

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΕΑΚ, ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ '84 ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ '59 ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΜΕ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

ΡΑΥΤΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΝΑ

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η αποτίμηση ενός διώροφου κτιρίου με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Αρχικά σχεδιάστηκε το κτίριο με τον ΕΑΚ 2003, τα πρόσθετα άρθρα 1984 και τον κανονισμό 1959. Έπειτα έγινε η αποτίμηση του με τη μέθοδο της ανελαστικής στατικής ανάλυσης (pushover) για τα αποτελέσματα και των τριών κανονισμών. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται είναι το SCADA.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλά κτίρια στη χώρα μας έχουν κατασκευασθεί με παλαιότερους κανονισμούς με βάση τους οποίους οι απαιτήσεις για αντισεισμικό σχεδιασμό ήταν μικρές έως ανύπαρκτες. Αυτό οδήγησε πολλές κατασκευές να παρουσιάσουν βλάβες λόγω των σεισμών. Το συγκεκριμένο γεγονός καταδεικνύει την απαίτηση για έλεγχο πολλών κτιρίων που κατασκευάστηκαν με τους εν λόγω κανονισμούς και κατ' επέκταση τον ανασχεδιασμό ή επισκευή και ενίσχυση τους. Ο κανονισμός που ασχολείται με αυτές τις διαδικασίες στην Ελλάδα είναι ο ΚΑ.ΕΠΕ.

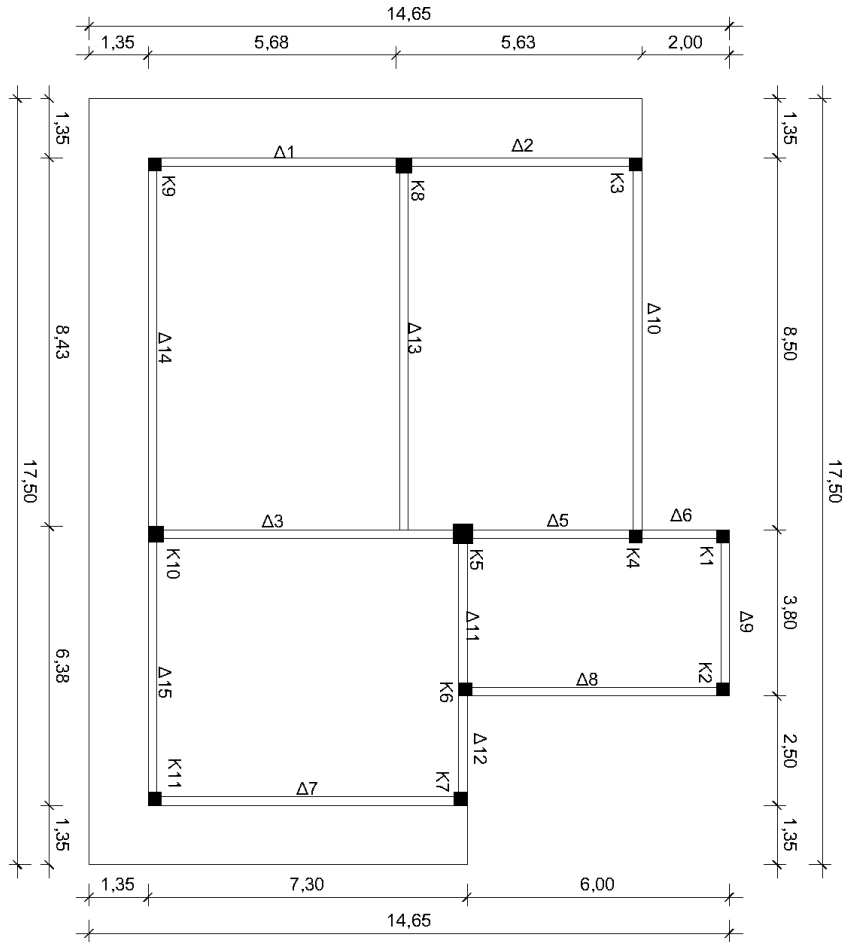
Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. αποτελεί ένα σύνολο κανονιστικών διατάξεων με σκοπό την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των υφιστάμενων κατασκευών, τον ανασχεδιασμό, την ενίσχυση και την επισκευή τους.

