

**21ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ 2015  
ΠΑΤΡΑ – ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2015**

**ΤΟ «ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ» ΣΤΗΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

**Ε. ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΜΠ**





**PIKOMEΞ (1999)**

## ΤΟ «ΜΟΝΩΡΟΦΟ ΜΕ ΣΤΡΟΦΗ»

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Ayre, R. S.: «Interconnection of Translational and Torsional Vibrations in Buildings», Bull. Seism. Soc. Am. , 28: 89- 130 (1938)

$$e_{sx} = \frac{1}{L} \frac{\sum_{i=1}^N k_{yi} x_i}{K} \quad I_{p,k} = \sum_{i=1}^N \left[ k_{yi} (x_{i,C_s})^2 + k_{xi} (y_{i,C_s})^2 \right]$$

Α. Ρουσόπουλος: «Διανομή οριζοντίων δυνάμεων υπό ακάμπτου πλακός εις ολοσώμους εν τω χώρω φορείς. Περίπτωσης σεισμικών δυνάμεων. Διανομή και δίαιτα αυτών», Τεχνικά Χρονικά, τεύχος 17 (1η Σεπτεμβρίου 1932).

**ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΟΙ ΕΛΛΗΝΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΕΣ ΣΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ  
(ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ)**

- 1. Σ. ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ**
- 2. Κ. ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ**
- 3. Τ. ΜΑΚΑΡΙΟΣ**
- 4. Μ. ΦΑΡΔΗΣ**

## **ΤΟ «ΜΟΝΩΡΟΦΟ ΜΕ ΣΤΡΟΦΗ»**

**Ήταν ένας προσεγγιστικός τρόπος κατανομής σεισμικών δυνάμεων και υπολογισμού αντίστοιχων εντατικών μεγεθών, ελλείπει υπολογιστικών εργαλείων.**

**Αφορούσε κτήρια με «διατμητική» συμπεριφορά (συγκέντρωση σεισμικών παραμορφώσεων στους χαμηλούς ορόφους).**

**Αφορούσε κτήρια με φέροντα οργανισμό από εύκαμπτους στύλους και δύσκαμπτες δοκούς.**

**Συναρτιόταν με υπολογιστικό πλαίσιο βασιζόμενο στην ελαστική συμπεριφορά του οπλισμένου σκυροδέματος («επιτρεπόμενες τάσεις»).**

**Είχε θεωρηθεί επιτυχές διότι από τη θέσπιση της συσχέτισής του με τον αντισεισμικό κανονισμό(1959) μέχρι τους σεισμούς Θεσσαλονίκης (1978) και Αθήνας (1981) δεν είχαν πληγεί από σεισμούς αστικά κέντρα της χώρας.**

## **ΤΟ «ΜΟΝΩΡΟΦΟ ΜΕ ΣΤΡΟΦΗ»**

**Δημιούργησε «Σχολή Σκέψης». Δαιμονοποίησε τη «στροφή» και δημιούργησε την ψευδαίσθηση ότι η σύμπτωση «ΚΕΣ» και «ΚΒ» ήταν πανάκεια.**

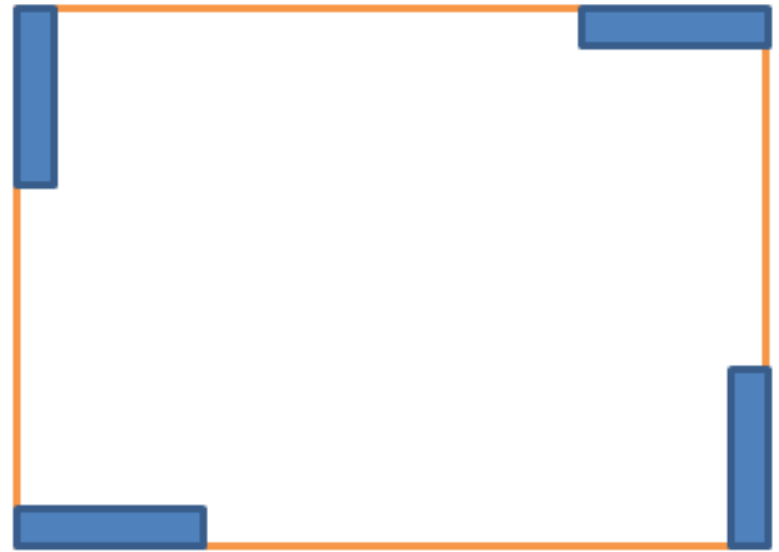
**Ενώ ήταν εργαλείο για την εύρεση εντατικών μεγεθών και ελαστικών μετακινήσεων μελών φορέων μεγάλης υπερστατικότητας, συνεχιζόταν η εφαρμογή του και μετά τη διάδοση των προγραμμάτων «Χωρικού πλαισίου» και την επικράτηση του σχετικού λογισμικού.**

**Σχετικές διατάξεις είχαν συμπεριληφθεί στον ΝΕΑΚ και παρέμειναν σε όλες τις εκδόσεις.**

**Ακόμη και μετά τη θέσπιση των ανελαστικών μεθόδων προσδιορισμού της απόκρισης φορέων σε σεισμούς και τις ραγδαίες μειώσεις των ακαμψιών των μελών στις μεγάλες παραμορφώσεις, η αναζήτηση του «Κέντρου Στροφής» παραμένει στα ζητούμενα.**

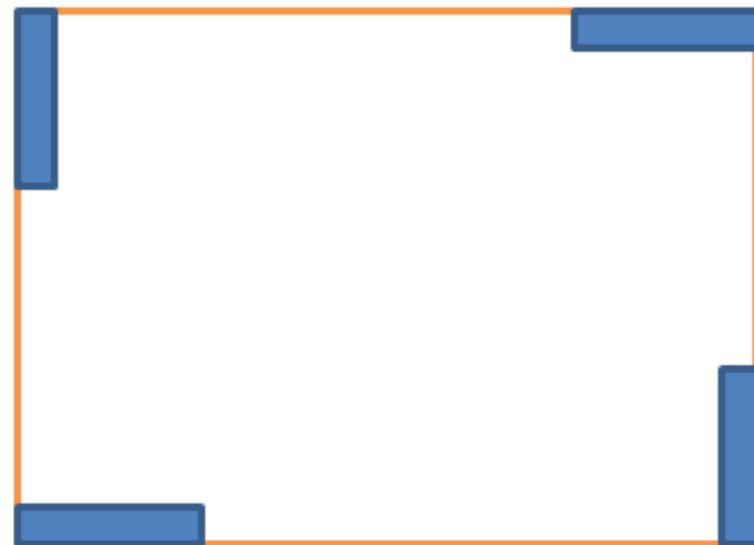
Ποιά διάταξη είναι καλύτερη από «αντισεισμικής» σκοπιάς;

ή



Ποιά διάταξη είναι καλύτερη από «αντισεισμικής» σκοπιάς;

ή



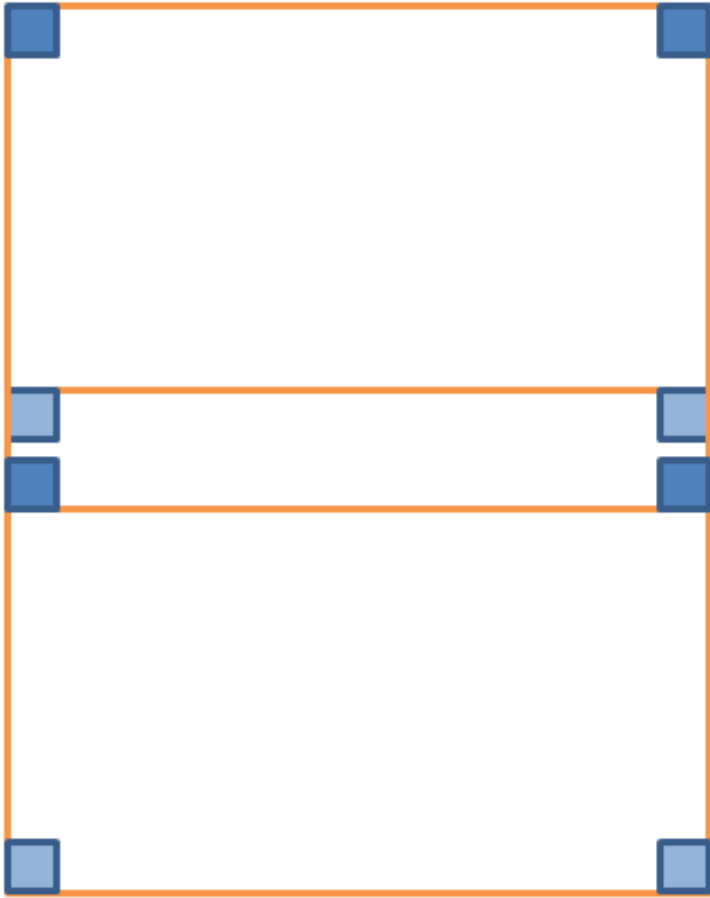


Ποιά διάταξη είναι καλύτερη από «αντισεισμικής» σκοπιάς;



ή





Η προσθήκη σημαντικής ακαμψίας, έστω και έκκεντρα, μειώνει (για «φυσιολογικές» διατάξεις) τις σεισμικές μετακινήσεις όλων των σημείων του διαφράγματος.

# ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΕΑΚ «ΣΥΜΒΑΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΩΡΟΦΟ»

- Σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000, ένα κτίριο θεωριόταν **στρεπτικά ευαίσθητο**, όταν κατά τη μία τουλάχιστον κύρια διεύθυνση (x ή y) η ακτίνα δυστροψίας  $\rho_{m,i}$  ως προς το κέντρο μάζας  $M_i$  κάθε διαφράγματος ήταν μικρότερη ή ίση από την ακτίνα αδράνειας  $r_i$  του διαφράγματος ( $\rho_{m,i} \leq r_i$ ).
- Στην περίπτωση αυτή δεν ίσχυαν διατάξεις απαλλαγής από ικανοτικό σχεδιασμό κόμβων λόγω επάρκειας τοιχίων.

# ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΕΚ-8 «ΣΥΜΒΑΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΩΡΟΦΟ»

## Κριτήρια Κανονικότητας σε Κάτοψη

(Για χωριστή επίπεδη ανάλυση ανά διεύθυνση & μη-μείωση συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  για προσεγγιστική εκτίμηση συντελ. υπεραντοχής  $a_u/a_1$ )

### Απλά κριτήρια – δυνατότητα ελέγχου πριν την ανάλυση:

1.  $K$  &  $m$  ~ Συμμετρική κατανομή & προς τους δυο οριζοντ. Άξονες.
2. Διαφράγματα δυσπαραμόρφωτα στο επίπεδο τους.
3. Σχήμα κάτοψης: απλό
  - Λόγος διαστάσεων σε δυο οριζ. Διευθύνσεις  $\leq 4.0$ ;
  - Κάθε εσοχή ως προς πολυγωνική περιβάλλουσα  $< 5\%$  επιφαν. Κάτοψης
4. Στις δυο (κύριες) οριζόντιες διευθύνσεις, ανά όροφο:
  - $e_o$  (εκκεντρότητα Κ.Μ.- Κ.Ε.Σ.)  $\leq 0.3r$  (ακτίνας δυστρεψίας φορέα) :
    - Συντηρητικό όριο για ικανοποιητική στρεπτική απόκριση (απαιτήσεις πλαστιμότητας μελών ~ όπως σε κτίριο χωρίς εκκεντρότητα)
  - $r$  (ακτίνα δυστρεψίας φορέα)  $\geq l_s$  (ακτίνα αδρανείας μάζας σε κάτοψη)
    - Δυο βασικές μεταφορικές ιδιοπερίοδοι  $>$  στρεπτικής.

$$r_x \geq l_s; \quad r_y \geq l_s \quad r_x = \sqrt{\frac{\sum(x^2 EI_y + y^2 EI_x)}{\sum(EI_y)}}; \quad r_y = \sqrt{\frac{\sum(x^2 EI_y + y^2 EI_x)}{\sum(EI_x)}}$$

# ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΕΚ-8

## Επιπτώσεις στατικής κανονικότητας στην σεισμική ανάλυση και μελέτη

Κανονικότητα σε		Επιτρεπόμενη απλοποίηση		Συντελεστής συμπεριφοράς
Κάτοψη	Όψη	Προσομοίωμα	Γραμμική-ελαστική ανάλυση	(για γραμμική ανάλυση)
Ναι	Ναι	Επίπεδο	Οριζόντια φόρτιση <sup>α</sup>	Τιμή αναφοράς
Ναι	Όχι.	Επίπεδο	Ιδιομορφική ανάλυση	Μειωμένη τιμή
Όχι.	Ναι	Χωρικό <sup>β</sup>	Οριζόντια φόρτιση <sup>α</sup>	Τιμή αναφοράς
Όχι.	Όχι.	Χωρικό	Ιδιομορφική ανάλυση	Μειωμένη τιμή

# ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΕΚ-8

Πίνακας 5.1: Βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς,  $q_0$ , για συστήματα κανονικά σε όψη

ΤΥΠΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΚΠΜ	ΚΠΥ
Πλαισιωτό σύστημα, διπλό σύστημα, σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων	$3,0 \alpha_u/\alpha_1$	$4,5 \alpha_u/\alpha_1$
Σύστημα ασύζευκτων τοιχωμάτων	3,0	$4,0 \alpha_u/\alpha_1$
Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα	2,0	3,0
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	1,5	2,0

Σε πολυώροφα πολύστυλα πλαισιωτά κτίρια ή ισοδύναμα προς αυτά διπλά συστήματα, μπορεί να ληφθεί  $\alpha_u/\alpha_1=1,3$

(Για κτίρια μη κανονικά σε όψη, η τιμή του  $q_0$  πρέπει να μειώνεται κατά 20%)

(6) Για κτίρια που δεν είναι κανονικά σε κάτοψη, η προσεγγιστική τιμή του  $\alpha_u/\alpha_1$  που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν δεν γίνει ειδικός υπολογισμός για την αποτίμησή του είναι ίση με την μέση τιμή μεταξύ (α) 1,0 και (β) 1,3 (δηλ. 1,15).

(7) Υψηλότερες τιμές του  $\alpha_u/\alpha_1$  από αυτές που προτείνονται, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εφόσον επιβεβαιώνονται από μη-γραμμική στατική γενική ανάλυση.

(8) Η μέγιστη τιμή του  $\alpha_u/\alpha_1$  που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην μελέτη είναι 1,5, ακόμα και όταν η ανάλυση που αναφέρεται στο (7) οδηγεί σε υψηλότερες τιμές.

**Αρα: Μείωση του  $q$  κατά 12% στη «στατική» μέθοδο.**

Τι γίνεται με τη δυναμική σύζευξη στρεπτικών με μεταφορικές ιδιομορφές;

- 1) Μείωση της «στατικής» εκκεντρότητας δεν σημαίνει απαραίτητα απαλοιφή συντονιστικών φαινομένων (υπάρχει περίπτωση και για το αντίθετο)
- 2) Έχει αποδειχθεί ότι οι διαπιστωμένες (μετρημένες) ιδιοπερίοδοι και ιδιομορφές υπαρχουσών κατασκευών προσεγγίζονται από τις αντίστοιχες υπολογιστικές με απόκλιση της τάξεως του 100%.

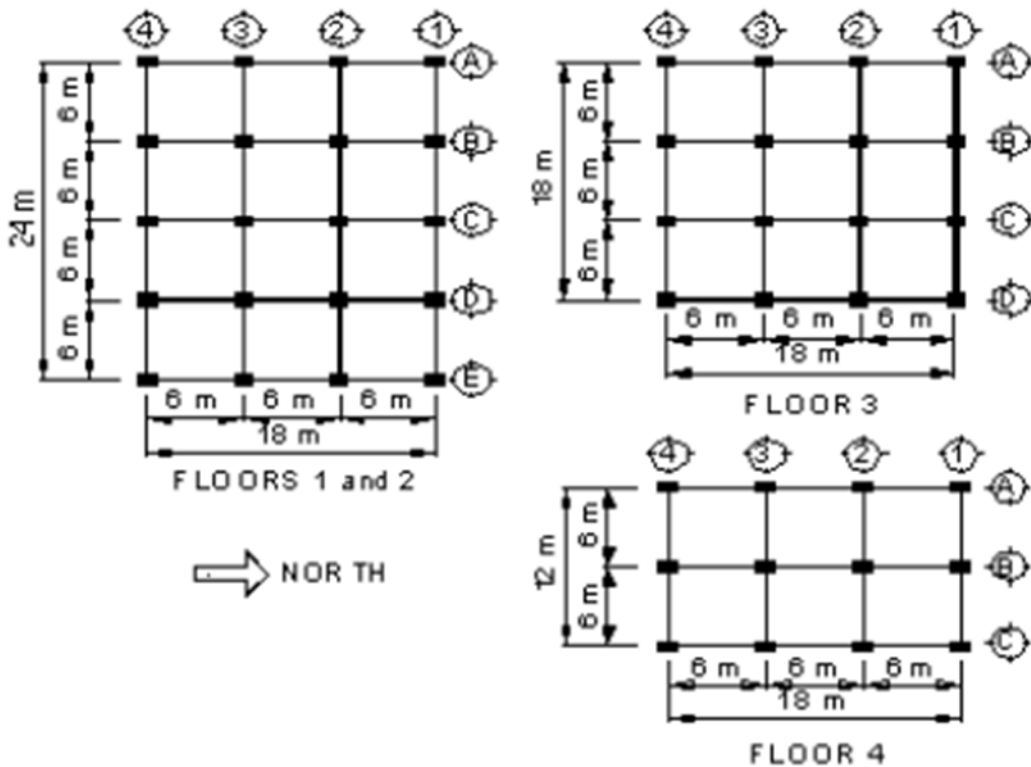
Πόσο αυθαίρετη είναι η τιμή της «τυχηματικής εκκεντρότητας» που προβλέπεται από τους Κανονισμούς ;



## Eccentric force excitation of a reinforced concrete building to assess torsion amplification

J. De-la-Colina and J. Valdés

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.



