

Αντισεισμικές Κατασκευές

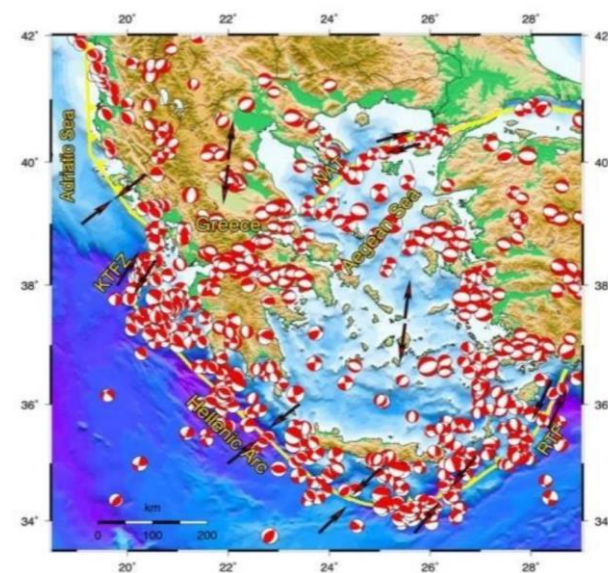
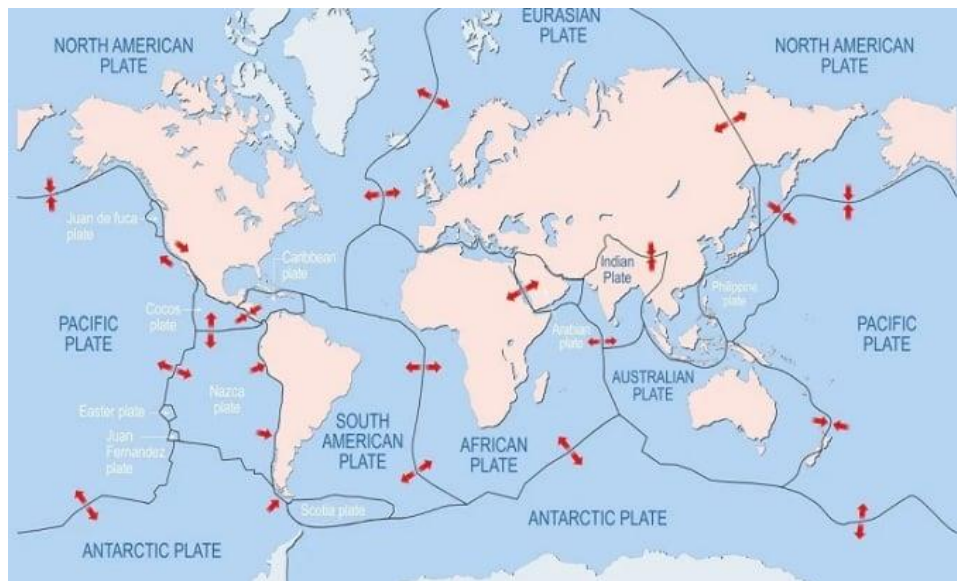
Στοιχεία Τεχνικής Σεισμολογίας



ΑΣΠΑΙΤΕ

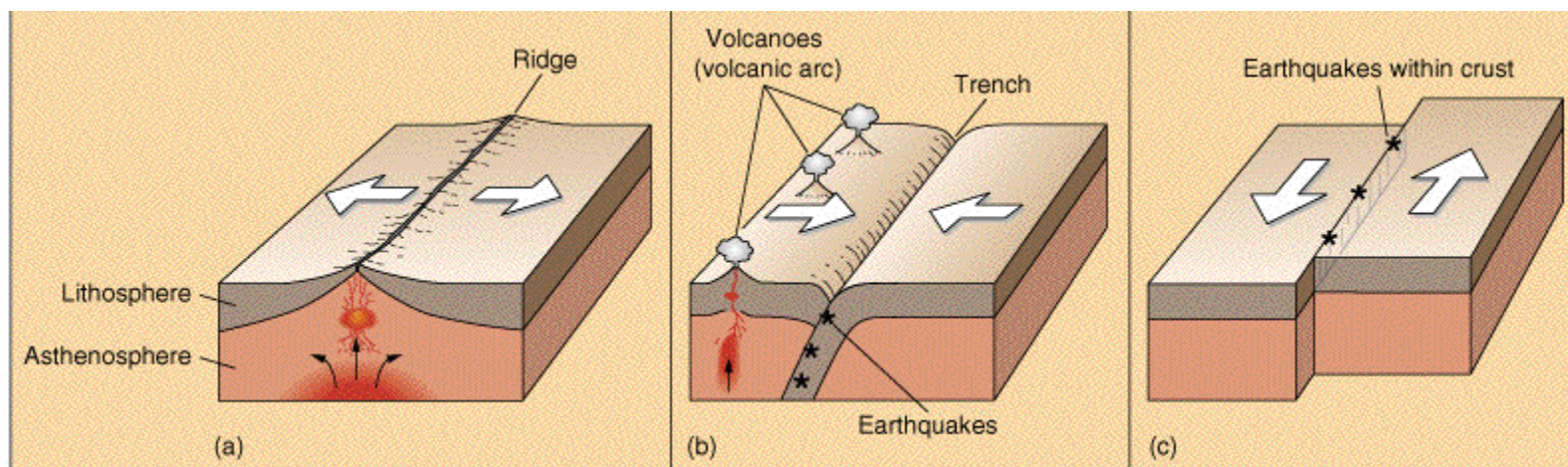
Η έννοια του σεισμού

- Ως **σεισμός** θεωρείται η (βίαιη) εδαφική δόνηση, οφειλόμενη σε:
 - Θραύση και ξαφνική μετακίνηση του φλοιού της γης κατά μήκος υφιστάμενου ρήγματος (**τεκτονικοί σεισμοί**)
 - Ηφαιστειακές εκρήξεις
 - Ανθρωπογενείς δραστηριότητες (εξορύξεις αερίου)
 - ...



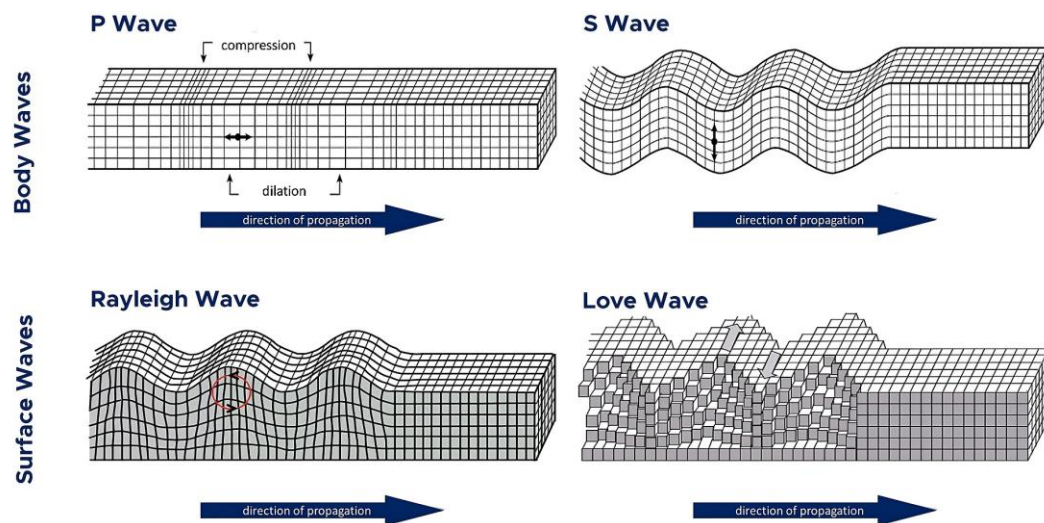
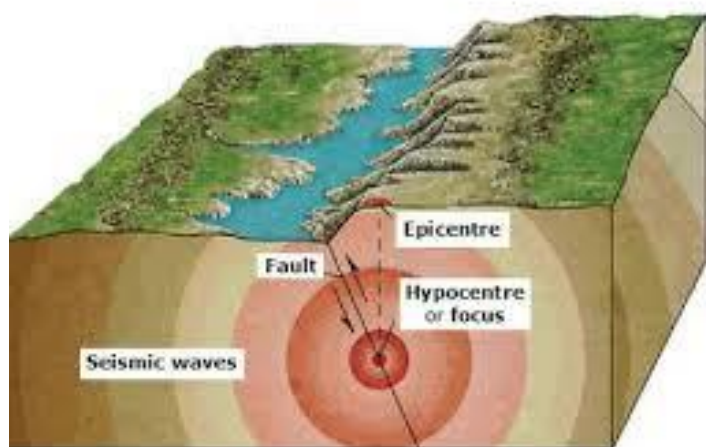
Τεκτονικοί σεισμοί