Για τους παραπάνω λόγους, στη συγκεκριμένη εργασία επιλέχτηκε ένα κτίριο το οποίο σχεδιάστηκε με τον κανονισμό του 1959, τα πρόσθετα άρθρα του 1984 και τον ΕΑΚ 2003. Μετά την ανάλυση του, με τους προαναφερθέντες κανονισμούς, έγινε η αποτίμηση του κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. για στάθμες επιτελεσματικότητας Β και Γ και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα μεταξύ τους.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

Η συγκεκριμένη κατασκευή είναι διώροφη από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ως θεμελίωση λήφθηκαν υπόψη πακτώσεις. Σχεδιάστηκε για περιοχή σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι, με κατηγορία εδάφους Β και σπουδαιότητα συνήθη. Τα υλικά είναι σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 και χάλυβας B500B.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ο ξυλότυπος της κατασκευής. Η μία του διάσταση είναι 17.50m και η άλλη 14.65m. Πρόβολοι υπάρχουν στις τρεις πλευρές του κτιρίου.



Σχήμα 2.1 Κάτοψη κτιρίου

Οι διαστάσεις των στοιχείων είναι οι εξής:

Υποστυλώματα: K1, K2, K3, K9 400/400
 K4, K6, K7, K11 450/450
 K5, K8 550/550
 K10 500/500

Οι δοκοί έχουν διαστάσεις 300/600. Οι πλάκες θεωρούνται χωρίς υπολογισμό ότι έχουν πάχος 150mm και είναι οπλισμένες σε δύο διευθύνσεις με $\Phi 8/150$. Επί των πλακών υπάρχει φορτίο από επίστρωση ίσο με 1.5 kN/m^2 . Τα κινητά φορτία είναι 2 kN/m^2 για τις πλάκες και 4 kN/m^2 για τους προβόλους. Το δάμα θεωρείται μη βατό. Περιμετρικά σε κάθε όροφο υπάρχει μπατική τοιχοποιία με εκτιμώμενο φαινόμενο βάρος 3.6 kN/m^2 επιφάνειας όψης και εσωτερικά, κάτω από κάθε δοκό, δρομική τοιχοποιία με φαινόμενο βάρος 2.1 kN/m^2 . Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η μείωση των φορτίων των τοιχοπληρώσεων λόγω ανοιγμάτων, τα φαινόμενα βάρη θεωρούνται μειωμένα κατά 50% και 35% αντίστοιχα.

3. ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (PUSHOVER)

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ανελαστική στατική ανάλυση είναι δημοφιλής μέθοδος ανάλυσης για την εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών. Χρησιμοποιείται από τους μελετητές για τον έλεγχο της σεισμικής επάρκειας υφιστάμενων, αλλά και νέων κατασκευών. Η εφαρμογή της αφορά στην επιβολή στο προσομοίωμα της κατασκευής στατικών σεισμικών φορτίων, προοδευτικά αυξανόμενων σε μέγεθος, έως την κατάρρευσή της.

Στόχος της ανελαστικής στατικής ανάλυσης είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία όταν το κτίριο υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός και η σύγκρισή τους με τις επιτρεπόμενες τιμές που προσδιορίζονται με βάση τη στοχευόμενη στάθμη επιτελεστικότητας.

Στην ανάλυση αυτή το προσομοίωμα του κτιρίου θα συνεκτιμά με άμεσο τρόπο τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά του νόμου δύναμης-παραμόρφωσης των δομικών στοιχείων. Το προσομοίωμα αυτό θα υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία κατανεμημένα κατά τρόπο ανάλογο προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, τα οποία θα αυξάνονται μονότονα, εν γένει μέχρις ότου κάποιο δομικό στοιχείο δεν είναι πλέον σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει η καμπύλη αντίστασης του κτιρίου, η οποία χαράσσεται σε όρους τέμνουσας βάσης-μετακίνησης χαρακτηριστικού σημείου του κτιρίου (κόμβος ελέγχου) το οποίο λαμβάνεται στην κορυφή του. Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας.

Αφού επιλεγεί η σεισμική δράση, ο έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας γίνεται για τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου. Ελέγχεται ότι για τη μετακίνηση αυτή η παραμόρφωση των πλαστικών δομικών στοιχείων δε συνεπάγεται βαθμό βλάβης μεγαλύτερο από εκείνον που γίνεται ανεκτός για τη σκοπούμενη στάθμη επιτελεστικότητας του κτιρίου. [1]

3.2 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Για την εξυπηρέτηση ευρύτερων κοινωνικο-οικονομικών αναγκών. Θεσπίζονται διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας υπό αντίστοιχους σεισμούς σχεδιασμού. Οι στάθμες επιτελεστικότητας του φέροντος οργανισμού ορίζονται συναρτήσει του βαθμού βλάβης ως εξής σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.:

«Περιορισμένες βλάβες» (Α): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει σε σημαντικό βαθμό και να διατηρούν την αντοχή και τη δυσκαμψία τους. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες.