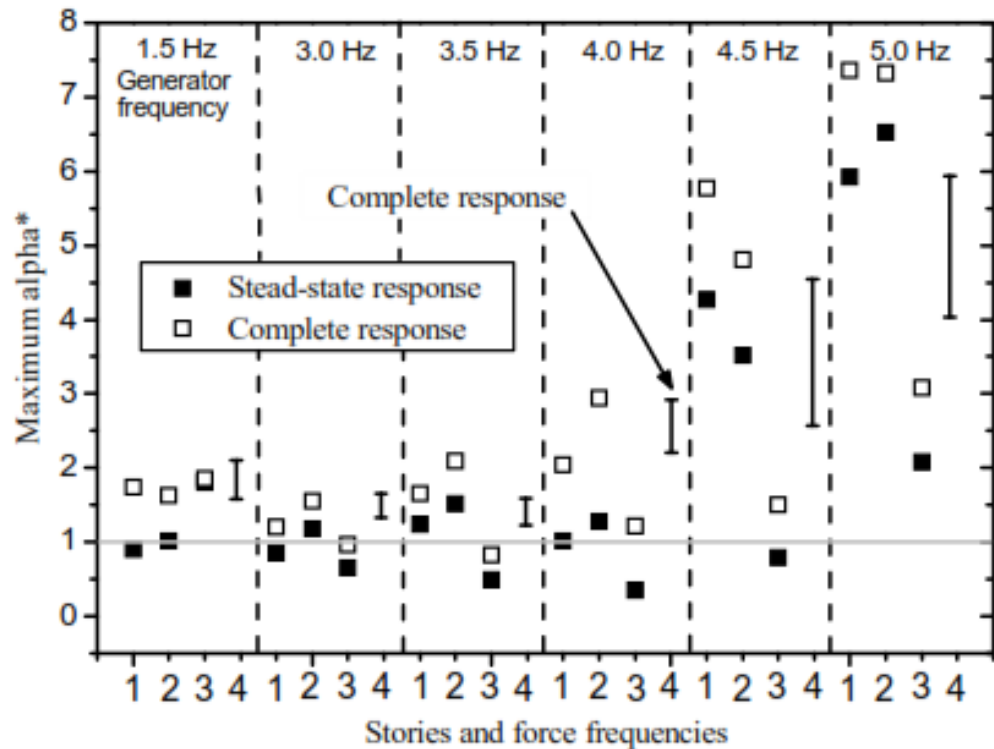
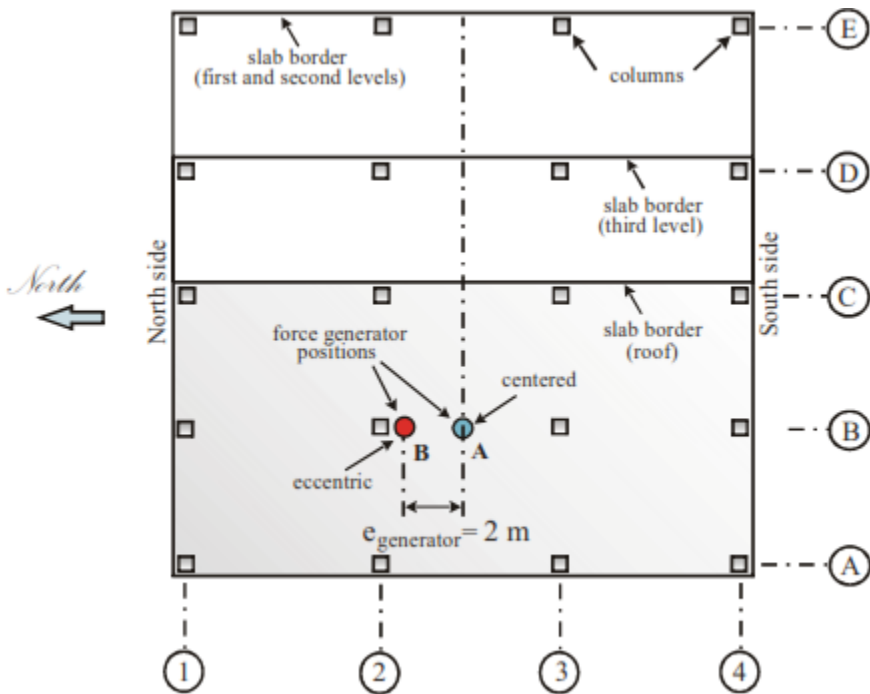


Table 1. Experimental and analytical mode frequencies.

Mode	Experimental freq. (Hz)	Analytical freq. (Hz)	Difference (%)	Observation
1	1.50	1.50	0.00	Translation (1st mode, E-W)
2	1.75	1.60	9.37	Translation (1st mode, N-S)
3	2.25	2.23	0.89	Torsion (1st mode)
4	3.75	4.07	-7.86	Translation (2nd mode, E-W)
5	Not found	4.92	-	Translation (2nd mode, N-S)
6	5.00	5.25	4.76	Torsion (2nd mode)

$$\alpha^*(t) = M_{dyn} / [F_{exciter} \cdot e_{exc}]$$

Αν συγκριθεί με τιμες του ΕΚ-8:

$$\alpha^*(t) = 1 + 0,05 \cdot L_i / e_{\omega} = 1,55$$

Τα πειράματα με διεγέρτες προκαλούν αποκρίσεις στην ελαστική περιοχή.

Αδύνατον να προκληθούν ανελαστικές στροφές σε φυσική κλίμακα.

# Υπάρχει καμμιά διαφορά στις ανελαστικές αναλύσεις;

Στις πρώτες μεθόδους «pushover», αντιμετωπζόταν το κάθε δόμημα ως επίπεδα πλαίσια «εν σειρά», οπότε δεν λαμβανόταν υπόψη η στροφή.

Με την εξέλιξη του λογισμικού, γίνεται επίλυση «στο χώρο», οπότε η στροφή συνυπολογίζεται(\*) «αυτόματα» στην εύρεση των μετακινήσεων των κόμβων.

Άρα ο προσδιορισμός του «κέντρου στροφής» δεν απαιτείται για την επίλυση

Χρειάζεται όμως ο προσδιορισμός του και πώς γίνεται αυτός;

Ένας τρόπος είναι η επιβολή μοναδιαίας στροφής σε μια στάθμη του εξεταζόμενου φορέα. Το σημείο του διαγράμματος που δεν μετακινείται είναι ο «πόλος στροφής».

Η θέση του σημείου αλλάζει όταν αλλάζει το μητρώο ακαμψίας.

(\*) Δεν έχει συνυπολογισθεί η διαξονική καταπόνηση στις σχέσεις που δίνουν τις γωνίες διαρροής, ροπής-στροφής, γωνίας χορδής κτλ .....

## ΣΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

---

- Εφαρμόστηκε σε συγκεκριμένο κτηριο η **ισοδύναμη στατική μέθοδος**, με σκοπό να διερευνηθεί η συμβολή της εκκεντρότητας, στα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη και τις μετακινήσεις των δομικών του στοιχείων.
- Εφαρμόστηκε επίσης, η **ανελαστική στατική ανάλυση**, για την εκτίμηση της ανελαστικής συμπεριφοράς ενός φορέα με σημαντική εκκεντρότητα.
- Αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία προσδιορισμού του **κέντρου στροφής** των φορέων, κατά τη μετάβασή τους στην **ανελαστική κατάσταση** και έγινε σύγκριση των θέσεων του κέντρου στροφής και του κέντρου δυσκαμψίας.

## Η ΕΝΟΧΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΡΟΦΗΣ

Παραδείγματα **ασύμμετρων κτιρίων** (με παρουσία **δύσκαμπτου πυρήνα**, τοποθετημένου **έκκεντρα**) με σημαντικές σεισμικές βλάβες, αποδίδονται σε στρεπτική απόκριση αυτών.



# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΥΜΜΕΤΡΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

## □ Δημοσιευμένη ανάλυση αστοχίας που αποδίδεται σε στροφή:

Η παρουσία μονόπλευρου τοίχου φαίνεται να ευθύνεται για βλάβες στα απέναντι περιμετρικά υποστυλώματα



(α)



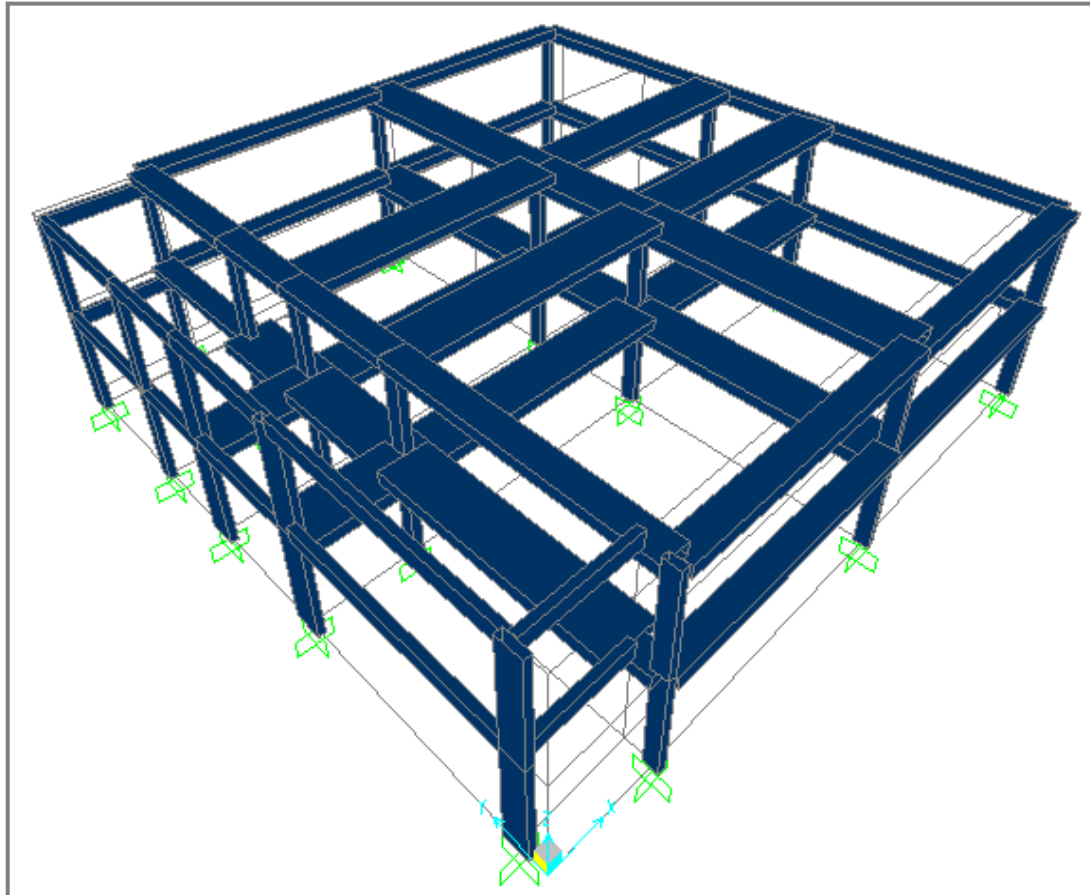
(β)

(α) Γενική άποψη των βλαβών σε 3-όροφο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα.

(β) Βλάβη σε περιμετρικό υποστύλωμα αποδιδόμενη σε ασύμμετρη κατανομή της δυσκαμψίας, κατά την διάρκεια σεισμού στην Ιαπωνία το 1978 (Do Soo Moon, 2012).

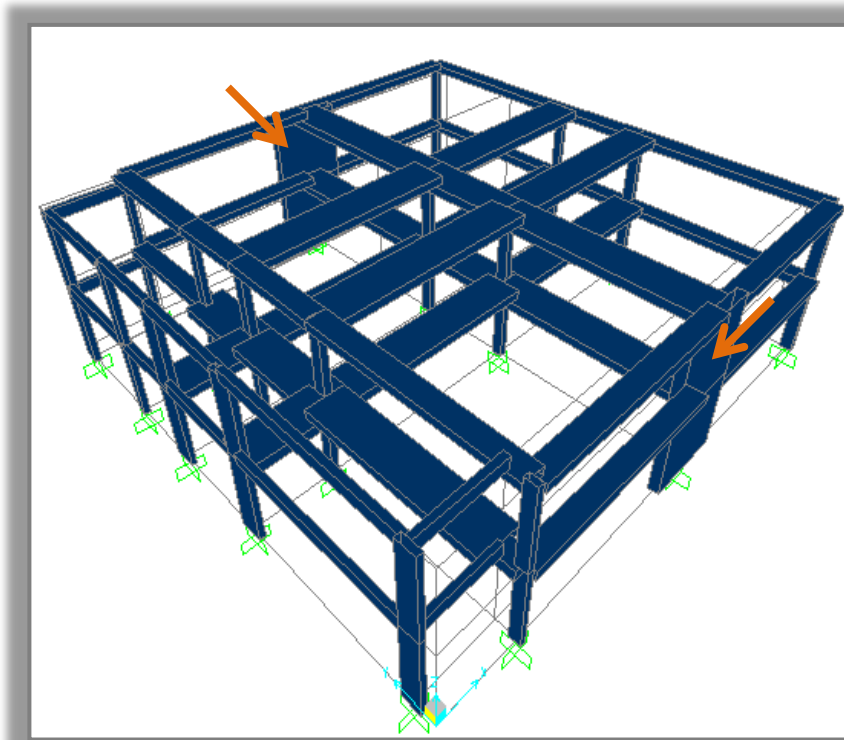
# ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

---

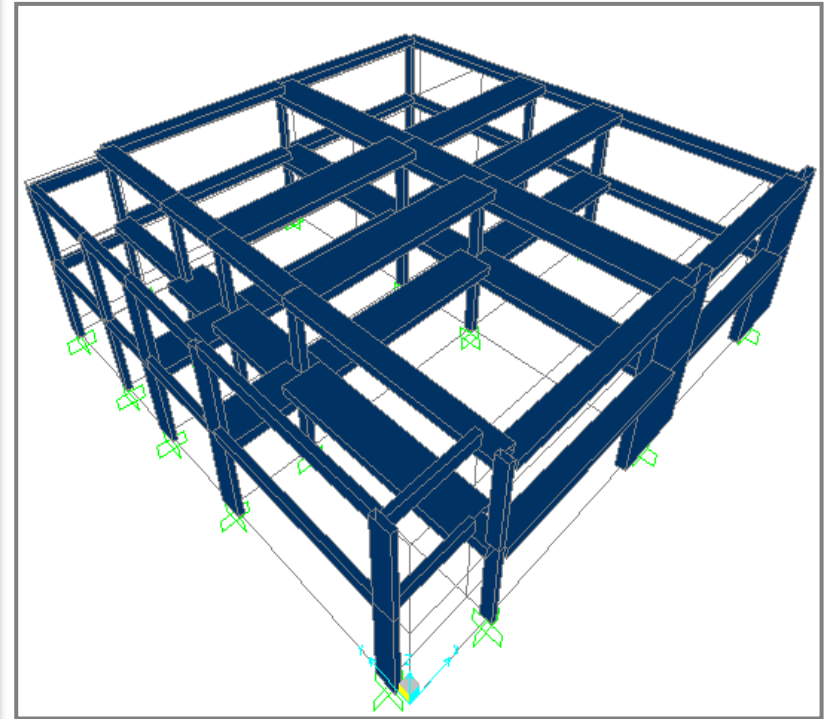


**Διώροφο κτήριο οικοδομημένο περί το 1980**  
**Τρισδιάστατη απεικόνιση στοSAP2000**

# ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΦΟΡΕΩΝ



(α)

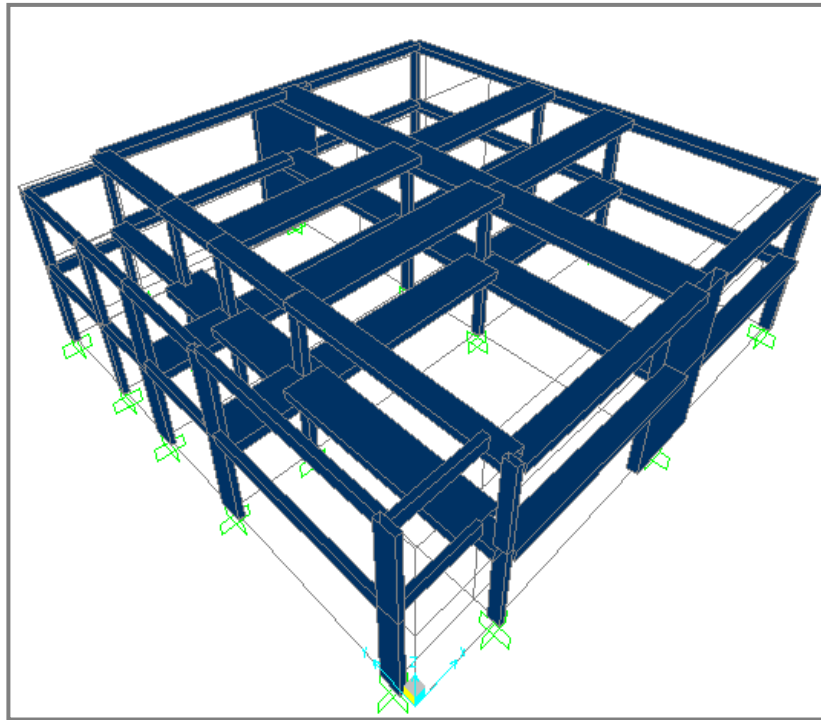


(β)

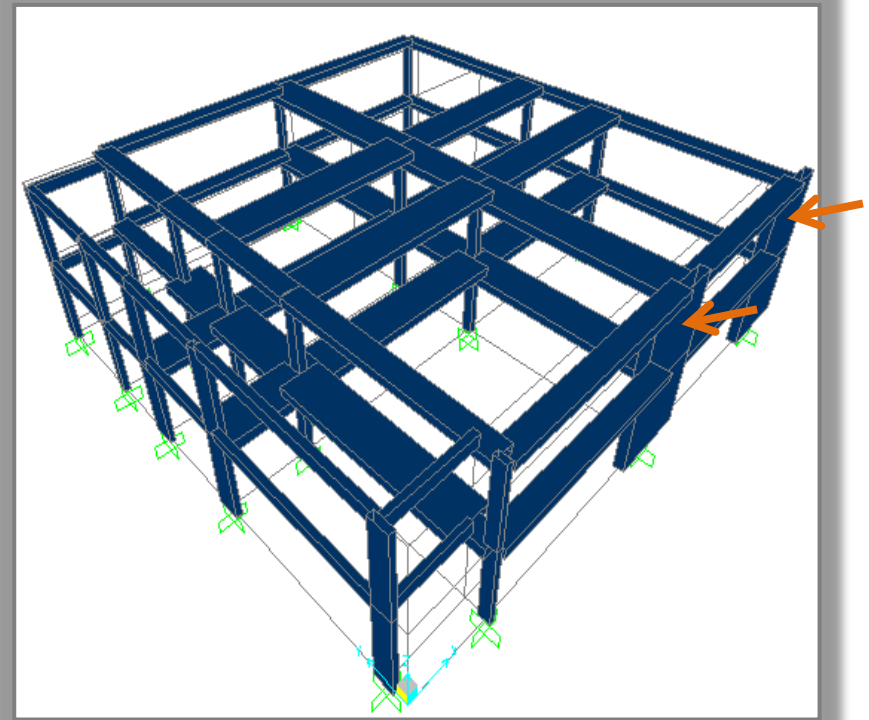
Σχήμα 5. Προσθήκη τοιχωμάτων τοποθετημένων (α) **συμμετρικά** στις δύο πλευρές του κτιρίου και (β) **έκκεντρα** στη μία πλευρά του



# ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΦΟΡΕΩΝ



(α)



(β)

Σχήμα 5. Προσθήκη τοιχωμάτων τοποθετημένων (α) συμμετρικά στις δύο πλευρές του κτιρίου και (β) **έκκεντρα** στη μία πλευρά του

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Για την εφαρμογή της μεθόδου υπολογίστηκαν:

- οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι,  $T_x$  και  $T_y$
- οι φασματικές επιταχύνσεις,  $\Phi_d(T_x)$  και  $\Phi_d(T_y)$
- οι τέμνουσες βάσης,  $V_{o,x}$  και  $V_{o,y}$  από την εξίσωση:  $V_o = M \cdot \Phi_d(T)$
- η καθ' ύψος κατανομή των σεισμικών φορτίων από την εξίσωση:

$$F_i = (V_o - V_H) \cdot m_i \cdot z_i / \sum_j m_j \cdot z_j, \quad i, j = 1, 2, \dots, N$$

