

Αντισεισμικές Κατασκευές

Σεισμική απόκριση πολυβάθμιων συστημάτων



ΑΣΠΑΙΤΕ

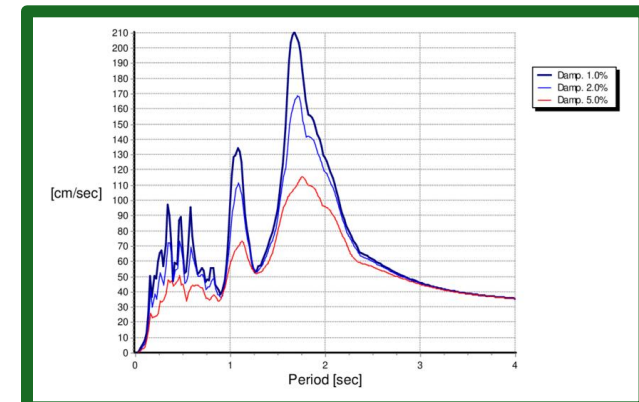
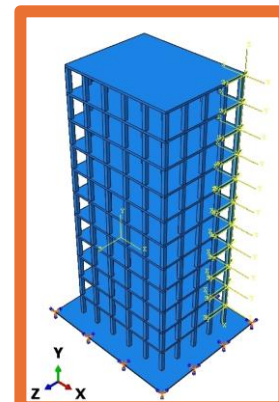
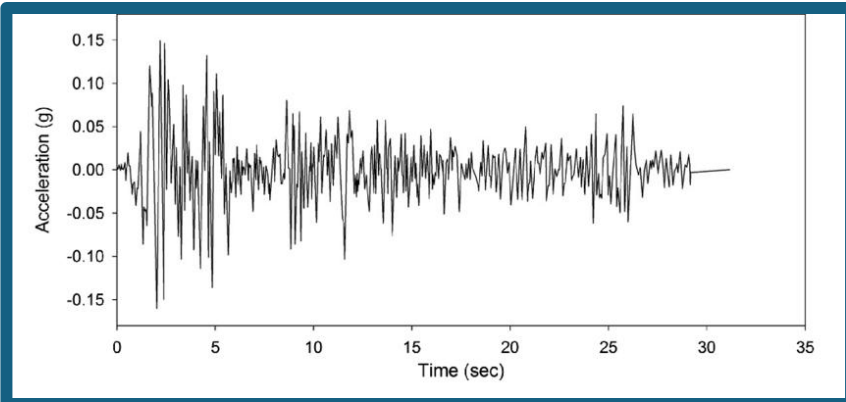
Πολυβάθμια συστήματα υπό σεισμική φόρτιση

- Σκοπός

- Προσδιορισμός εντατικών μεγεθών μελών κατασκευής λόγω σεισμικής διέγερσης

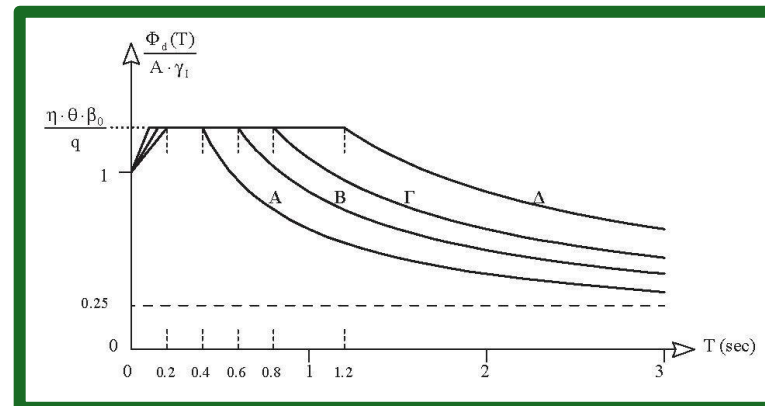
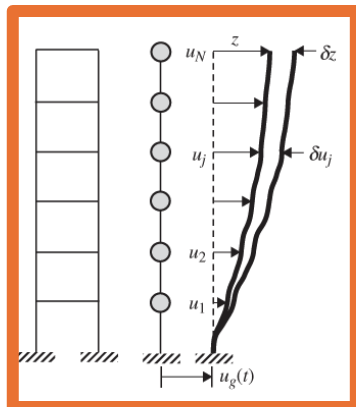
- Εμπόδια

- Πολυπλοκότητα και αβεβαιότητα σεισμικών φορτίων
- Πολλαπλοί βαθμοί ελευθερίας
- Δυναμική αλληλεπίδραση κατασκευής – σεισμού



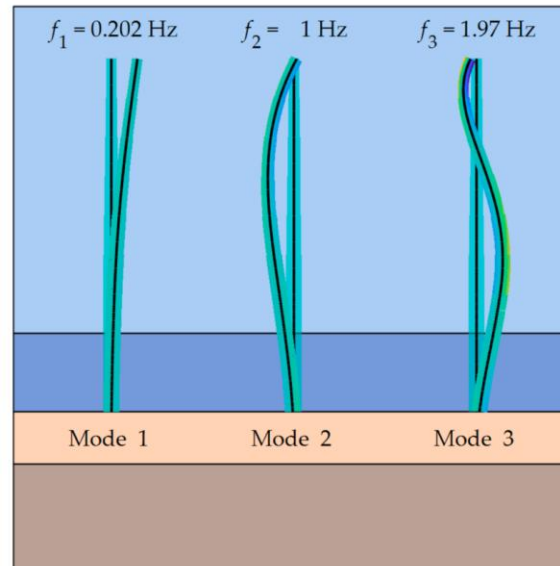
Μέθοδοι υπολογισμού κατά ΕΑΚ

- Προβλέπεται η εφαρμογή των παρακάτω μεθόδων
 - Δυναμική φασματική μέθοδος
 - Απλοποιημένη φασματική μέθοδος (ισοδύναμη στατική μέθοδος)
- Σε ειδικές περιπτώσεις επιτρέπεται συμπληρωματικά
 - Εν χρόνω ολοκλήρωση εξισώσεων κίνησης με χρήση καταγραφών σεισμών



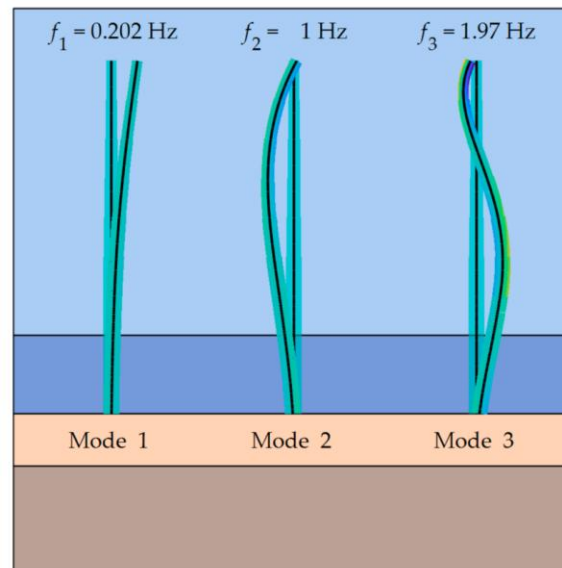
Ιδιομορφές κατασκευής

- Συνιστούν τους **τρόπους ταλάντωσης** μιας κατασκευής υποβαλλόμενης σε δυναμική φόρτιση
- Κάθε ιδιομορφή χαρακτηρίζεται από **διαφορετική συχνότητα ταλάντωσης**
- Η συνολική ταλάντωση μιας κατασκευής προκύπτει από **υπέρθεση** των ιδιομορφών της



