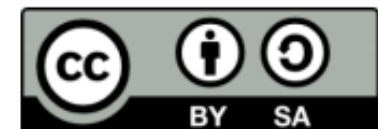




# ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΕ ΗΥ

## Ενότητα 3: Λεπτομέρειες προσομοίωσης δομικών στοιχείων

Διδάσκων: Κίρτας Εμμανουήλ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# Ενότητα 3

---

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΕ ΗΥ

*Διδάσκων: Κίρτας Εμμανουήλ*

# Περιεχόμενα ενότητας

---

1. Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

# Σκοποί ενότητας

---

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Παραδοχές και απλοποιήσεις κατά την προσομοίωση

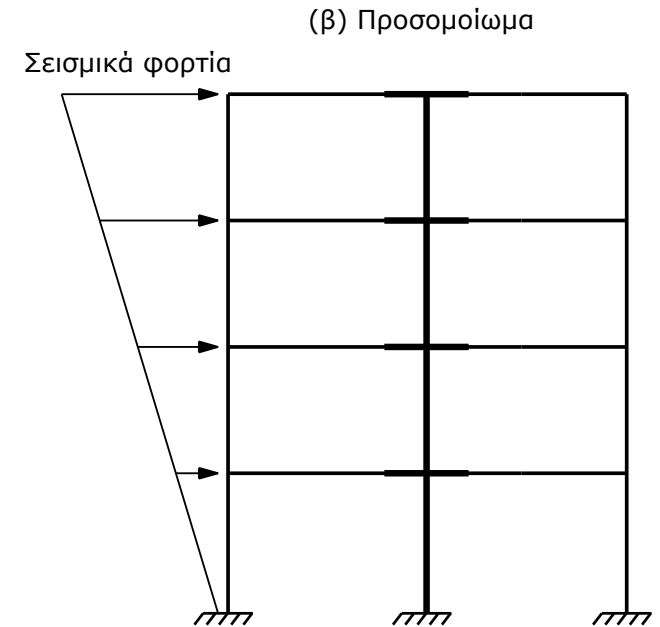
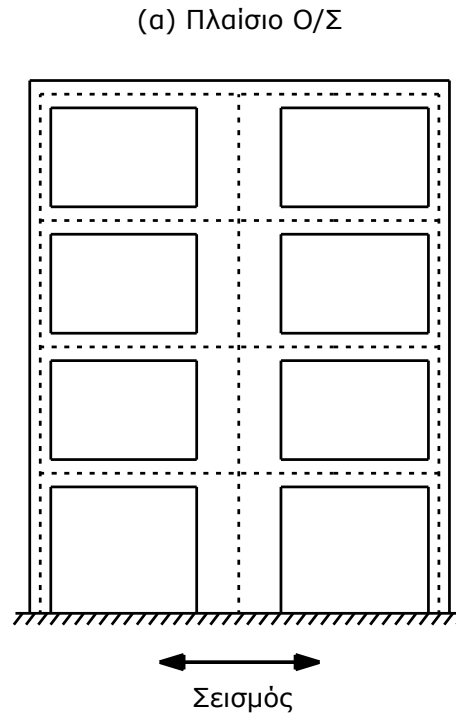
- Απλοποιήσεις της μορφολογίας του φορέα και των δομικών μελών της κατασκευής (γεωμετρία, στηρίξεις κτλ)
- Απαλοιφή στοιχείων που παίζουν δευτερεύοντα ρόλο στη συμπεριφορά του φορέα επιδιώκοντας απλοποιημένο προσομοίωμα
- Εξιδανικεύσεις και παραδοχές στην προσομοίωση των φορτίων που δρουν στο κτίριο (κατακόρυφα, σεισμικά κ.α.)

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Παραδοχές και απλοποιήσεις κατά την προσομοίωση

### Ενδεικτικά:

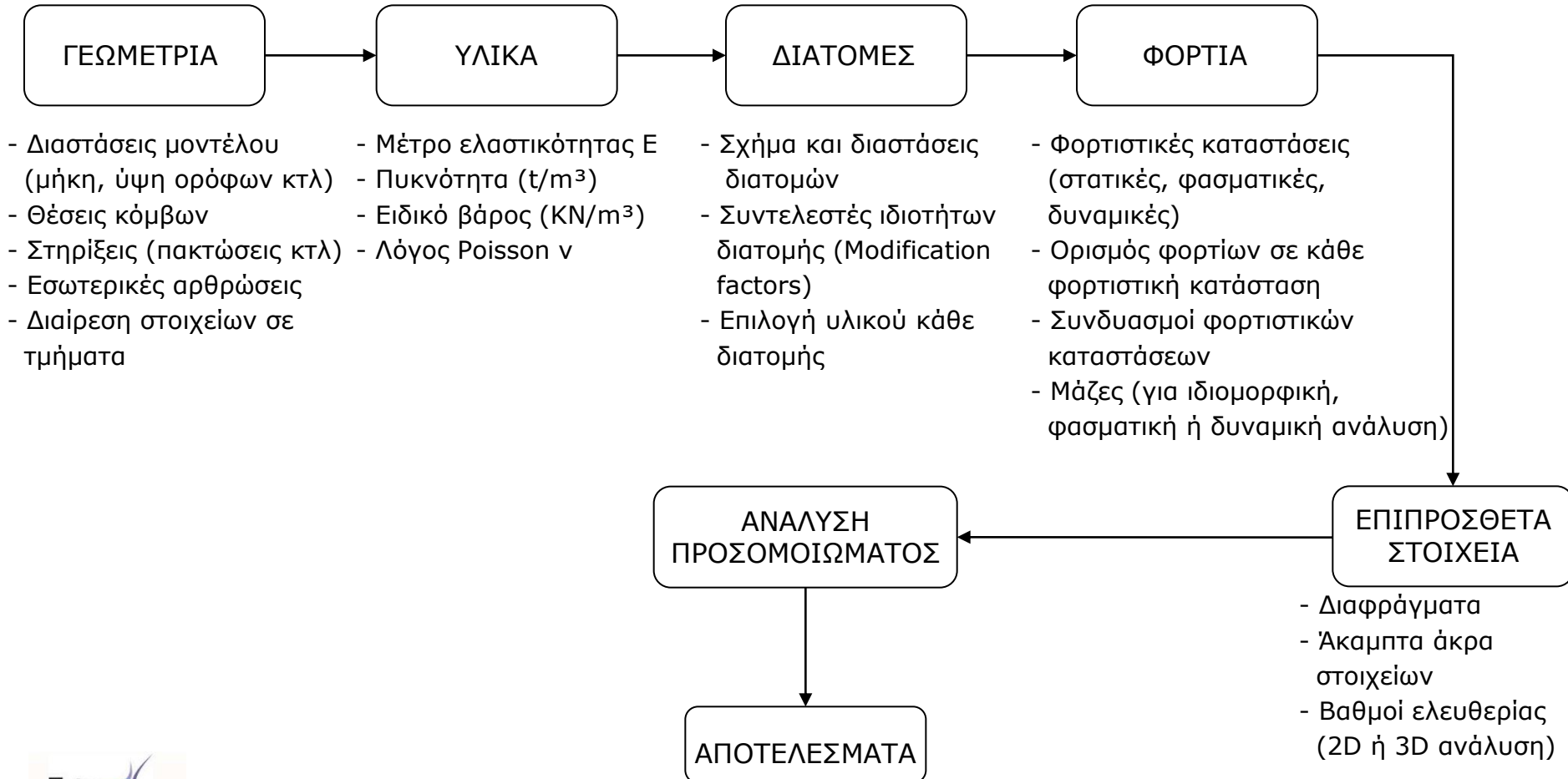
- Γεωμετρία: Χρήση γραμμικών στοιχείων
- Φορτία: απλοποιημένη εφαρμογή στον φορέα





# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

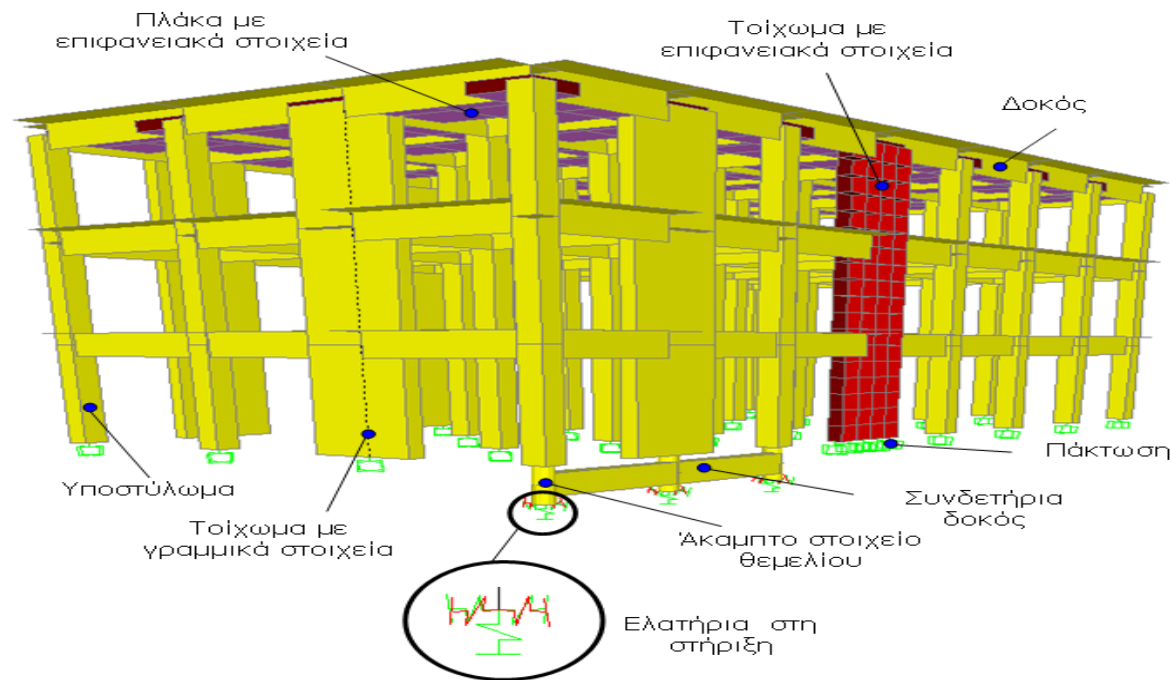
## Δεδομένα προσομοίωσης σε πρόγραμμα Η/Υ



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Γενικά στοιχεία προσομοίωσης φέροντος οργανισμού

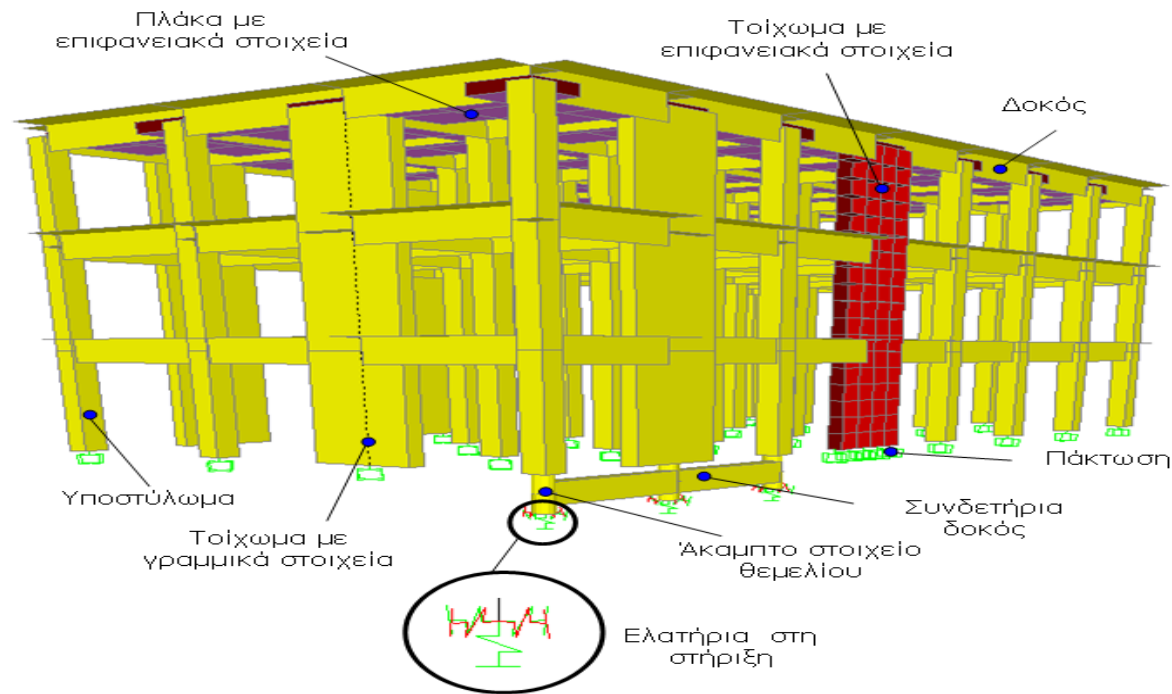
- Πλάκες
  - Η προσομοίωση συνήθως παραλείπεται
  - Όταν προσομοιώνονται χρησιμοποιούνται επιφανειακά στοιχεία



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Γενικά στοιχεία προσομοίωσης φέροντος οργανισμού

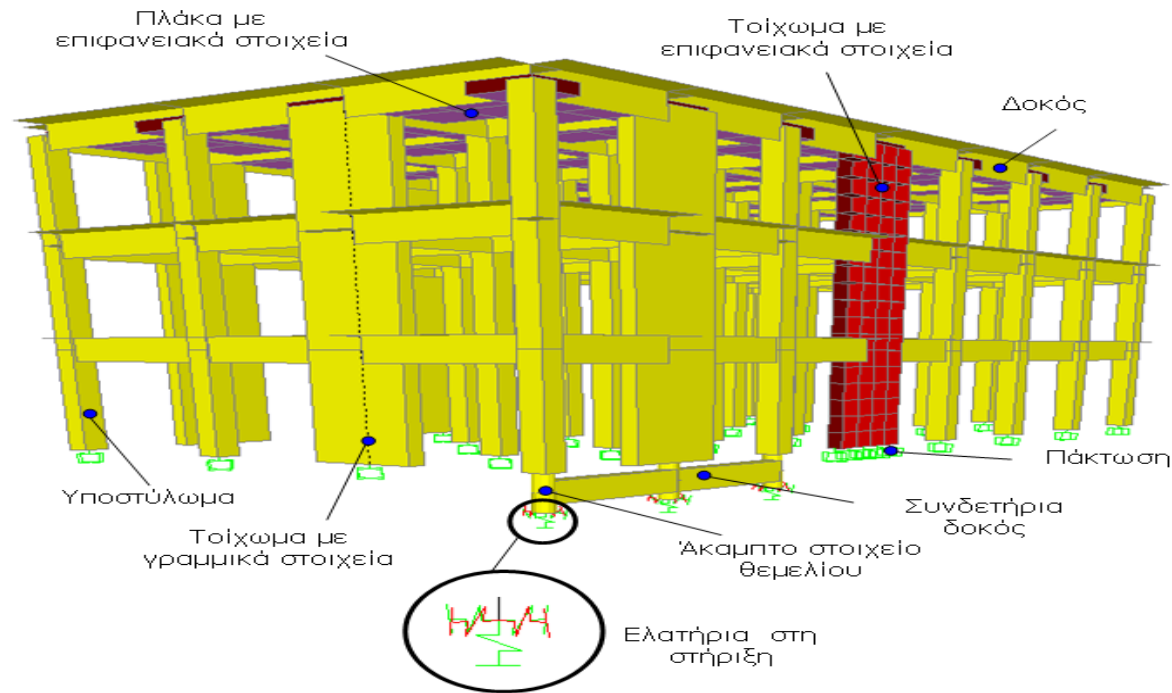
- Δοκοί
  - Προσομοίωση με γραμμικά στοιχεία



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Γενικά στοιχεία προσομοίωσης φέροντος οργανισμού

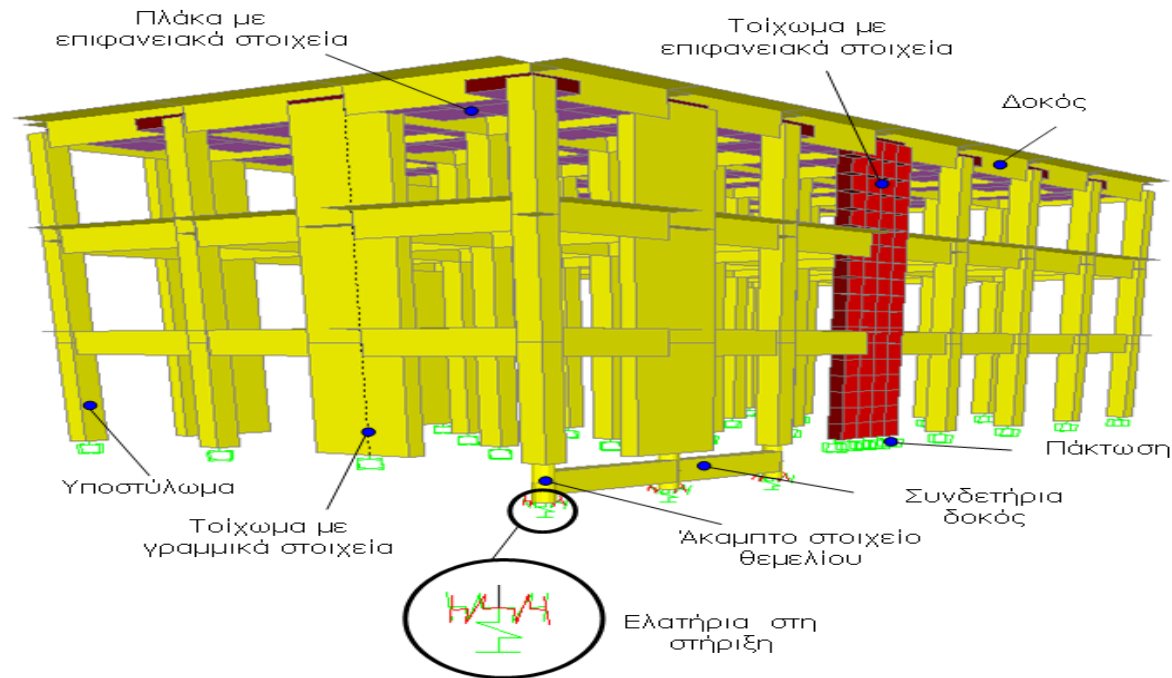
- Υποστυλώματα
  - Προσομοίωση με γραμμικά στοιχεία



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Γενικά στοιχεία προσομοίωσης φέροντος οργανισμού