- **Φλοιός της γης:** επιδερμίδα πάχους 10 – 70 χλμ., σε **διαρκή κίνηση** επί των μαλακότερων στρωμάτων
- Αλληλεπίδραση πλακών προκαλεί **ελαστικές τάσεις** (θλιπτικές, εφελκυστικές ή διατμητικές) και παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού
- Μόλις οι τάσεις φτάσουν στην αντοχή του πετρώματος, παρατηρείται **θραύση** και έκλυση ενέργειας με **απότομες μετατοπίσεις**



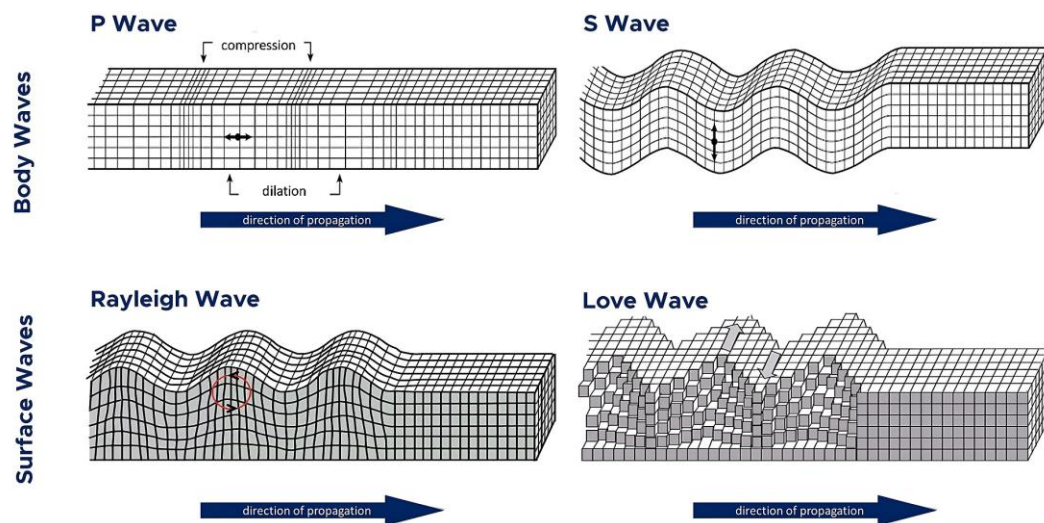
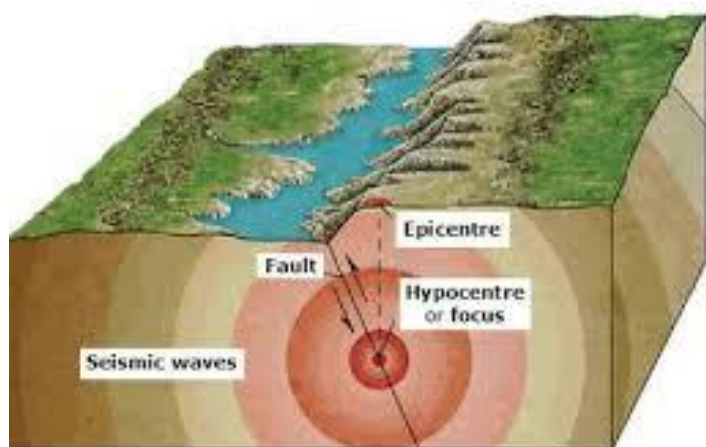
Σεισμικά κύματα

- **Υπόκεντρο (εστία):** σημείο έναρξης της θραύσης (υπό της επιφάνειας του εδάφους)
- **Επίκεντρο:** κατακόρυφη προβολή του υποκέντρου στην επιφάνεια του εδάφους
- **Εστιακό βάθος:** κατακόρυφη απόσταση μεταξύ υποκέντρου και επικέντρου



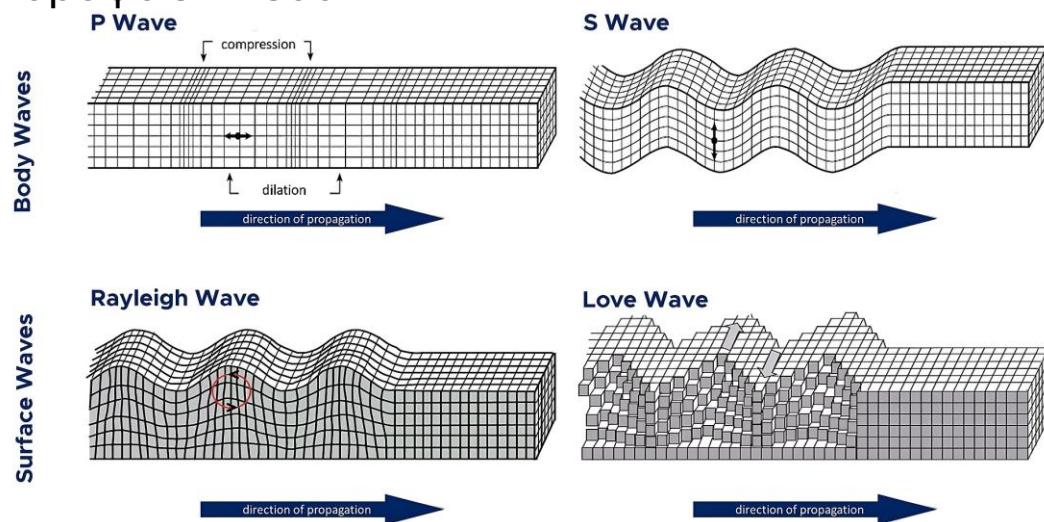
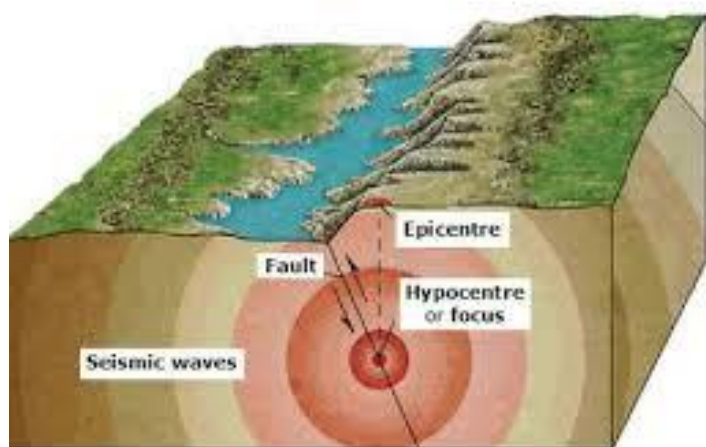
Σεισμικά κύματα