όπου  $z_i$  η απόσταση της στάθμης  $i$  από τη βάση και

- καθορίστηκαν οι συνδυασμοί φόρτισης:  $G + 0,3Q \pm F_x \pm 0,3F_y$   
 $G + 0,3Q \pm 0,3F_x \pm F_y$

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Πίνακας 1. Δεδομένα για τον υπολογισμό των σεισμικών φορτίων

		Αρχικός φορέας		Συμμετρικά τοιχώματα	Έκκεντρα τοιχώματα
T <sub>x</sub> (sec)		0,948		0,221	0,151
T <sub>y</sub> (sec)		0,767		0,529	0,488
Φ <sub>d</sub> (T <sub>x</sub> ) (m/s <sup>2</sup> )		0,95		1,289	
Φ <sub>d</sub> (T <sub>y</sub> ) (m/s <sup>2</sup> )		1,095			
M <sub>2,ορόφου</sub> (Mgr) (z <sub>2</sub> = 7m)		459,77		482,51	
M <sub>1,ισογείου</sub> (Mgr) (z <sub>1</sub> = 3,5m)		576,95		599,70	
Μσυνολική (Mgr)		1036,72		1082,21	
Σm <sub>i</sub> ·z <sub>i</sub>		5237,72		5476,52	
V <sub>0,x</sub> (kN)		984,88		1394,97	
V <sub>0,y</sub> (kN)		1135,21			
F <sub>2,x</sub> (kN)	F <sub>2,y</sub> (kN)	605,17	697,55	860,33	
F <sub>1,x</sub> (kN)	F <sub>1,y</sub> (kN)	379,71	437,66	534,64	

# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

## □ Υποστυλώματα

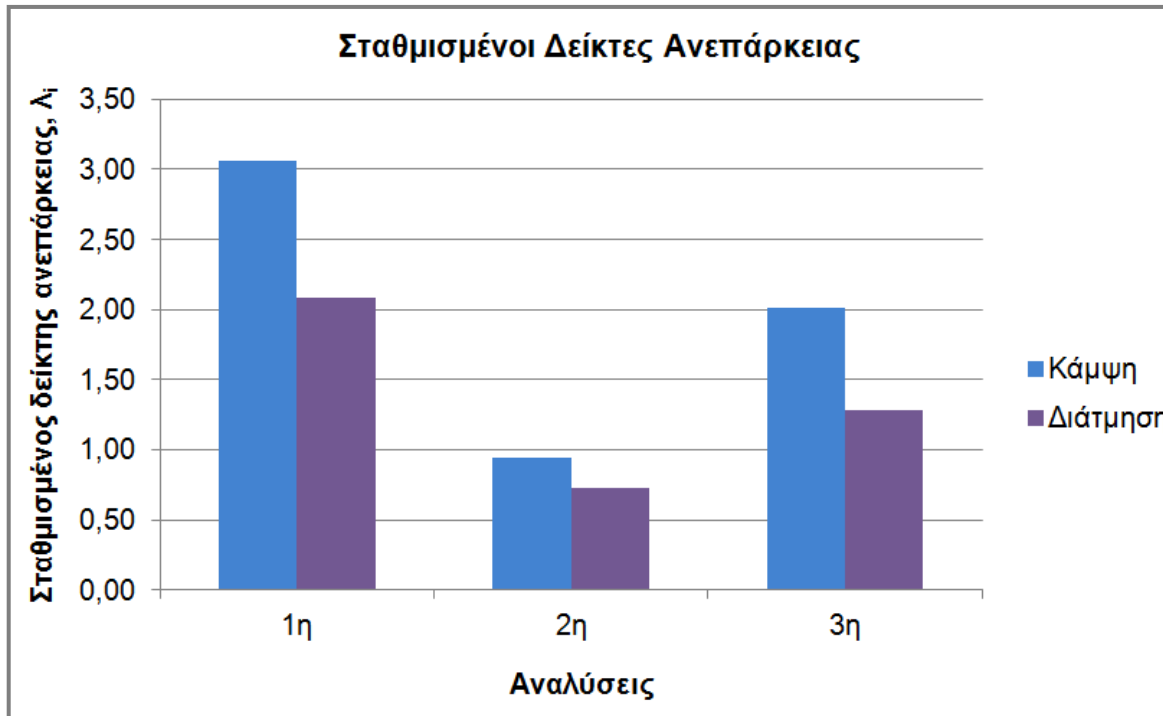
1<sup>η</sup> ανάλυση: αρχικός φορέας

2<sup>η</sup> ανάλυση: φορέας με συμμετρικά τοιχώματα

3<sup>η</sup> ανάλυση: φορέας με έκκεντρα τοιχώματα

Σταθμισμένος δείκτης ανεπάρκειας:

$$\lambda_i = \frac{\lambda_1 \cdot N_1 + \lambda_2 \cdot N_2 + \dots + \lambda_{36} \cdot N_{36}}{\sum N_{i(i=1,2,\dots,36)}}$$



Σχήμα 6. Σταθμισμένοι δείκτες ανεπάρκειας

## ■ Κάμψη:

1<sup>η</sup> – 2<sup>η</sup> ανάλυση Δλ<sub>i</sub>: -69,28%

1<sup>η</sup> – 3<sup>η</sup> ανάλυση Δλ<sub>i</sub>: -34,31%

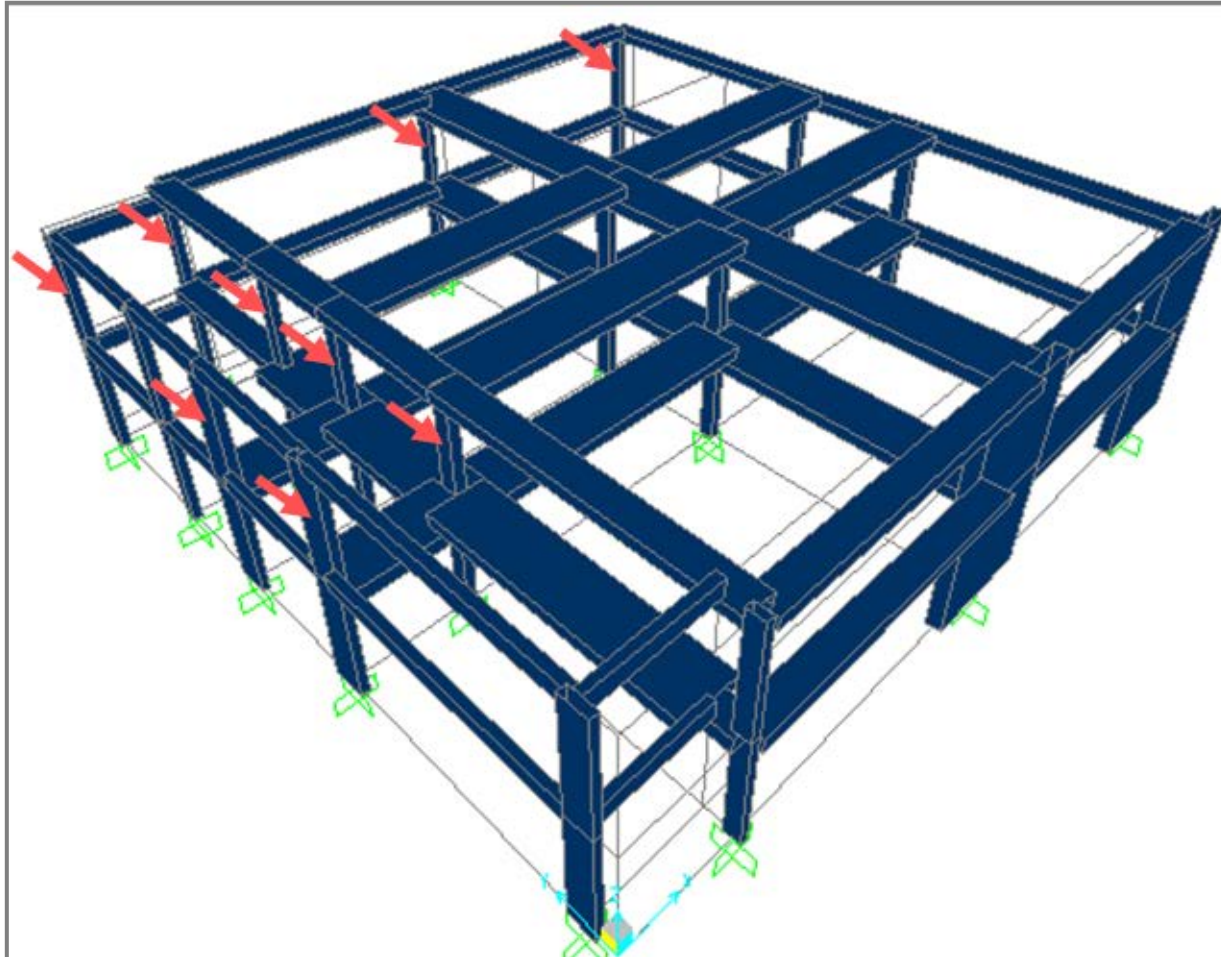
## ■ Διάτμηση:

1<sup>η</sup> – 2<sup>η</sup> ανάλυση Δλ<sub>i</sub>: -64,90%

1<sup>η</sup> – 3<sup>η</sup> ανάλυση Δλ<sub>i</sub>: -38,46%

## ▣ Υποστυλώματα

Σε 4 από τα 9 υποστυλώματα, ο δείκτης ανεπάρκειας αυξήθηκε  $>10\%$  ( $\sim 10-25\%$ )



Σχήμα 7. Υποστυλώματα με αυξημένο δείκτη ανεπάρκειας σε κάμψη ή και διάτμηση, λόγω προσθήκης εκκεντρότητας

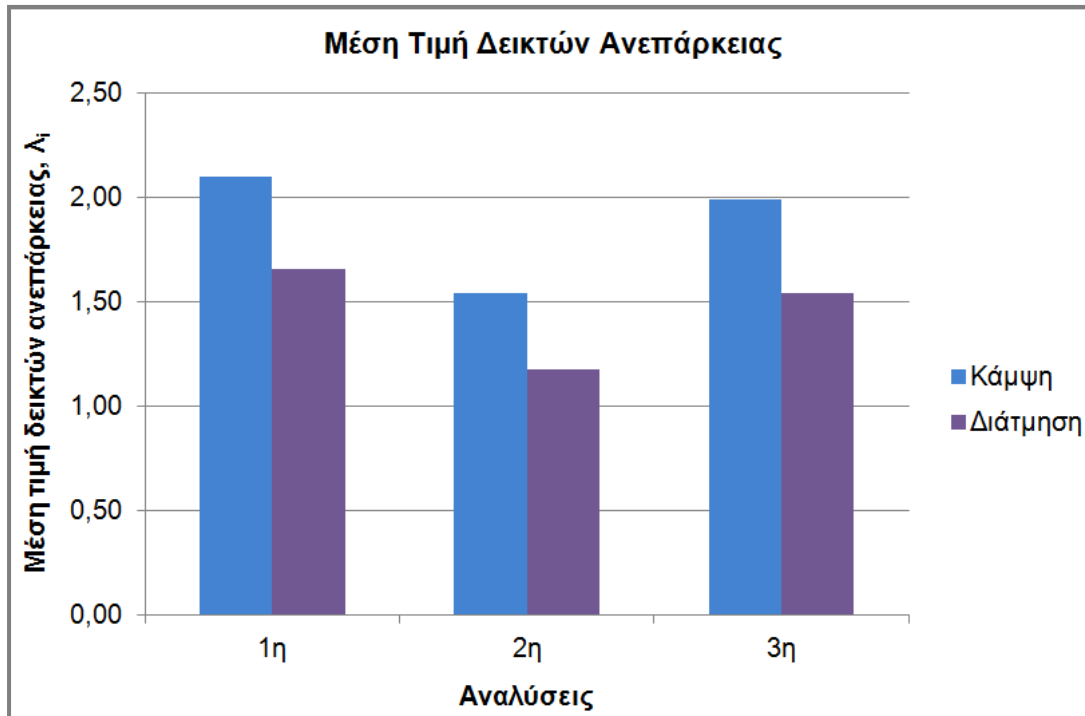
# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

## □ Δοκοί

1<sup>η</sup> ανάλυση: αρχικός φορέας

2<sup>η</sup> ανάλυση: φορέας με συμμετρικά τοιχώματα

3<sup>η</sup> ανάλυση: φορέας με έκκεντρα τοιχώματα



Σχήμα 8. Μέση τιμή δεικτών ανεπάρκειας

### ■ Κάμψη:

1<sup>η</sup> – 2<sup>η</sup> ανάλυση  $\Delta\lambda_i$ : -26,67%

1<sup>η</sup> – 3<sup>η</sup> ανάλυση  $\Delta\lambda_i$ : -5,24%

### ■ Διάτμηση:

1<sup>η</sup> – 2<sup>η</sup> ανάλυση  $\Delta\lambda_i$ : -28,92%

1<sup>η</sup> – 3<sup>η</sup> ανάλυση  $\Delta\lambda_i$ : -7,23%

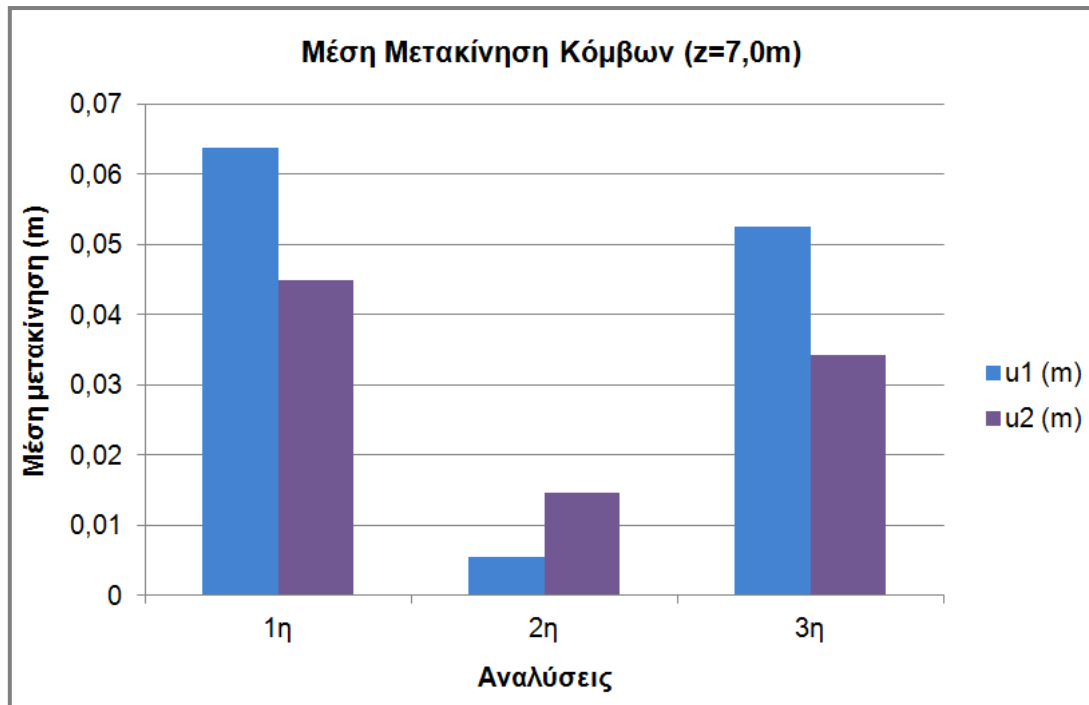
# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

## ❑ Μετακινήσεις κόμβων

1<sup>η</sup> ανάλυση: αρχικός φορέας

2<sup>η</sup> ανάλυση: φορέας με συμμετρικά τοιχώματα

3<sup>η</sup> ανάλυση: φορέας με έκκεντρα τοιχώματα



## ■ Μετακίνηση $u_x$ :

1<sup>η</sup> – 2<sup>η</sup> ανάλυση  $\Delta u_x$ : -91,38%

1<sup>η</sup> – 3<sup>η</sup> ανάλυση  $\Delta u_x$ : -17,70%

## ■ Μετακίνηση $u_y$ :

1<sup>η</sup> – 2<sup>η</sup> ανάλυση  $\Delta u_y$ : -67,31%

1<sup>η</sup> – 3<sup>η</sup> ανάλυση  $\Delta u_y$ : -23,78%

Σχήμα 9. Μέση μετακίνηση κόμβων ορόφου

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

---

Για την πραγματοποίηση της ανάλυσης, καθορίστηκαν:

- η **ανελαστική συμπεριφορά** των δομικών στοιχείων μέσω διαγραμμάτων M-θ,
- οι κατανομές των φορτίων (ομοιόμορφη, τριγωνική) καθ' ύψος των φορέων,
- η μετακίνηση ελέγχου, ίση με 0,3m και ο κόμβος ελέγχου.



# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Moment Rotation Data for C1\_(11) - Interacting P-M2-M3

Edit

Select Curve  
 Axial Force: -893,52    Angle: 0,    Curve #1: [Navigation Buttons]    Units: KN, m, C

Moment Rotation Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0,	0,
B	1,	0,
C	1,	0,014
D	0,25	0,014
E	0,25	0,028

Note: Yield moment is defined by interaction surface

Copy Curve Data    Paste Curve Data

Current Curve - Curve #1  
Force #1; Angle #1

3-D Surface  
Axial Force = -893,52

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

- Immediate Occupancy: 3,000E-03
- Life Safety: 7,000E-03
- Collapse Prevention: 0,014

Show Acceptance Points on Current Curve

3D View  
 Plan: 315    Elevation: 35    Aperture: 0    Axial Force: -893,52

Hide Backbone Lines  
 Show Acceptance Criteria  
 Show Thickened Lines  
 Highlight Current Curve

Moment Rotation Information  
 Symmetry Condition: Double  
 Number of Axial Force Values: 1  
 Number of Angles: 2  
 Total Number of Curves: 2

Angle Is Moment About  
 0 degrees = About Positive M2 Axis  
 90 degrees = About Positive M3 Axis  
 180 degrees = About Negative M2 Axis  
 270 degrees = About Negative M3 Axis

OK    Cancel

(α)

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Moment Rotation Data for C1\_(11) - Interacting P-M2-M3

Edit

Select Curve  
 Axial Force: -893,52    Angle: 0,    Curve #1    Units: KN, m, C

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0,	0,
B	1,	0,
C	1,	0,014
D	0,25	0,014
E	0,25	0,028

Note: Yield moment is defined by interaction surface

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

Immediate Occupancy	3,000E-03
Life Safety	7,000E-03
Collapse Prevention	0,014

Show Acceptance Points on Current Curve

Moment Rotation Information  
 Symmetry Condition: Double  
 Number of Axial Force Values: 1  
 Number of Angles: 2  
 Total Number of Curves: 2

Angle Is Moment About  
 0 degrees = About Positive M2 Axis  
 90 degrees = About Positive M3 Axis  
 180 degrees = About Negative M2 Axis  
 270 degrees = About Negative M3 Axis

3D View  
 Plan: 315    Elevation: 35    Aperture: 0  
 Axial Force: -893,52  
 Hide Backbone Lines  
 Show Acceptance Criteria  
 Show Thickened Lines  
 Highlight Current Curve

OK  
Cancel

$$\theta_{um,pl}/2\gamma_{Rd}$$

$$\theta_{um,pl}/\gamma_{Rd}$$

(β)

Σχήμα 10. (α) Καθορισμός καμπύλης M-θ και (β) παραμορφώσεων σχεδιασμού

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

---

Για την πραγματοποίηση της ανάλυσης, καθορίστηκαν:

- η ανελαστική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων μέσω διαγραμμάτων M-θ,
- οι κατανομές των φορτίων (ομοιόμορφη, τριγωνική) καθ' ύψος των φορέων,
- η μετακίνηση ελέγχου, ίση με 0,3m και ο κόμβος ελέγχου.