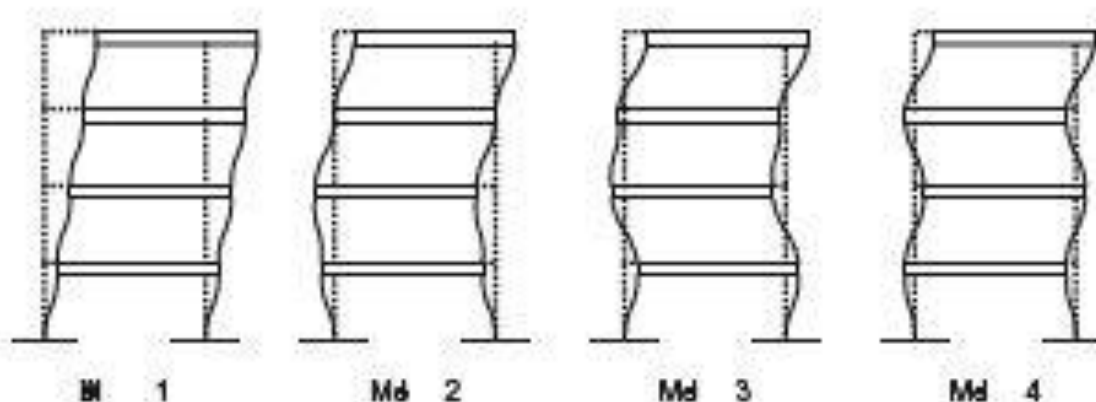
Δυναμική φασματική μέθοδος

- Περιλαμβάνει:
 - **Ιδιομορφική ανάλυση** του συστήματος (ιδιοπερίοδοι και ιδιομορφές)
 - Υπολογισμό **μέγιστης σεισμικής απόκρισης** (μέσω φάσματος σχεδιασμού) για κάθε ιδιομορφή
 - **Επαλληλία** μέγιστων ιδιομορφικών αποκρίσεων



Δυναμική φασματική μέθοδος – Ιδιομορφική ανάλυση

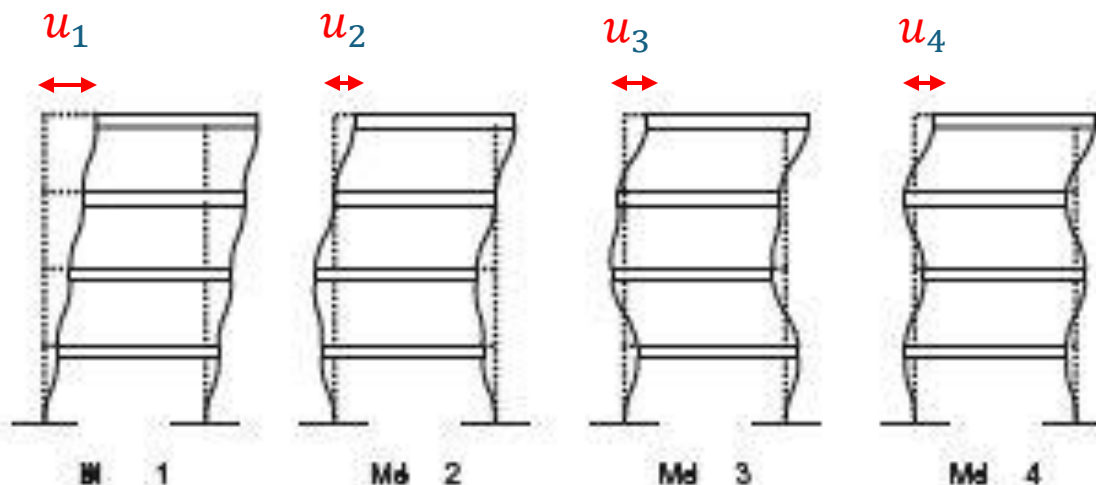
- Προσδιορισμός **ιδιοσυχνοτήτων** και **ιδιομορφών** κατασκευής
- Η απόκριση της κατασκευής σε μια δυναμική φόρτιση προκύπτει από **επαλληλία ταλαντώσεων** δεδομένης μορφής και μεγέθους



Δυναμική φασματική μέθοδος – Επαλληλία μεγεθών

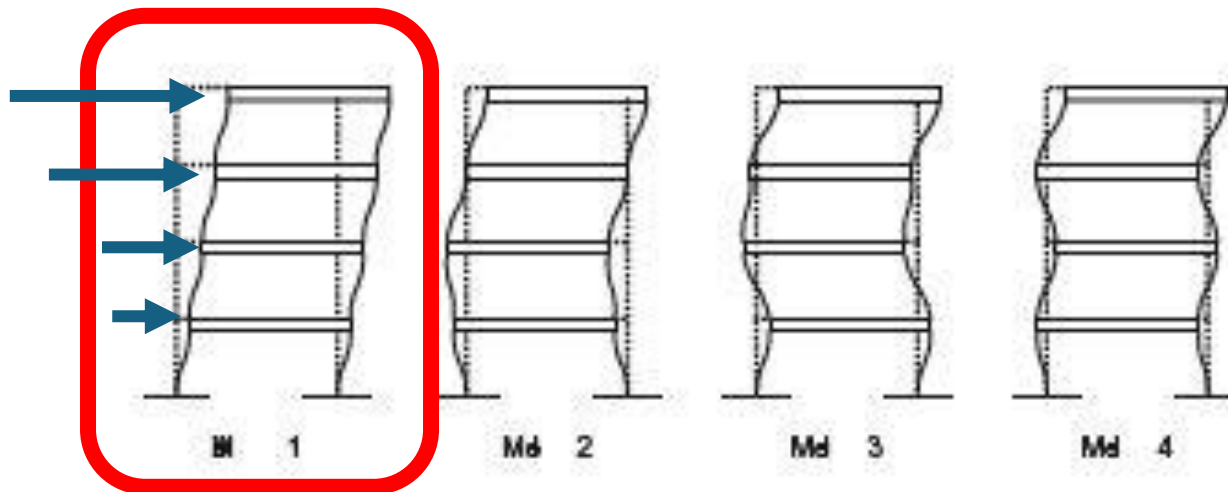
- Η επαλληλία κάθε εντατικού μεγέθους ή μετατόπισης **A** που προκύπτει από κάθε ιδιομορφή **i** αποσκοπεί στην στατιστική εύρεση της μέγιστης απόκρισης της κατασκευής
- Πραγματοποιείται μέσω **τετραγωνικής επαλληλίας**:

$$\max(A) = \sqrt{\sum_i A_i^2}$$



Απλοποιημένη φασματική μέθοδος

- Προκύπτει από τη δυναμική φασματική μέθοδο με **προσεγγιστική θεώρηση** μόνο της **θεμελιώδους ιδιομορφής**
- Υπολογίζονται **“ισοδύναμα” στατικά φορτία** που προκύπτουν από το φάσμα σχεδιασμού και εφαρμόζονται στις στάθμες των ορόφων



