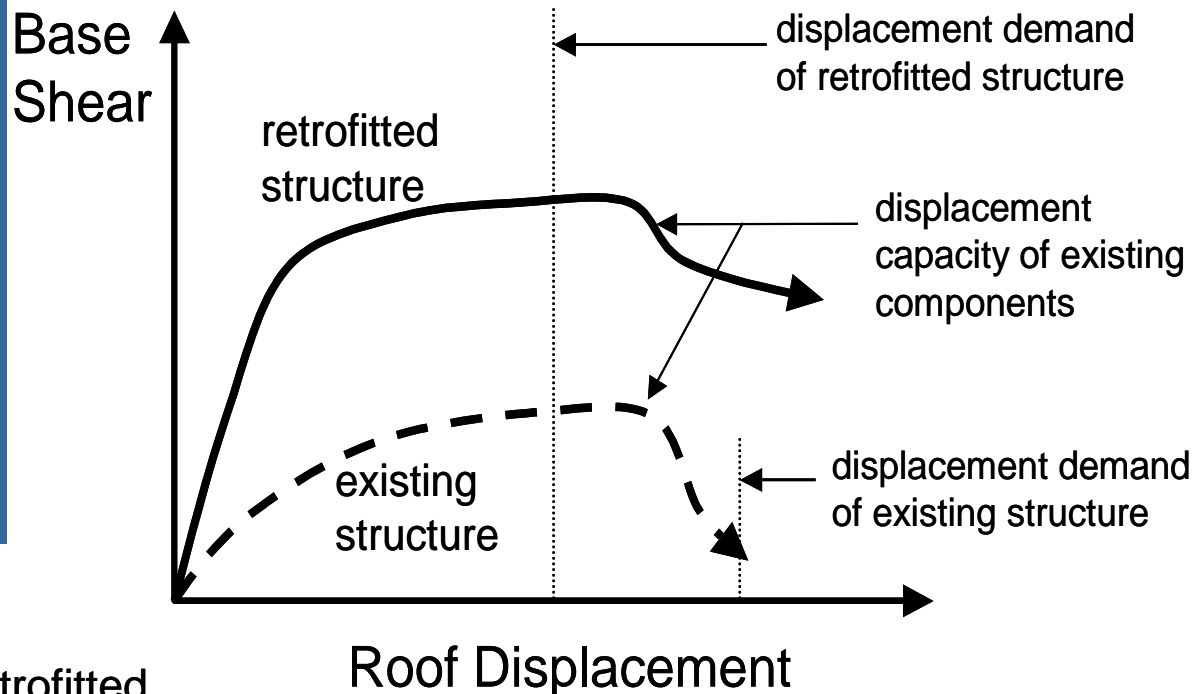
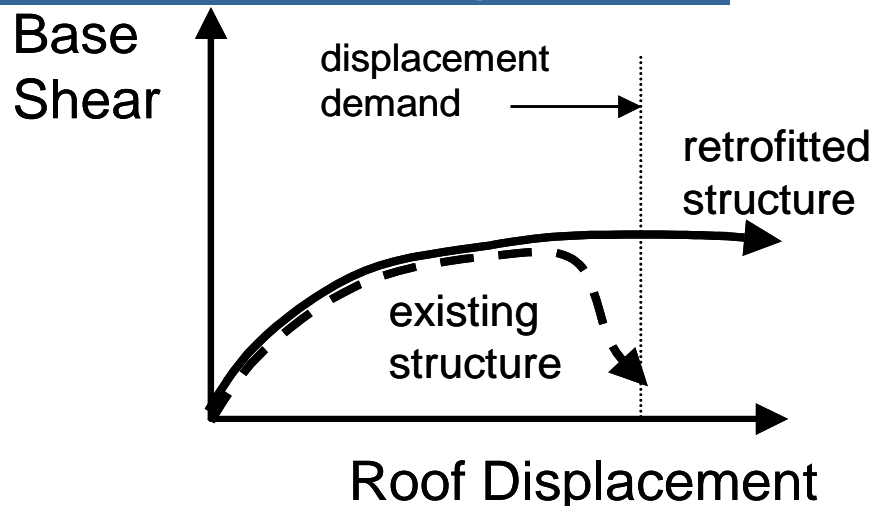

Παραδείγματα ενίσχυσης κτιρίων με νέα τοιχώματα & ΙΟΠ

M.N.Φαρδής

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών

Στρατηγικές σεισμικής ενίσχυσης

Αύξηση ικανότητας παραμόρφωσης μελών



Αύξηση δυσκαμψίας κτιρίου για μείωση απαιτήσεων παραμόρφωσης μελών

Καταλληλότερη τεχνική για την αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης (αλλά όχι και της δυσκαμψίας) μελών

- Περίσφιγξη άκρων με Ινο-Οπλισμένα Πολυμερή (ΙΟΠ) μιάς διεύθυνσης
- Μπορεί να αυξηθεί και η διατμητική αντοχή (αλλά όχι και η καμπτική, λόγω αδυναμίας συνέχειας στους κόμβους), με ΙΟΠ δύο διευθύνσεων σ' όλο το μήκος του μέλους.



Προσθήκη νέων τοιχωμάτων:

- Πολύ αποτελεσματική για την αύξηση της δυσκαμψίας του κτιρίου και την αποφυγή ενίσχυσης των λοιπών μελών.
- Συνήθως με πλήρωση φατνώματος υπάρχοντος πλαισίου με σύνδεση με τα στοιχεία του ή και εγκιβωτισμό τους.



Νέα τοιχώματα



Νέο τοίχωμα σε εσωτερικό πλαίσιο

Εγκιβωτισμός κολόνας



Πρόβλημα νέων τοιχωμάτων

Μεταφορά μεγάλης M
στο έδαφος με μικρή
 N : Αποκόλληση

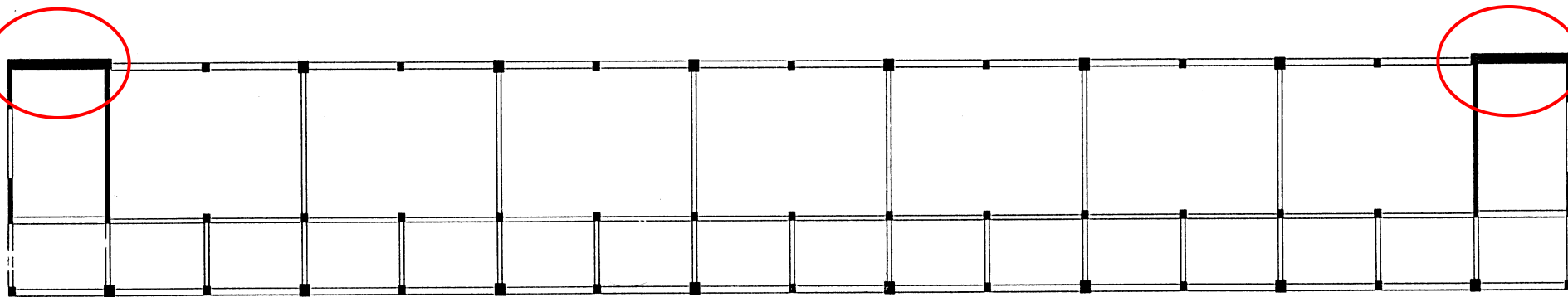
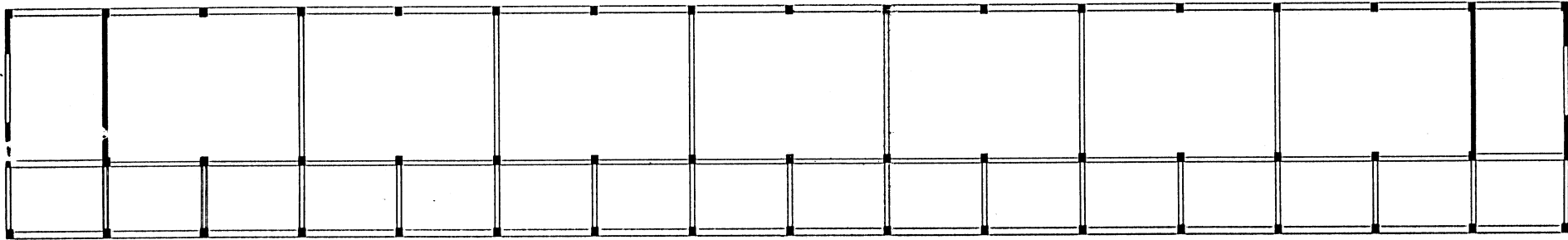
“Λύσεις”:

- Βαρύ νέο πέδιλο, που εγκιβωτίζει γειτονικά.
- Ισχυρή νέα συνδετήρια δοκός.
- Μικροπιάσσαλοι για αγκύρωση στο έδαφος.

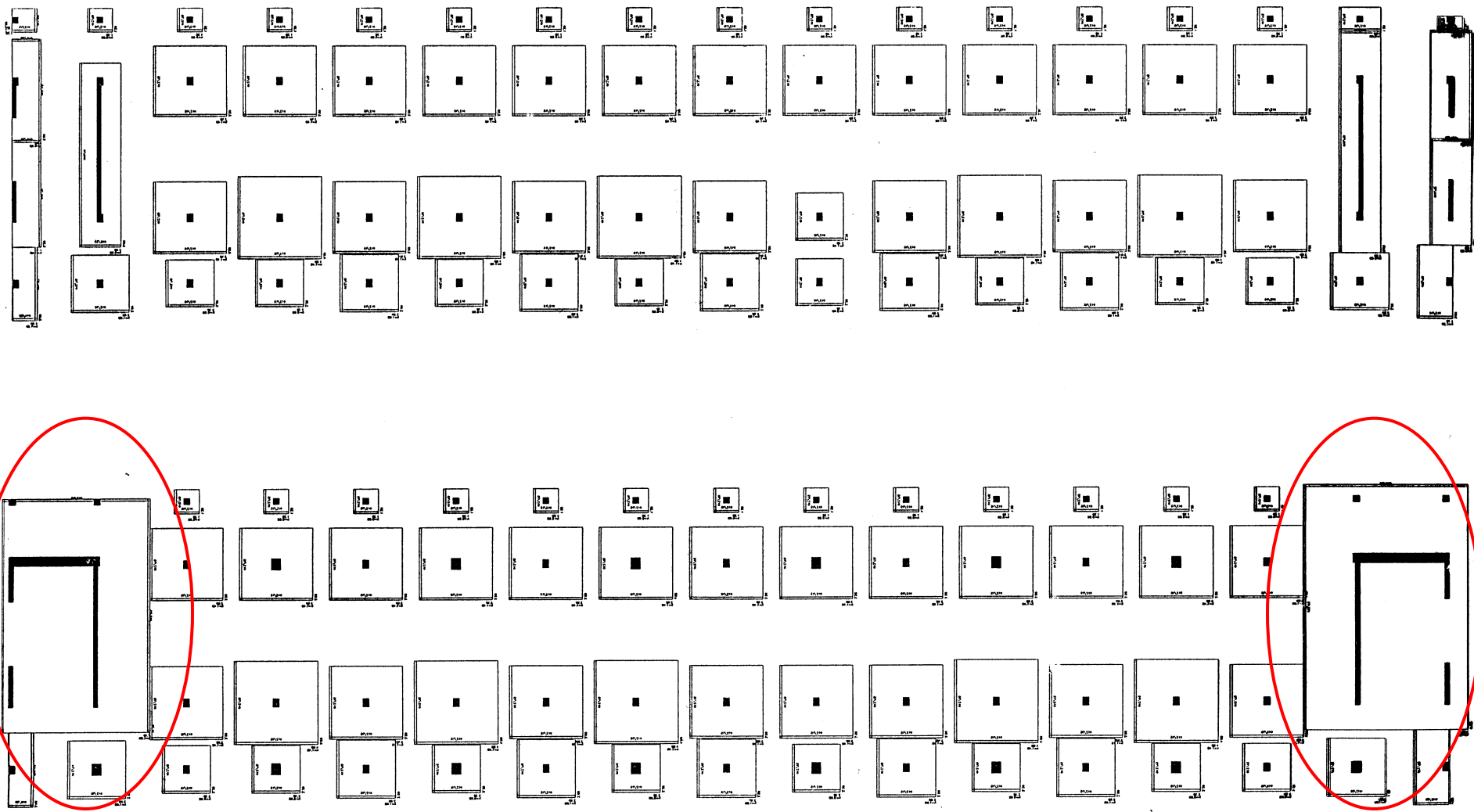


Η αποκόλληση του νέου πεδίου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο μη-γραμμικό προσομοίωμα

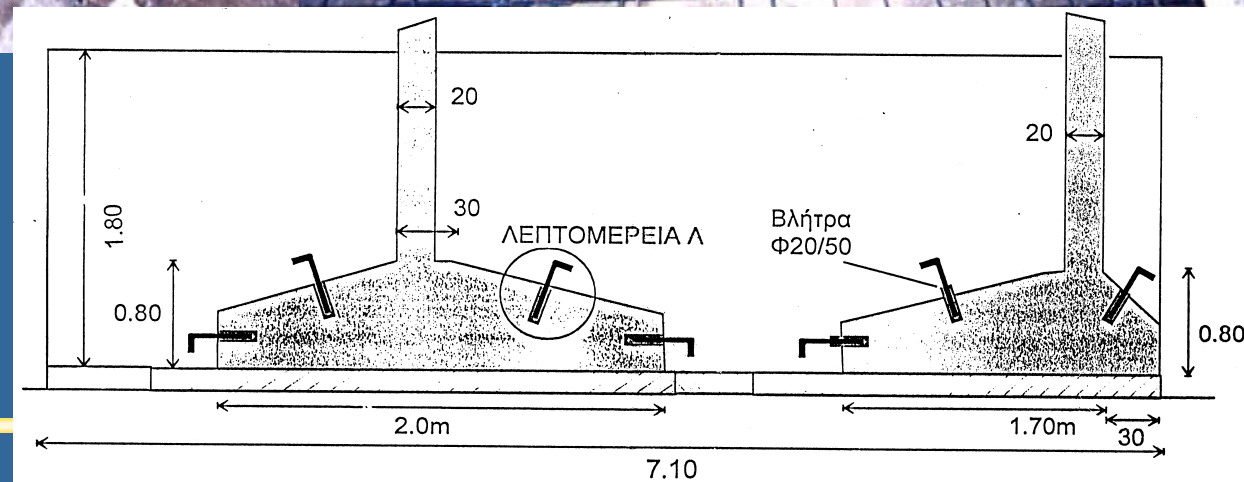
Παράδειγμα σε κτίριο με προσθήκη 2 ισχυρών τοιχωμάτων στη διαμήκη διεύθυνση



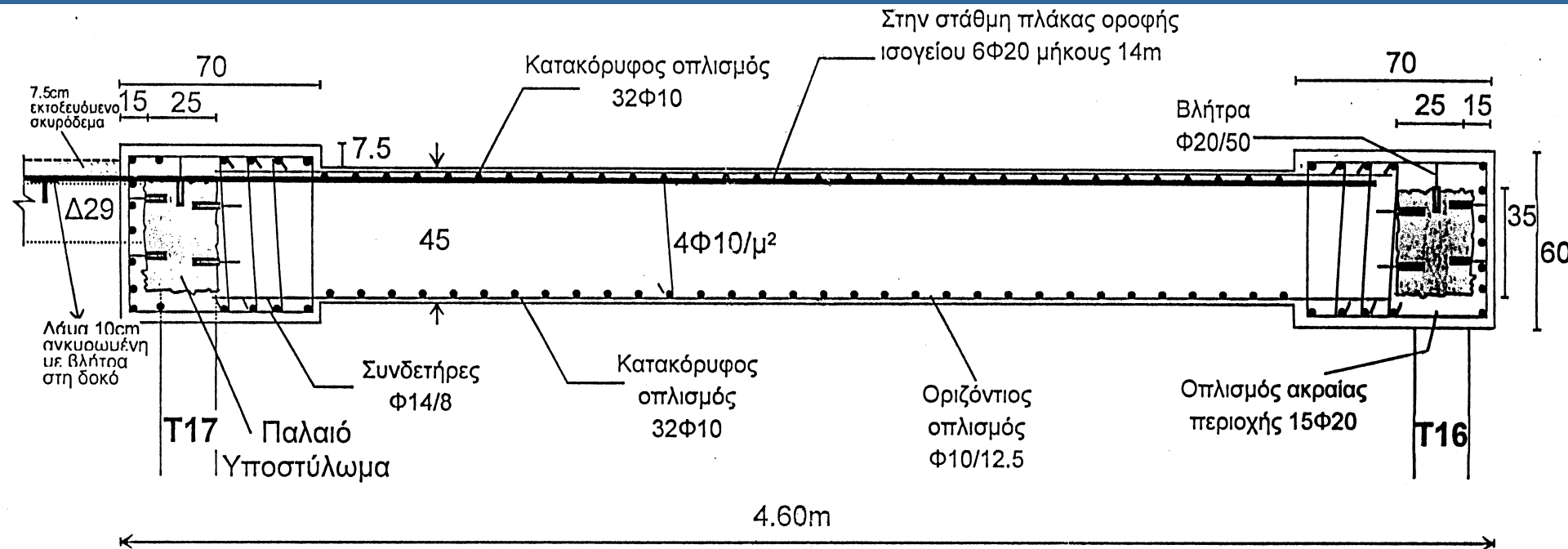
Πέδιλα ισχυρών τοιχωμάτων για την αποτροπή αποκόλλησης από το έδαφος



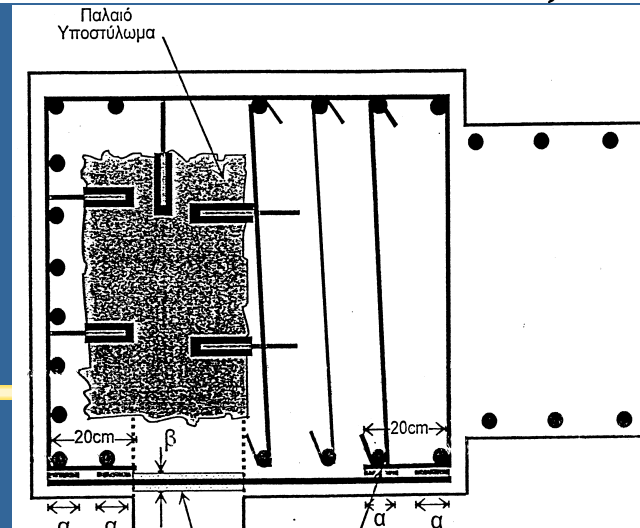
Νέο πέδιλο



Για θεώρηση νέων τοιχωμάτων ως μονολιθικών



Ενσωμάτωση παλαιών υποστυλωμάτων & δοκών στο νέο τοίχωμα, με συνέχεια νέων κατακόρυφων οπλισμών από όροφο σε όροφο → Η ροπή αντοχής νέου τοιχώματος & η ροπή στο πέδιλο αυξάνονται υπερβολικά



Προτιμότερη και οικονομικότερη λύση για το νέο τοίχωμα

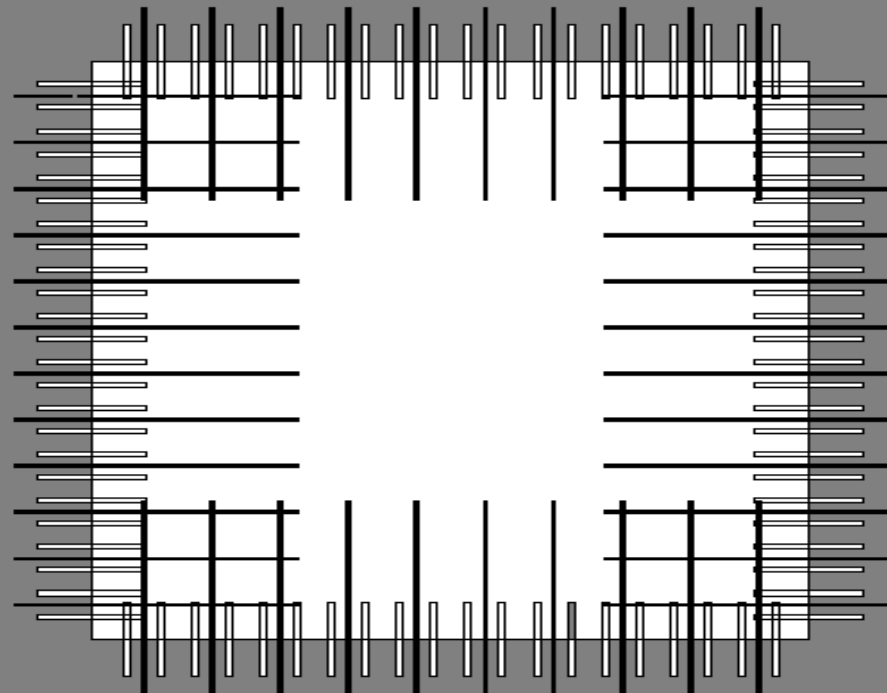
- Πάχος κορμού νέου τοιχώματος \leq ελάχιστο πλάτος των δοκών ή των υποστυλωμάτων περιβάλλοντος πλαισίου.
- Στόχος: πλήρης συνεργασία κορμού νέου τοιχώματος με δοκούς & υποστυλώματα περιβάλλοντος πλαισίου σε μονολιθική συμπεριφορά

Σύνδεση νέων τοιχωμάτων με το υπάρχον πλαίσιο

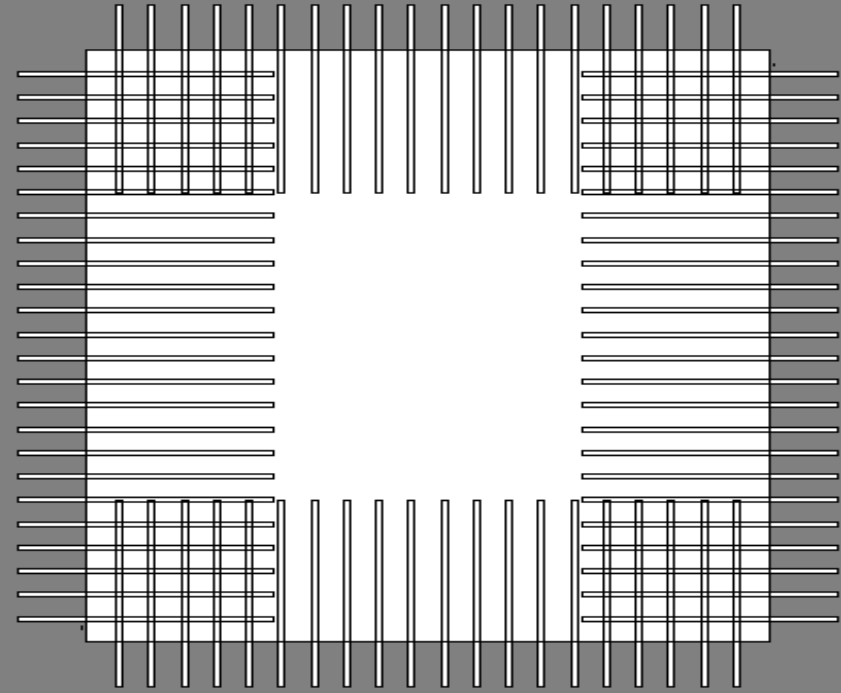
Μία γραμμή βλήτρων σ' όλη την περίμετρο, στη μέση επιφάνεια τοιχώματος, μεταφέρει την τέμνουσα του κορμού

1) Αμεση σύνδεση ράβδων κορμού με περιβάλλον πλαίσιο - μάτιση με ράβδους πακτωμένες στο πλαίσιο.
Βλήτρα: $\pm 8\Phi$ σε πλαίσιο & κορμό

2) Εμμεση σύνδεση ράβδων κορμού με το πλαίσιο - χρήση των βλήτρων ως αγκύρια.
Βλήτρα: 8Φ στο πλαίσιο, μήκος παράθεσης ράβδων κορμού στον κορμό (max εγκάρσια απόσταση ματισμένων ράβδων?)



ή



Τέμνουσα διαστασιολόγησης βλήτρων

- Υπολογίζεται η μέγιστη ροπή που θα αναπτύξει το ενισχυμένο τοίχωμα στη διατομή βάσης του, $\max M_w$
 - είτε από τη ροπή “ανατροπής” του πεδίλου του, $M_0=0.5BN$, το ύψος του πεδίλου h , και το “μήκος διάτμησης” του τοιχώματος $L_s=M/V \sim H_w/2$:
$$M_{wo} = M_0 / (1 + h/L_s)$$
 - είτε από τη ροπή αντοχής της διατομής βάσης του, M_{Rwd} , από τους νέους οπλισμούς του κορμού του & τους οπλισμούς των 2 υποστυλωμάτων.
- Αν $M_{wo} < M_{Rwd} \rightarrow \max M_w = M_{wo}$, δεν σχηματίζεται πλαστική άρθρωση στη βάση. Τέμνουσα σχεδιασμού στη βάση του τοιχώματος: $V_d = \max M_w / L_s$.
- Αν $M_{wo} > M_{Rwd} \rightarrow \max M_w = M_{Rwd}$, σχηματίζεται πλαστική άρθρωση στη βάση. Η τέμνουσα σχεδιασμού στη βάση περιλαμβάνει μεγέθυνσης τεμνουσών για τις ανώτερες ιδιομορφές
Keintzel, EC8-1: $V_d = \sqrt{[1 + 0.1(qS_e(T_c)/S_e(T_1))]^2} \max M_w / L_s$
 - $S_e(T)$: ελαστική φασματική τιμή, T_1 : ιδιοπερίοδος κτιρίου,
 - T_c : T σε άνω όριο περιοχής σταθ. επιταχύνσεων στο φάσμα
 - q : από τις γων. στροφής χορδής τοιχώματος στην αστοχία & τη διαρροή $q \sim \theta_u / \theta_y$.

Διαστασιολόγηση βλήτρων σε διάτμηση

- Τέμνουσα αντοχής ενός βλήτρου (τιμή σχεδιασμού)

- Αν λειτουργεί μόνον ως βλήτρο (Λύση 1)

$$F(s) \approx F_{0,\max} \sqrt{\frac{s}{s_{\max}}} = 1.6 A_s \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \sqrt{\frac{s}{s_{\max}}}$$

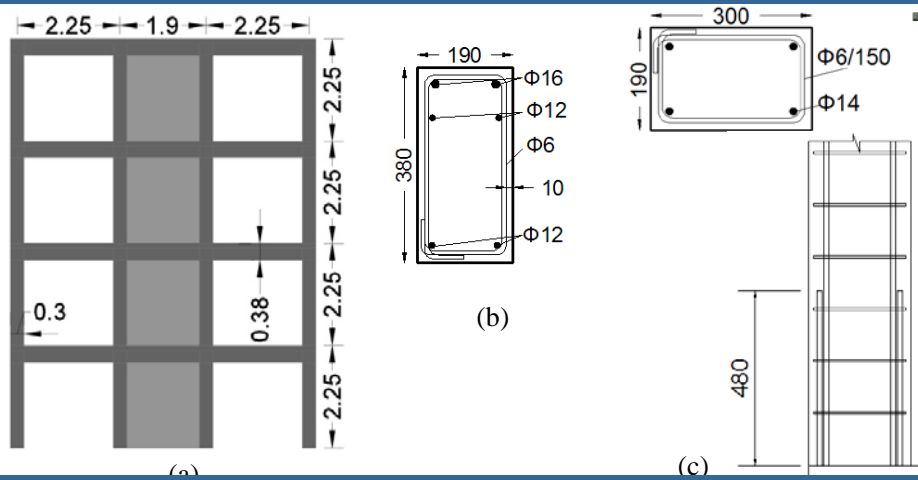
s: ολίσθηση, $s_{\max} \sim 0.1 d_b$

- Αν συγχρόνως αγκυρώνει στο περιβάλλον πλαίσιο την εφελκυστική αντοχή η των ράβδων του κορμού διαμέτρου d_{bw} (Λύση 2) αναπτύσσοντας εφελκυστική τάση $\sigma_s = n f_{yd} (d_{bw}/d_b)^2$

$$F_{\max} = F_{0,\max} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_s}{f_{yd}}\right)^2} = F_{0,\max} \sqrt{1 - n^2 \left(\frac{d_{bw}}{d_b}\right)^4}$$

- Αν η ολίσθηση s είναι σημαντική, ενεργοποιείται (και προστίθεται στην ολική αντοχή των βλήτρων) η τέμνουσα αντοχής (τιμή σχεδιασμού) των 2 παλαιών υποστυλωμάτων.