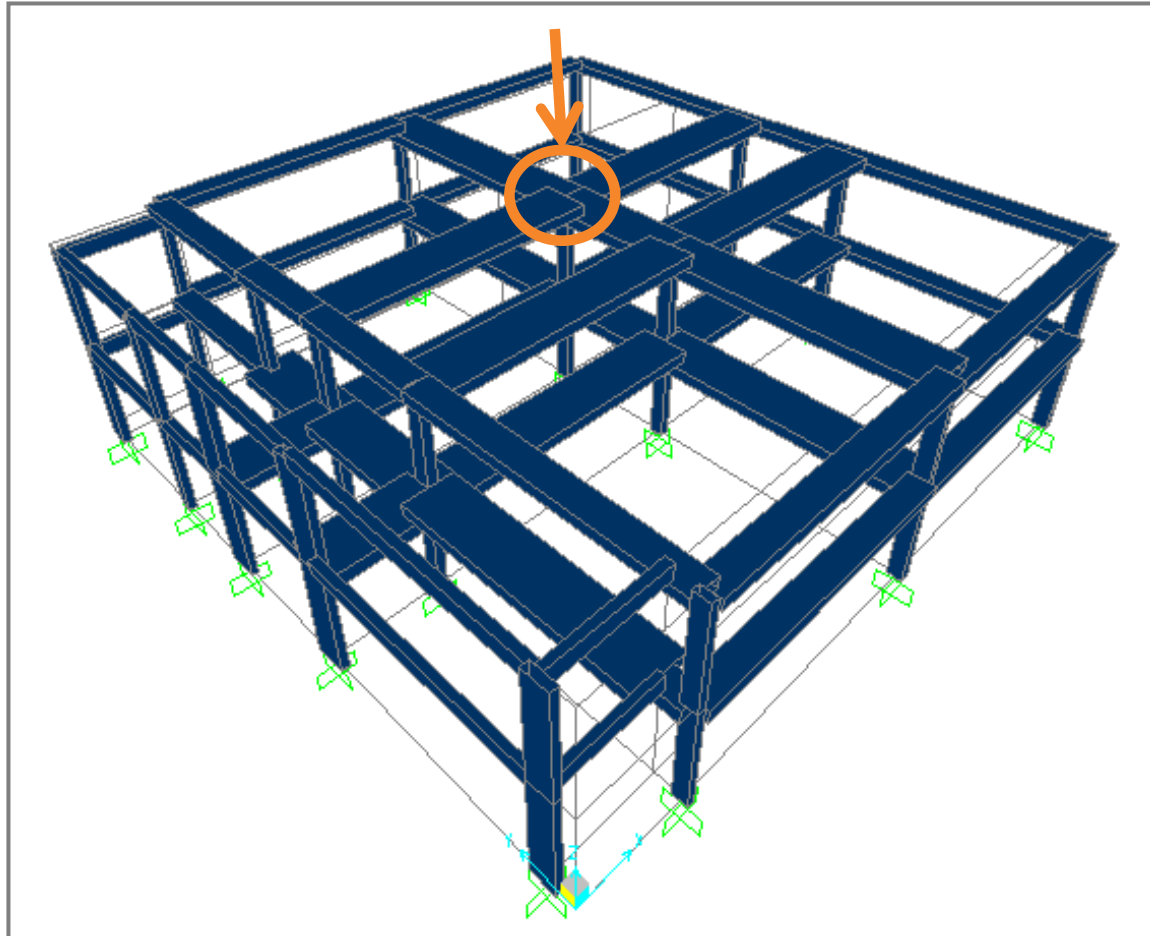
# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

---

Για την πραγματοποίηση της ανάλυσης, καθορίστηκαν:

- η **ανελαστική συμπεριφορά** των δομικών στοιχείων μέσω διαγραμμάτων M-θ,
- οι κατανομές των φορτίων (**ομοιόμορφη, τριγωνική**) καθ' ύψος των φορέων,
- η **μετακίνηση ελέγχου, ίση με 0,3m** και ο **κόμβος ελέγχου**.

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

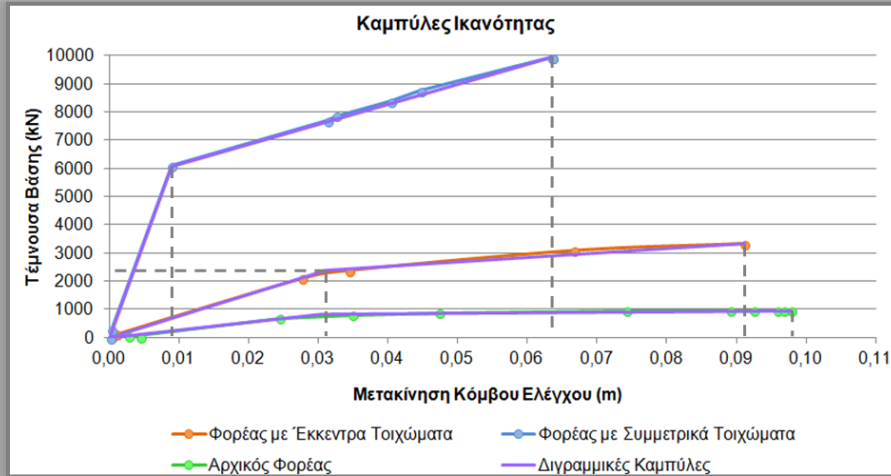


Προσδιορισμός του κόμβου ελέγχου

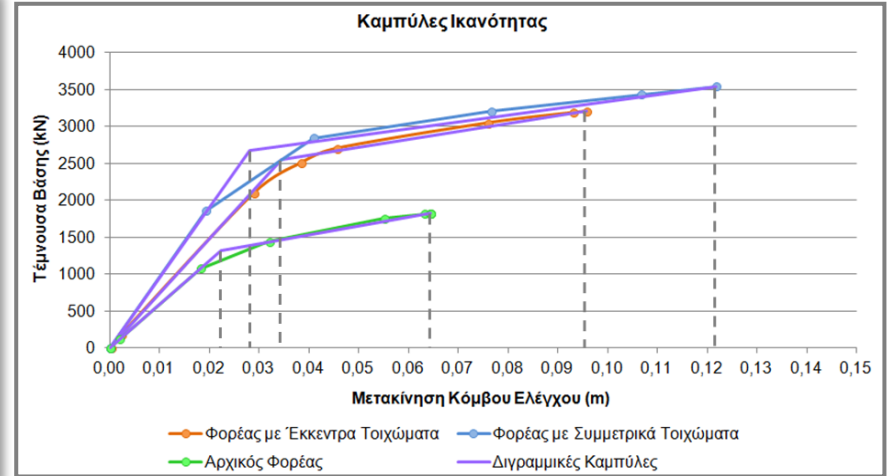
# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

## Καμπύλες Ικανότητας

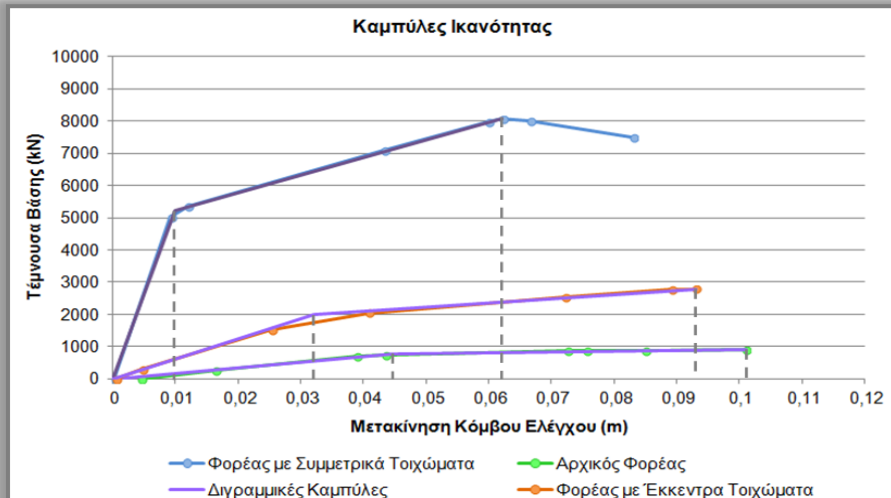
### Ομοιόμορφη κατανομή φορτίων κατά Χ



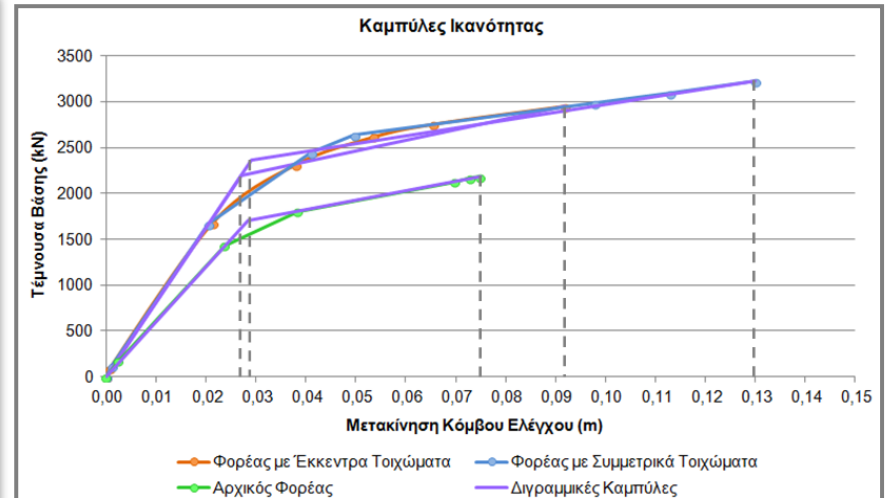
### Ομοιόμορφη κατανομή φορτίων κατά Υ



### Τριγωνική κατανομή φορτίων κατά Χ



### Τριγωνική κατανομή φορτίων κατά Υ

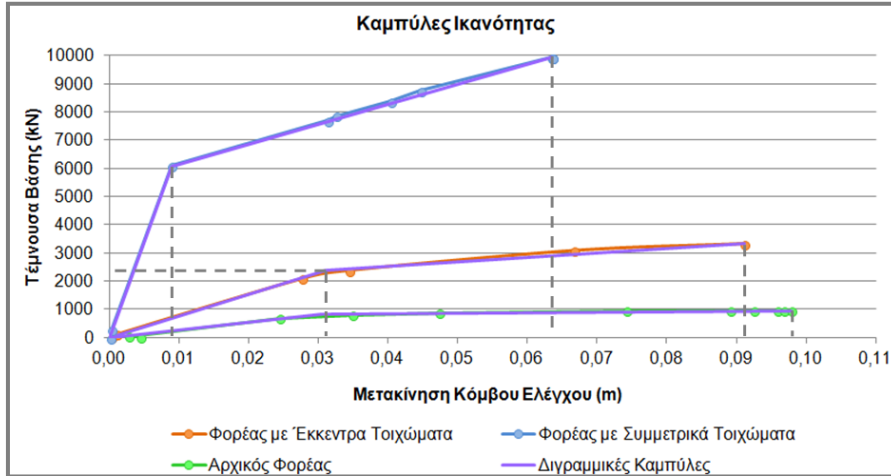


## Καμπύλες ικανότητας

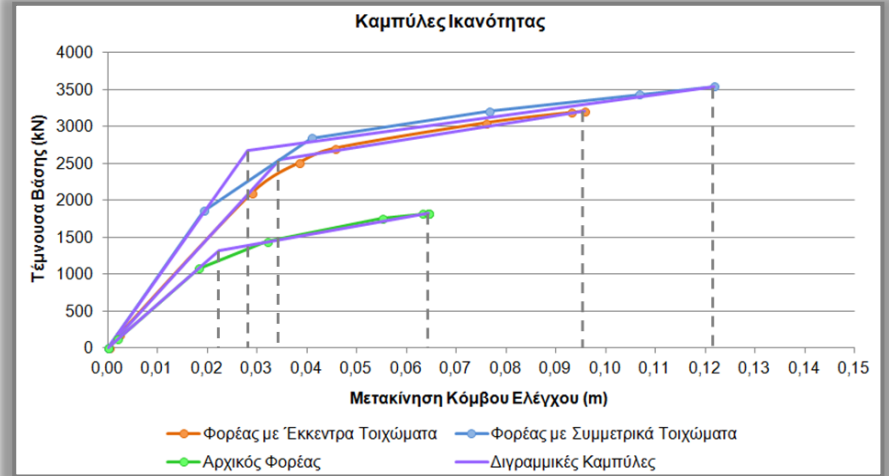
# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

## Καμπύλες Ικανότητας

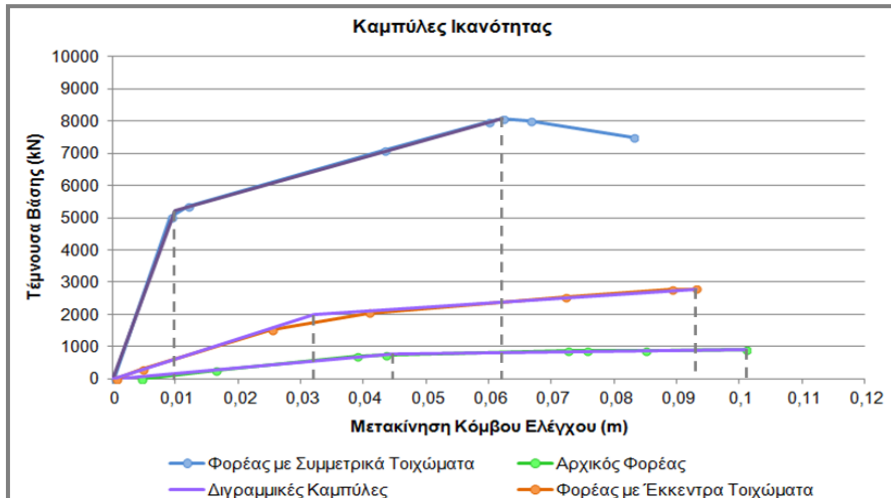
### Ομοιόμορφη κατανομή φορτίων κατά Χ



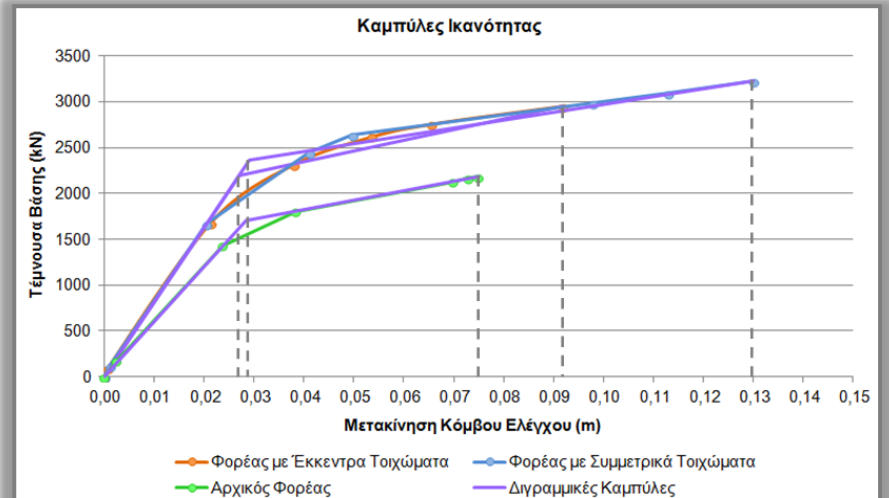
### Ομοιόμορφη κατανομή φορτίων κατά Υ



### Τριγωνική κατανομή φορτίων κατά Χ



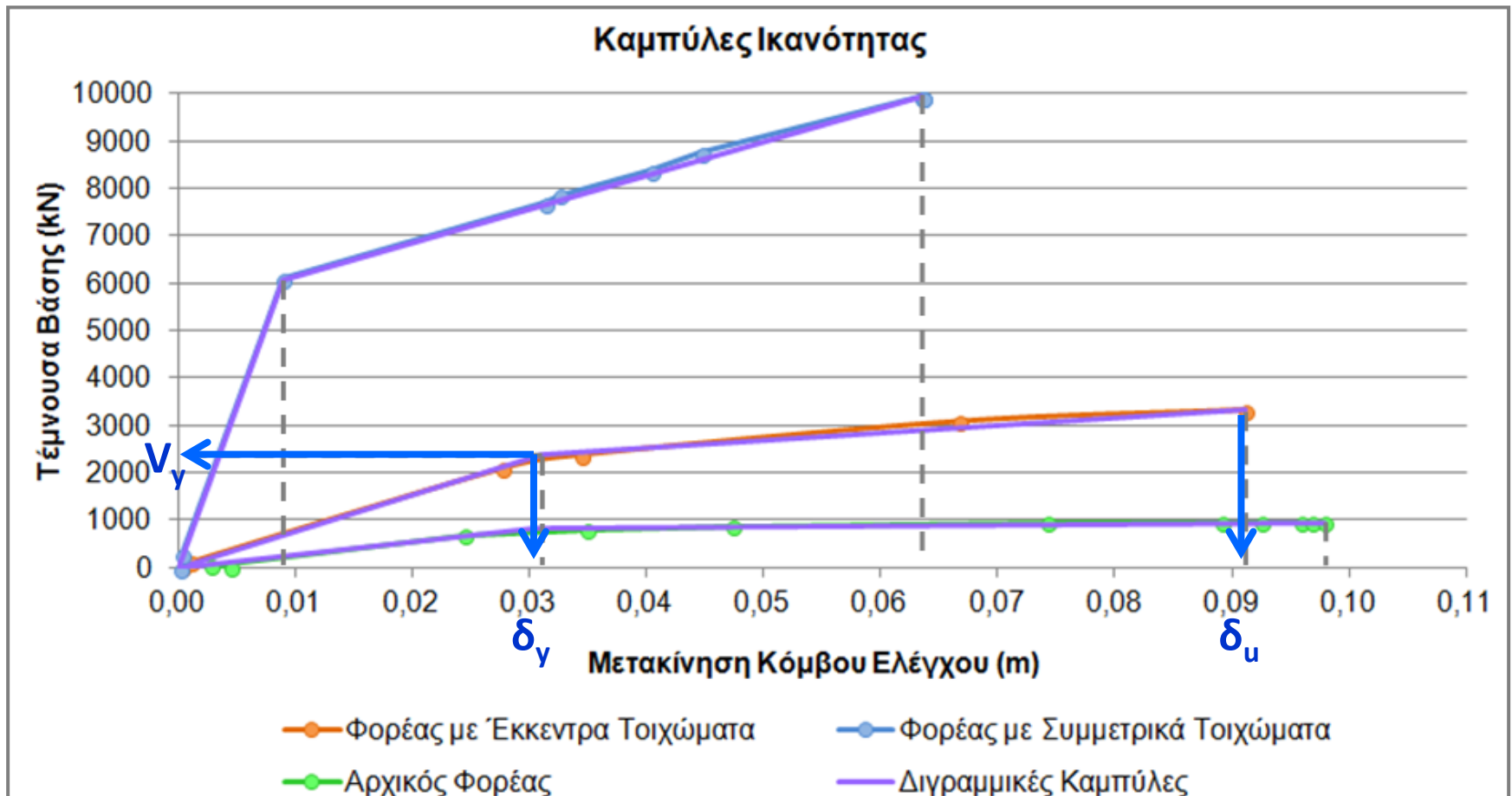
### Τριγωνική κατανομή φορτίων κατά Υ



## Καμπύλες ικανότητας

## Καμπύλες Ικανότητας

Ομοιόμορφη κατανομή φορτίων κατά Χ



Καμπύλες ικανότητας



# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Πίνακας 2. Τιμές της δύναμης διαρροής,  $V_y$  και του δείκτη πλαστιμότητας παραμορφώσεων,  $\mu_{\delta u}$