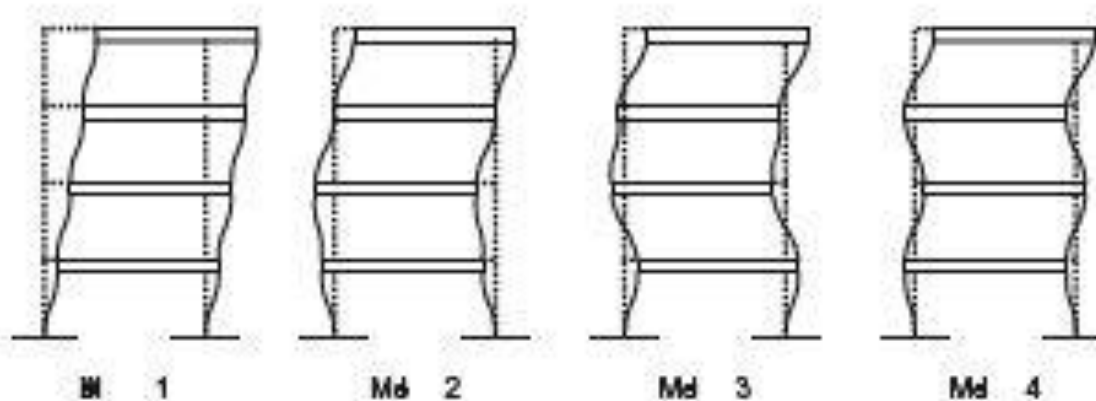
Απλοποιημένη φασματική μέθοδος

- Η εφαρμογή της επιτρέπεται σε

- Κανονικά κτήρια έως 10 ορόφων
- Μη κανονικά κτήρια έως 5 ορόφων με διαφραγματική λειτουργία

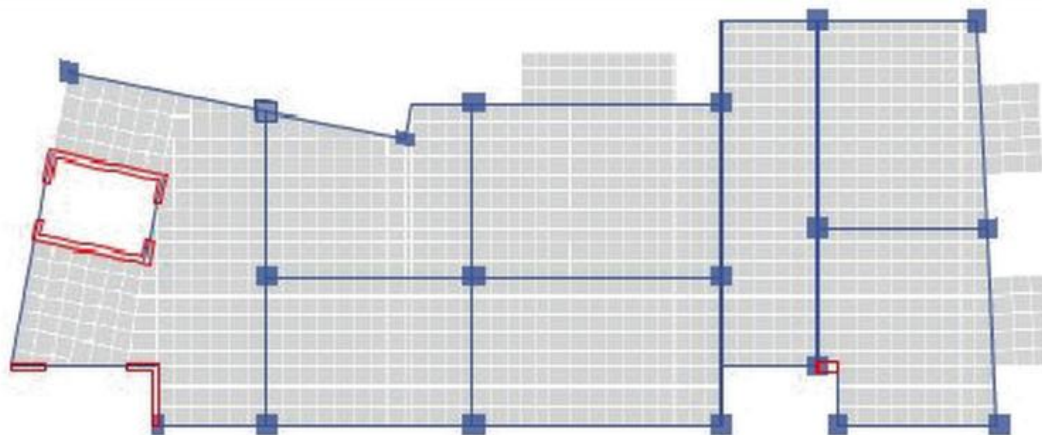
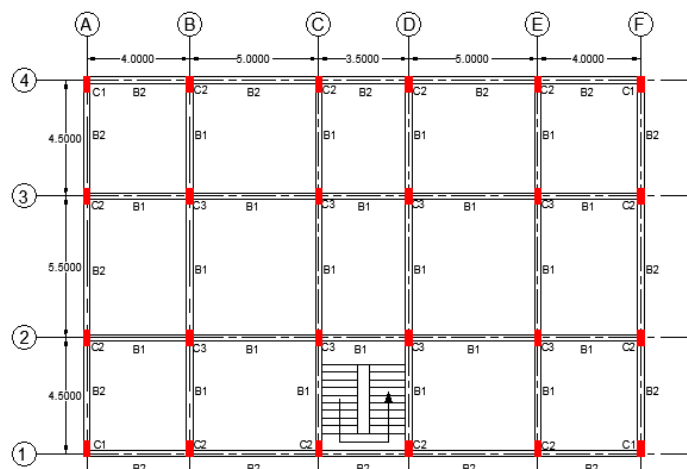
- Εξαιρούνται

- Κτήρια Σπουδαιότητας Σ4 άνω των 2 ορόφων
- Κτήρια Σπουδαιότητας Σ3 άνω των 2 ορόφων σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II και III



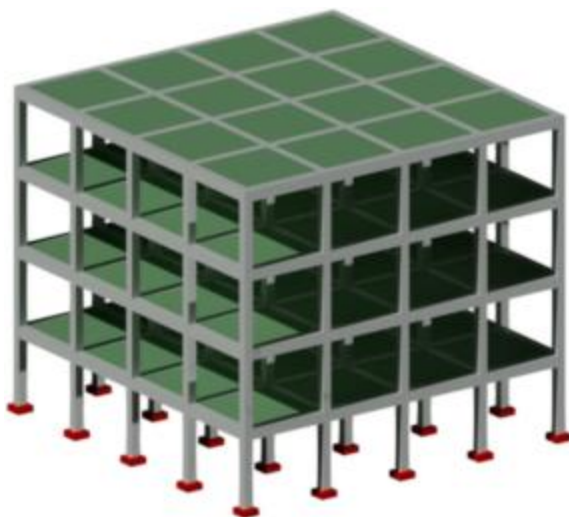
Κανονικότητα κτηρίων

- Νοείται ως η **ομοιομορφία** της **κατανομής** της **μάζας** και της **δυσκαμψίας** του κτηρίου σε **κάτοψη** και **καθ' ύψος**
- Επιπλέον, είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται η **διαφραγματική λειτουργία** στις στάθμες των ορόφων από δύσκαμπτες εντός του επιπέδου τους πλάκες