- Κατόπιν της θραύσης του φλοιού, παράγονται και ακτινοβολούνται **μηχανικά κύματα** ακουστικής ενέργειας (**μετακίνηση σωματιδίων**):
 - Χώρου
 - Πρωτογενή (P)
 - Δευτερογενή (S)
 - Επιφανειακά
 - Love (L)
 - Rayleigh (R)

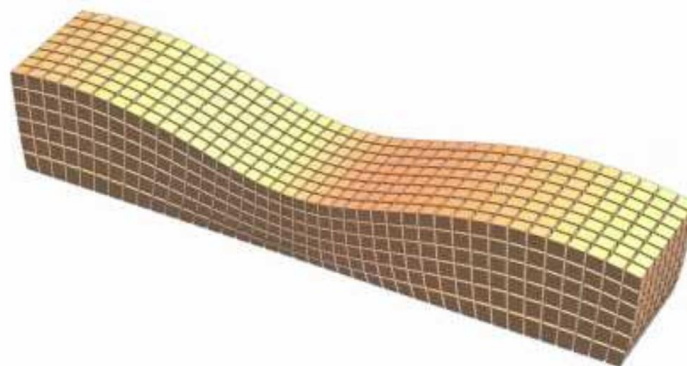
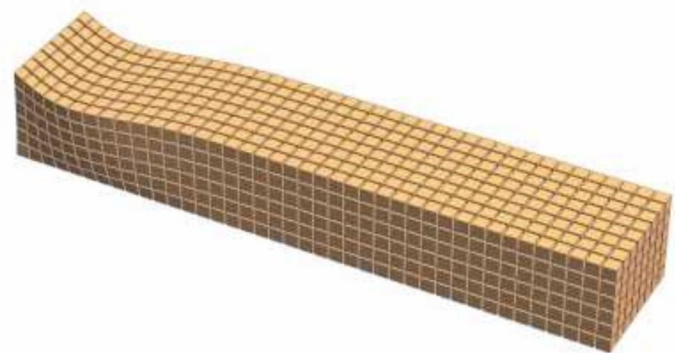
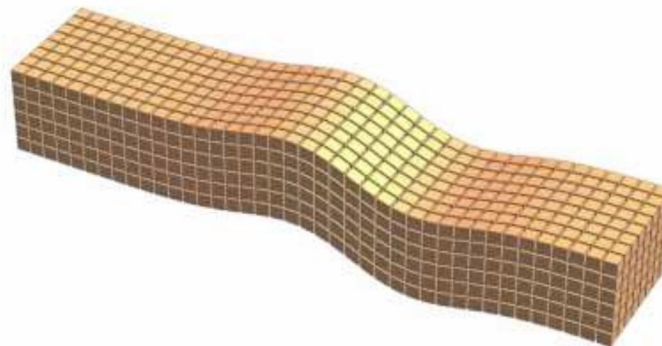
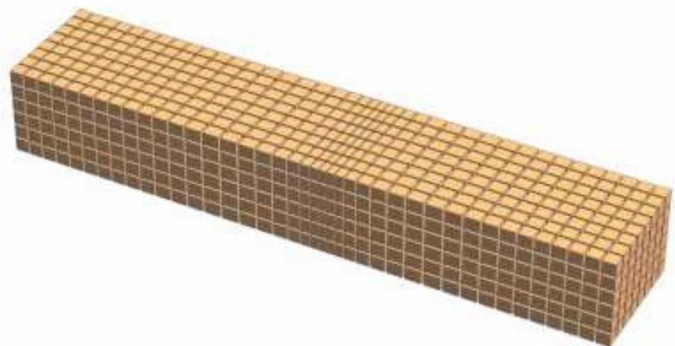


Σεισμικά κύματα

- **Πρωτογενή (P)**
 - Συστολή-διαστολή κατά τη διεύθυνση διάδοσης
- **Δευτερογενή (S)**
 - Διατμητικά (κατακόρυφα ή/και οριζόντια)
- **Love (L)**
 - Διατμητικά οριζόντια, μικρότερο βάθος από τα S
- **Rayleigh (R)**
 - Ελλειπτική τροχιά σε κατακόρυφο επίπεδο



Σεισμικά κύματα



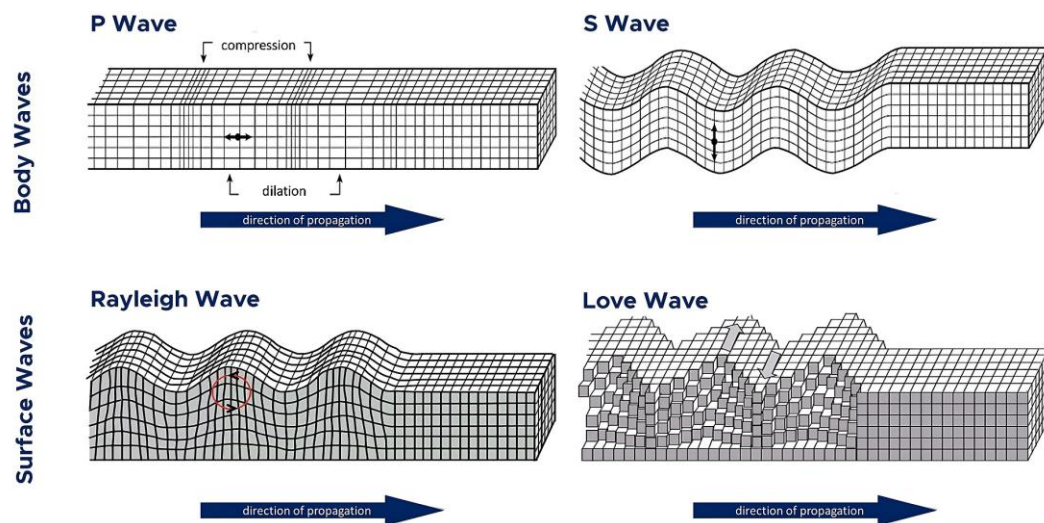
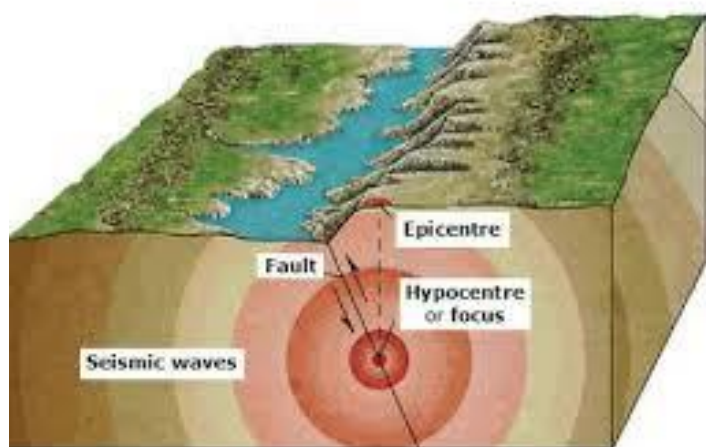
Σεισμικά κύματα

- Οι ιδιότητες των κυμάτων (ταχύτητα διάδοσης, εύρος και περίοδος ταλάντωσης, κλπ.) εξαρτώνται από:
 - Από το ποσό της εκλυόμενης ενέργειας
 - Τις μηχανικές ιδιότητες του μέσου διάδοσης
 - Το εστιακό βάθος
 - ...