Κατανομή Φορτίων	Αρχικός Φορέας		Φορέας με Συμμετρικά Τοιχώματα		Φορέας με Έκκεντρα Τοιχώματα	
	$V_y$ (kN)	$\mu_{\delta u}$	$V_y$ (kN)	$\mu_{\delta u}$	$V_y$ (kN)	$\mu_{\delta u}$
Ομοιόμορφη κατά Χ	825	3,22	6070	7,11	2400	2,94
Ομοιόμορφη κατά Υ	1320	2,90	2680	4,34	2550	2,77
Τριγωνική κατά Χ	778	2,26	5216	6,26	2000	2,91
Τριγωνική κατά Υ	1700	2,63	2360	4,48	2200	3,40

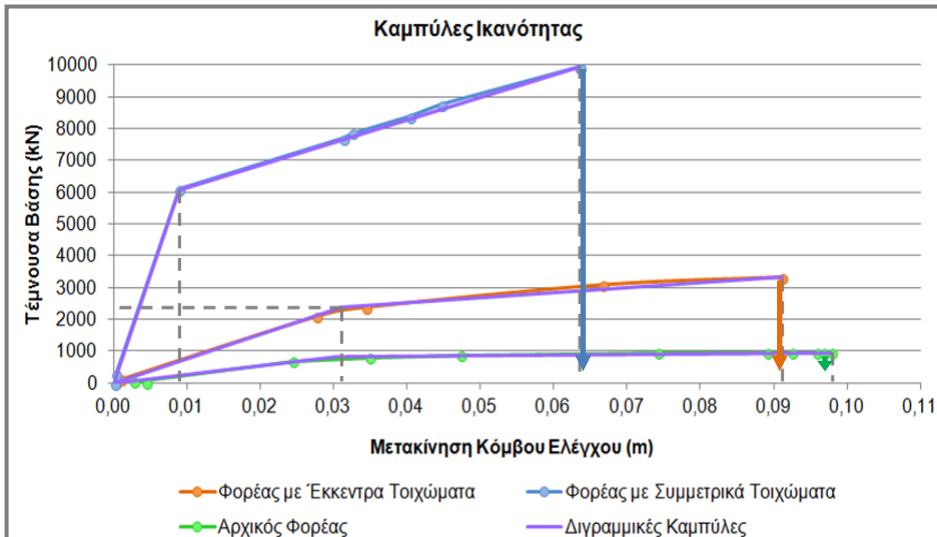
# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Πίνακας 2. Τιμές της δύναμης διαρροής,  $V_y$  και του δείκτη πλαστιμότητας παραμορφώσεων,  $\mu_{\delta u}$

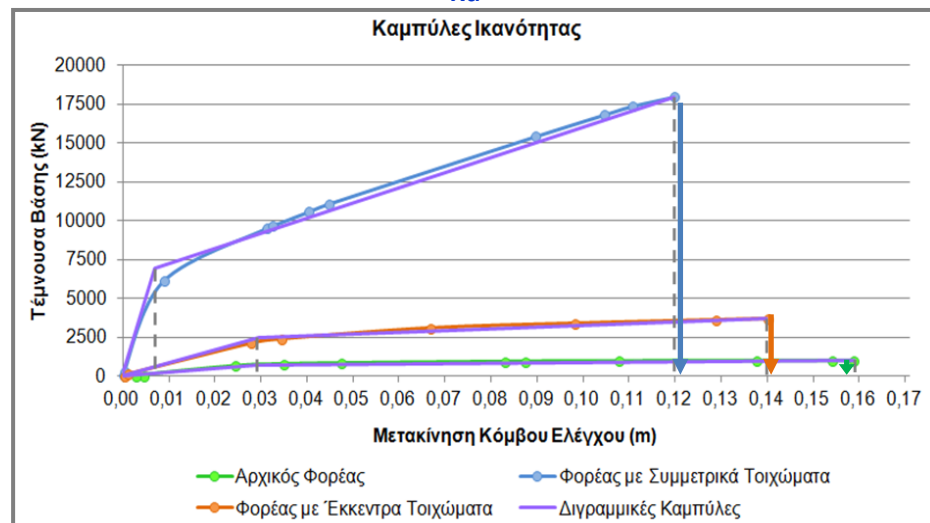
Κατανομή Φορτίων	Αρχικός Φορέας		Φορέας με Συμμετρικά Τοιχώματα		Φορέας με Έκκεντρα Τοιχώματα	
	$V_y$ (kN)	$\mu_{\delta u}$	$V_y$ (kN)	$\mu_{\delta u}$	$V_y$ (kN)	$\mu_{\delta u}$
Ομοιόμορφη κατά Χ	825	3,22	6070	7,11	2400	2,94
Ομοιόμορφη κατά Υ	1320	2,90	2680	4,34	2550	2,77
Τριγωνική κατά Χ	778	2,26	5216	6,26	2000	2,91
Τριγωνική κατά Υ	1700	2,63	2360	4,48	2200	3,40

## Καμπύλες Ικανότητας

Ομοιόμορφη κατανομή φορτίων κατά Χ



( $\gamma_{Rd}=1$ )



Σύγκριση καμπύλων ικανότητας

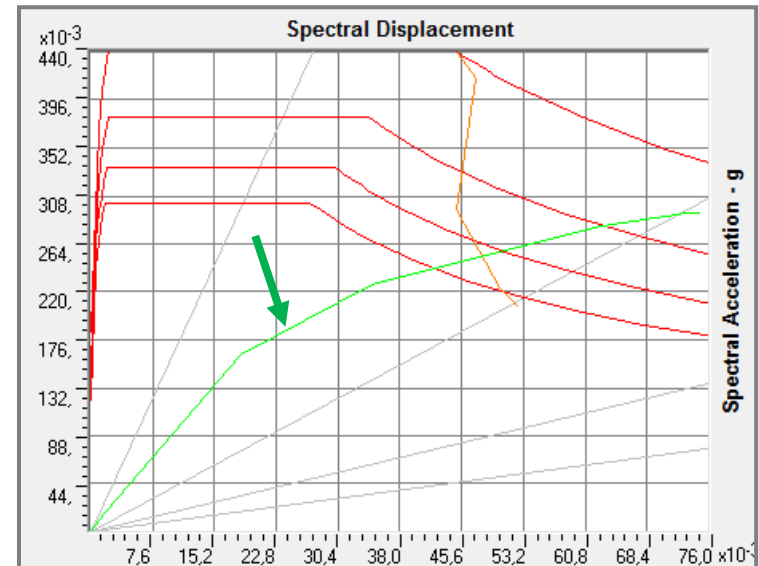
## ▣ Προσδιορισμός Σημείων Επιτελεστικότητας

Στόχος αποτίμησης ορίστηκε ο «B1», που αντιστοιχεί:

- σε **στάθμη επιτελεστικότητας B** και
- πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών, **ίση με 10%**.

Τα σημεία επιτελεστικότητας προσδιορίστηκαν από την τομή:

- της πράσινης καμπύλης, που απεικονίζει το **φάσμα ικανότητας** ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος σε ADRS μορφή (Sa-Sd) και
- της κίτρινης καμπύλης, που απεικονίζει το **φάσμα απαίτησης**.



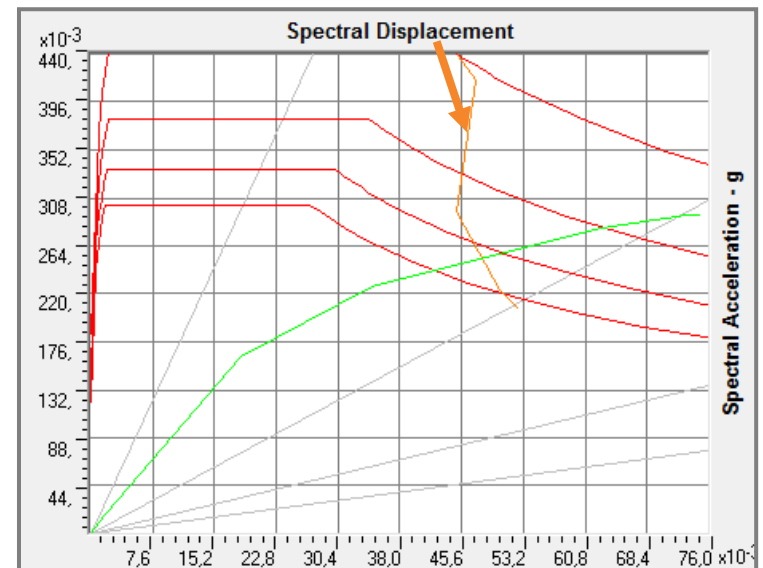
## ▫ Προσδιορισμός Σημείων Επιτελεστικότητας

Στόχος αποτίμησης ορίστηκε ο «B1», που αντιστοιχεί:

- σε **στάθμη επιτελεστικότητας B** και
- πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών, **ίση με 10%**.

Τα σημεία επιτελεστικότητας προσδιορίστηκαν από την τομή:

- της πράσινης καμπύλης, που απεικονίζει το **φάσμα ικανότητας** ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος σε ADRS μορφή (Sa-Sd) και
- της κίτρινης καμπύλης, που απεικονίζει το **φάσμα απαίτησης**.



## □ Προσδιορισμός Σημείων Επιτελεστικότητας

Διαπιστώθηκε, ότι η προσθήκη τοιχωμάτων συνέβαλε σε μείωση του πλήθους των ακραίων διατομών των υποστυλωμάτων, που ξεπέρασαν τη γωνία στροφής για στάθμη επιτελεστικότητας B.

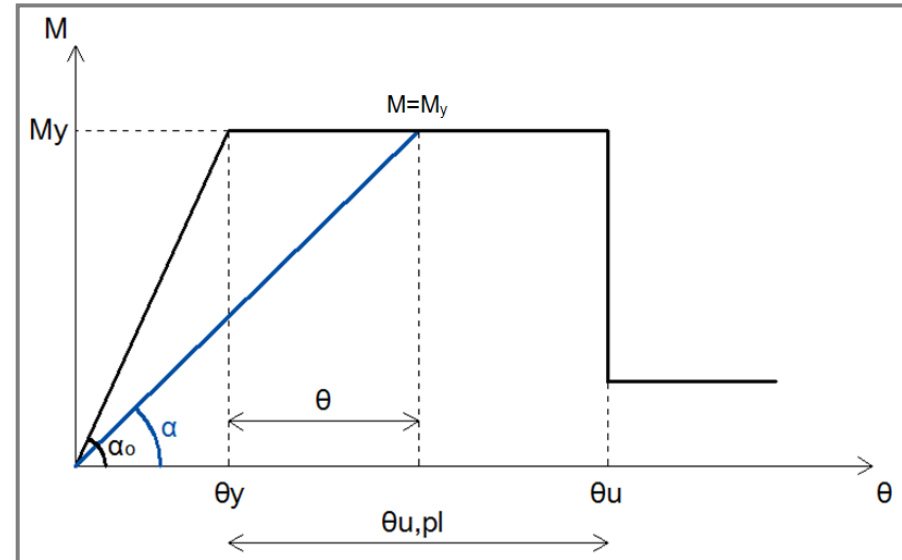
Πίνακας 3. Πλήθος ακραίων διατομών που ξεπέρασαν τη γωνία στροφής χορδής για στάθμη επιτελεστικότητας B

	Ομοιόμορφη Κατανομή		Τριγωνική Κατανομή	
	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
	Πλήθος ακραίων διατομών όλων των δομικών στοιχείων			
Αρχικός Φορέας	-	17	-	13
Με Συμμετρικά Τοιχώματα	0	3	0	2
Με Έκκεντρα Τοιχώματα	0	3	5	2
	Πλήθος ακραίων διατομών των υποστυλωμάτων			
Αρχικός Φορέας	-	13	-	11
Με Συμμετρικά Τοιχώματα	0	0	0	0
Με Έκκεντρα Τοιχώματα	0	1	4	0

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ

## □ Διαδικασία προσδιορισμού κέντρου στροφής

Λαμβάνοντας υπόψη τα διαγράμματα ροπής – στροφής των δομικών στοιχείων και τις γωνίες στροφής,  $\theta$  στα άκρα τους, υπολογίστηκε το μέτρο ελαστικότητας,  $E$  των κατακόρυφων δομικών στοιχείων που διέρρευσαν, μέσω της εξίσωσης:



Ιδεατή καμπύλη M- $\theta$

$$E = E_o \cdot \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_o} = E_o \cdot \frac{\left(\frac{M}{\theta_y + \theta}\right)}{\left(\frac{M_y}{\theta_y}\right)} = E_o \cdot \frac{M\theta_y}{M_y(\theta_y + \theta)}, \quad (E < E_o)$$

$$\xrightarrow{M=M_y}$$

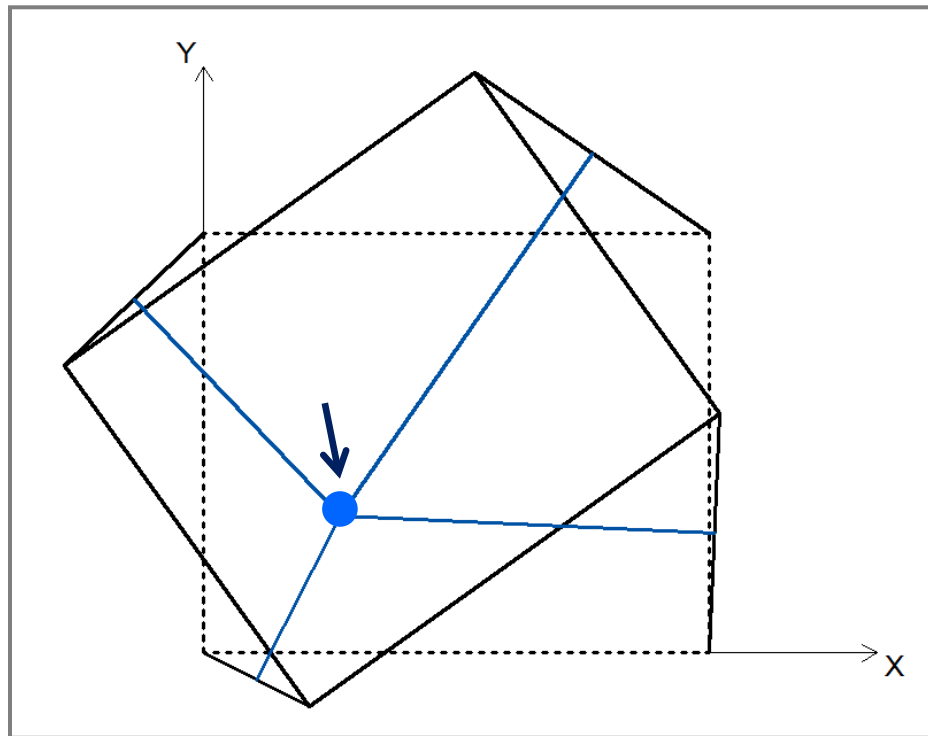
$$E = E_o \cdot \frac{\theta_y}{\theta_y + \theta}$$

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ

## □ Διαδικασία προσδιορισμού κέντρου στροφής

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκαν καθ' ύψος των φορέων ροπές περί τον κατακόρυφο άξονα z.

