



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ**
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ
ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΑΙ ΔΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ”

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
“ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΔΟΚΟΥ -
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ”

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ
ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ
ΔΙΠΛ. ΠΟΛ. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΔΡ. ΡΕΠΑΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:	«Επιρροή των κόμβων δοκού - υποστυλώματος στη σεισμική συμπεριφορά υφιστάμενων κατασκευών»
ΦΟΙΤΗΤΗΣ:	Βερνάρδος Εμμανουήλ, Α.Μ. 58, Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:	Δρ. Ρεπαπής Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:	2017-2018

Σύνοψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής των κόμβων δοκού - υποστυλώματος στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, με έμφαση στα κτίρια που έχουν μελετηθεί με παλαιότερους κανονισμούς. Τα κτίρια αυτά είναι διαστασιολογημένα για μη σεισμικά κυρίως φορτία, με οπλισμό από λείους χάλυβες και χωρίς αντισεισμική διάταξη των οπλισμών, και άρα εξ' ορισμού πιο ευάλωτα στη σεισμική καταπόνηση. Η προσομοίωση των κόμβων γίνεται με ένα προτεινόμενο μοντέλο ικανό να προσεγγίσει την πραγματική συμπεριφορά του πυρήνα των κόμβων δοκού - υποστυλώματος, το οποίο είναι σχετικά απλό, υπολογιστικά μη απαγορευτικό, ακριβές και εφαρμόσιμο πρακτικά σε κάθε είδους κόμβο. Για τη διερεύνηση αυτή, εξετάστηκε ένα πενταώροφο πλαίσιο πέντε ανοιγμάτων, στο οποίο αρχικά πραγματοποιήθηκαν στατικές ανελαστικές αναλύσεις (αναλύσεις pushover) σε τρεις εκδόχες του: πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις, πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις και πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις (αναλύσεις χρονοϊστορίας) με τα επιταχυνσιογραφήματα των σεισμών της Καλαμάτας (1986), του Αιγίου (1996) και του Friuli (1976). Από τα συγκριτικά αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε πως, η επιρροή της πραγματικής ανελαστικής συμπεριφοράς των κόμβων, είναι αρκετά σημαντική και υπολογίσιμη, καθώς επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό – τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά – τα αποτελέσματα των αναλύσεων αποτίμησης φέρουσας ικανότητας, οδηγώντας σε πιο συντηρητικά αλλά και πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα. Οι τοιχοπληρώσεις επηρεάζουν και αυτές σημαντικά την καθολική σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών και γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στις μελέτες αποτίμησης, ιδίως όταν επιδρούν αρνητικά (για παράδειγμα με τη δημιουργία μαλακού ορόφου). Οι εσωτερικοί κόμβοι, λόγω της θέσης και της φύσης τους, είναι πιο ισχυροί και εν γένει δεν αστοχούν πριν από τα μέλη που συντρέχουν σε αυτούς. Αντίθετα, οι εξωτερικοί κόμβοι – κυρίως λόγω της ανεπαρκούς όπλισής τους και της εσφαλμένης ή μη αγκύρωσης των οπλισμών που εισέρχονται στον πυρήνα τους – αποτελούν αδύναμο σημείο των εξεταζόμενων κατασκευών, καθώς το σώμα των κόμβων αυτών αστοχεί διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς, γεγονός που επιβεβαιώνεται από πληθώρα παρατηρήσεων αστοχιών σε αντίστοιχες κατασκευές μετά από έντονα κυρίως σεισμικά γεγονότα.

POST-GRADUATE THESIS: **«Influence of beam-column joints on the seismic behaviour of existing structures»**

STUDENT: **Vernardos Emmanuel, R.Num. 58, Civil Engineer N.T.U.A.**

SUPERVISOR: **Dr. Repapis Constantinos, Assistant Professor, University of West Attica, School of Engineering, Department of Civil Engineering**

ACADEMIC YEAR: **2017-2018**

Abstract

The aim of this diploma thesis is to investigate the influence of the beam-column joints on the seismic behaviour of the existing reinforced concrete structures, with emphasis on the buildings studied with older regulations. These buildings are studied mainly for non-seismic loads, reinforced with plain bars and without seismic detailing, and therefore by definition more vulnerable to seismic stress. Simulation of joints is done with a suggested model capable of approaching the actual behaviour of the core of the beam-column joints, which is relatively simple, computationally non-prohibitive, accurate and practically applicable in any kind of joint. For this investigation, a five-storey frame of five spans was examined, in which nonlinear static analyses (pushover analyses) were initially carried out in three versions: frame without infill walls, frame with infill walls and frame with no infill walls on the ground floor. Subsequently, dynamic inelastic analyses (time histories) were carried out with the accelerations of the earthquakes of Kalamata (1986), Aigion (1996) and Friuli (1976). The comparative results of the analyses revealed that, the influence of the actual inelastic behaviour of the joints is significant and measurable as it affects greatly - both quantitatively and qualitatively - the results of the assessment of carrying capacity, leading to more conservative and more realistic results. Infill walls also significantly affect the overall seismic behaviour of structures and should therefore be taken into account in valuation studies, especially when they impact negatively (for example by creating a soft floor). Inner joints, due to their location and nature, are more powerful and generally do not fail before the members who join them. On the contrary, the outer joints - mainly due to their insufficient arming and the incorrect or non-anchoring of the reinforcements entering their core - are a weak point of the structures under consideration, as the body of these joints fails before the adjacent columns and beams, which is confirmed by a number of failures observations in corresponding constructions following severely seismic events.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής των κόμβων δοκού - υποστυλώματος στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, με έμφαση στα κτίρια που έχουν μελετηθεί με παλαιότερους κανονισμούς (προ 1985 για την Ελλάδα). Τα κτίρια της περιόδου αυτής έχουν διαστασιοποιηθεί κυρίως για στατικά μη σεισμικά φορτία, χωρίς κατασκευαστικές διατάξεις όπλισης με τις οποίες θα εξασφαλιζόταν μία πλάστιμη συμπεριφορά του δομήματος και θα αποφευγόταν η ψαθυρή αστοχία του κόμβου.

Μετά από έρευνα στη διεθνή κυρίως αλλά και στην εγχώρια βιβλιογραφία, διαπιστώθηκε πως το εν λόγω αντικείμενο απασχολεί έντονα την επιστημονική κοινότητα, με πληθώρα θεωρητικών και πειραματικών ερευνών. Οι περισσότερες θεωρητικές έρευνες χρησιμοποιούν πολύπλοκα μοντέλα (πολυελατηριακά μοντέλα, πεπερασμένα στοιχεία κ.ά.) τα οποία εστιάζουν κάθε φορά σε διάφορες παραμέτρους επιρροής της συμπεριφοράς του κόμβου (αντοχή πυρήνα σκυροδέματος, ολίσθηση ράβδων οπλισμού κ.ά.), ενώ συνήθως δεν μπορούν να τύχουν ευρείας εφαρμογής στα εμπορικά διαθέσιμα προγράμματα στατικών αναλύσεων. Επιπλέον, δεν υφίστανται αρκετές έρευνες που να εξετάζουν την επιρροή των κόμβων στη συνολική συμπεριφορά του κτιρίου, με ακόμα λιγότερες από αυτές να αφορούν σε παλαιότερα κτίρια, τα οποία μειονεκτούν αντικειμενικά σε σχέση με τα νεότερα. Σε πειραματικό επίπεδο, υπάρχει πληθώρα δεδομένων για εξωτερικούς και εσωτερικούς κόμβους, κατασκευασμένους με ή χωρίς αντισεισμικές διατάξεις, τα οποία βεβαίως εξετάζουν την τοπική και όχι την καθολική συμπεριφορά.

Στο πλαίσιο αυτό, προτείνεται ένα αναλυτικό μοντέλο προσομοίωσης της πραγματικής ανελαστικής συμπεριφοράς των κόμβων δοκού – υποστυλώματος φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα, βασισμένο στο μοντέλο των Sharma et al (2011a), με τη διαφορά πως επιλέγεται μία τροποποιημένη εκδοχή της μεθοδολογίας του Yiyue (2015) για τον αναλυτικό υπολογισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα χρησιμοποιηθούν, η οποία επεκτάθηκε και σε άλλους τύπους κόμβων (εξωτερικούς, εσωτερικούς, ακραίους μορφής L ή μορφής T). Το προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιεί έναν περιορισμένο αριθμό ελατηρίων (ένα στροφικό στο δοκό και δύο διατμητικά στο υποστύλωμα στην περίπτωση εξωτερικού κόμβου), σε αντίθεση με άλλα προτεινόμενα μοντέλα στη βιβλιογραφία, τα οποία χρησιμοποιούν είτε πολλαπλά ελατήρια είτε εξειδικευμένα στοιχεία που προσομοιώνουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πυρήνα του κόμβου, χωρίς πάντα να είναι εφικτό να υπολογιστούν με προσιτό τρόπο τα δεδομένα εκείνα που περιγράφουν τους καταστατικούς νόμους των στοιχείων προσομοίωσης. Επίσης, με την τροποποιημένη εκδοχή της μεθοδολογίας του Yiyue (2015) για τον αναλυτικό υπολογισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο προσομοίωσης, καθίσταται ευκολότερος ο τρόπος υπολογισμού τους και επιπλέον είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του και σε άλλου είδους κόμβους, πλην των εξωτερικών κόμβων ενδιάμεσων ορόφων. Το γεγονός αυτό, δηλαδή της σχετικής απλότητας του μοντέλου, το καθιστά πρακτικό, υπολογιστικά μη

απαγορευτικό, ακριβές και εφαρμόσιμο σε αρκετές περιπτώσεις, κάτι που αποτελεί το βασικότερο ίσως πλεονέκτημά του.

Η τροποποιημένη αναλυτική μεθοδολογία εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών των στοιχείων του μοντέλου και εισήχθησαν στο πρόγραμμα ανελαστικής ανάλυσης (ETABS), με το οποίο έγιναν στατικές και δυναμικές αναλύσεις προκειμένου να διερευνηθεί η επιρροή των κόμβων στην καθολική συμπεριφορά της κατασκευής.

Από τις ανελαστικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο εξεταζόμενο πλαίσιο και στις τρεις εκδοχές του, προέκυψε το πρωταρχικό συμπέρασμα πως το ίδιο πλαίσιο με ή χωρίς το προτεινόμενο μοντέλο των κόμβων, διατηρεί τα περιοδικά του χαρακτηριστικά και άρα δεν αλλοιώνεται η δυσκαμψία του ταλαντωτή. Έτσι, η όποια διαφορετική συμπεριφορά του πλαισίου αναφορικά με την εκτιμώμενη αντοχή του και τις μέγιστες αναμενόμενες μετακινήσεις οροφής, είναι συνέπεια αποκλειστικά και μόνο του είδους, του πλήθους και της θέσης των προσδοκώμενων βλαβών που λαμβάνουν χώρα στο φορέα κατά την ανάλυση. Κατά συνέπεια, η αλληλουχία των διαφορετικών αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στα μέλη του φορέα, είναι αυτή που καθορίζει την καθολική του συμπεριφορά και τις μέγιστες αναμενόμενες αντοχές του. Αυτό σημαίνει πως, το προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, είναι καταρχάς αξιόπιστο και δύναται να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την επιρροή των κόμβων στην καθολική σεισμική απόκριση της κατασκευής, κατόπιν σύγκρισης των αποτελεσμάτων των αναλύσεων με και χωρίς την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης.

Αναφορικά με το κυρίως αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας που είναι η διερεύνηση της επιρροής των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών, προέκυψε πως η εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων διαφοροποίησε σημαντικά τόσο την καθολική όσο και την τοπική συμπεριφορά της εξεταζόμενης κατασκευής. Ειδικότερα, στην περίπτωση που θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο χωρίς το μοντέλο προσομοίωσης), υπερεκτιμάται σε μεγάλο βαθμό η συνολική αντοχή του πλαισίου ενώ αναμένονται και μεγαλύτερες μετακινήσεις οροφής. Επίσης, μειώνεται σημαντικά το πλήθος των τοπικών αστοχιών. Αντίθετα, όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την υιοθέτηση και εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης (πλαίσιο με κόμβους), η συνολική αντοχή του πλαισίου προκύπτει πιο συντηρητική αλλά και πιο ρεαλιστική, καθώς προσεγγίζει την πειραματική. Επιπλέον, με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, διαφοροποιείται σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, επηρεάζοντας σημαντικά τις θέσεις των πιθανών ενισχυτικών επεμβάσεων στο φορέα καθώς και το είδος των ενισχύσεων. Έτσι, οι τοπικές αστοχίες είναι εν γένει περισσότερες ή σε διαφορετικές θέσεις, ενώ παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους. Η συμπεριφορά των εσωτερικών κόμβων, ως αντικειμενικά πιο ισχυρών λόγω του οπλισμού που διέρχεται από τον πυρήνα τους και πρακτικά αγκυρώνεται πέραν των κρίσιμων διατομών των στοιχείων που συντρέχουν σε αυτόν, δεν διαφοροποιείται σημαντικά καθώς ο πυρήνας τους αποδεικνύεται αρκετά ισχυρός και με μεγαλύτερη αντοχή από αυτή των εξωτερικών κόμβων. Ακόμα όμως και σε αυτή την περίπτωση, αναπτύσσονται περισσότερες πλαστικές αρθρώσεις στα συντρέχοντα δοκάρια και υποστυλώματα, από ότι να είχαν θεωρηθεί

οι κόμβοι ως πλήρως άκαμπτοι. Τέλος, οι τοιχοπληρώσεις επηρεάζουν και αυτές σημαντικά την καθολική σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών και γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στις μελέτες αποτίμησης, ιδίως όταν επιδρούν αρνητικά (για παράδειγμα με τη δημιουργία μαλακού ορόφου). Τα πλήρως τοιχοπληρωμένα εξωτερικά φατνώματα των πλαισίων προσδίδουν στο πλαίσιο αρκετή πρόσθετη ακαμψία ικανή να υπερκαλύψει την όποια αρνητική επίδραση της συμπεριφοράς των κόμβων στην καθολική αντοχή του πλαισίου.