$$v_p = \sqrt{E \cdot \frac{c(\nu)}{\rho}}$$

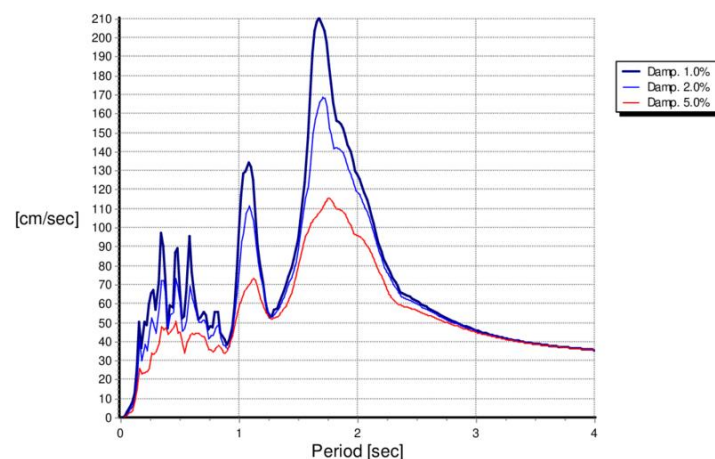
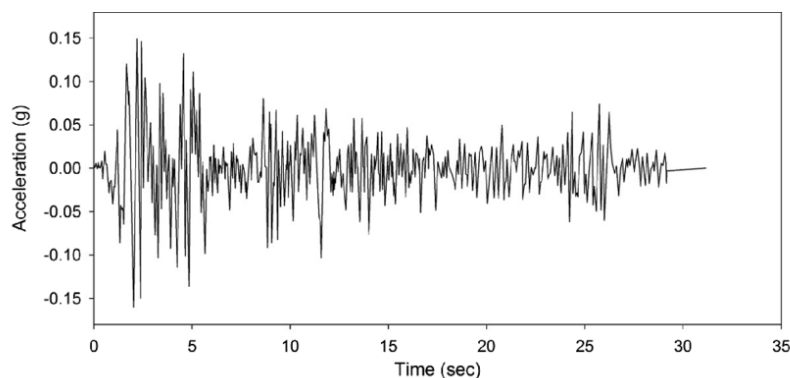
$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

$$c(\nu) = \frac{1 - \nu}{1 - \nu - 2\nu^2}$$



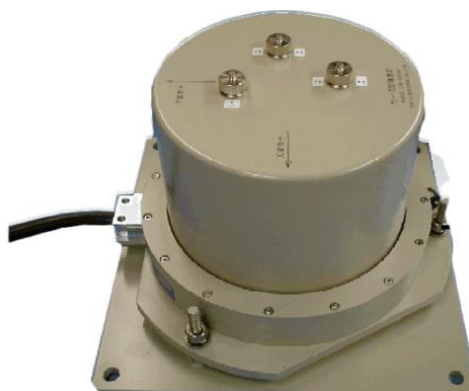
Καταγραφή των σεισμών

- Εδαφικές μετατοπίσεις $u(t)$
- Εδαφικές ταχύτητες $\dot{u}(t)$
- Εδαφικές επιταχύνσεις $\ddot{u}(t)$
- Χρόνοι εμφάνισης και ταχύτητες διάδοσης κυμάτων
- Περιεχόμενο συχνοτήτων T εδαφικών επιταχύνσεων
- Διάρκεια σεισμού t



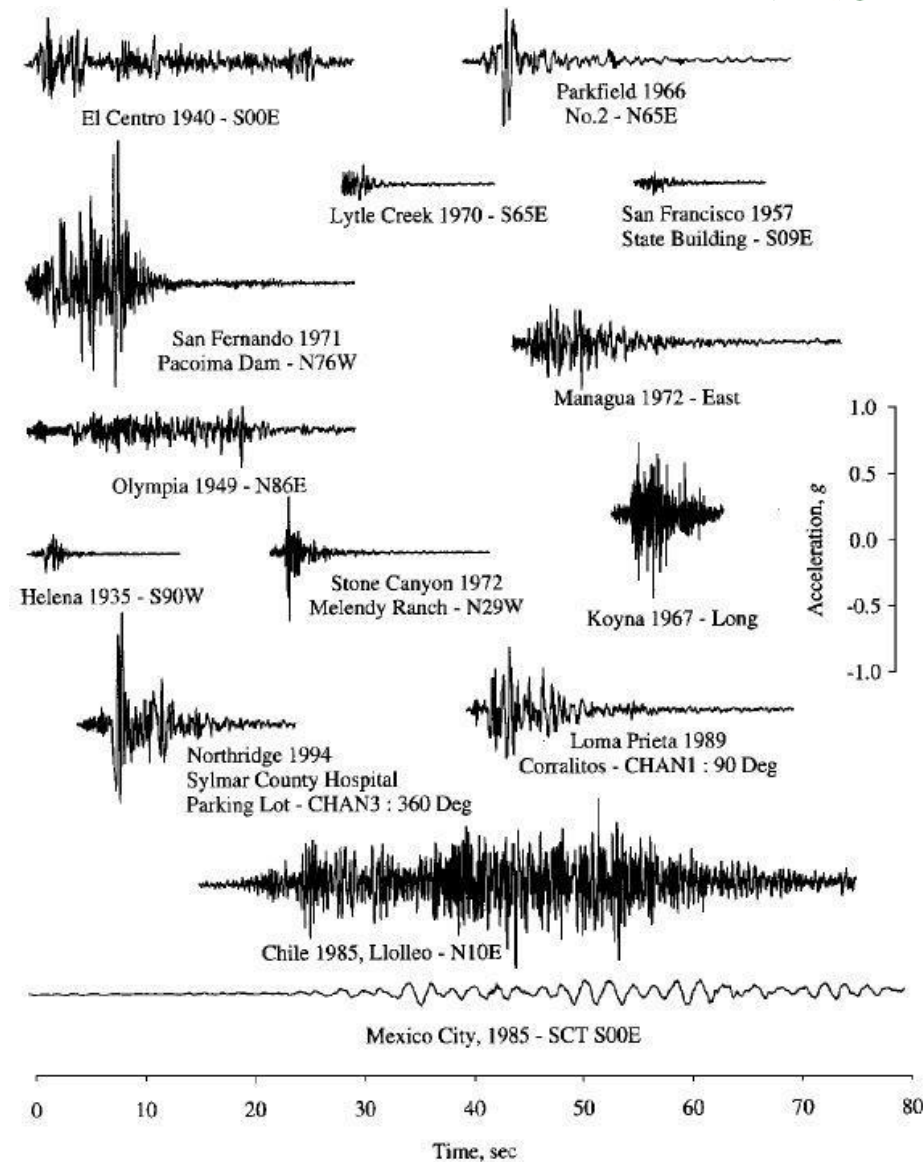
Καταγραφή των σεισμών

- Όργανα μέτρησης (σειсмоγράφοι)
 - Ταχύτητας εδάφους (για ασθενείς σεισμούς)
 - Επιτάχυνσης εδάφους (για ισχυρούς σεισμούς)
- Ιδιότητες οργάνων μέτρησης
 - Μέτρηση σε 3 κατευθύνσεις
 - Αυτόματη ενεργοποίηση καταγραφής
 - Ανθεκτικότητα
 - ...



Σεισμική διέγερση

- Χρονική μεταβολή εδαφικής επιτάχυνσης $\ddot{u}(t)$
 - Ακανόνιστη μεταβολή ως προς t
 - Ποικιλία σε εύρος και διάρκεια



Σεισμικές κλίμακες έντασης

Κλίμακα μεγέθους (Richter)

- Μέτρο ακτινοβολούμενης ενέργειας υπό μορφή ελαστικών κυμάτων

$$M = \frac{2}{3}(\log E - 4.8)$$

E ποσό εστιακής ενέργειας σε Joule.