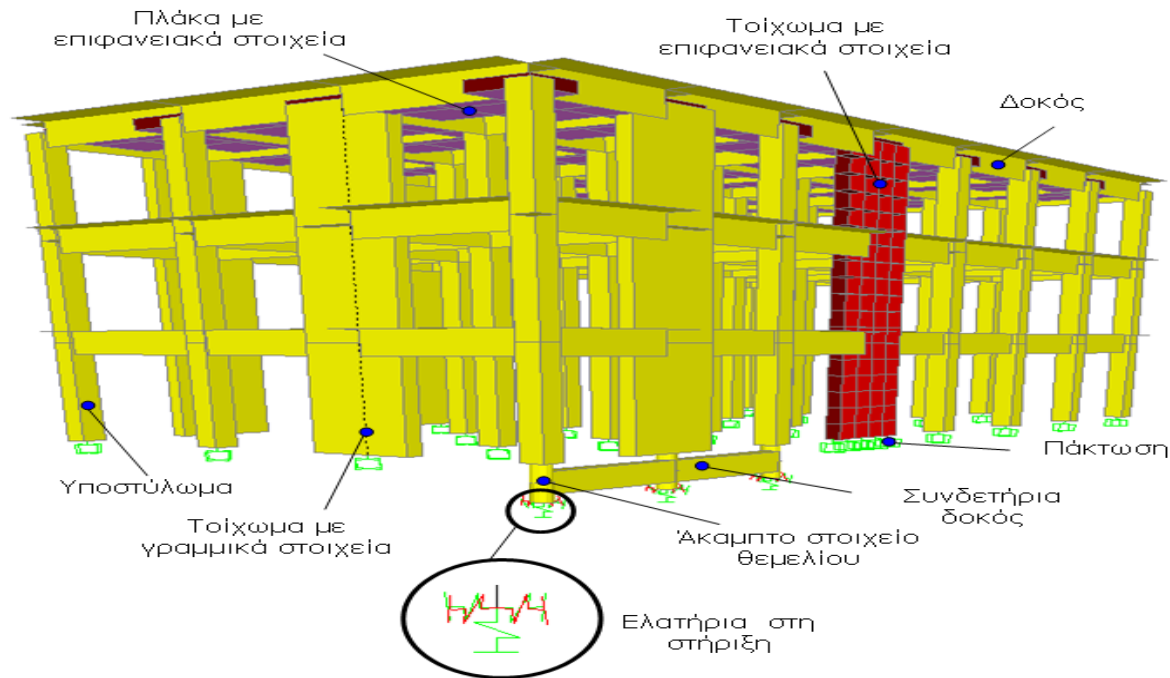
- Τοιχώματα
  - Προσομοίωση συνήθως με γραμμικά στοιχεία αλλά ενίοτε και με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία κελύφους



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Γενικά στοιχεία προσομοίωσης φέροντος οργανισμού

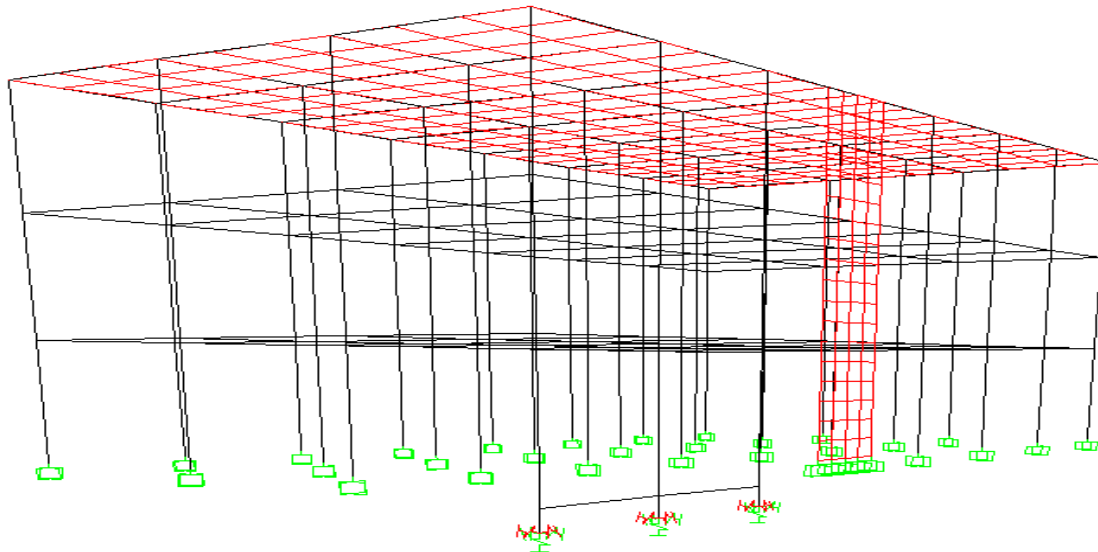
- Στοιχεία θεμελίωσης
  - Συχνά δεν προσομοιώνονται αναλυτικά (πάκτωση ή απλά ελατήρια)
  - Αναλυτική προσομοίωση με συνδυασμό γραμμικών στοιχείων



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Γενικά στοιχεία προσομοίωσης φέροντος οργανισμού

- Πραγματική εικόνα προσομοιώματος
  - Σύνολο γραμμικών ή/και επιφανειακών στοιχείων δίχως την εντυπωσιακή τρισδιάστατη απεικόνιση



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Πλάκες Ο/Σ

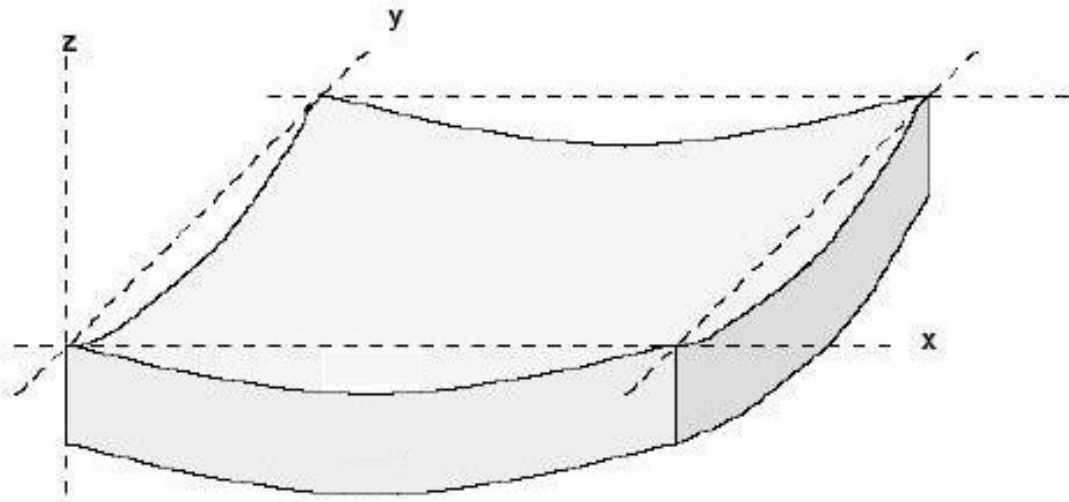
α) Κατανομή των κατακόρυφων φορτίων στις δοκούς

β) Εξασφάλιση διαφραγματικής λειτουργίας ορόφου

- Καταπόνηση σε κάμψη εκτός του επιπέδου τους (η ανάλυση γίνεται συνήθως αυτόνομα δίχως συμμετοχή στο προσομοίωμα του φορέα)

Ανάλυση πλακών:

- Μέθοδος Czerny, Pieper-Martins κτλ
- Γνώση συνθηκών στήριξης της πλάκας





# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Πλάκες Ο/Σ

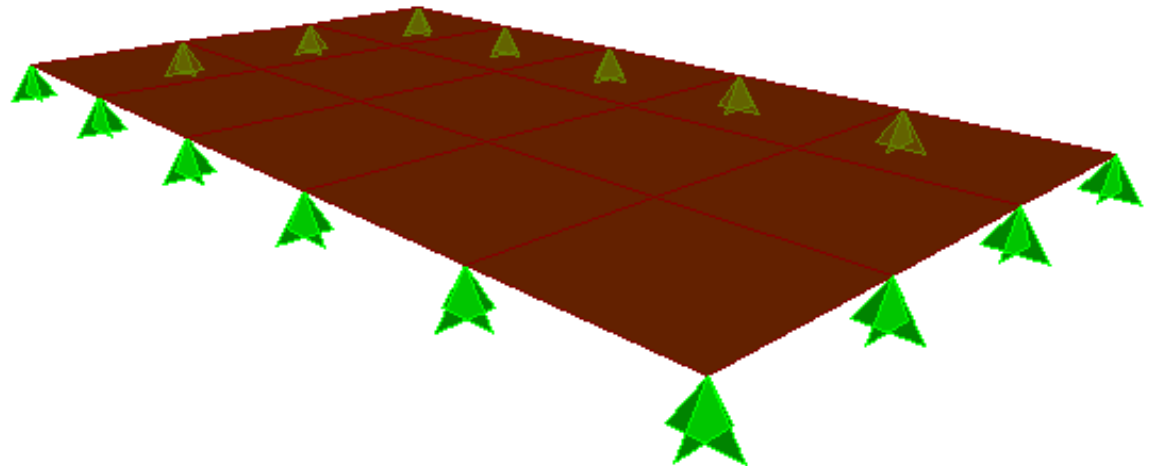
α) Κατανομή των κατακόρυφων φορτίων στις δοκούς

β) Εξασφάλιση διαφραγματικής λειτουργίας ορόφου

- Καταπόνηση σε κάμψη εκτός του επιπέδου τους (η ανάλυση γίνεται συνήθως αυτόνομα δίχως συμμετοχή στο προσομοίωμα του φορέα)

Ανάλυση πλακών:

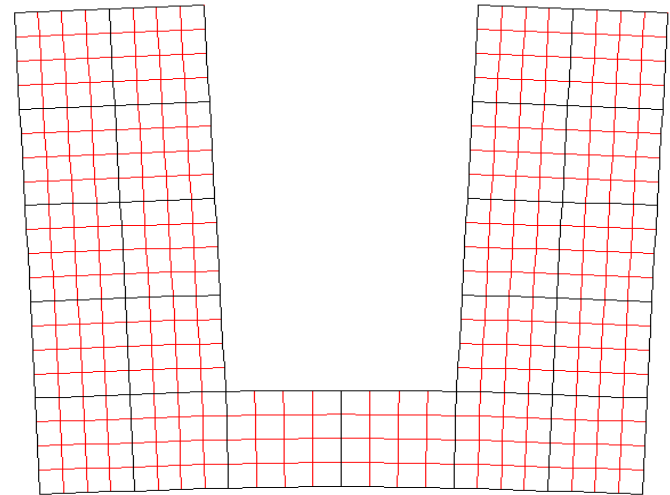
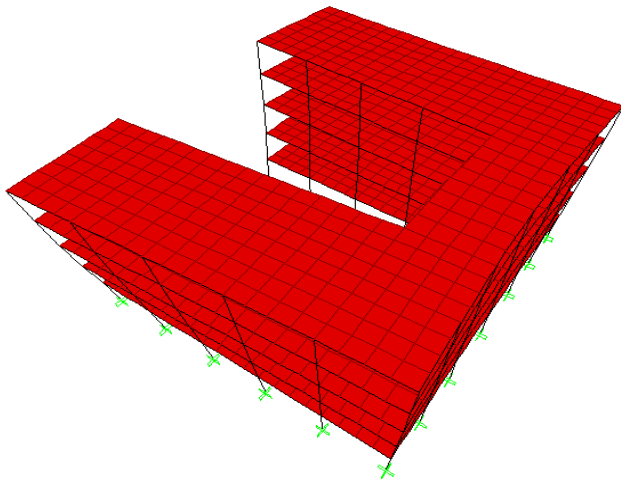
- Μέθοδος Czerny, Pieper-Martins κτλ
- Γνώση συνθηκών στήριξης της πλάκας



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Πλάκες Ο/Σ

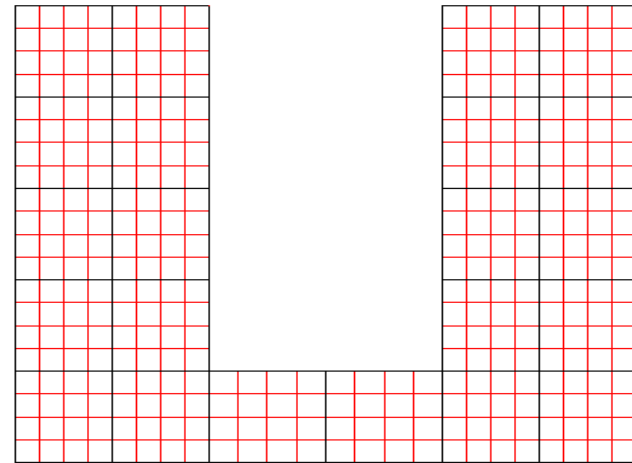
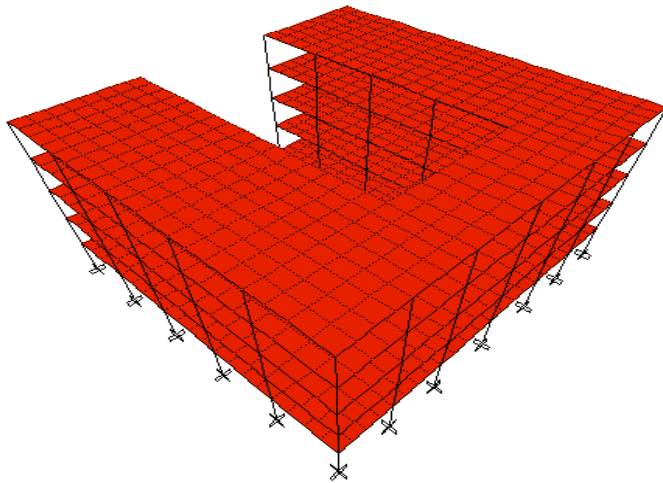
- α) Κατανομή των κατακόρυφων φορτίων στις δοκούς
- β) Εξασφάλιση διαφραγματικής λειτουργίας ορόφου
- Αυτόματη επιλογή για διαφραγματική λειτουργία πλάκας  
μειονέκτημα: κατόψεις «περίεργης» μορφολογίας



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Πλάκες Ο/Σ

- α) Κατανομή των κατακόρυφων φορτίων στις δοκούς
- β) Εξασφάλιση διαφραγματικής λειτουργίας ορόφου
- Αυτόματη επιλογή για διαφραγματική λειτουργία πλάκας  
μειονέκτημα: κατόψεις «περίεργης» μορφολογίας



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

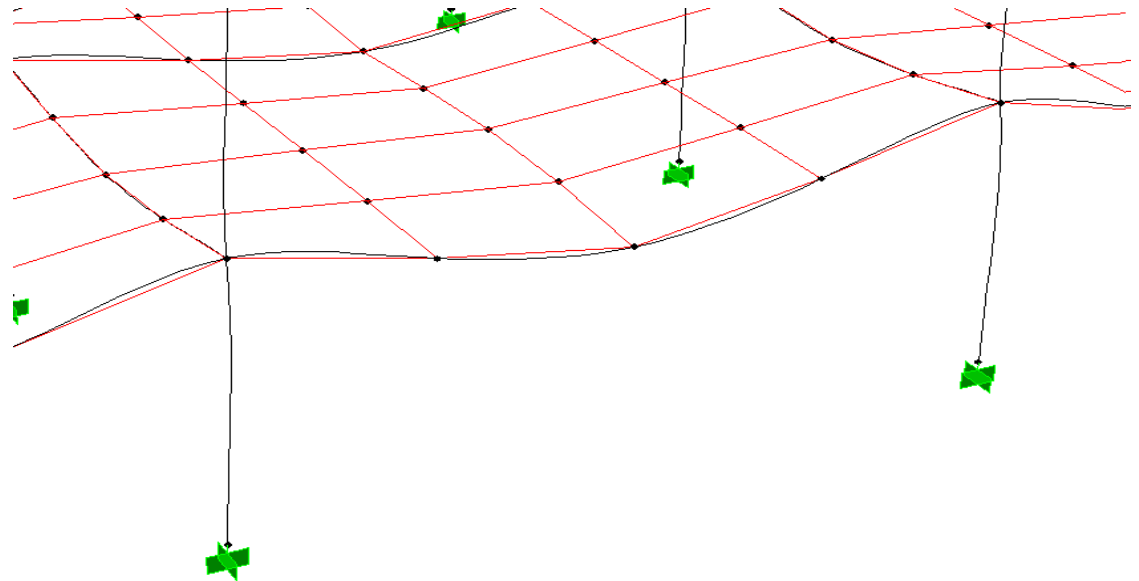
Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Δοκοί Ο/Σ

α) Μεταφορά κατακόρυφων φορτίων στα τοιχώματα και τα υποστυλώματα

β) Συμμετοχή στα πλαίσια για την παραλαβή των οριζόντιων φορτίων

- Κάμψη της δοκού «προς τα κάτω»

Λαμβάνεται υπόψη συνεργαζόμενο τμήμα της δοκού (συνήθως έμμεσα)



Προσομοίωση δοκού με  
ορθογωνική διατομή όταν  
προσομοιώνεται με  
επιφανειακά στοιχεία η πλάκα

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Δοκοί Ο/Σ

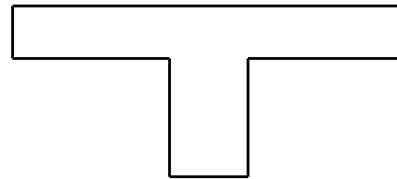
α) Μεταφορά κατακόρυφων φορτίων στα τοιχώματα και τα υποστυλώματα

β) Συμμετοχή στα πλαίσια για την παραλαβή των οριζόντιων φορτίων

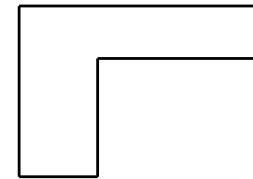
- Κάμψη της δοκού «προς τα κάτω»

Λαμβάνεται υπόψη συνεργαζόμενο τμήμα της δοκού (συνήθως έμμεσα)

*Προσομοίωση δοκού με  
διατομή πλακοδοκού όταν δεν  
προσομοιώνεται η πλάκα*



αμφίπλευρη  
πλακοδοκός



μονόπλευρη  
πλακοδοκός

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Δοκοί Ο/Σ

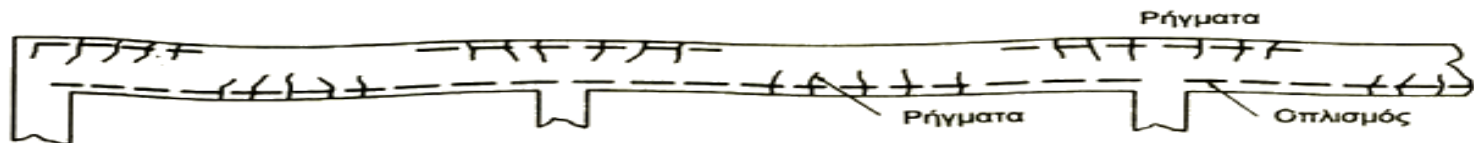
α) Μεταφορά κατακόρυφων φορτίων στα τοιχώματα και τα υποστυλώματα

β) Συμμετοχή στα πλαίσια για την παραλαβή των οριζόντιων φορτίων

- Κάμψη της δοκού «προς τα κάτω»

Λαμβάνεται υπόψη συνεργαζόμενο τμήμα της δοκού (συνήθως έμμεσα)

Θεώρηση ρηγματωμένων διατομών σταδίου II (ΕΑΚ 2000, §3.2.3[2])



ΕΑΚ 2000:

- Ροπή αδράνειας σε κάμψη ίση με το  $1/2$  της τιμής της πλήρους διατομής
  - Στρεπτική ροπή αδράνειας ίση με το  $1/10$  της τιμής της πλήρους διατομής
- (Με βάση τον EC8 η απομείωση της δυσκαμψίας-δυσστημσίας είναι στο  $1/2$ )

## Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Υποστυλώματα Ο/Σ

α) Μεταφορά φορτίων μέσω της θεμελίωσης στο έδαφος

β) Συμμετοχή στα πλαίσια για την παραλαβή των οριζόντιων φορτίων

- Διαξονική κάμψη των στύλων

Θεώρηση ρηγματωμένων διατομών σταδίου II (ΕΑΚ 2000, §3.2.3[2])

- Στρεπτική ροπή αδράνειας ίση με το  $1/10$  της τιμής της πλήρους διατομής

- Δυσκαμψία ίση με την τιμή της πλήρους διατομής (κλείσιμο ρωγμών λόγω θλιπτικού φορτίου)

Τόσο ο ΕΑΚ 2000 στα σχόλια όσο και ο EC8 προτείνουν διαφορετικούς συντελεστές απομείωσης δυσκαμψίας.