Πειραματική εφαρμογή - Εργ. Κατασκευών: 3 τοιχώματα 0.7:1 - ψευδοδυναμική δοκιμή (ΟΑΣΠ-ACES)



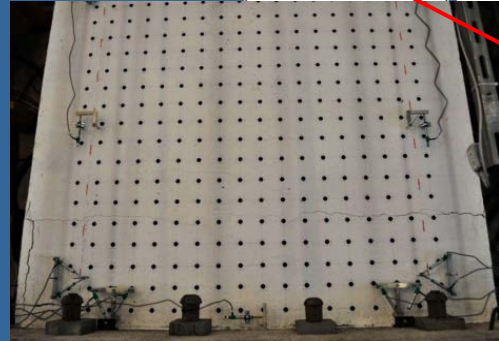
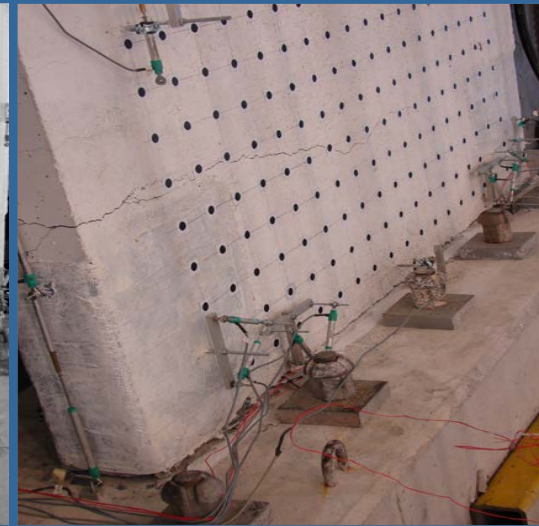
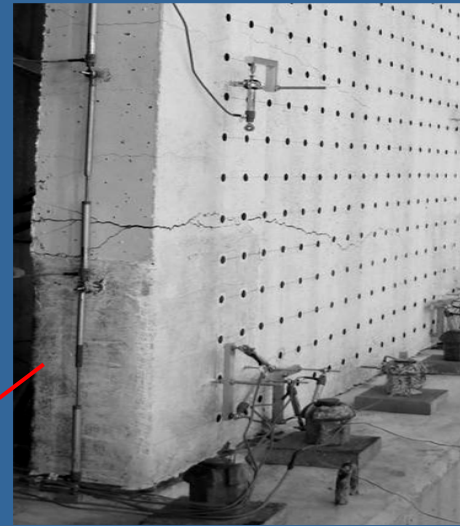
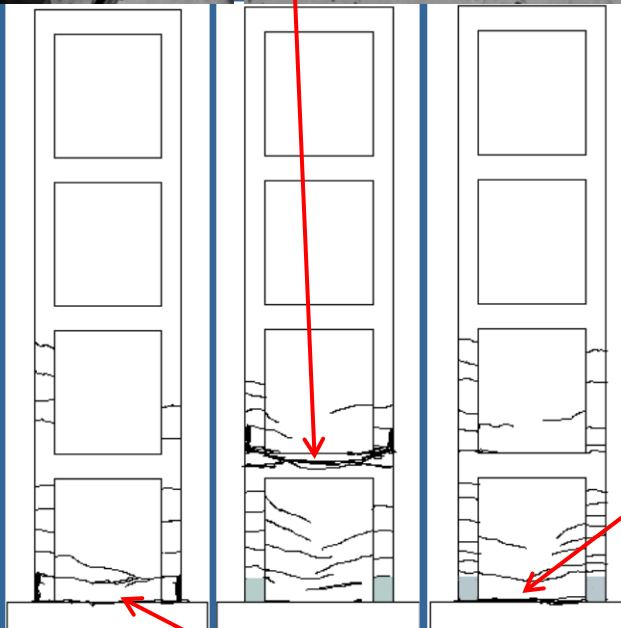
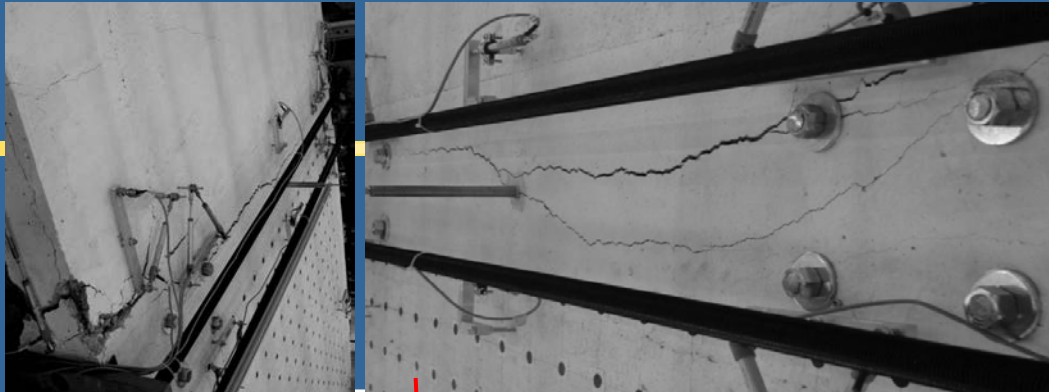
(a)

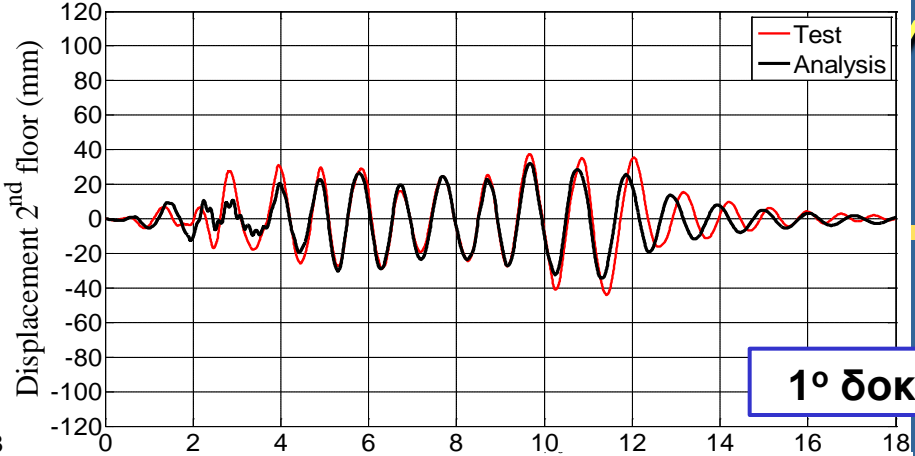
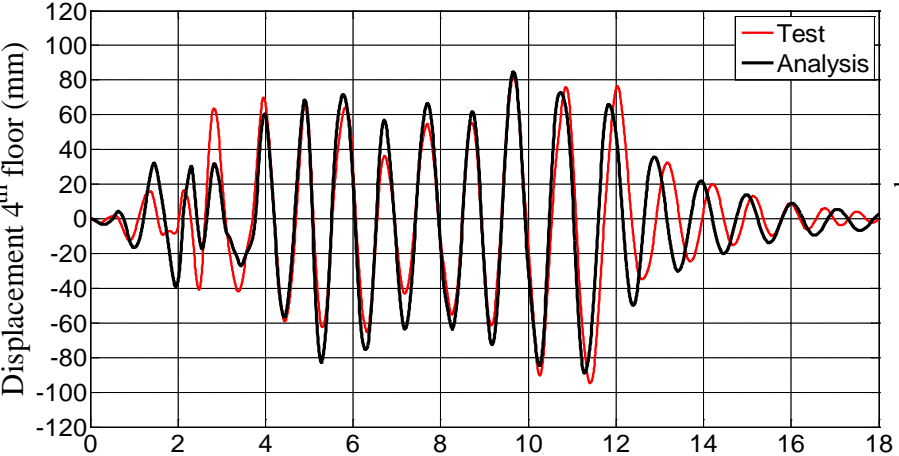
(b)

(c)

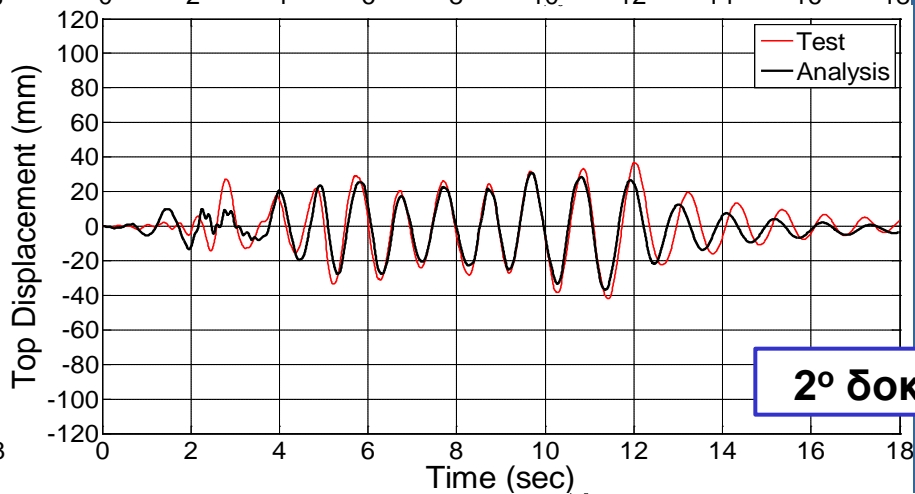
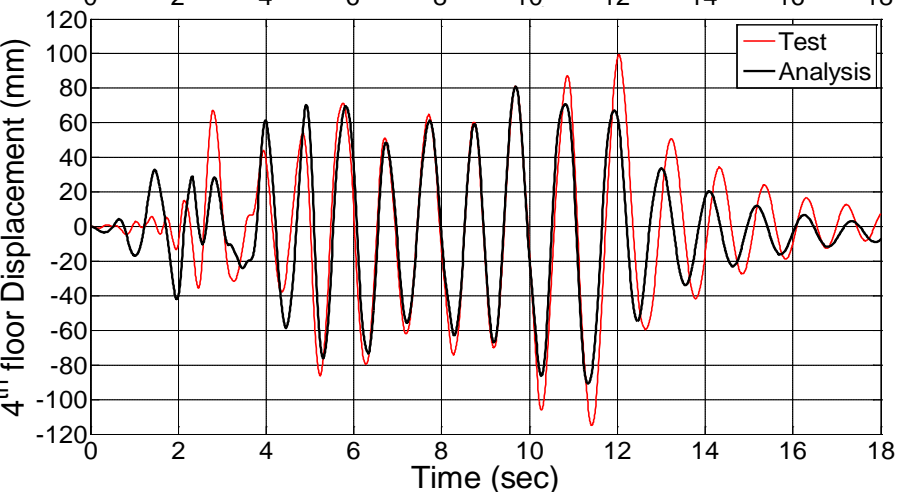
	specimen no. 1		specimen no. 2		specimen no. 3	
	two-way web reinforcement (each face)	dowels (single row)	two-way web reinforcement (each face)	dowels (single row)	two-way web reinforcement (each face)	dowels (single row)
story 4	Ø8/260	Ø14/130	Ø8/260	Ø16/580	Ø8/260	Ø16/580
story 3	Ø8/260	Ø16/130	Ø8/260	Ø16/580	Ø8/260	Ø16/580
story 2	Ø8/170	Ø16/85	Ø8/260	Ø16/130	Ø8/260	Ø12/130
story 1	Ø10/185	Ø16/92.5	Ø8/170	Ø16/ 85	Ø8/260	Ø14/130
shear strength, kN	926	828	724	860	511	405

Πειραματική εφαρμογή στο Εργ. Κατασκευών (ΟΑΣΠ-ΑCΕC)

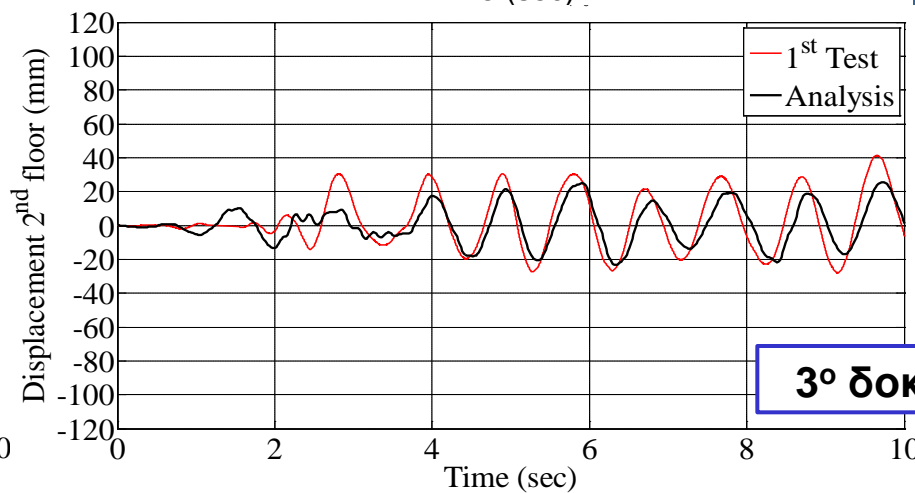
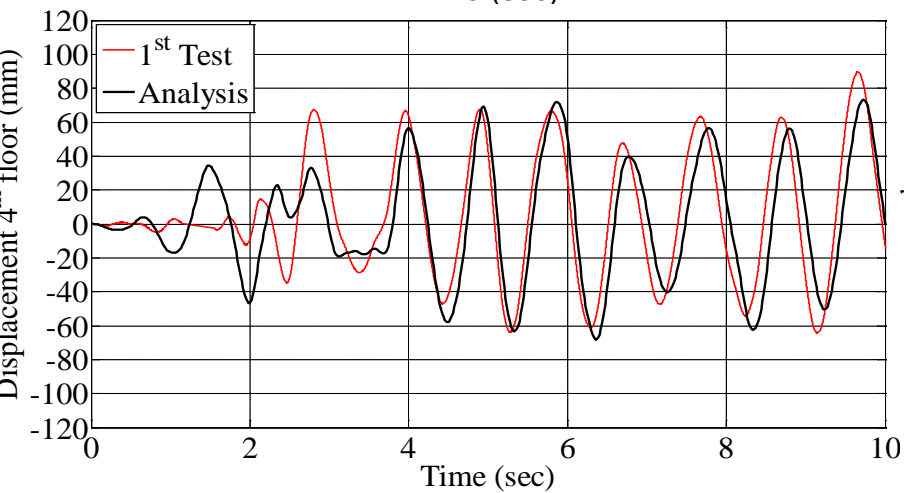




1^ο δοκίμιο



2^ο δοκίμιο



3^ο δοκίμιο

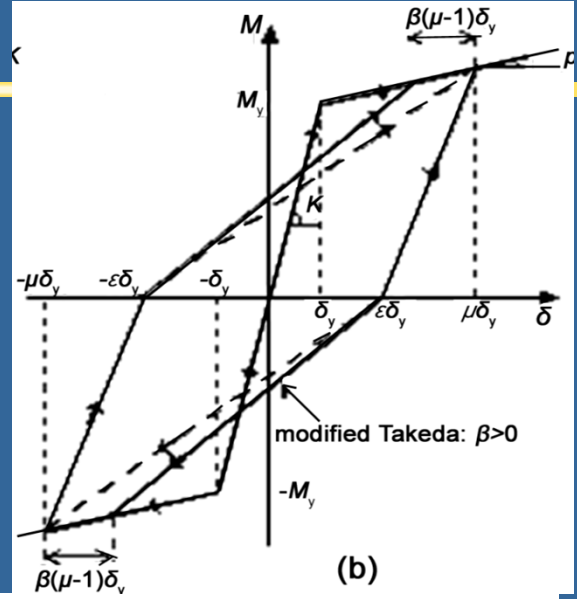
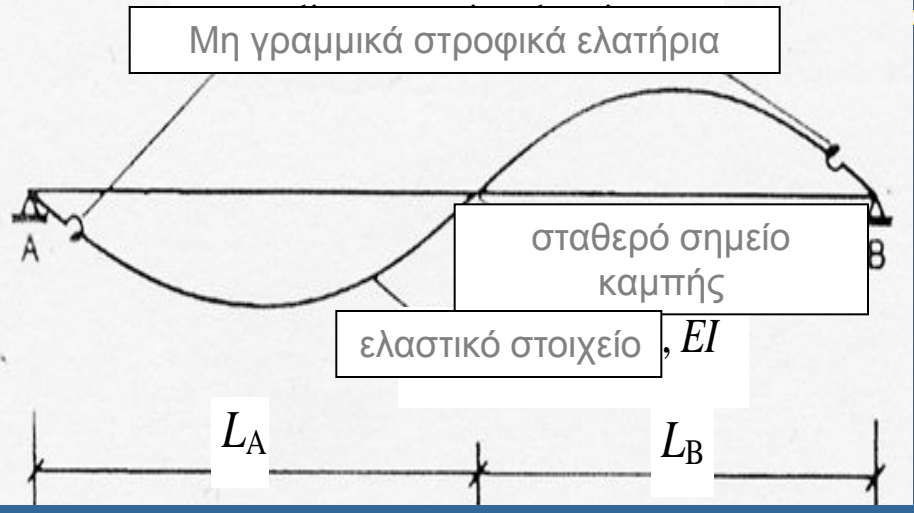
Υποθέσεις Προσομοίωσης

- Πάκτωση βάσης κατακορύφων μελών σε δύσκαμπτη θεμελίωση
- Οι κόμβοι θεωρούνται με τις πραγματικές τους διαστάσεις, αλλά άκαμπτοι
- Θεώρηση επιρροών 2ας τάξεως
- Λαμβάνεται υπόψη η εντός επιπέδου ευκαμψία πατωμάτων (ανά φάτνωμα)
- Προσομοιώματα μελών:
 1. Προσομοιώματα σημειακών αρθρώσεων με νόμο υστέρησης “απλοποιημένο” Takeda (διγραμμική περιβάλλουσα, χωρίς απομείωση αντοχής με ανακύκλιση)
 2. Ελαστική δυσκαμψία $EI = M_y L_s / 3\theta_y$
 3. Κατακόρυφα μέλη: 2 ασύζευκτα στοιχεία (ένα ανά οριζόντια διεύθυνση)
 4. Σκάλες: Βραχίονες σαν κεκλιμένα υποστυλώματα (σε 2 εγκάρσιες διευθύνσεις).
 5. Λαμβάνεται υπόψη η επιρροή:
 - Προβληματικών λεπτομερειών όπλισης (κοντών ματίσεων, συνδετήρων)
 - Περίσφιξης με ΙΟΠ, ή μανδυνών οπλ. Σκυροδέματος.

Η απόκριση αποτιμάται με βάση το λόγο απαιτούμενης αντοχής ή παραμόρφωσης προς τη διαθέσιμη κατά ΕΚ8-Μέρος 3 (παραμόρφωση αστοχίας: αντιστοιχεί σε πτώση αντοχής $\geq 20\%$):

- Σε όρους γωνίας στροφής χορδής άκρων
- Σε όρους τέμνουσας αντοχής στην πλαστική άρθρωση (μείωση με ανακύκλιση)

Προσομοίωμα σημειακών αρθρώσεων (συγκεντρωμένης ανελαστικότητας) για μονοαξονική κάμψη χωρίς επιρροή της κάμψης στην αξονική παραμόρφωση
Στοιχείο μονού μέλους :



Μητρώο ευκαμψίας:

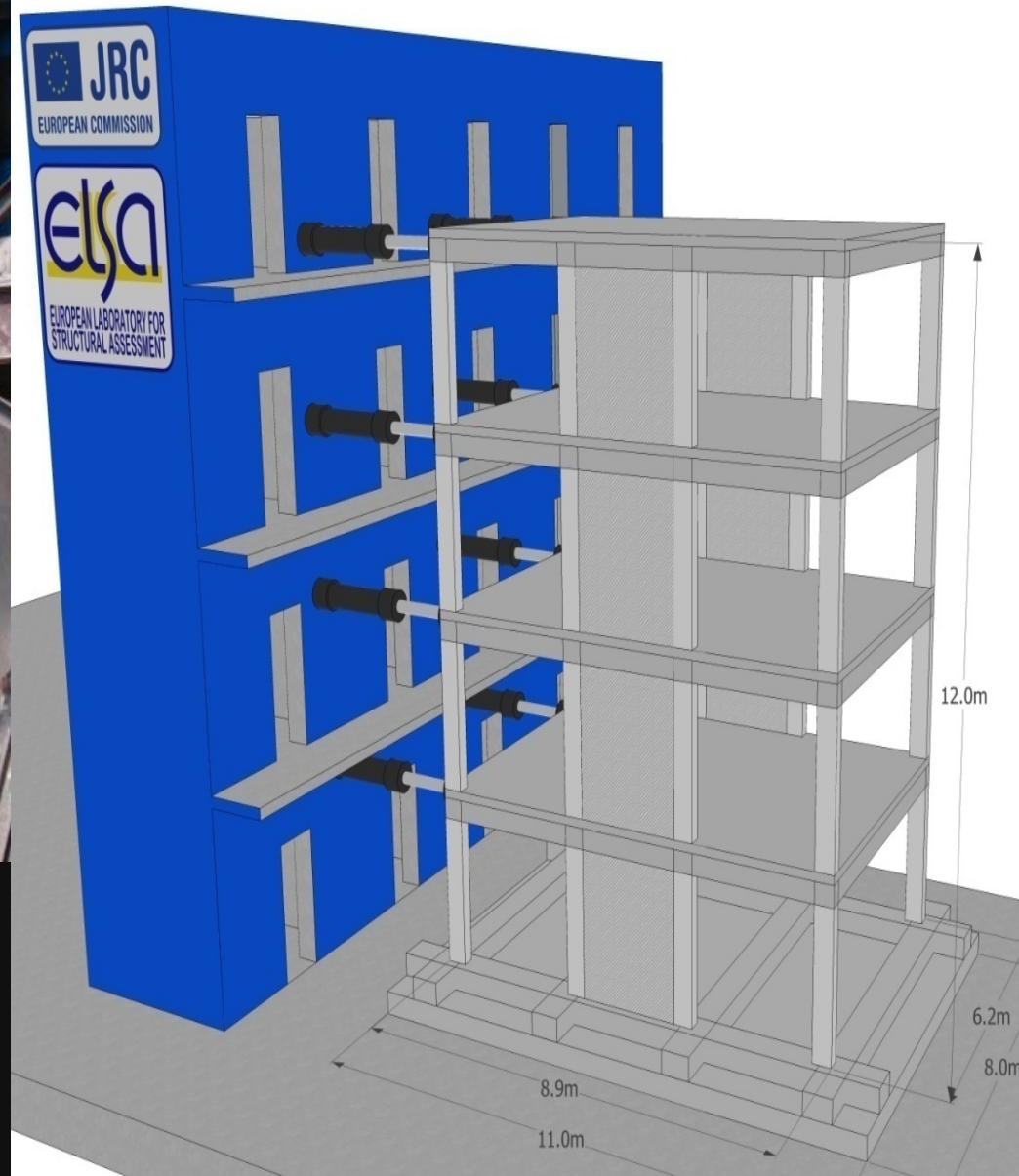
$$F_{m^t} = \begin{bmatrix} f_{AA} & f_{AB} \\ f_{AB} & f_{BB} \end{bmatrix} = \frac{L}{6EI} \begin{bmatrix} 2 + a_A/p_A & -1 \\ -1 & 2 + a_B/p_B \end{bmatrix}$$

- $a_A = 0$ πριν την καμπτική διαρροή στο A ($M^A < M_y^A$)
- $a_A = 1$ κατόπιν ($M^A \geq M_y^A$)
- $p_A = (L/(6EI))/f_A$, $p_B = (L/(6EI))/f_B$: Λόγος τρέχουσας εφαπτομενικής δυσκαμψίας, στροφικών ελατηρίων προς ελαστική δυσκαμψία στοιχείου σε αντισυμμετρική κάμψη, $6EI/L$
- Τμηματικά σταθερά f_A , f_B από πολυγραμμική σχέση $M-\theta$ σε 1η φόρτιση, αποφόρτιση, επαναφόρτιση.

SERIES: Seismic Retrofitting of RC Frames with RC Infilling (SERFIN) @ JRC



SERIES - SERFIN (JRC)



$L \times l \times h = 9 \times 6 \times 12$ meters

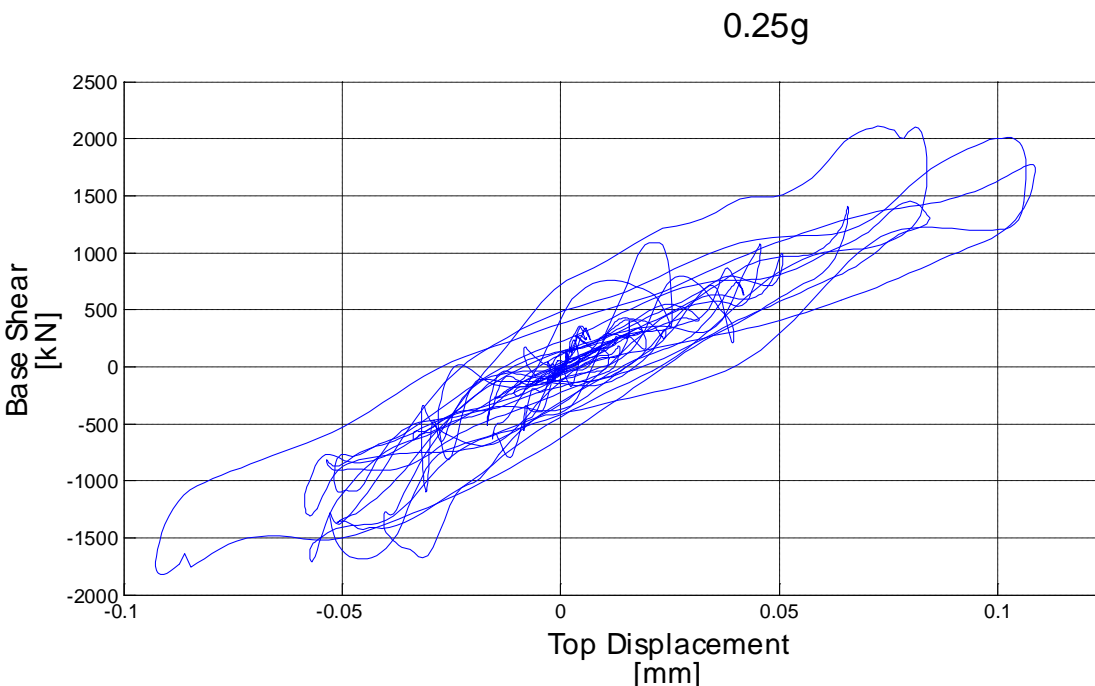
SERIES - SERFIN (JRC) - TESTING

0.25g Real time



	Base Shear [kN]		Top Displacement [mm]	
	Min	Max	Min	Max
PSD 0.10g	-1250*	1150*	-28	23
PSD 0.25g	-1820	2110	-93	109
Cyclic / Funeral	-1760	1330	-125	92

* Only for the first 11s of the earthquake record

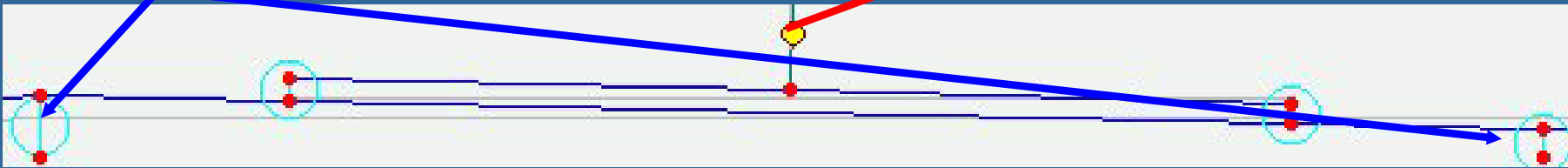
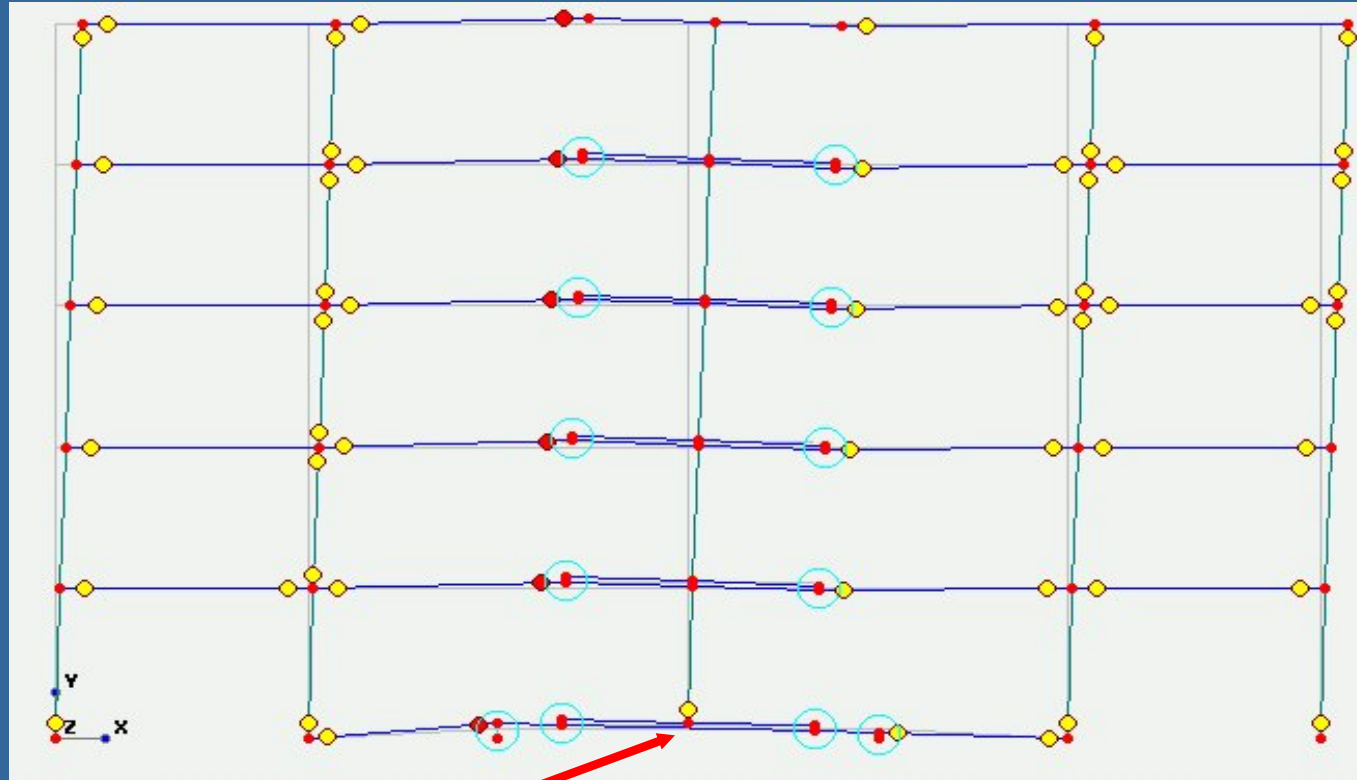


SERIES - SERFIN (JRC) - DAMAGE



Μη-γραμμική προσομοίωση αποκόλλησης πεδίου

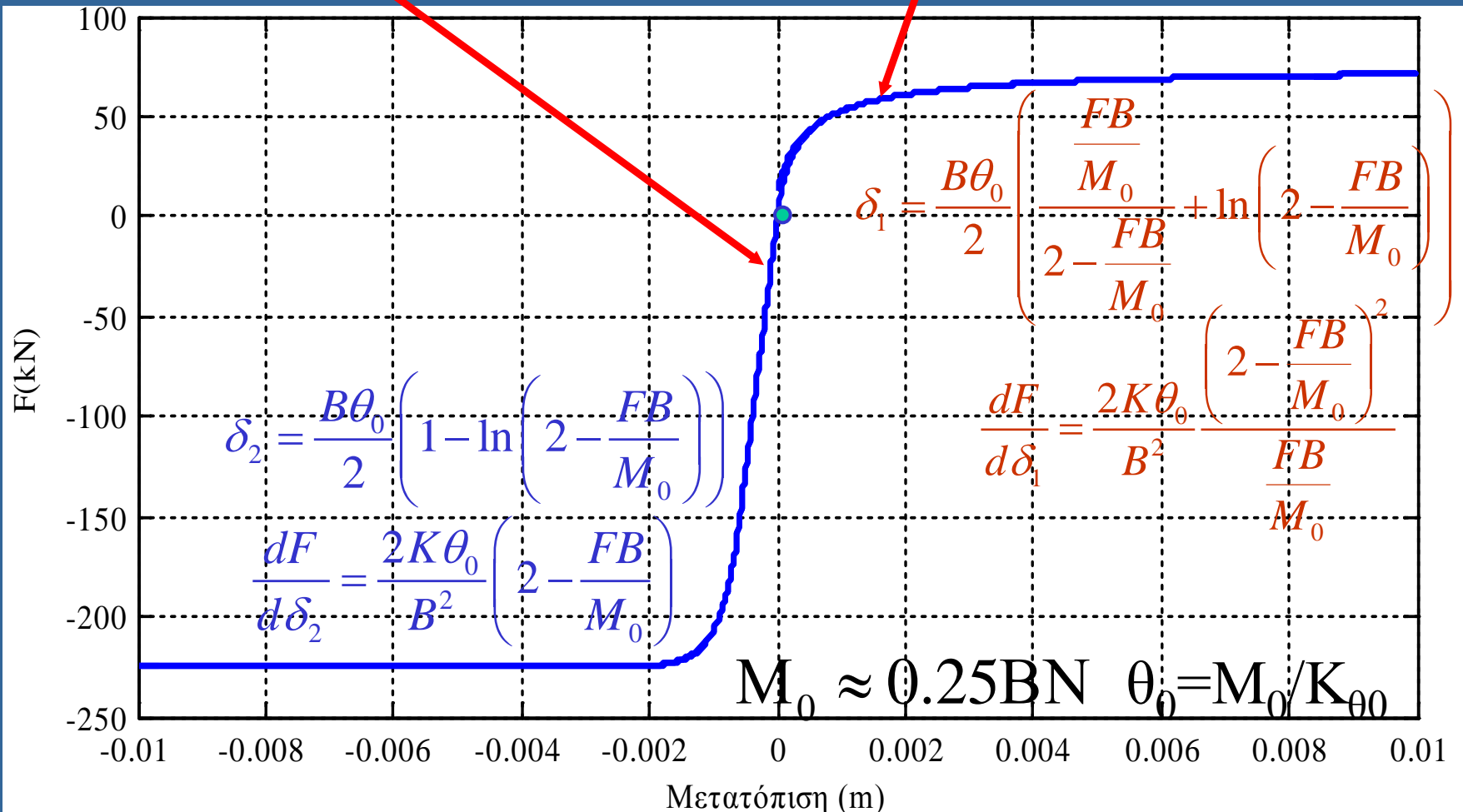
Μη-γραμμικά
ελατήρια σύνδεσης
πεδίου με έδαφος



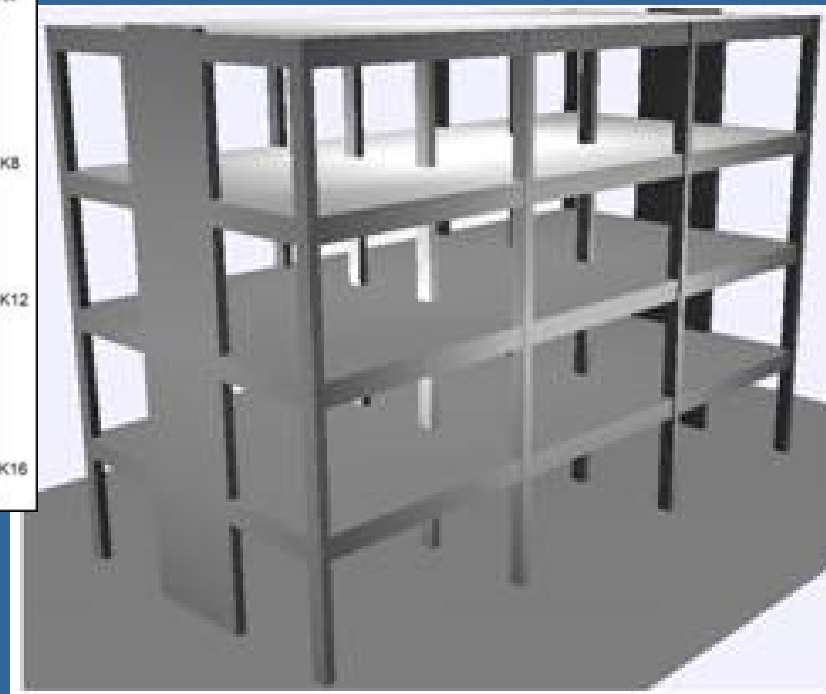
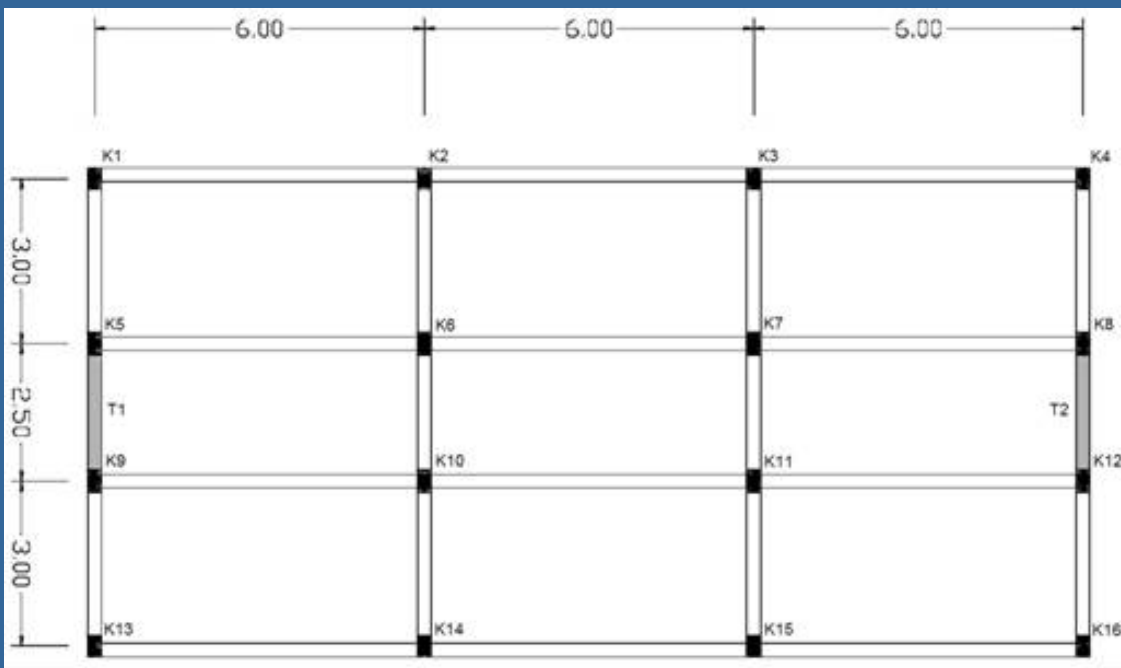
Νόμος μη-γραμμικών ελατηρίων

Ακρο που βυθίζεται ($\delta_2 > 0$):

Ακρο που ανασηκώνεται ($\delta_1 > 0$):



Εφαρμογή σε κτίριο 4 πλαισίων (SERFIN) με μετατροπή μεσαίου ανοίγματος εξωτερικών πλαισίων σε τοιχώματα



Ανελαστική στατική ανάλυση κτιρίου με πάκτωση ή αποκόλληση πεδίων (1.5x1.5x0.8m σε όλες τις κολόνες, 1.5x4.0x0.8m στα τοιχώματα, με ή χωρίς συνδετ. δοκούς 0.25x0.6m)

Πράσινος κύκλος:

«Περιορισμός βλαβών» κατά ΕΚ8-3.