Ευχαριστίες

Η Διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί το επιστέγασμα των διετών σπουδών μου για λήψη Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης. Είναι ένα ακόμα βήμα στη διαρκή προσπάθειά μου για περαιτέρω επιστημονική κατάρτιση ως Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός και πραγματοποιήθηκε σε ένα αντικείμενο που πάντα με ενδιέφερε, αυτό της σεισμικής αποτίμησης και αντισεισμικής αναβάθμισης των υφιστάμενων κατασκευών. Για την ολοκλήρωση του κύκλου αυτού, εκτός από προσωπική προσπάθεια, απαιτήθηκε και σημαντική βοήθεια από πρόσωπα τα οποία θέλω να μνημονεύσω και να ευχαριστήσω.

Αρχικά, θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής Δρ. Ρεπαπή Κωνσταντίνο, τόσο για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας όσο και για την επιστημονική του καθοδήγηση και υποστήριξη σε όλα τα στάδια εκπόνησής της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τη σύζυγό μου και συνάδελφο Μαριάννα Αγγελιδάκη για την προτροπή έναρξης αυτού του ταξιδιού, την πολύτιμη βοήθειά της και τη διαρκή στήριξη όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τις οικογένειές μας και ιδιαίτερα τα τρία υπέροχα παιδιά μας, για την κατανόηση, την υπομονή και την συμπαράστασή τους.

Βερνάρδος Α. Εμμανουήλ

*Στον Ασρινό, τον Αντώνη
και τη Βικτωρία*

Περιεχόμενα

Σύνοψη	i
Abstract	ii
Περίληψη	iii
Ευχαριστίες	vii
Περιεχόμενα	xi
Κεφάλαιο 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενική ανασκόπηση	1
1.2 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας	3
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας	4
Κεφάλαιο 2	7
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	7
2.1 Εισαγωγή	7
2.2 Μοντέλα πρόβλεψης διατμητικής αντοχής κόμβου	7
2.3 Ανασκόπηση μοντέλων προσομοίωσης κόμβων	15
2.4 Συμπεράσματα επί της βιβλιογραφικής ανασκόπησης	25
Κεφάλαιο 3	27
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ.....	27
3.1 Εισαγωγή	27
3.2 Περιγραφή προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης	28
3.2.1 Βασικές αρχές μοντέλου	28
3.2.2 Μοντελοποίηση παραμόρφωσης κόμβου	29
	xi

3.2.3	Προσδιορισμός ελατηριακών χαρακτηριστικών	31
3.2.4	Εκτίμηση διατμητικής αντοχής κόμβου	31
3.2.5	Αναλυτικός υπολογισμός ελατηριακών χαρακτηριστικών	32
3.2.6	Τυπολόγιο μοντέλου Yiyue (2015) για εξωτερικό κόμβο	34
3.2.7	Τυπολόγιο μοντέλου Yiyue (2015) για εσωτερικό κόμβο	35
3.2.8	Τυπολόγιο μοντέλου Yiyue (2015) για εξωτερικό κόμβο τύπου L	36
3.2.9	Τυπολόγιο μοντέλου Yiyue (2015) για εξωτερικό κόμβο τύπου T	36
3.3	Συνοπτική επισκόπηση και πλεονεκτήματα του μοντέλου προσομοίωσης	37
Κεφάλαιο 4		39
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....		39
4.1	Εισαγωγή	39
4.2	Περιγραφή της κατασκευής	39
4.3	Αξονικά φορτία από τον συνδυασμό g+0,30q	48
4.4	Εκτίμηση διατμητικής αντοχής κόμβου	48
4.4.1	Ανελαστική συμπεριφορά εξωτερικού κόμβου	48
4.4.2	Ανελαστική συμπεριφορά εσωτερικού κόμβου	49
4.4.3	Ανελαστική συμπεριφορά εξωτερικού κόμβου τελευταίας στάθμης τύπου T	50
4.5	Αναλυτικός υπολογισμός ελατηριακών χαρακτηριστικών	50
4.5.1	Εισαγωγή	50
4.5.2	Κόμβοι ισογείου	50
4.5.2.1	Ακραίοι εξωτερικοί κόμβοι ισογείου (άξονες A1 & E1)	50
4.5.2.2	Εσωτερικοί κόμβοι ισογείου (άξονες B1 & D1)	53
4.5.2.3	Εσωτερικός κόμβος ισογείου (άξονας C1)	55
4.5.3	Κόμβοι α' ορόφου	56
4.5.3.1	Ακραίοι εξωτερικοί κόμβοι α' ορόφου (άξονες A1 & E1)	56

4.5.3.2	Εσωτερικοί κόμβοι α' ορόφου (άξονες B1 & D1)	58
4.5.3.3	Εσωτερικός κόμβος α' ορόφου (άξονας C1)	60
4.5.4	Κόμβοι β' ορόφου	62
4.5.4.1	Ακραίοι εξωτερικοί κόμβοι β' ορόφου (άξονες A1 & E1)	62
4.5.4.2	Εσωτερικοί κόμβοι β' ορόφου (άξονες B1 & D1)	64
4.5.4.3	Εσωτερικός κόμβος β' ορόφου (άξονας C1)	66
4.5.5	Κόμβοι γ' ορόφου	68
4.5.5.1	Ακραίοι εξωτερικοί κόμβοι γ' ορόφου (άξονες A1 & E1)	68
4.5.5.2	Εσωτερικοί κόμβοι γ' ορόφου (άξονες B1 & D1)	70
4.5.5.3	Εσωτερικός κόμβος γ' ορόφου (άξονας C1)	72
4.5.6	Κόμβοι δ' ορόφου	74
4.5.6.1	Ακραίοι εξωτερικοί κόμβοι δ' ορόφου (άξονες A1 & E1)	74
4.5.6.2	Εξωτερικοί κόμβοι τύπου T δ' ορόφου (άξονες B1 & D1)	76
4.5.6.3	Εξωτερικός κόμβος τύπου T δ' ορόφου (άξονας C1)	78
4.6	Εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης στο λογισμικό	80
4.7	Συνοπτική επισκόπηση επί της εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης	88
Κεφάλαιο 5		89
ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ.....		89
5.1	Εισαγωγή	89
5.2	Στατική ανελαστική ανάλυση πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής	89
5.2.1	Αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις	89
5.2.2	Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων χωρίς τοιχοπληρώσεις	92
5.2.3	Συγκριτικά αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής	95

5.3	Στατική ανελαστική ανάλυση πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει φορτίου ορθογωνικής κατανομής	98
5.3.1	Αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις	98
5.3.2	Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων χωρίς τοιχοπληρώσεις	100
5.3.3	Συγκριτικά αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει φορτίου ορθογωνικής κατανομής	103
5.4	Στατική ανελαστική ανάλυση πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει φορτίου τριγωνικής κατανομής	105
5.4.1	Αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις	105
5.4.2	Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων χωρίς τοιχοπληρώσεις	108
5.4.3	Συγκριτικά αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει φορτίου τριγωνικής κατανομής	111
5.5	Στατική ανελαστική ανάλυση πλαισίου με τοιχοπληρώσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής	113
5.5.1	Αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις	113
5.5.2	Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις	116
5.5.3	Συγκριτικά αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων πλαισίου με τοιχοπληρώσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής	118
5.6	Στατική ανελαστική ανάλυση πλαισίου με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο βάσει της πρώτης ιδιομορφής	121
5.6.1	Αρχικό πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο	121
5.6.2	Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο	123
5.6.3	Συγκριτικά αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων πλαισίου με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο βάσει της πρώτης ιδιομορφής	127
5.7	Συνοπτική επισκόπηση αποτελεσμάτων στατικών ανελαστικών αναλύσεων	129
Κεφάλαιο 6		133
ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ.....		133
6.1	Εισαγωγή	133

6.2	Δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις με το σεισμό της Καλαμάτας	136
6.2.1	Αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις	136
6.2.2	Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων χωρίς τοιχοπληρώσεις	142
6.2.3	Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό της Καλαμάτας για το πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις	147
6.2.4	Αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις	152
6.2.5	Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις	156
6.2.6	Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό της Καλαμάτας για το πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις	162
6.2.7	Αρχικό πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο	167
6.2.8	Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο	171
6.2.9	Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό της Καλαμάτας για το πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο	177
6.3	Δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις με το σεισμό του	181
6.3.1	Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Αιγίου για το πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις	182
6.3.2	Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Αιγίου για το πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις	188
6.3.3	Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Αιγίου για το πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο	194
6.4	Δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις με το σεισμό του Friuli	200
6.4.1	Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Friuli για το πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις	200
6.4.2	Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Friuli για το πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις	206
6.4.3	Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Friuli για το πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο	212
6.5	Συνοπτική επισκόπηση αποτελεσμάτων δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων	217

Κεφάλαιο 7	223
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	223
7.1 Εισαγωγή	223
7.2 Σύνοψη συμπερασμάτων	224
7.3 Περαιτέρω έρευνα	226
7.4 Επίλογος	227
Περιεχόμενα Σχημάτων	229
Περιεχόμενα Πινάκων	243
Βιβλιογραφία – Αναφορές	245

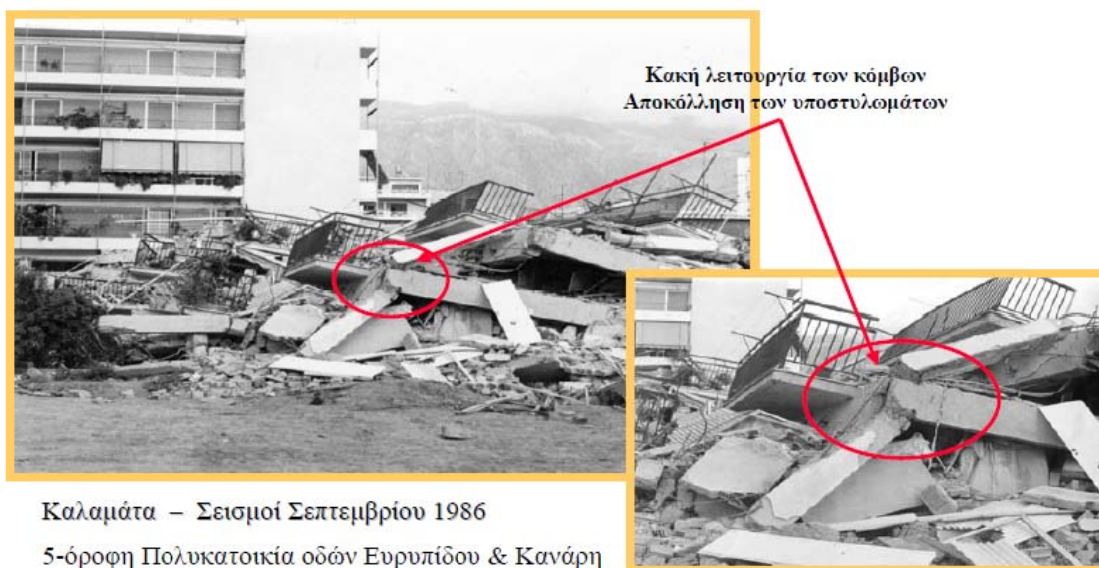
Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική ανασκόπηση

Τα τελευταία χρόνια, ιδίως μετά την εφαρμογή για πρώτη φορά του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2017) στη χώρα μας και σε συνάρτηση με την απότομη πτώση της οικοδομικής δραστηριότητας, παρουσιάζεται αύξηση στο αντικείμενο της αποτίμησης της φέρουσας ικανότητας των υφιστάμενων κατασκευών και κυρίως αυτών με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, που αποτελούν και τον κύριο όγκο των υφιστάμενων δομημάτων.