Ο πόλος στροφής προσδιορίστηκε από το σημείο τομής των μεσοκαθέτων

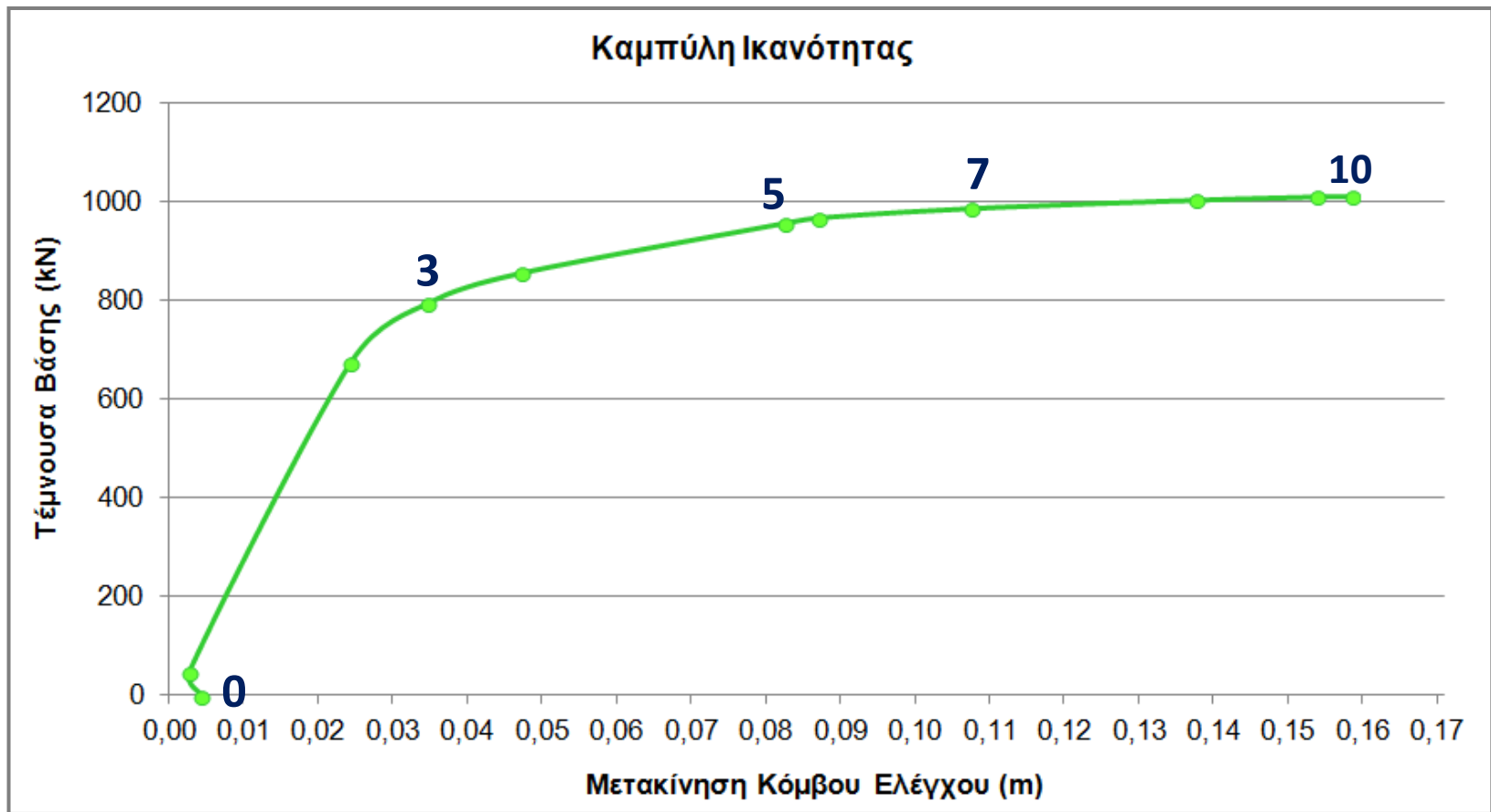


Προσδιορισμός πόλου στροφής διαφράγματος



# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ

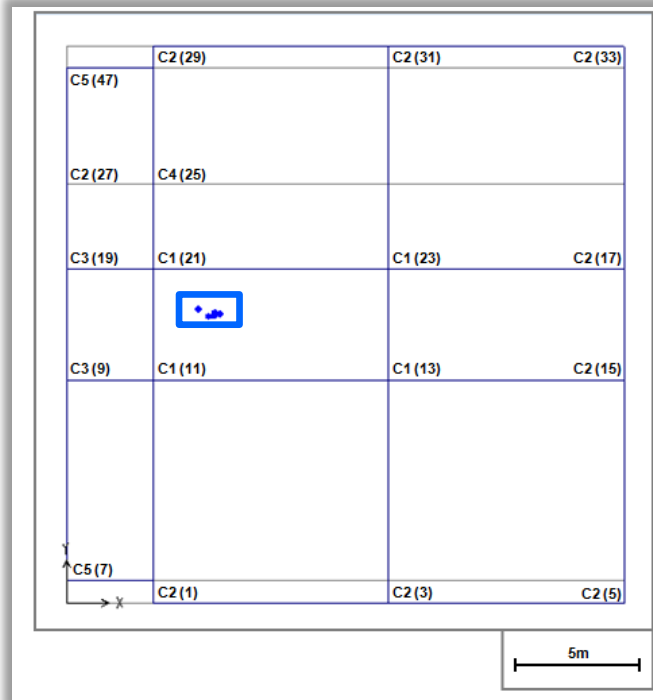
## ▣ Αρχικός φορέας



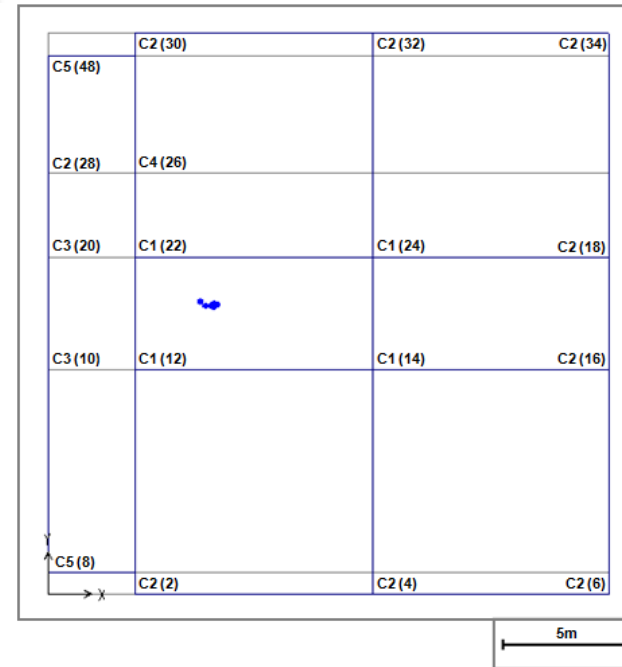
Σχήμα 16. Καμπύλη ικανότητας αρχικού φορέα

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ

## □ Αρχικός φορέας



(α)



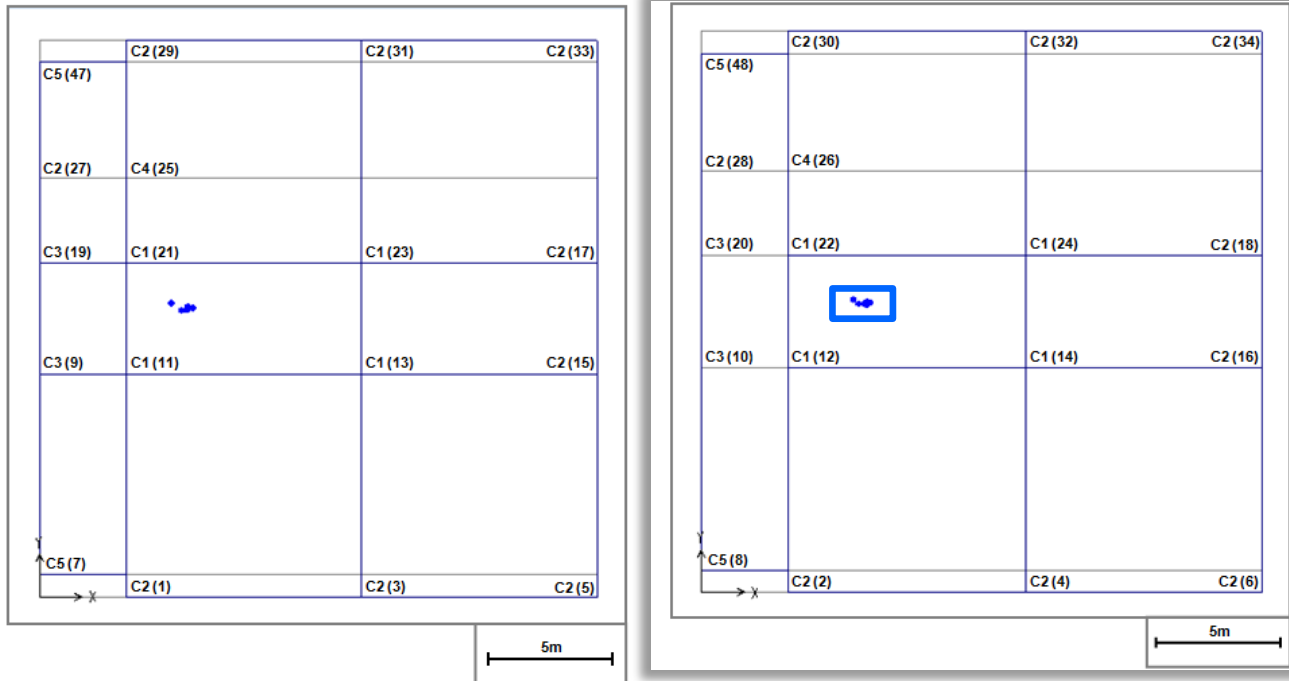
(β)

Σχήμα 17. Κέντρα στροφής (α) ισόγειου και (β) ορόφου

	Ελαστική Κατάσταση	Step 0	Step 3	Step 5	Step 7	Step 10
	Ισόγειο					
$X_i$ (m)	5,95	5,71	5,92	6,18	5,99	5,32
$Y_i$ (m)	11,60	11,57	11,60	11,67	11,73	11,86

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ

## □ Αρχικός φορέας



(α)

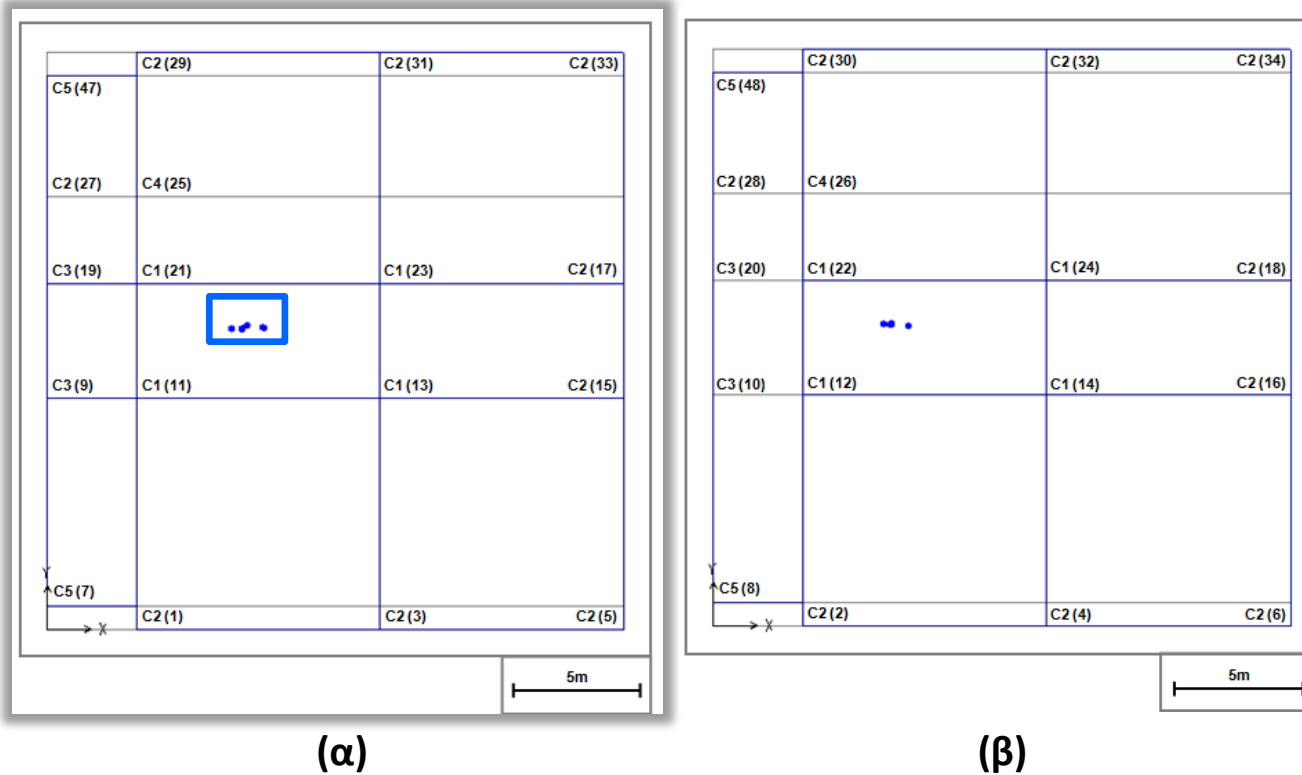
(β)

Σχήμα 17. Κέντρα στροφής (α) ισογείου και (β) ορόφου

	Ελαστική Κατάσταση	Step 0	Step 3	Step 5	Step 7	Step 10
	Όροφος					
$X_i$ (m)	6,63	6,31	6,52	6,76	6,64	6,10
$Y_i$ (m)	11,52	11,57	11,57	11,63	11,66	11,75

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

## □ Αρχικός φορέας

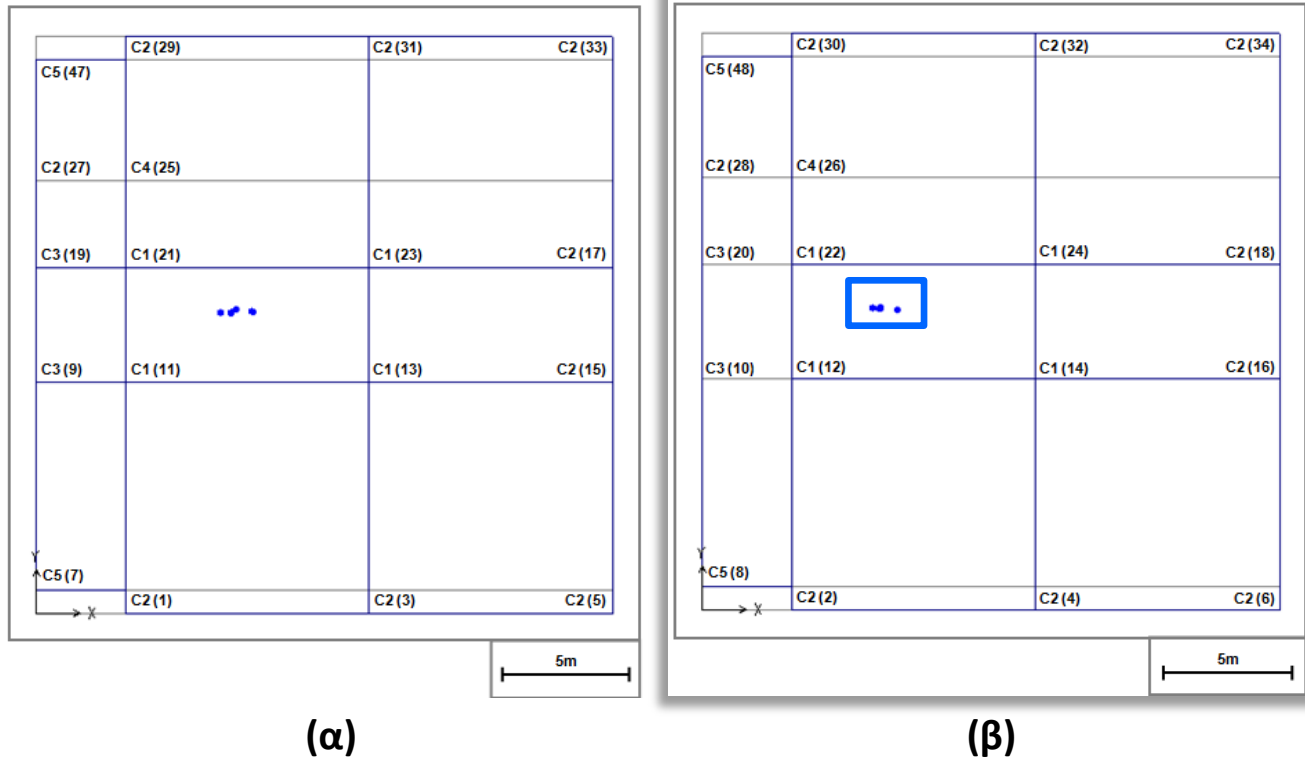


Σχήμα 18. Κέντρα δυσκαμψίας (α) ισόγειου και (β) ορόφου

	Ελαστική Κατάσταση	Step 0	Step 3	Step 5	Step 7	Step 10
	Ισόγειο					
$X_{ki}$ (m)	7,61	7,20	7,62	8,48	8,41	7,80
$Y_{ki}$ (m)	11,72	11,73	11,78	11,77	11,78	11,87

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

## ▣ Αρχικός φορέας



Σχήμα 18. Κέντρα δυσκαμψίας (α) ισογείου και (β) ορόφου

	Ελαστική Κατάσταση	Step 0	Step 3	Step 5	Step 7	Step 10
		Όροφος				
$X_{ki}$ (m)	7,61	6,62	6,88	6,90	6,92	6,94
$Y_{ki}$ (m)	11,72	11,78	11,76	11,75	11,77	11,79

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ

- Φορέας με συμμετρικά τοιχώματα



Σχήμα 19. Καμπύλη ικανότητας φορέα με συμμετρικά τοιχώματα

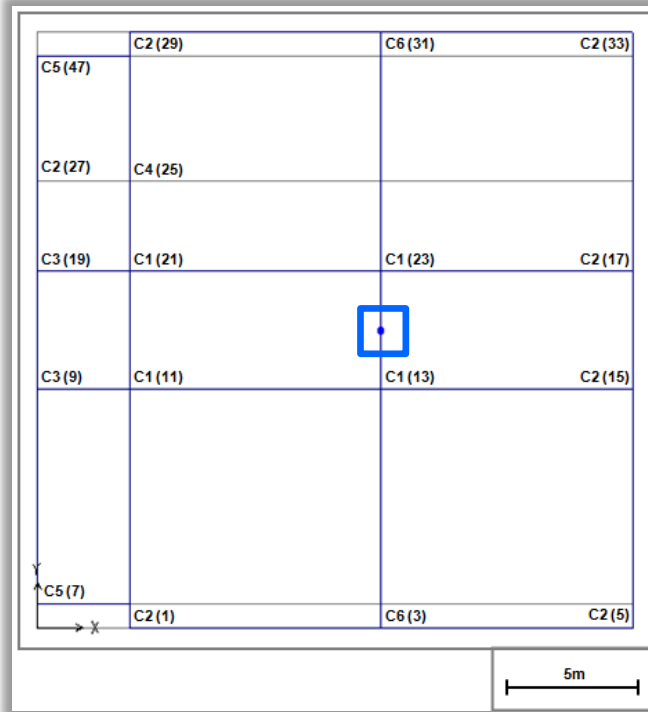




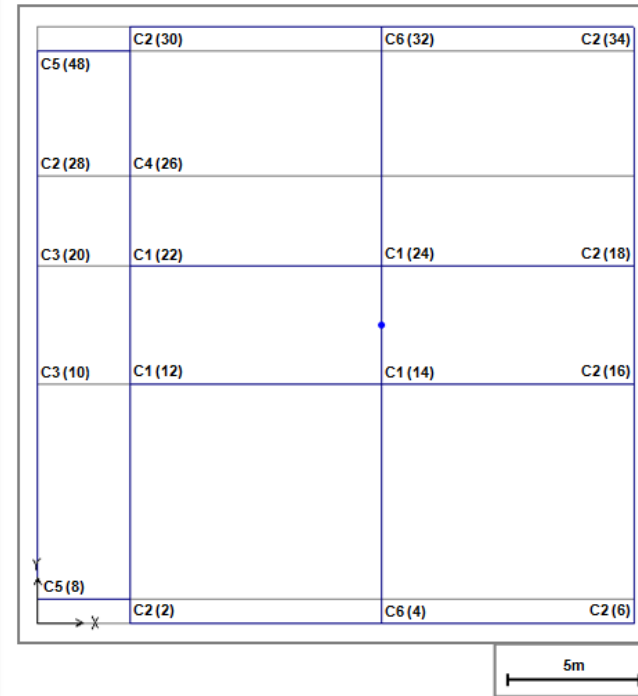


# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

## Φορέας με συμμετρικά τοιχώματα



(α)



(β)