«Σημαντικές βλάβες» (Β): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες αλλά επισκευάσιμες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν εναπομένονσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα στοιχεία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μέτριου μεγέθους. Ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμούς μέτριας έντασης.

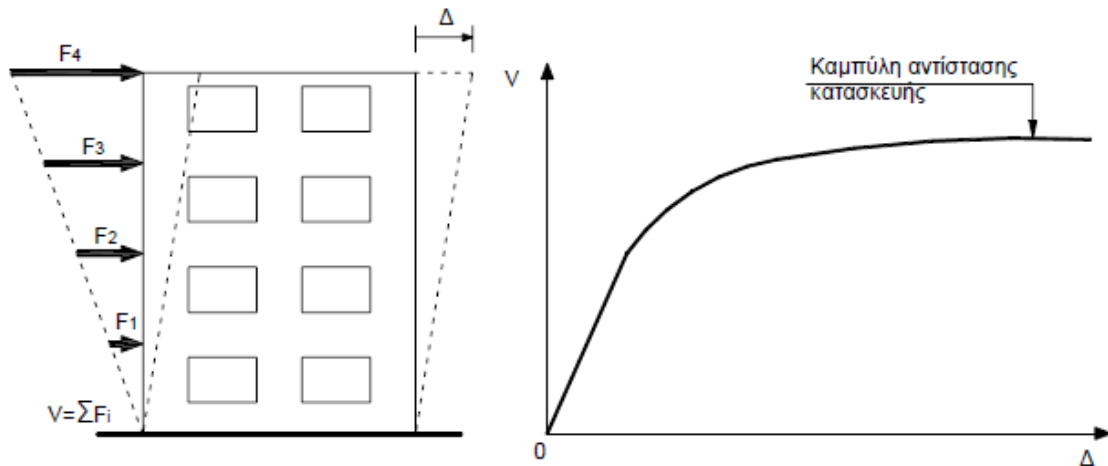
«Οιονεί κατάρρευση» (Γ): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές βλάβες. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμα την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα στοιχεία χωρίς πάντως να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμα και για μετασεισμούς μέτριας έντασης. [1]

3.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Ο καθορισμός των διάφορων σταθμών επιτελεστικότητας γίνεται πάνω στην καμπύλη αντίστασης του κτιρίου, η οποία εκφράζει τη μη γραμμική σχέση μεταξύ του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης της κορυφής.

Η κατασκευή της καμπύλης αντίστασης γίνεται με υπολογισμό της ανελαστικής μετακίνησης της κορυφής για διάφορες τιμές του οριζόντιου φορτίου, με δεδομένη κατανομή φορτίων στους ορόφους. Το οριζόντιο στατικό φορτία εφαρμόζονται στη στάθμη κάθε διαφράγματος και απαιτείται η εφαρμογή δύο τουλάχιστον διαφορετικών καθ' ύψος κατανομών, ώστε να λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή του τρόπου κατανομής των φορτίων λόγω ανελαστικοποίησης ορισμένων περιοχών του φορέα, αλλά και λόγω της επιρροής των

ανώτερων ιδιομορφών. Ως κατανομή των φορτίων καθ' ύψος μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ομοιόμορφη κατανομή, η τριγωνική κατανομή, η πρώτη ιδιομορφή ή ακόμη και περισσότεροι πολύπλοκοι συνδυασμοί με συμμετοχή ανώτερων ιδιομορφών. Για την κατασκευή αυτής της καμπύλης γίνονται πολλές στατικές επιλύσεις, με σταδιακή αύξηση της τέμνουσας βάσης και υπολογισμό της μετακίνησης της κορυφής σε κάθε βήμα λαμβάνοντας υπόψη τη μειωμένη δυσκαμψία των στοιχείων που έχουν διαρρεύσει. [2]



Σχήμα 3.1 κατασκευή της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής. [2]

3.4 ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ

Τα εντατικά μεγέθη και οι παραμορφώσεις του φορέα υπολογίζονται από την ανάλυση κατά τη στιγμή που η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου ισούται με τη στοχευόμενη μετακίνηση (δ_t). Η στοχευόμενη μετακίνηση θα υπολογίζεται συνεκτιμώντας κατάλληλα όλους τους παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται η μετακίνηση ενός ανελαστικά αποκρινόμενου κτιρίου.