Η ανάγκη αφενός για αξιοποίηση των υφιστάμενων κτιρίων και αφετέρου για εξασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας τους, κυρίως έναντι των τυχηματικών δράσεων όπως είναι ο σεισμός, ώθησε την επιστημονική κοινότητα στην αναζήτηση αξιόπιστων μεθόδων αποτίμησης της φέρουσας ικανότητας των υφιστάμενων κτιρίων. Πολύτιμος σύμμαχος σε αυτή την προσπάθεια είναι η τεράστια εμπειρία των μηχανικών ανά τον κόσμο μέσα από τις παρατηρήσεις των βλαβών σε κτίρια μετά από σεισμικά γεγονότα καθώς και η πληθώρα ερευνητικών προγραμμάτων τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πειραματικό επίπεδο.



Σχήμα 1.1. Αστοχία κόμβου στο σεισμό της Καλαμάτας (Καραγιάννης, 2008)

Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε κτίρια που εμφάνισαν σημαντικές βλάβες ή ακόμα και κατάρρευση μετά από κάποιο σεισμό, αποδείχθηκε πως τα κτίρια που έχουν διαστασιολογηθεί με παλαιότερους κανονισμούς (προ 1985 για την Ελλάδα), είναι ευάλωτα σε ανακυκλιζόμενη οριζόντια φόρτιση. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός πως τα κτίρια αυτά έχουν διαστασιολογηθεί για μη σεισμικά κυρίως φορτία, έχουν οπλισμούς από λείους χάλυβες μικρής αντοχής και τα μέλη τους δεν έχουν οπλιστεί σύμφωνα με την αντισεισμική αντίληψη των σύγχρονων κανονισμών, οι οποίοι ως στόχο έχουν την ανάπτυξη πλαστικών και όχι ψαθυρών βλαβών.



Σχήμα 1.2. Αστοχία κόμβου στο σεισμό του Αιγίου (Καραγιάννης, 2008)

Επιπλέον, κρίσιμοι παράγοντες είναι η ελλιπής ή ανεπαρκής συντήρηση των κατασκευών αυτών, η μη επιμελημένη ενίσχυση ή επισκευή τους μετά από ένα σεισμικό γεγονός και οι άνευ ελέγχου από επιστημονικό προσωπικό επεμβάσεις – τροποποιήσεις στα φέροντα και μη στοιχεία του κτιρίου. Οι τελευταίοι αυτοί παράγοντες δεν αποτελούν αντικείμενο έρευνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

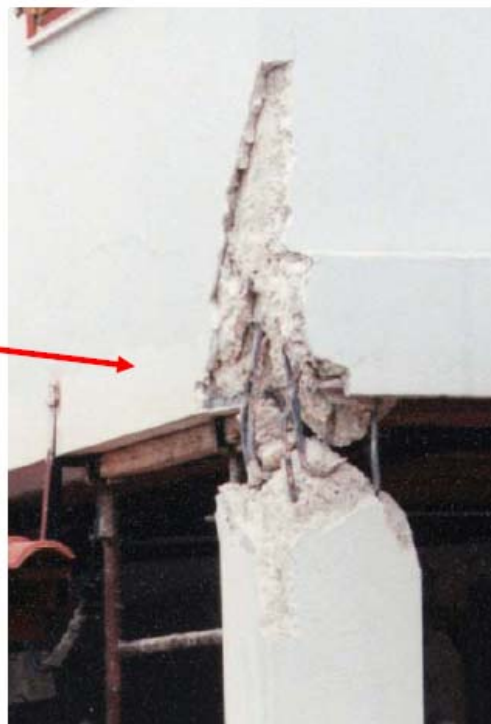
Η δομική αξία των κόμβων δοκού – υποστυλώματος άρχισε να γίνεται αντιληπτή, μέσα από τη σεισμική απόκριση των πλαισιωτών κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, στα μέσα της δεκαετίας του '70. Από τις παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά από σεισμικά γεγονότα τόσο στο εξωτερικό όσο και στην Ελλάδα, έγινε φανερό πως οι κόμβοι αποδείχθηκαν πολλές φορές ίσως το πιο αδύναμο τμήμα του δομικού συστήματος, από το οποίο συχνά αρχίζει η αστοχία (Καραγιάννης, 2008). Σύμφωνα με την αντίληψη που επικρατούσε διεθνώς αναφορικά

με την αντοχή των κόμβων μέχρι και την αρχή της δεκαετίας του '80, οι κόμβοι θεωρούνταν ως πλήρως άκαμπτοι, απαραμόρφωτοι και εξ ορισμού ικανοί να μεταβιβάζουν τα εντατικά μεγέθη των συντρεχόντων μελών με ασφάλεια. Ο μύθος αυτός καταρρίφθηκε στην πράξη και οδήγησε στην υιοθέτηση των επόμενων κανονισμών, οι οποίοι αντιμετώπισαν το πρόβλημα αρχικά με εμπειρικές κατασκευαστικές διατάξεις και στη συνέχεια (σύγχρονοι κανονισμοί) με επιπλέον ελέγχους κατά το στάδιο της μελέτης των νέων κατασκευών.



Αθήνα, περιοχή Θρακομακεδόνων.
Σεισμός της 7ης Σεπτεμβρίου 1999.

Δώροφη κατοικία. Αστοχία ακραίου κόμβου και ψαθυρή (διατμητική) αστοχία κεφαλής υποστυλώματος. Παρατηρείται αστοχία αγκυρώσεων των διαμήκων οπλισμών των στοιχείων που συντρέχουν στον κόμβο και έλλειψη συνδετήρων.



Σχήμα 1.3. Αστοχία κόμβου στο σεισμό της Αθήνας (Καραγιάννης, 2008)

1.2 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Με δεδομένη την ανωτέρω διαπίστωση, αναφορικά με την προέχουσα σημασία της πραγματικής συμπεριφοράς των κόμβων δοκού – υποστυλώματος στη σεισμική απόκριση ενός κτιρίου, αποκτά ιδιαίτερη σημασία η κατανόηση του τρόπου συμπεριφοράς του πυρήνα ενός κόμβου υπό σεισμική καταπόνηση, καθώς και η εύρεση του τρόπου όπου όλη αυτή η γνώση και εμπειρία θα βρει πεδίο εφαρμογής στη μελέτη αποτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Στη διεθνή αλλά και στην εγχώρια επιστημονική βιβλιογραφία, απαντάται πληθώρα ερευνών τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πειραματικό επίπεδο, οι οποίες ασχολούνται με τη διερεύνηση της συμπεριφοράς των κόμβων σε σεισμική καταπόνηση, κυρίως σε τοπικό επίπεδο. Οι έρευνες αυτές παρέχουν αρκετά στοιχεία που μας οδηγούν στην κατανόηση του τρόπου μεταφοράς της εξωτερικά επιβαλλόμενης έντασης από τα συντρέχοντα στον κόμβο μέλη της υπερκείμενης στάθμης προς τα στοιχεία της υποκείμενης στάθμης, διαμέσου του πυρήνα του κόμβου. Έτσι σήμερα, είναι γνωστοί οι καταστατικοί νόμοι που διέπουν τη συμπεριφορά των κόμβων σε

ανακυκλιζόμενη οριζόντια φόρτιση, καθώς και η επιρροή διαφόρων παραμέτρων σχεδίασης σε αυτήν. Μέσα από την κατανόηση του ανωτέρω μηχανισμού μεταφοράς δυνάμεων, προέκυψε η ανάγκη να βρεθεί τρόπος ώστε να είναι δυνατός ο συνυπολογισμός της πραγματικής συμπεριφοράς του κόμβου δοκού – υποστυλώματος στην εκπόνηση μελετών αποτίμησης υφιστάμενων κατασκευών.

Σκοπός λοιπόν της διπλωματικής εργασίας, είναι αρχικά ο καθορισμός ενός αναλυτικού μοντέλου προσομοίωσης της πραγματικής ανελαστικής συμπεριφοράς των κόμβων, το οποίο θα είναι σχετικά απλό, ακριβές, υπολογιστικά μη απαγορευτικό και εφικτό να τύχει εφαρμογής σε διαθέσιμα εμπορικά προγράμματα ανελαστικών αναλύσεων. Στη συνέχεια, με εργαλείο το προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, θα γίνει διερεύνηση της επιρροής των κόμβων δοκού – υποστυλώματος στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια. Μετά την εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), στο Κεφάλαιο 2 παρατίθεται η σχετική με το θέμα βιβλιογραφική ανασκόπηση, χωρισμένη σε δύο μέρη. Στην ενότητα 2.2 γίνεται εκτενής αναφορά στα διάφορα μοντέλα πρόβλεψης της διατμητικής αντοχής ενός κόμβου, από τα οποία προκύπτουν οι καταστατικοί νόμοι που διέπουν τη συμπεριφορά του πυρήνα του κόμβου κατά την μεταφορά των διατμητικών δυνάμεων διαμέσου αυτού. Επίσης, στην ίδια ενότητα γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην αναλυτική διαδικασία υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας του κόμβου (Yiyue, 2015), η οποία θα αποτελέσει την αφετηρία για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης. Ακολουθώντας, στην ενότητα 2.3 γίνεται ανασκόπηση των προτεινόμενων από τη διεθνή κυρίως βιβλιογραφία μοντέλων προσομοίωσης κόμβων, με αναφορά στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματα που έχουν.

Στο Κεφάλαιο 3 αναπτύσσεται το προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, βασισμένο στην πρόταση των Sharma et al (2011a), σύμφωνα με το οποίο ο κόμβος προσομοιώνεται με τρία ελατήρια (στην περίπτωση εξωτερικού κόμβου), ένα στροφικό στη δοκό και δύο διατμητικά στα συντρέχοντα υποστυλώματα. Ειδικότερα, αφού παρουσιασθούν οι βασικές αρχές του μοντέλου και η μοντελοποίηση της παραμόρφωσης του κόμβου, προσδιορίζονται τα ελατηριακά χαρακτηριστικά των στοιχείων του προσομοιώματος, η υιοθετούμενη θεωρία εκτίμησης της διατμητικής αντοχής του κόμβου και τέλος, παρουσιάζονται οι εξισώσεις αναλυτικού υπολογισμού των ελατηριακών χαρακτηριστικών.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 4, αφού περιγραφεί η κατασκευή που θα χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της επιρροής των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, παρουσιάζονται οι καμπύλες εκτίμησης – πρόβλεψης της διατμητικής αντοχής του κόμβου, δηλαδή ο καθορισμός των κρίσιμων τιμών της ανελαστικής συμπεριφοράς αυτού, πρώτα για εξωτερικό και μετά για εσωτερικό κόμβο. Ακολουθώντας, παρατίθενται οι αναλυτικοί υπολογισμοί των ελατηριακών χαρακτηριστικών κάθε

κόμβου της εξεταζόμενης κατασκευής και τέλος, περιγράφεται ο τρόπος εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης στο λογισμικό ανελαστικής ανάλυσης ETABS.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των στατικών ανελαστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στις τρεις εκδοχές του εξεταζόμενου πλαισίου (χωρίς τοιχοπληρώσεις, με τοιχοπληρώσεις και με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο), με και χωρίς το προσομοίωμα των κόμβων, καθώς και τα συγκριτικά αποτελέσματα από τις αναλύσεις. Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκαν στατικές ανελαστικές αναλύσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής σε όλα τα πλαίσια, ενώ για το πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις έγιναν επιπλέον αναλύσεις με ορθογωνική και τριγωνική κατανομή του επιβαλλόμενου φορτίου. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται μία συνοπτική επισκόπηση των συγκριτικών αποτελεσμάτων των στατικών ανελαστικών αναλύσεων.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων (αναλύσεις χρονοϊστορίας) που πραγματοποιήθηκαν στις τρεις εκδοχές του εξεταζόμενου πλαισίου, με και χωρίς το προσομοίωμα των κόμβων, καθώς και τα συγκριτικά αποτελέσματα από τις αναλύσεις. Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκαν τρεις δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις με τα επιταχυνσιογραφήματα των σεισμών της Καλαμάτας (1986), του Αιγίου (1996) και του Friuli (1976) σε όλα τα πλαίσια, με το λογισμικό ETABS, από τις οποίες προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για τη σεισμική απόκριση των πλαισίων και την επιρροή των κόμβων σε αυτή.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7, παρουσιάζονται συνοπτικά τα σημαντικότερα συμπεράσματα σχετικά με την επιρροή των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών, τα οποία προέκυψαν από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τόσο των στατικών όσο και των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων, καταλήγοντας σε προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Κεφάλαιο 2

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Στη διεθνή κυρίως βιβλιογραφία υφίσταται πληθώρα μελετών και ερευνών που σαν στόχο έχουν τη διερεύνηση της πραγματικής συμπεριφοράς των κόμβων δοκών – υποστυλωμάτων κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, χρησιμοποιώντας είτε υπολογιστικά – αναλυτικά (Genesio, 2012) είτε πειραματικά μοντέλα [Tsonos (2005), Καραγιάννης κ.ά. (2003), Καραγιάννης & Σιρκελής (2003), Karayannis et al (1995, 1998) και Ricci et al (2016)]. Από τις δημοσιεύσεις αυτές αντλούνται χρήσιμα στοιχεία για τη δημιουργία διαγραμμάτων εντάσεων – παραμορφώσεων (ροπής – στροφής, τέμνουσας – μετακίνησης), τα οποία ουσιαστικά μας παρέχουν τους καταστατικούς νόμους που προσπαθούν να περιγράψουν την πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος (Priestley, 1997 και Pampanin et al, 2002).