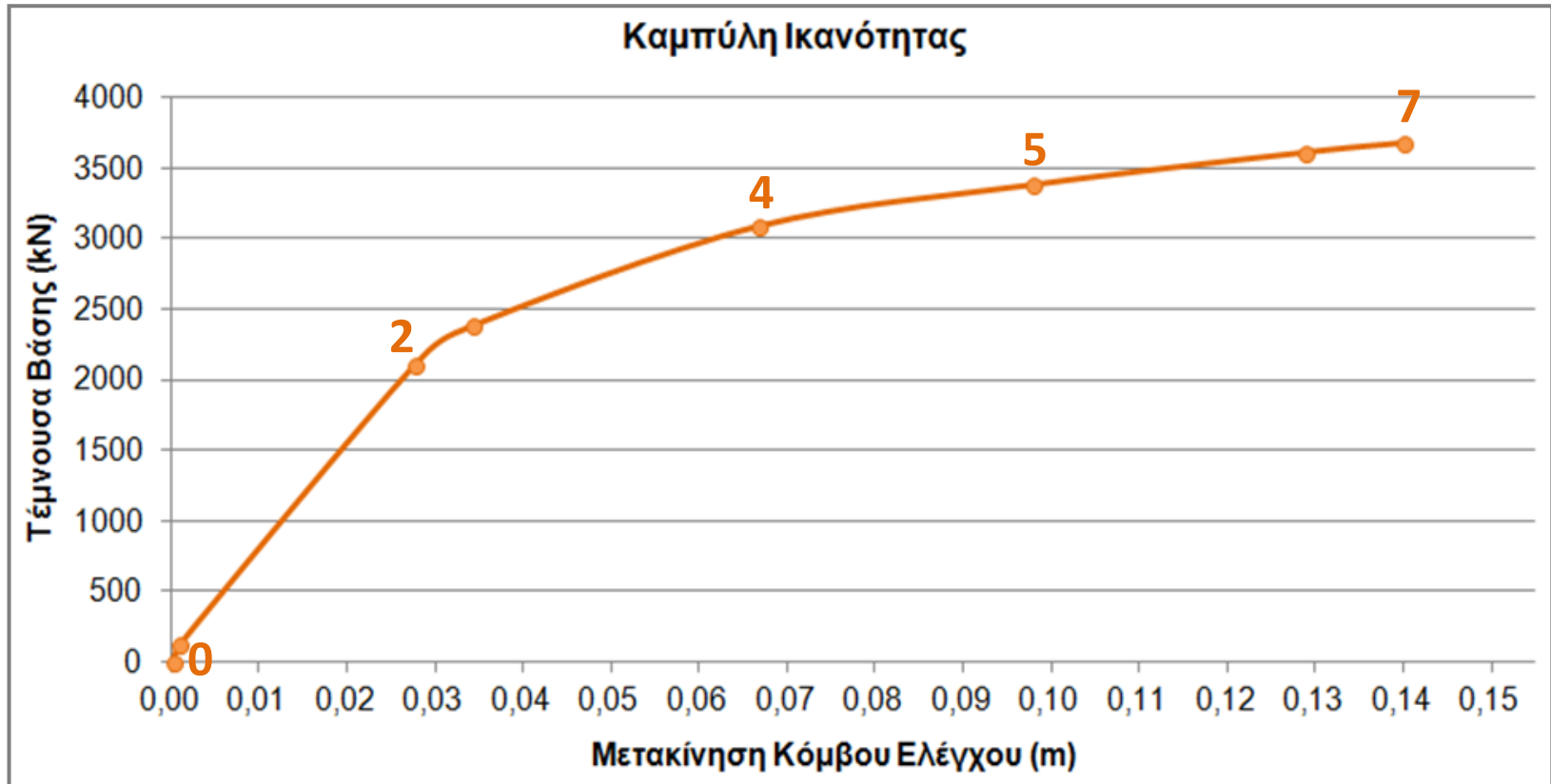
Σχήμα 21. Κέντρα δυσκαμψίας (α) ισόγειου και (β) ορόφου

	Ελαστική Κατάσταση	Step 0	Step 2	Step 5	Step 7	Step 10
	Ισόγειο					
$X_{ki}$ (m)	12,97	12,97	12,97	12,96	12,97	12,97
$Y_{ki}$ (m)	11,25	11,25	11,25	11,26	11,24	11,22



# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ

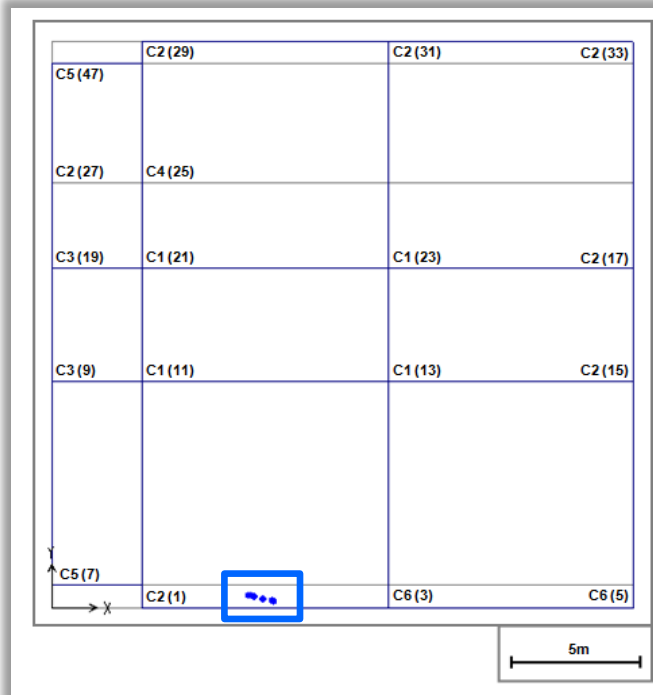
- Φορέας με έκκεντρα τοιχώματα



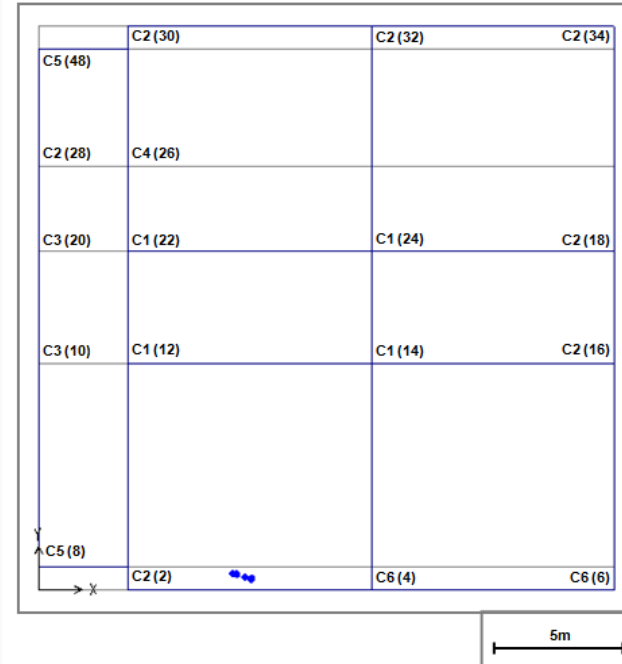
Σχήμα 22. Καμπύλη ικανότητας φορέα με έκκεντρα τοιχώματα

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ

## □ Φορέας με έκκεντρα τοιχώματα



(α)



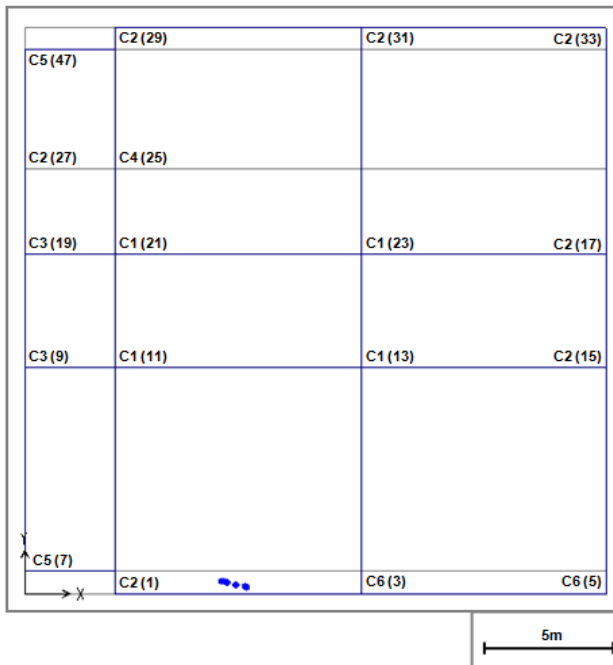
(β)

Σχήμα 23. Κέντρα στροφής (α) ισογείου και (β) ορόφου

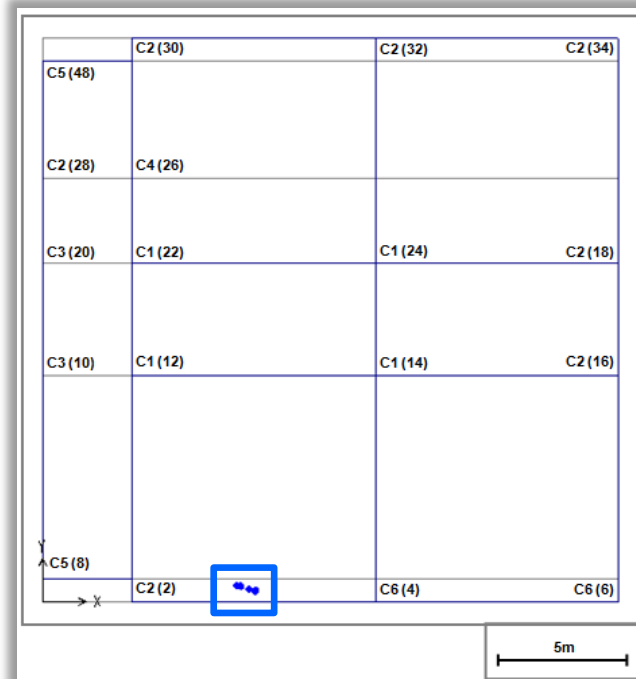
	Ελαστική Κατάσταση	Step 0	Step 2	Step 4	Step 5	Step 7
	Ισόγειο					
$X_i$ (m)	7,68	7,58	7,80	8,15	8,52	8,57
$Y_i$ (m)	0,51	0,50	0,46	0,36	0,32	0,27

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ

## □ Φορέας με έκκεντρα τοιχώματα



(α)



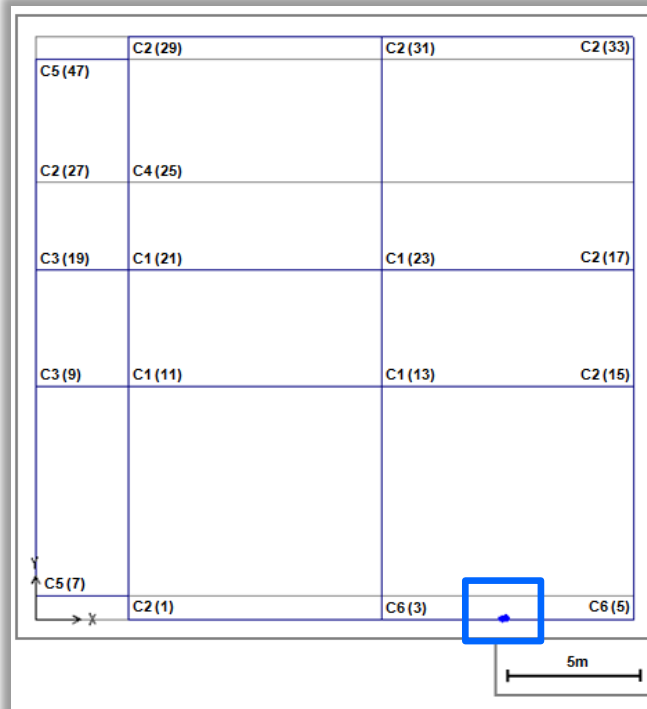
(β)

Σχήμα 23. Κέντρα στροφής (α) ισογείου και (β) ορόφου

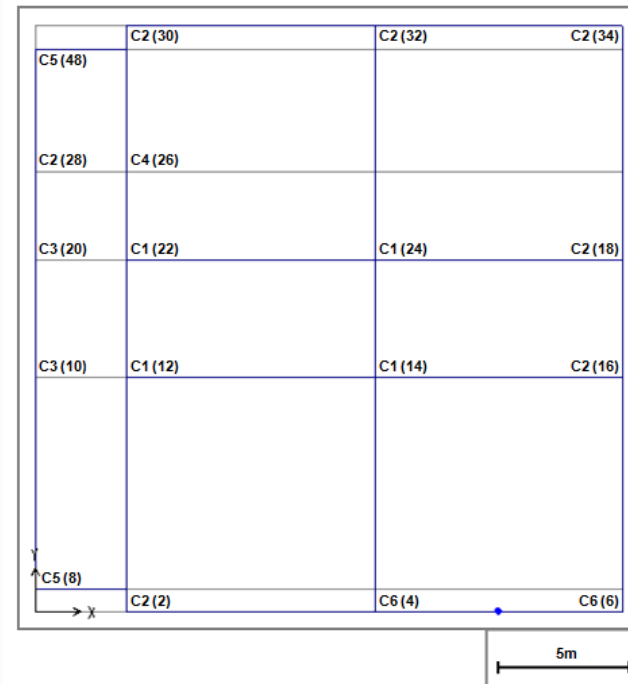
	Ελαστική Κατάσταση	Step 0	Step 2	Step 4	Step 5	Step 7
	Όροφος					
$X_i$ (m)	7,73	7,58	7,75	8,06	8,32	8,30
$Y_i$ (m)	0,65	0,64	0,59	0,49	0,45	0,39

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

## □ Φορέας με έκκεντρα τοιχώματα



(α)



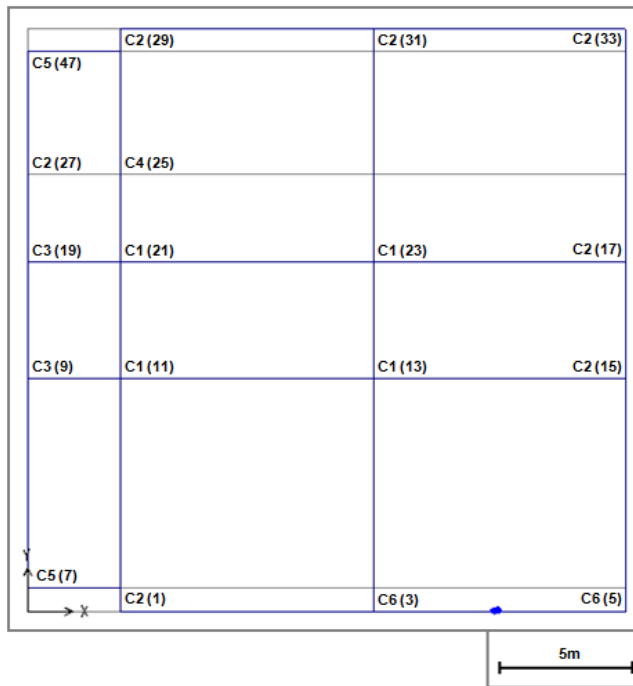
(β)

Σχήμα 24. Κέντρα δυσκαμψίας (α) ισογείου και (β) ορόφου

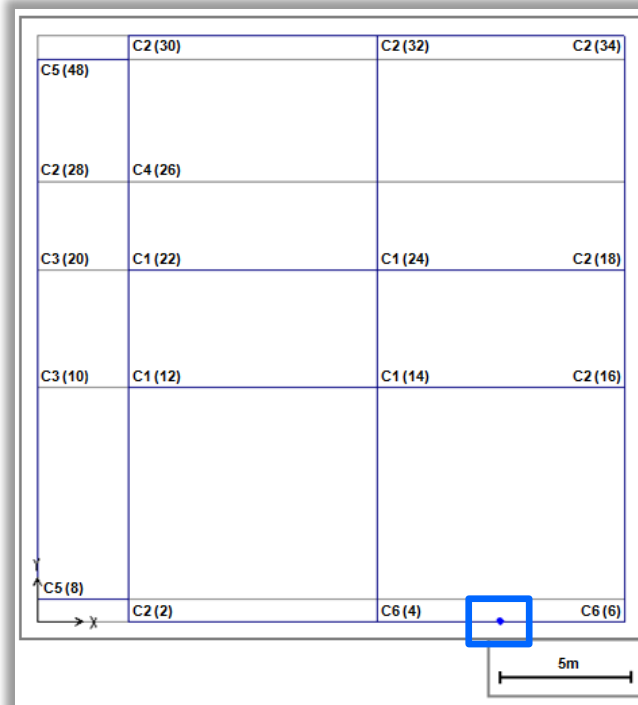
	Ελαστική Κατάσταση	Step 0	Step 2	Step 4	Step 5	Step 7
	Ισόγειο					
$X_{ki}$ (m)	17,69	17,69	17,70	17,55	17,54	17,56
$Y_{ki}$ (m)	0,064	0,063	0,058	0,041	0,034	0,027

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

## □ Φορέας με έκκεντρα τοιχώματα



(α)



(β)

Σχήμα 24. Κέντρα δυσκαμψίας (α) ισογείου και (β) ορόφου

	Ελαστική Κατάσταση	Step 0	Step 2	Step 4	Step 5	Step 7
	Όροφος					
$X_{ki}$ (m)	17,69	17,69	17,70	17,71	17,71	17,72
$Y_{ki}$ (m)	0,064	0,060	0,054	0,047	0,042	0,034

## Αποτελέσματα Παραδείγματος

- Για τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία, η προσθήκη τοιχωμάτων με συμμετρική διάταξη συνέβαλε σε **μείωση του σταθμισμένου δείκτη ανεπάρκειας** κατά **69,28%** και **64,90%** στις περιπτώσεις της κάμψης και διάτμησης, αντίστοιχα. Με τα έκκεντρα τοιχώματα, παρατηρήθηκε και πάλι μείωση του ανωτέρω δείκτη σε μικρότερα όμως ποσοστά, δηλ. κατά **34,31%** στην περίπτωση της κάμψης και **38,46%** στην περίπτωση της διάτμησης.
- Όσον αφορά τις δοκούς, **η μέση τιμή των δεικτών ανεπάρκειας**, με τη συμμετρική διάταξη των τοιχωμάτων, μειώθηκε κατά **26,67%** και **28,92%** στις περιπτώσεις της κάμψης και διάτμησης, αντίστοιχα. Με την έκκεντρη διάταξη, η ανωτέρω μείωση διαμορφώθηκε σε μικρότερα ποσοστά, δηλαδή **5,24%** για την κάμψη και **7,23%** για τη διάτμηση.



- Η τέμνουσα βάση που παραλαμβάνει ο φορέας με τα **έκκεντρα τοιχώματα** στη διεύθυνση Χ, όπου αυτά αναλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό της σεισμικής δράσης, είναι **σημαντικά μικρότερη** σε σύγκριση με αυτή που παραλαμβάνει ο φορέας με τα **συμμετρικά τοιχώματα**. Στη διεύθυνση Υ, οι τέμνουσες βάσεις που μπορούν να αναληφθούν από τους ανωτέρω φορείς έχουν παραπλήσιες τιμές. Όσον αφορά στη μετακίνηση ελέγχου, μειώθηκε με την τοποθέτηση των τοιχωμάτων, κυρίως με συμμετρική διάταξη, στη διεύθυνση Χ που αυξήθηκε η δυσκαμψία του φορέα.
- Τα κέντρα στροφής των υπό μελέτη φορέων κατά τη μετάβασή τους στην **ανελαστική κατάσταση** διαπιστώθηκε, ότι μετακινούνται προς την περιοχή του κτιρίου, όπου παρουσιάζεται η **μικρότερη συνολική μείωση της δυσκαμψίας** των κατακόρυφων δομικών στοιχείων, ή που παραμένει σημαντικά πιο δύσκαμπτη.