Ειδικότερα ο EC8 προτείνει δυσκαμψία και δυσστησιότητα ίση με το  $1/2$  της πλήρους διατομής.

## Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ

α) Μεταφορά φορτίων μέσω της θεμελίωσης στο έδαφος

β) Παραλαβή των οριζόντιων φορτίων σε σημαντικό ποσοστό

- Απαλλαγή από ικανοτικό έλεγχο των κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων όταν παραλαμβάνουν άνω του 60% της σεισμικής τέμνουσας βάσης (ΕΑΚ §4.1.4.2β[2])

• Κάμψη κυρίως κατά την ισχυρή διεύθυνση

Θεώρηση ρηγματωμένων διατομών σταδίου II (ΕΑΚ 2000, §3.2.3[2])

- Ροπή αδράνειας σε κάμψη ίση με το  $2/3$  της τιμής της πλήρους διατομής

- Στρεπτική ροπή αδράνειας ίση με το  $1/10$  της τιμής της πλήρους διατομής

Ο EC8 προτείνει δυσκαμψία και δυσστησιότητα ίση με το  $1/2$  της πλήρους διατομής, όπως ακριβώς για τα υποστυλώματα και τις δοκούς.



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ

- Ορισμός τοιχώματος κατά ΕΑΚ 2000 (ΦΕΚ 781/18-06-2003)  
(σχετίζεται με την αντισεισμική συμπεριφορά του τοιχώματος)
  - Μήκος τοιχώματος  $\geq 1.5m$  για κτίρια έως 4 ορόφους
  - Μήκος τοιχώματος  $\geq 2.0m$  για κτίρια άνω των 4 ορόφων
- Ορισμός τοιχώματος κατά ΕΚΩΣ 2000 (§18.5.1)  
(σχετίζεται με την διαμόρφωση - διαστασιολόγηση του τοιχώματος)
  - Κατακόρυφα δομικά στοιχεία διαμορφώνονται και οπλίζονται ως τοιχώματα όταν  $L/b \geq 4$

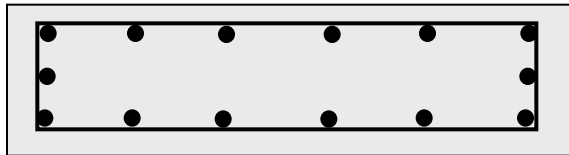
# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ

- Τοίχωμα κατά ΕΑΚ 2000
  - $L \geq 1.5m$  (έως 4 ορόφους)
  - $L \geq 2.0m$  (> 4 ορόφων)
- Τοίχωμα κατά ΕΚΩΣ 2000
  - $L/b \geq 4$

### Παραδείγματα

#### Κτίριο 4 ορόφων



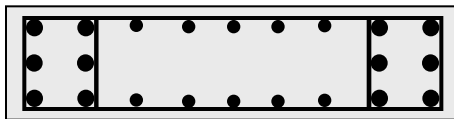
$$L = 1.50m$$

$$b = 0.40m$$

$$L/b = 3.75$$

Είναι τοίχωμα κατά ΕΑΚ αλλά όχι κατά ΕΚΩΣ (οπλίζεται ως στύλος)

#### Κτίριο 4 ορόφων



$$L = 1.20m$$

$$b = 0.30m$$

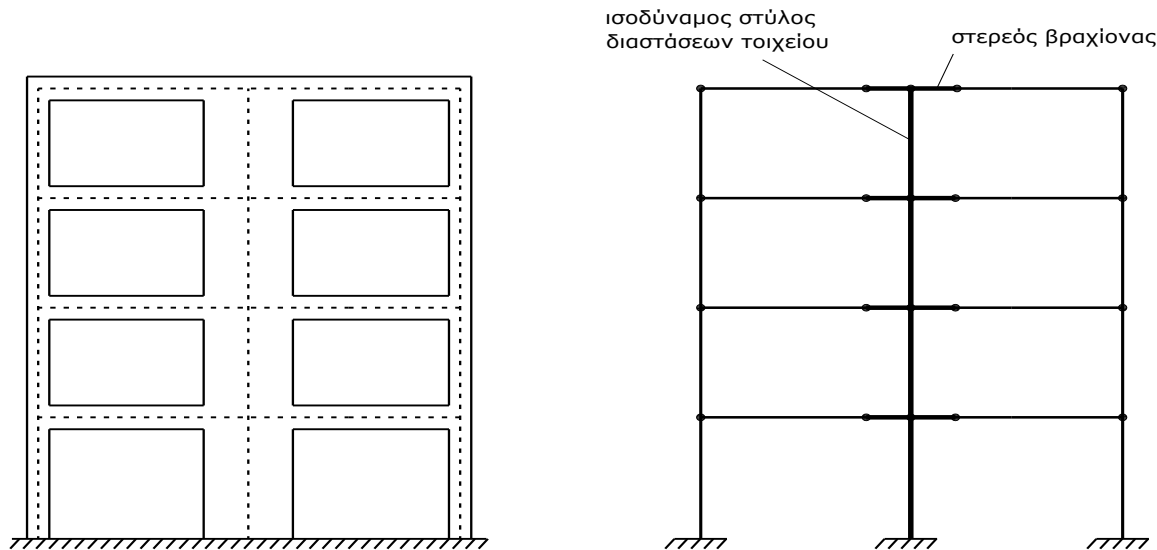
$$L/b = 4.0$$

Είναι τοίχωμα κατά ΕΚΩΣ (οπλίζεται αντίστοιχα) αλλά όχι κατά ΕΑΚ

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ

- Προσομοίωση με γραμμικά πεττερασμένα στοιχεία
  - Τοποθετείται ισοδύναμος στύλος στον άξονα του τοιχώματος
  - Στο ύψος των ορόφων χρησιμοποιούνται στερεοί βραχίονες
  - Χάνει σε ακρίβεια για τοιχώματα μικρού ύψους και μεγάλου πλάτους



Πραγματικός φορέας

Ισοδύναμο πλαίσιο

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ

- Προσομοίωση με γραμμικά πεττερασμένα στοιχεία
  - Τοποθετείται ισοδύναμος στύλος στον άξονα του τοιχώματος
  - Στο ύψος των ορόφων χρησιμοποιούνται στερεοί βραχίονες
  - Χάνει σε ακρίβεια για τοιχώματα μικρού ύψους και μεγάλου πλάτους

## Χαρακτηριστικά ισοδύναμου στύλου

Παρόμοια τιμή δυστένειας, δυσκαμψίας και δυστημής με τη διατομή τοιχώματος που υποκαθιστά

Συνήθως δίνεται στο γραμμικό στοιχείο ορθογωνική διατομή με διαστάσεις όμοιες με αυτές της διατομής τοιχώματος

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

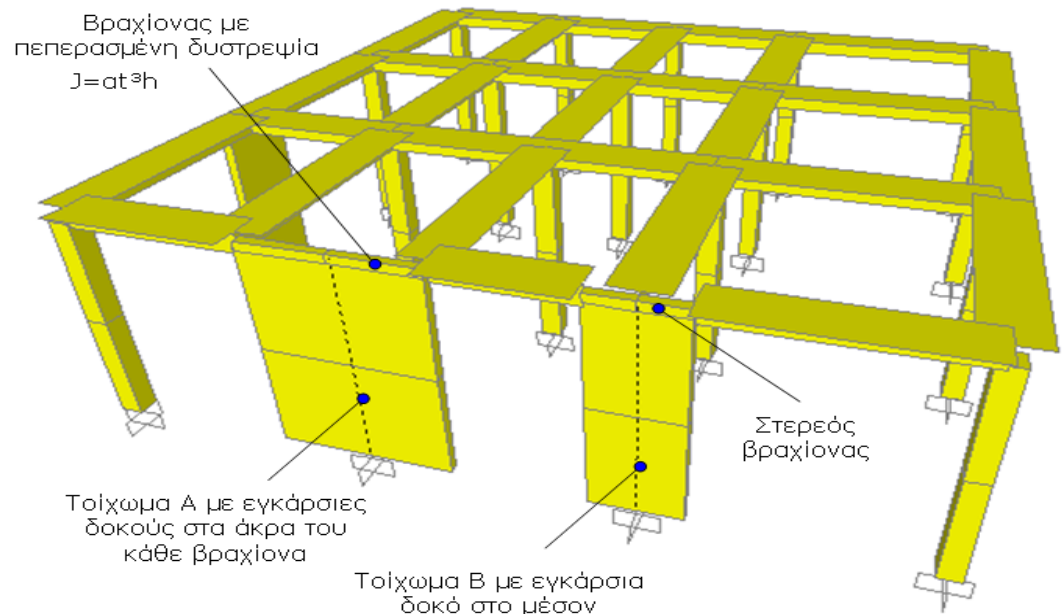
## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ

- Προσομοίωση με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία
  - Τοποθετείται ισοδύναμος στύλος στον άξονα του τοιχώματος
  - Στο ύψος των ορόφων χρησιμοποιούνται στερεοί βραχίονες

## Χαρακτηριστικά βραχίονα

Ατενής, άκαμπτος και άτμητος βραχίονας (μεγάλη τιμή πολλαπλασιαστή στις ιδιότητες)

Πεπερασμένη τιμή δυστροπίας  
ιδίως όταν αναμένεται στρεπτική επιπόνηση



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ

- Προσομοίωση με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία
  - Τοποθετείται ισοδύναμος στύλος στον άξονα του τοιχώματος
  - Στο ύψος των ορόφων χρησιμοποιούνται στερεοί βραχίονες

## Χαρακτηριστικά βραχίονα

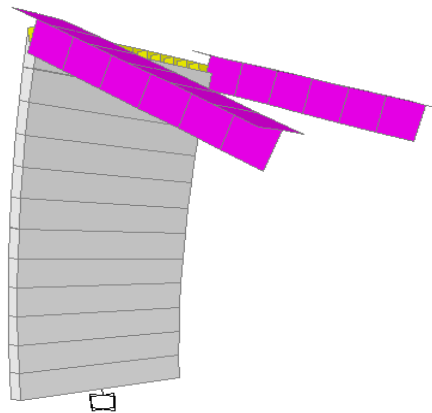
Απαίτηση για σωστή εικόνα παραμόρφωσης

Τιμή δυστρεψίας:  $J = at^3h$

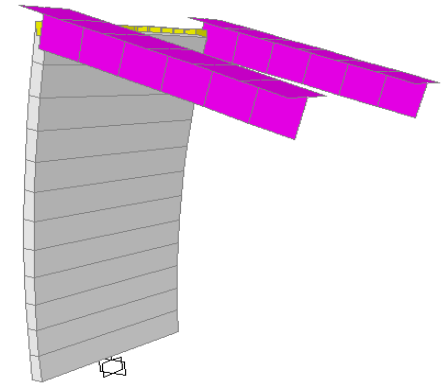
όπου:

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[ 1 - \left( \frac{192 \cdot t}{n^5 \cdot h} \right) \cdot \tanh \left( \frac{n \cdot h}{2 \cdot t} \right) \right]$$

h το ύψος από το μέσον του προηγούμενου έως το μέσον του επόμενου ορόφου  
t το πάχος του τοιχώματος



Σωστή παραμόρφωση

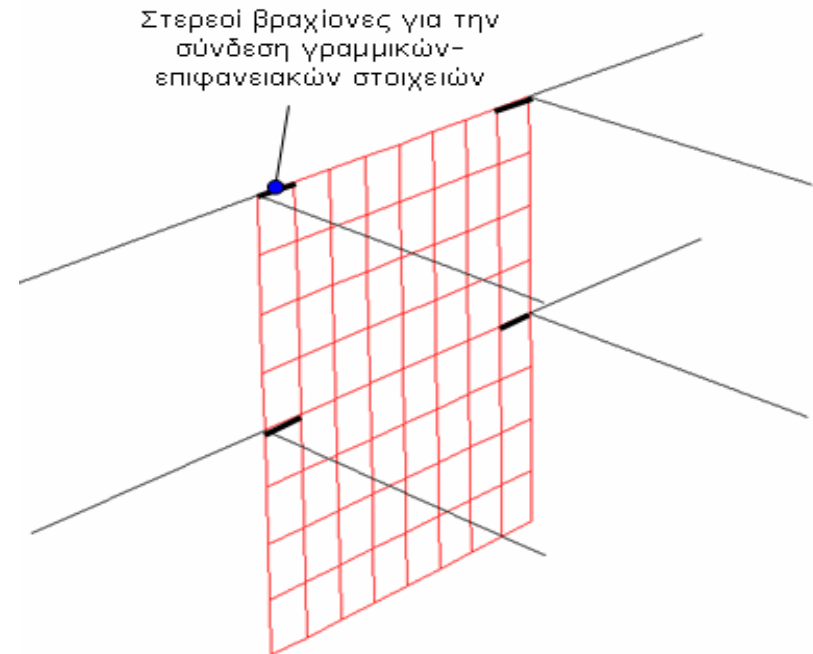


Λάθος παραμόρφωση

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

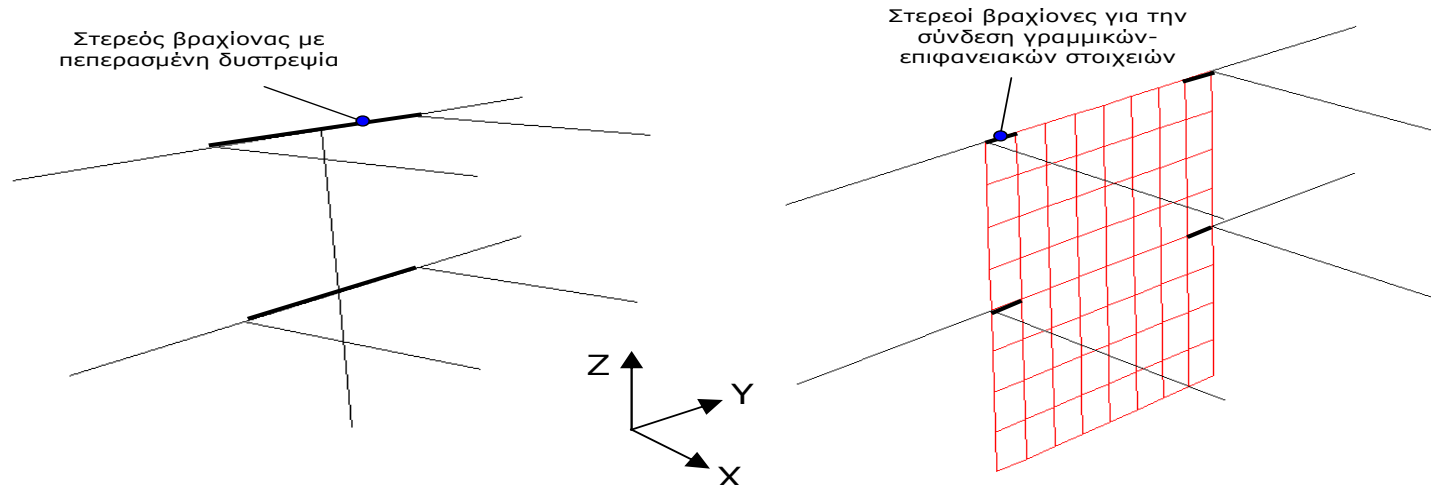
## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ

- Προσομοίωση με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία
  - Χρησιμοποιούνται στοιχεία κελύφους
  - Θεωρείται ακριβέστερη προσομοίωση και σε περίεργες μορφές τοιχωμάτων
  - Απαιτείται ειδική διαμόρφωση στις θέσεις σύνδεσης με γραμμικά στοιχεία δοκών για την «πρόσδεξη» των δοκών στο τοίχωμα



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ



Ισοδύναμος στύλος:

Δυστένεια:  $A = b \cdot t$

Δυσκαμψία:  $I_x = \frac{b^3 t}{12}$   $I_y = \frac{b t^3}{12}$

Δυστρεψία:  $J_y = a t^3 h$  \*  $a = \frac{1}{3} \left[ 1 - \left( \frac{192 \cdot t}{\pi^5 \cdot h} \right) \cdot \tanh \left( \frac{\pi \cdot h}{2 \cdot t} \right) \right]$

Δυστμησία:  $A'_x = \frac{5}{6} \cdot A$   $A'_y = \frac{5}{6} \cdot A$

\*Πρέπει να ληφθούν  
επιπλέον οι συντελεστές  
σταδίου II του ΕΑΚ

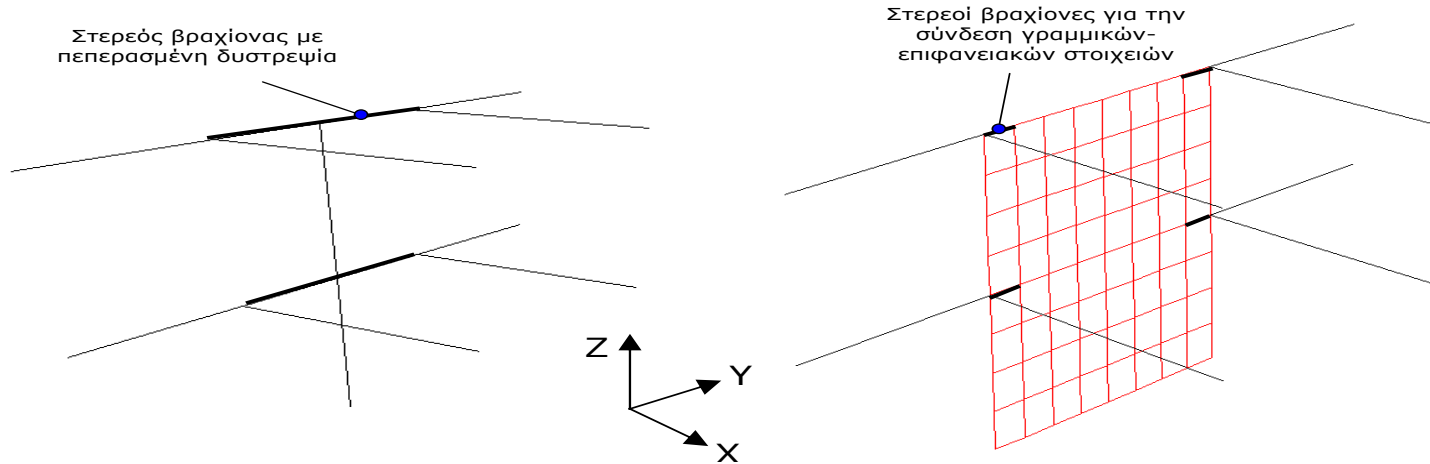
Επιφανειακά στοιχεία:

Τετράκομβρα επιφανειακά  
στοιχεία κελύφους με πάχος  
ίσο με το πάχος του  
τοιχώματος\*



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ



Βοηθητικές δοκοί:

Δυστένεια:  $A \rightarrow \infty$

Δυσκαμψία:  $I_x \rightarrow \infty \quad I_z \rightarrow \infty$

Δυστρεψία:  $J_y = at^3h \quad (\eta \rightarrow \infty) a = \frac{1}{3} \left[ 1 - \left( \frac{192 \cdot t}{\pi^5 \cdot h} \right) \cdot \tanh \left( \frac{\pi \cdot h}{2 \cdot t} \right) \right]$

Δυστμησία:  $A'_x \rightarrow \infty \quad A'_z \rightarrow \infty$

Βοηθητικές δοκοί:

Δυστένεια:  $A \rightarrow \infty$

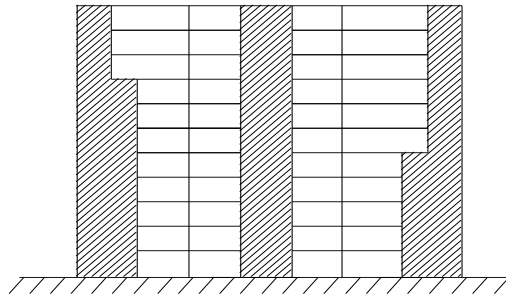
Δυσκαμψία:  $I_x \rightarrow \infty \quad I_z \rightarrow \infty$

Δυστρεψία:  $J_y \rightarrow \infty$

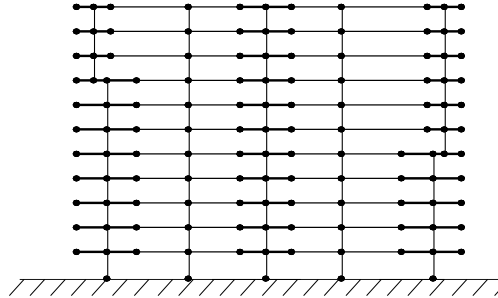
Δυστμησία:  $A'_x \rightarrow \infty \quad A'_z \rightarrow \infty$

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

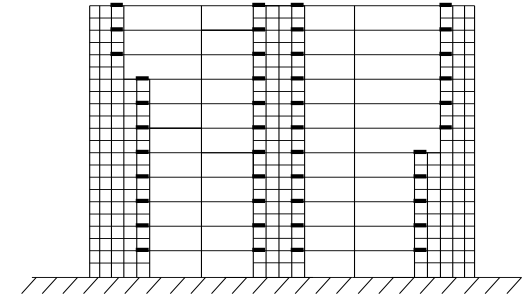
## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ



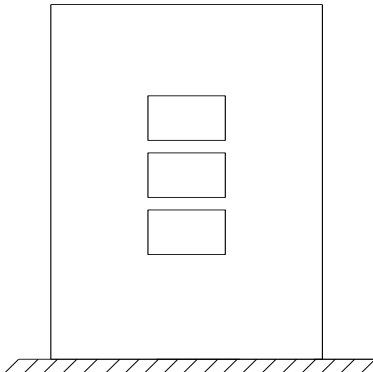
Φέρων οργανισμός



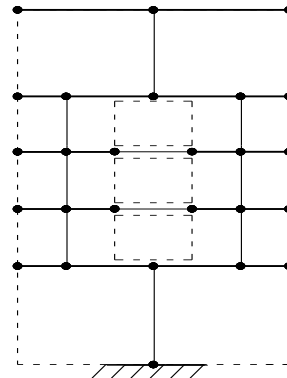
Ισοδύναμη πλαισιακή  
προσομοίωση



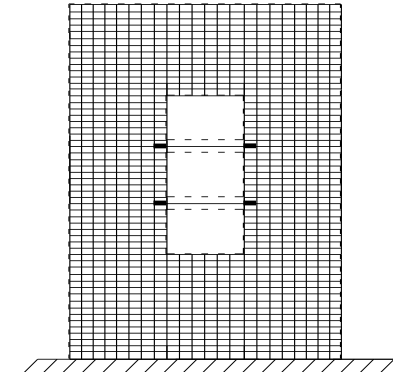
Επιφανειακά πεπερασμένα  
στοιχεία



Φέρων οργανισμός



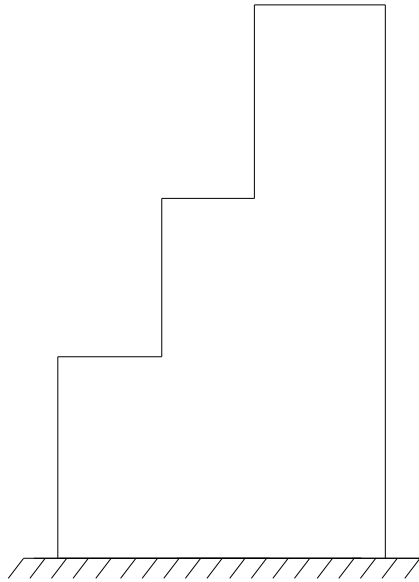
Ισοδύναμη πλαισιακή  
προσομοίωση



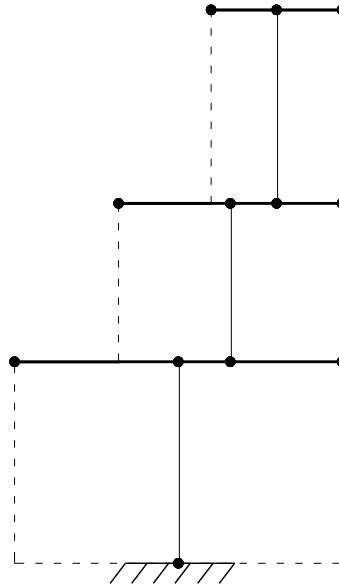
Επιφανειακά πεπερασμένα  
στοιχεία (υπερβολικό μοντέλο)

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

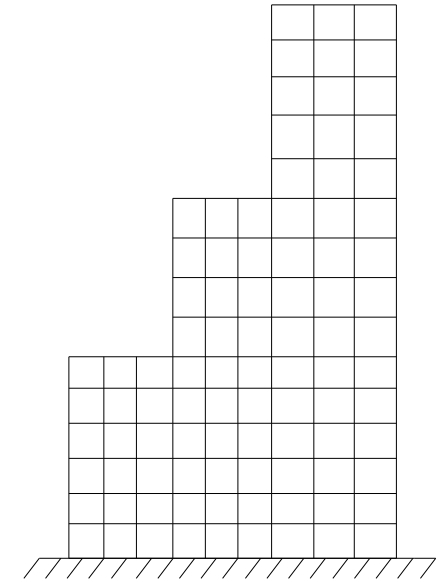
## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχώματα Ο/Σ



Φέρων οργανισμός



Ισοδύναμη πλαισιακή  
προσομοίωση



Επιφανειακά πεπερασμένα  
στοιχεία (όμοια ή διαφόρων  
μεγεθών)

## Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

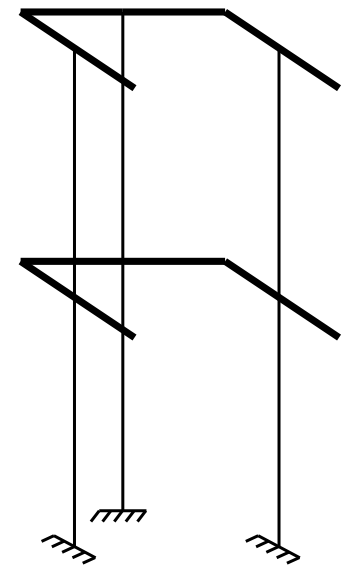
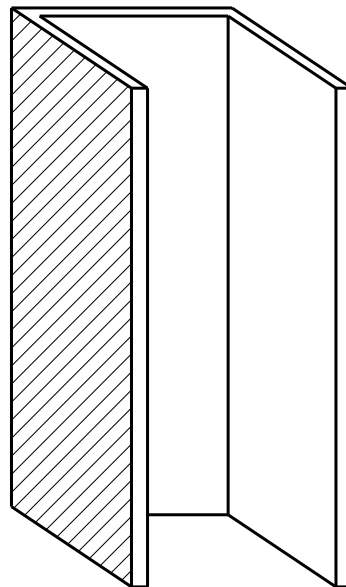
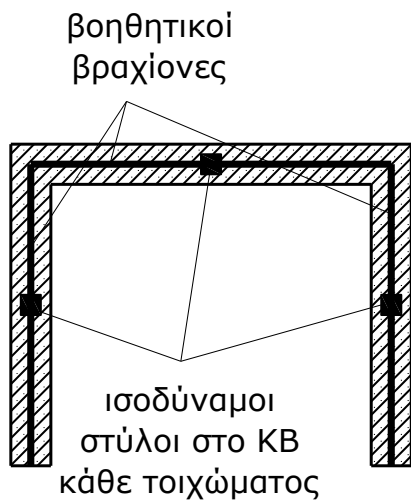
### Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Σύνθετα Τοιχώματα Ο/Σ - Πυρήνες

- Συνδυασμός 2 ή 3 τοιχωμάτων σε διατάξεις τύπου Γ – Τ – Π ή και κλειστές διατάξεις πυρήνων
- Η προσομοίωση μπορεί να γίνει είτε με γραμμικά είτε με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία
- Απαιτείται μεγάλη προσοχή κατά την προσομοίωση για την αναπαραγωγή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών συμπεριφοράς των σύνθετων τοιχωμάτων

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Σύνθετα Τοιχώματα Ο/Σ - Πυρήνες

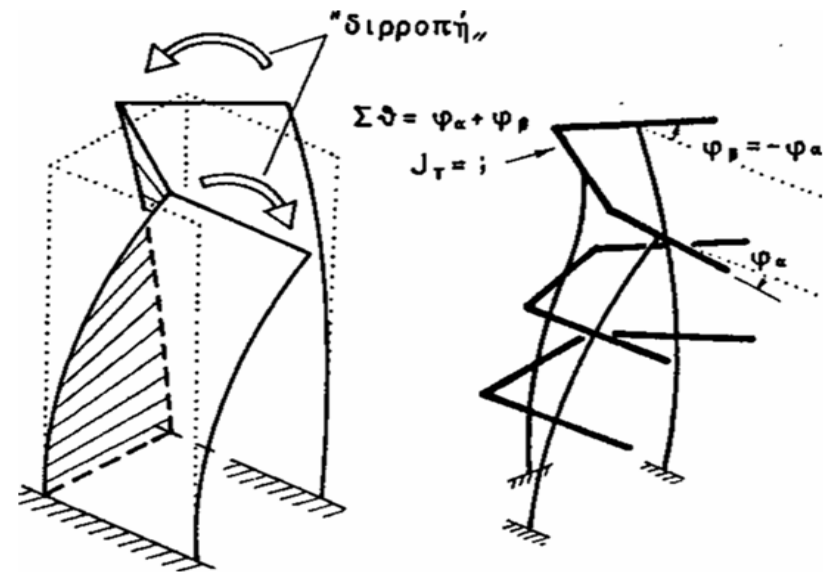
- Προσομοίωση με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία
  - Τοποθετείται κατά τα γνωστά ισοδύναμος στύλος στο κέντρο βάρους του κάθε διακριτού τοιχώματος
  - Η σύνδεση στο επίπεδο των ορόφων γίνεται με βοηθητικούς βραχίονες



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Σύνθετα Τοιχώματα Ο/Σ - Πυρήνες

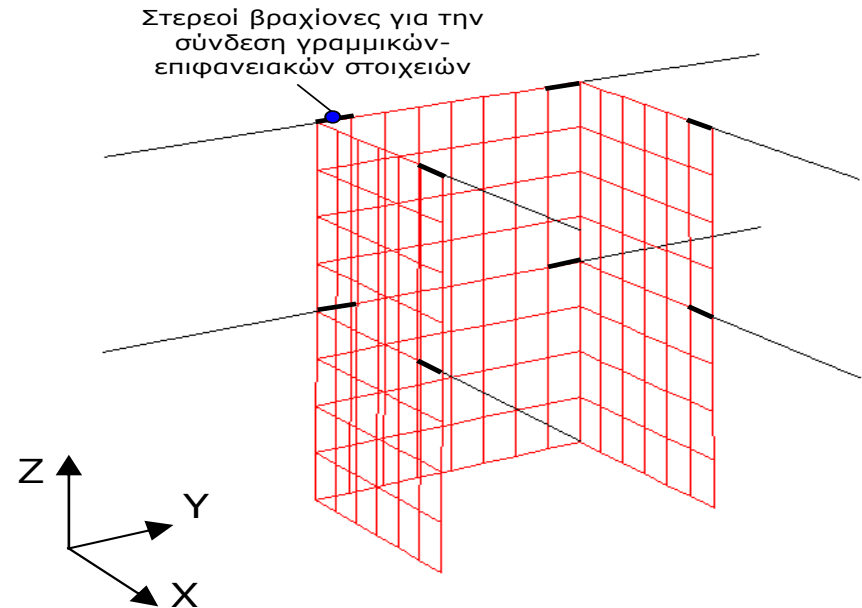
- Προσομοίωση με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία
  - Τοποθετείται κατά τα γνωστά ισοδύναμος στύλος στο κέντρο βάρους του κάθε διακριτού τοιχώματος
  - Η σύνδεση στο επίπεδο των ορόφων γίνεται με βοηθητικούς βραχίονες
  - Απαιτείται υπολογισμός της δυστρεψίας ειδικά του βραχίονα πλάτης



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

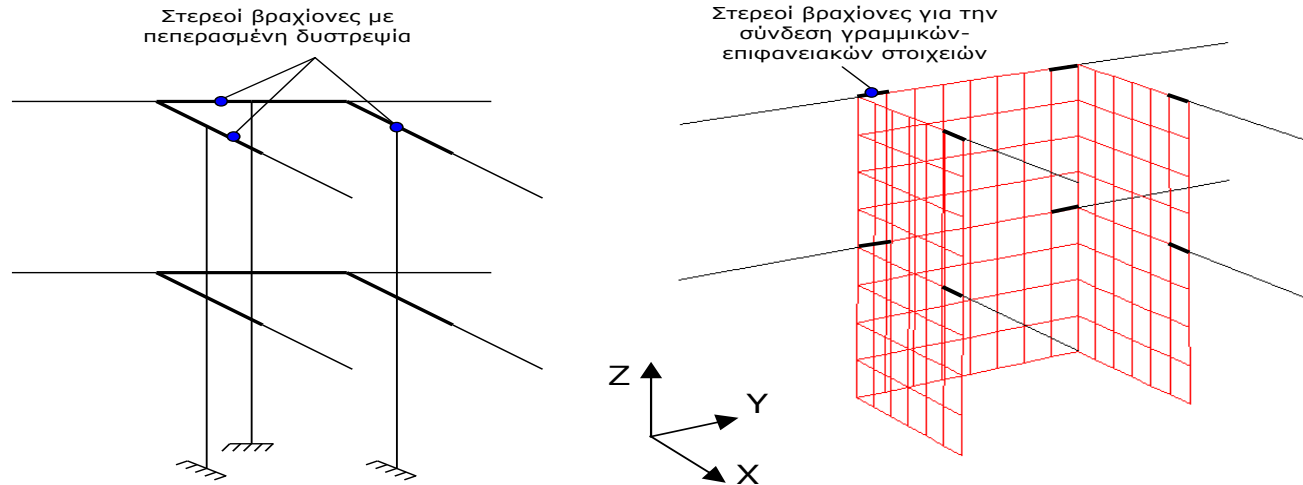
## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Σύνθετα Τοιχώματα Ο/Σ - Πυρήνες

- Προσομοίωση με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία
  - Χρησιμοποιείται σύστημα επιφανειακών στοιχείων για τη μόρφωση της γεωμετρίας του τοιχώματος
  - Η σύνδεση στο επίπεδο των ορόφων με τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία γίνεται με βοηθητικούς άκαμπτους βραχίονες



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Σύνθετα Τοιχώματα Ο/Σ - Πυρήνες



**Ισοδύναμοι στύλοι:**

**Δυστένεια:**  $A = b \cdot t$

**Δυσκαμψία:**  $I_x = \frac{b^3 t}{12}$      $I_y = \frac{b t^3}{12}$

**Δυστρεψία:**  $J_y = a t^3 h$      $a = \frac{1}{3} \left[ 1 - \left( \frac{192 \cdot t}{\pi^5 \cdot h} \right) \cdot \tanh \left( \frac{\pi \cdot h}{2 \cdot t} \right) \right]$

**Δυσμησία:**  $A'_x = \frac{5}{6} \cdot A$      $A'_y = \frac{5}{6} \cdot A$

**\*Πρέπει να ληφθούν  
επιπλέον οι συντελεστές  
σταδίου II του ΕΑΚ**

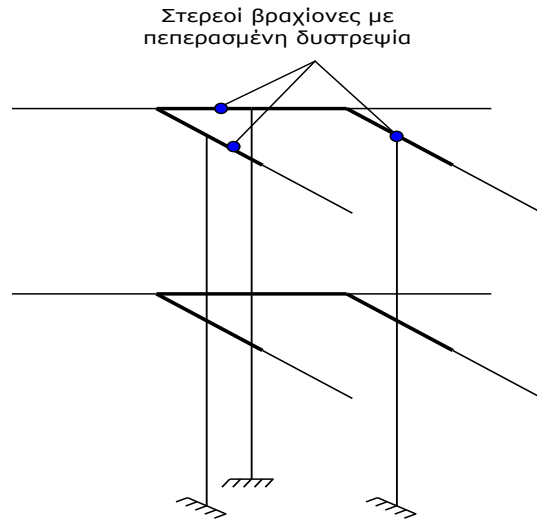
**Επιφανειακά στοιχεία:**

**Τετράκομβρα επιφανειακά  
στοιχεία κελύφους με πάχος  
ίσο με το πάχος του  
τοιχώματος\***



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Σύνθετα Τοιχώματα Ο/Σ - Πυρήνες



Βοηθητικές δοκοί:

Δυστένεια:  $A \rightarrow \infty$

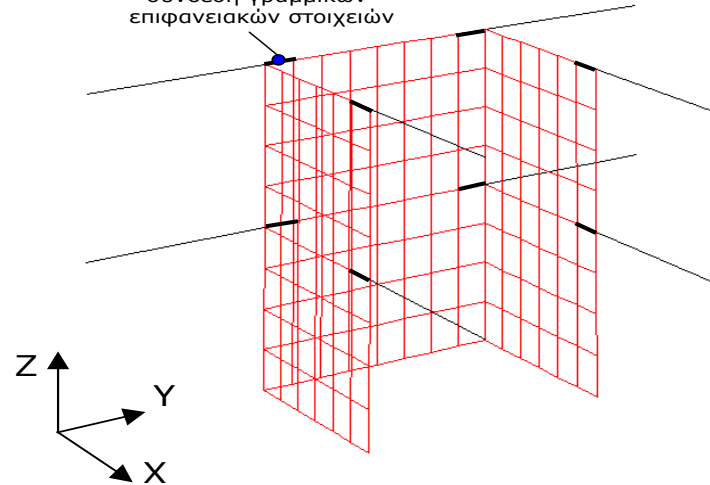
Δυσκαμψία:  $I \rightarrow \infty$

Δυστρέψια:  $J = at^3h \quad (\eta \rightarrow \infty)$

Δυστημψία:  $A' \rightarrow \infty$

$$a = \frac{1}{3} \left[ 1 - \left( \frac{192 \cdot t}{n^5 \cdot h} \right) \cdot \tanh \left( \frac{n \cdot h}{2 \cdot t} \right) \right]$$