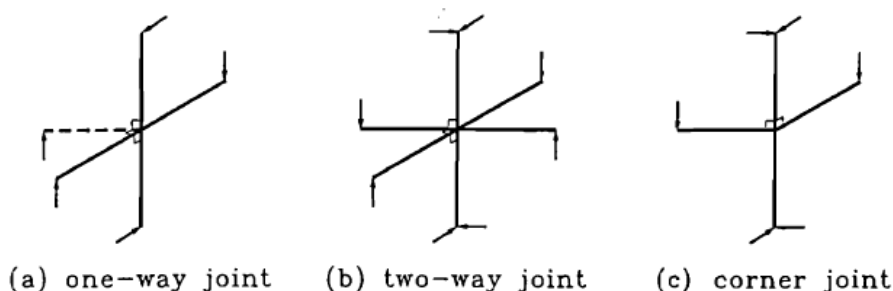
Η χρησιμότητα των ανωτέρω γίνεται εύκολα αντιληπτή από το γεγονός πως, αρκετοί ερευνητές θέλησαν να διερευνήσουν τον τρόπο με τον οποίο οι πληροφορίες αυτές θα βρουν πεδίο εφαρμογής στη μελέτη τόσο των νέων, αλλά κυρίως στην αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των υφιστάμενων κατασκευών που έχουν διαστασιολογηθεί για φορτία βαρύτητας, οι οποίες είναι εξ ορισμού και πιο ευάλωτες στη σεισμική καταπόνηση.

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία αναλυτική βιβλιογραφική ανασκόπηση τόσο των μοντέλων πρόβλεψης της διατμητικής αντοχής των κόμβων όσο και των μοντέλων προσομοίωσης αυτών, με έμφαση στους κόμβους πλαισίων υφιστάμενων κατασκευών, διαστασιολογημένων για μη σεισμικά φορτία με παλαιότερους κανονισμούς, χωρίς την εφαρμογή λεπτομερειών αντισεισμικής όπλισης που θα εξασφάλιζαν την επιθυμητή πλάσטיμη συμπεριφορά.

2.2 Μοντέλα πρόβλεψης διατμητικής αντοχής κόμβου

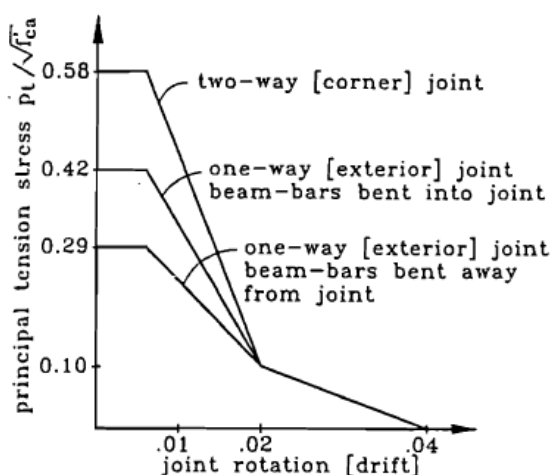
Στη μελέτη του ο Priestley (1997), βασιζόμενος σε πειραματικά δεδομένα της εποχής, υποστηρίζει πως η αποτίμηση των υφιστάμενων κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα σχεδιασμένων για μη σεισμικά φορτία, πρέπει να γίνεται με μία διαδικασία βασιζόμενη στις μετακινήσεις και όχι στις δυνάμεις που εφαρμόζονται σε αυτό. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται και στην αποτίμηση των μελών του φορέα αλλά και στους κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων, ενώ οδηγεί σε λιγότερο συντηρητικά αποτελέσματα σε σχέση με τους νεότερους κανονισμούς. Οι κόμβοι διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τους εξωτερικούς και τους εσωτερικούς

κόμβους. Επιπλέον, διακρίνονται σε κόμβους μονής κατεύθυνσης (one-way joint), διπλής κατεύθυνσης (two-way joint) και γωνιακοί κόμβοι (corner joint) (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1. Διάκριση τύπων κόμβων κατά Priestley, 1997

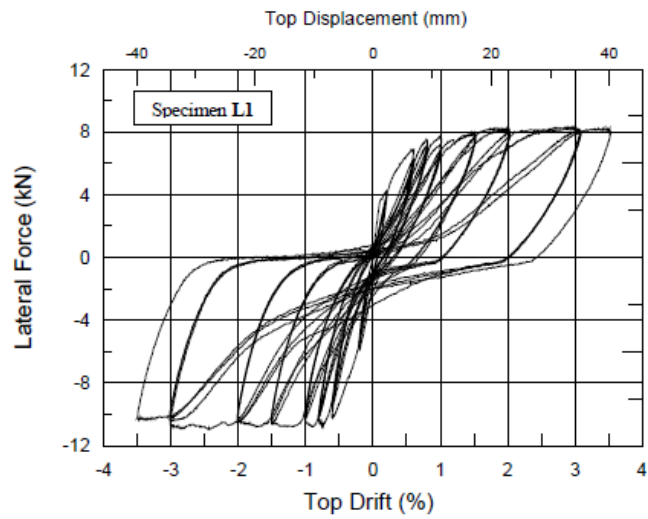
Σύμφωνα με τη θεωρία που αναπτύσσεται στην εργασία του Priestley (1997), για πλαίσια που έχουν οπλιστεί με νευροχάλυβες και ανάλογα με τον τρόπο αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων της δοκού, στους εξωτερικούς κόμβους η πρώτη ρηγμάτωση λαμβάνει χώρα σε μία τιμή κύριας εφελκυστικής τάσης p_t ίσης προς $0,29\sqrt{f_c}$ για αγκύρωση των ράβδων εκτός του πυρήνα του κόμβου, $0,42\sqrt{f_c}$ για αγκύρωση των ράβδων εντός του πυρήνα του κόμβου και $0,58\sqrt{f_c}$ για γωνιακό κόμβο. Η σχέση της κύριας εφελκυστικής τάσης p_t διαφόρων τύπων κόμβων σε συνάρτηση με τη σχετική στροφή του κόμβου παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα (Σχήμα 2.2).



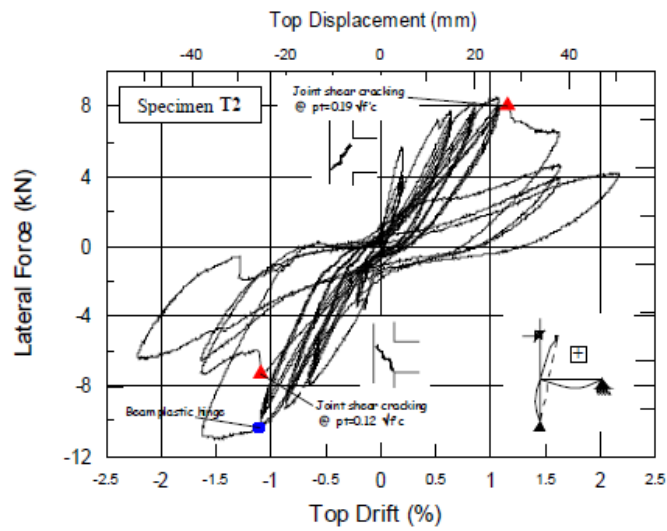
Σχήμα 2.2. Προτεινόμενη μεταβολή κύριας εφελκυστικής τάσης κατά Priestley, 1997

Στους εσωτερικούς κόμβους υφίσταται ένα κάτω όριο της τάξης των $0,29\sqrt{f_c}$ πέραν του οποίου ο κόμβος αρχίζει να ρηγματώνεται και να παρουσιάζει ανελαστική συμπεριφορά, έχοντας βεβαίως τη δυνατότητα να αναπτύξει και περαιτέρω αντοχή προτού αρχίσει η μείωσή της, κυρίως λόγω της διάταξης των οπλισμών στους εσωτερικούς κόμβους (Priestley, 1997).

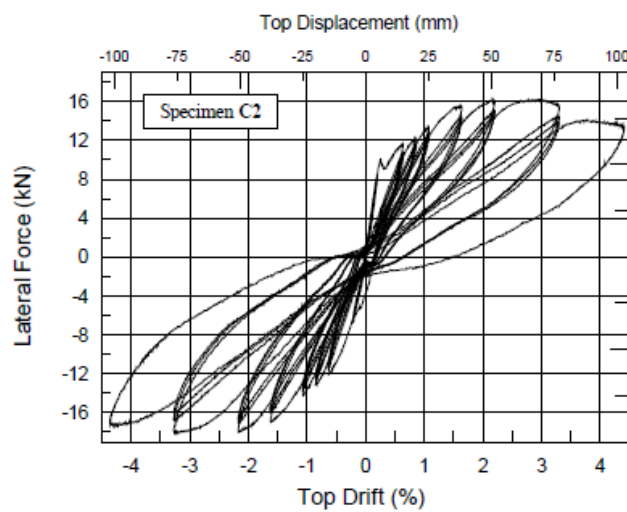
Στο πλαίσιο της εργασίας των Pampanin et al (2002) διερευνάται η έμφυτη σεισμική τρωτότητα των κόμβων δοκών – υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα με λείους χάλυβες, που έχουν διαστασιολογηθεί για μη σεισμικά φορτία. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα πειραμάτων με τη μορφή διαγραμμάτων δύναμης – μετατόπισης, που πραγματοποιήθηκαν σε εξωτερικούς κόμβους μορφής L και T και εσωτερικούς κόμβους υπό κλίμακα 2/3 (Σχήμα 2.3 έως Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.3. Συμπεριφορά κόμβου μορφής L (Rampanin et al, 2002)

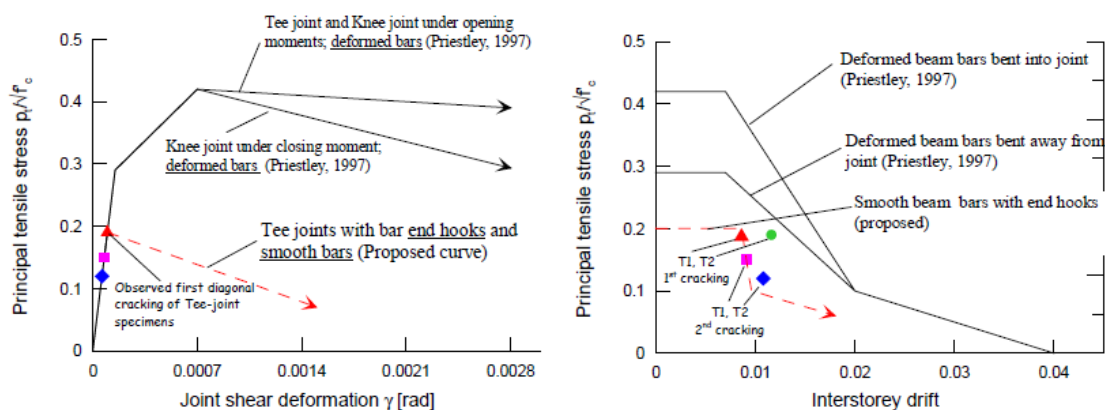


Σχήμα 2.4. Συμπεριφορά κόμβου μορφής T (Rampanin et al, 2002)



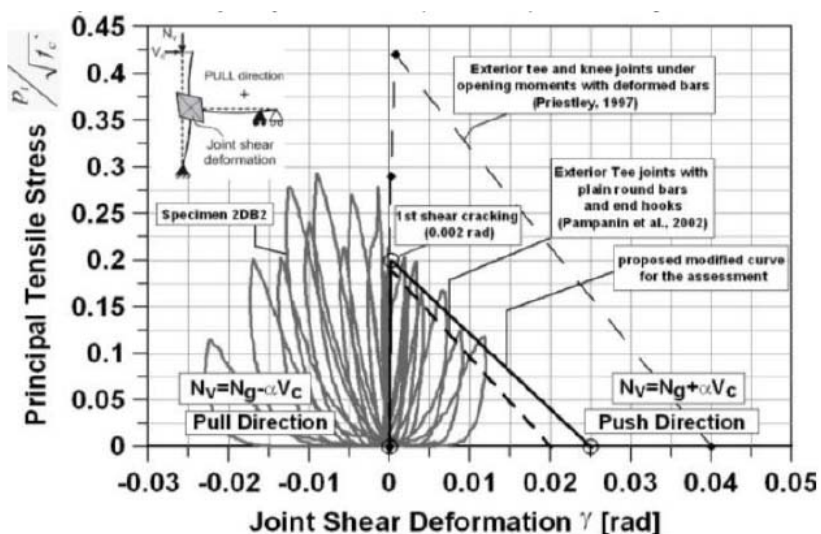
Σχήμα 2.5. Συμπεριφορά εσωτερικού κόμβου (Rampanin et al, 2002)

Οι Pampanin et al (2002), βασιζόμενοι στα προαναφερθέντα πειραματικά αποτελέσματα, τροποποίησαν τα διαγράμματα του Priestley (1997), προσθέτοντας τις καμπύλες για εξωτερικούς κόμβους με λείους χάλυβες (Σχήμα 2.6), καθώς όπως επισημαίνεται από τους μελετητές, τα μοντέλα που συναντώνται στη βιβλιογραφία αφορούν πειράματα σε κόμβους με οπλισμούς από χάλυβες με νευρώσεις, ενώ κρίσιμη είναι η συμπεριφορά των κόμβων με λείους χάλυβες χωρίς διατμητικό οπλισμό στον πυρήνα τους.