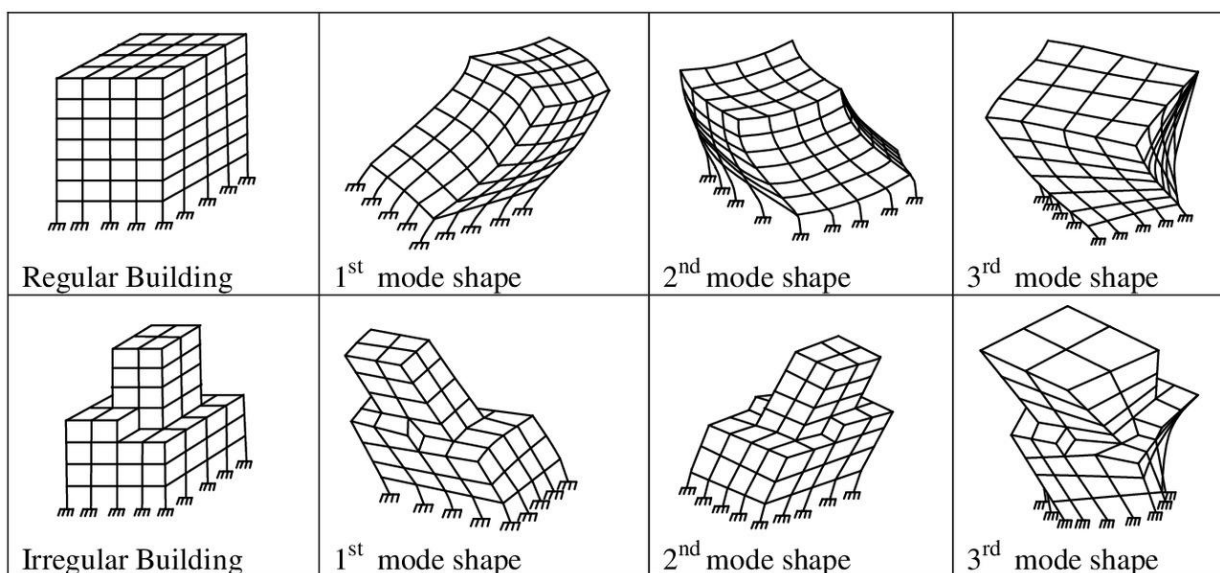
Κανονικότητα κτηρίων

- Νοείται ως η **ομοιομορφία** της **κατανομής** της **μάζας** και της **δυσκαμψίας** του κτηρίου σε **κάτοψη** και **καθ' ύψος**
- Επιπλέον, είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται η **διαφραγματική λειτουργία** στις στάθμες των ορόφων από δύσκαμπτες εντός του επιπέδου τους πλάκες



Κανονικότητα κτηρίων

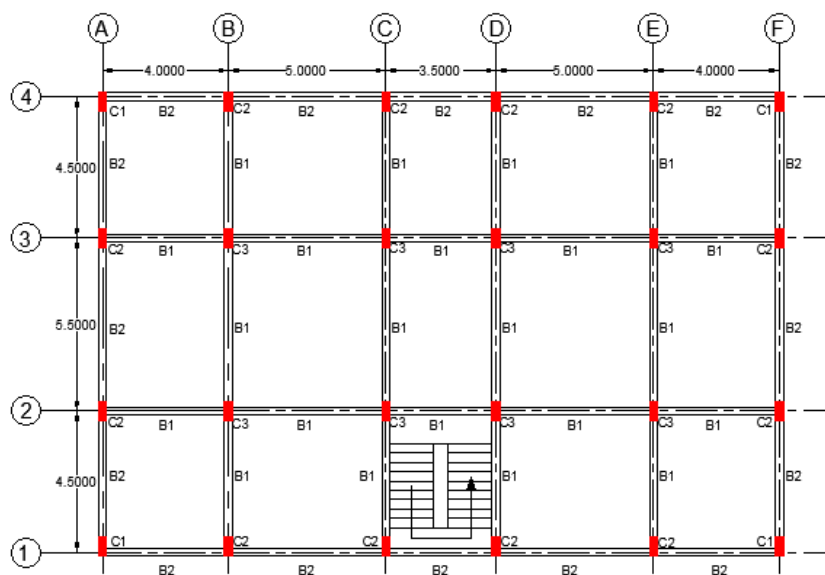
- Νοείται ως η **ομοιομορφία** της **κατανομής** της **μάζας** και της **δυσκαμψίας** του κτηρίου σε **κάτοψη** και **καθ' ύψος**
- Επιπλέον, είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται η **διαφραγματική λειτουργία** στις στάθμες των ορόφων από δύσκαμπτες εντός του επιπέδου τους πλάκες



Κανονικότητα κτηρίων – Απαιτήσεις

- Πατώματα

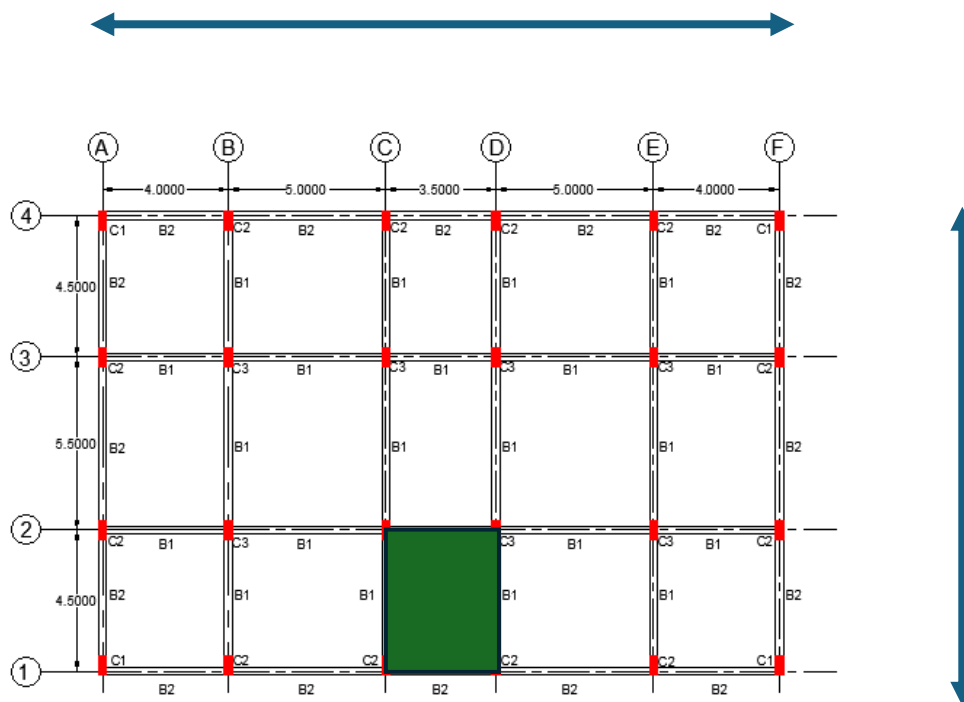
- Λόγος πλευρών κάτοψης $l_{\max}/l_{\min} \leq 4$
- Κενά στις πλάκες $\leq 35\%$ της κάτοψης