- Βάσει μετρήσεων επιφανειακών κυμάτων:

$$M_s = \log(A/T)_{\max} + f(\Delta, h) + C_s + C_r$$

A το πλάτος της εδαφικής μετατόπισης σε μm

T η περίοδος κύματος σε s

Δ η απόσταση από το επίκεντρο

h το εστιακό βάθος σε km

C_s, C_r διορθωτικοί συντελεστές

Σεισμικές κλίμακες έντασης

Κλίμακα μεγέθους (Richter)

<i>M</i>	Περιγραφή	Αριθμός ανά έτος
1.0 – 1.9	Μη αισθητός	Συνεχείς
2.0 – 2.9	Καμία ζημιά	1,000,000
3.0 – 3.9	Σπάνια προκαλεί ζημιές	100,000
4.0 – 4.9	Ελαφρές ζημιές	10,000
5.0 – 5.9	Ζημιές σε κτήρια κακής ποιότητας	1,000
6.0 – 6.9	Μέτριες ζημιές σε κτήρια καλής ποιότητας	100
7.0 – 7.9	Ζημιές σε σχεδόν όλα τα κτήρια	10
8.0 – 8.9	Βαριές ζημιές σε κτήρια καλής ποιότητας	1
9.0 – 9.9	Βαριές ζημιές σε όλα τα κτήρια	0.01

Σεισμικές κλίμακες έντασης

Κλίμακα έντασης

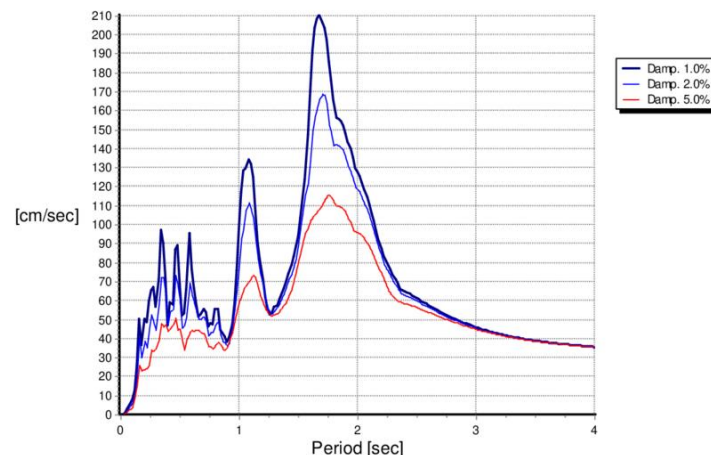
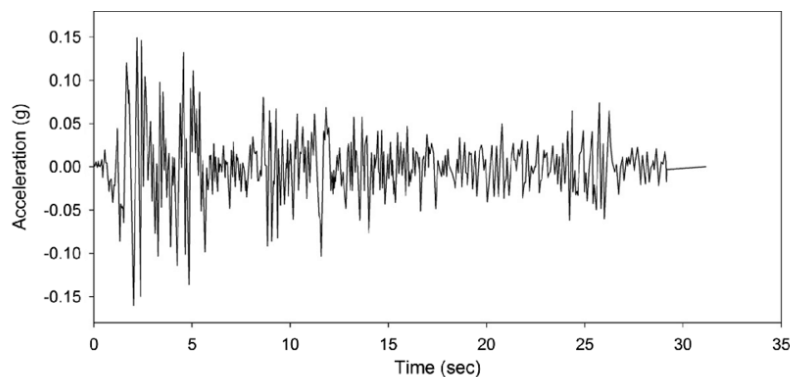
- Η ένταση I είναι το μέτρο του πώς γίνεται αντιληπτός και πόσο καταστροφικός είναι ένας σεισμός

I	Ισχύς	Επίδραση στους ανθρώπους	Επίδραση στα κτήρια
1	Ασήμαντος	Μη αισθητός	-
2	Πολύ ελαφρύς	Ελάχιστα αισθητός	-
3	Ελαφρύς	Αισθητός από άτομα σε ανάπαυση	-
4	Λίγο ισχυρός	Αισθητός εντός κτηρίων	Τρίξιμο τζαμιών
5	Σχεδόν ισχυρός	Αισθητός στην ύπαιθρο, αφύπνιση κοιμώμενων	Ταλάντωση αναρτημένων αντικειμένων
6	Ισχυρός	Πολλοί τρομάζουν	Ελαφρές ζημιές, λεπτές ρωγμές
7	Πολύ ισχυρός	Πολλοί καταφεύγουν στο ύπαιθρο	Αρκετές ζημιές
8	Καταστροφικός	Όλοι τρομάζουν	Βλάβες σε κτήρια, μεγάλες ρηγματώσεις
9	Πολύ καταστροφικός	Πανικός	Γενικές βλάβες
10	Ιδιαίτερα καταστροφικός	Γενικός πανικός	Γενική καταστροφή
11	Καταστροφικός	Γενικός πανικός	Βαριές καταστροφές
12	Γενική καταστροφή	Γενικός πανικός	Καθολική κατάρρευση

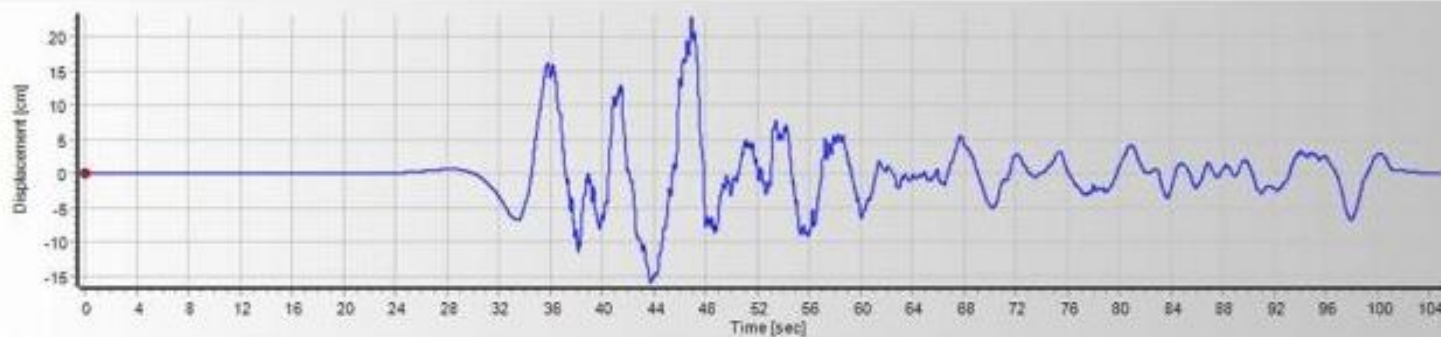
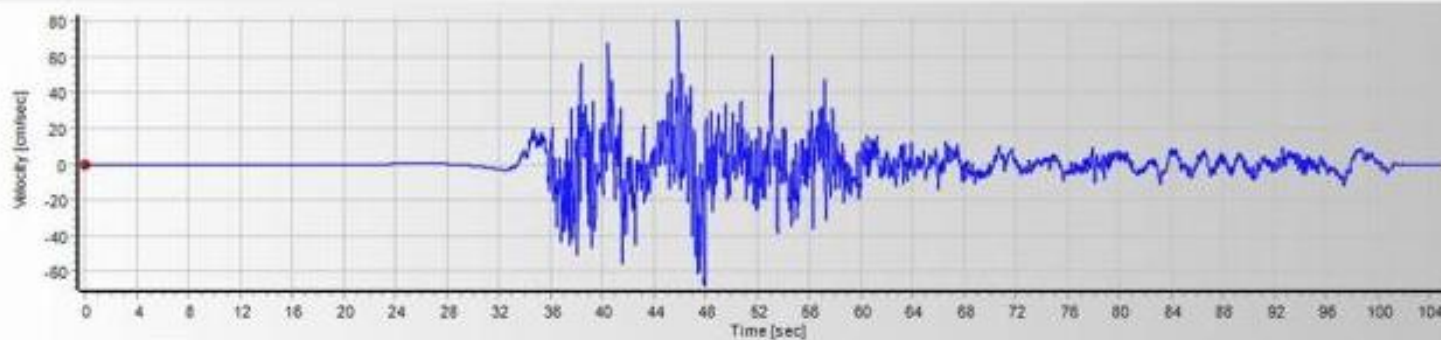
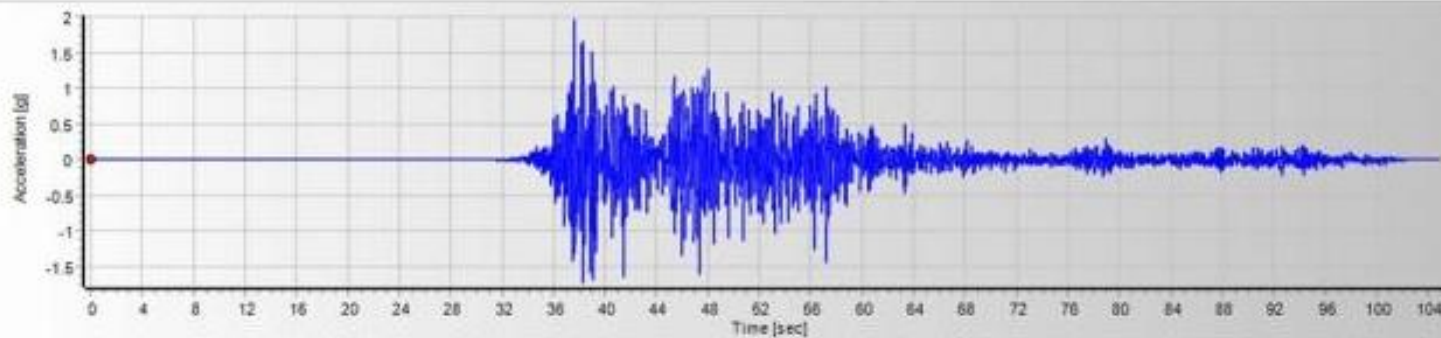
Αξιολόγηση από πλευράς μηχανικού