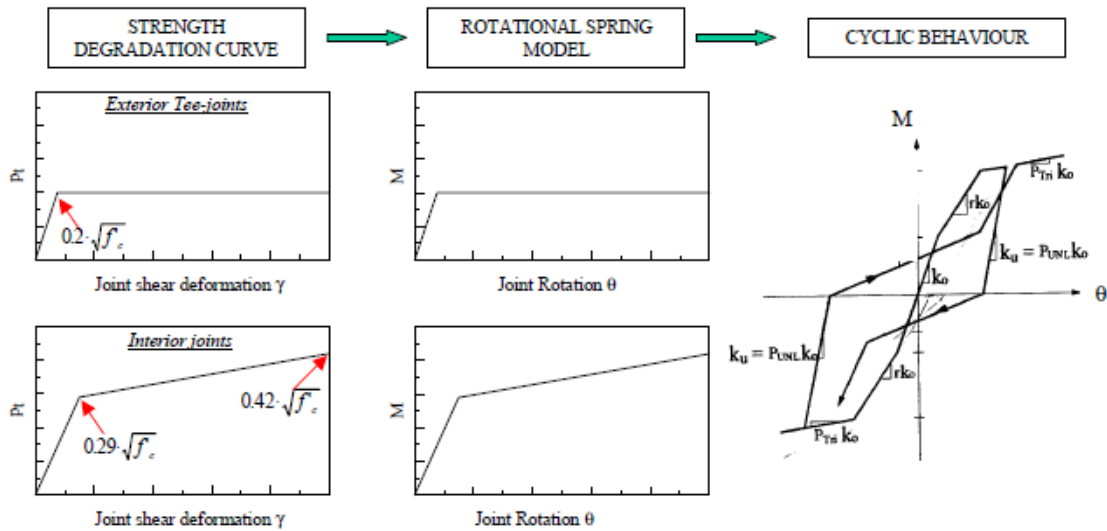
Σχήμα 2.6. Καμπύλη μεταβολής αντοχής κόμβου εξωτερικών κόμβων (Pampanin et al, 2002)

Επιγραμματικά, τα συμπεράσματα που προτείνουν οι Pampanin et al (2002) είναι πως μία τιμή της κύριας εφελκυστικής τάσης p_t ίση προς $0,20\sqrt{f_c}$ πρέπει να θεωρηθεί ως ένα άνω όριο για την πρώτη διαγώνια ρωγμή στον κόμβο, με σημαντική μείωση αυτής κατά τη δεύτερη ρωγμή. Η αντίστοιχη μειωμένη διατμητική παραμόρφωση του σώματος του κόμβου ως συνέπεια της ανακυκλιζόμενης φόρτισης, μπορεί να προσδιοριστεί ακολουθώντας την ελαστική καμπύλη που προτείνεται από τη βιβλιογραφία. Σημαντική και απότομη μείωση της εφελκυστικής αντοχής του κόμβου μπορεί να επακολουθήσει μετά την πρώτη ρωγμή, χωρίς να υφίσταται μηχανισμός ικανός να προσδώσει στο σύστημα περαιτέρω αύξηση της αντοχής. Μία τροποποιημένη σχέση της κύριας εφελκυστικής τάσης p_t προς τη διατμητική παραμόρφωση του κόμβου γ_j , παρουσιάστηκε και από τους Akguzel & Pampanin (2012) (Σχήμα 2.7).



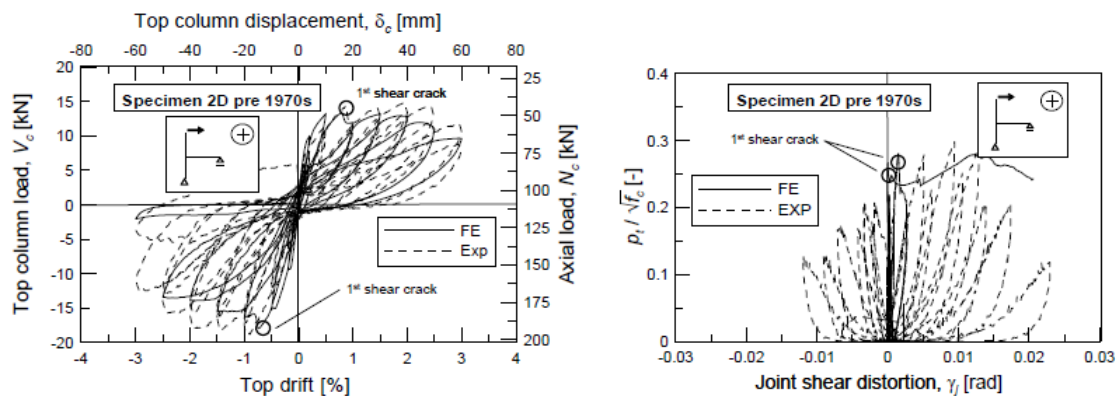
Σχήμα 2.7. Καμπύλες μεταβολής $p_t - \gamma_j$ (Akguzel & Pampanin, 2012)

Τέλος, οι Pampanin et al (2003) στο πλαίσιο πρότασης του δικού τους μοντέλου προσομοίωσης του κόμβου, παρουσίασαν μία άλλη εκδοχή για τις καμπύλες διατμητικής αντοχής του κόμβου (Σχήμα 2.8).



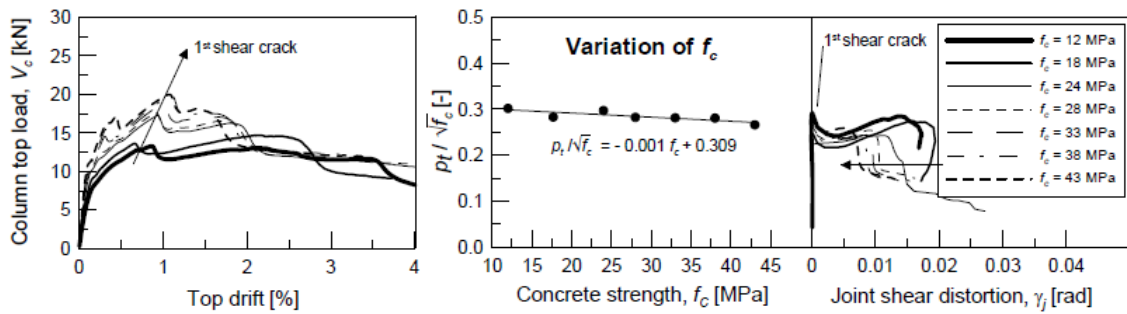
Σχήμα 2.8. Καμπύλες διατμητικής αντοχής εξωτερικού και εσωτερικού κόμβου (Pampanin et al, 2003)

Στο πλαίσιο της διδακτορικής εργασίας του Genesio (2012), πραγματοποιήθηκε μία αριθμητική παραμετρική μελέτη διαφόρων κόμβων δοκού – υποστυλώματος μέσω αναλύσεων με πεπερασμένα στοιχεία, με σκοπό την ανάπτυξη ενός αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού της διατμητικής αντοχής των κόμβων. Τα αποτελέσματα της αριθμητικής ανάλυσης συγκρίθηκαν με αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά από πειράματα (Σχήμα 2.9).

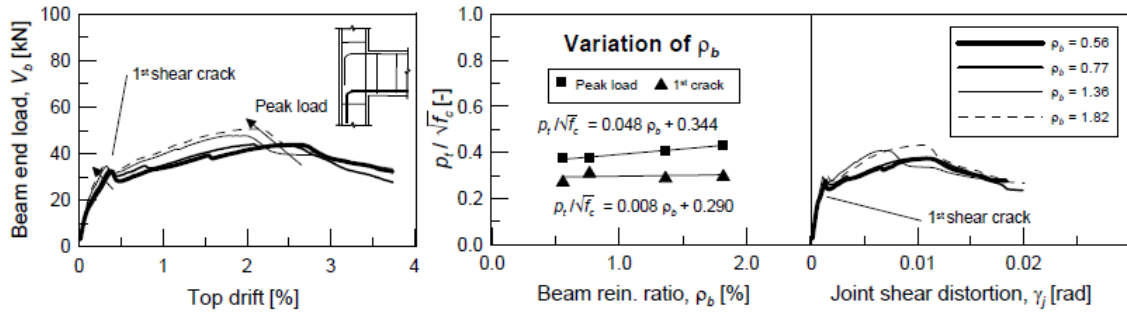


Σχήμα 2.9. Συμπεριφορά εξωτερικού κόμβου (προ δεκαετίας '70) σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση (αριστερά) και διάγραμμα διατμητικής αντοχής – γωνιακής παραμόρφωσης κόμβου (δεξιά) από Genesio (2012)

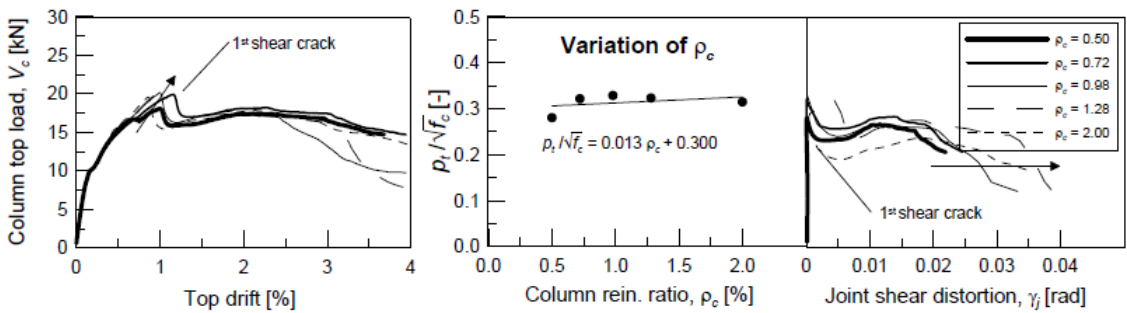
Από τις αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία, κατέληξε σε διαγράμματα που παρουσιάζουν την επιρροή διαφόρων παραμέτρων (όπως η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, τα ποσοστά οπλισμού δοκού ή υποστυλώματος, ο λόγος ύψους δοκού h_b προς ύψος υποστυλώματος h_c και το αξονικό φορτίο του υποστυλώματος) στη διατμητική αντοχή του κόμβου. Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 2.10 έως Σχήμα 2.13) παρουσιάζονται χαρακτηριστικά διαγράμματα για κόμβους χωρίς διατμητικό οπλισμό με λείους χάλυβες (προ δεκαετίας '70).