Κίτρινος κύκλος:

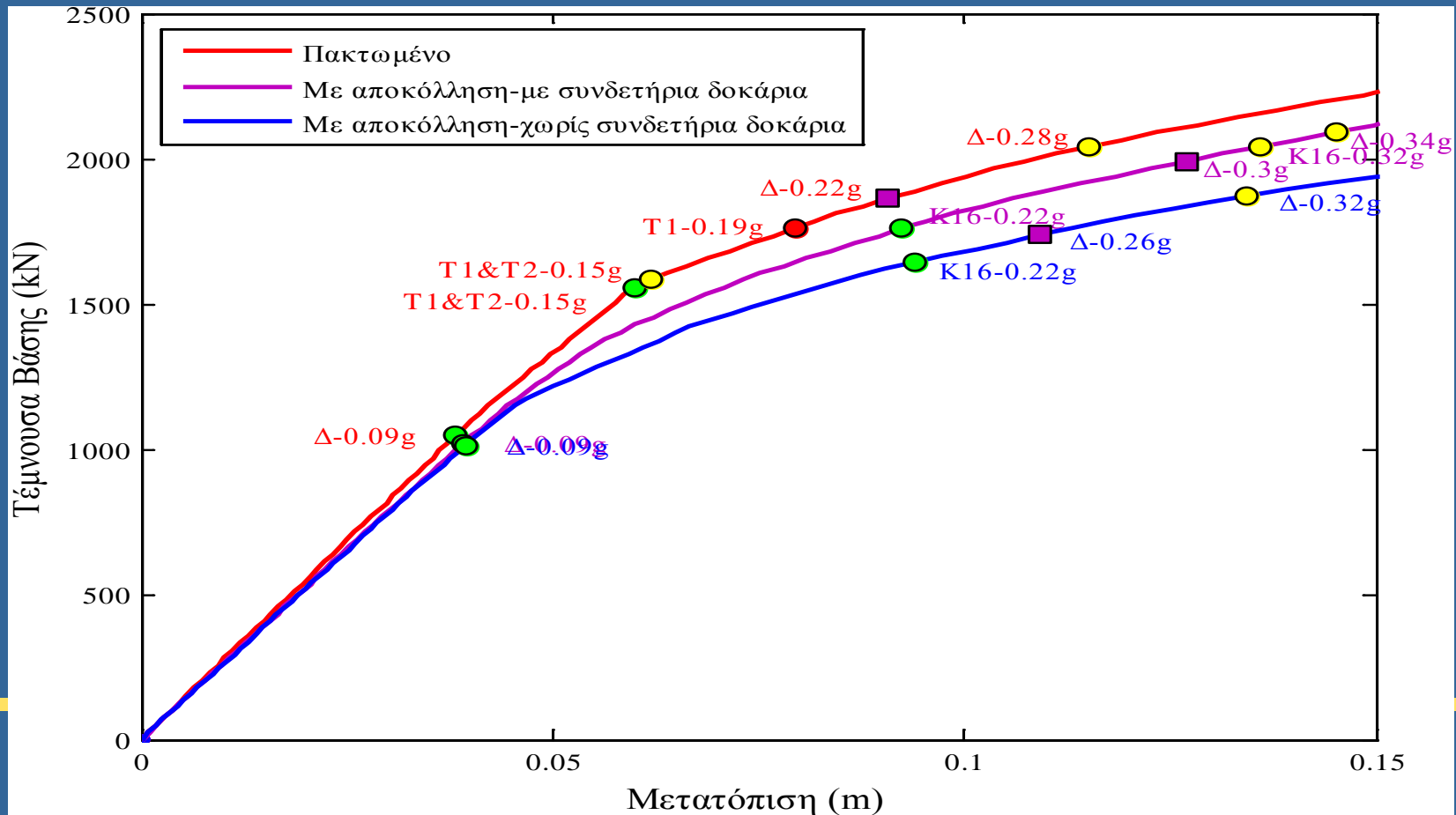
«Σημαντικές βλάβες» κατά ΕΚ8-3.

Κόκκινος κύκλος:

«Οιονεί Κατάρρευση» σε κάμψη κατά ΕΚ8-3.

Μωβ Τετράγωνο:

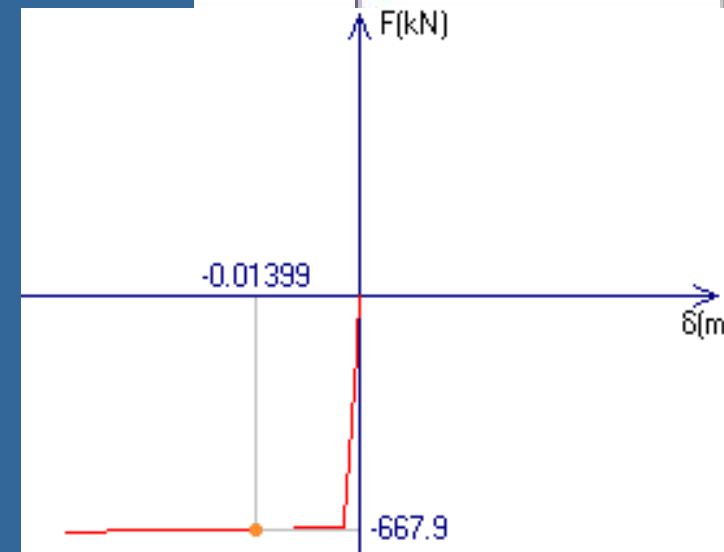
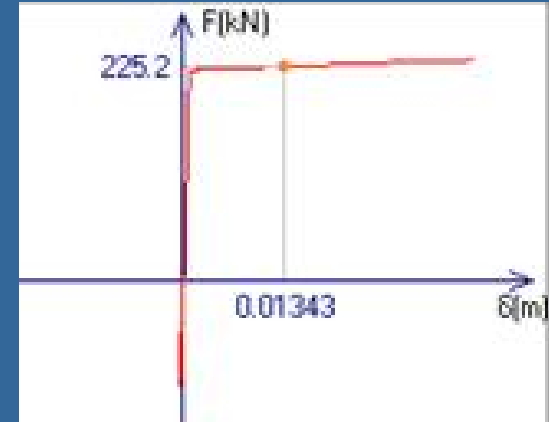
«Οιονεί Κατάρρευση» σε διάτμηση κατά ΕΚ8-3.



Ανελαστική στατική ανάλυση κτιρίου με πάκτωση ή αποκόλληση πεδίων



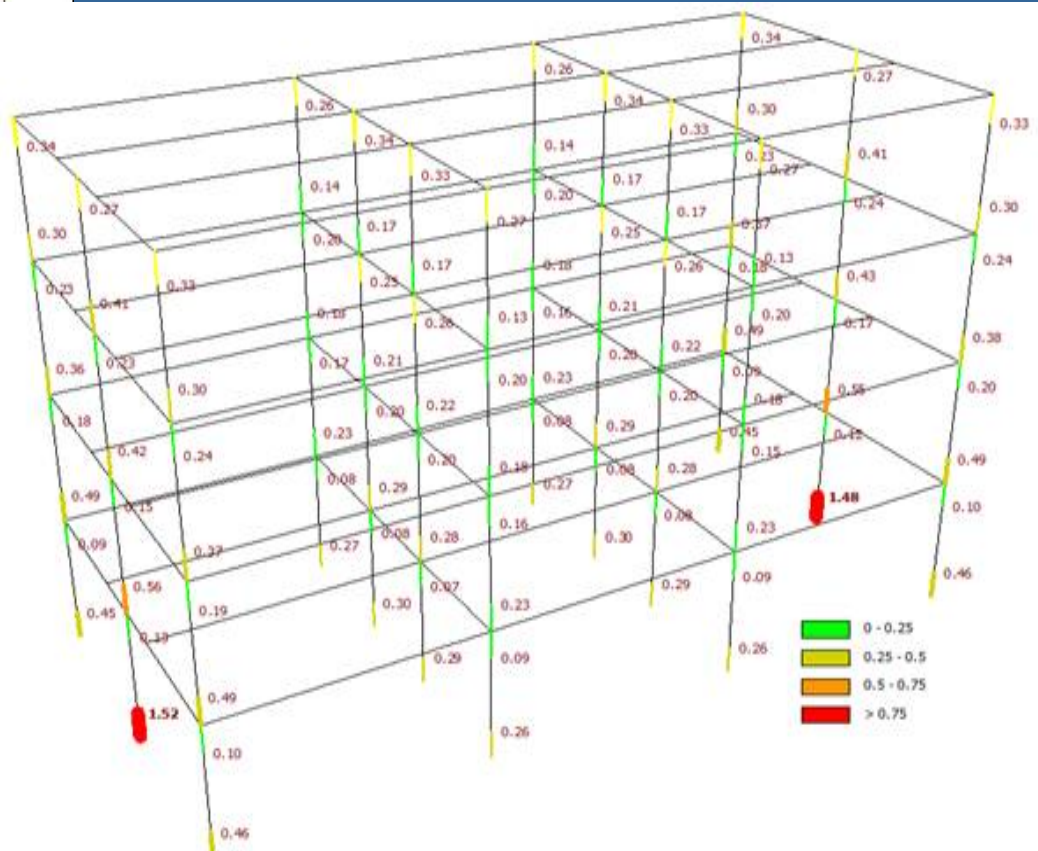
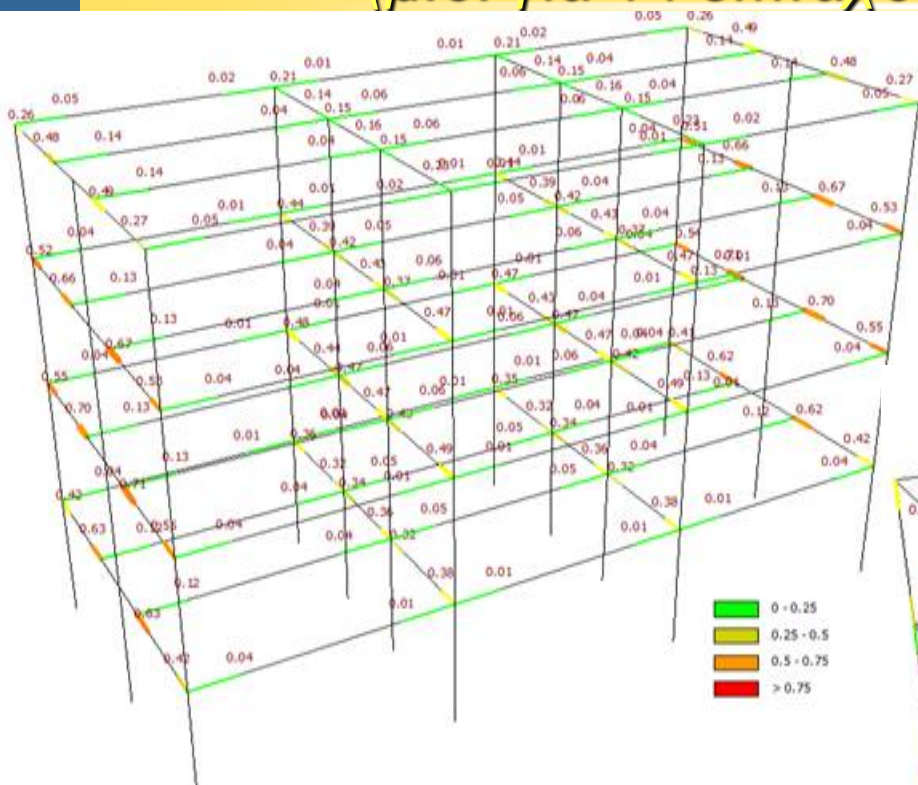
Ανασηκνόμενο
άκρο πεδίου



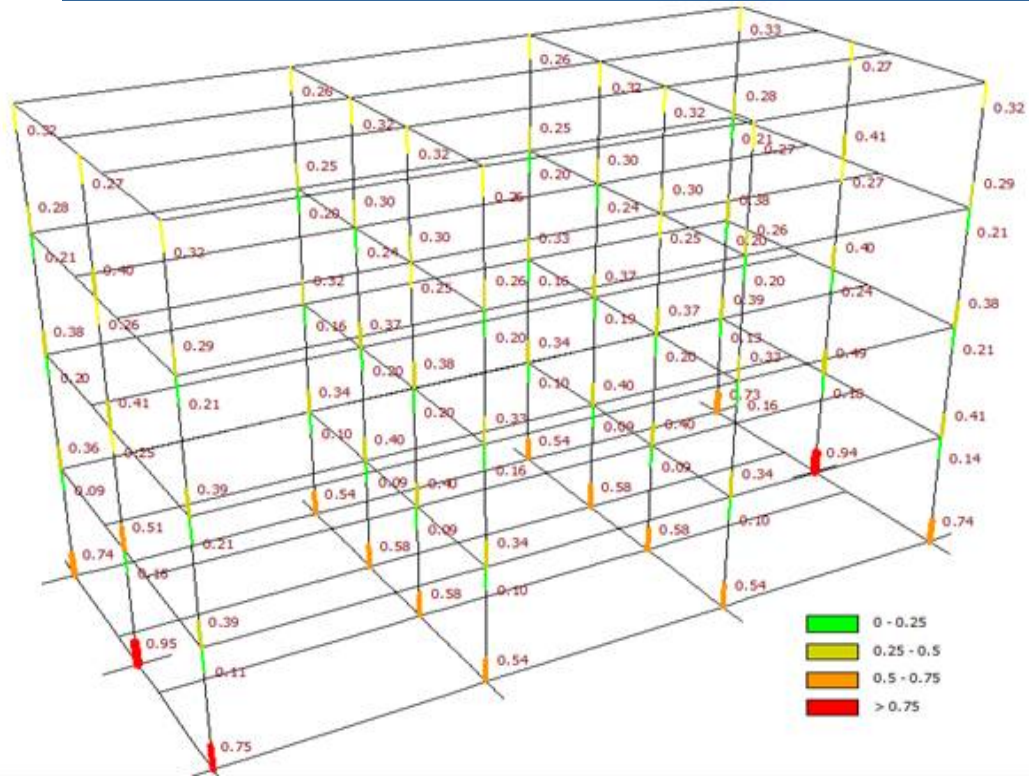
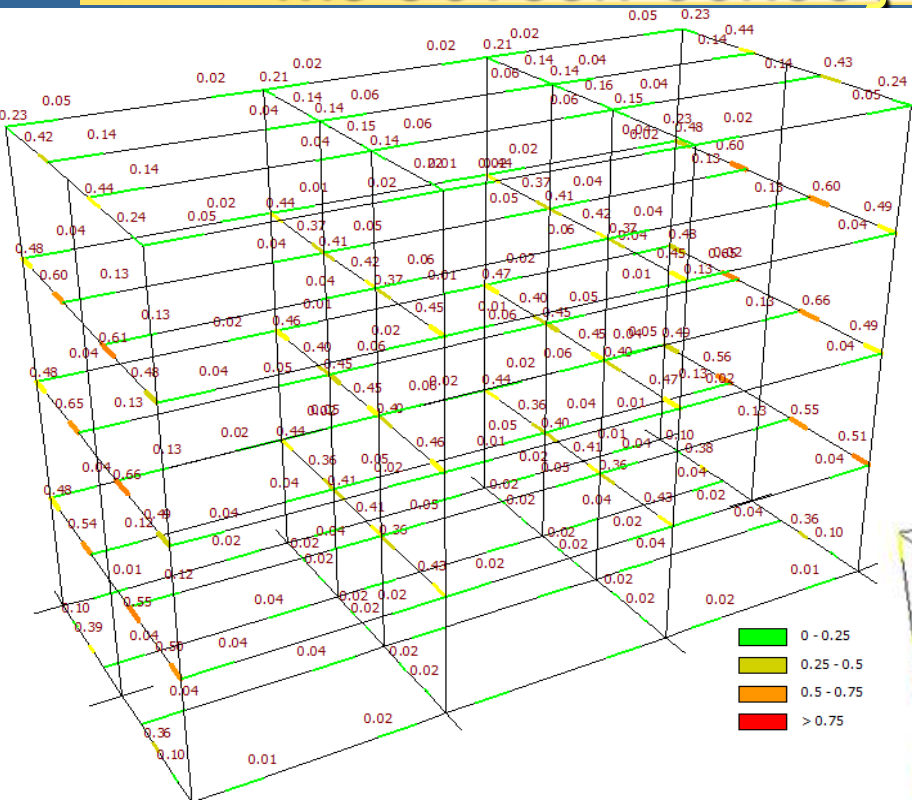
Βυθιζόμενο άκρο

Διάγραμμα
M-θ στη βάση
Τοιχώματος

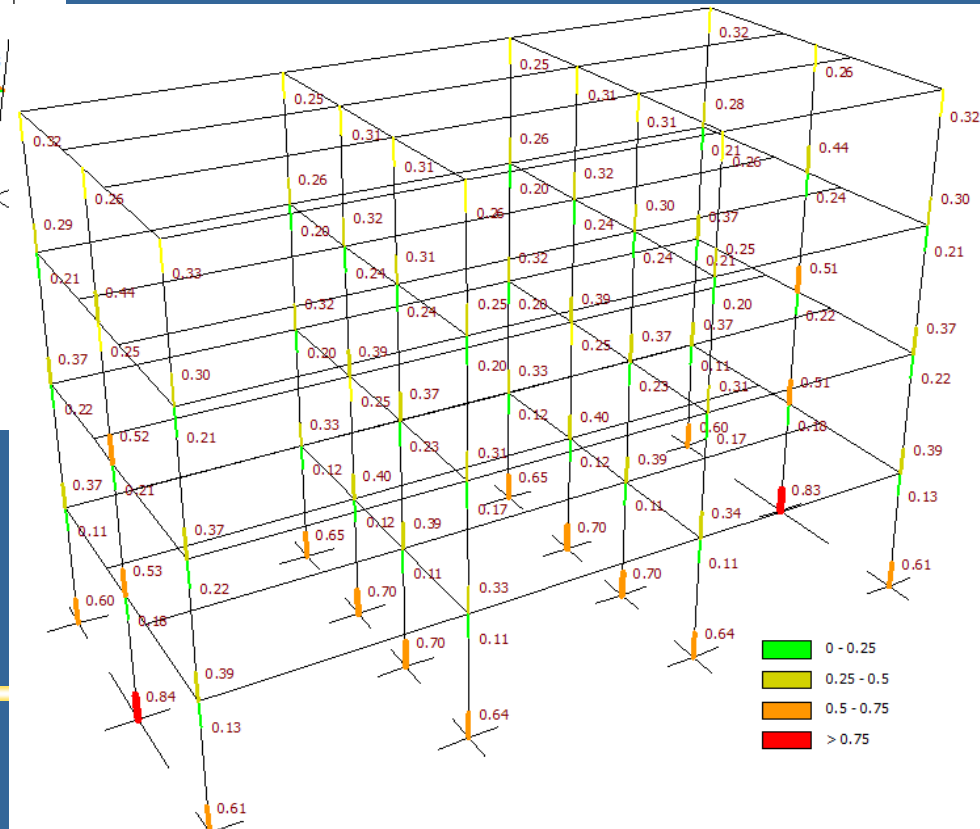
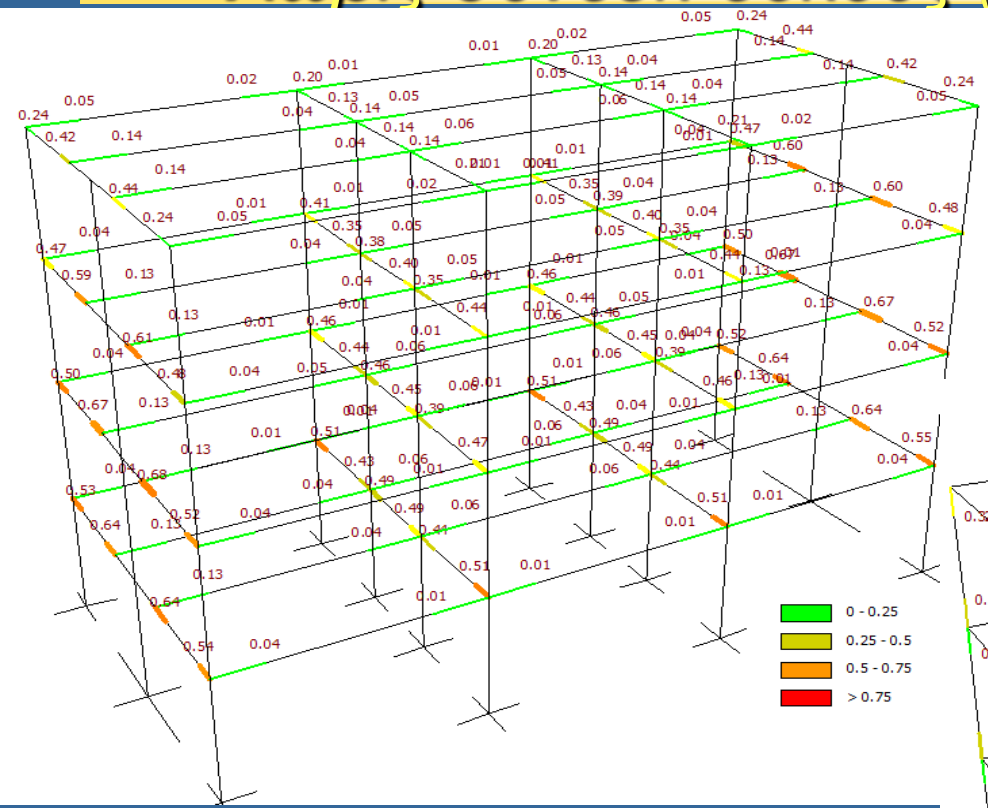
Δείκτης βλάβης σε κάμψη για στάθμη «Σημαντικές βλάβες» από ανελαστική δυναμική ανάλυση – Πάκτωση (μ.ο. για 14 επιταχυνσιογραφήματα 0.25g)



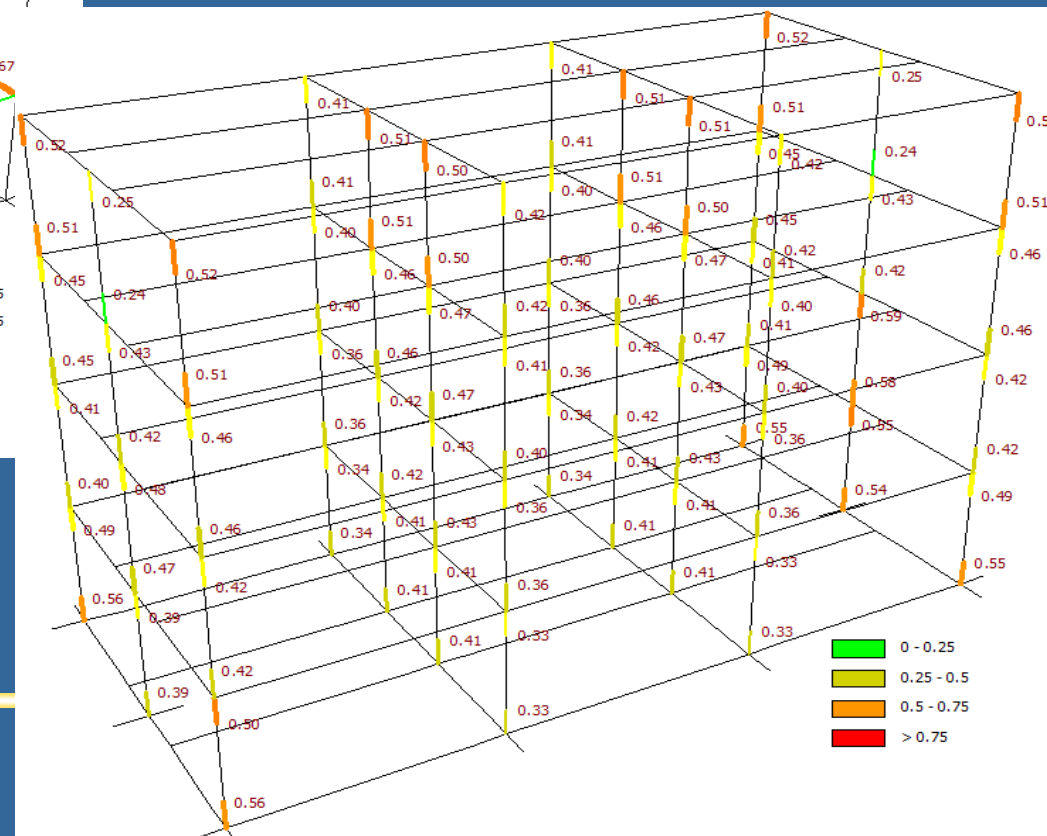
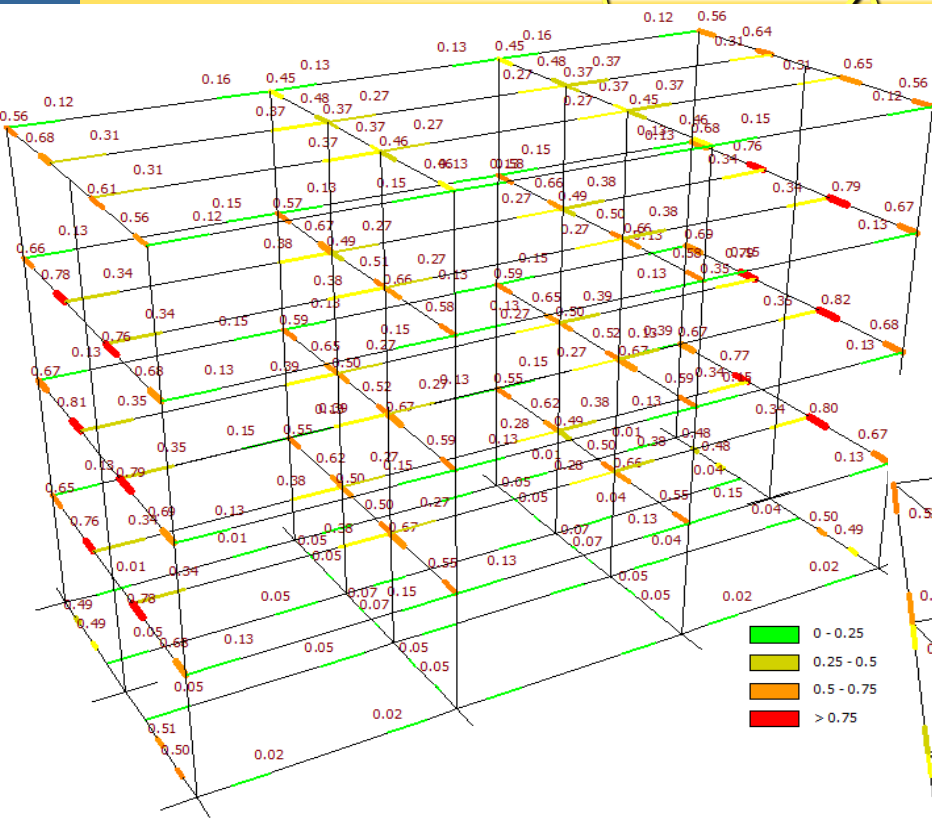
Δείκτης βλάβης σε κάμψη για «Σημαντικές βλάβες» από ανελαστική δυναμική ανάλυση – Αποκόλληση πεδίων – Με συνδ. δοκούς (14 επιταχυνσιογρ. 0.25g)



Δείκτης βλάβης σε κάμψη για «Σημαντικές βλάβες» από ανελαστική δυναμική ανάλυση - Αποκόλληση πεδίων - Χωρίς συνδετ. δοκούς (14 επιταχυνσιογρ. 0.25g)



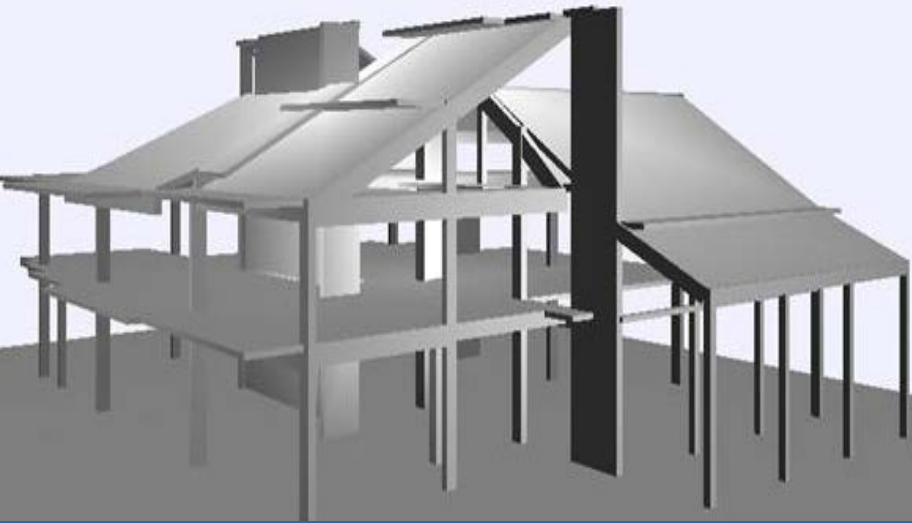
Δείκτης βλάβης σε διάτμηση από ανελαστική δυναμική ανάλυση – Αποκόλληση πεδίων – Με συνδ. δοκούς (14 επιταχυνσιογρ. 0.25g)



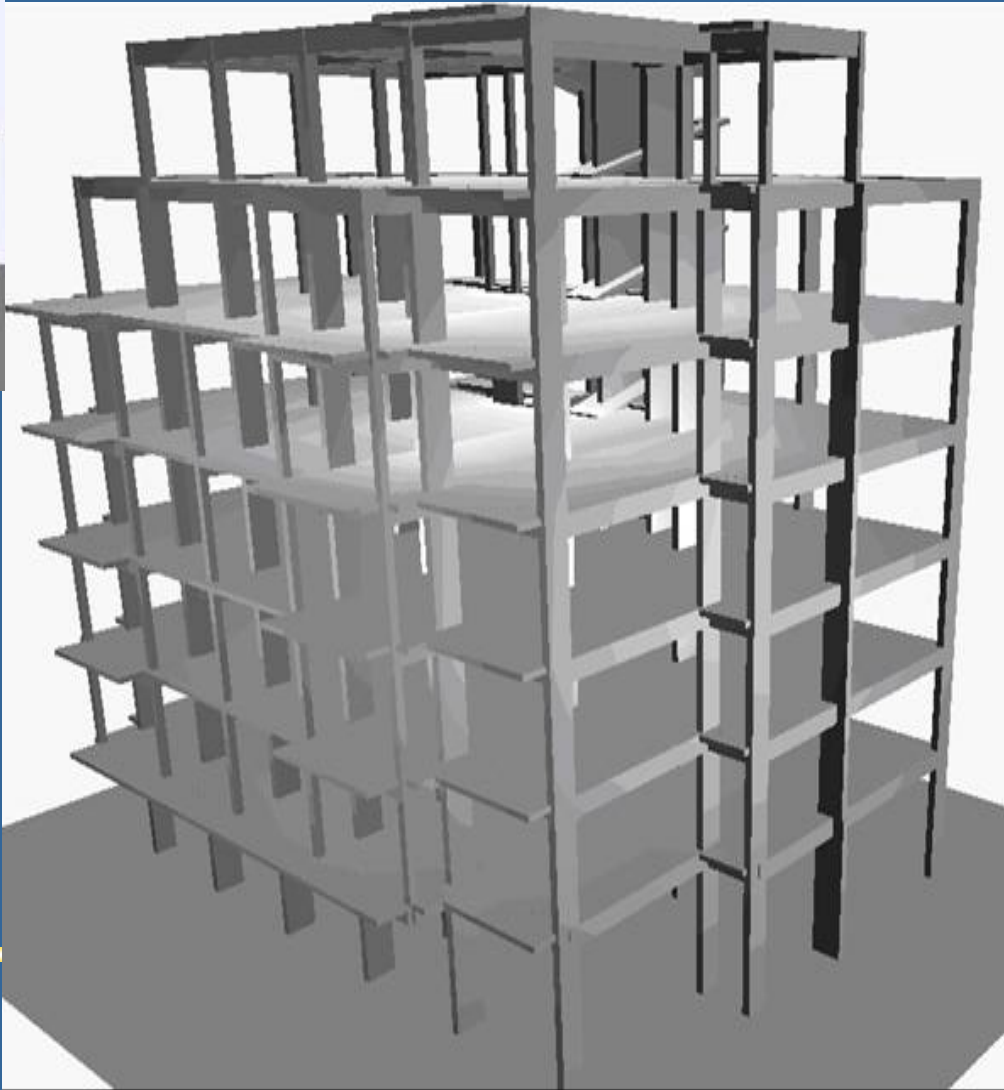
Συμπεράσματα από ανάλυση κτιρίου με πάκτωση ή αποκόλληση πεδίων με ή χωρίς συνδετ. δοκούς