- 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



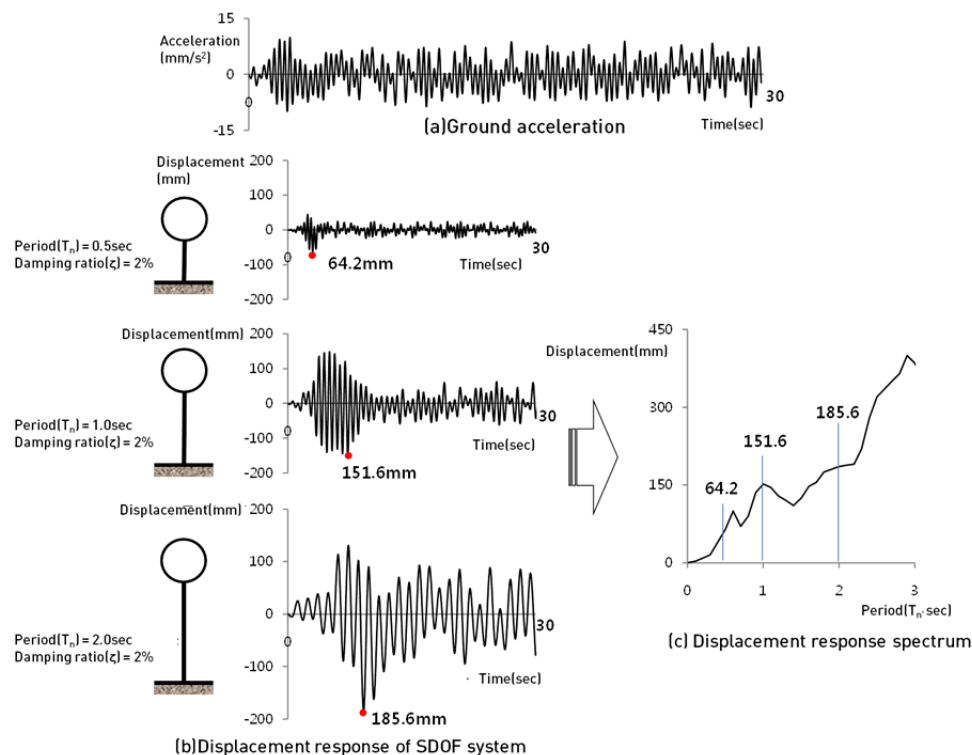
Αξιολόγηση από πλευράς μηχανικού



Φάσμα απόκρισης

Ορισμός

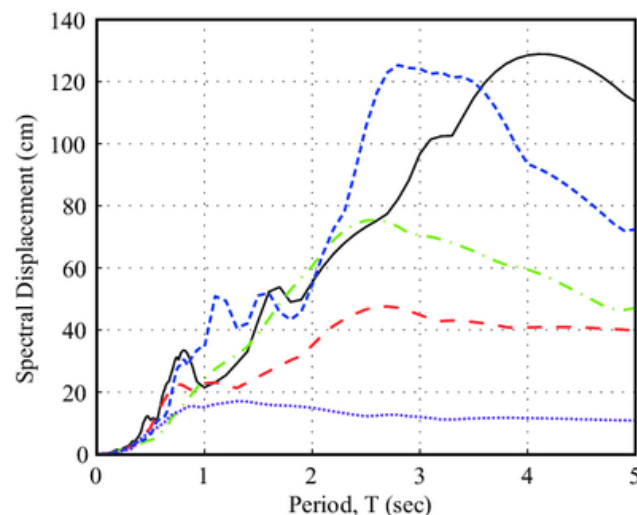
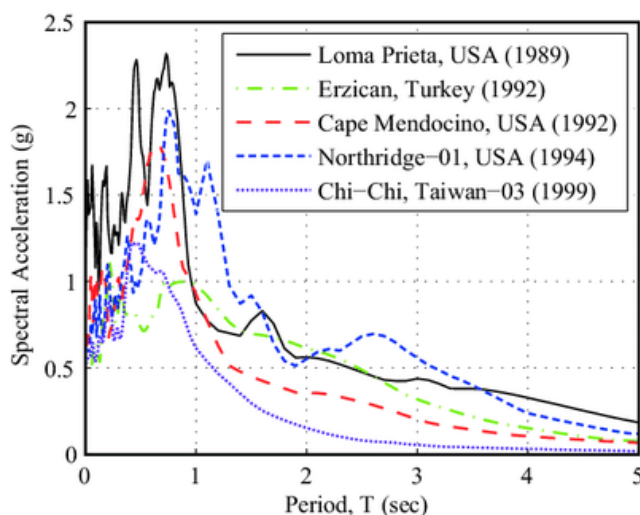
- Γραφική παράσταση της **μέγιστης απόκρισης** (σε όρους μετατόπισης, ταχύτητας ή επιτάχυνσης) μιας σειράς **μονοβάθμιων ταλαντωτών** με διαφορετικές συχνότητες για μία συγκεκριμένη διέγερση βάσης και δεδομένη απόσβεση.



Φάσμα απόκρισης

Διαδικασία εύρεσης

- Θεωρώ πλήθος μονοβάθμιων ταλαντωτών διαφορετικής ιδιοπεριόδου T και ίδιας απόσβεσης ζ
- Εφαρμόζω την ίδια διέγερση στη βάση τους και μετρώ πειραματικά ή υπολογίζω την εξίσωση κίνησης για κάθε ταλαντωτή
- Προσδιορίζω τη μέγιστη απόκριση για κάθε ταλαντωτή