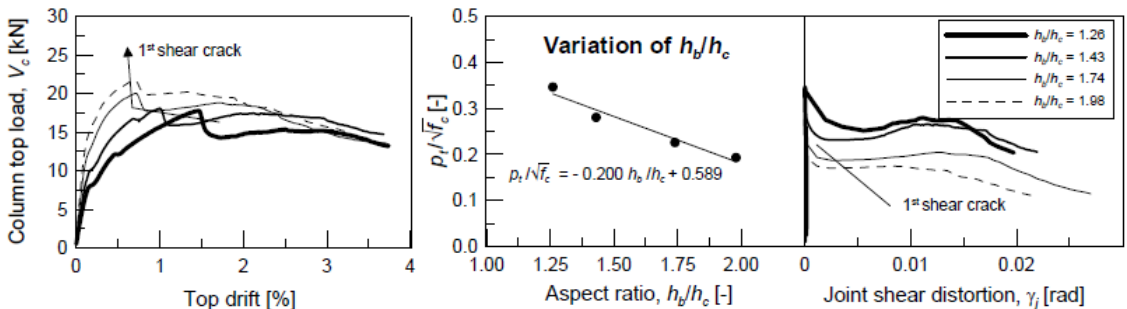
Σχήμα 2.10. Επιρροή της αντοχής σκυροδέματος στην αντοχή του κόμβου (Genesisio, 2012)



Σχήμα 2.11. Επιρροή του ποσοστού οπλισμού της δοκού στην αντοχή του κόμβου (Genesisio, 2012)

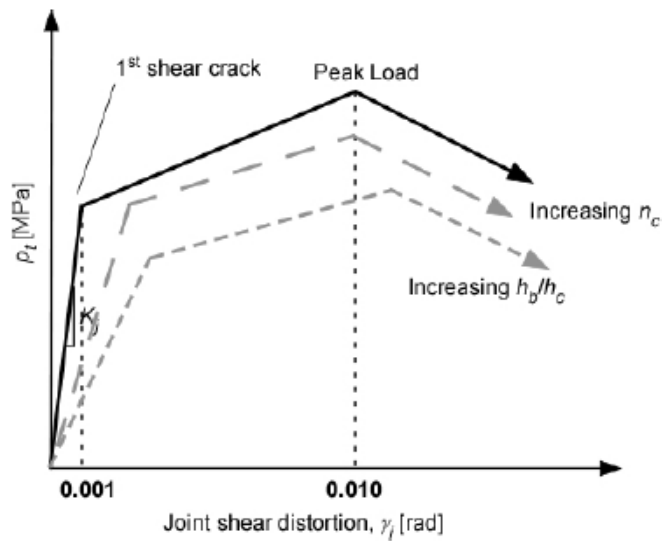


Σχήμα 2.12. Επιρροή του ποσοστού οπλισμού του υποστρώματος στην αντοχή του κόμβου (Genesisio, 2012)



Σχήμα 2.13. Επιρροή του λόγου h_b/h_c στην αντοχή του κόμβου (Genesisio, 2012)

Το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξε ο Genesisio (2012) αναφορικά με την πραγματική μεταβολή της αντοχής του κόμβου σε σχέση με την παραμόρφωσή του, είναι πως μπορούν να καθοριστούν δύο σημαντικά σημεία, αυτό της πρώτης διαμητικής ρωγμής στο σώμα του κόμβου (1st diagonal joint cracking) και αυτό του μέγιστου φορτίου (peak load) πέραν του οποίου αρχίζει μία απότομη γραμμική μείωση της αντοχής του κόμβου μέχρι την ολική αστοχία (Σχήμα 2.14).



Σχήμα 2.14. Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος κύριας εφελκυστικής τάσης – διατμητικής παραμόρφωσης κόμβου (Genesis, 2012)

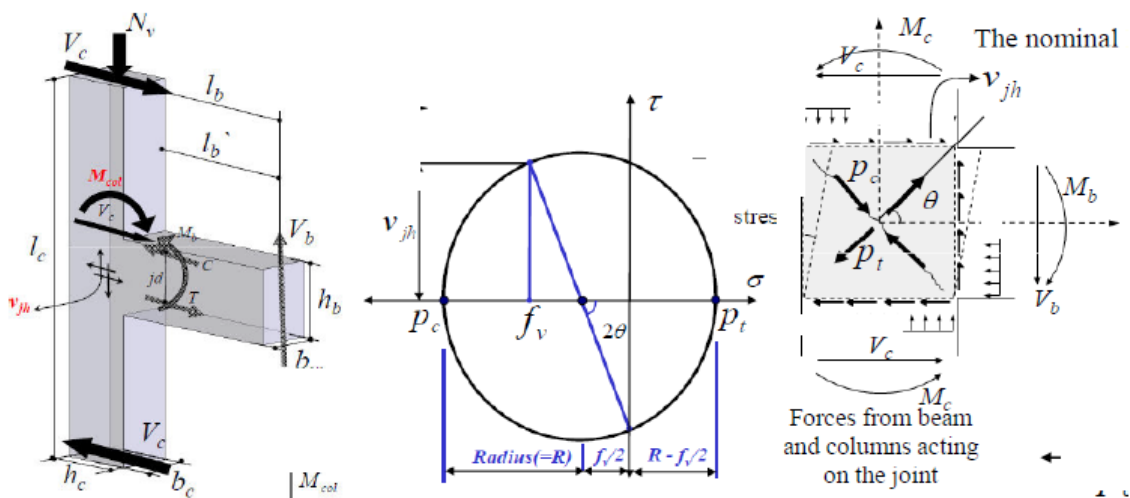
Τέλος, όπως επισημαίνεται και από τον ίδιο τον συγγραφέα, το αναλυτικό μοντέλο που ανέπτυξε είναι σε απόλυτη συμφωνία με το προτεινόμενο μοντέλο των Priestley και Pampanin (Priestley, 1997 και Pampanin et al, 2003).

Στο πλαίσιο της εργασίας του Yiyoue (2015) παρουσιάζεται μία υπολογιστική διαδικασία υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας ενός κόμβου δοκού – υποστύλωματος (Σχήμα 2.15), βασισμένη στην ισορροπία δυνάμεων στο σώμα του κόμβου και στη θεωρία του κύκλου του Mohr (Σχήμα 2.16). Επιγραμματικά αναφέρεται πως, σύμφωνα με την ανωτέρω διαδικασία και έχοντας γνωστά τα γεωμετρικά στοιχεία του κόμβου και τα εντατικά μεγέθη που δρουν σε αυτόν, είναι δυνατός ο υπολογισμός της οριζόντιας διατμητικής δύναμης V_{jh} στην περιφέρεια του κόμβου και της κύριας εφελκυστικής τάσης ρ_t στο σώμα του κόμβου, μεγέθη τα οποία είναι κρίσιμα για την αντοχή του άοπλου πυρήνα του κόμβου και κατ' επέκταση για τη συμπεριφορά του σε σεισμική καταπόνηση.

Procedure to calculate capacity for an exterior joint: (based on Mohr's Circle Theory)

Horizontal shear force acting on the joint core:	$V_{jh} = T - V_c$
Equilibrium of the external action:	$V_c l_c = V_b l_b$
Rearrange to get V_b :	$V_b = \frac{V_c l_c}{l_b}$
Moment acting at the face of the joint core:	$M_b = V_b \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right) = T j d$
Rearrange to get T:	$T = \frac{M_b}{j d} = \frac{V_b \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right)}{j d} = \frac{V_c l_c \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right)}{l_b j d}$
Substitute to the 1 st equation:	$V_{jh} = T - V_c = \frac{V_c l_c \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right)}{l_b j d} - V_c = V_c \left[\frac{l_c}{l_b j d} \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right) - 1 \right]$
Rearrange to get V_c :	$V_c = \frac{V_{jh}}{\left[\frac{l_c}{l_b j d} \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right) - 1 \right]}$
Joint capacity in terms of column moment:	$M_{col} = V_c \left(\frac{l_c - h_b}{2} \right) = \frac{V_{jh}}{\left[\frac{l_c}{l_b j d} \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right) - 1 \right]} \left(\frac{l_c - h_b}{2} \right)$
Assume $j=0.9d$ and $A_e = b_j \times h_c$:	$M_{col} = \frac{v_{jh}(1000)}{\phi} \text{ kNm and } \phi = \frac{2l'_c l_c - 1.8dl_b}{0.9dl_b A_e (l_c - h_b)}$
Nominal horizontal shear stress at the mid-depth of the joint core:	$v_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j \times h_c}$
Effective width of the joint:	$b_j = \min(b_c, b_w + 0.5h_c) \text{ if } b_c \geq b_w$ $b_j = \min(b_w, b_c + 0.5h_c) \text{ if } b_c \leq b_w$
Principal tensile and compressive stresses:	$p_{t,c} = -\frac{f_v}{2} \pm R$
Substitute $R = \sqrt{\left(\frac{f_v}{2}\right)^2 + v_{jh}^2}$ from Mohr's Circle Theory:	$p_t = -\frac{f_v}{2} + \sqrt{\left(\frac{f_v}{2}\right)^2 + v_{jh}^2}$
Rearrange to get horizontal shear:	$v_{jh} = \sqrt{p_t^2 + p_t f_v}$
Substitute to the joint capacity:	$M_{col} = \frac{\sqrt{p_t^2 + p_t f_v} (1000)}{\phi} \text{ kNm}$
Principal tensile stress:	$p_t = k \sqrt{f'_c}$
Stress due to axial load:	$f_v = \frac{N_v}{A_e}$

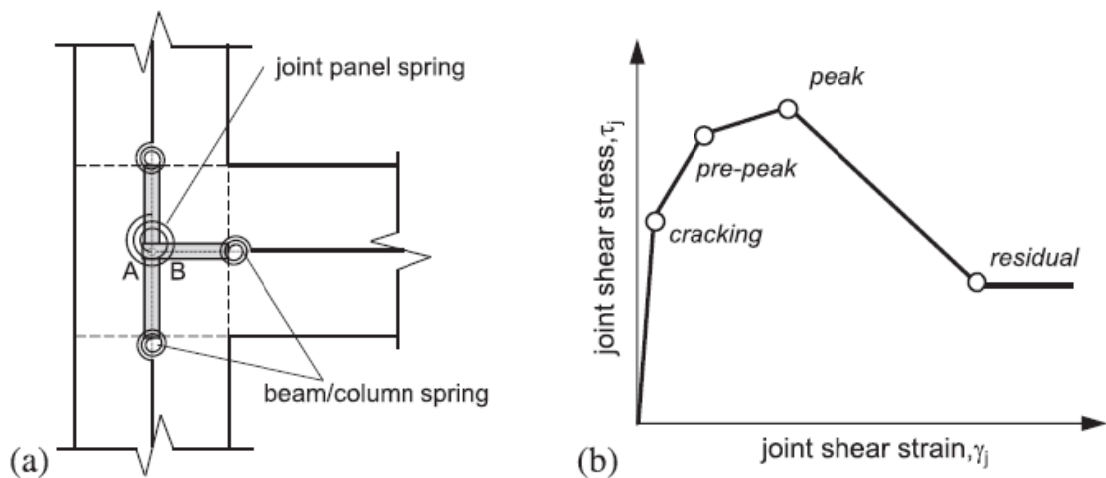
Σχήμα 2.15. Αναλυτική διαδικασία υπολογισμού φέρουσας ικανότητας του κόμβου (Υίγιου, 2015)



Σχήμα 2.16. Σχηματική απεικόνιση της ισορροπίας δυνάμεων σε εξωτερικό κόμβο (αριστερά), θεωρία του κύκλου του Mohr για τον υπολογισμό της κύριας εφελκυστικής τάσης (κέντρο) και δυνάμεις στον πυρήνα του κόμβου (δεξιά) (Υίγιου, 2015)

2.3 Ανασκόπηση μοντέλων προσομοίωσης κόμβων

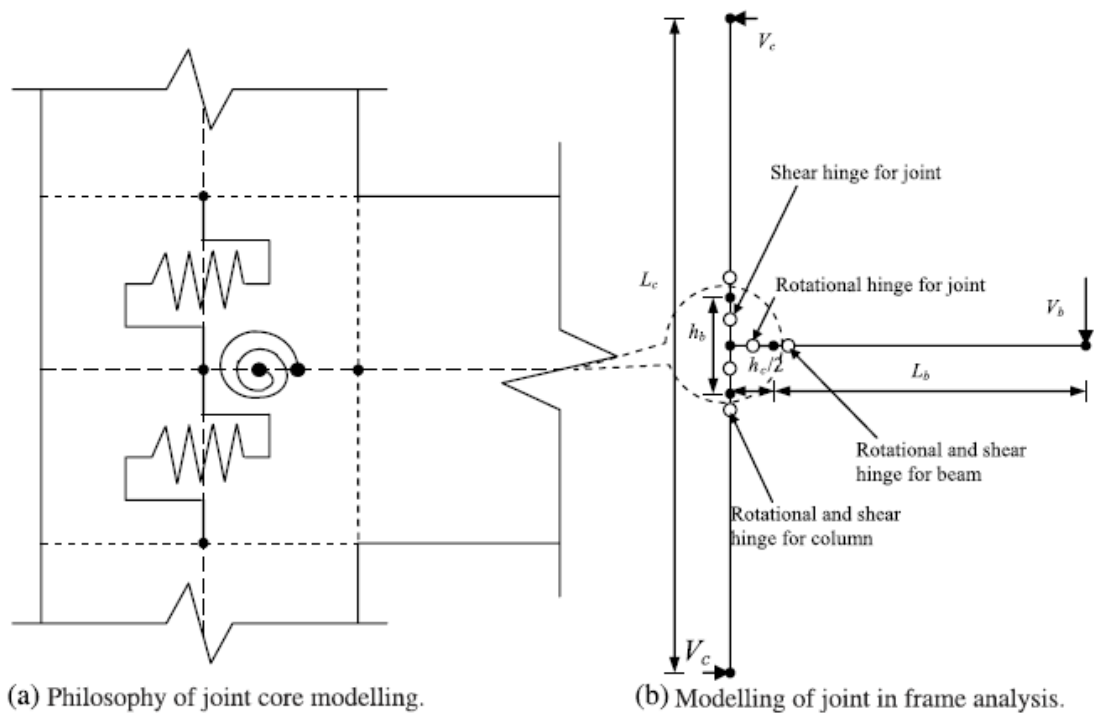
Το αντικείμενο της μελέτης των Risi et al (2017), εστιάζεται στους εξωτερικούς κόμβους κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα σχεδιασμένα για φορτία βαρύτητας χωρίς διατμητικό οπλισμό (συνδετήρες), με σκοπό τη διαμόρφωση μίας πιθανής προσέγγισης μοντελοποίησης της συμπεριφοράς τους στην ανελαστική ανάλυση. Το στοιχείο μοντελοποίησης αποτελείται από δύο κόμβους: τον κόμβο A (κύριος κόμβος) που είναι συνδεδεμένος με τα στοιχεία των συντρεχόντων υποστυλωμάτων και τον κόμβο B (δευτερεύων κόμβος) που είναι συνδεδεμένος με το στοιχείο της δοκού. Οι δύο αυτοί κόμβοι συνδέονται με ένα στροφικό ελατήριο μηδενικού μήκους, το οποίο επιτρέπει μόνο τη σχετική στροφή μεταξύ τους σύμφωνα με το καταστατικό μοντέλο που περιγράφει τη διατμητική παραμόρφωση του στοιχείου του κόμβου (Σχήμα 2.17).