Στερεοί βραχίονες για την σύνδεση γραμμικών-επιφανειακών στοιχείων



Βοηθητικές δοκοί:

Δυστένεια:  $A \rightarrow \infty$

Δυσκαμψία:  $I \rightarrow \infty$

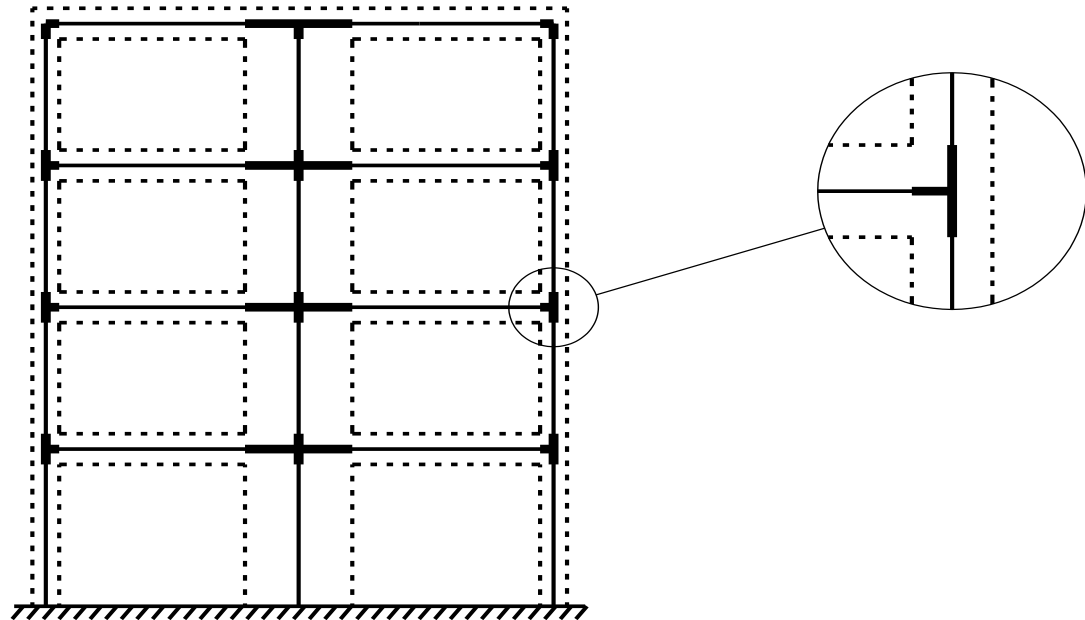
Δυστρέψια:  $J \rightarrow \infty$

Δυστημψία:  $A' \rightarrow \infty$

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Κόμβοι Ο/Σ

- Θέσεις σύνδεσης γραμμικών συνήθως στοιχείων με μεγάλη δυσκαμψία
- Συχνά το άκαμπτο μήκος των στοιχείων επί των κόμβων αγνοείται στην προσομοίωση
- Σε πολλά προγράμματα υπάρχει αυτοματοποιημένη επιλογή για την δυσκαμψία στην περιοχή του κόμβου
- Μεγάλη σημασία έχει η σωστή απόδοση της δυσκαμψίας στις συνδέσεις με τοιχώματα



## Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

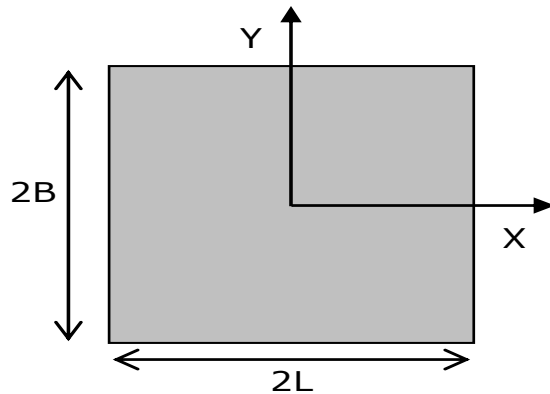
Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Μόνο θεμελίωση σε βράχο αντιστοιχεί σε συνθήκες πάκτωσης
- Η πλειοψηφία των εδαφών είναι ενδόσιμα τόσο υπό στατικά όσο και υπό σεισμικά φορτία
- Συνηθίζεται η χρήση ελατηριακών σταθερών για την προσομοίωση της ενδοσιμότητας του εδάφους θεμελίωσης
- Σημαντική η προσομοίωση στη θεμελίωση των τοιχωμάτων όπου αναπτύσσονται υψηλές τιμές εντατικών μεγεθών

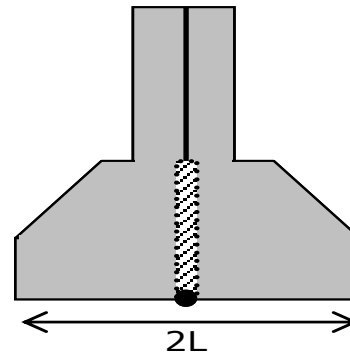
# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

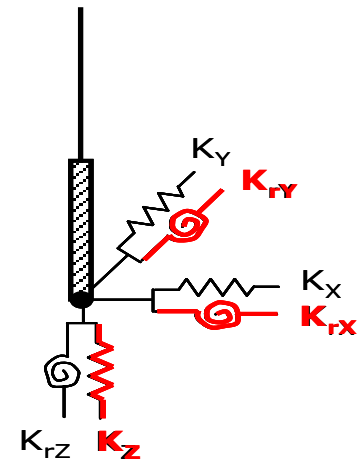
- Προσομοίωση βάση μοντέλου Winkler
- Χρήση δείκτη εμπέδησης (ή δείκτης δυσκαμψίας - ελατηριακή σταθερά)
- Απαιτούνται έξι ελατηριακές σταθερές για τους έξι βαθμούς ελευθερίας



Κάτοψη θεμελίου



Όψη θεμελίου



- Συνήθως λαμβάνονται μόνο ο κατακόρυφος μεταφορικός δείκτης ( $K_z$ ) και οι δυο στροφικοί γύρω από τους οριζόντιους άξονες ( $K_{r_x}$  και  $K_{r_y}$ )

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Προτεινόμενες τιμές δεικτών εμπέδησης (Gazetas, 1991 και 1997)

Τετραγωνικά  
θεμέλια

Μορφή απόκρισης	Δυσκαμψία K	Δυναμικός συντελεστής δυσκαμψίας με τη συχνότητα
Κατακόρυφη z	$K_z = \frac{4.54GB}{1 - \nu}$	$k_z = k_z \left( \frac{L}{B}, \nu, \alpha_0 \right)$ , (διαγραμμα)
Οριζόντια y (εγκάρσια διεύθυνση)	$K_y = \frac{9GB}{2 - \nu}$	$k_y = k_y \left( \frac{L}{B}, \alpha_0 \right)$ , (διαγραμμα)
Οριζόντια x (επιμήκης διεύθυνση)	$K_x = K_y$	$k_x \cong 1$
Λικνιστική Rx (γύρω από άξονα x)	$K_{rx} = \frac{3.6GB^3}{1 - \nu}$	$k_{rx} \cong 1 - 0.20\alpha_0$
Λικνιστική Ry (γύρω από άξονα y)	$K_{ry} = K_{rx}$	$\nu < 0.45 : k_{ry} \cong 1 - 0.30\alpha_0$ $\nu \cong 0.50 : k_{ry} \cong 1 - 0.25\alpha_0 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.30}$
Στρεπτική	$K_t = 8.3GB^3$	$k_t \cong 1 - 0.14\alpha_0$

$$\alpha_0 = \frac{\omega B}{V_s}$$

L=B: ήμισυ πλάτους θεμελίου, G: μέτρο διάτμησης εδάφους

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)  
 • Προτεινόμενες τιμές δεικτών εμπέδησης (Gazetas, 1991 και 1997)

Θεμέλια  
 τυχούσας  
 διατόμης

$$a_0 = \frac{\omega B}{V_s}$$

$$\chi = \frac{A_b}{4L^2}$$

$$A_b = 2B \cdot 2L$$

Μορφή απόκρισης	Δυσκαμψία Κ	Δυναμικός συντελεστής δυσκαμψίας με τη συχνότητα
Κατακόρυφη z	$K_z = \frac{2GL}{1-\nu} (0.73 + 1.54 \cdot \chi^{0.75})$	$k_z = k_z \left( \frac{L}{B}, \nu, a_0 \right)$ , (διαγραμμα)
Οριζόντια y (εγκάρσια διεύθυνση)	$K_y = \frac{2GL}{2-\nu} (2 + 2.5 \cdot \chi^{0.85})$	$k_y = k_y \left( \frac{L}{B}, a_0 \right)$ , (διαγραμμα)
Οριζόντια x (επιμήκης διεύθυνση)	$K_x = K_y - \frac{0.2}{0.75-\nu} GL \left( 1 - \frac{B}{L} \right)$	$k_x \cong 1$
Λικνιστική Rx (γύρω από άξονα x)	$K_{rx} = \frac{G}{1-\nu} I_{bx}^{0.75} \left( \frac{L}{B} \right)^{0.25} \left( 2.4 + 0.5 \frac{B}{L} \right)$	$k_{rx} \cong 1 - 0.20a_0$
Λικνιστική Ry (γύρω από άξονα y)	$K_{ry} = \frac{3G}{1-\nu} I_{by}^{0.75} \left( \frac{L}{B} \right)^{0.15}$	$\nu < 0.45 : k_{ry} \cong 1 - 0.30a_0$ $\nu \cong 0.50 : k_{ry} \cong 1 - 0.25a_0 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.30}$
Στρεπτική	$K_t = GJ_b^{0.75} \left[ 4 + 11 \left( 1 - \frac{B}{L} \right)^{10} \right]$	$k_t \cong 1 - 0.14a_0$

$I_{bx}, I_{by}$  ροπές αδρανείας θεμελίου  $J_b = I_{bx} + I_{by}$

G: μέτρο διάτμησης εδάφους

## Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Υπολογισμός μέτρου διάτμησης εδάφους  $G$

$$G = \rho \cdot V_s^2 \quad \text{ενώ} \quad G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$V_s$ : η ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων στο εδαφικό μέσο

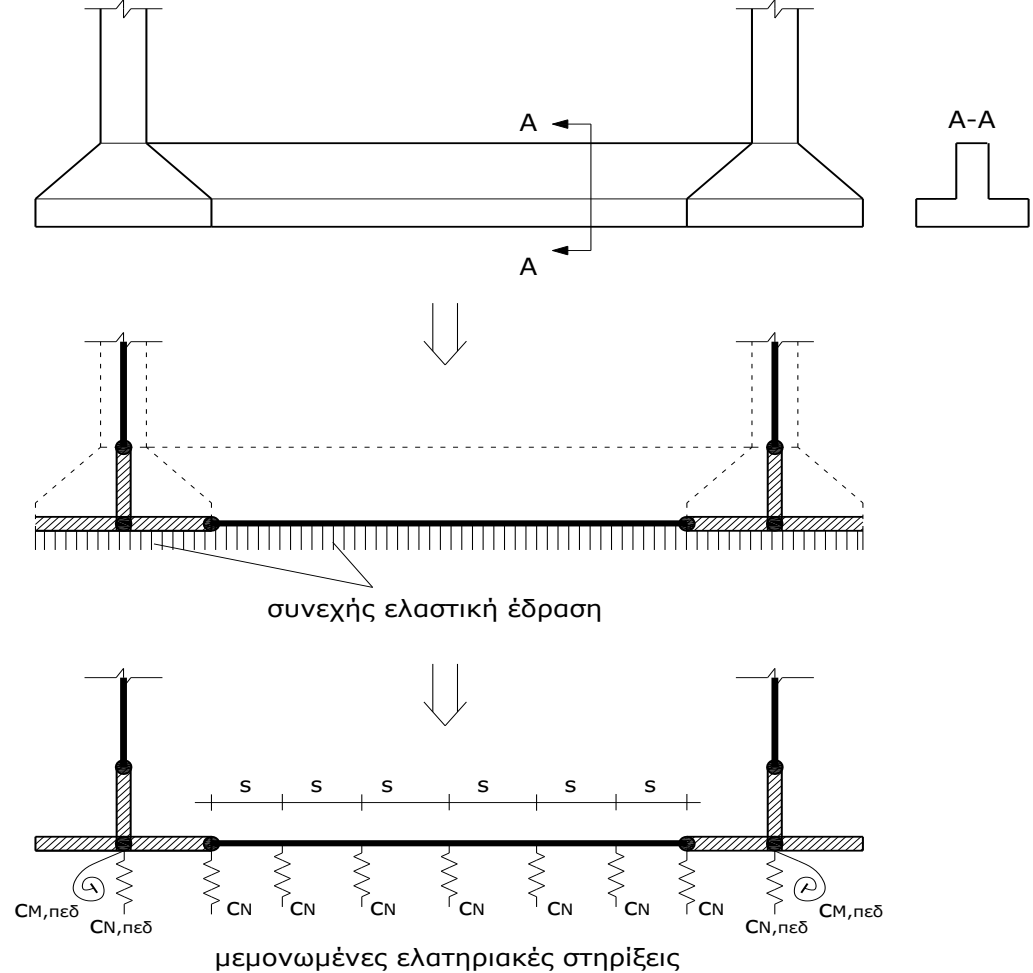
$\rho$ : η πυκνότητα του εδαφικού υλικού

*Τα ελαστικά χαρακτηριστικά του εδάφους λαμβάνουν διαφορετικές τιμές υπό δυναμική φόρτιση σε σχέση με στατικές συνθήκες φόρτισης*

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Προσομοίωση ελαστικής έδρασης θεμελίων

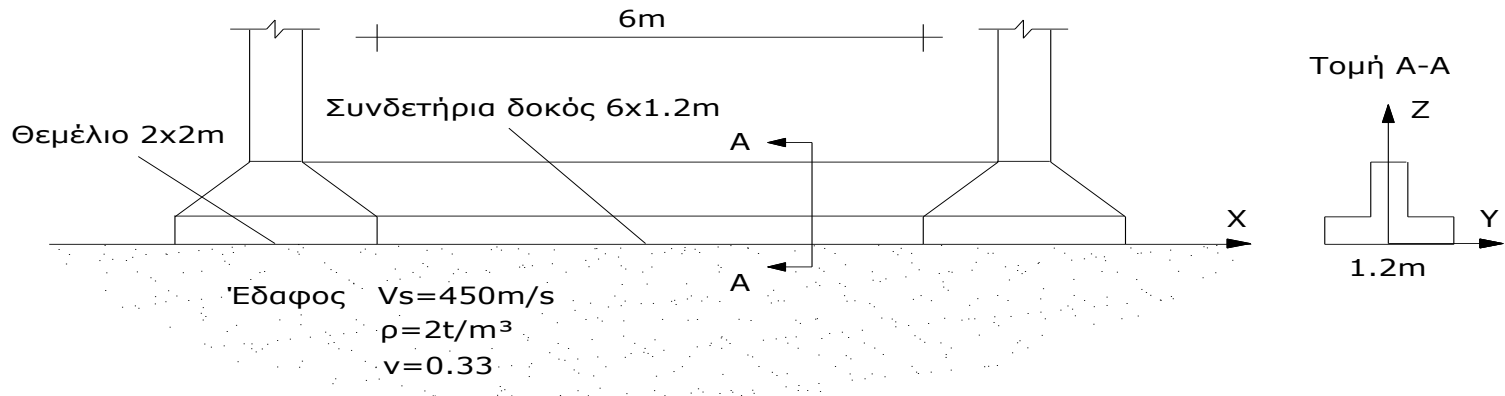




# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Παράδειγμα υπολογισμού δεικτών εμπέδησης θεμελίωσης (ζητείται η τοποθέτηση ελατηρίων στην συνδετήρια δοκό να γίνει ανά μέτρο)



- Εδαφικά χαρακτηριστικά  $G = \rho \cdot V_s^2 = 2 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \cdot 450^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 405000 \text{ KPa}$

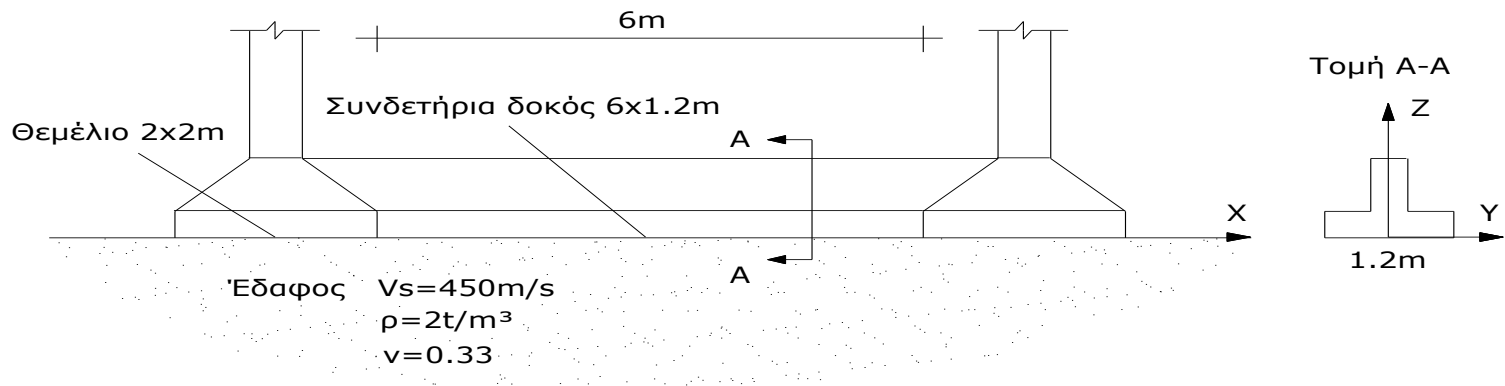
Μονάδες:

$$\frac{\text{t}}{\text{m}^3} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \text{t} \cdot \frac{1}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 1000 \text{ kgr} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}}\right) \frac{1}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 1000 \cdot \left(\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot \left(\frac{\text{s}^2}{\text{m}} \cdot \frac{1}{\text{m} \cdot \text{s}^2}\right) = 1000 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1000 \text{ Pa} = 1 \text{ KPa}$$

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Παράδειγμα υπολογισμού δεικτών εμπέδησης θεμελίωσης (ζητείται η τοποθέτηση ελατηρίων στην συνδετήρια δοκό να γίνει ανά μέτρο)