Φάσμα απόκρισης

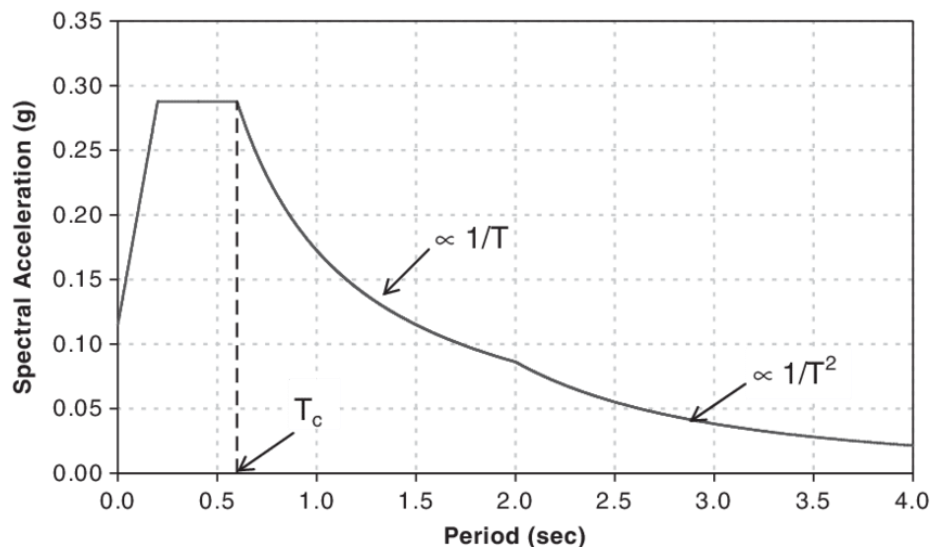
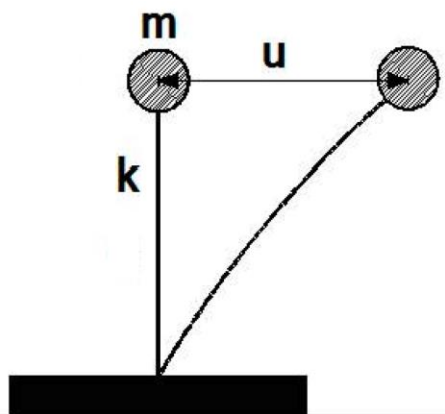
Χαρακτηριστικά και σημασία

- Βασίζεται σε δεδομένα από **καταγεγραμμένα** σεισμικά γεγονότα
- Μέγιστη απόκριση μετατόπισης
 - Ένδειξη της μέγιστης ελαστικής δύναμης $F_{el} = K \cdot u$
- Μέγιστη απόκριση ταχύτητας
 - Ένδειξη της μέγιστης ενέργειας $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \dot{u}$
- Μέγιστη απόκριση επιτάχυνσης
 - Ένδειξη της μέγιστης αδρανειακής δύναμης $F_{in} = m \cdot \ddot{u}$
- Βοηθά στην αξιολόγηση των **καταγεγραμμένων** δονήσεων
- Κρίσιμης σημασίας για τον **αντισεισμικό σχεδιασμό**

Φάσμα απόκρισης

Χαρακτηριστικά και σημασία

- Για τους σκοπούς του αντισεισμικού σχεδιασμού, χρησιμοποιούνται απλοποιημένα φάσματα απόκρισης
- Συνάρτηση
 - Αναμενόμενης μέγιστης επιτάχυνσης
 - Τύπου εδάφους
 - ...

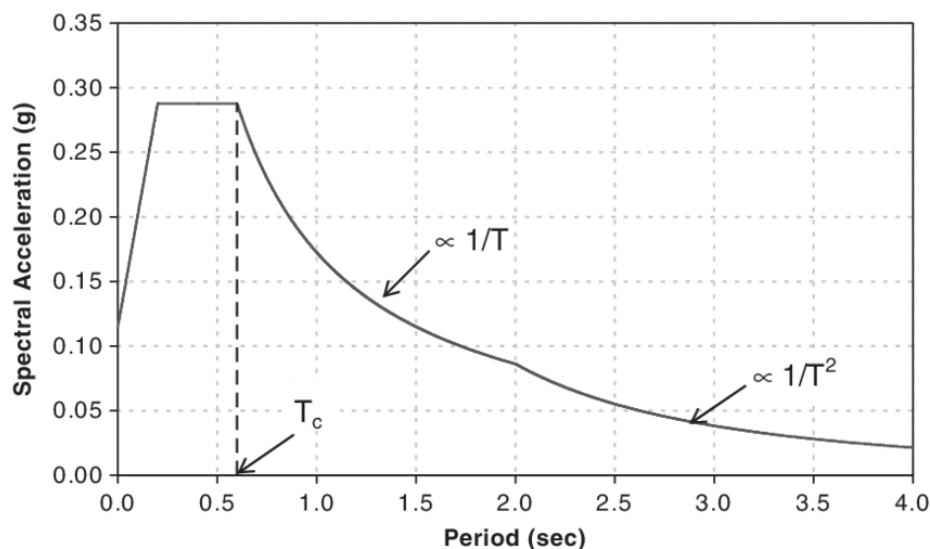
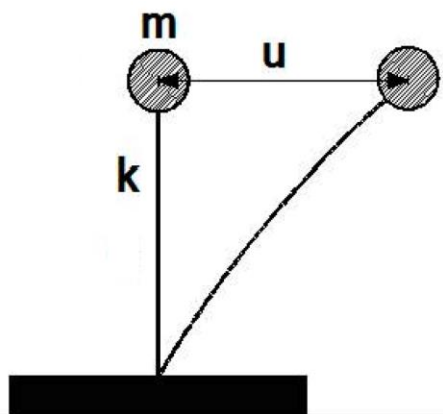


$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$$

Φάσμα απόκρισης

Χαρακτηριστικά και σημασία

- Φάσμα επιτάχυνσης
 - Σε πολύ δύσκαμπτους ταλαντωτές, η απόλυτη επιτάχυνση είναι ίση με την επιτάχυνση του εδάφους
 - Σε πολύ ευκάμπτους ταλαντωτές, η απόλυτη επιτάχυνση είναι μηδενική

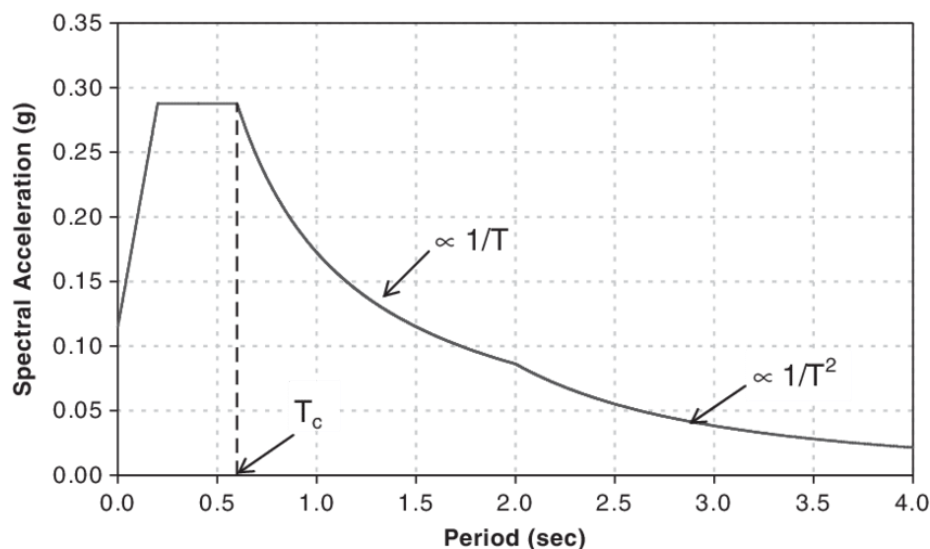
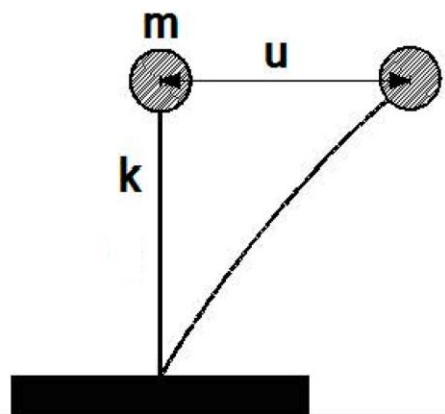