Κανονικότητα κτηρίων – Απαιτήσεις

- Πατώματα

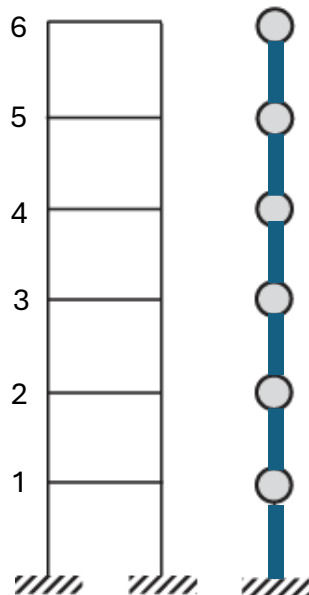
- Λόγος πλευρών κάτοψης $l_{\max}/l_{\min} \leq 4$
- Κενά στις πλάκες $\leq 35\%$ της κάτοψης



Κανονικότητα κτηρίων – Απαιτήσεις

- **Δυσκαμψία**

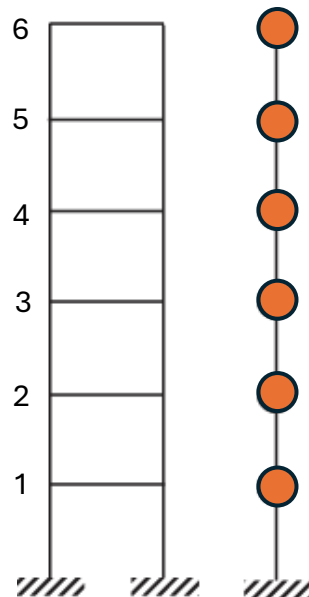
- Η αύξηση ή μείωση $\Delta K_i = K_{i+1} - K_i$ της σχετικής δυσκαμψίας σε κάθε οριζόντια διεύθυνση μεταξύ δύο ορόφων i και $i + 1$ δεν υπερβαίνει τις τιμές $0.35 \cdot K_i$ και $0.50 \cdot K_i$ αντίστοιχα.
- Ως **δυσκαμψία του ορόφου** θα λαμβάνεται **το άθροισμα των σχετικών δυσκαμψιών** ($\sum E \cdot I / h$) των κατακορύφων στοιχείων.



Κανονικότητα κτηρίων – Απαιτήσεις

- Μάζα

- Η αύξηση ή μείωση $\Delta m_i = m_{i+1} - m_i$ της μάζας μεταξύ δύο ορόφων i και $i + 1$ δεν υπερβαίνει τις τιμές $0.35 \cdot m_i$ και $0.50 \cdot m_i$ αντίστοιχα.
- Εξαιρείται ο ανώτατος όροφος και τυχόν απόληξη κλιμακостаσίου.



Ισοδύναμα στατικά φορτία

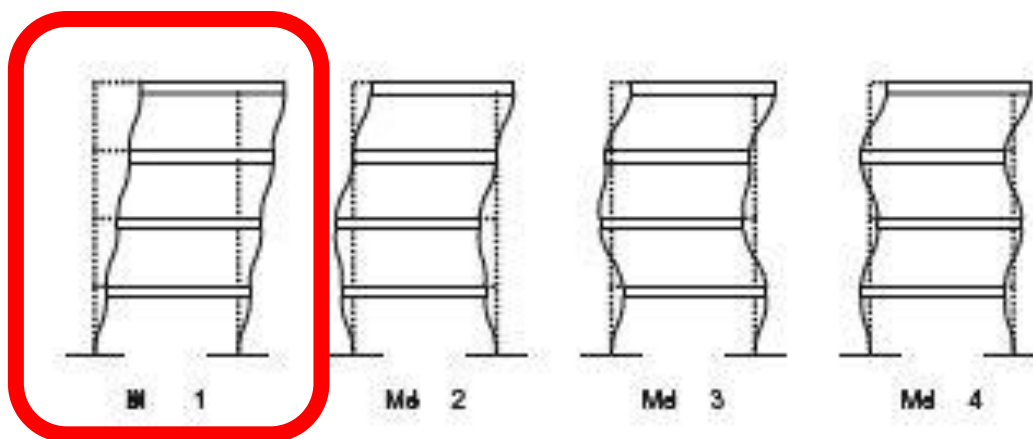
- Για κάθε κύρια διεύθυνση του κτηρίου, το συνολικό μέγεθος των σεισμικών φορτίων (**τέμνουσα βάση**) υπολογίζεται από τη σχέση

$$V_0 = M \cdot \Phi_d(T)$$

M η συνολική **ταλαντούμενη μάζα** του κτηρίου

$\Phi_d(T)$ η τιμή της **φασματικής επιτάχυνσης** σχεδιασμού

T η **θεμελιώδης ιδιοπερίοδος** ταλάντωσης κατά τη θεωρούμενη κύρια διεύθυνση.



Ισοδύναμα στατικά φορτία

- Γενικά η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος προσδιορίζεται υπολογιστικά
- Σε κτήρια **ορθογωνικής κάτοψης**, επιτρέπεται η εφαρμογή **εμπειρικού τύπου** για τον υπολογισμό της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου

$$T = \frac{0.09H}{\sqrt{L}} \sqrt{\frac{H}{H + \rho \cdot L}}$$

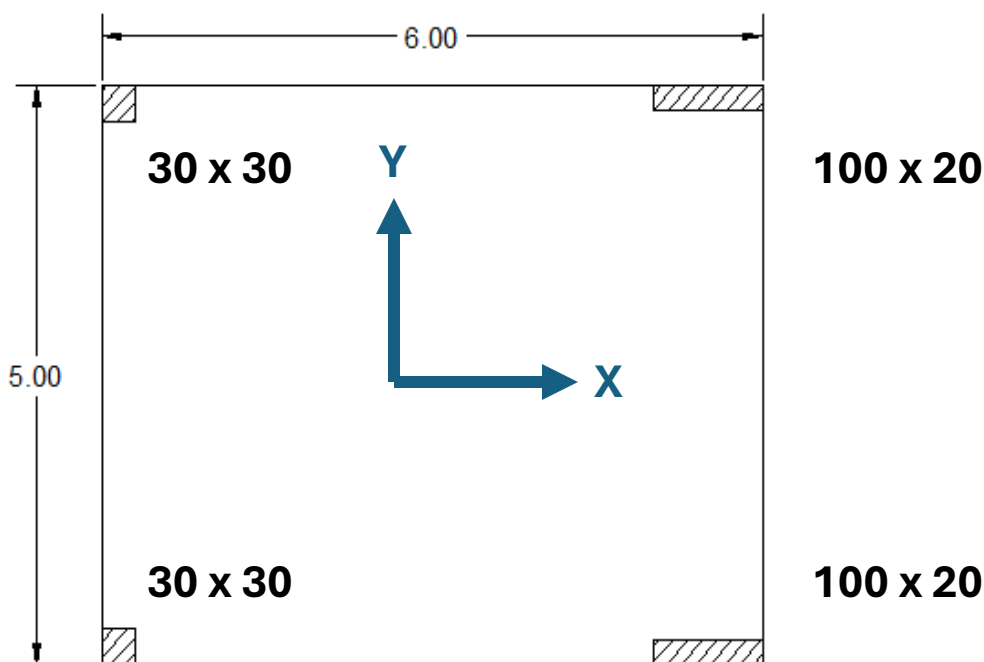
H το **ύψος** του κτηρίου

L το **μήκος** του κτηρίου στη θεωρούμενη διεύθυνση

ρ ο **λόγος της επιφάνειας των διατομών των τοιχωμάτων** προσανατολισμένων στη θεωρούμενη διεύθυνση προς τη συνολική επιφάνεια των κατακορύφων στοιχείων

Ισοδύναμα στατικά φορτία

ρ ο λόγος της επιφάνειας των διατομών των τοιχωμάτων προσανατολισμένων στη θεωρούμενη διεύθυνση προς τη συνολική επιφάνεια των κατακορύφων στοιχείων



Συνολική επιφάνεια

$$2 \times 30 \times 30 + 2 \times 100 \times 20 = 5800 \text{ cm}^2$$

Επιφάνεια τοιχωμάτων κατά X

$$2 \times 100 \times 20 = 4000 \text{ cm}^2$$

Επιφάνεια τοιχωμάτων κατά Y

$$0 \text{ cm}^2$$

$$\rho_x = 4000/5800$$

$$\rho_y = 0/5800$$

Καθ' ύψος κατανομή φορτίων

- Η καθ' ύψος κατανομή των σεισμικών φορτίων F_i σε κάθε στάθμη i γίνεται σύμφωνα με τη σχέση

$$F_i = (V_0 - V_H) \frac{m_i \cdot \phi_i}{\sum m_i \cdot \phi_i}$$

m_i η μάζα της στάθμης i

ϕ_i η συνιστώσα της θεμελιώδους ιδιομορφής στη στάθμη i

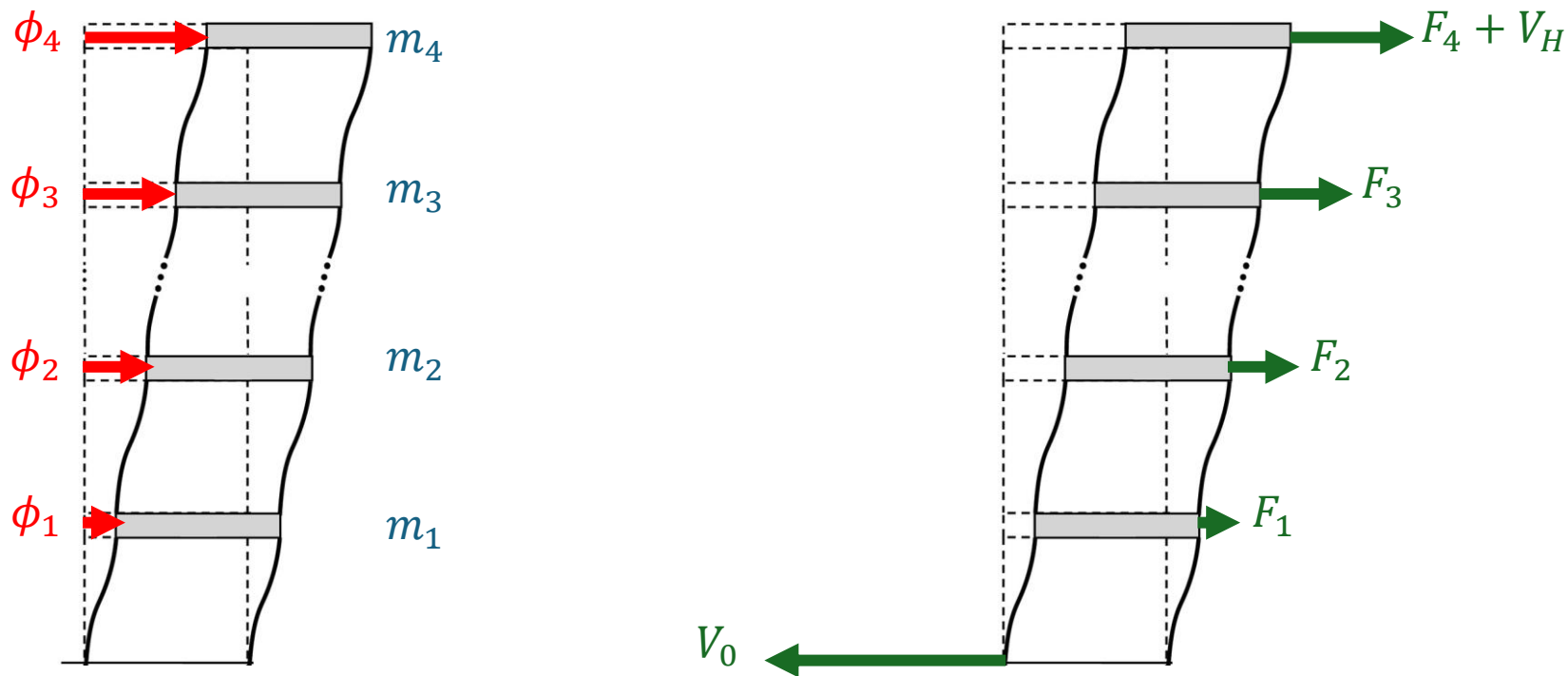
V_H πρόσθετη δύναμη που εφαρμόζεται στην κορυφή του κτηρίου όταν $T \geq 1.0$ s

$$V_H = 0.07 \cdot T \cdot V_0 \leq 0.25 \cdot V_0$$

Η πρόσθετη δύναμη V_H καλύπτει την αυξημένη τέμνουσα που εμφανίζεται ανώτερους ορόφους των εύκαμπτων κτηρίων.