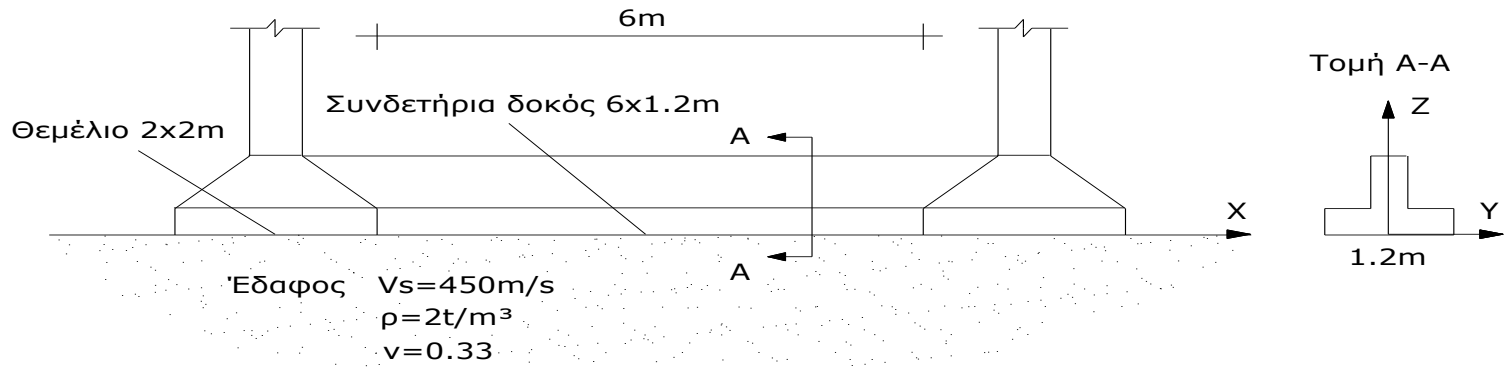
- Θεμέλιο ( $L=B=1\text{m}$ )

- Μεταφορικό ελατήριο κατά z  $C_{N,πεδ} = K_z = \frac{4.54GB}{1-\nu} = 2744328 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$
- Στροφικό ελατήριο γύρω από x  $C_{M,x} = K_{rx} = \frac{3.6GB^3}{1-\nu} = 2176119 \cdot \text{KNm}$
- Στροφικό ελατήριο γύρω από y  $C_{M,y} = K_{ry} = K_{rx} = 2176119 \cdot \text{KNm}$

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Παράδειγμα υπολογισμού δεικτών εμπέδησης θεμελίωσης (ζητείται η τοποθέτηση ελατηρίων στην συνδετήρια δοκό να γίνει ανά μέτρο)



- Συνδετήρια (αντιμετωπίζεται ως επιμήκης θεμέλιο ( $L=3\text{m}$  ,  $B=0.6\text{m}$ ))

- Μεταφορικό ελατήριο κατά z  $K_z = \frac{2GL}{1-\nu} (0.73 + 1.54 \cdot \chi^{0.75})$

Αλλά  $\chi = \frac{A_b}{4L^2} = \frac{2L \cdot 2B}{4L^2} = \frac{B}{L} = 0.2$   $K_z = 4318028 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$

- 7 ελατήρια εν παραλλήλω άρα  $7 \cdot C_N = K_z \Leftrightarrow C_N = 616861 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$  για το κάθε ελατήριο

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Προσομοίωση βάση μοντέλου Winkler

## Εναλλακτικός υπολογισμός ελατηριακών σταθερών

- Συνήθης χρήση στα διάφορα εμπορικά πακέτα λογισμικού
- Απαιτείται η γνώση του «δείκτη εδάφους»  $K_s$

Τύπος εδάφους		Όρια $K_s$	Μέση τιμή $K_s$
<b>Άμμος*</b>	Χαλαρή ( $N_{SPT} < 10$ )	6.4-19.2 (MN/m <sup>3</sup> )	12.9 (MN/m <sup>3</sup> )
	Μέση ( $10 < N_{SPT} < 30$ )	19.2-96.2 (MN/m <sup>3</sup> )	41.7 (MN/m <sup>3</sup> )
	Πυκνή ( $30 < N_{SPT}$ )	96.2-321.0 (MN/m <sup>3</sup> )	161 (MN/m <sup>3</sup> )
<b>Άργιλος</b>	Στιφρή ( $100\text{kPa} < c_u < 200\text{kPa}$ )	16.2-32.1 (MN/m <sup>3</sup> )	24.1 (MN/m <sup>3</sup> )
	Πολύ Στιφρή ( $200\text{kPa} < c_u < 400\text{kPa}$ )	32.1-64.2 (MN/m <sup>3</sup> )	48.2 (MN/m <sup>3</sup> )
	Σκληρή ( $400\text{kPa} < c_u$ )	>96 (MN/m <sup>3</sup> )	96.4 (MN/m <sup>3</sup> )

πηγή: Terzaghi, 1955 (αναδημοσίευση ΡΑΦ, 2011)

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Προσομοίωση βάση μοντέλου Winkler

Εναλλακτικός υπολογισμός ελατηριακών σταθερών

- Απαιτείται τροποποίηση τιμών  $K_s$  (θεμέλιο  $B \times L$  σε βάθος  $D$ )

	Αμμώδη εδάφη	Αργιλικά εδάφη
Συντελεστής διαστάσεων θεμελίου: ( $B_{\pi\lambda}$ η διάσταση δοκιμαστικής πλάκας φόρτισης)	$n_\delta = \left( \frac{B_\theta + B_{\pi\lambda}}{2B_\theta} \right)^2$	$n_\delta = \left( \frac{B_{\pi\lambda}}{B_\theta} \right)$
Συντελεστής σχήματος θεμελίου:	$n_\sigma = \frac{2}{3} \left( 1 + \frac{B_\theta}{2L_\theta} \right)$	$n_\sigma = \frac{2}{3} \left( 1 + \frac{B_\theta}{2L_\theta} \right)$
Συντελεστής βάθους θεμελίου:	$n_\beta = 1 + 2 \left( \frac{D}{B_\theta} \right)$	$n_\beta = 1$

**Τελική τιμή  $K_s$  :** 
$$K_{s, \text{TEΛ}} = n_\delta \cdot n_\sigma \cdot n_\beta \cdot K_s$$

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Προσομοίωση βάση μοντέλου Winkler

Εναλλακτικός υπολογισμός ελατηριακών σταθερών

- Τελικός υπολογισμός ελατηριακών σταθερών

Κατακόρυφο ελατήριο:

$$K_z = K_s \cdot L \cdot B$$

Στροφικό ελατήριο γύρω από Χ:

$$K_{rx} = K_s \cdot \frac{L_x \cdot L_y^3}{12}$$

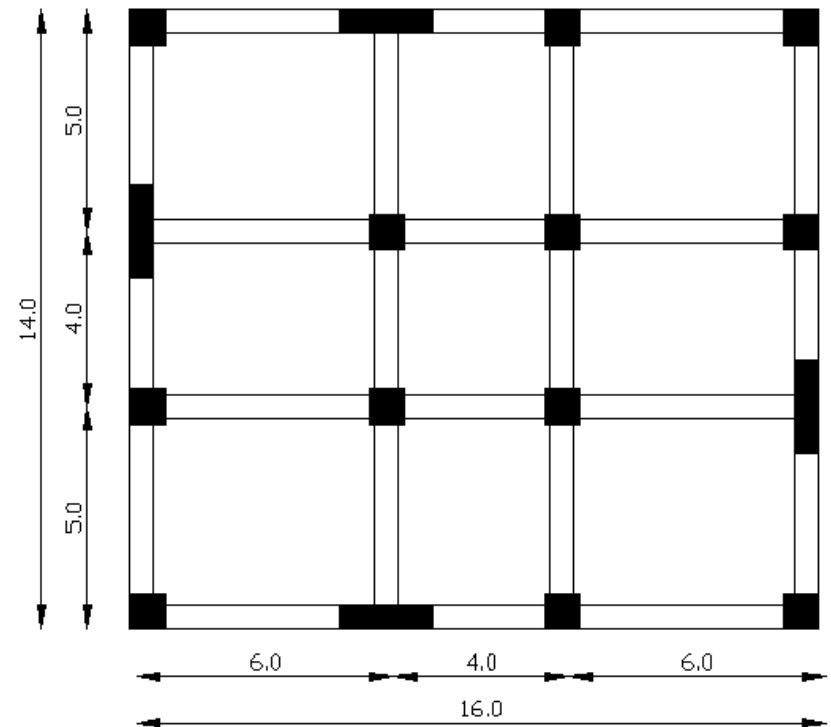
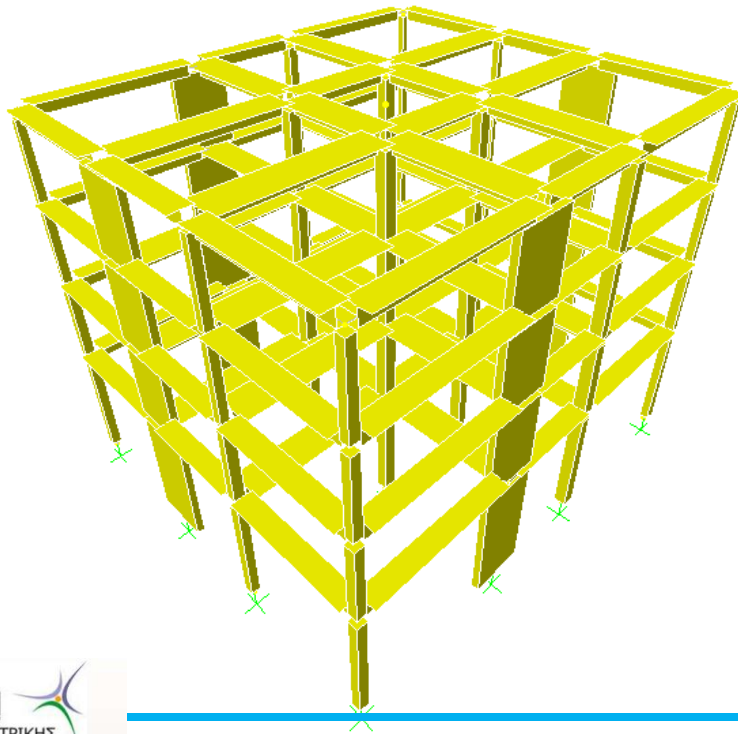
Στροφικό ελατήριο γύρω από Υ:

$$K_{ry} = K_s \cdot \frac{L_x^3 \cdot L_y}{12}$$

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

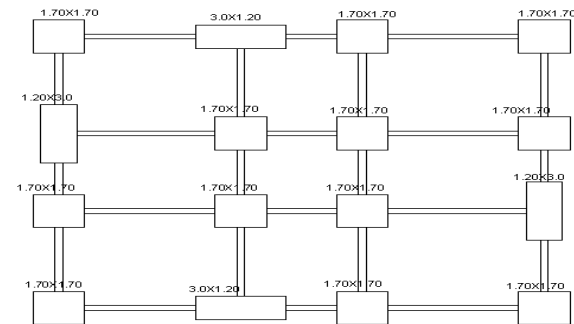
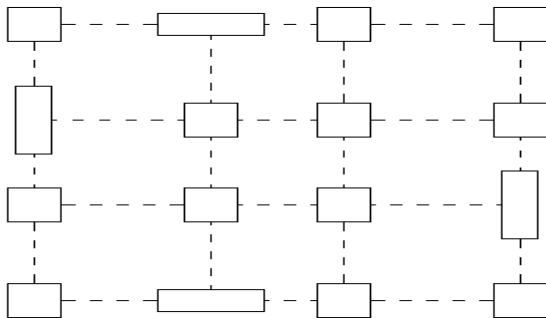
- Παράδειγμα συνυπολογισμού ενδοσιμότητας θεμελίωσης (Ποτουρίδου, 2005 )



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Παράδειγμα συνυπολογισμού ενδοσιμότητας θεμελίωσης (Ποτουρίδου, 2005 )
- Προσομοίωμα Α: πακτώσεις
- Προσομοίωμα Β: ελατήρια σε μεμονωμένα θεμέλια
- Προσομοίωμα Γ: ελατήρια σε θεμέλια με συνδετήριες δοκούς

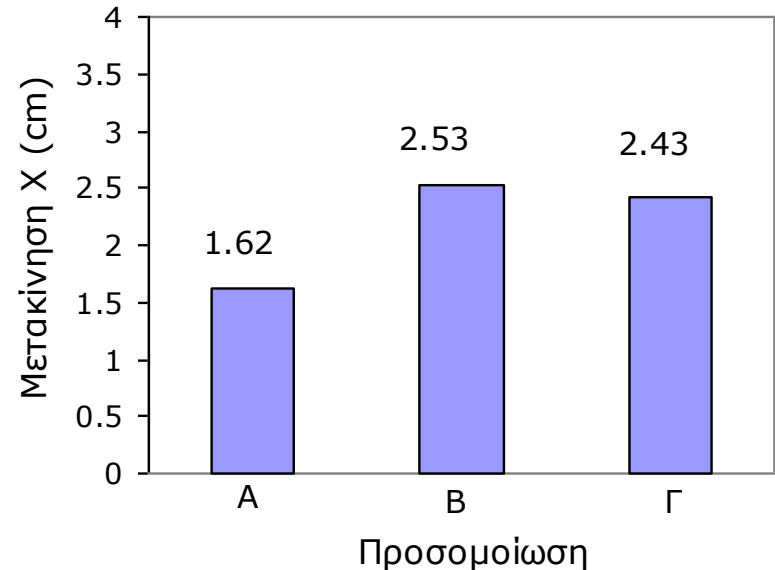
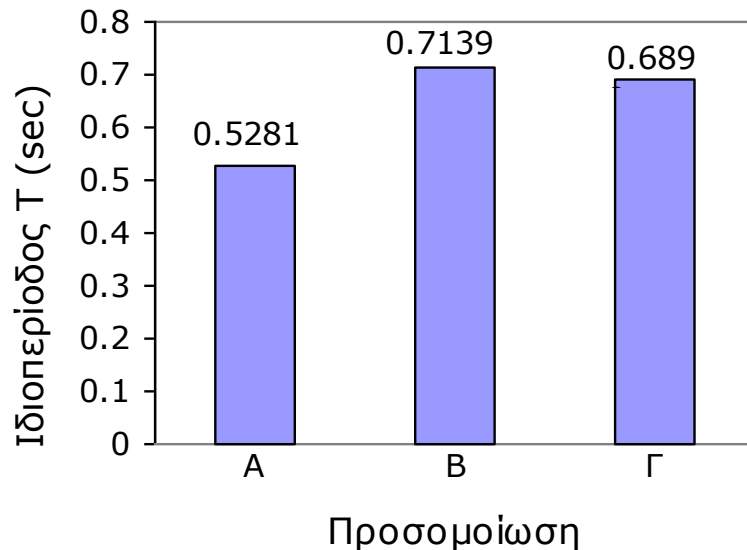




# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Παράδειγμα συνυπολογισμού ενδοσιμότητας θεμελίωσης (Ποτουρίδου, 2005 )
- Αποτελέσματα αναλύσεων

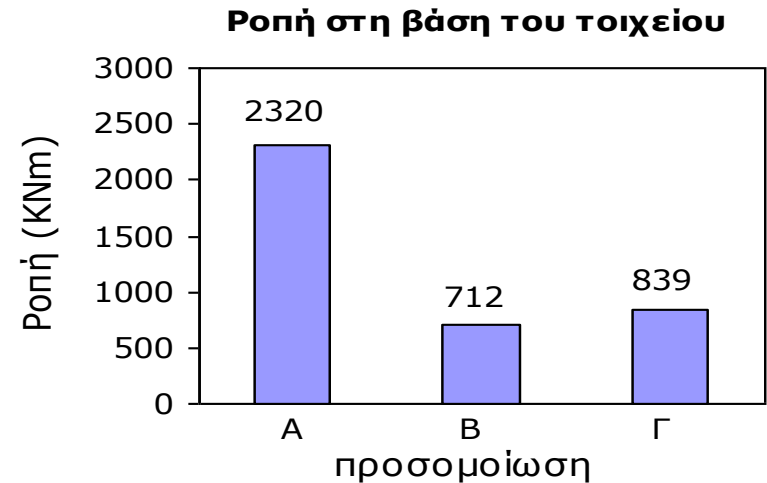
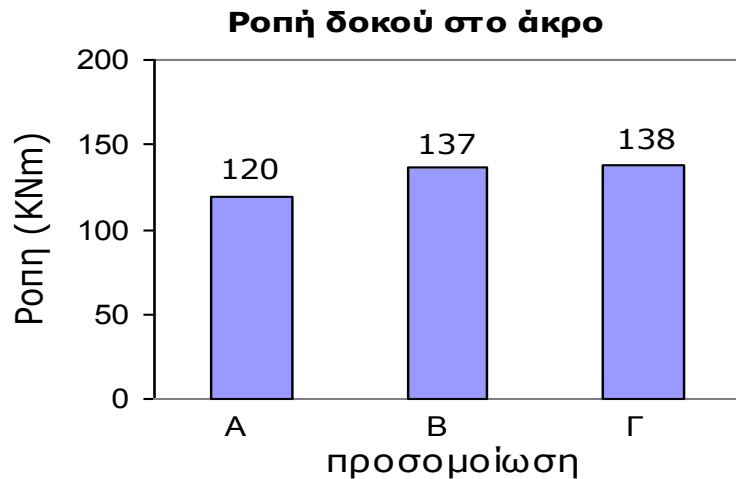


- Αύξηση ιδιοπεριόδου και γενικότερης ευκαμψίας του φορέα

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Παράδειγμα συνυπολογισμού ενδοσιμότητας θεμελίωσης (Ποτουρίδου, 2005 )
- Αποτελέσματα αναλύσεων

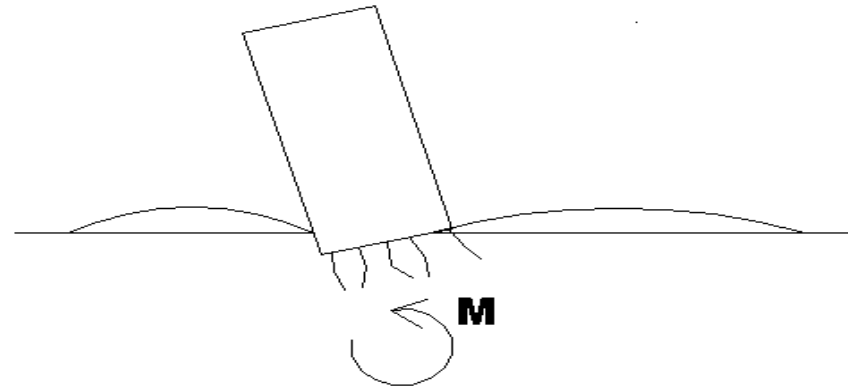
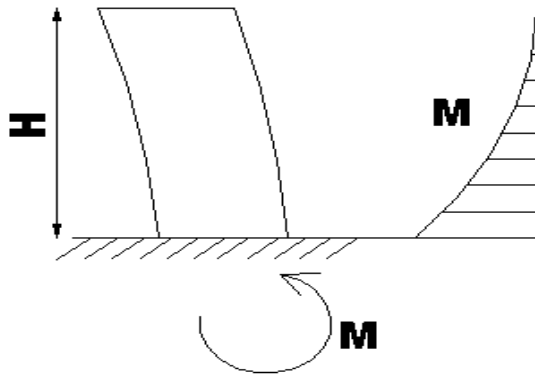