- Ο λικνισμός των θεμελίων των τοιχωμάτων δρα ευεργετικά για τα τοιχώματα, επιβαρύνει όμως τα υποστυλώματα, κυρίως στη βάση τους.
 - Στη βάση των τοιχωμάτων οι μικρότεροι δείκτες βλάβης εμφανίζονται στο κτίριο χωρίς συνδετήρια δοκάρια.
 - Στη βάση των υποστυλωμάτων των εξωτερικών πλαισίων οι μέγιστοι δείκτες βλάβης είναι στο κτίριο με τα συνδετήρια δοκάρια, ενώ στα εσωτερικά πλαίσια στο κτίριο χωρίς συνδετήρια δοκάρια
 - Οι επιρροή του λικνισμού θεμελίων στις δοκούς είναι μικρή.
-

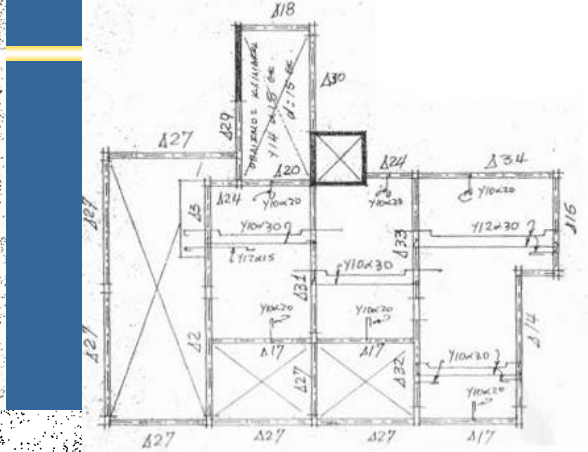
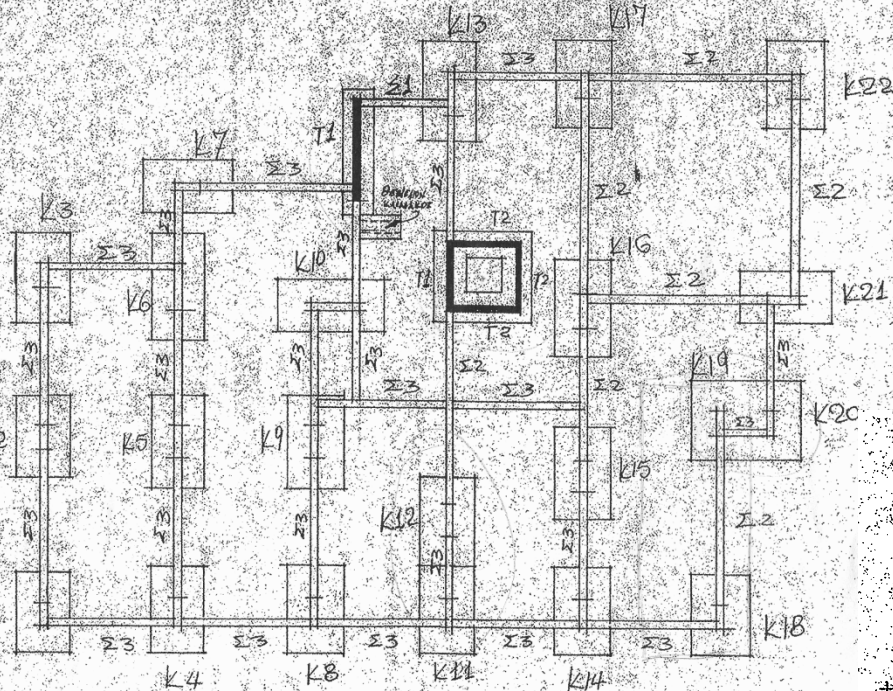
Σεισμική αποτίμηση & ενίσχυση 2 τυπικών μη κανονικών κτιρίων (στη Λεμεσό)



- Διώροφο με κεκλιμμένες στέγες
- 7-όροφο με 2 εσοχές



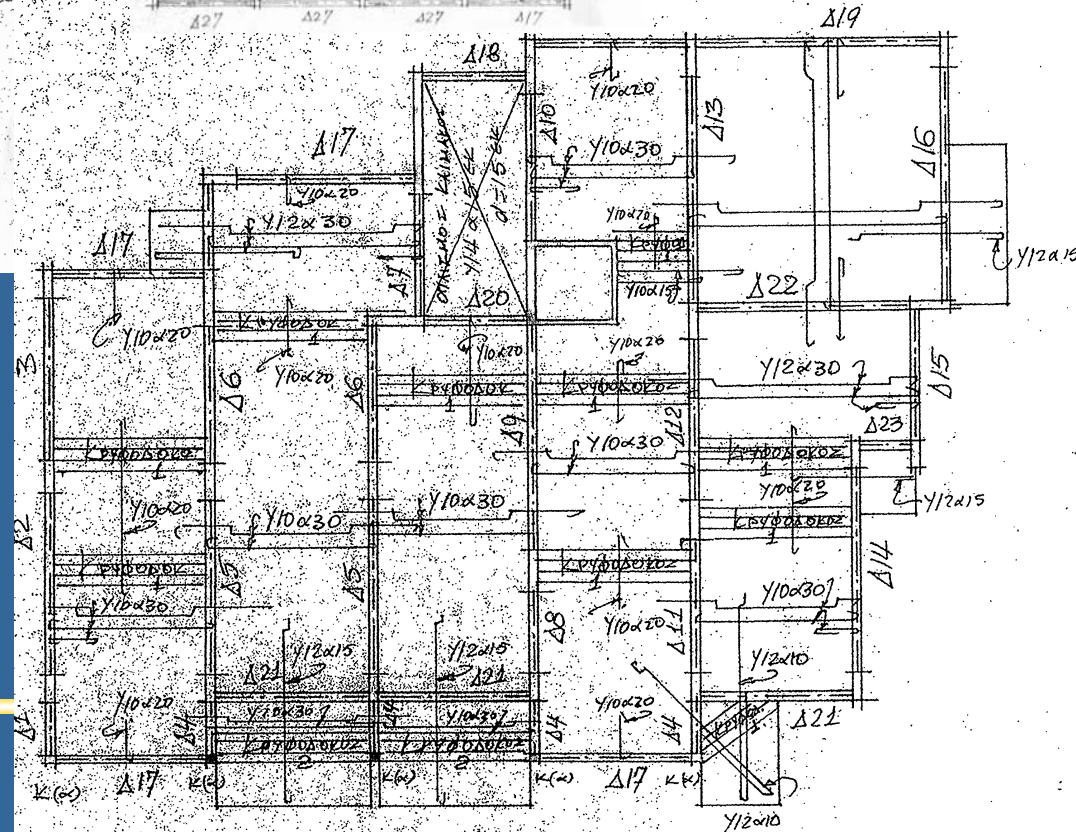
7-όροφο



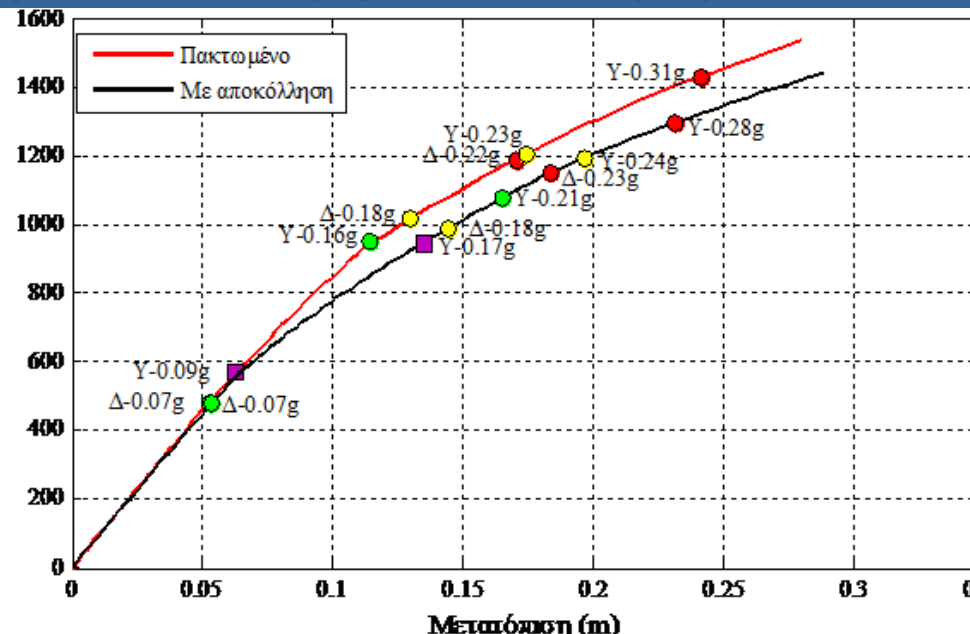
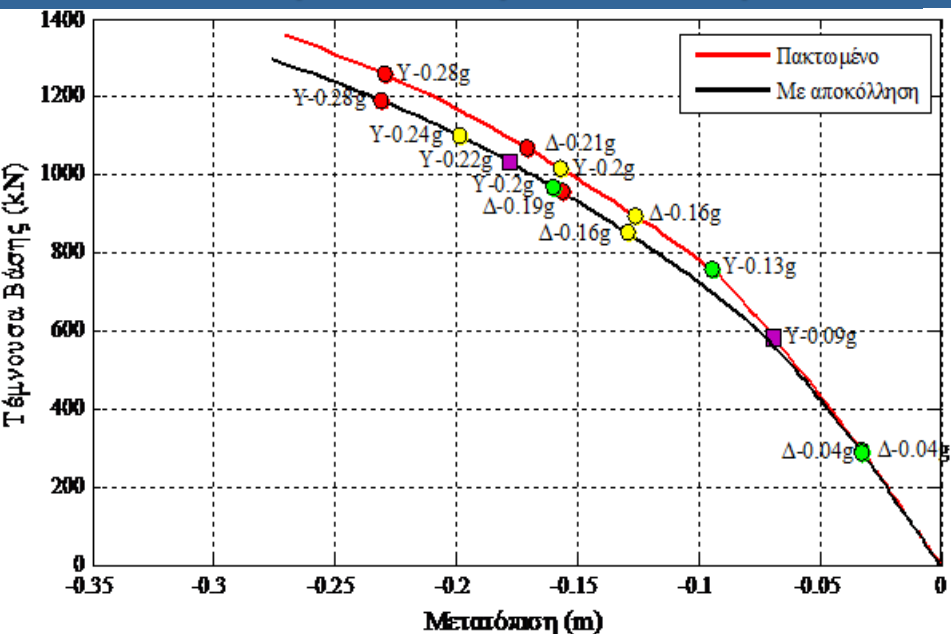
2^η εσοχή

Θεμελίωση

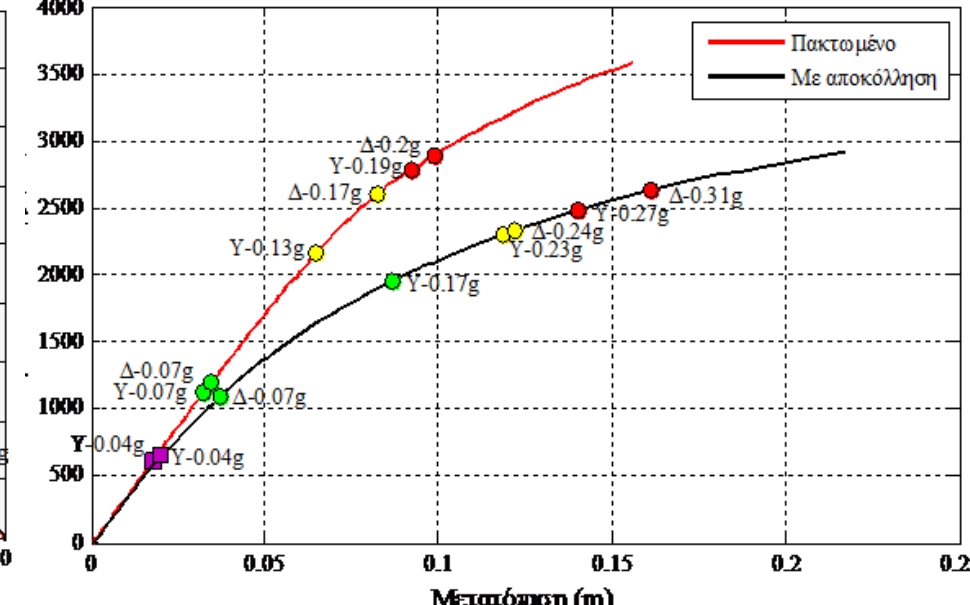
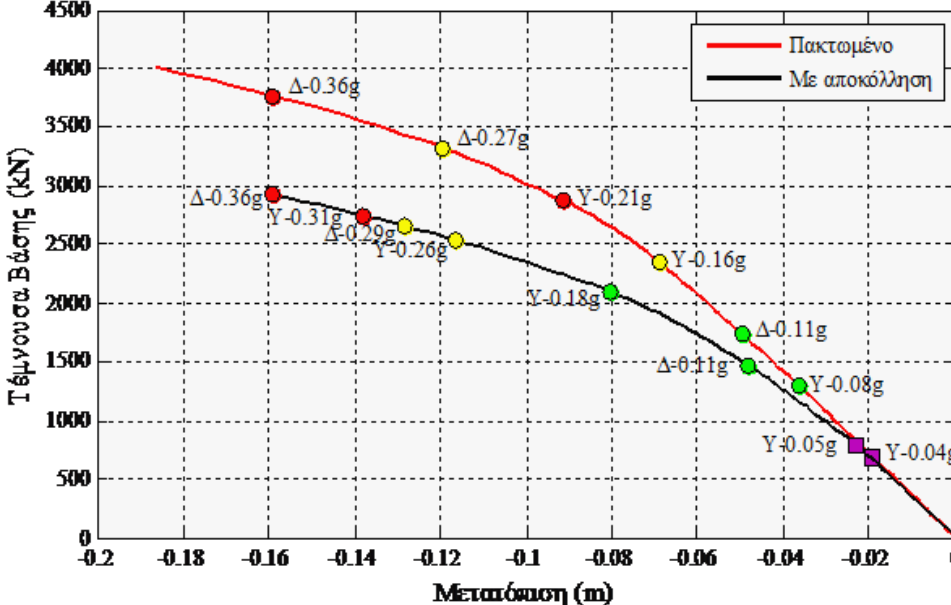
1^{ος} έως 5^{ος} όροφος



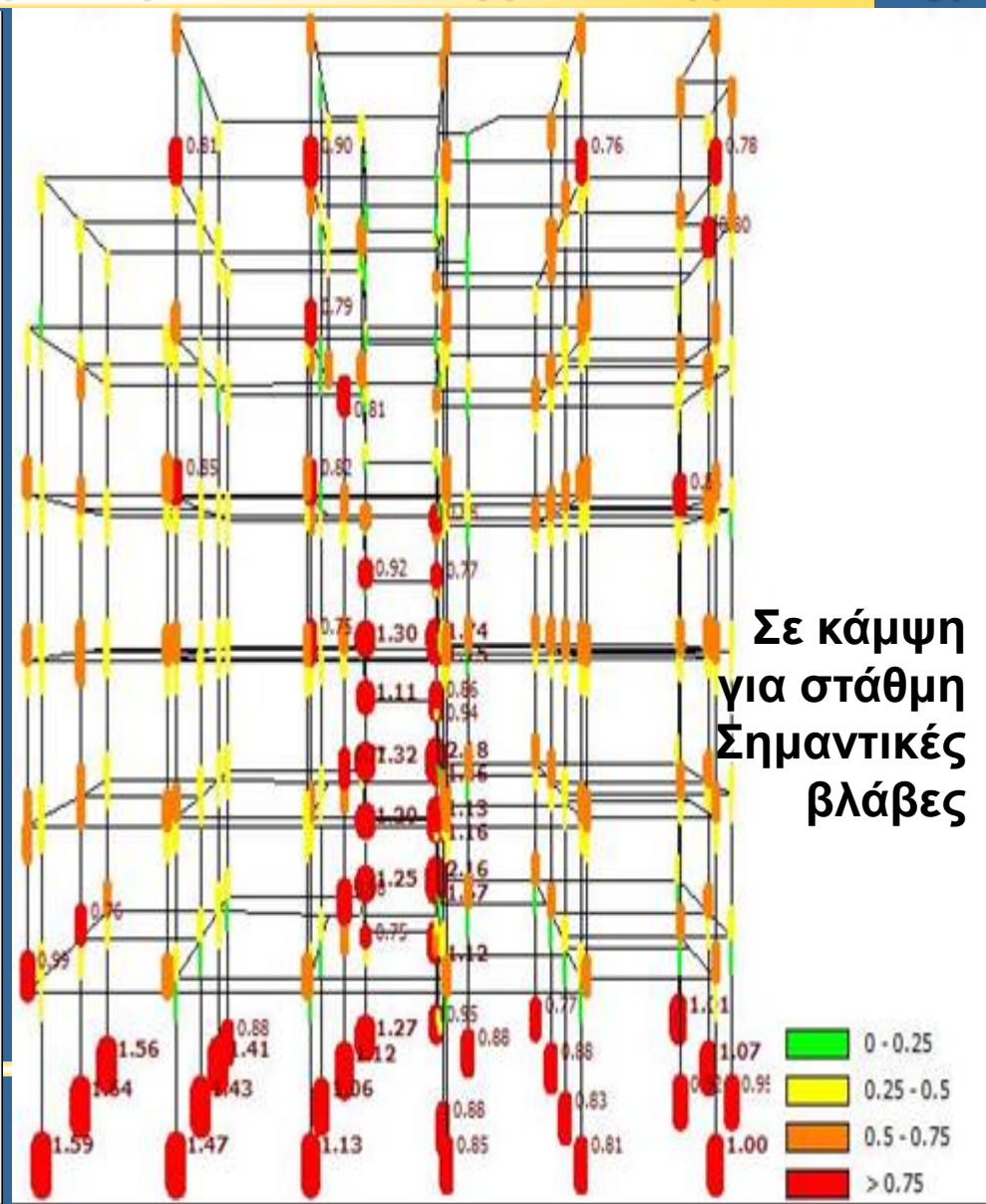
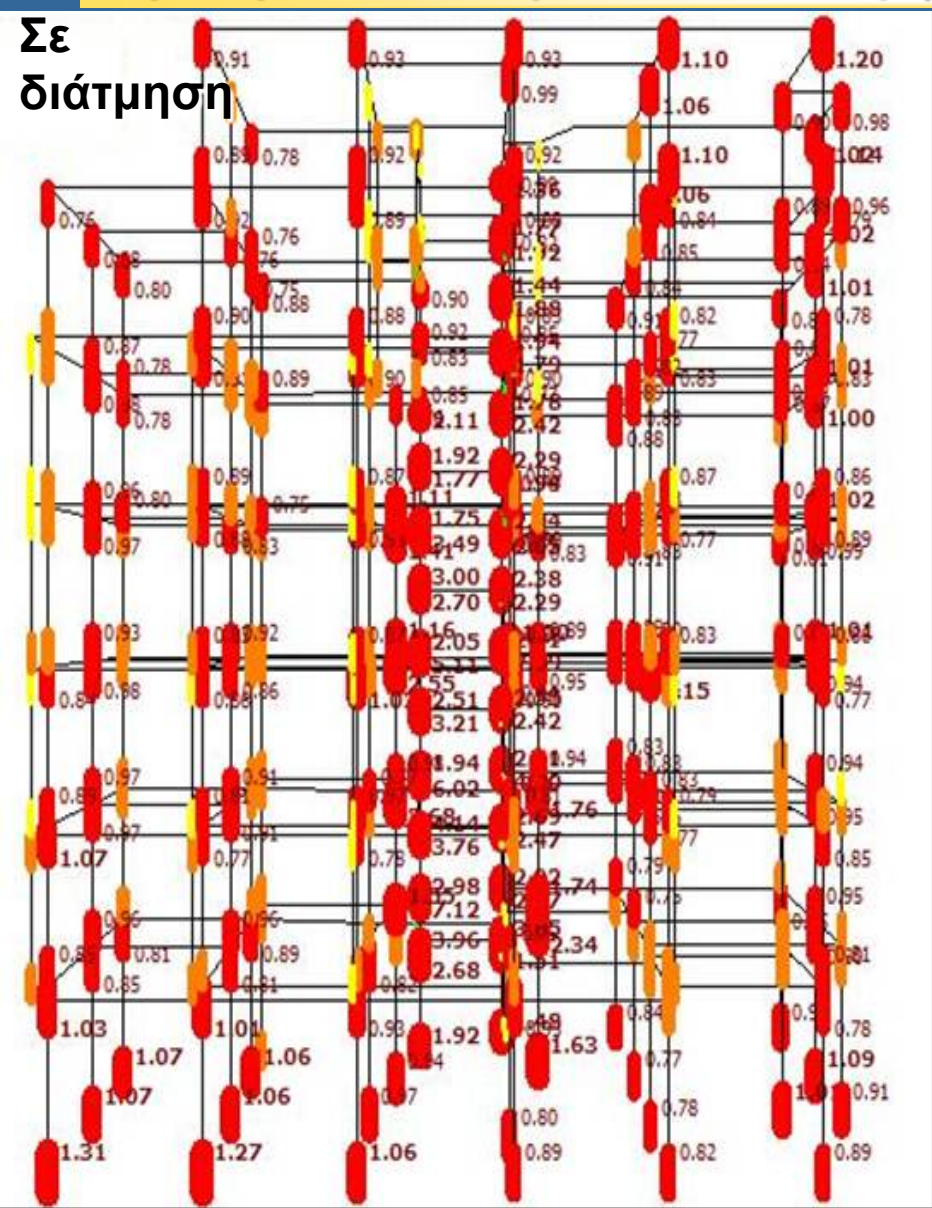
Ανελαστική στατική ανάλυση $\pm X$, $\pm Y$ με πάκτωση ή αποκόλληση πεδίων



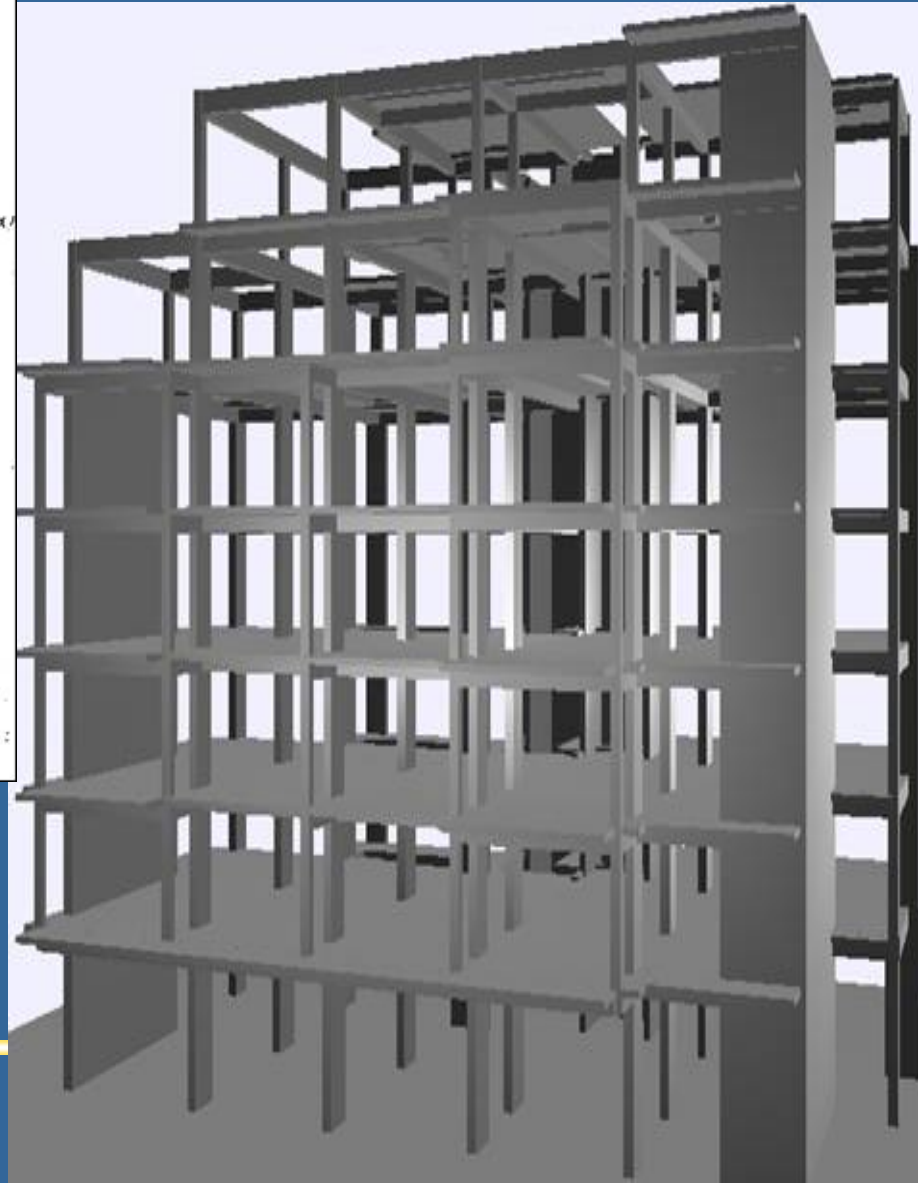
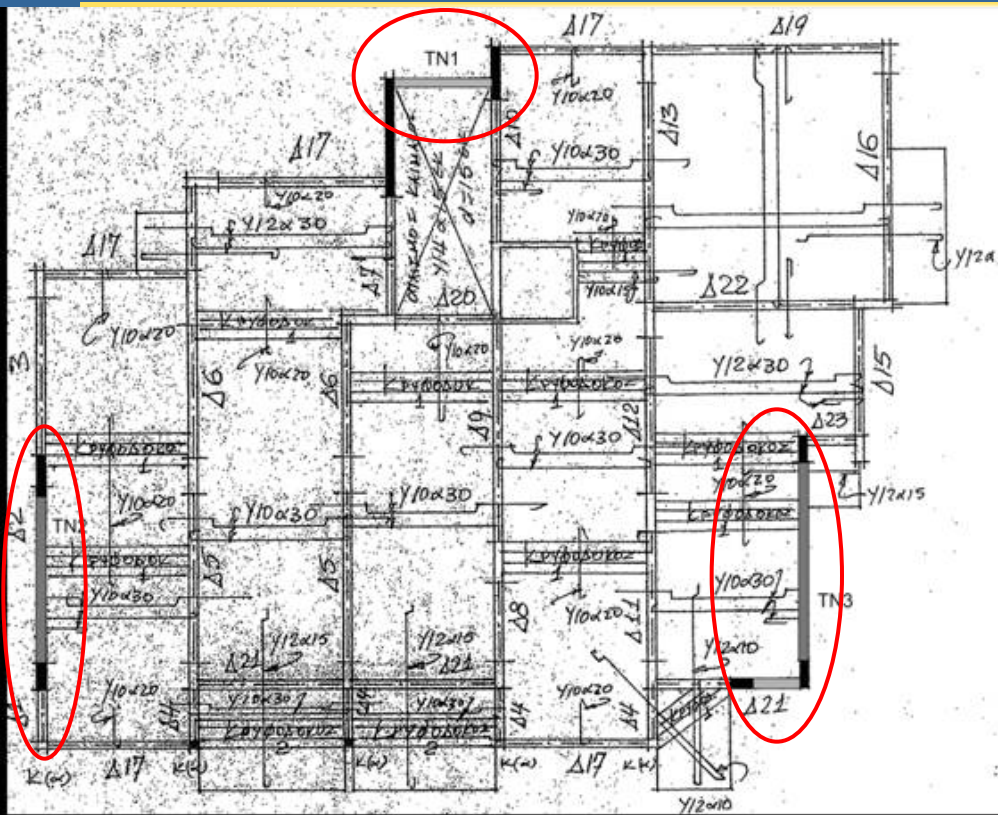
Πράσινος: Περιορισμός βλαβών κατά ΕΚ8-3 **Κίτρινος:** Σημαντικές βλάβες κατά ΕΚ8-3.
Κόκκινος: Οιονεί κατάρρευση σε κάμψη **Μωβ Τετράγωνο:** Οιονεί κατάρρευση σε διάτμηση



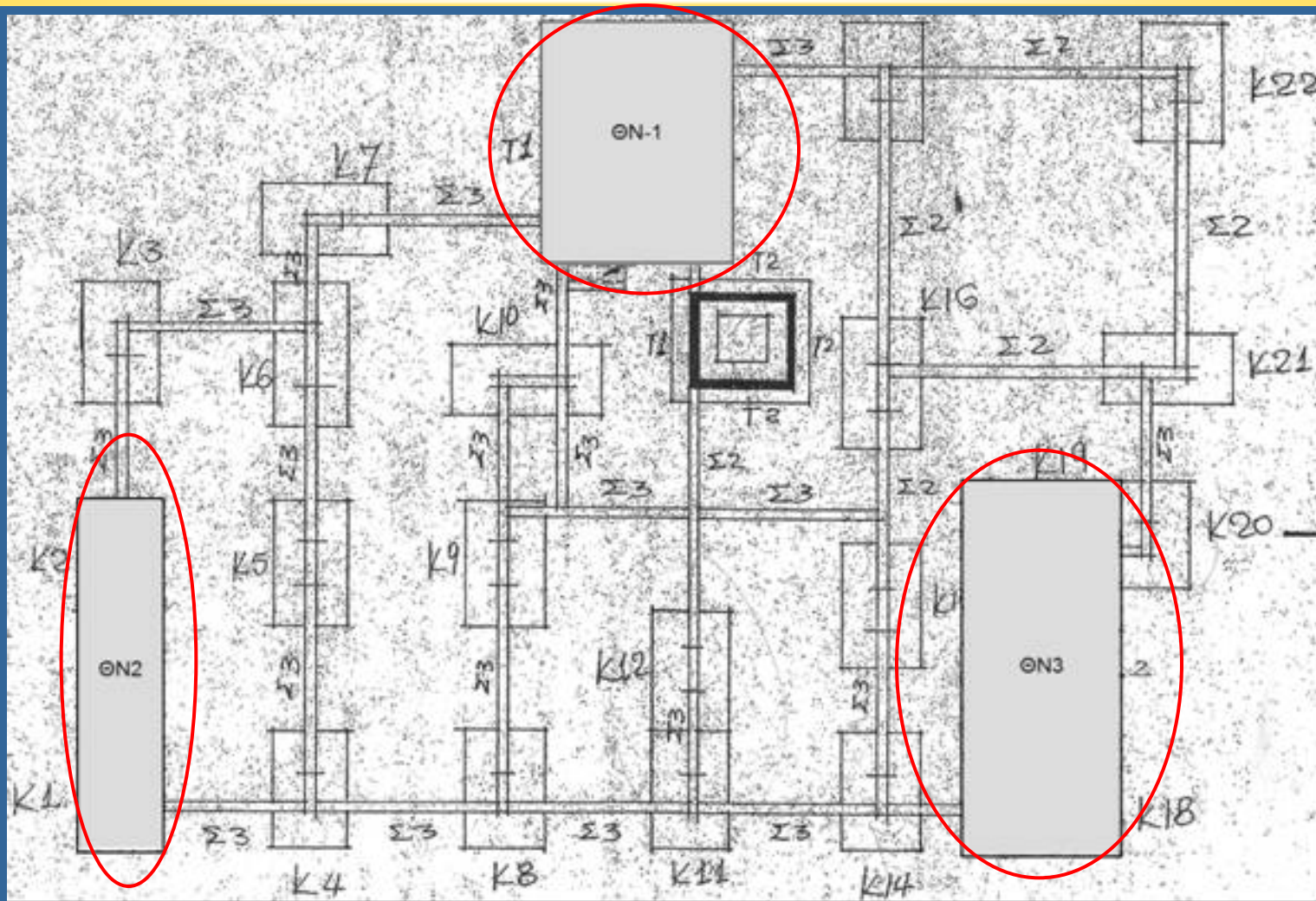
Δείκτης βλάβης κατακόρ. στοιχείων αρχικού κτιρίου σε κάμψη για στάθμη Σημαντικές βλάβες και σε διάτμηση από ανελαστική δυναμική ανάλυση – Πάκτωση (μ.ο. για 14 επιταχυνσιογρ. 0.25g)