Σχήμα 2.17. Μοντέλο προσομοίωσης (a) και σχηματική απεικόνιση της περιβάλλουσας τάσεων – παραμορφώσεων του πυρήνα του κόμβου (b) (Risi et al, 2017)

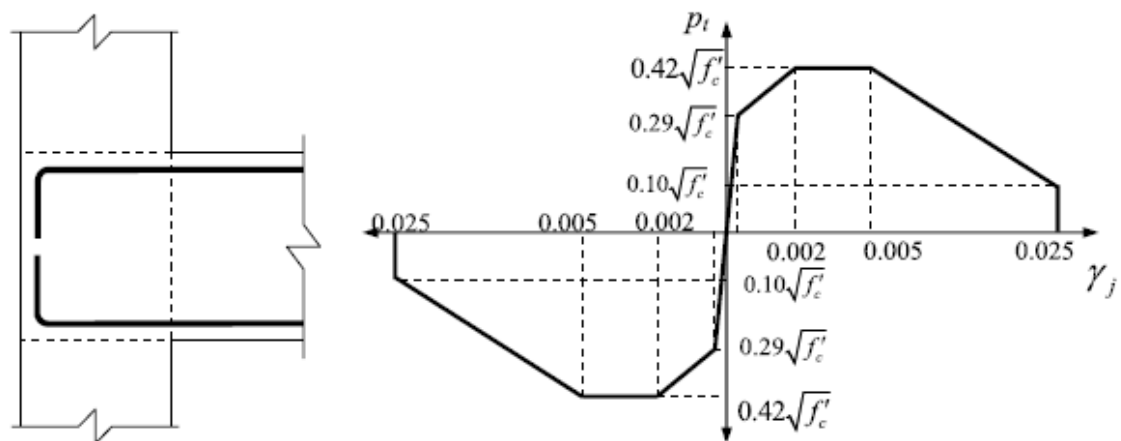
Από αριθμητικές διερευνητικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, προέκυψε πως είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η συμπεριφορά του κόμβου στις μελέτες αποτίμησης, έτσι ώστε να αξιολογείται σωστά η επιρροή της παραμορφωσιμότητας του κόμβου στην ανάλυση και να επιτυγχάνεται μία ρεαλιστική εκτίμηση των βλαβών. Τέλος, σε μεταγενέστερη εργασία (Risi & Verderame, 2017) και κατόπιν πειραμάτων σε τέσσερις κόμβους υπό φυσική κλίμακα, χωρίς οπλισμό μέσα στον πυρήνα του κόμβου, με λείους χάλυβες στις δοκούς και στα υποστυλώματα, διαφορετικούς λόγους ύψους προς πλάτος κόμβου και διάφορα ποσοστά διαμήκους οπλισμού, έγινε μία προσπάθεια καθορισμού των μηχανικών παραμέτρων των στοιχείων που αποτελούν το μοντέλο προσομοίωσης του κόμβου και των καταστατικών νόμων συμπεριφοράς του.

Σκοπός της μελέτης των Sharma et al (2011a), είναι η παρουσίαση ενός νέου μοντέλου προσομοίωσης της διατμητικής συμπεριφοράς κόμβων πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για μη σεισμικά φορτία. Η μελέτη περιορίζεται στη διερεύνηση εξωτερικών κόμβων πλαισίων οπλισμένα με νευροχάλυβα (χάλυβα με ραβδώσεις). Το προτεινόμενο μοντέλο αποτελείται από τρία ελατήρια, ένα στροφικό στη δοκό και δύο διατμητικά στα συντρεχόντα υποστυλώματα (Σχήμα 2.18),



Σχήμα 2.18. Σχηματική απεικόνιση μοντέλου προσομοίωσης (a) και μοντελοποίηση του κόμβου στην ανάλυση αποτίμησης (b) (Sharma et al, 2011a)

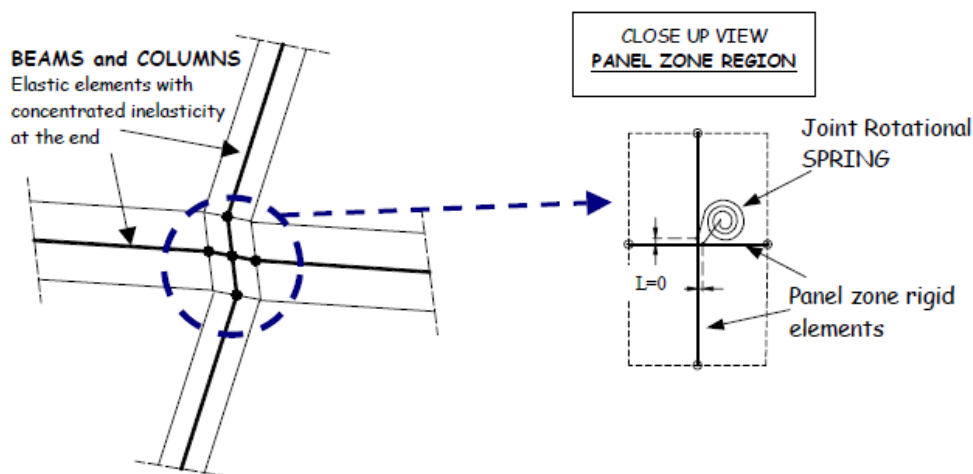
και τα μηχανικά χαρακτηριστικά – ιδιότητες των ελατηρίων υπολογίζονται με βάση τα διαγράμματα μεταβολής της κύριας εφελκυστικής τάσης στον πυρήνα του κόμβου σε σχέση με τη στροφή του κόμβου που προκαλείται από την εφαρμογή σεισμικών φορτίων (Σχήμα 2.19).



Σχήμα 2.19. Θεωρητική σχέση μεταξύ κύριας εφελκυστικής τάσης και στροφικής παραμόρφωσης κόμβου για ακύρωση διαμήκους ραβδωτού οπλισμού εντός του σώματος του κόμβου (Sharma et al, 2011a)

Σύμφωνα με τους συγγραφείς, το νέο αυτό μοντέλο προσομοίωσης είναι πιο ορθολογικό από την πληθώρα μοντέλων με πολλαπλά ελατήρια που απαντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία και ταυτόχρονα πιο εύκολο για εφαρμογή στα περισσότερα εμπορικά στατικά προγράμματα ανελαστικής ανάλυσης. Το μοντέλο προσομοίωσης του κόμβου δοκιμάστηκε σε αναλύσεις κτιρίων με ανελαστική στατική μέθοδο (υπερωθητική ανάλυση), ενώ είναι δυνατό να εφαρμοστεί και σε δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις (αναλύσεις χρονισμού).

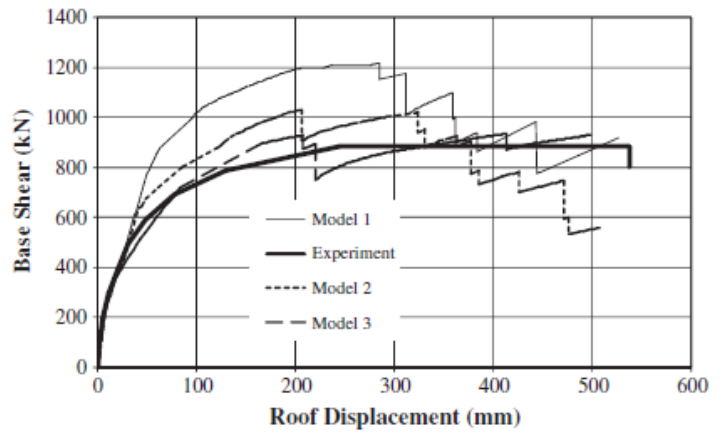
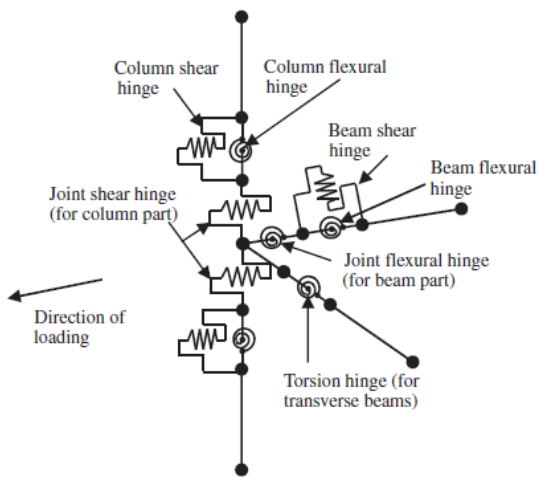
Στην εργασία των Pampanin et al (2003), προτείνεται ένα απλοποιημένο αναλυτικό μοντέλο για την προσομοίωση της ελαστικής και της ανελαστικής συμπεριφοράς του πυρήνα του κόμβου πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα (Σχήμα 2.20), τα οποία έχουν σχεδιαστεί για φορτία βαρύτητας χωρίς διατμητικό οπλισμό ή έχουν υποοπλιστεί. Η μελέτη επικεντρώνεται σε πλαίσια με κόμβους που έχουν οπλιστεί με λείους χάλυβες χωρίς την εφαρμογή αντισεισμικών κατασκευαστικών διατάξεων. Για το σκοπό αυτό θεωρήθηκε πως η σχέση μεταξύ της βλάβης στο σώμα του κόμβου δοκού – υποστυλώματος και της στροφικής παραμόρφωσης αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση των χαρακτηριστικών του στροφικού ελατηρίου του κόμβου.



Σχήμα 2.20. Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο με στροφικό ελατήριο (Pampanin et al, 2003)

Από αριθμητικές αναλύσεις αποτίμησης της σεισμικής απόκρισης υφιστάμενων πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα προέκυψε πως, η υιοθέτηση ενός τέτοιου μοντέλου προσομοίωσης, σε συνδυασμό με τα κατάλληλα όρια εκτίμησης του επιπέδου βλαβών του κόμβου, παρέχει μία πιο ακριβή εκτίμηση των αναμενόμενων βλαβών και της συμπεριφοράς ολόκληρης της κατασκευής.

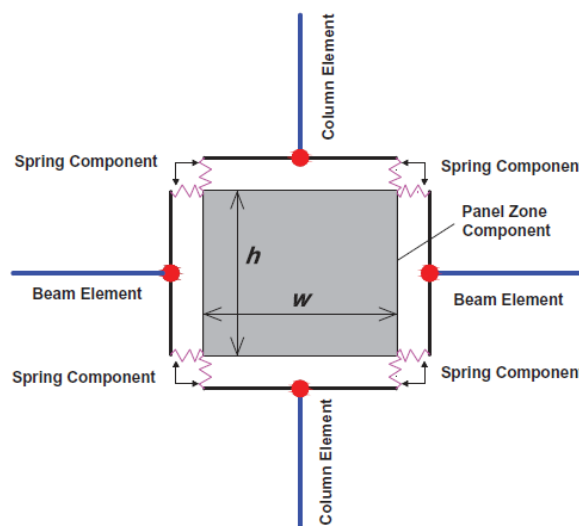
Στην εργασία των Sharma et al (2013), παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανελαστικών στατικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν τόσο σε θεωρητικό (υπολογιστικό) όσο και σε πειραματικό επίπεδο σε μοντέλο τετραώροφου κτιρίου σε φυσική κλίμακα, υιοθετώντας το μοντέλο προσομοίωσης της ανελαστικής συμπεριφοράς των κόμβων δοκού – υποστυλώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα που έχει προταθεί από τους Sharma et al (2011a) (Σχήμα 2.21). Τα πειραματικά αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα υπολογιστικά, για τις εξής περιπτώσεις μη γραμμικών πλαστικών αρθρώσεων: (1) μοντέλο με καμπτικές και διατμητικές αρθρώσεις στα μέλη του φορέα, (2) μοντέλο με εγκάρσιες στρεπτικές αρθρώσεις στις δοκούς στη διεύθυνση κάθετα στη φορά της φόρτισης, επιπλέον των καμπτικών και διατμητικών αρθρώσεων στα μέλη του φορέα και (3) μοντέλο με τα ελατήρια στον κόμβο επιπλέον των καμπτικών, διατμητικών και στρεπτικών αρθρώσεων στα μέλη του φορέα.