- Σημαντική μείωση των αναπτυσσόμενων ροπών στο τοίχωμα (η μεγάλη διαφορά εδώ οφείλεται στο αρκετά μαλακό έδαφος που θεωρήθηκε)

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Θεμελίωση (ενδοσιμότητα εδάφους)

- Παράδειγμα συνυπολογισμού ενδοσιμότητας θεμελίωσης (Ποτουρίδου, 2005 )
- Αποτελέσματα αναλύσεων



- Λόγω της ενδόσιμης θεμελίωσης τμήμα της φόρτισης παραλαμβάνεται με παραμόρφωση (στροφή) στις στηρίξεις του φορέα

## Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

### Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχοποιίες πλήρωσης

- Δεν αποτελούν δομικό στοιχείο του φέροντος οργανισμού συνεπώς δεν συμμετέχουν στην προσομοίωση και τον υπολογισμό της παραλαβής φορτίων
- Οι πλινθοδομές κατασκευάζονται σε επαφή με το γύρω πλαίσιο Ο/Σ συνεπώς προσδίδουν πρόσθετη δυσκαμψία και αντοχή στον φορέα
- Παράλληλα επηρεάζουν την απόκριση παρεμποδίζοντας την παραμόρφωση του φέροντος οργανισμού σε σχέση με το γυμνό πλαίσιο
- Η επιρροή των τοιχοποιιών πλήρωσης είναι σημαντικότερη σε εύκαμπτα κτίρια

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχοποιίες πλήρωσης

Επιρροή τοιχοποιίας πλήρωσης:

- Αύξηση δυσκαμψίας  $\rightarrow$  μείωση  $T \rightarrow$  διαφοροποίηση σεισμικού φορτίου από το φάσμα του σεισμού (συνήθως αύξηση ανάλογα με το φάσμα)
- Πρώτη γραμμή άμυνας της κατασκευής παραλαμβάνοντας μέρος της σεισμικής δράσης
- Ενδέχεται να προκαλέσουν τοπικές συγκεντρώσεις τάσεων ιδίως σε περίπτωση αστοχίας της τοιχοποιίας και μεταφοράς των φορτίων στο περιβάλλον πλαίσιο Ο/Σ
- Αυξάνεται γενικά η ικανότητα απορρόφησης σεισμικής ενέργειας με την προϋπόθεση ότι δεν μεταβάλλεται ο μηχανισμός ιεραρχημένης αστοχίας του φορέα

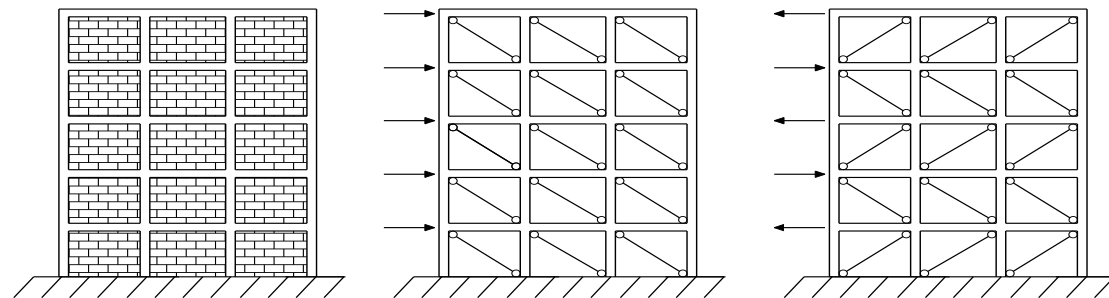
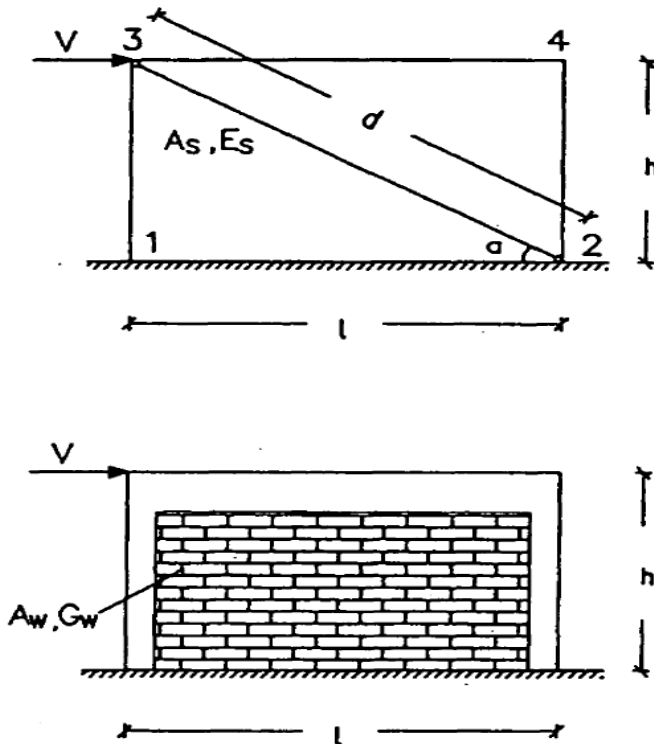
# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχοποιίες πλήρωσης

- Προσομοίωση με ισοδύναμη ράβδο (μοντέλο θλιβόμενης διαγωνίου)

Ιδιότητες ράβδου: 
$$E_s \cdot A_s = \frac{G_w \cdot A_w}{\cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}$$

Η ράβδος λειτουργεί μόνο σε θλίψη



Συμπεριφορά τοιχοποιίας λόγω αστοχιών σε επίπεδα σεισμού σχεδιασμού ???

**Αδυναμία συνυπολογισμού σε γραμμική ελαστική ανάλυση.**

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχοποιίες πλήρωσης

- Προσομοίωση με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία

*Ερωτηματικά:*

- Πρόωρη αστοχία σε σεισμό κοντά στον σεισμό σχεδιασμού δεν επιτρέπει γραμμική ελαστική προσομοίωση
- Επιλογή θέσεων επαφής με το γύρω πλαίσιο Ο/Σ

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχοποιίες πλήρωσης

- Γενικότερα η συμπεριφορά των τοιχοποιιών πλήρωσης δεν μπορεί να εκτιμηθεί αξιόπιστα:
  - λόγω της αβέβαιης δυσκαμψίας και αντοχής του σύνθετου υλικού από το οποίο αποτελείται
  - λόγω της μεγάλης ποικιλίας στις μεθόδους/τεχνοτροπίες κατασκευής της
  - λόγω της συχνής μεταβολής της θέσης και του αριθμού των τοιχοποιιών σε ένα κτίριο ακόμη και μετά την κατασκευή του
  - λόγω της πρόωρης αστοχίας των τοιχοποιιών σε σχέση με τον φέροντα οργανισμό Ο/Σ που απαιτεί μη γραμμική ανελαστική ανάλυση του φορέα

*Κατά συνέπεια η τοιχοποιία πλήρωσης συνήθως δεν προσομοιώνεται κατά την ανάλυση του φέροντα οργανισμού ενός κοινού οικοδομικού έργου*



# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

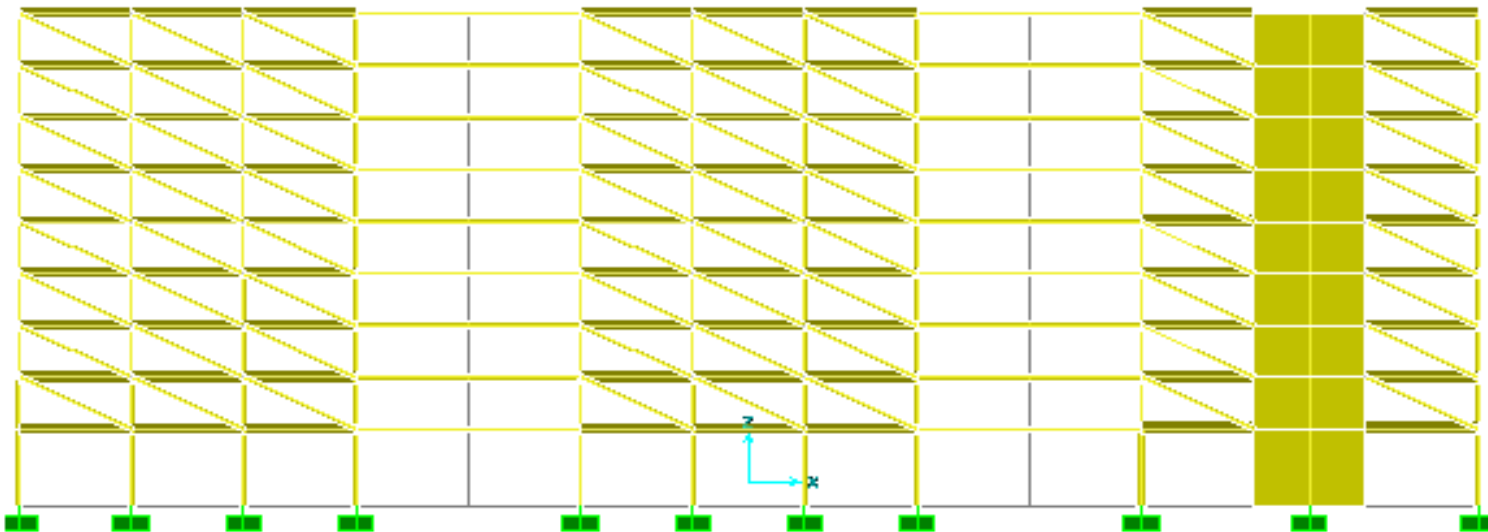
## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχοποιίες πλήρωσης

- Παράδειγμα συνυπολογισμού τοιχοποιίας πλήρωσης (Αλεξόπουλος 2004, Γκίνος 2005)
  - Εξετάστηκαν μικτά και αμιγή πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος
  - Κτίρια 2ώροφα – 4ώροφα και 9ώροφα
    - (α) πλήρως τοιχοπληρωμένα πλαίσια
    - (β) πλαίσια με μερικό σύστημα πυλωτής (ανοίγματα σε κάποιες θέσεις)
    - (γ) πλαίσια με πλήρες σύστημα πυλωτής (καμία τοιχοπλήρωση ισογείου)
    - (δ) γυμνά πλαίσια
  - Μελετήθηκε τόσο ισχυρή όσο και ασθενής τοιχοποιία
  - Χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο μέθοδοι προσομοίωσης

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχοποιίες πλήρωσης

- Παράδειγμα συνυπολογισμού τοιχοποιίας πλήρωσης (Αλεξόπουλος 2004, Γκίνος 2005)
- Ενδεικτική εικόνα 9ώροφου φορέα με προσομοίωση τοιχοπληρώσεων με ισοδύναμες ράβδους (σύστημα πυλωτής)

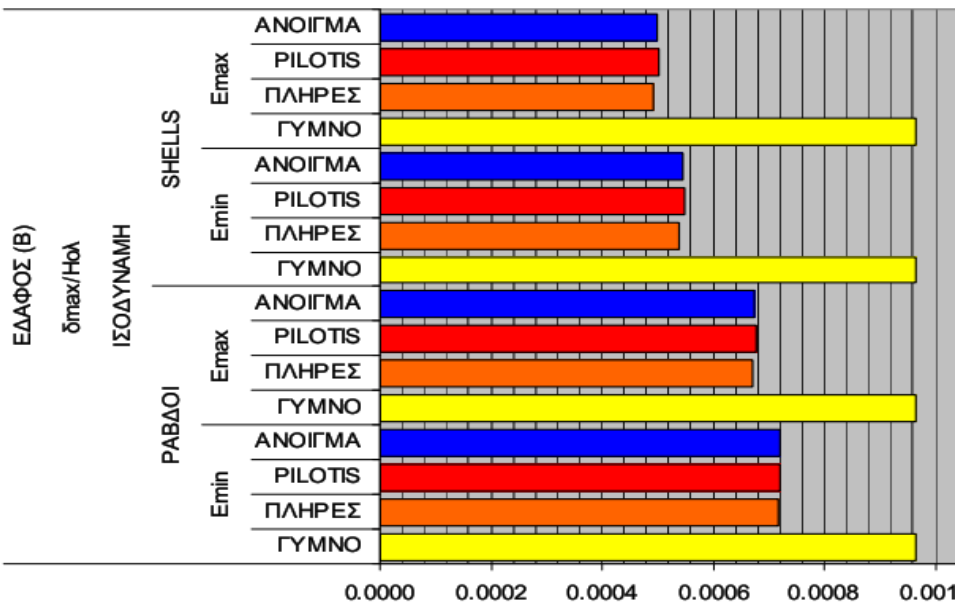


# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

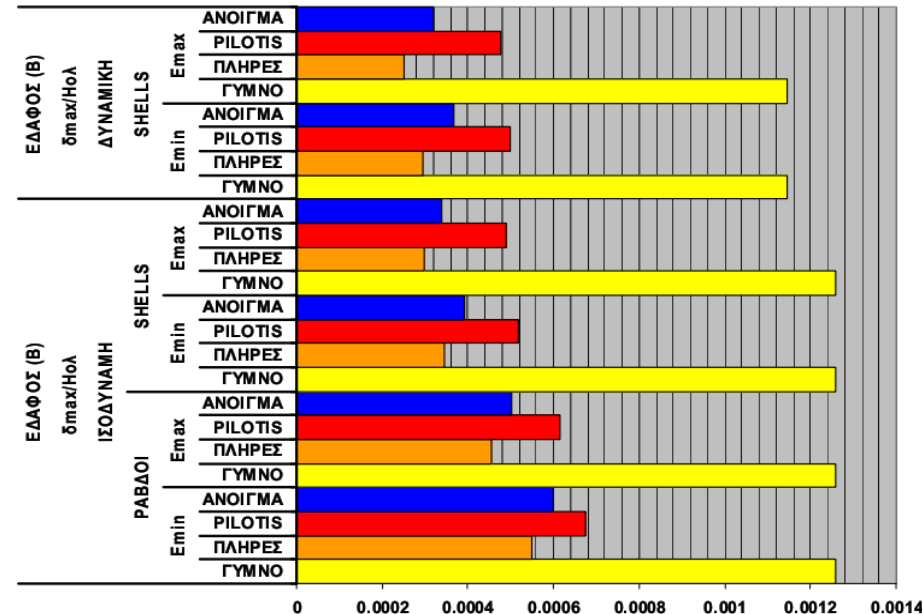
## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχοποιίες πλήρωσης

- Παράδειγμα συνυπολογισμού τοιχοποιίας πλήρωσης (Αλεξόπουλος 2004, Γκίνος 2005)

- Αποτελέσματα (Μετακινήσεις οροφής – ανηγμένες τιμές)



Μικτά πλαίσια



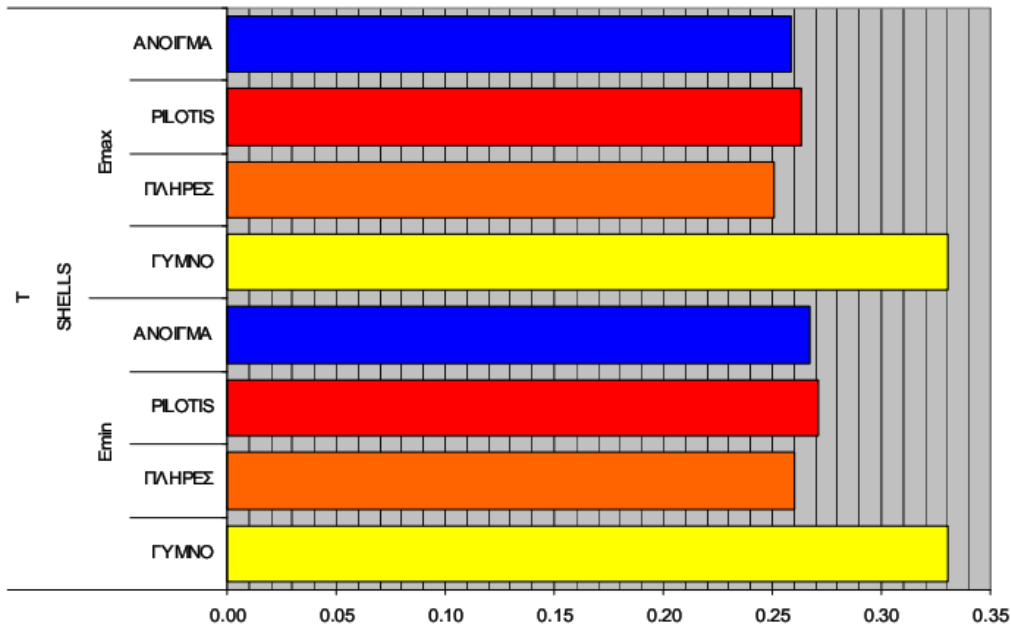
Αμιγή πλαίσια

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

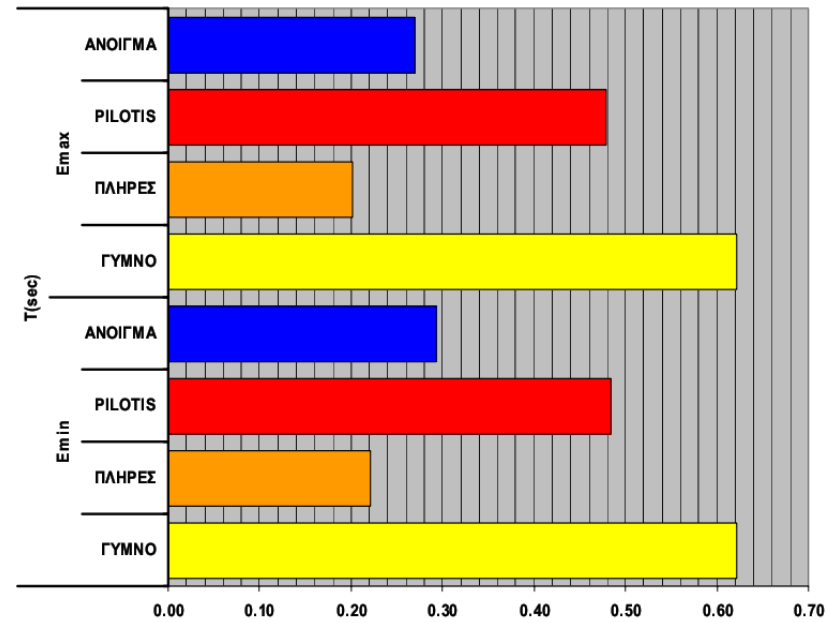
## Προσομοίωση δομικών στοιχείων: Τοιχοποιίες πλήρωσης

- Παράδειγμα συνυπολογισμού τοιχοποιίας πλήρωσης (Αλεξόπουλος 2004, Γκίνος 2005)

- Αποτελέσματα (Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κτιρίου)