Σεισμική ενίσχυση 7-ορόφου με νέα τοιχώματα

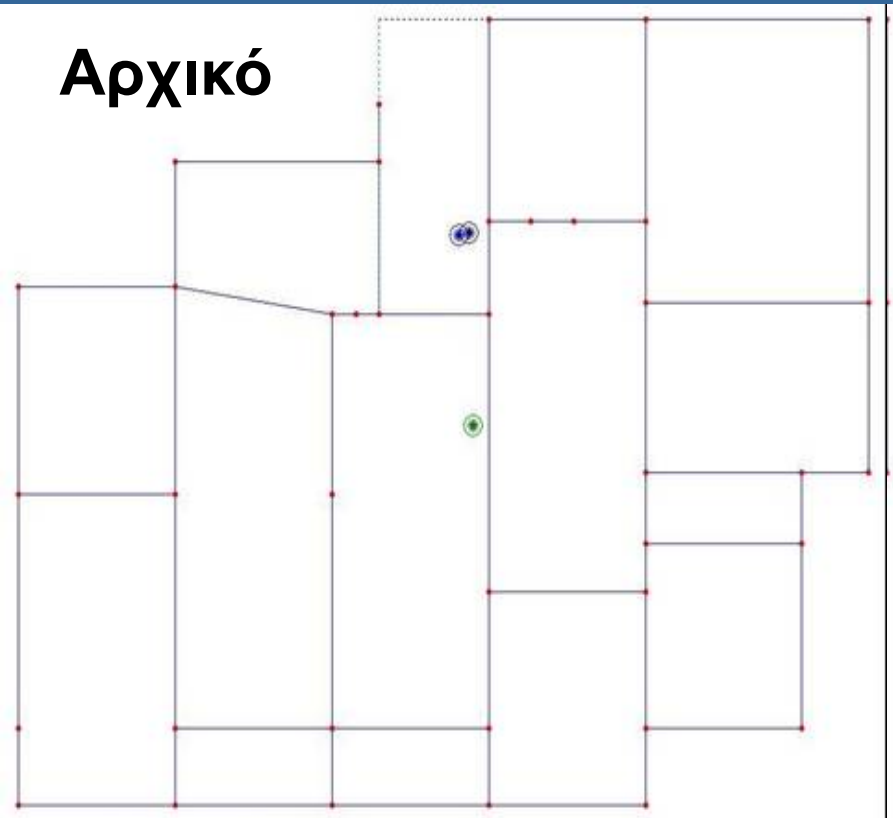


Θεμελίωση νέων τοιχωμάτων 7-ορόφου

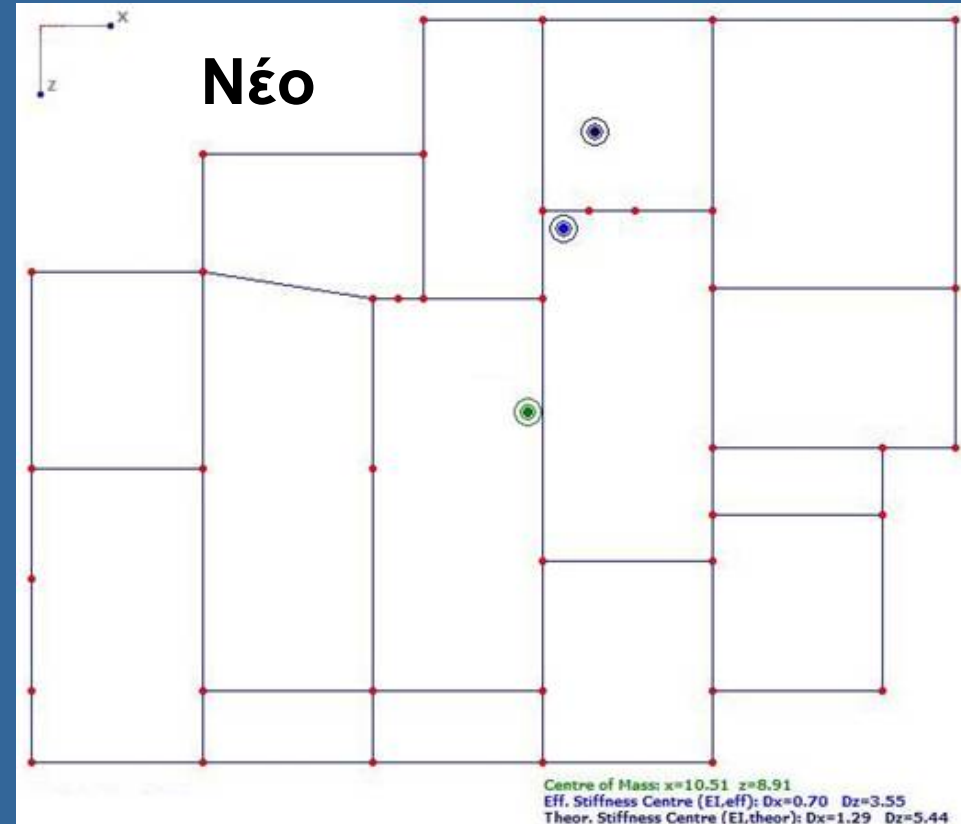


Στατική εκκεντρότητα ΚΜ - ΚΔ

Αρχικό

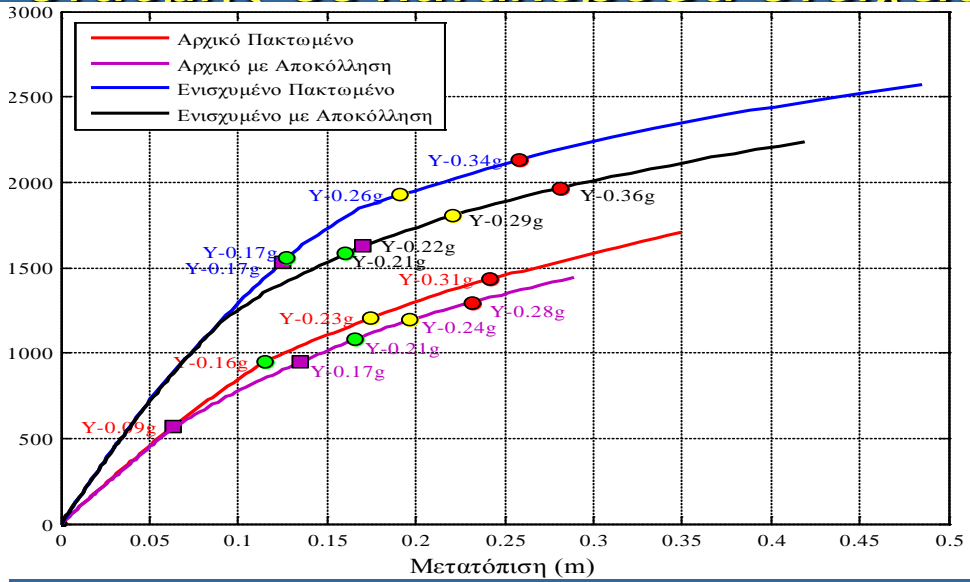
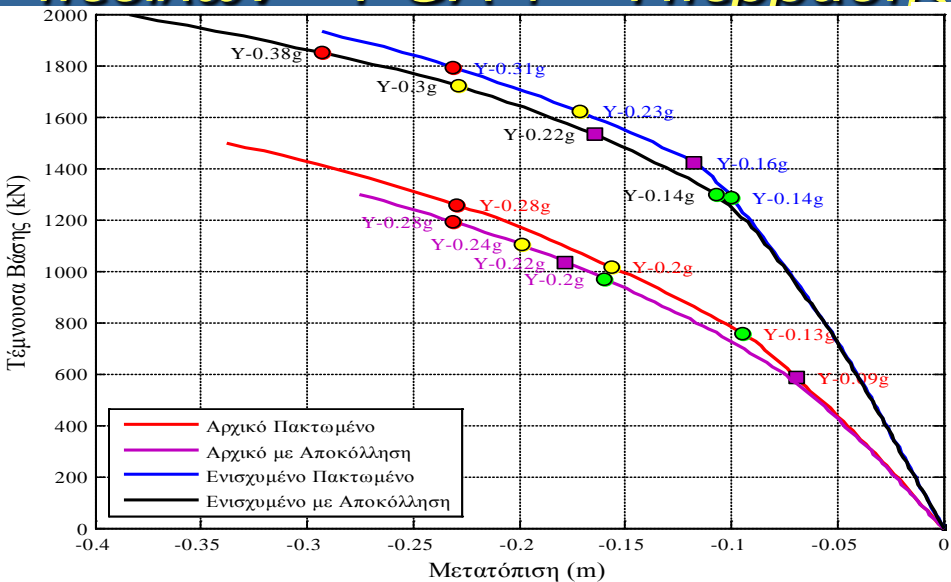


Νέο

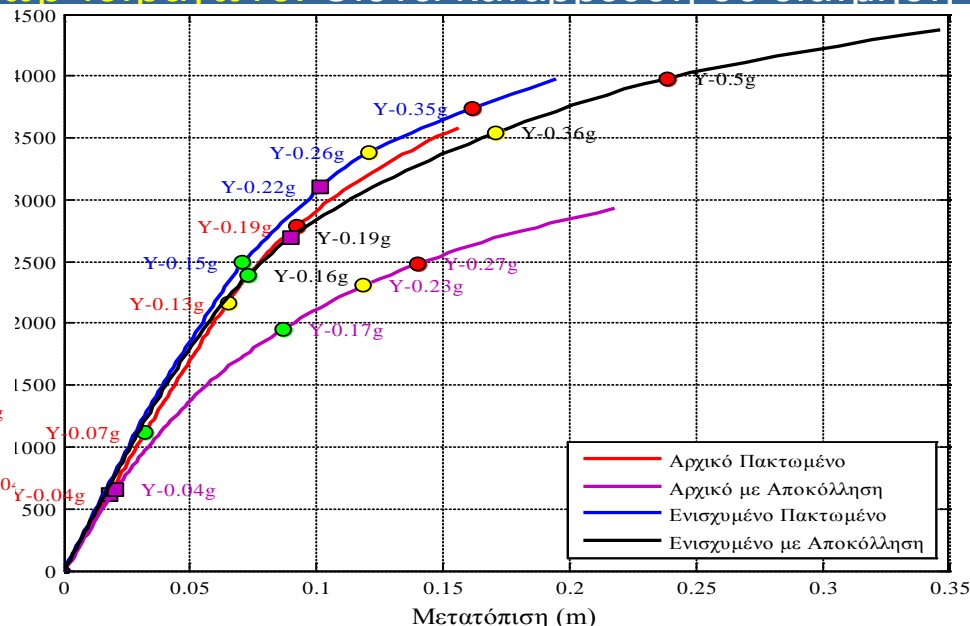
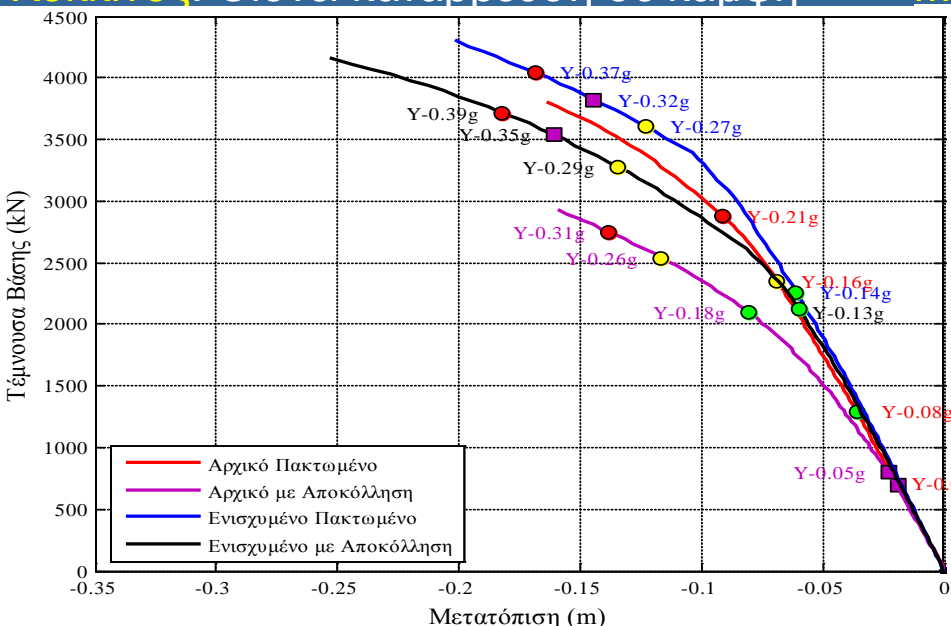


- Καμία βελτίωση (αντίθετα μάλιστα).
- Ομως, το αρχικό είναι στρεπτικά ευαίσθητο (Τ στρεπτικής ιδιομορφής > Τ 1ης μεταφορικής). Το ενισχυμένο δεν είναι!

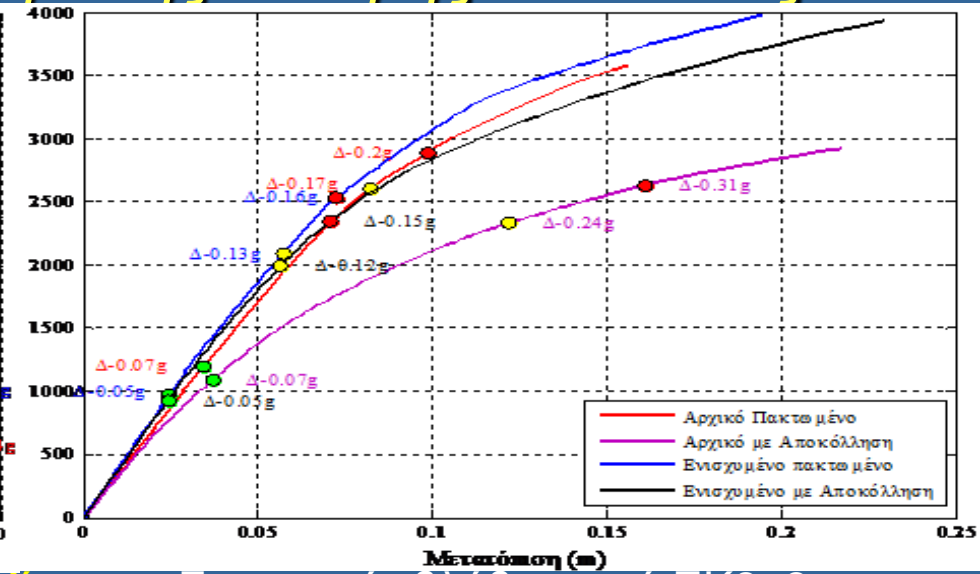
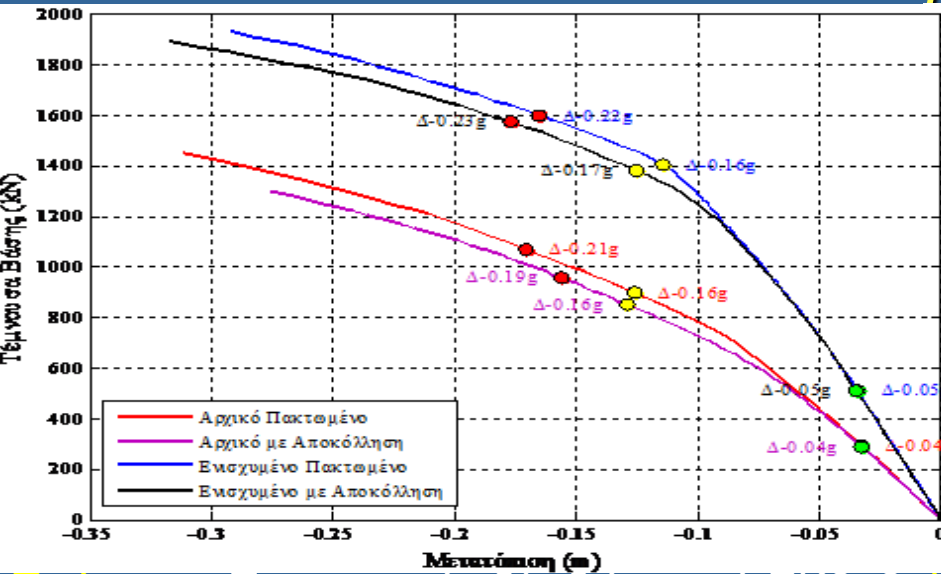
Ανελαστική στατική ανάλυση $\pm X$, $\pm Y$, με πάκτωση ή αποκόλληση πεδίων – PGA 1ης Υπέρβασης στάθμης σε κατακόρυφα στοιχεία



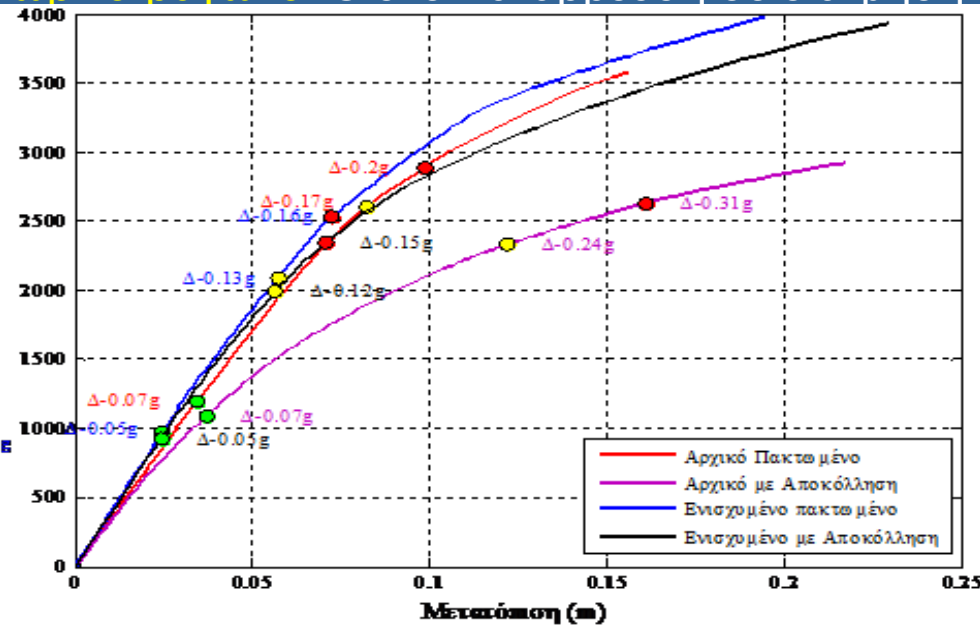
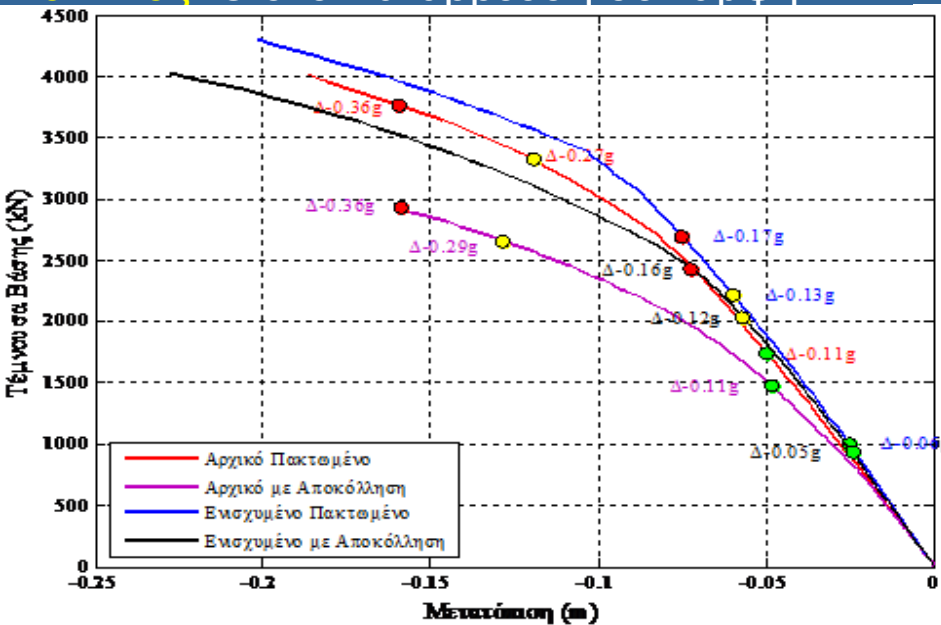
Πράσινος: Περιορισμός βλαβών κατά ΕΚ8-3 **Κίτρινος:** Σημαντικές βλάβες κατά ΕΚ8-3.
Κόκκινος: Οιονεί κατάρρευση σε κάμψη **Μωβ Τετράγωνο:** Οιονεί κατάρρευση σε διάτμηση



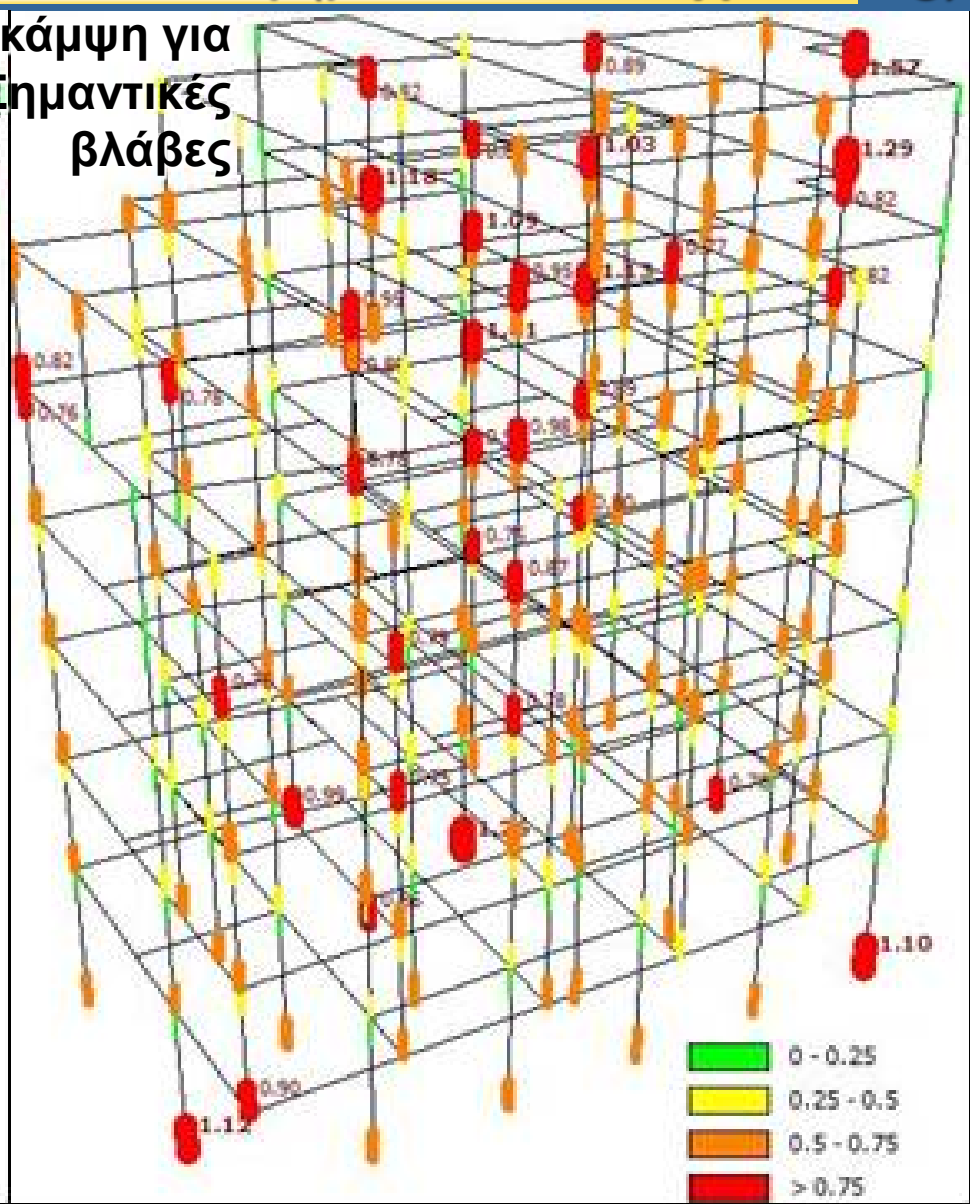
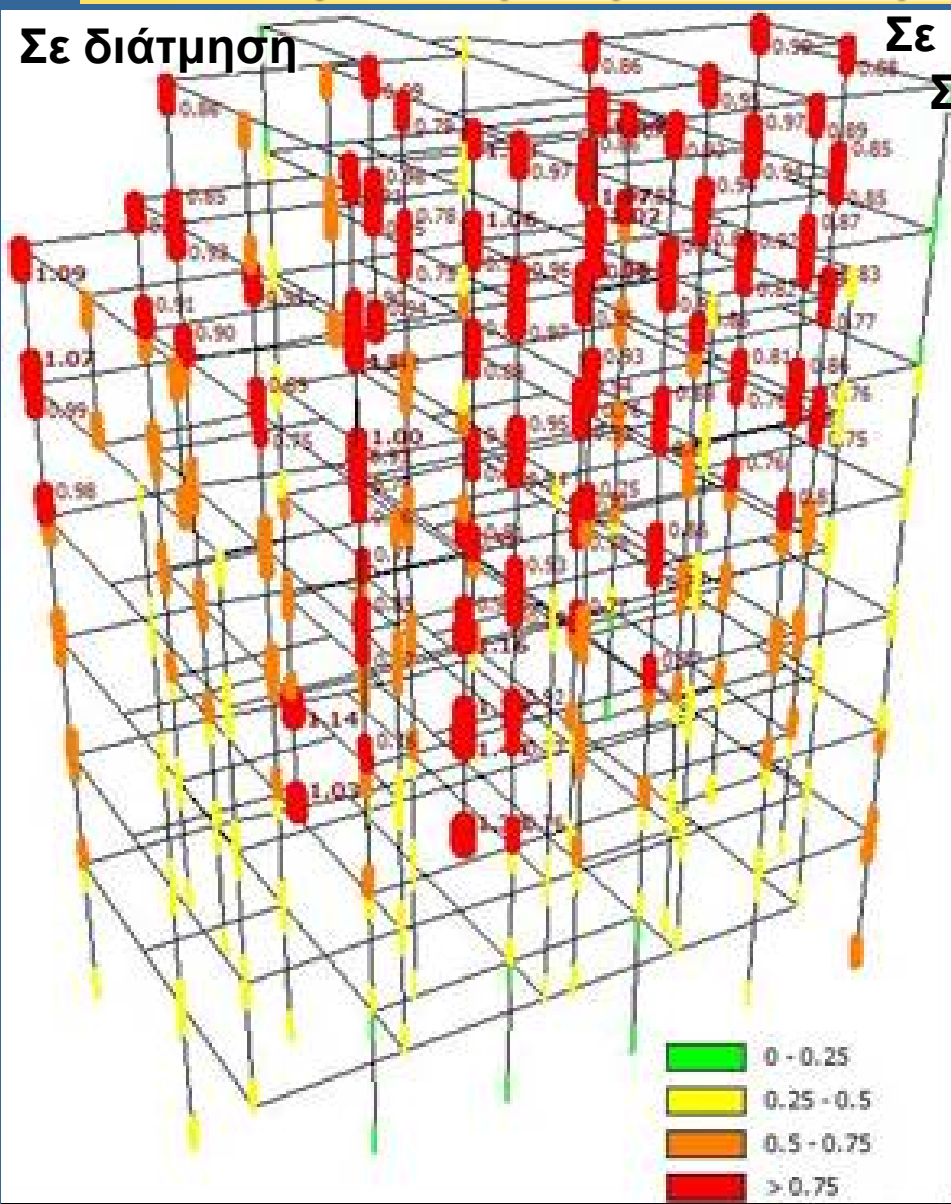
Ανελαστική στατική ανάλυση $\pm X$, $\pm Y$, με πάκτωση ή αποκόλληση πεδίων – PGA 1ης Υπέρβασης στάθμης σε Δοκούς



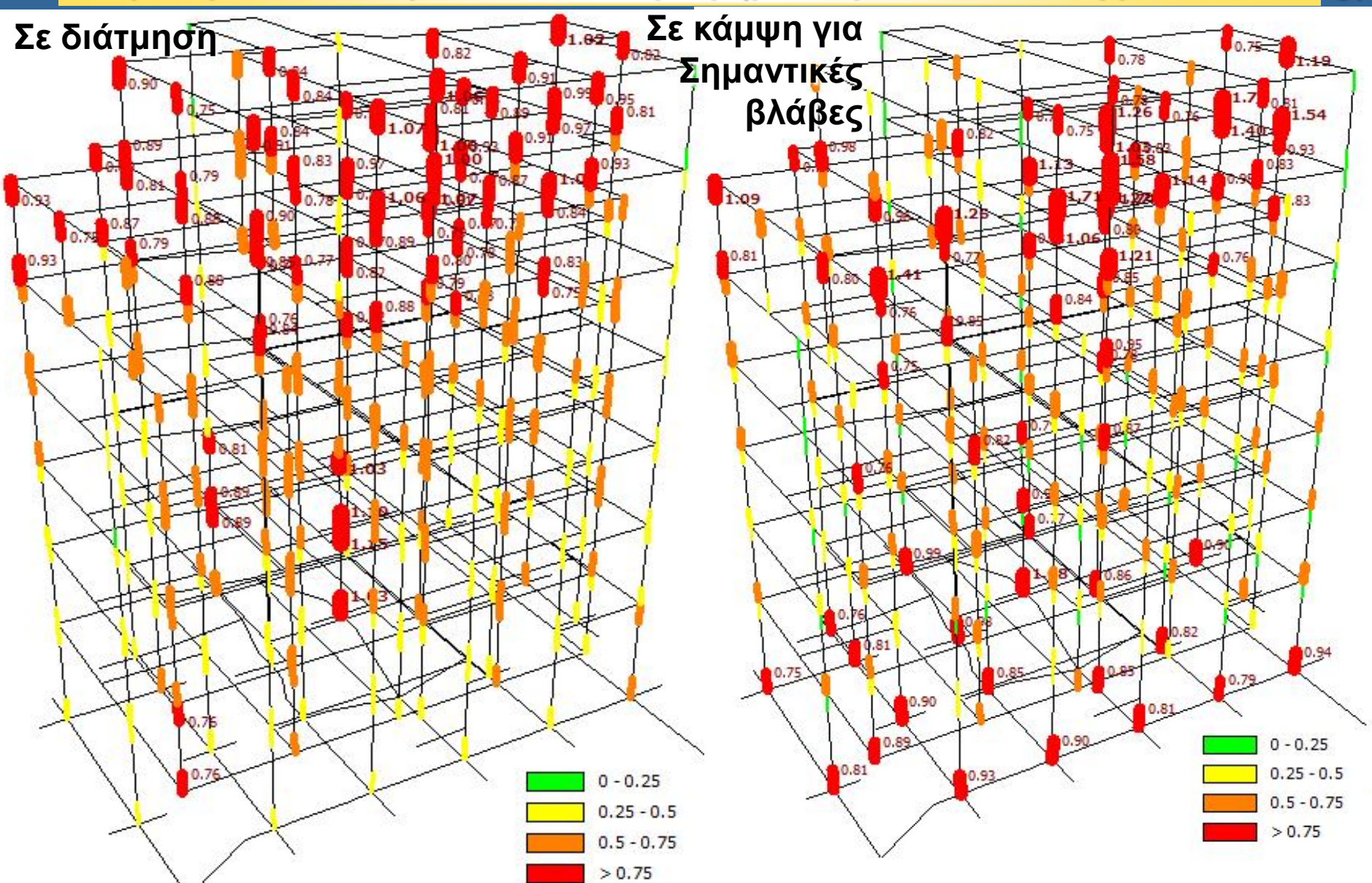
Πράσινος: Περιορισμός βλαβών κατά ΕΚ8-3 **Κίτρινος:** Σημαντικές βλάβες κατά ΕΚ8-3.
Κόκκινος: Οιονεί κατάρρευση σε κάμψη **Μωβ Τετράγωνο:** Οιονεί κατάρρευση σε διάτμηση