Καθ' ύψος κατανομή φορτίων

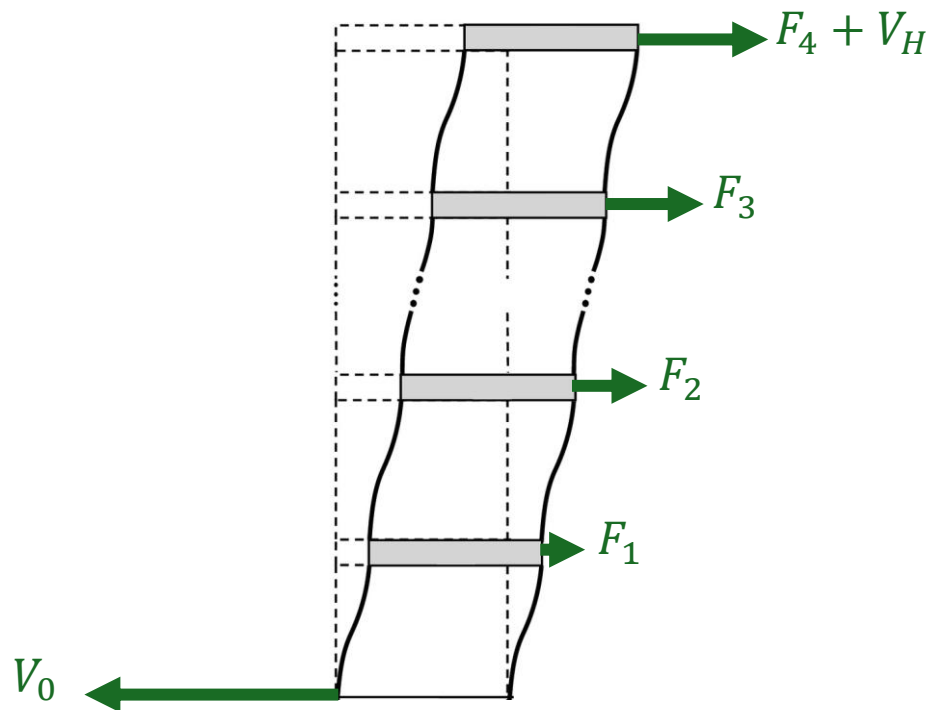
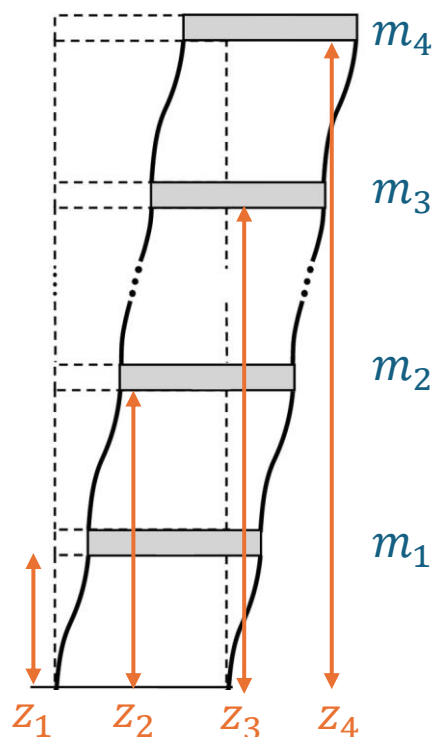
$$F_i = (V_0 - V_H) \frac{m_i \cdot \phi_i}{\sum m_i \cdot \phi_i}$$



Καθ' ύψος κατανομή φορτίων

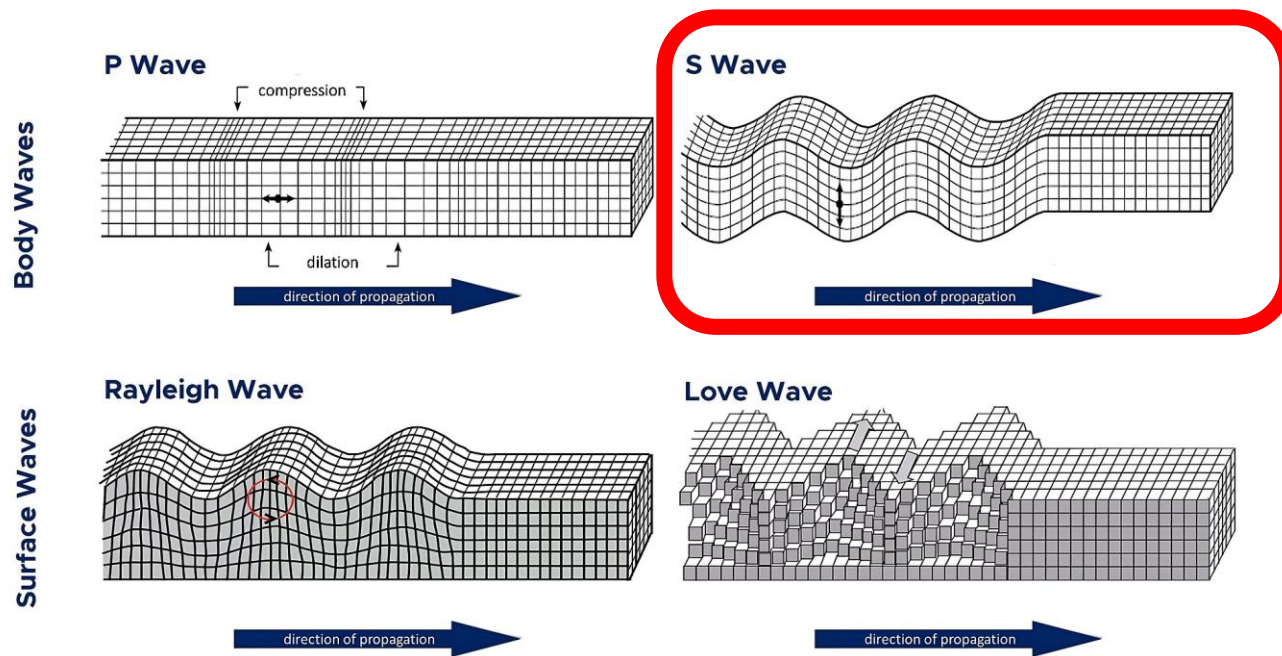
Εναλλακτικά, σε **κανονικά κτήρια** επιτρέπεται η κατανομή φορτίων να γίνεται σύμφωνα με τη σχέση

$$F_i = (V_0 - V_H) \frac{m_i \cdot z_i}{\sum m_i \cdot z_i}$$



Κατακόρυφη σεισμική διέγερση

- Γενικώς επιτρέπεται να παραλείπεται η **κατακόρυφη συνιστώσα** του σεισμού, με εξαίρεση την περίπτωση φορέων από προεντεταμένο σκυρόδεμα.
- Θεωρείται πως η επιρροή της κατακόρυφης συνιστώσας καλύπτεται από το συνδυασμό δράσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας χωρίς σεισμό ($1.35 \cdot G + 1.50 \cdot Q$)



Χωρική επαλληλία σεισμών διαφορετικών διευθύνσεων

- Για **ταυτόχρονη** δράση οριζόντιων σεισμικών φορτίων κατά τις διευθύνσεις x και y , οι **πιθανές ακραίες τιμές** exA ενός μεγέθους απόκρισης A είναι ίσες με

$$exA = \pm \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

- Εναλλακτικά, επιτρέπεται η διαστασιολόγηση με τον δυσμενέστερο από τους επόμενους συνδυασμούς φορτίσεων

$$F = \pm 1.0 \cdot F_x \pm 0.3 \cdot F_y$$
$$F = \pm 0.3 \cdot F_x \pm 1.0 \cdot F_y$$