Μικτά πλαίσια



Αμιγή πλαίσια

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Ειδικά Θέματα Προσομοίωσης

- Αδρανειακό προσομοίωμα φορέα
  - Καθορισμός αδρανειακών στοιχείων (μάζες) και στοιχείων δυσκαμψίας για την εκτέλεση ιδιομορφικών ή δυναμικών αναλύσεων
  - Ο καθορισμός των μαζών στο φορέα γίνεται με κάποιες παραδοχές βάση του ΕΑΚ 2000
  - Βάση των παραδοχών αποτελεί η θεώρηση διαφραγματικής λειτουργίας των πλακών στα επίπεδα των ορόφων
    - (α) μάζα συγκεντρωμένη στα επίπεδα των ορόφων
    - (β) μάζα συγκεντρωμένη στο κέντρο βάρους του ορόφου (εφόσον ισχύει η διαφραγματική λειτουργία) – προβλέπεται τυχηματική εκκεντρότητα
    - (γ) Ορίζονται οι μεταφορικές μάζες και η ροπή αδράνεια μάζας

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

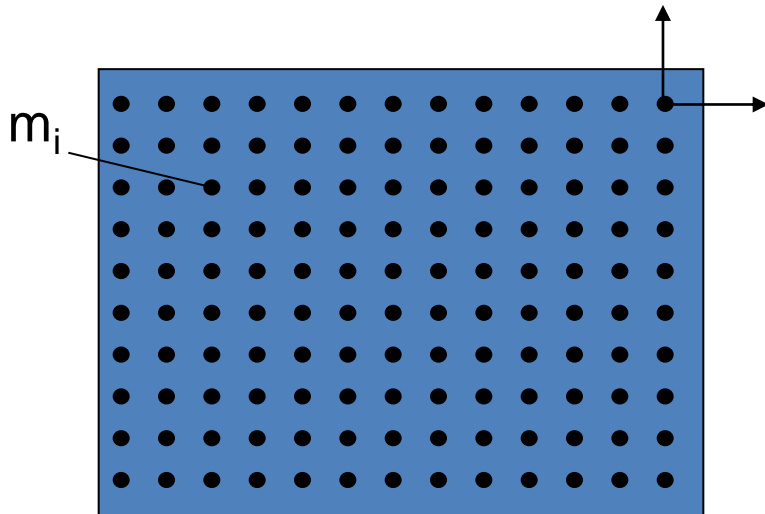
## Ειδικά Θέματα Προσομοίωσης

- Υπολογισμός ροπής αδράνειας μάζας σε ορθογωνική κάτοψη

$$J_m = \mu \cdot (I_x + I_y)$$

$\mu$  (t/m<sup>2</sup>): η κατανεμημένη μάζα του ορόφου στο επίπεδο της κάτοψης

$I_x - I_y$  : οι ροπές αδράνειας της ορθογωνικής κάτοψης γύρω από άξονες X - Y



*Λόγω της δυνατότητας μετακίνησης κάθε μεμονωμένης μάζας προκαλείται και μια στρεπτική ταλάντωση του κτιρίου γύρω από άξονα Z*

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

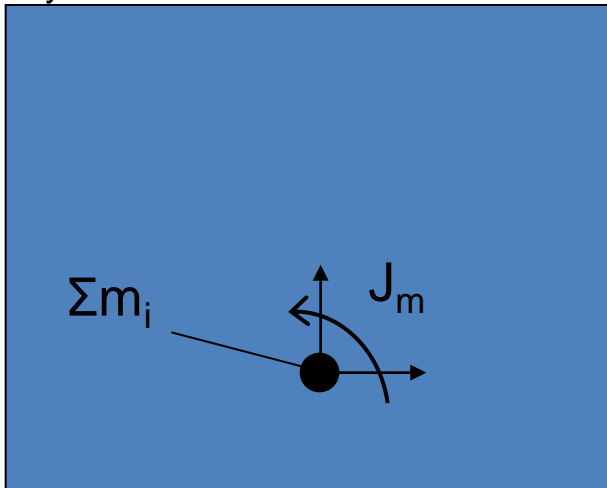
## Ειδικά Θέματα Προσομοίωσης

- Υπολογισμός ροπής αδράνειας μάζας σε ορθογωνική κάτοψη

$$J_m = \mu \cdot (I_x + I_y)$$

$\mu$  (t/m<sup>2</sup>): η κατανεμημένη μάζα του ορόφου στο επίπεδο της κάτοψης

$I_x - I_y$  : οι ροπές αδράνειας της ορθογωνικής κάτοψης γύρω από άξονες X - Y



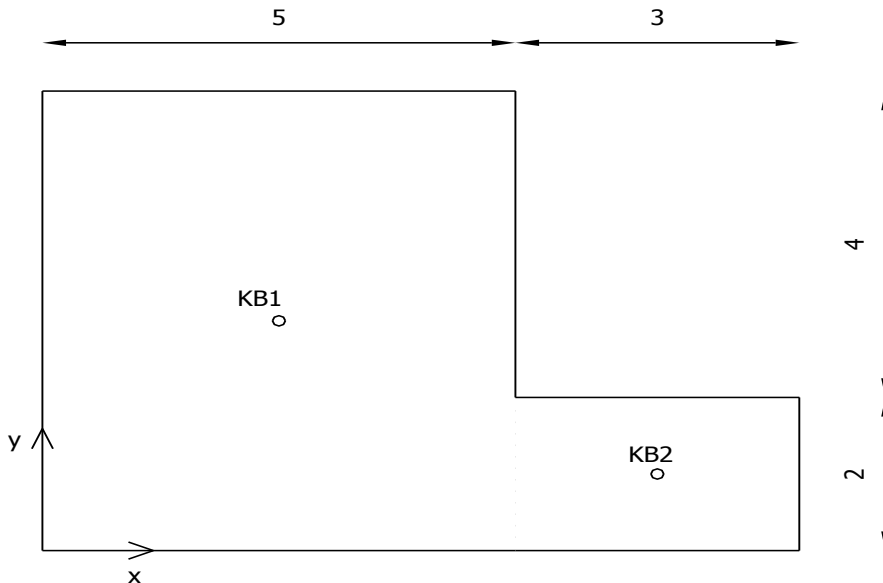
Κατά την απλοποίηση του προσομοιώματος με συγκεντρωμένη μάζα πρέπει να δοθεί η στρεπτική αδράνεια μάζας ώστε να αναπαραχθεί η στρεπτική ταλάντωση του πραγματικού φορέα με τις κατανεμημένες μάζες

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Ειδικά Θέματα Προσομοίωσης

- Παράδειγμα υπολογισμού στρεπτικής αδράνειας μάζας

Να υπολογιστεί η θέση της συγκεντρωμένης μάζας και η τιμή της στρεπτικής ροπής μάζας (ροπής αδράνειας μάζας) στη κάτοψη



Σημείωση:

Ο υπολογισμός που ακολουθεί θεωρεί όλη τη μάζα ομοιόμορφα κατανομημένη στον όροφο. Στην πραγματικότητα, τμήμα της μάζας από τις τοιχοποιίες είναι διατεταγμένο κυρίως περιμετρικά, επηρεάζοντας την τελική τιμή της ροπής αδράνειας μάζας ιδίως σε απλούς φορείς (Κίρτας και Νέλιος, 2012)

Δίνεται  $G+0.3Q=7.78 \text{ KN/m}^2$

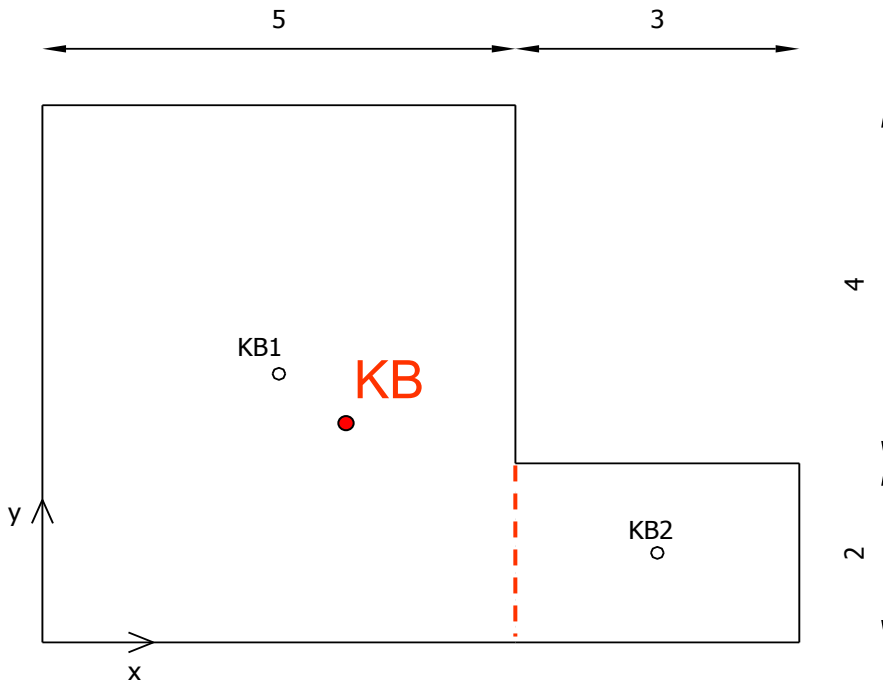


# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Ειδικά Θέματα Προσομοίωσης

- Παράδειγμα υπολογισμού στρεπτικής αδράνειας μάζας

Να υπολογιστεί η θέση της συγκεντρωμένης μάζας και η τιμή της στρεπτικής ροπής μάζας (ροπής αδράνειας μάζας) στη κάτοψη



Εμβαδά τμημάτων:

$$A_1 = 30\text{m}^2 \quad \text{KB1 (2.5, 3.0)}$$

$$A_2 = 6\text{m}^2 \quad \text{KB2 (6.5, 1.0)}$$

ΚΒ κάτοψης:

$$x = \frac{x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{2.5\text{m} \cdot 30\text{m}^2 + 6.5\text{m} \cdot 6\text{m}^2}{30\text{m}^2 + 6\text{m}^2} = 3.17\text{m}$$

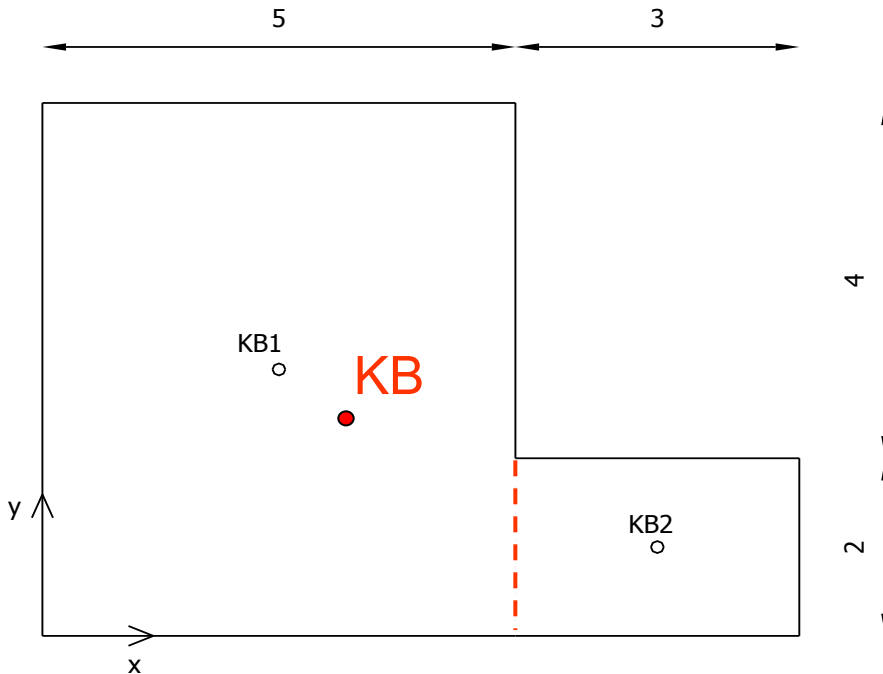
$$y = \frac{y_1 \cdot A_1 + y_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{3\text{m} \cdot 30\text{m}^2 + 1\text{m} \cdot 6\text{m}^2}{30\text{m}^2 + 6\text{m}^2} = 2.67\text{m}$$

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Ειδικά Θέματα Προσομοίωσης

- Παράδειγμα υπολογισμού στρεπτικής αδράνειας μάζας

Να υπολογιστεί η θέση της συγκεντρωμένης μάζας και η τιμή της στρεπτικής ροπής μάζας (ροπής αδράνειας μάζας) στη κάτοψη



Συνολικό βάρος και μάζα ορόφου:

$$B = 7.78 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \cdot 36\text{m}^2 = 280 \text{ KN}$$

$$m = \frac{B}{g} = \frac{280}{9.81} = 28.54 \text{ t}$$

Κατανεμημένη μάζα ορόφου:

$$\mu = \frac{m}{A} = \frac{28.54 \text{ t}}{36 \text{ m}^2} = 0.793 \frac{\text{t}}{\text{m}^2}$$

Μάζα κάθε τμήματος κάτοψης:

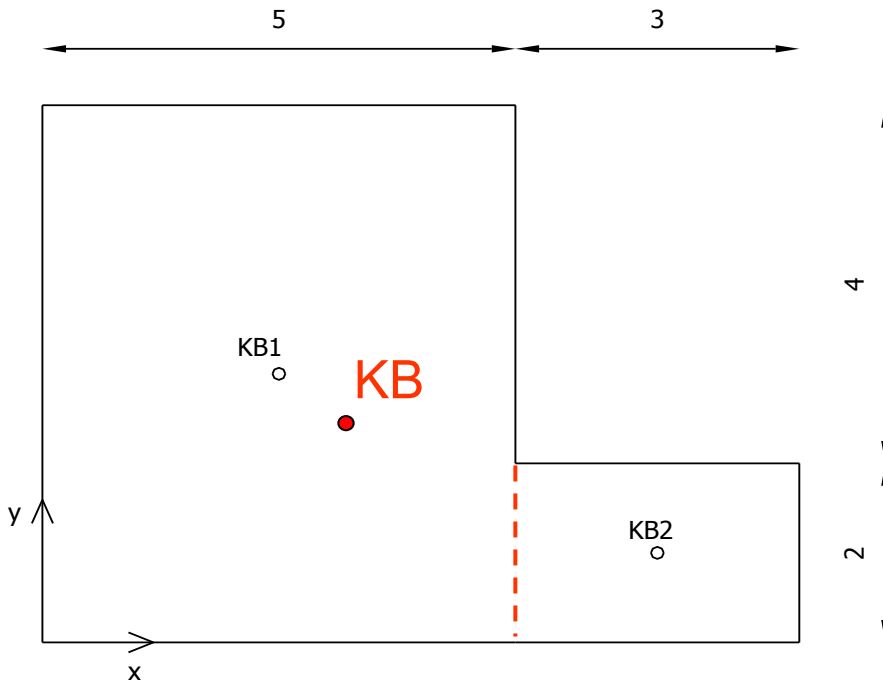
$$m_1 = m \cdot \frac{A_1}{A} = 28.54 \text{ t} \cdot \frac{30 \text{ m}^2}{36 \text{ m}^2} = 23.78 \text{ t} \quad m_2 = m \cdot \frac{A_2}{A} = 28.54 \text{ t} \cdot \frac{6 \text{ m}^2}{36 \text{ m}^2} = 4.76 \text{ t}$$

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Ειδικά Θέματα Προσομοίωσης

- Παράδειγμα υπολογισμού στρεπτικής αδράνειας μάζας

Να υπολογιστεί η θέση της συγκεντρωμένης μάζας και η τιμή της στρεπτικής ροπής μάζας (ροπής αδράνειας μάζας) στη κάτοψη



Ροπές αδράνειας τμημάτων:

$$I_{x1} = \frac{5m \cdot 6^3 m^3}{12} = 90m^4 \quad I_{y1} = \frac{6m \cdot 5^3 m^3}{12} = 62.5m^4$$

$$I_{x2} = \frac{3m \cdot 2^3 m^3}{12} = 2m^4 \quad I_{y2} = \frac{2m \cdot 3^3 m^3}{12} = 4.5m^4$$

Ροπές αδράνειας μάζας τμημάτων:

$$J_{m1} = \mu \cdot (I_{x1} + I_{y1}) = 0.793 \text{ t/m}^2 \cdot (90 + 62.5)m^4 = 120.93 \text{ tm}^2$$

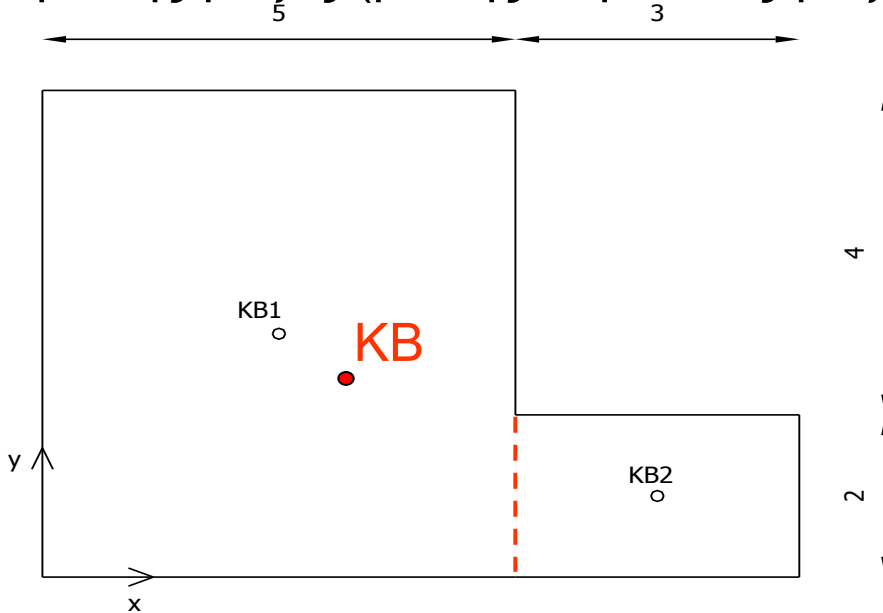
$$J_{m2} = \mu \cdot (I_{x2} + I_{y2}) = 0.793 \text{ t/m}^2 \cdot (2 + 4.5)m^4 = 5.15 \text{ tm}^2$$

# Προσομοίωση φορέα σε πρόγραμμα Η/Υ

## Ειδικά Θέματα Προσομοίωσης

- Παράδειγμα υπολογισμού στρεπτικής αδράνειας μάζας

Να υπολογιστεί η θέση της συγκεντρωμένης μάζας και η τιμή της στρεπτικής ροπής μάζας (ροπής αδράνειας μάζας) στη κάτοψη



Αποστάσεις μεταξύ ΚΒ:

$$r_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = (3.17 - 2.5)^2 + (2.67 - 3)^2 = 0.4489 + 0.1089 = 0.5578\text{m}^2$$

$$r_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = (3.17 - 6.5)^2 + (2.67 - 1)^2 = 11.0889 + 2.7889 = 13.8778\text{m}^2$$

Συνολική μαζική ροπή αδρανείας:

$$J_m = J_{mA} + m_A \cdot r_A^2$$

$$J_m = (J_{m1} + m_1 \cdot r_1^2) + (J_{mB} + m_2 \cdot r_2^2) =$$

$$= (120.93\text{tm}^2 + 23.78\text{t} \cdot 0.5578\text{m}^2) + (5.15\text{tm}^2 + 4.76\text{t} \cdot 13.8778\text{m}^2) = 205.40\text{tm}^2$$

# Τέλος Ενότητας

---