- Οι θέσεις των κέντρων στροφής και δυσκαμψίας είναι από αρκετά έως πολύ κοντά. Ωστόσο, **προτείνεται να αναθεωρηθούν οι τύποι των κανονισμών**, βάσει των οποίων προσδιορίζονται τα **κέντρα δυσκαμψίας**, ώστε οι θέσεις τους να προκύπτουν **πλησιέστερα στα κέντρα στροφής**. Σημειώνεται, ότι το κέντρο δυσκαμψίας βάσει του ΕΑΚ 2000, προσδιορίζεται από την εξίσωση (1.3):

$$x_k = \frac{\sum x_i \cdot K_i}{\sum K_i}, \quad y_k = \frac{\sum y_i \cdot K_i}{\sum K_i} \quad (1.3)$$

όπου:

$x_i, y_i$  οι συντεταγμένες των κατακόρυφων δομικών στοιχείων,

$K_i$  οι “σχετικές δυσκαμψίες”,  $EI/h$ .

## Τί άλλο για τη στροφή;

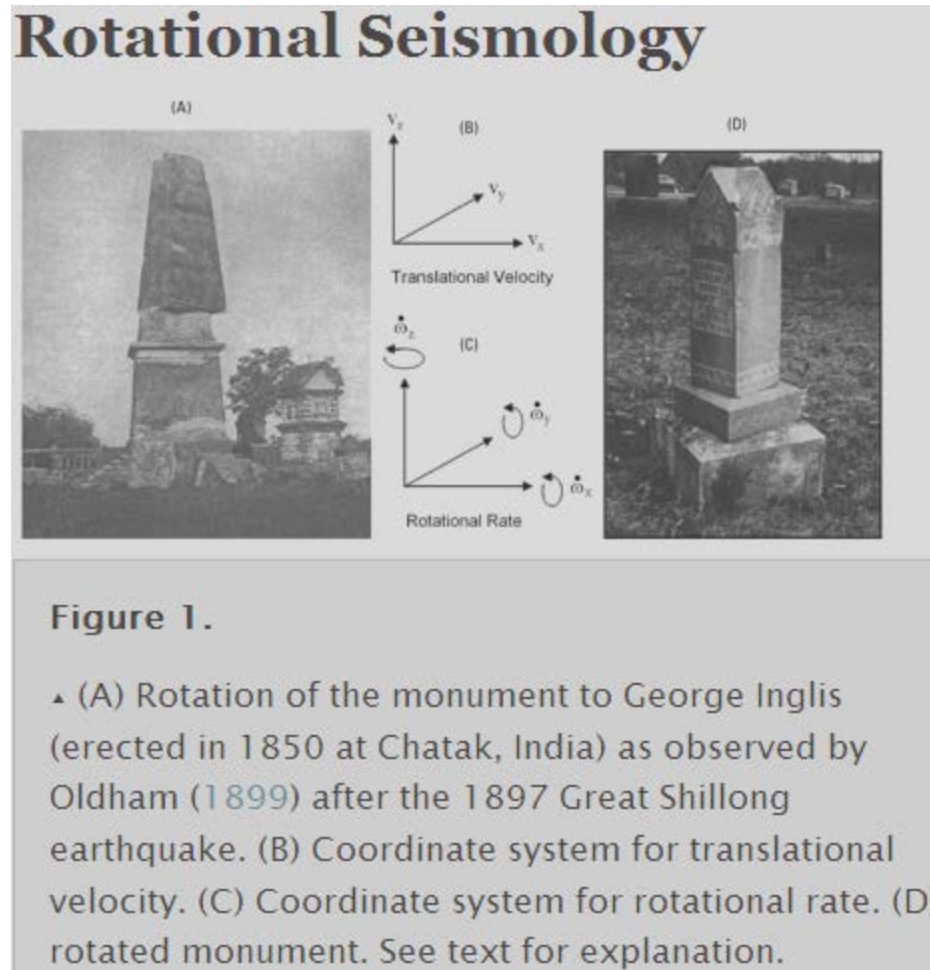
- i) Για τη μέση τιμή της γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία δοκών ή υποστρωμάτων που έχουν διαστασιολογηθεί και κατασκευασθεί με τις μετά το 1985 διατάξεις για αντισεισμικότητα:

$$\theta_{um} = 0,016 \cdot (0,3^V) \left[ \frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} (\alpha_s)^{0,35} \left( \frac{\alpha \rho_s f_{yw}}{f_c} \right)_{(1,25^{100} \rho_d)},$$

(Σ.8α)

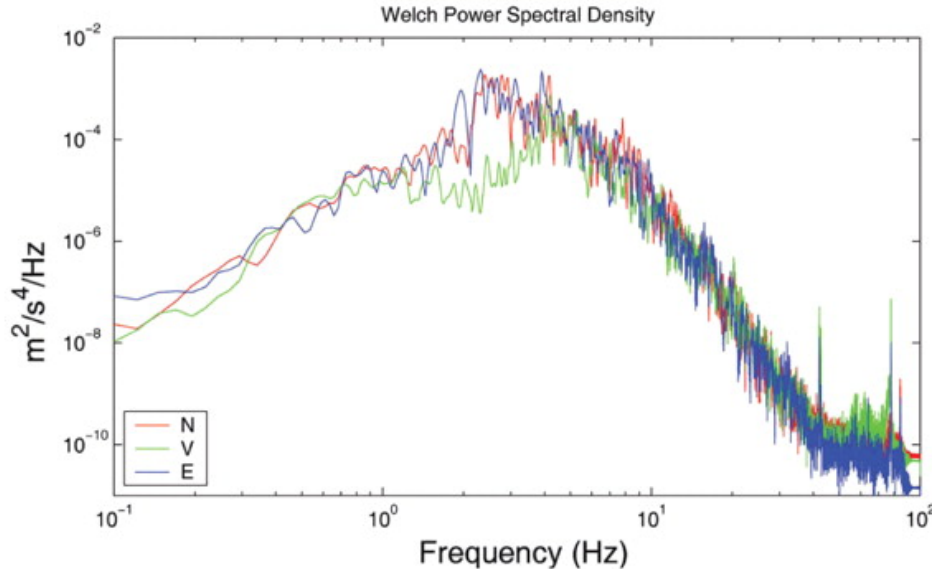
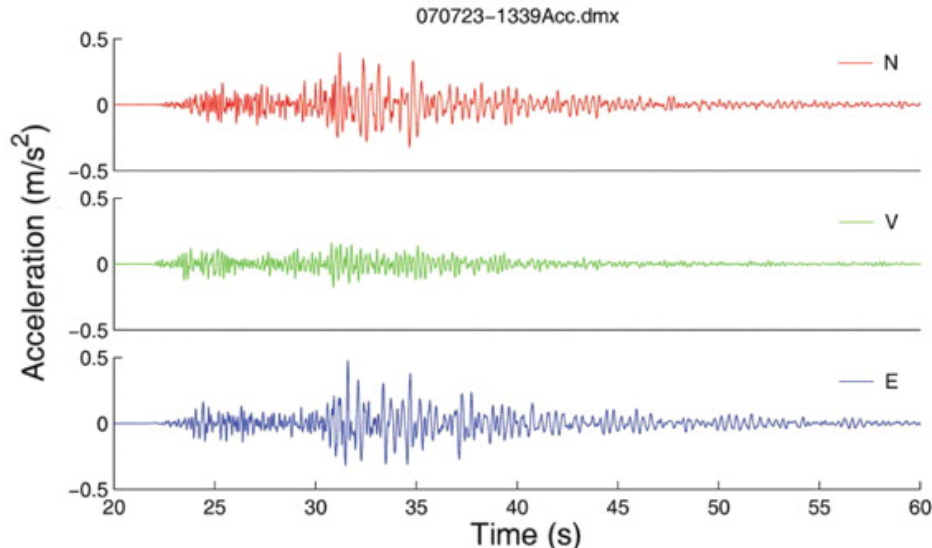
(Οι σχέσεις των Κανονισμών έχουν προκύψει από μονοαξονικές καταπονήσεις)

## Οι στρεπτικές εδαφικές διεγέρσεις

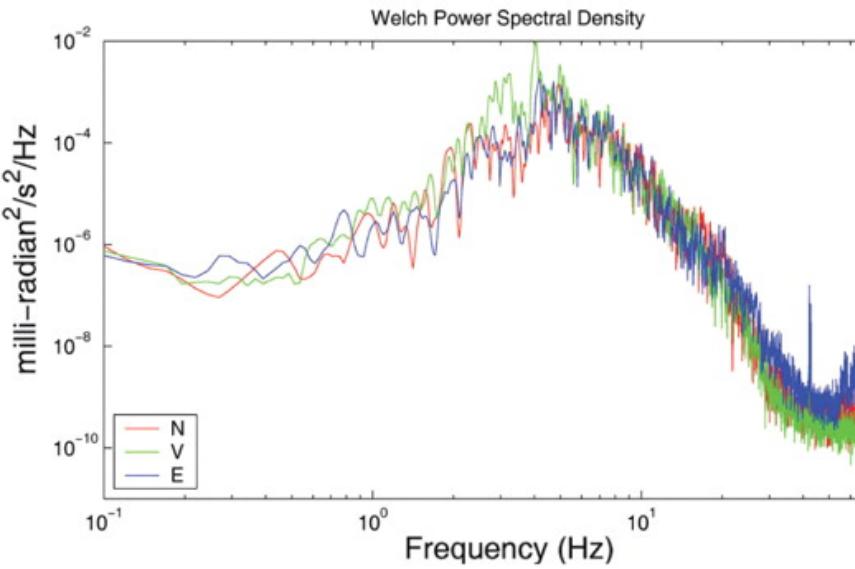
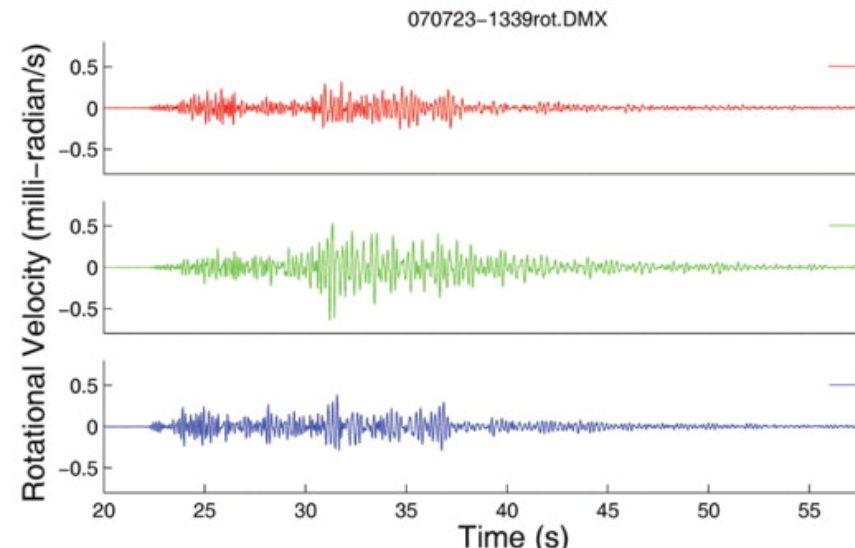


# ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΑ (C): ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΩΝ και (D): ΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

(C)



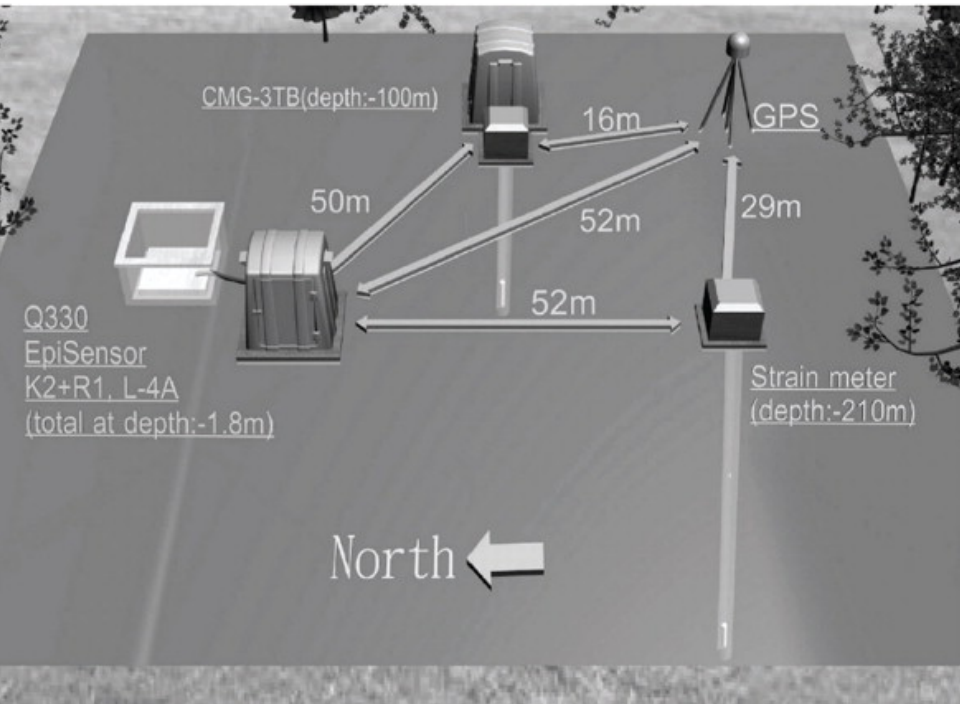
(D)



# (A) ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ

# (B): ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΕΠΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ

(A)

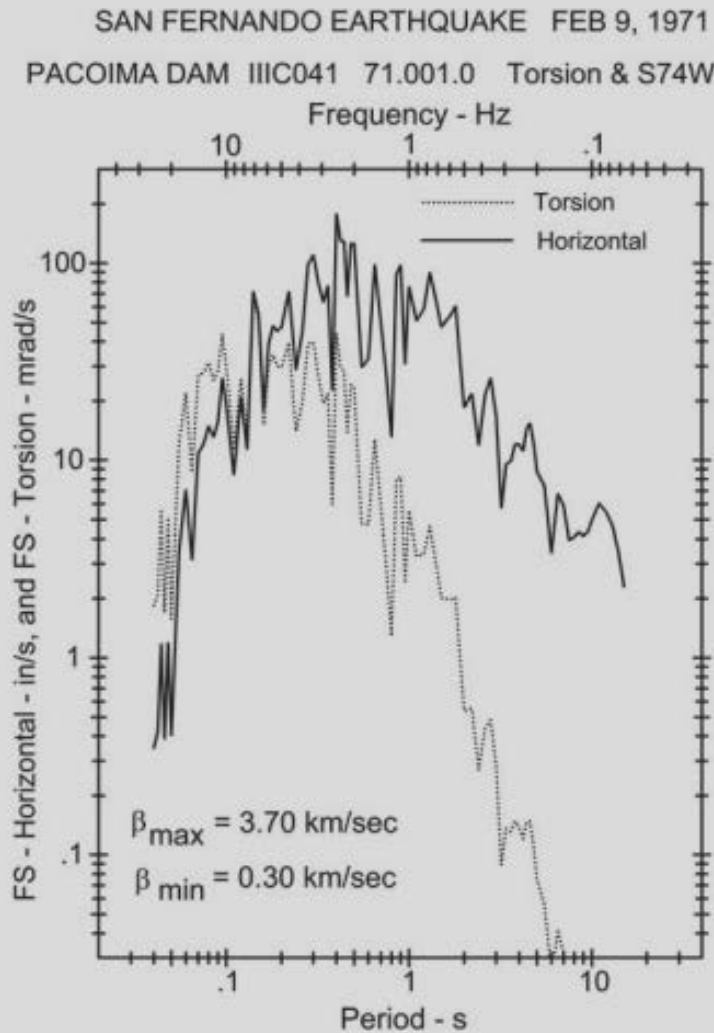


(B)

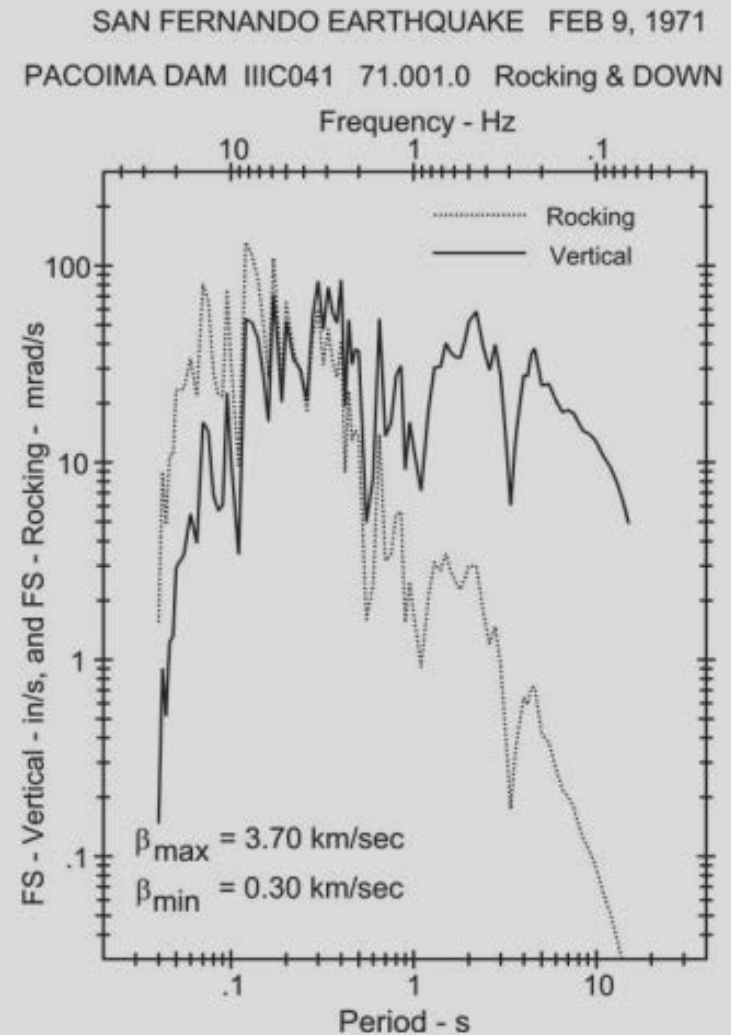


# Empirical Scaling of Rotational Spectra of Strong Earthquake Ground Motion

by V. W. Lee and M. D. Trifunac



**Figure 8.** Fourier amplitudes of the horizontal S74°W and of the corresponding estimated torsional accelerations at Pacoima Dam during the 1971 San Fernando earthquake.



**Figure 9.** Fourier amplitudes of the vertical and the corresponding estimated rocking accelerations at Pacoima Dam during the 1971 San Fernando earthquake.

**Ανοιχτά ερευνητικά πεδία:**

**1) Η διαξονικότητα της ροπής (η στροφή επαυξάνει και την  $M_2$ )**

**στον έλεγχο των παραμορφώσεων διαρροής και αστοχίας**

**(μείωση τιμών  $M_1$  και παραμόρφωσης στα διαγράμματα  $M-\theta$ ).**

**2) Η επιρροή των στρεπτικών σεισμικών διεγέρσεων.**

**Ευχαριστώ για την προσοχή σας**