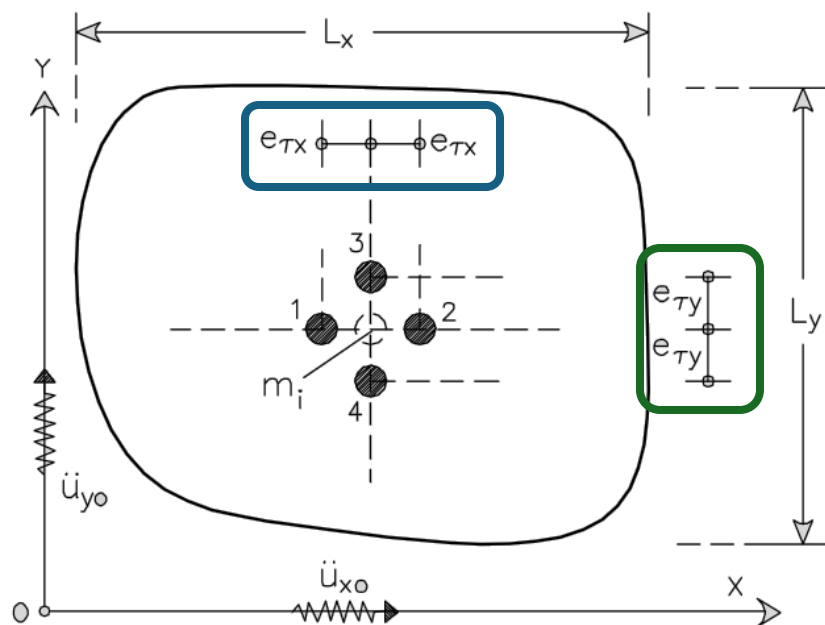
Τυχηματική εκκεντρότητα

- Οι οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις ασκούνται στο κέντρο βάρους (**κ.β.**) του κάθε ορόφου.
- Λόγω πιθανής ανομοιομορφίας στην πραγματική κατανομή των φορτίων, η πραγματική θέση του **κ.β.** πιθανώς να είναι διαφορετική από την υπολογισμένη.
- Για αυτό το λόγο, πραγματοποιείται σειρά αναλύσεων με τα οριζόντια σεισμικά φορτία να ασκούνται σε θέσεις μετατοπισμένες από το **κ.β.** κατά μία τυχηματική εκκεντρότητα.

Τυχηματική εκκεντρότητα

$$e_{tx} = 0.05 \cdot L_x$$

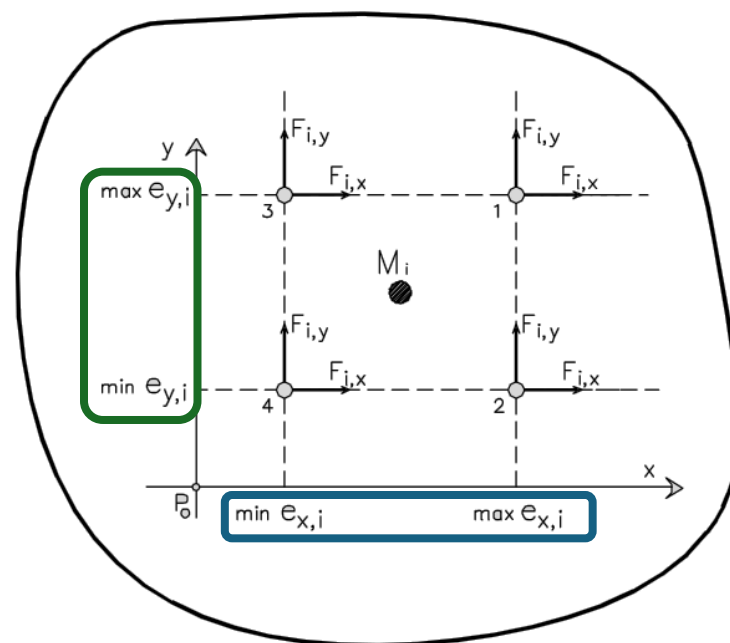
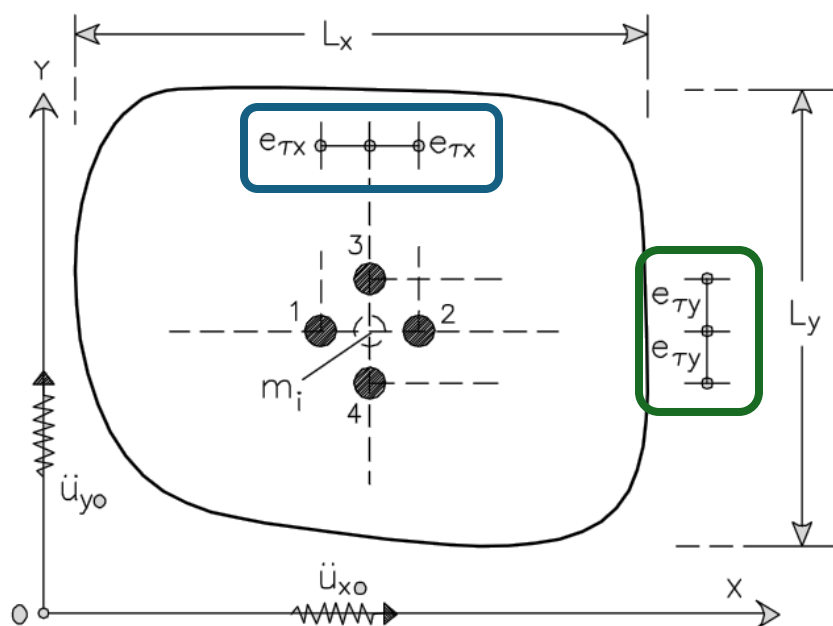
$$e_{ty} = 0.05 \cdot L_y$$



Χωρική επαλληλία + τυχηματική εκκεντρότητα

$$F = \pm 1.0 \cdot F_x \pm 0.3 \cdot F_y$$

$$F = \pm 0.3 \cdot F_x \pm 1.0 \cdot F_y$$



Χωρική επαλληλία + τυχηματική εκκεντρότητα

$$F = \pm 1.0 \cdot F_x \pm 0.3 \cdot F_y$$

$$F = \pm 0.3 \cdot F_x \pm 1.0 \cdot F_y$$

$$F_1 = +1.0 \cdot F_x + 0.3 \cdot F_y = -F_5$$

$$F_2 = +1.0 \cdot F_x - 0.3 \cdot F_y = -F_6$$

$$F_3 = +0.3 \cdot F_x + 1.0 \cdot F_y = -F_7$$

$$F_4 = -0.3 \cdot F_x + 1.0 \cdot F_y = -F_8$$