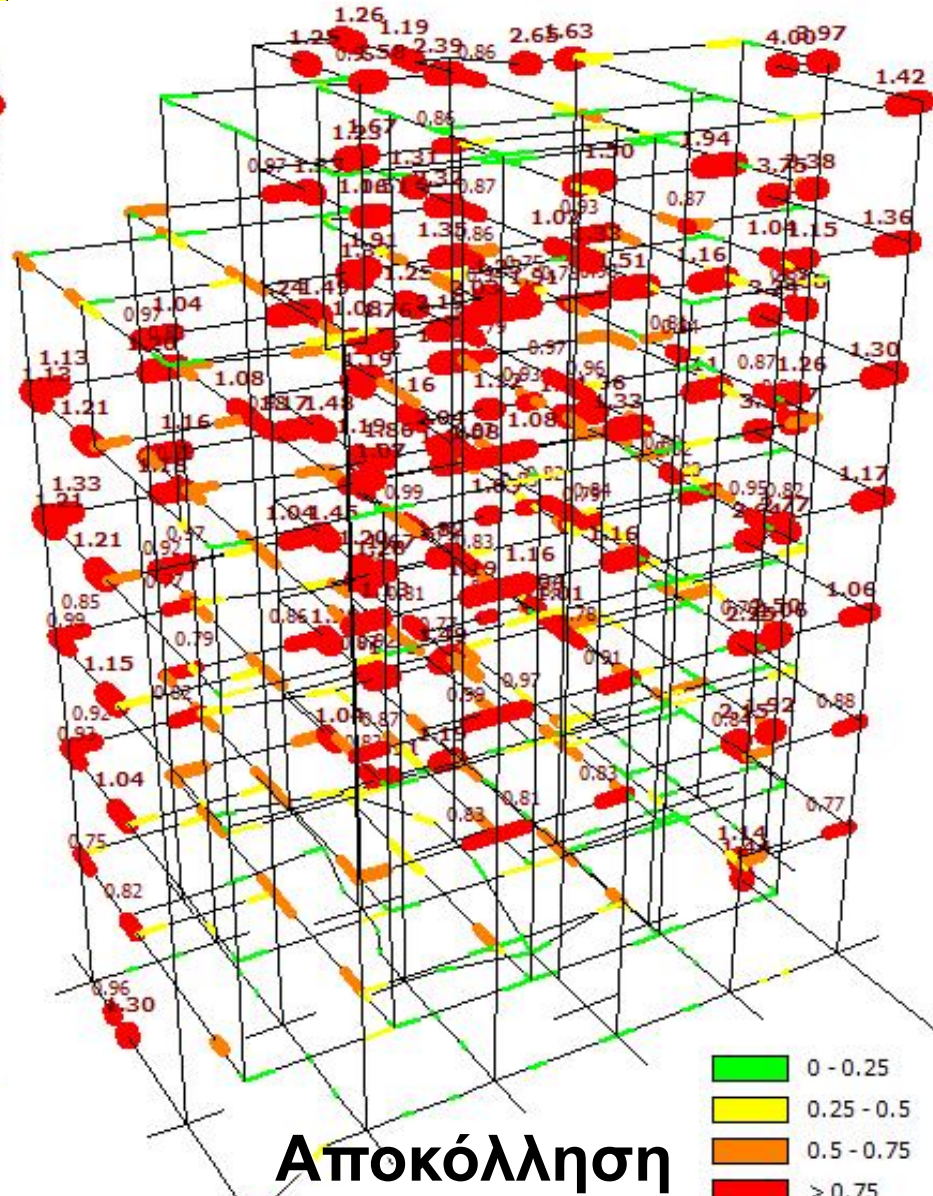
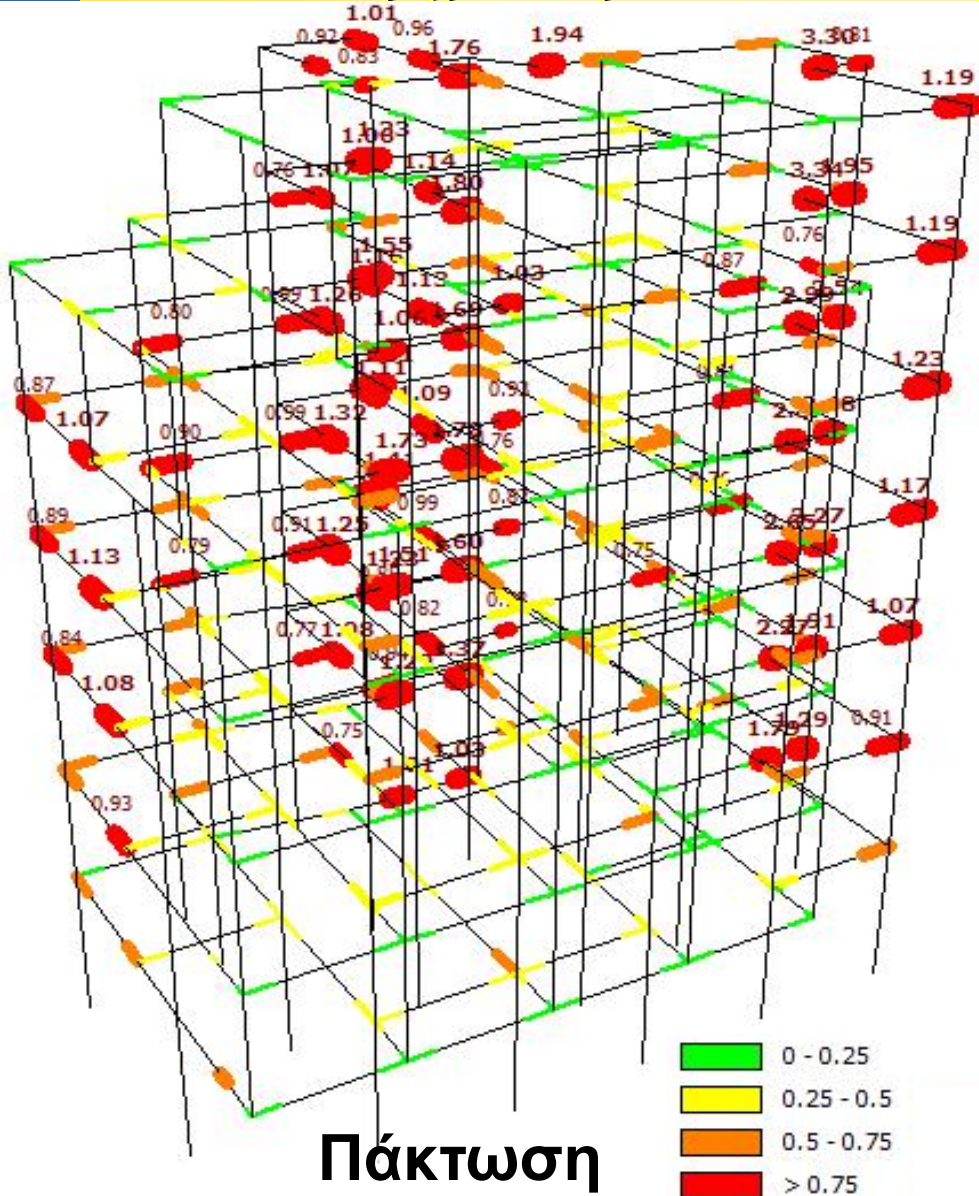
Δείκτης βλάβης κατακόρ. στοιχείων ενισχυμένου κτιρίου σε κάμψη για στάθμη Σημαντικές βλάβες και σε διάτμηση από ανελαστική δυναμική ανάλυση. Πάκτωση (μ.ο.14 επιταχ. 0.25g)



Δείκτης βλάβης κατακόρ. στοιχείων ενισχυμένου κτιρίου σε κάμψη για στάθμη Σημαντικές βλάβες και σε διάτμηση από ανελαστική δυναμική ανάλυση. Αποκόλληση (μ.ο. για 14 επιταχυνσ. 0.25g)



Δείκτης βλάβης δοκών ενισχυμένου κτιρίου σε κάμψη για στάθμη Σημαντικές βλάβες από ανελαστική δυναμική ανάλυση (μ.ο. για 14 επιταχυνσιογραφήματα 0.25g)



Συμπεράσματα ενισχυμένου 7-ορόφου με πάκτωση ή αποκόλληση πεδίων

- Για **πάκτωση**, εξαντλείται η ικανότητα παραμόρφωσης των νέων τοιχωμάτων TN2 και TN3 και του τοιχώματος του ανελκυστήρα για στάθμη επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες». Καμπτικές βλάβες εμφανίζονται σε κάποια υποστυλώματα των εσοχών. Το τοίχωμα TN1 αστοχεί διατμητικά. Οι βλάβες στις δοκούς είναι περισσότερες σε σύγκριση με το αρχικό κτίριο.
- Για **αποκόλληση**, οι δείκτες βλάβης των υποστυλωμάτων αυξάνονται, χωρίς να υπερβαίνουν τη στάθμη επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες». Των τοιχωμάτων μειώνονται κάτω από 1.0, με εξαίρεση το τοίχωμα του ανελκυστήρα όπου ο δείκτης βλάβης σε κάμψη είναι 1.08. Στις εσοχές κάποια υποστυλώματα δεν επαρκούν σε κάμψη. Σε διάτμηση, οριακά δεν επαρκεί το τοίχωμα του ανελκυστήρα και κάποια υποστυλώματα στον τελευταίο όροφο. Οι βλάβες στις δοκούς έχουν αυξηθεί σημαντικά.

Κόστος ενίσχυσης 7-ορόφου με πάκτωση πεδίων

Κόστος νέων τοιχωμάτων πλην πεδίων:

@ 90€/m³ σκυροδέματος

@ 1€/kg χάλυβα

ρητίνες: @ 9€/ βλήτρο Φ20mm

@ 7€/ βλήτρο Φ12mm

Wall	Starter bars plus dowels	Dowels doubling as starter bars
TN1	13600 €	9300 €
TN2	12700 €	8400 €
TN3	26200 €	19500 €
Total	52500 €	37200 €

Κόστος ΙΟΠ (CFRP): @ 40€/m² στρώση ΙΟΠ

Vertical element	Story	DI to be made <1.0	required v provided CFRP	Cost €
Column 156	7 th - base	1.18	0.08mm → 1 ply 0.12mm	20
Column 157	7 th - base	1.29	0.14mm → 2 plies 0.24mm	40
Column 157	7 th - top	1.57	0.24mm → 2 plies 0.24mm	40
Column 132	6 th - base	1.13	0.73mm → 6 plies 0.72mm	260
Elevator wall	1 st	1.40	1 ply, 150mm strips / 125mm	1150
Elevator wall	2 nd	1.16	1 ply, 100mm strips / 200mm	370
Total				1880

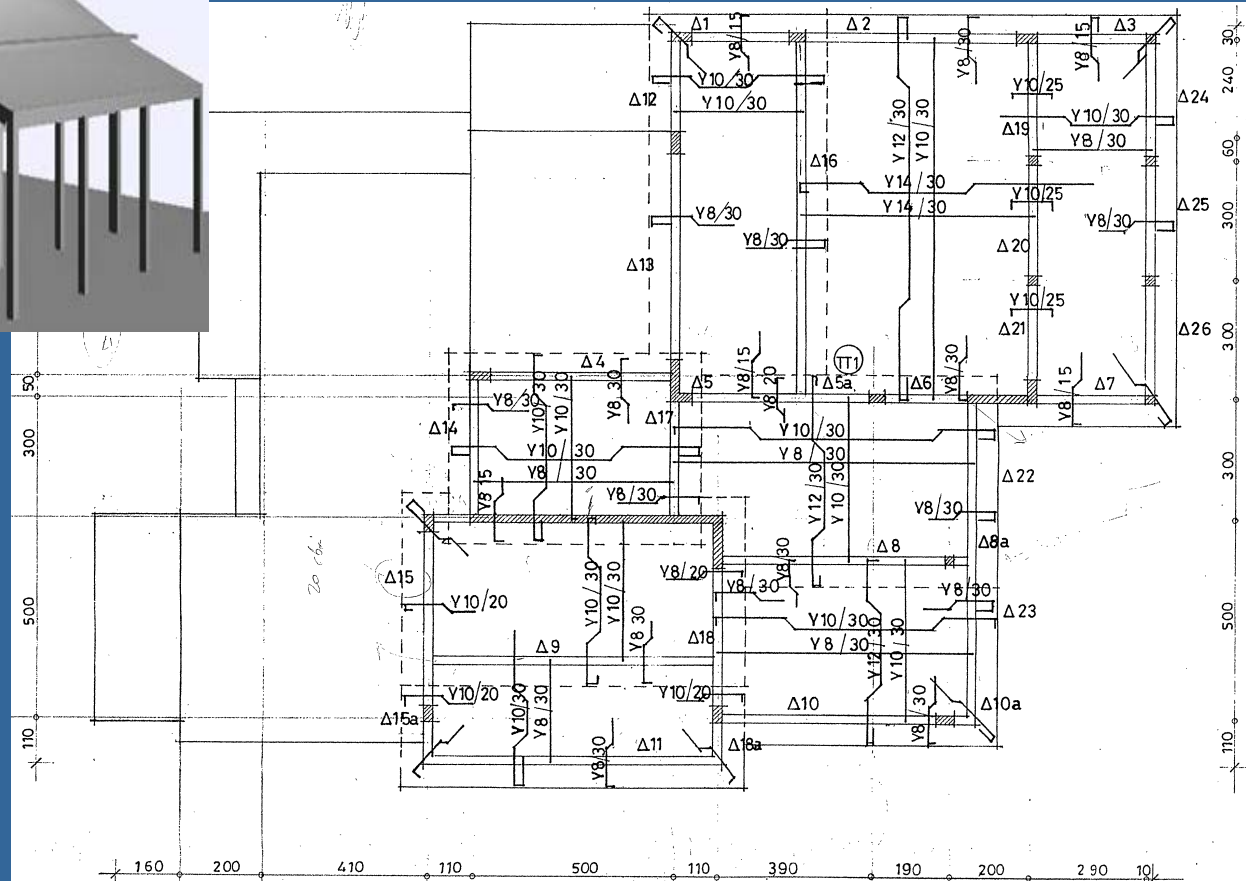
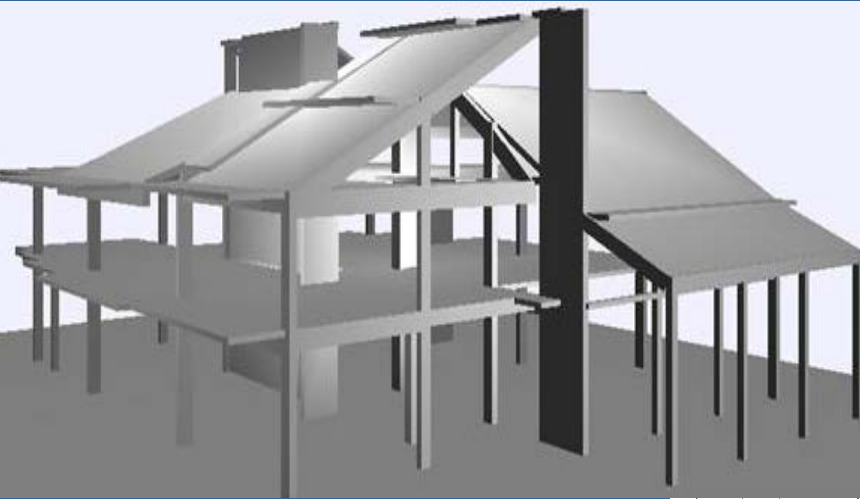
Κόστος ενίσχυσης 7-ορόφου με αποκόλληση πεδίων

Κόστος νέων τοιχωμάτων το ίδιο

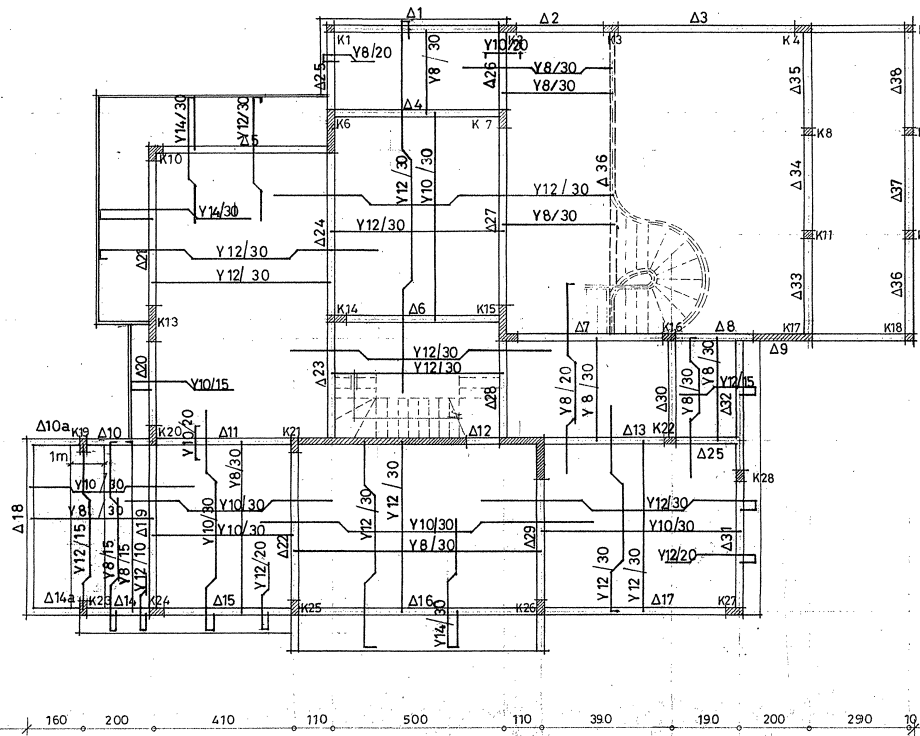
Κόστος ΙΟΠ (CFRP) @ 40€/m² στρώση ΙΟΠ

Vertical element	Story	DI to be made <1.0	required v provided CFRP	Cost €
Column 163	7 th – base	1.71	0.52mm → 4 plies 0.48mm	100
Column 163	6 th – top	1.06	0.05mm → 1 ply 0.12mm	30
Column 161	6 th – base	1.21	0.184mm → 2 plies 0.24mm	50
Column 161	7 th – base	1.22	0.19mm → 2 plies 0.24mm	50
Column 161	7 th – top	1.26	0.22mm → 2 plies 0.24mm	50
Column 127	6 th – base	1.14	0.58mm → 5 plies 0.60mm	200
Column 154	7 th – base	1.70	0.51mm → 4 plies 0.48mm	200
Column 154	6 th – top	1.40	0.33mm → 3 plies 0.36mm	80
Column 157	7 th – base	1.54	0.24mm → 2 plies 0.24mm	40
Elevator wall	1 st	1.15	1 ply, 100mm strips / 200mm	500
Elevator wall	2 nd	1.10	1 ply, 100mm strips / 300mm	250
Total				1550

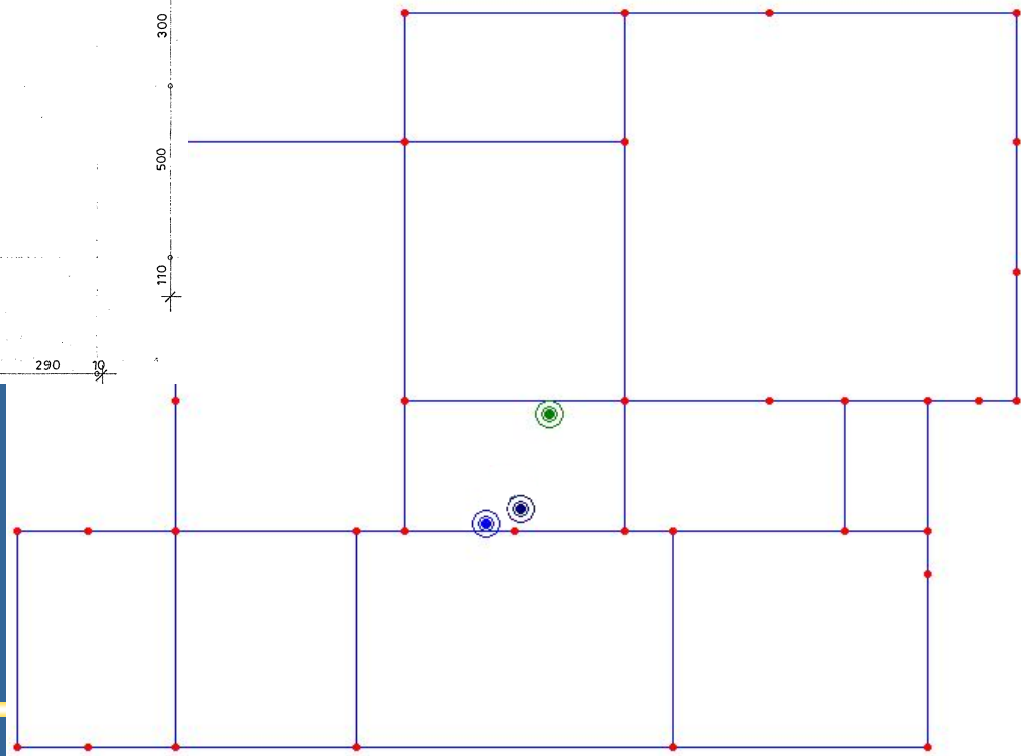
Διώροφο



Πλάκα οροφής ισογείου - ΚΜ και ΚΔ

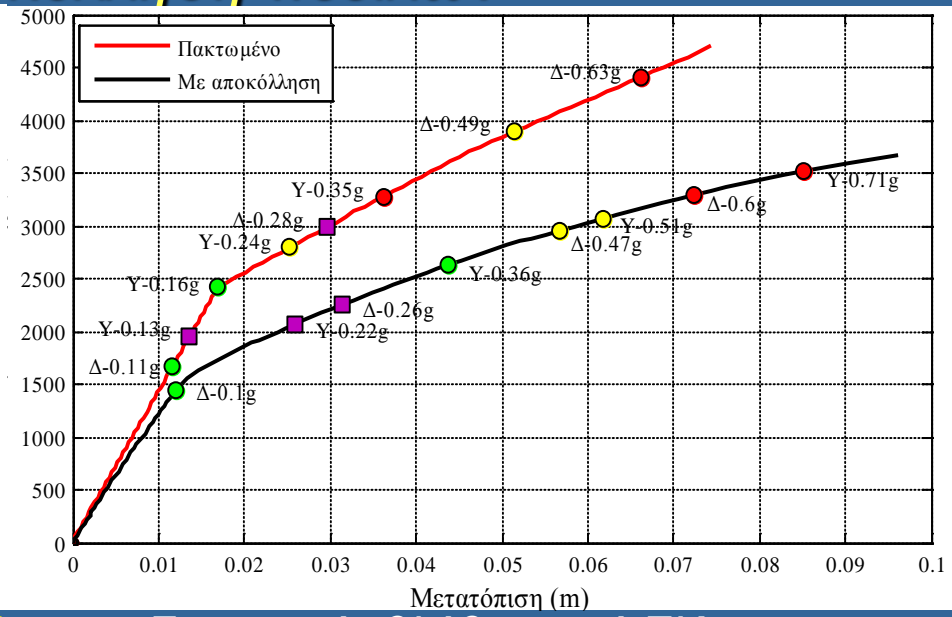
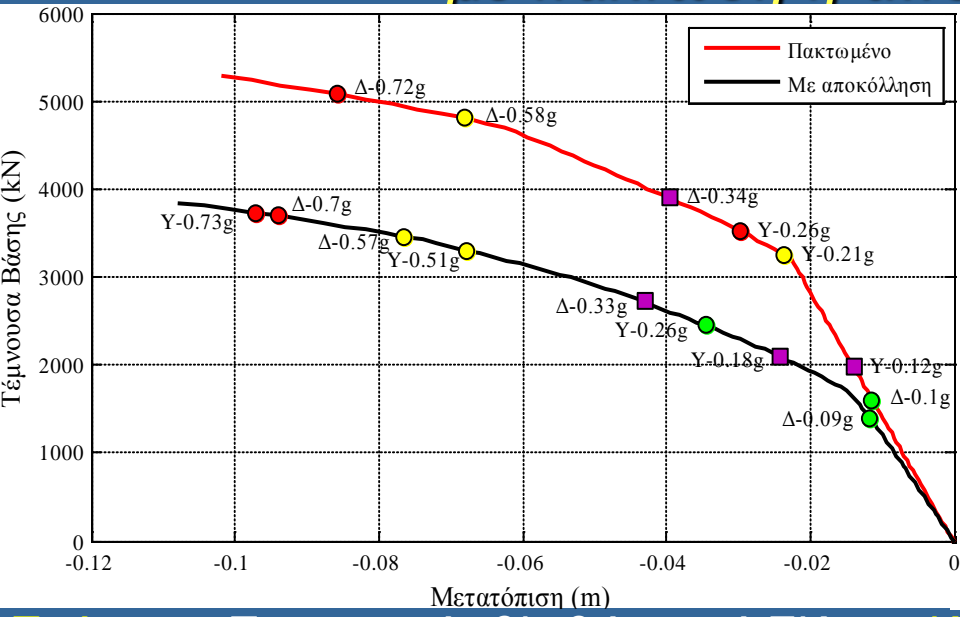


Στρεπτικά ευαίσθητο
(T στρεπτικής ιδιομορφής $>$
 T της 1^{ης} μεταφορικής και
των 2 διευθύνσεων)!

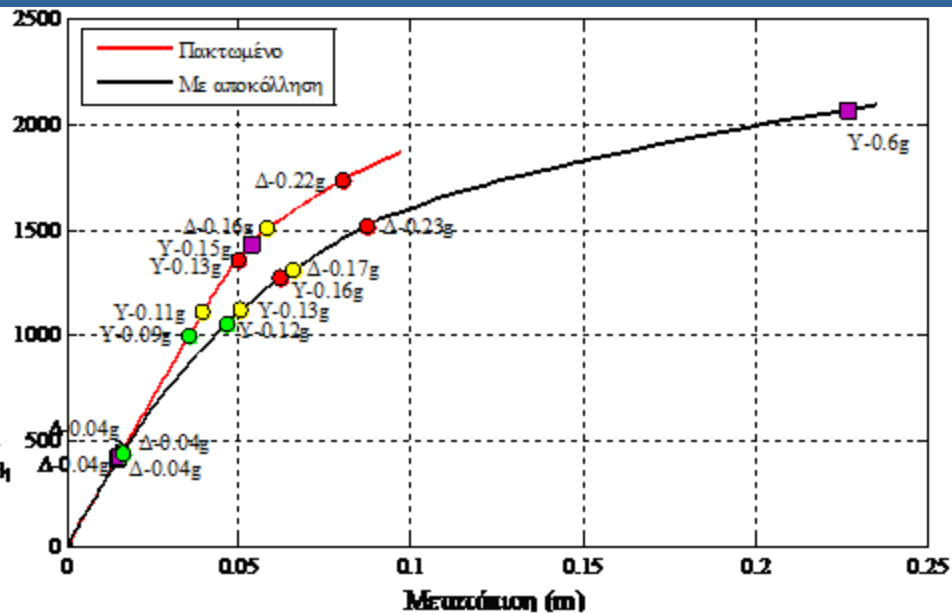
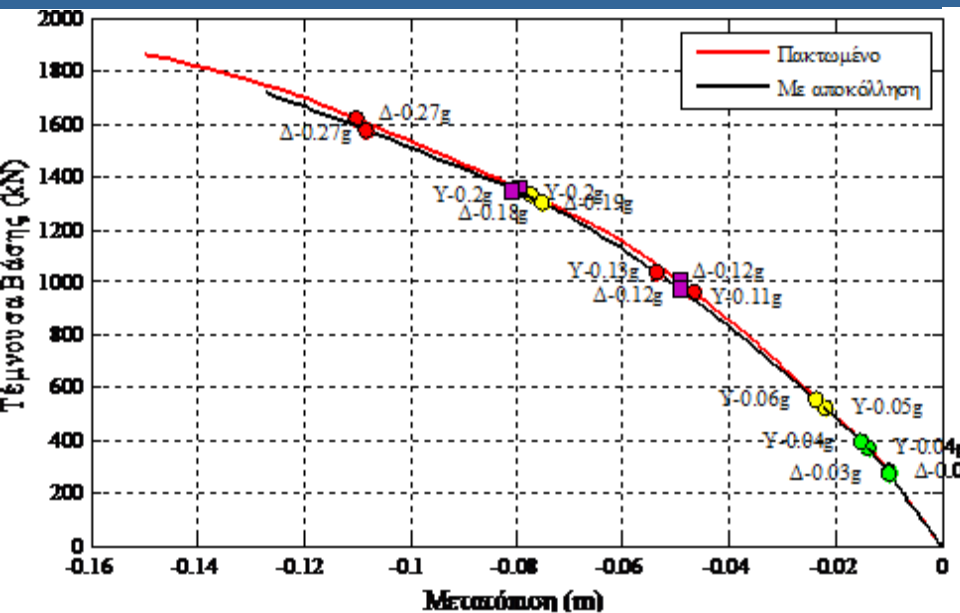


Centre of Mass: $x=12.11$ $z=9.79$
Eff. Stiffness Centre (EI,eff): $Dx=1.44$ $Dz=2.55$
Theor. Stiffness Centre (EI,theor): $Dx=0.68$ $Dz=2.19$

Ανελαστική στατική ανάλυση αρχικού κτιρίου ±X, ±Y με πάκτωση ή αποκόλληση πεδίων

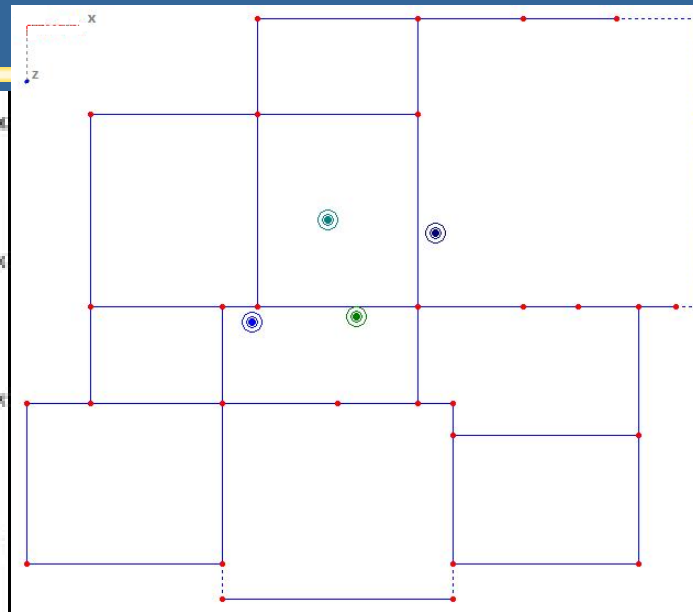
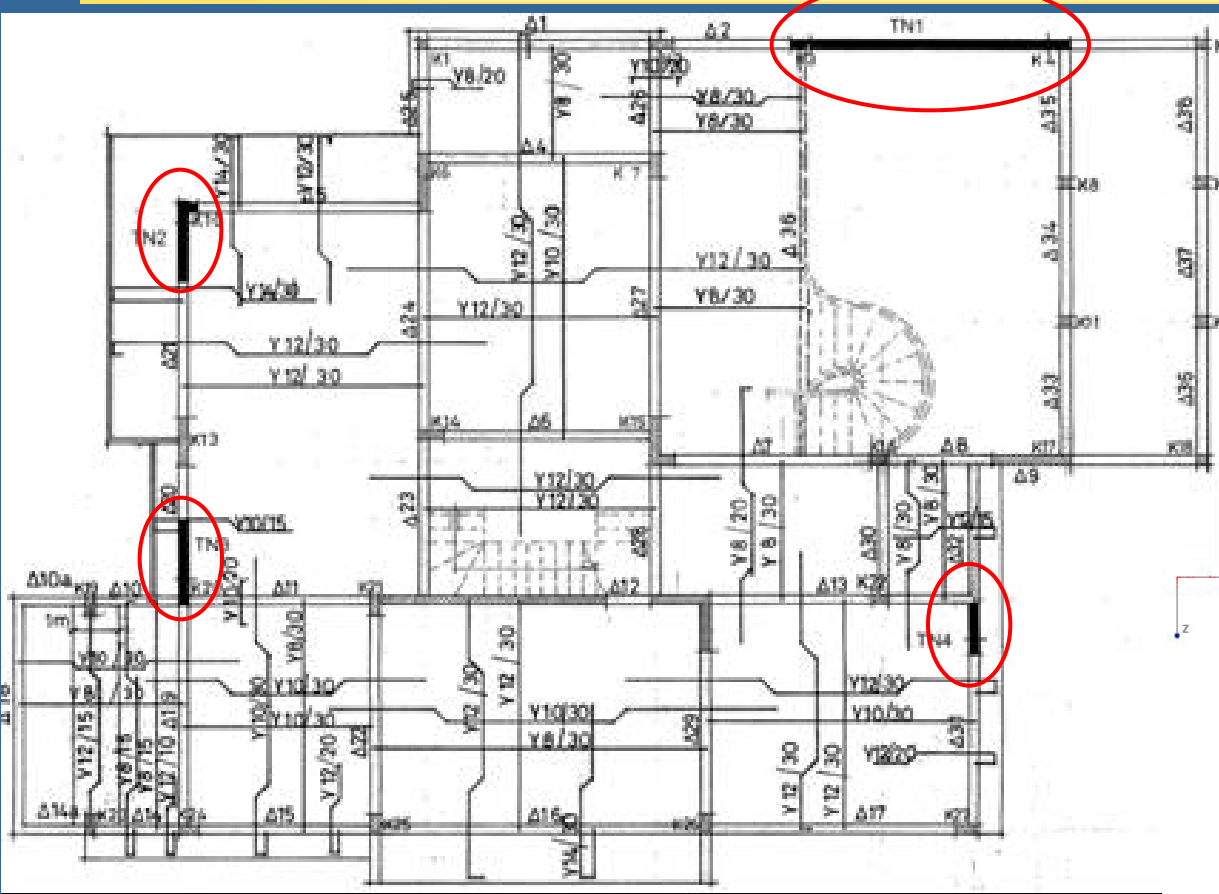