Εφόσον δε χρησιμοποιείται ακριβέστερη προσέγγιση, η στοχευόμενη μετακίνηση επιτρέπεται να υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση (KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ5.6)):

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 (T_e^2 / 4\pi^2) S_{e(T)}$$

όπου $S_{e(T)}$ η ελαστική φασματική ψευδοεπιτάχυνση (από το φάσμα του ΕΚ 8-1) που αντιστοιχεί στην ισοδύναμη ιδιοπερίοδο της κατασκευής T_e (υπολογιζόμενη με βάση το σημείο καμπής του διαγράμματος δυνάμεων-μετακίνησης του φορέα, όπως ορίζεται στην §5.7.3.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.) και C_0 , C_1 , C_2 και C_3 διορθωτικοί συντελεστές που ορίζονται ως εξής:

C_0 : συντελεστής που συσχετίζει τη φασματική μετακίνηση του ισοδύναμου ελαστικού φορέα με δυσκαμψία K_e , με την πραγματική δ_t της κορυφής του ελαστοπλαστικά αποκρινόμενου φορέα.

C_1 : ο λόγος της μέγιστης ανελαστικής μετακίνησης ενός κτιρίου προς την αντίστοιχη ελαστική. $\delta_{inel} = \delta_{el}$

C_2 : συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή του σχήματος του βρόχου υστέρησης στη μέγιστη μετακίνηση.

C_3 : συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την αύξηση των μετακινήσεων λόγω φαινομένων 2ας τάξης.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Η αποτίμηση της κατασκευής έγινε για στάθμες επιτελεστικότητας Β και Γ, και για τους τρεις κανονισμούς, και για ορθογωνική και τριγωνική καθ' ύψος κατανομή (οι φορτίσεις φαίνονται στους παρακάτω πίνακες). Έπειτα, συγκρίθηκε η στοχευόμενη με τη μέγιστη μετακίνηση για να ελεγχθεί η επάρκεια του κτιρίου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.1, 4.2, 4.3.

ΕΑΚ					
	Φόρτιση	Στοχευόμενη μετακίνηση(m)		Μέγιστη μετακίνηση (m)	Επάρκεια
		B	Γ		
Ορθογωνική κατανομή	$F_x+0.3F_z$	0,021	0,024	0,047	ΝΑΙ
	$0.3F_z-F_x$	0,021	0,024	0,075	ΝΑΙ
	$F_z+0.3F_x$	0,034	0,038	0,070	ΝΑΙ
	$0.3F_x-F_z$	0,027	0,030	0,052	ΝΑΙ
Τριγωνική κατανομή	$F_x+0.3F_z$	0,021	0,024	0,060	ΝΑΙ
	$0.3F_z-F_x$	0,021	0,024	0,074	ΝΑΙ
	$F_z+0.3F_x$	0,034	0,038	0,100	ΝΑΙ
	$0.3F_x-F_z$	0,027	0,031	0,070	ΝΑΙ

Πίνακας 4.1 Στοχευόμενες και μέγιστες μετακινήσεις για τις αντίστοιχες στάθμες επιτελεστικότητας για ανάλυση με τον ΕΑΚ

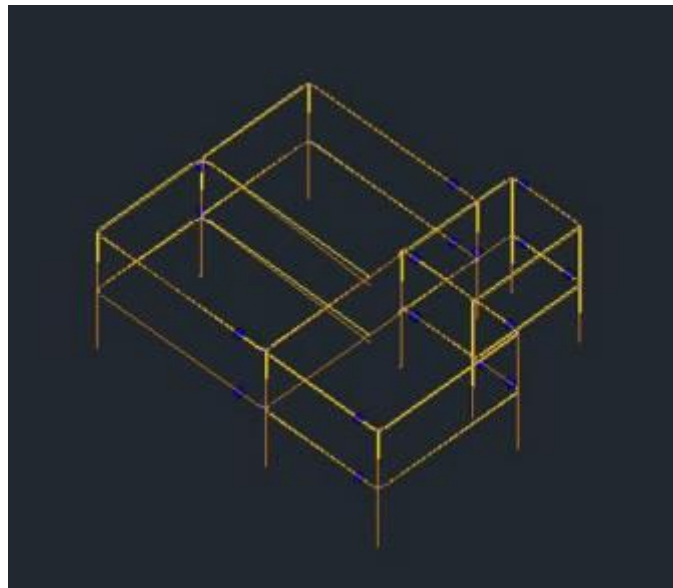
ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ '84					
	Φόρτιση	Στοχευόμενη μετακίνηση(m)		Μέγιστη μετακίνηση (m)	Επάρκεια
		B	Γ		
Ορθογωνική κατανομή	$F_x+0.3F_z$	0,017	0,020	0,042	ΝΑΙ
	$0.3F_z-F_x$	0,017	0,020	0,080	ΝΑΙ
	$F_z+0.3F_x$	0,032	0,036	0,080	ΝΑΙ
	$0.3F_x-F_z$	0,025	0,029	0,065	ΝΑΙ
Τριγωνική κατανομή	$F_x+0.3F_z$	0,017	0,020	0,050	ΝΑΙ
	$0.3F_z-F_x$	0,017	0,020	0,090	ΝΑΙ
	$F_z+0.3F_x$	0,033	0,036	0,080	ΝΑΙ
	$0.3F_x-F_z$	0,020	0,025	0,080	ΝΑΙ