$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$$

Φάσμα απόκρισης

Χαρακτηριστικά και σημασία

- Φάσμα ταχύτητας
 - Σε πολύ δύσκαμπτους ταλαντωτές, εξαφανίζεται η σχετική ταχύτητα
 - Σε πολύ ευκάμπτους ταλαντωτές, η σχετική ταχύτητα είναι ίση με την ταχύτητα του εδάφους

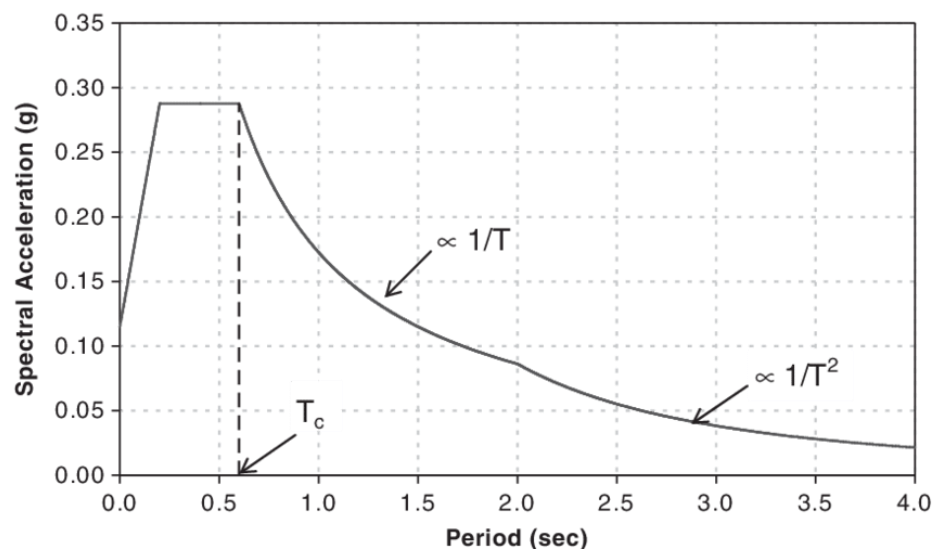
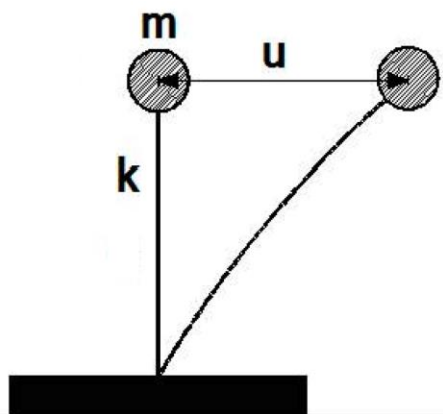


$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$$

Φάσμα απόκρισης

Χαρακτηριστικά και σημασία

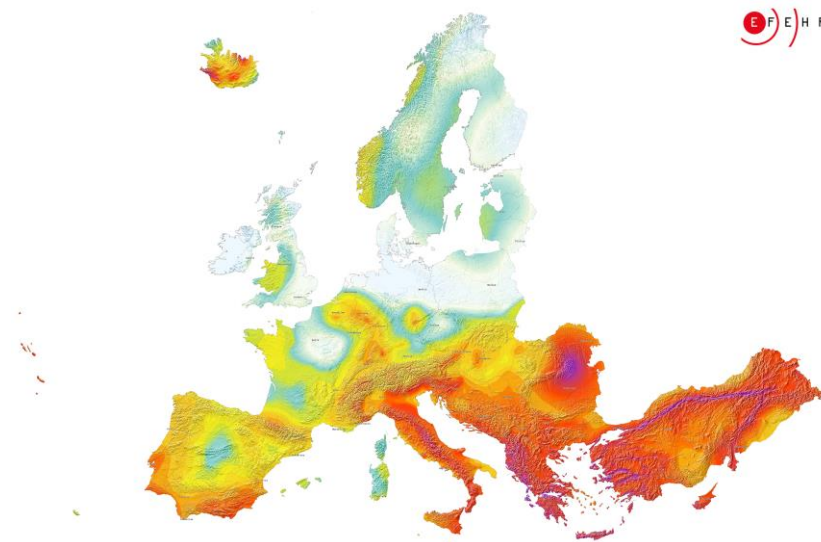
- Φάσμα μετατόπισης
 - Σε πολύ δύσκαμπτους ταλαντωτές, εξαφανίζεται η σχετική μετατόπιση
 - Σε πολύ ευκάμπτους ταλαντωτές, η σχετική μετατόπιση είναι ίση με την μετατόπιση του εδάφους



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

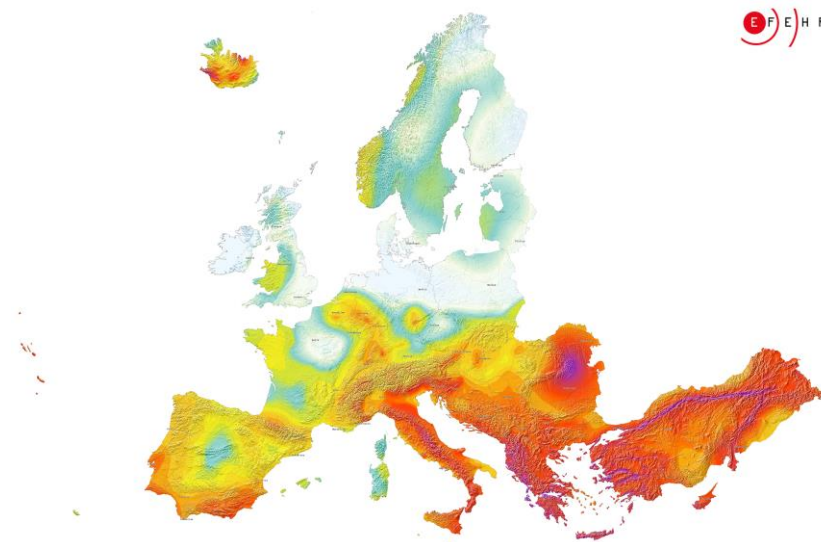
Σεισμική επικινδυνότητα

- Για τον αντισεισμικό σχεδιασμό είναι απαραίτητη η γνώση της **αναμενόμενης εδαφικής κίνησης** λόγω σεισμού
- Όμως, ο σεισμός αποτελεί έντονα **στοχαστικό φαινόμενο**
 - Τυχαία κατανομή εντάσεων μεγεθών και χρόνου εκδήλωσης
- Για τον καθορισμό του σεισμού σχεδιασμού είναι απαραίτητη η **στατιστική επεξεργασία** των υφιστάμενων σεισμικών δεδομένων



Σεισμική επικινδυνότητα

- Η σεισμική επικινδυνότητα εκφράζεται σε όρους **πιθανότητας** εκδήλωσης σεισμού που υπερβαίνει μια δεδομένη τιμή έντασης I ή επιτάχυνσης σε μία δεδομένη γεωγραφική περιοχή εντός δεδομένου χρονικού διαστήματος.
- Με σημείο αφετηρίας κάποια γνωστή σεισμική πηγή (ρήγμα), σχεδιάζονται χάρτες πιθανότητας αστοχίας W για δεδομένη επικεντρική απόσταση I_0 .
 - Η πιθανότητα μειώνεται με αύξηση απόστασης



Σεισμική επικινδυνότητα

- **Περίοδος επαναφοράς:** μέσο χρονικό διάστημα που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο συμβάντων παρόμοιας έντασης
 - 475 χρόνια περιόδου αναφοράς αντιστοιχούν σε πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια.

$$P = 1 - e^{-t/T}$$

P	πιθανότητα υπέρβασης	(10%)
t	χρονική περίοδος ενδιαφέροντος	(50 έτη)
T	περίοδος επαναφοράς	(475 έτη)