Πράσινος: Περιορισμός βλαβών κατά ΕΚ8-3
Κίτρινος: Σημαντικές βλάβες κατά ΕΚ8-3.
Κόκκινος: Οιονεί κατάρρευση σε κάμψη
Μωβ Τετράγωνο: Οιονεί κατάρρευση σε διάτμηση



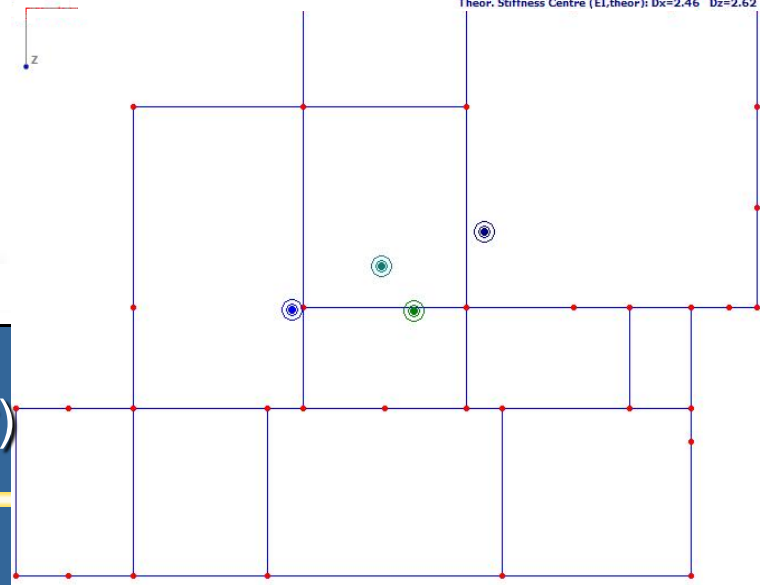
Σεισμική ενίσχυση με τοιχώματα - ΚΜ και ΚΔ

Μόνο στο ισόγειο



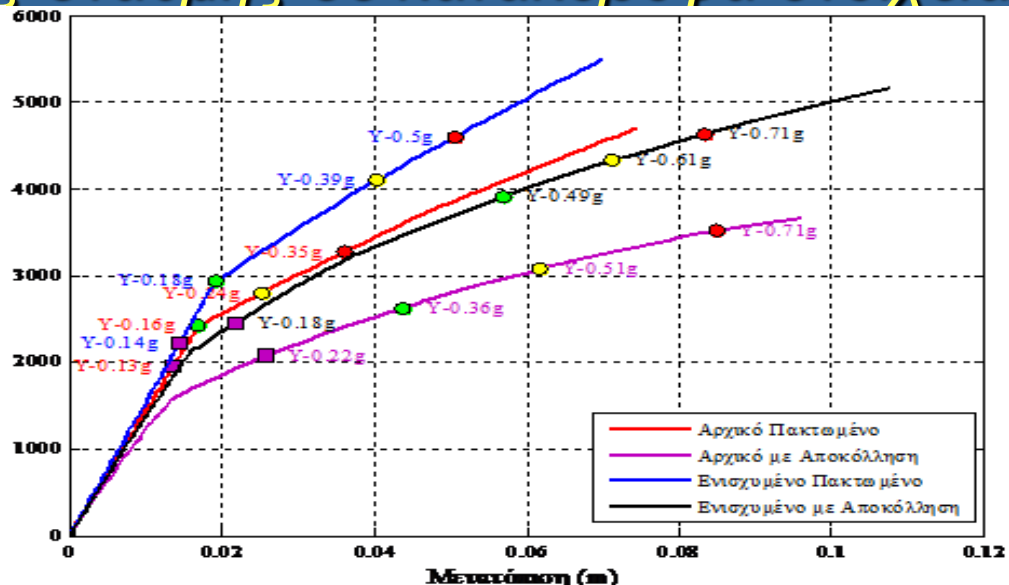
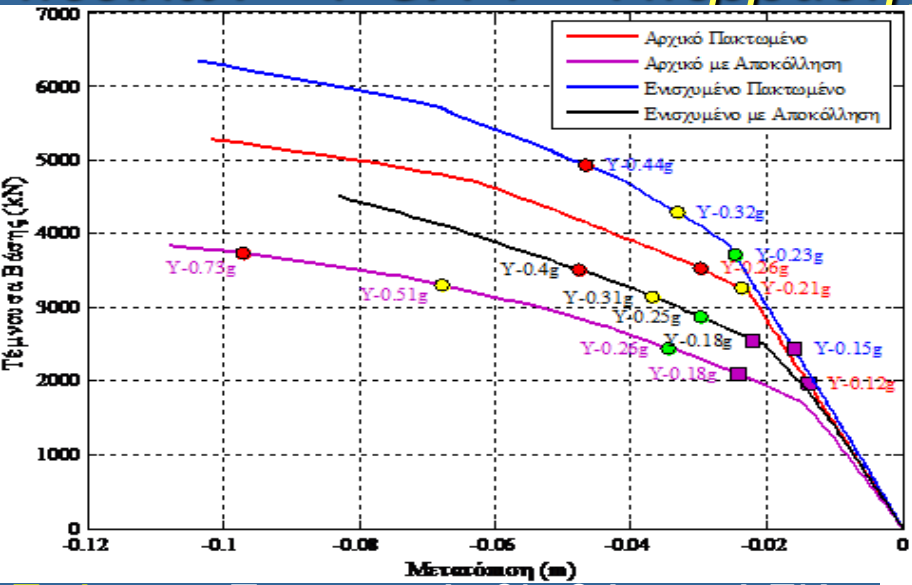
Centre of Mass: $x=11.88$ $z=9.81$
Eff. Stiffness Centre (EI,eff): $Dx=3.26$ $Dz=0.15$
Theor. Stiffness Centre (EI,theor): $Dx=2.46$ $Dz=2.62$

Στρεπτική ευαισθησία παραμένει (Τ στρεπτικής ιδιομορφής > Τ 1^{ης} μεταφορικής μίας διεύθυνσης)



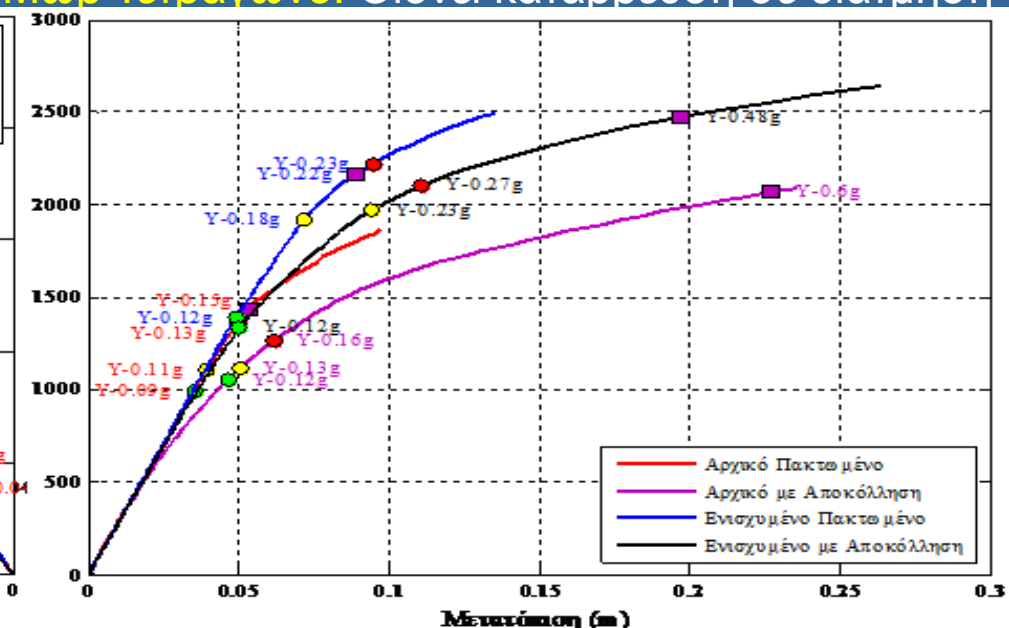
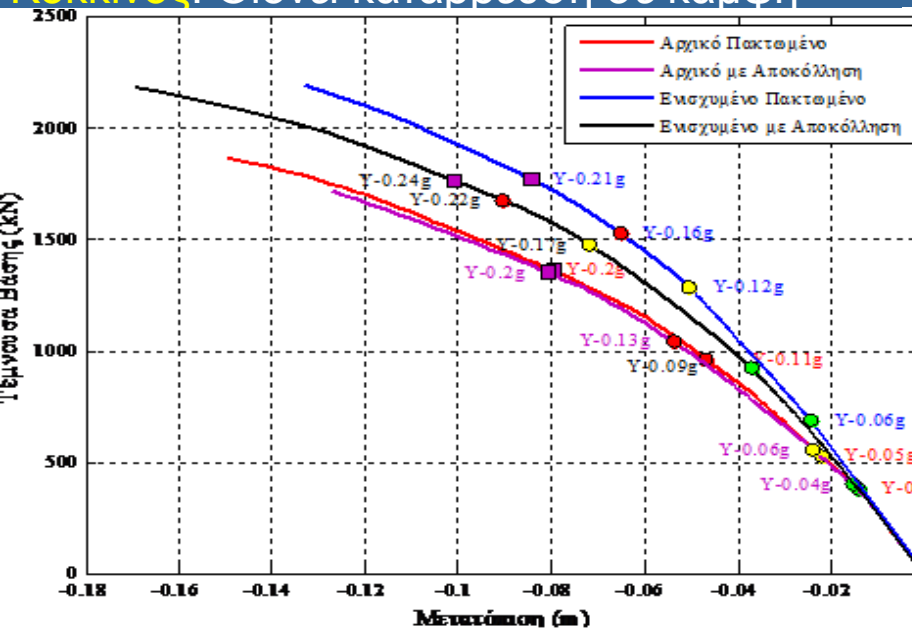
Centre of Mass: $x=12.18$ $z=9.58$
Eff. Stiffness Centre (EI,eff): $Dx=3.71$ $Dz=0.04$
Theor. Stiffness Centre (EI,theor): $Dx=2.17$ $Dz=2.30$

Ανελαστική στατική ανάλυση $\pm X$, $\pm Y$, με πάκτωση ή αποκόλληση πεδίων – PGA 1ης Υπέρβασης στάθμης σε κατακόρυφα στοιχεία

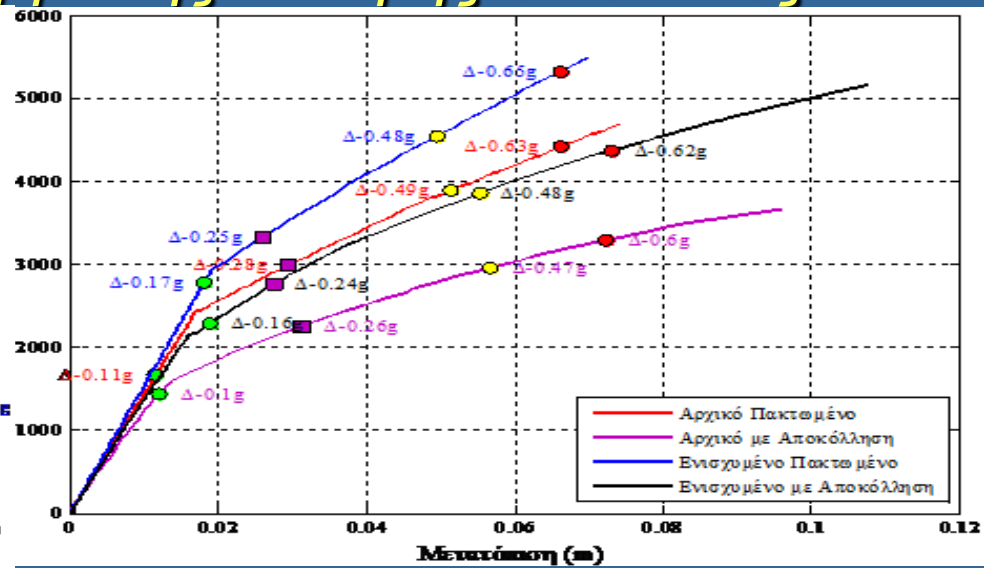
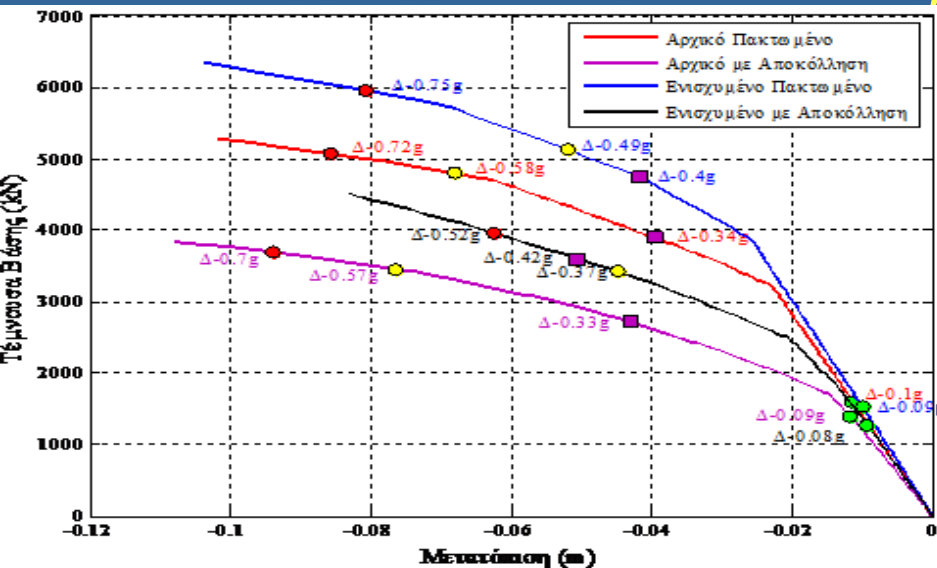


Πράσινος: Περιορισμός βλαβών κατά ΕΚ8-3
Κόκκινος: Οιονεί κατάρρευση σε κάμψη

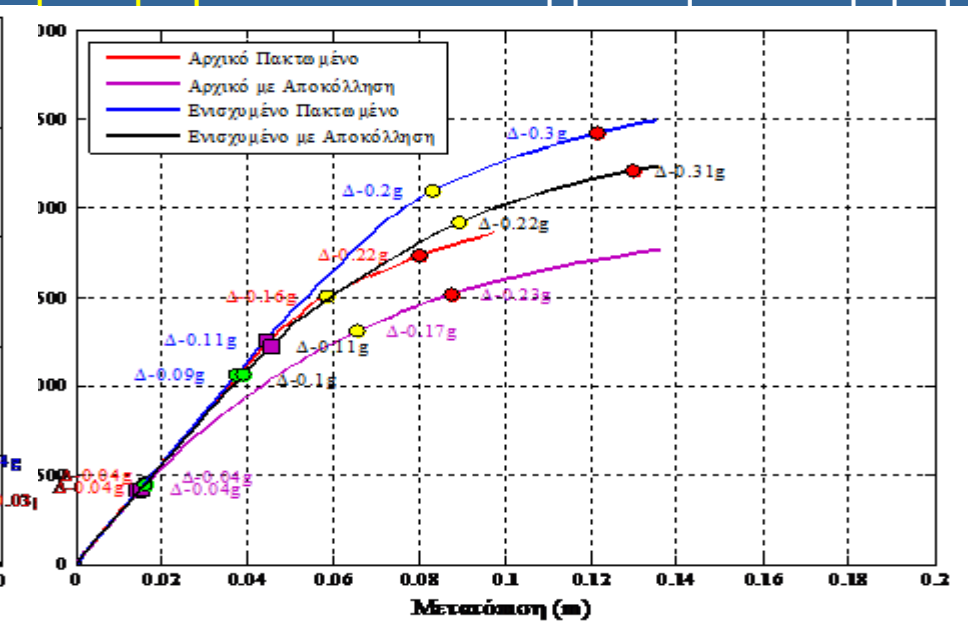
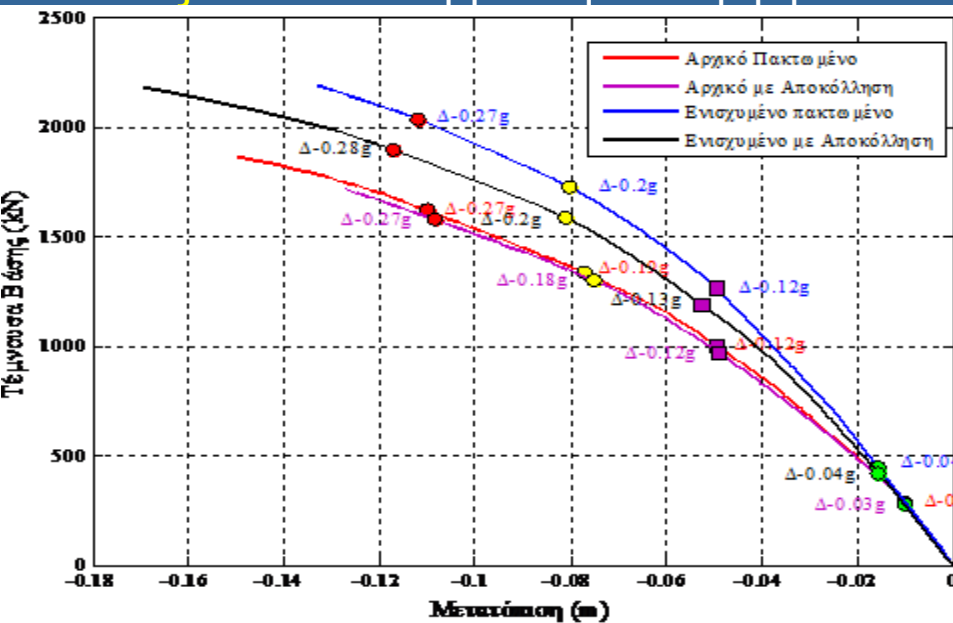
Κίτρινος: Σημαντικές βλάβες κατά ΕΚ8-3.
Μωβ Τετράγωνο: Οιονεί κατάρρευση σε διάτμηση



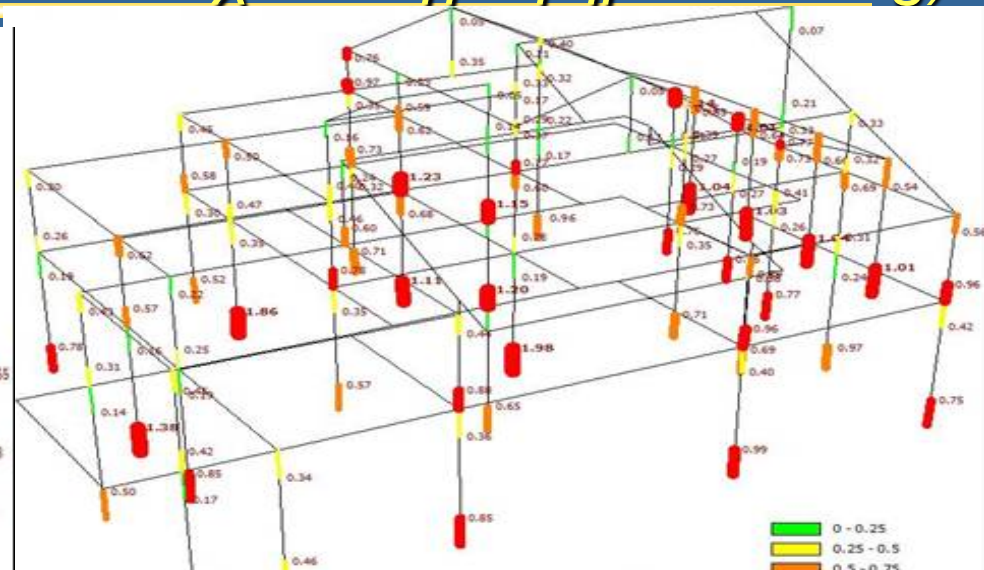
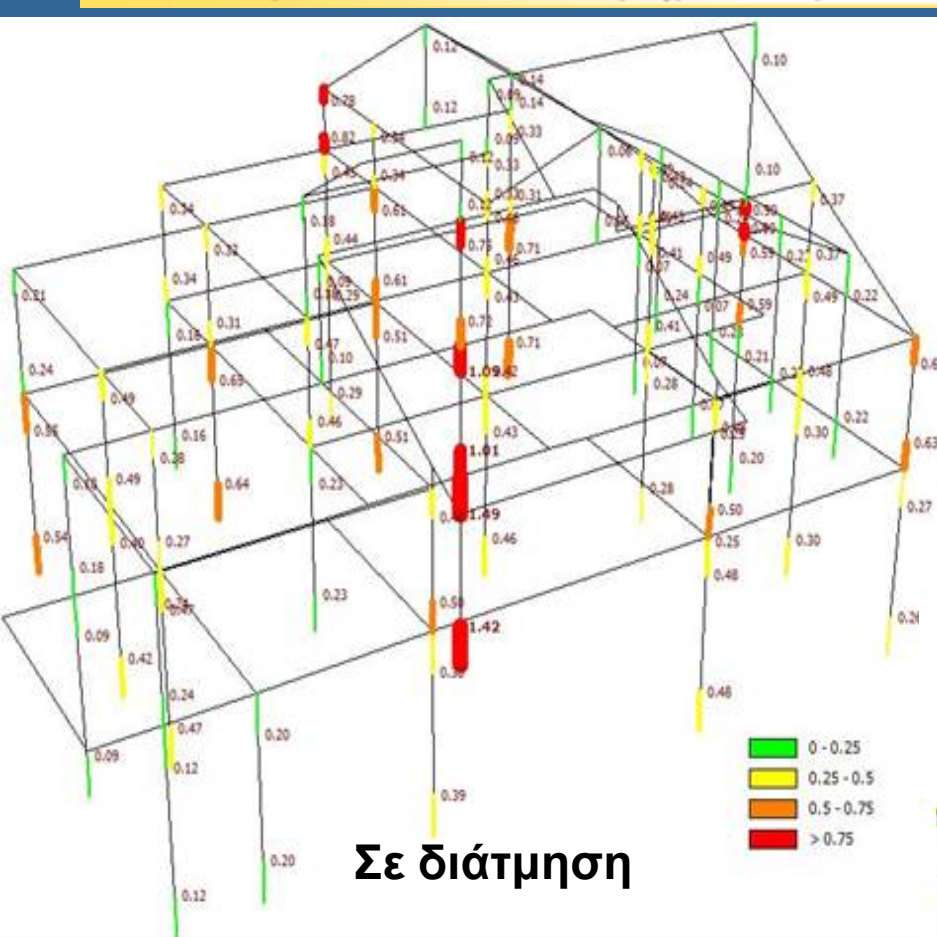
Ανελαστική στατική ανάλυση $\pm X$, $\pm Y$, με πάκτωση ή αποκόλληση πεδίων – PGA 1ης Υπέρβασης στάθμης σε δοκούς



Πράσινος: Περιορισμός βλαβών κατά ΕΚ8–3 **Κίτρινος:** Σημαντικές βλάβες κατά ΕΚ8–3.
Κόκκινος: Οιονεί κατάρρευση σε κάμψη **Μωβ Τετράγωνο:** Οιονεί κατάρρευση σε διάτμηση



Δείκτης βλάβης ενισχυμένου κτιρίου σε κάμψη για στάθμη Σημαντικές βλάβες και σε διάτμηση από ανελαστική δυναμική ανάλυση – Πάκτωση (μ.ο. για 14 επιταχυνσιογραφήματα 0.25g)



Συμπεράσματα ενισχυμένου διωρόφου με πάκτωση ή αποκόλληση πεδίων

- Οι δείκτες βλάβης σε κάμψη στη βάση των υποστυλωμάτων μειώθηκαν σε σχέση με το αρχικό κτίριο, αλλά η στάθμη επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» δεν ικανοποιείται.
- Η προσθήκη των νέων τοιχωμάτων δεν εμποδίζει την αστοχία του κεντρικού τοιχώματος.
- Στα δοκάρια οι δείκτες βλάβης σε κάμψη είναι αυξημένοι σε σχέση με το αρχικό κτίριο .
- Η ενίσχυση μόνο με τοιχώματα στην περίμετρο δεν αρκεί. Είναι αναγκαία η ενίσχυση και κάποιων άλλων στοιχείων με μανδύες οπλ. σκυροδέματος ή ΙΟΠ

Κόστος ενίσχυσης 2-ορόφου με αποκόλληση πεδίων

Κόστος νέων τοιχωμάτων πλην πεδίων:

@ 90€/m³ σκυροδέματος

@ 1€/kg χάλυβα

ρητίνες: @ 9€/ βλήτρο Φ20mm

@ 7€/ βλήτρο Φ12mm

Wall	Starter bars plus dowels	Dowels doubling as starter bars
TN1	6730 €	4550 €
TN2	2470 €	2230 €
TN3	1720 €	1640 €
TN4	1230 €	1230 €
Total	12150 €	9650 €

Κόστος ΙΟΠ

@ 40€/m² στρώση

Vertical element	Story	DI to be made <1.0	required v provided CFRP	Cost €
Column 7	1 st - base	1.11	0.184mm → 2 plies 0.24mm	60
Column 7	2 nd - base	1.23	0.364mm → 3 plies 0.36mm	90
Column 17	1 st - base	1.01	0.005mm → 1 ply 0.12mm	25
Column 11	1 st - base	1.04	0.02mm → 1 ply 0.12mm	25
Column 9	1 st - base	1.03	0.016mm → 1 ply 0.12mm	25
Column 39	1 st - base	1.04	0.02mm → 1 ply 0.12mm	25
central wall	1 st - base	1.49	1 ply, 100mm strips / 125mm	2200
central wall	2 nd - base	1.09	1 ply, 50mm strips / 250mm	400
Total				2850

Πιλοτική εφαρμογή Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 για αποτίμηση/ενίσχυση κτιρίου θεάτρου

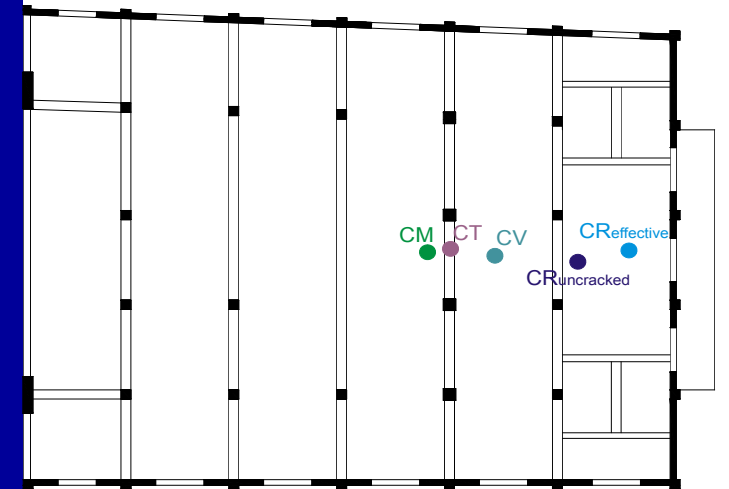
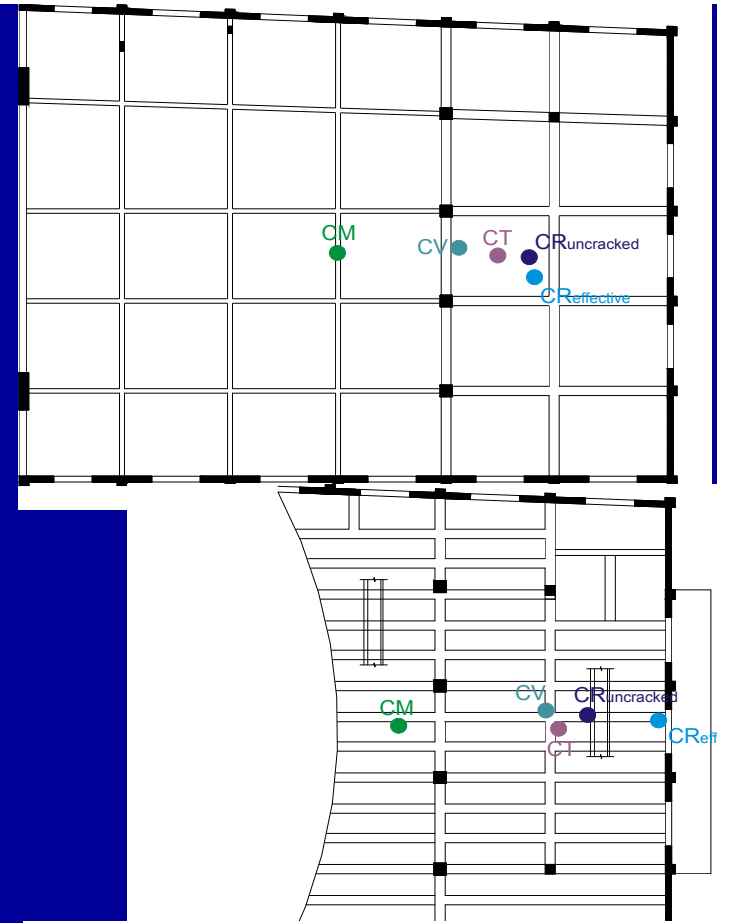
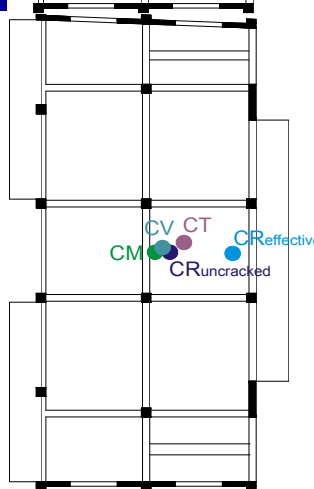
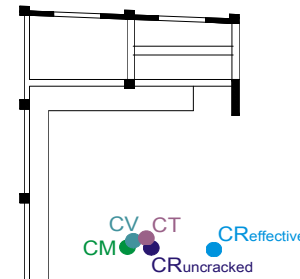
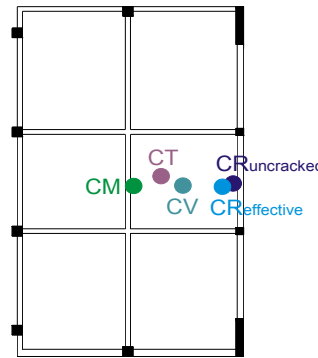






Εκκεντρότητα ΚΜ ως προς Κέντρα Δυσκαμψίας & Αντοχής και Πόλο στροφής και στα 2 τμήματα κτιρίου →

Στροφική απόκριση και κρούση στη θέση του αρμού



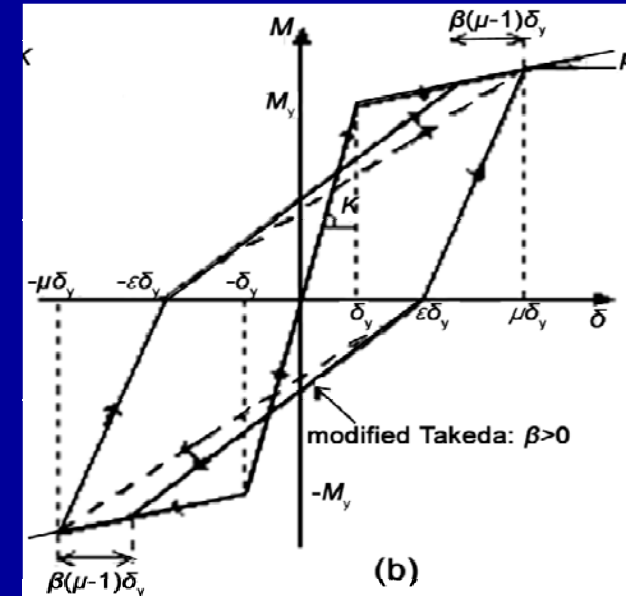
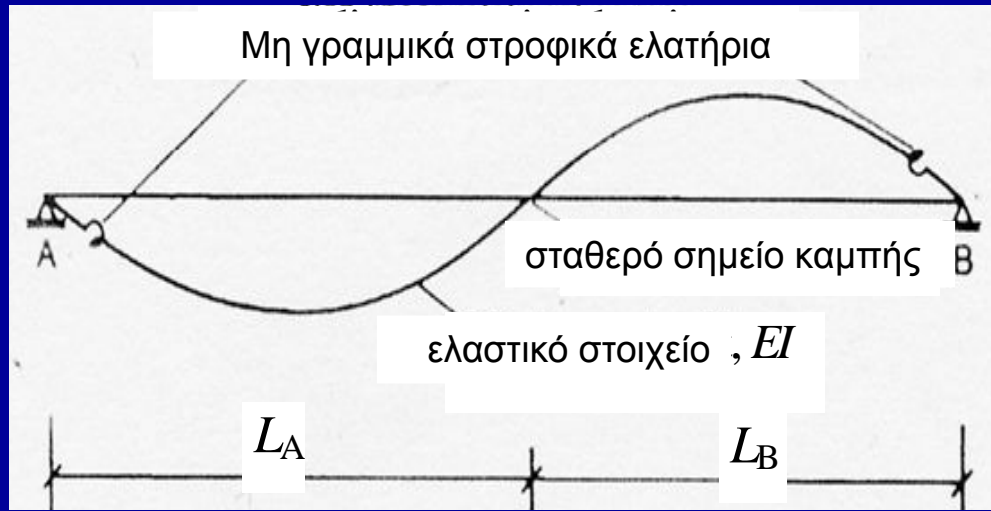
Υποθέσεις Προσομοίωσης

- Πάκτωση βάσης κατακορύφων μελών σε δύσκαμπτη θεμελίωση
- Οι κόμβοι θεωρούνται με τις πραγματικές τους διαστάσεις, αλλά άκαμπτοι
- Θεώρηση επιρροών 2ας τάξεως
- Λαμβάνεται υπόψη η εντός επιπέδου ευκαμψία πατωμάτων σκυροδέματος (ανά φάτνωμα)
- Προσομοιώματα μελών:
 1. Προσομοιώματα σημειακών αρθρώσεων με νόμο υστέρησης “απλοποιημένο” Takeda (διγραμμική περιβάλλουσα, χωρίς απομείωση αντοχής με την ανακύκλιση)
 2. Ελαστική δυσκαμψία $EI = M_y L_s / 3\theta_y$
 3. Κατακόρυφα μέλη: 2 ασύζευκτα στοιχεία (ένα ανά οριζόντια διεύθυνση)
 4. Σκάλες: Βραχίονες σαν κεκλιμένα υποστυλώματα (σε 2 εγκάρσιες διευθύνσεις).
 5. Λαμβάνεται υπόψη η επιρροή:
 - Προβληματικών λεπτομερειών όπλισης (κοντών ματίσεων, ανοικτών συνδετήρων)
 - Περίσφιξης με ΙΟΠ, ή μανδυνών οπλ. Σκυροδέματος.