Πίνακας 4.2 Στοχευόμενες και μέγιστες μετακινήσεις για τις αντίστοιχες στάθμες επιτελεστικότητας για ανάλυση με τον κανονισμό του '84

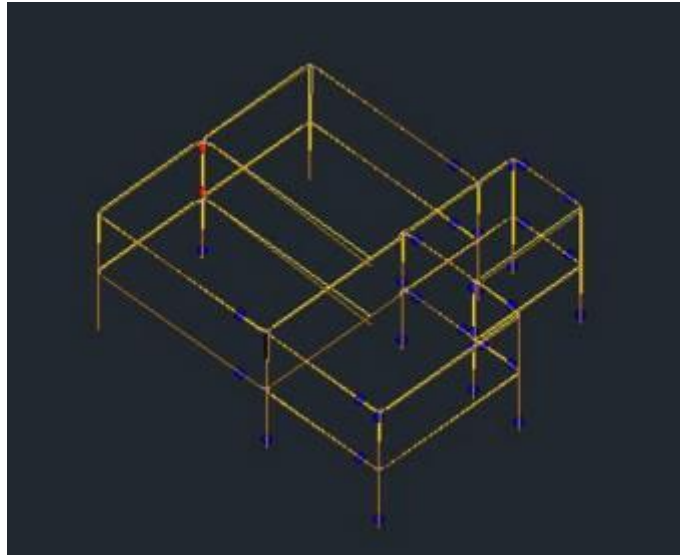
ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ '59					
	Φόρτιση	Στοχευόμενη μετακίνηση(m)		Μέγιστη μετακίνηση (m)	Επάρκεια
		B	Γ		
Ορθογωνική κατανομή	$F_x+0.3F_z$	0,011	0,012	0,040	ΝΑΙ
	$0.3F_z-F_x$	0,012	0,014	0,125	ΝΑΙ
	$F_z+0.3F_x$	0,030	0,034	0,100	ΝΑΙ
	$0.3F_x-F_z$	0,016	0,018	0,125	ΝΑΙ
Τριγωνική κατανομή	$F_x+0.3F_z$	0,011	0,012	0,040	ΝΑΙ
	$0.3F_z-F_x$	0,014	0,016	0,100	ΝΑΙ
	$F_z+0.3F_x$	0,031	0,034	0,090	ΝΑΙ
	$0.3F_x-F_z$	0,017	0,018	0,100	ΝΑΙ

Πίνακας 4.3 Στοχευόμενες και μέγιστες μετακινήσεις για τις αντίστοιχες στάθμες επιτελεστικότητας για ανάλυση με τον κανονισμό του '59

Παρατηρούμε ότι η στοχευόμενη μετακίνηση για την κατασκευή που έχει σχεδιαστεί με ΕΑΚ είναι μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες των κατασκευών με κανονισμό του '84 και του '59. Επίσης, η κατασκευή επαρκεί για τις στάθμες επιτελεστικότητας Β και Γ. Αρχικά δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στις δοκούς (Σχήμα 4.1) και έπειτα από κάποια βήματα αστοχεί το υποστύλωμα Κ8 και για τους τρεις κανονισμούς (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.1 Οι πρώτες πλαστικές αρθρώσεις



Σχήμα 4.2 Αστοχία του υποστυλώματος K8

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] ΚΑΝ.ΕΠΕ.

[2] Ραγκούσης Ανδρέας, «Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς κτιρίου σχεδιασμένο με κανονισμό του '54/'59 μέσω στατικών ανελαστικών αναλύσεων (pushover)», 21ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2015, Πάτρα, Φεβρουάριος 2015.

