως αποσασθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας ($I_p > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
Χ	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοίλιωδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. (Βλπ. και παρ. 5.1[3]). Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

$$0 \leq T < T_1 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \dots\dots\dots$$

$$T_2 < T : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \dots\dots\dots$$

Κατηγορία εδάφους	A	B	Γ	Δ
T_1	0.10	0.15	0.20	0.20
T_2	0.40	0.60	0.80	1.20

Φάσμα σχεδιασμού ΕΑΚ

- γ_I : συντελεστής σπουδαιότητας

$$0 \leq T < T_1 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \dots\dots\dots$$

$$T_2 < T : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \dots\dots\dots$$

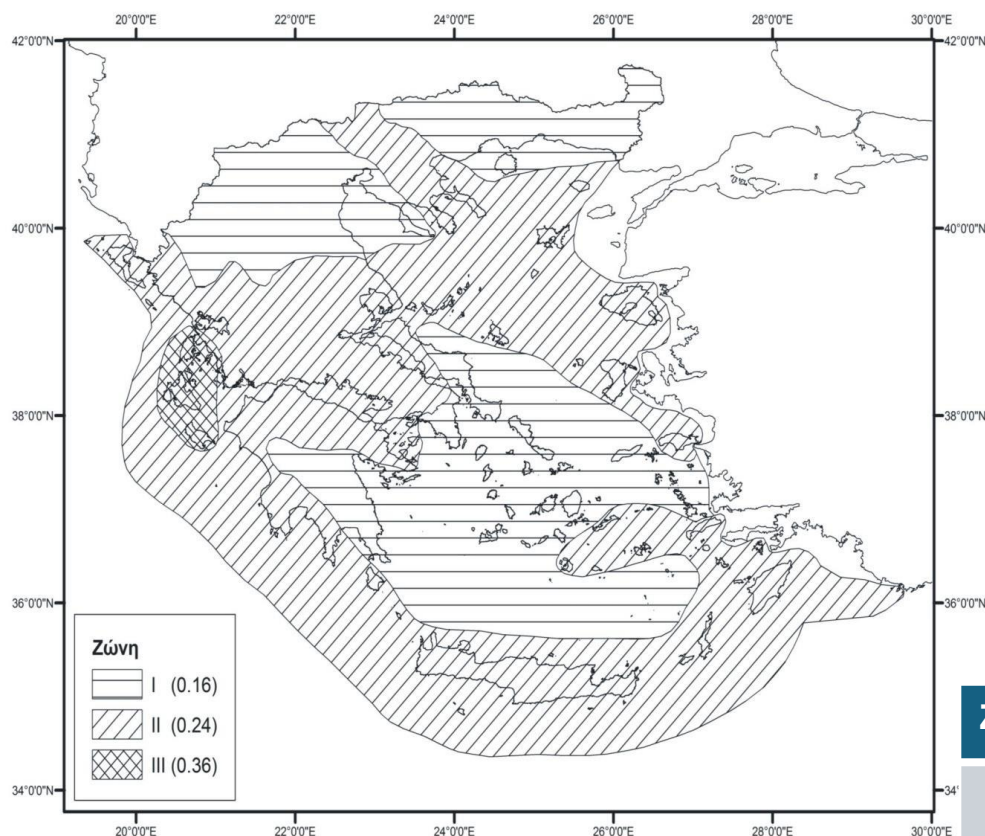
Κατηγορία Σπουδαιότητας		γ_I
Σ1	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, π.χ. αγροτικά οικήματα, υπόστεγα, στάβλοι κλπ.	0.85
Σ2	Συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία κλπ.	1.00
Σ3	Εκπαιδευτικά κτίρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου. Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας (π.χ. κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες) κλπ.	1.15
Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών. Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία κλπ.).	1.30

Ο συντελεστής σπουδαιότητας εκφράζει τον κίνδυνο για τον άνθρωπο και τις κοινωνικο-οικονομικές συνέπειες που μπορεί να έχει ενδεχόμενη καταστροφή ή διακοπή λειτουργίας του κτηρίου.

Φάσμα σχεδιασμού ΕΑΚ

- A : μέγιστη αναμενόμενη
εδαφική επιτάχυνση

$$A = \alpha \cdot g$$



$$0 \leq T < T_1 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \dots\dots\dots$$

$$T_2 < T : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \dots\dots\dots$$

Βάσει σεισμολογικών δεδομένων, εκτιμάται πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια.

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	I	II	III
α	0.16	0.24	0.36

Φάσμα σχεδιασμού ΕΑΚ

- θ : συντελεστής θεμελίωσης (για εδάφη Γ και Δ)

Για εδάφη **A** και **B** ή για κτήρια με επιφανειακή ή εύκαμπτη θεμελίωση:
 $\theta = 1.0$

$$0 \leq T < T_1 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{r \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{r \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \dots\dots\dots$$

$$T_2 < T : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{r \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \dots\dots\dots$$

Ο συντελεστής θεμελίωσης περιγράφει την ευνοϊκή επιρροή της δυσκαμψίας και του βάθους της θεμελίωσης.

Προϋποθέσεις		
1α.	Το κτίριο διαθέτει ένα υπόγειο	0.90
1β.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι γενική κοιτόστρωση	
1γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που φέρουν δοκούς σύνδεσης στην κεφαλή	
2α.	Το κτίριο διαθέτει δύο τουλάχιστον υπόγεια	0.80
2β.	Το κτίριο διαθέτει ένα τουλάχιστον υπόγειο και η θεμελίωση είναι γενική κοιτόστρωση	
2γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που συνδέονται με ενιαίο κεφαλόδεσμο (όχι αναγκαστικά ενιαίου πάχους)	
Παρατήρηση: Υπόγειος θεωρείται ένας όροφος όταν έχει περιμετρικά τοιχώματα έτσι, ώστε οι συνδεόμενες πλάκες να είναι πρακτικά αμετάθετες.		

Φάσμα σχεδιασμού ΕΑΚ

- q : συντελεστής συμπεριφοράς

$$0 \leq T < T_1 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \dots\dots\dots$$

$$T_2 < T : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \dots\dots\dots$$

Ο συντελεστής συμπεριφοράς περιγράφει την ικανότητα μια κατασκευής να **απορροφά και να διαχέει ενέργεια μέσω πλάστιμης συμπεριφοράς, χωρίς μείωση της αντοχής της.**

$q = 1$ για ελαστική συμπεριφορά

Πίνακας 2.6: Μέγιστες Τιμές Συντελεστή Συμπεριφοράς q .

ΥΛΙΚΟ	ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	q
1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	α. Πλαίσια ή μικτά συστήματα	3.50
	β. Συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι	3.00
	γ. Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50% της συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους.	2.00
2. ΧΑΛΥΒΑΣ	α. Πλαίσια	4.00
	β. Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα *	4.00
	γ. Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα:	
	• διαγώνιοι σύνδεσμοι	3.00
	• σύνδεσμοι τύπου V ή L	1.50
	• σύνδεσμοι τύπου K (όπου επιτρέπεται*)	1.00
	* Βλέπε Παράρτημα Γ.	
3. ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	α. Με οριζόντια διαζώματα	1.50
	β. Με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα	2.00
	γ. Οπλισμένα (κατακόρυφα και οριζόντια)	2.50
4. ΞΥΛΟ	α. Πρόβολοι	1.00
	β. Δοκοί – Τόξα – Κολλητά πετάσματα	1.50
	γ. Πλαίσια με κοχλιώσεις	2.00
	δ. Πετάσματα με ηλώσεις	3.00