Η απόκριση αποτιμάται με βάση το λόγο απαιτούμενης αντοχής ή παραμόρφωσης προς τη διαθέσιμη κατά ΕΚ8-Μέρος 3 (παραμόρφωση αστοχίας: αντιστοιχεί σε πτώση αντοχής $\geq 20\%$):

- Σε όρους γωνίας στροφής χορδής άκρων
- Σε όρους τέμνουσας αντοχής στην πλαστική άοθωση (μείωση με την ανακύκλιση)

Προσομοίωμα σημειακών αρθρώσεων (συγκεντρωμένης ανελαστικότητας) για μονοαξονική κάμψη χωρίς επιρροή της κάμψης στην αξονική παραμόρφωση Στοιχείο μονού μέλους :

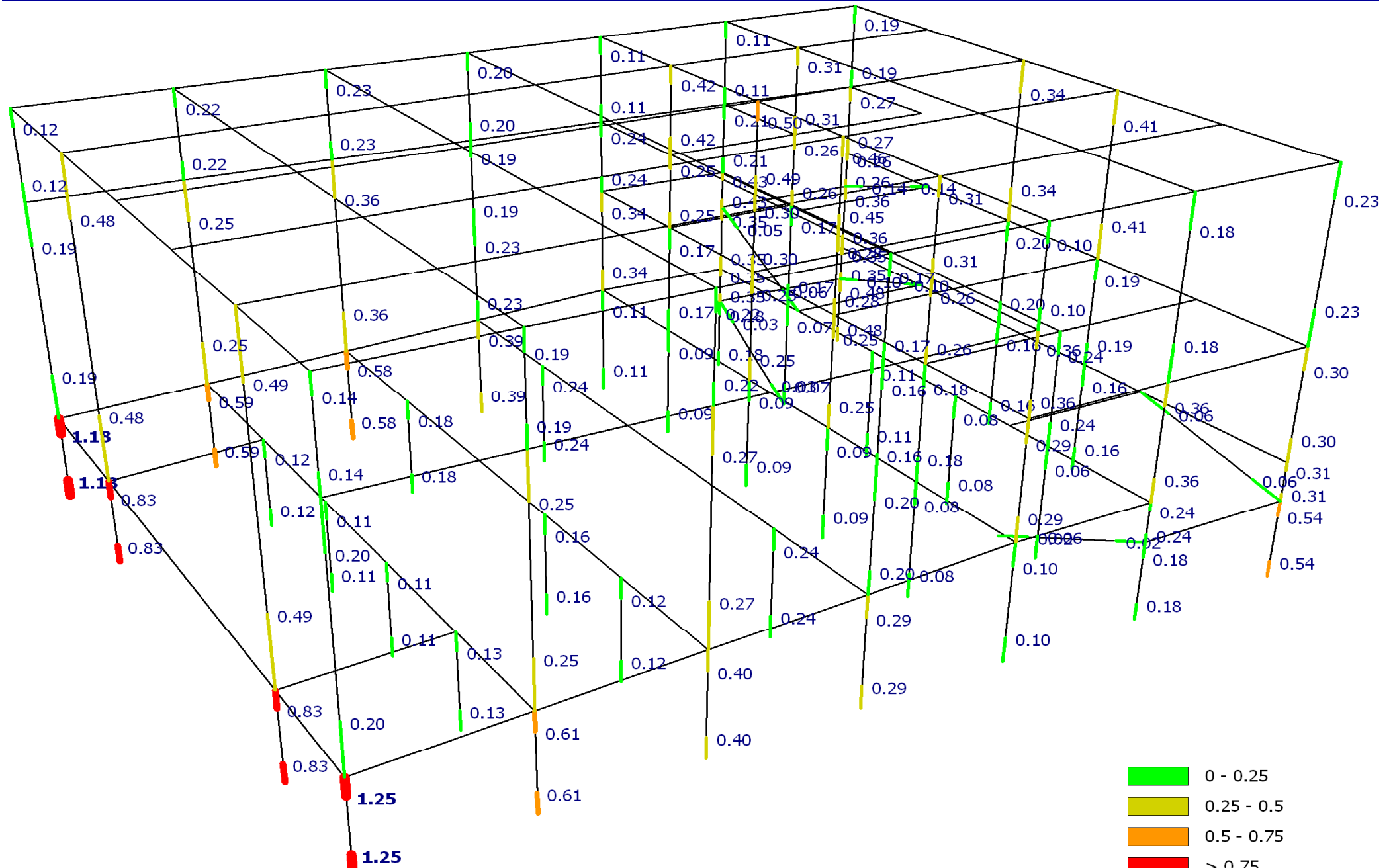


Μητρώο ευκαμψίας:

$$\mathbf{F}_m^t = \begin{bmatrix} f_{AA} & f_{AB} \\ f_{AB} & f_{BB} \end{bmatrix} = \frac{L}{6EI} \begin{bmatrix} 2 + a_A/p_A & -1 \\ -1 & 2 + a_B/p_B \end{bmatrix}$$

- $a_A = 0$ πριν την καμπτική διαρροή στο A ($M^A < M_y^A$)
- $a_A = 1$ κατόπιν ($M^A \geq M_y^A$)
- $p_A = (L/(6EI))/f_A$, $p_B = (L/(6EI))/f_B$: Λόγος τρέχουσας εφαπτομενικής δυσκαμψίας στροφικών ελατηρίων προς ελαστική δυσκαμψία στοιχείου σε αντισυμμετρική κάμψη, $6EI/L$
- Τμηματικά σταθερά f_A , f_B από πολυγραμμική σχέση $M-\theta$ σε 1η φόρτιση, αποφόρτιση, επαναφόρτιση.

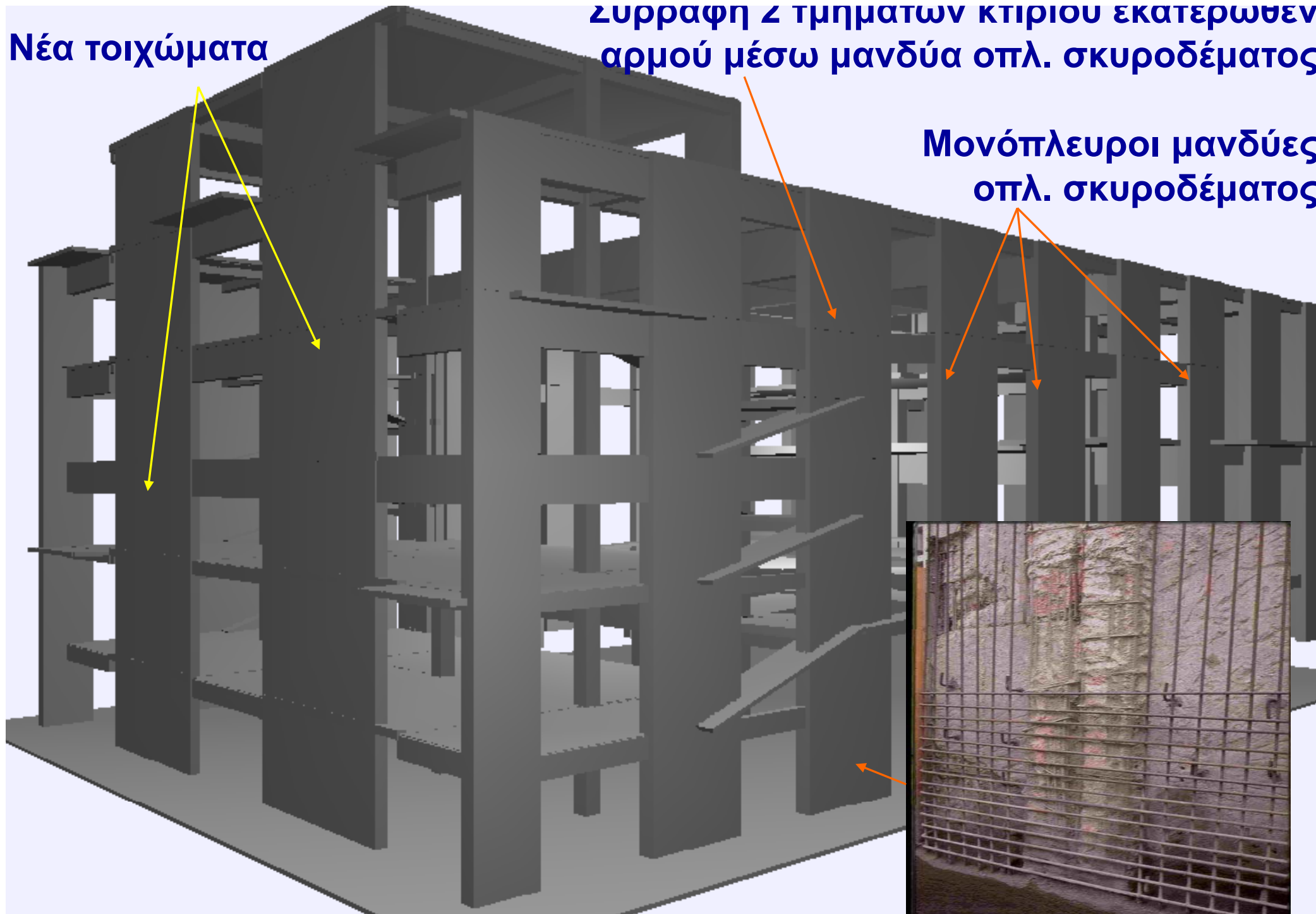
Λόγος απαιτ.-προς-διαθέσιμης διατμητικής αντοχής "Θεάτρου" από 56 μη-γραμμικές δυναμικές αναλύσεις υπό διαξονικές εδαφικές κινήσεις συμβατές με φάσμα για μεγ. εδαφ. επιτάχυνση 0.1g



Νέα τοιχώματα

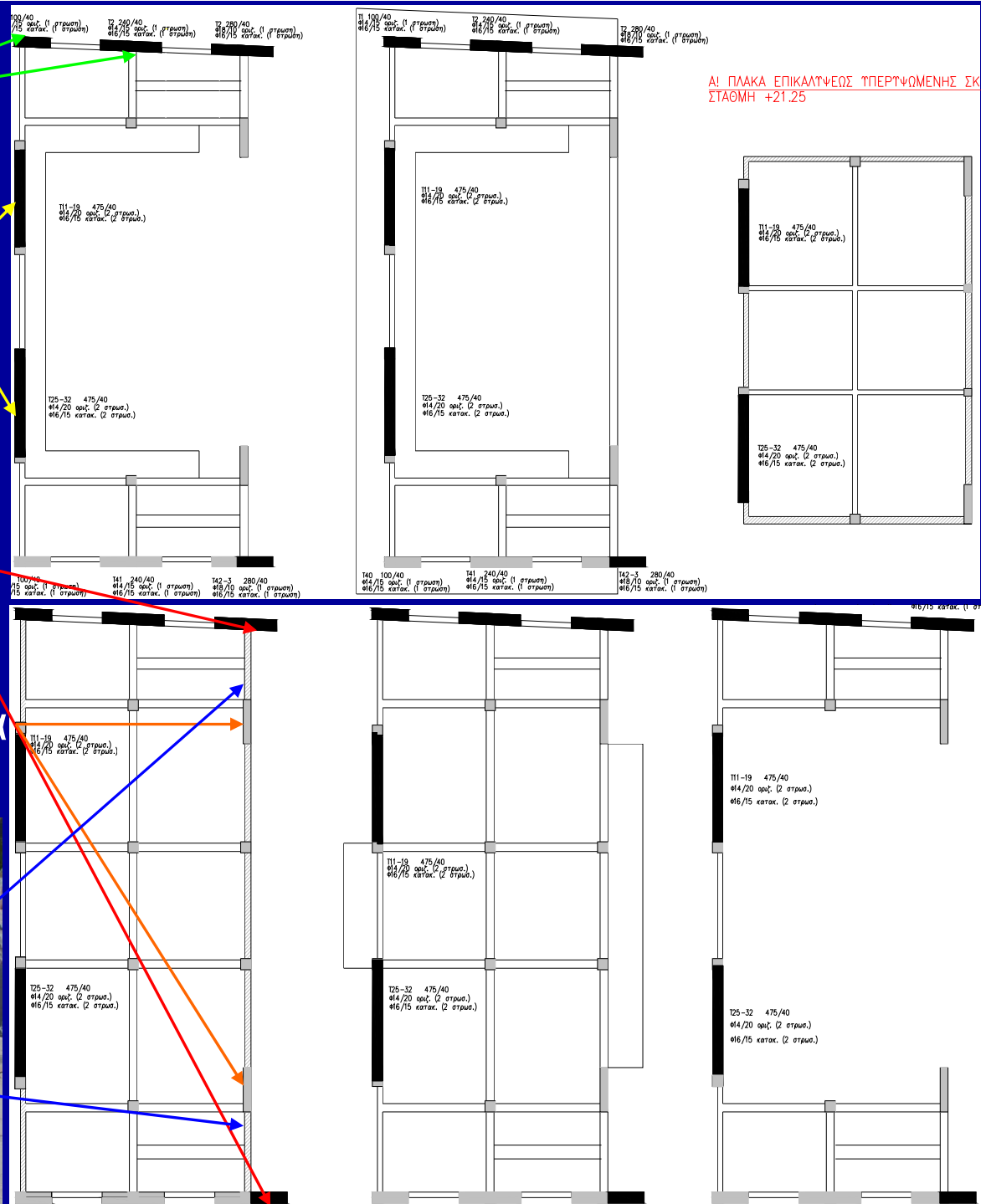
Συρραφή 2 τμημάτων κτιρίου εκατέρωθεν αρμού μέσω μανδύα οπλ. σκυροδέματος

Μονόπλευροι μανδύες οπλ. σκυροδέματος



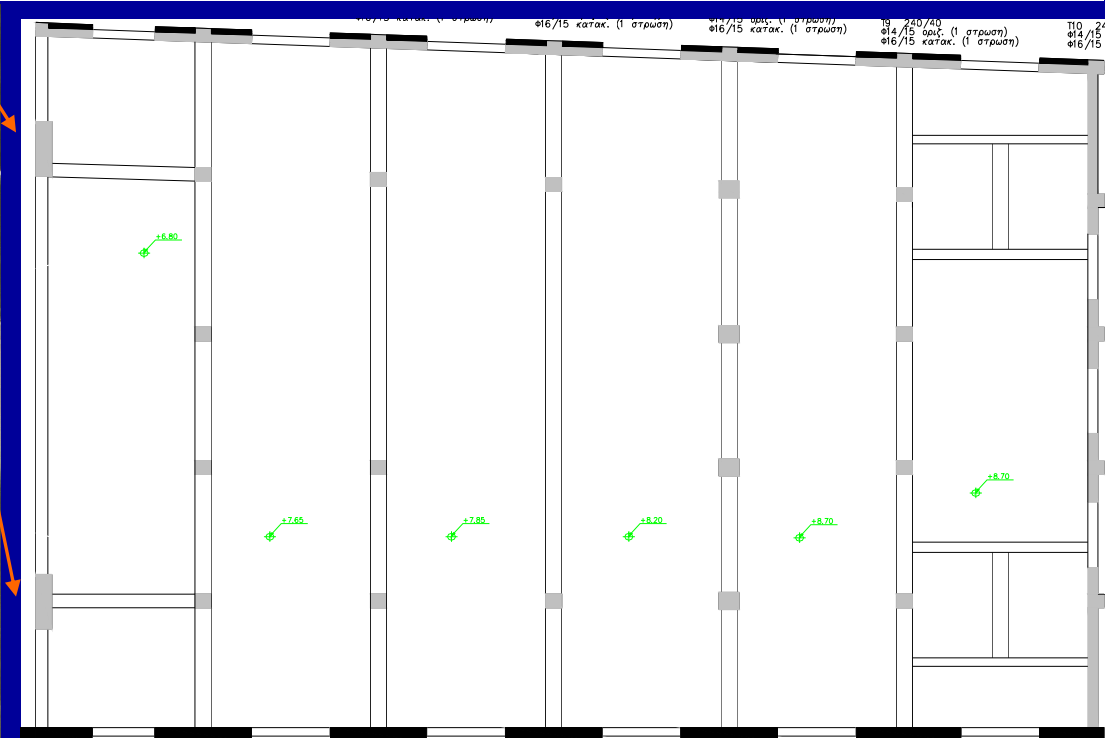
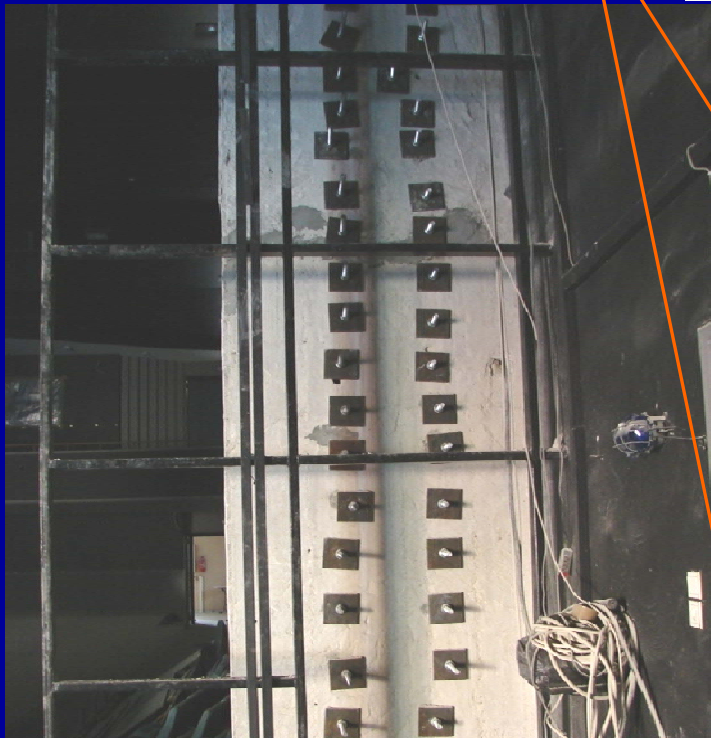
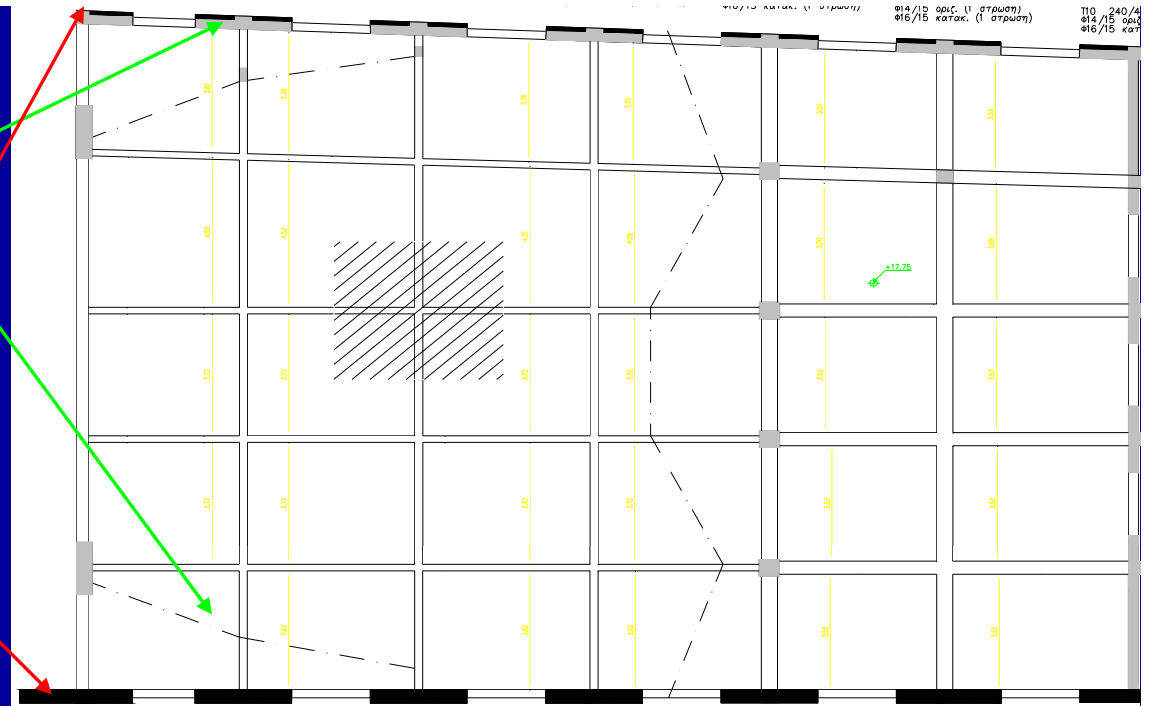
Ενίσχυση κτιρίου “Σκηνης”

1. Μονόπλευροι μανδύες στα τοιχώματα περιμέτρου (& για τη διάβρωση).
2. Νέα τοιχώματα έως το δώμα.
3. Σύνδεση “Σκηνης” & “Θεάτρου” στον αρμό (κατά της στροφικής απόκρισης και της κρούσης) μέσω:
 - πλευρικών τοιχωμάτων,
 - ζώνης οπλ. σκυροδέματος στην πλάκα δώματος
 - μεταλλικών ράβδων σε εσωτερικά τοιχώματα.

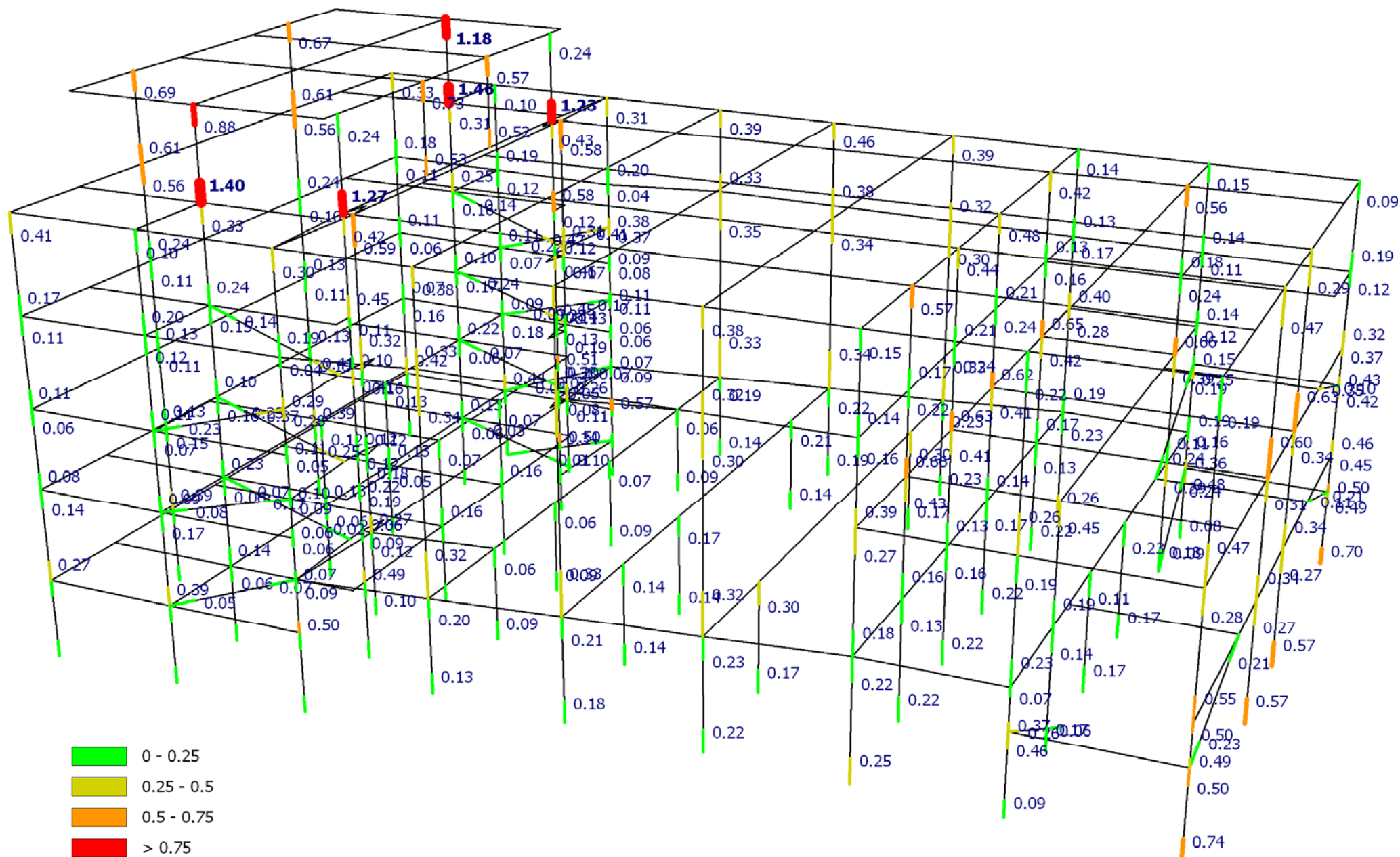


Ενίσχυση κτιρίου “Θεάτρου”

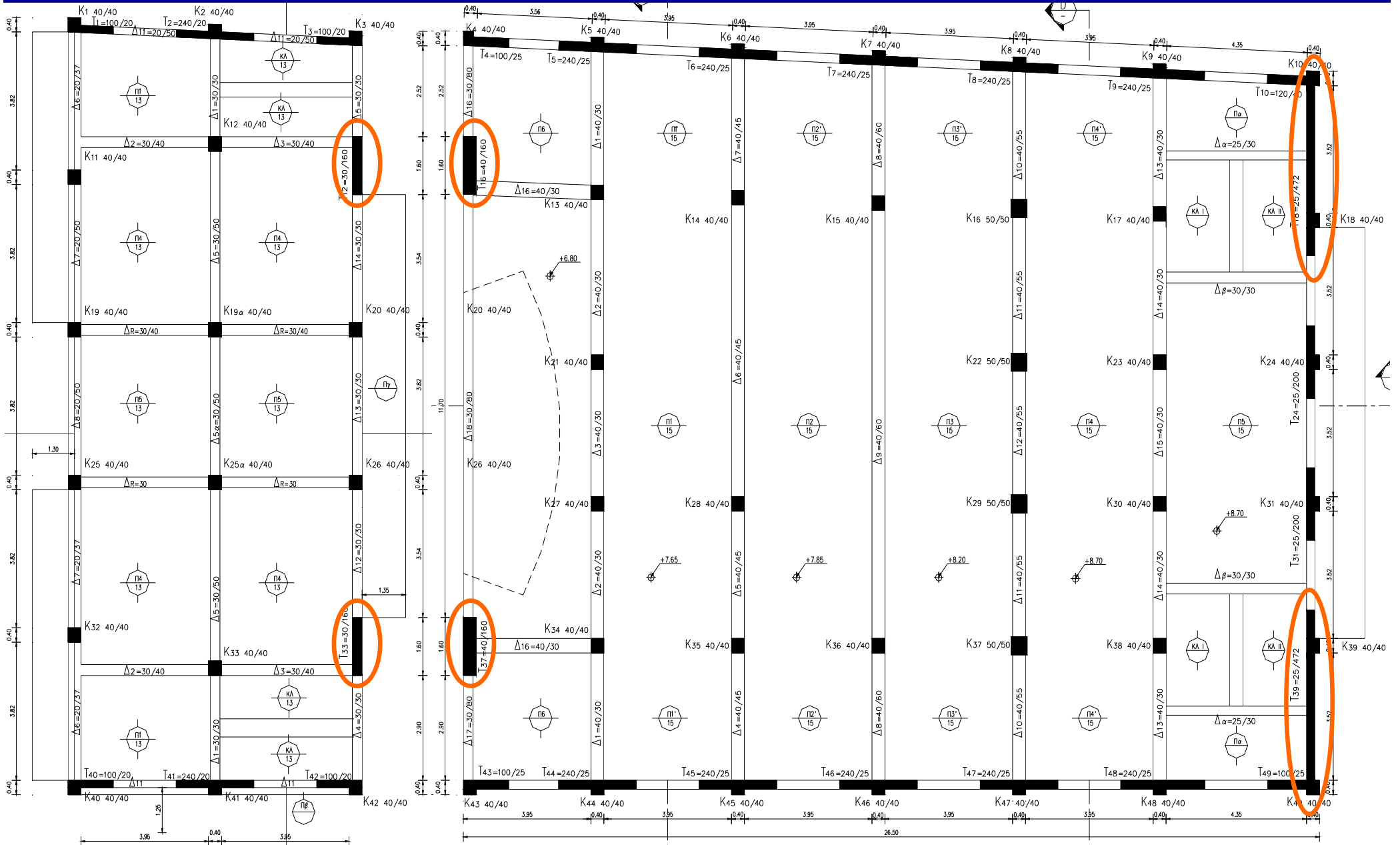
1. Μονόπλευροι μανδύες στα τοιχώματα περιμέτρου (διάβρωση).
2. Σύνδεση “Σκηνης” και “Θεάτρου” στον αρμό (κατά της στροφικής απόκρισης και της κρούσης) μέσω:
 - πλευρικών τοιχωμάτων,
 - ζώνης οπλ. σκυροδέματος στην πλάκα δώματος και
 - μεταλλικών ράβδων σε εσωτερικά τοιχώματα.



Δείκτης καμπτ. βλάβης υποστυλωμάτων ενισχυμένου κτιρίου (χωρίς ΙΟΠ αγνοώντας τοιχοπληρώσεις) για μεγ. εδαφική επιτάχυνση 0.36g (ΕΑΚ2000)



Μονόπλευροι μανδύες ΙΟΠ (με ίνες άνθρακα) σε τοιχώματα με έλλειμμα διατμητική αντοχής που δεν μπορεί να καλυφθεί με μανδύες οπλ. σκυροδέματος



Τέσσερα εσωτ. τοιχώματα (1.6m) ενισχύονται διατμητικά με ΙΩΠ ινών άνθρακα ολικού πάχους 0.4-0.5mm

- 7 Πάκτωση ελάσματος ανοξ. χάλυβα στο τοίχωμα με εκτονούμενα αγκύρια $\Phi 10$ ανά 0.70μ (στο κενό των λωρίδων ΙΩΠ)



- 3 Στρογγύλευση γωνίας τοιχώματος σε ακτίνα $R=2εκ.$

- 2 Αφαίρεση σοβά

- 8 Επίπασση άμμου επί της ρητίνης - Επανεπίχριση

- 4 Εξομαλυντικό μη-συρρικνούμενο κονίαμα

- 6 Έλασμα ανοξείδωτου χάλυβα διατομής 40x10χιλ. Πακτώνει λωρίδες ΙΩΠ

- 7 Πάκτωση ελάσματος ανοξ. χάλυβα στο τοίχωμα με εκτονούμενα αγκύρια $\Phi 10$ ανά 0.70μ (στο κενό των λωρίδων ΙΩΠ)

- 5 3 Λωρίδες ΙΩΠ πλάτους 0.6μ με κενό 0.10μ - συνολικό πάχος ανθρακοϋφάσματος τουλάχιστον 0.5 χιλ.



Δύο εξωτ. τοιχώματα (3.5m) ενισχύονται διατμητικά με ΙΩΠ ινών άνθρακα συνολικού πάχους: 0.4-0.5mm