Σχήμα 2.21. Σχηματική απεικόνιση πλαστικών αρθρώσεων μελών και πυρήνα κόμβου και γραφική σύγκριση διαγραμμάτων pushover (Sharma et al, 2013)

Αξίζει να σημειωθεί πως το κυριότερο συμπέρασμα που γίνεται εύκολα αντιληπτό από το σχετικό συγκριτικό γράφημα των διαγραμμάτων τέμνουσας βάσης – μετακίνησης οροφής, είναι πως στην προσπάθεια εκτίμησης της συνολικής συμπεριφοράς μίας κατασκευής, ο μη συνυπολογισμός της ανελαστικής συμπεριφοράς των κόμβων μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή αποτελέσματα. Παρόμοια συμπεράσματα παρουσιάστηκαν σε προγενέστερη εργασία των συγγραφέων (Sharma et al, 2011b) καθώς και στη μελέτη των Sharma et al (2014).

Η μελέτη των Ning et al (2016) έχει ως αντικείμενο την ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού και απλοποιημένου επίπεδου μοντέλου προσομοίωσης του κόμβου, το οποίο να μπορεί να περιγράψει τη μείωση της αντοχής και της ακαμψίας κατά τη διενέργεια ανελαστικών αναλύσεων υφιστάμενων πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό.

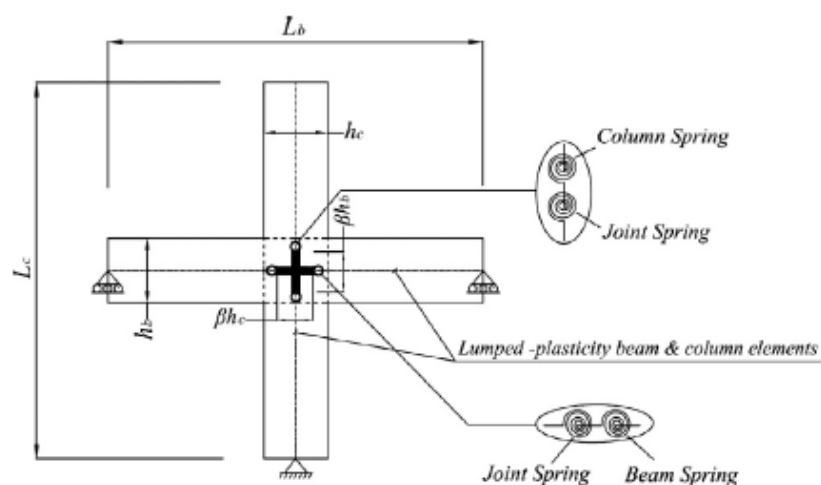


Σχήμα 2.22. Προτεινόμενο μοντέλο κόμβου Ning (2016)

Το προτεινόμενο μοντέλο είναι στην ουσία ένα υπερστοιχείο (super-element) αποτελούμενο από το στοιχείο του κόμβου (panel zone component) και οκτώ ελατήρια, τα οποία προσομοιώνουν το μηχανισμό διατμητικής παραμόρφωσης και το μηχανισμό ολίσθησης των διαμήκων ράβδων

οπλισμού των δοκών που εισέρχονται στο σώμα του κόμβου, αντίστοιχα (Σχήμα 2.22). Η ακρίβεια και η αποδοτικότητα του μοντέλου ελέγχθηκαν με σύγκριση των αποτελεσμάτων των αριθμητικών αναλύσεων και των πειραματικών δεδομένων μη σεισμικά σχεδιασμένων κόμβων και επίπεδων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος.

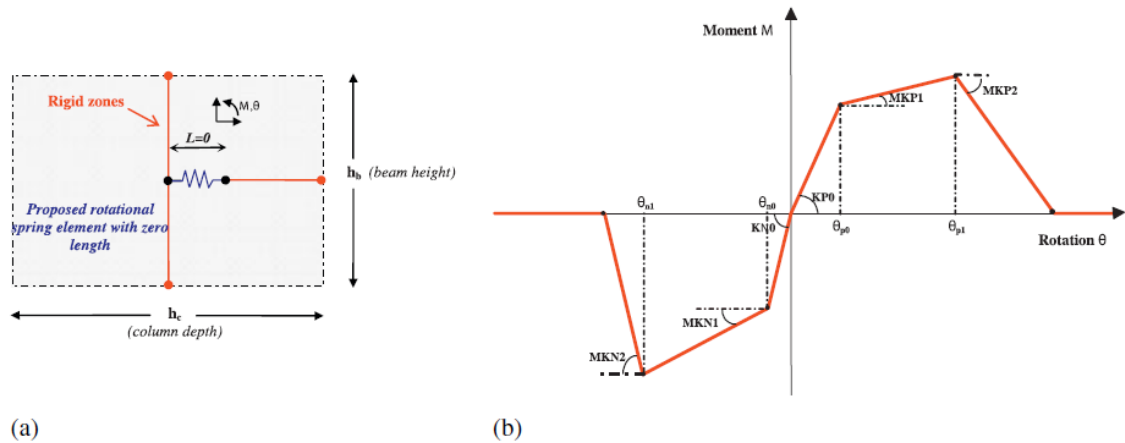
Στην έρευνα των Omid & Behnamfar (2015) προτείνεται ένα υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης της ελαστικής και ανελαστικής συμπεριφοράς των κόμβων δοκού – υποστυλώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το μοντέλο αποτελείται από ένα άκαμπτο στοιχείο στον κόμβο και στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστικότητας για τα συντρέχοντα μέλη (δοκοί, υποστυλώματα). Κάθε δοκός και υποστυλώμα περιλαμβάνει δύο στροφικά ελατήρια σε σειρά (Σχήμα 2.23).



Σχήμα 2.23. Σχηματική απεικόνιση μοντέλου Omid & Behnamfar (2015)

Το ένα ελατήριο αναπαριστά την ανελαστική συμπεριφορά του μέλους και το δεύτερο την ανελαστική συμπεριφορά του κόμβου. Από σύγκριση των αποτελεσμάτων της αριθμητικής προσομοίωσης με υφιστάμενα πειραματικά αποτελέσματα προέκυψε πως το προτεινόμενο μοντέλο ακολουθεί τη σεισμική απόκριση του κόμβου με πολύ καλή ακρίβεια.

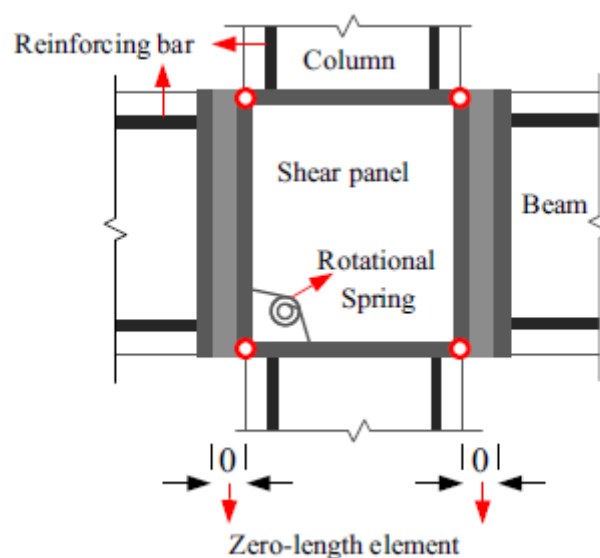
Σκοπός της μελέτης των Favvata et al (2008) είναι η παρουσίαση ενός μοντέλου προσομοίωσης της τοπικής ανελαστικής συμπεριφοράς εξωτερικών κόμβων δοκού – υποστυλώματος σε πολυώροφα πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το προτεινόμενο μοντέλο εισάγεται σε υπολογιστικό πρόγραμμα για ανελαστικές στατικές και δυναμικές αναλύσεις ως ένα στροφικό ελατήριο μηδενικού μήκους, στο σημείο σύνδεσης της δοκού με το υποστυλώμα (Σχήμα 2.24).



Σχήμα 2.24. Απεικόνιση αναλυτικού μοντέλου (a) και περιβάλλουσα ροπής - στροφής στροφικού ελατηρίου (b) (Favvata et al, 2008)

Η αποτελεσματικότητα του μοντέλου επιβεβαιώθηκε μέσω συγκρίσεων που πραγματοποιήθηκαν σε πειραματικά δεδομένα δώδεκα εξωτερικών κόμβων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος που συναντώνται στη βιβλιογραφία. Επιπλέον, διερευνήθηκε η επιρροή της τοπικής ανελαστικής συμπεριφοράς του κόμβου στην απαίτηση πλαστιμότητας των υποστλωμάτων, στον τρόπο αστοχίας και στη συνολική σεισμική απόκριση της κατασκευής. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε πως όταν αγνοείται η ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων και θεωρούνται άκαμπτοι, οδηγούμαστε σε μη συντηρητικά αποτελέσματα και κατ' επέκταση σε ανασφαλή σχεδιασμό των κατασκευών.

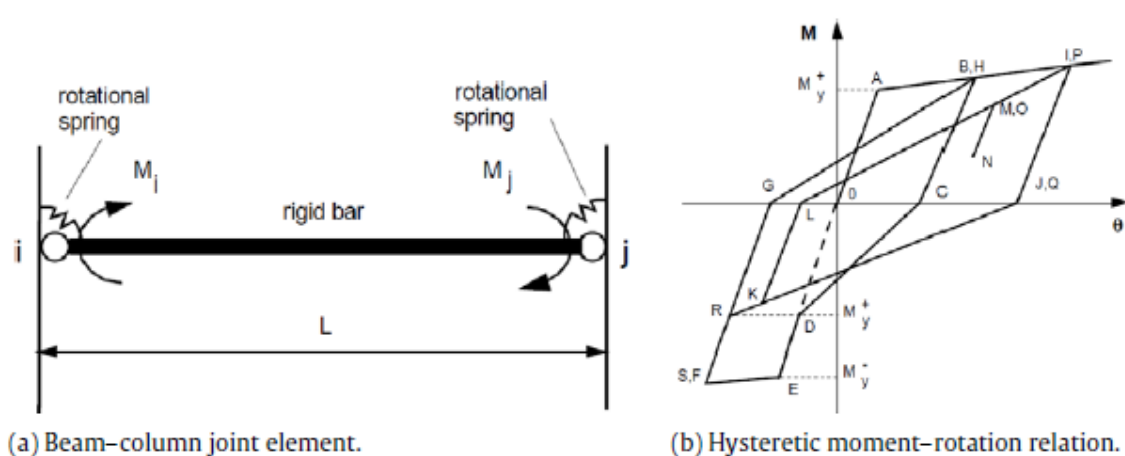
Στην εργασία των Peizhou et al (2016) προτείνεται ένα μοντέλο προσομοίωσης του κόμβου, αποτελούμενο από ένα διατμητικό στοιχείο με άκαμπτα άκρα μηδενικού πάχους προς τις συντρέχοντες δοκούς και ένα στροφικό ελατήριο εντός του πυρήνα του κόμβου για τον συνυπολογισμό της ολίσθησης των διαμήκων ράβδων οπλισμού (Σχήμα 2.25).



Σχήμα 2.25. Προτεινόμενο μοντέλο κόμβου Peizhou et al (2016)

Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση σε δύο μοντέλα κόμβων πλαισίου με διαφορετικές λεπτομέρειες όπλισης και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με υφιστάμενα πειραματικά δεδομένα, ενώ μελετήθηκε και η συμπεριφορά δύο πλαισιωτών φορέων με τις ίδιες διαστάσεις και ποσοστά όπλισης αλλά διαφορετική πλαστιμότητα, με και χωρίς τη μοντελοποίηση των κόμβων. Από την ανωτέρω διερεύνηση προέκυψε πως το προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης είναι αξιόπιστο, κατάλληλο για επιλύσεις επίπεδων πλαισίων και ικανό να προβλέψει με ακρίβεια τη μηχανική συμπεριφορά τέτοιων κατασκευών και των στοιχείων τους και ιδιαίτερα την υστερητική συμπεριφορά αυτών.

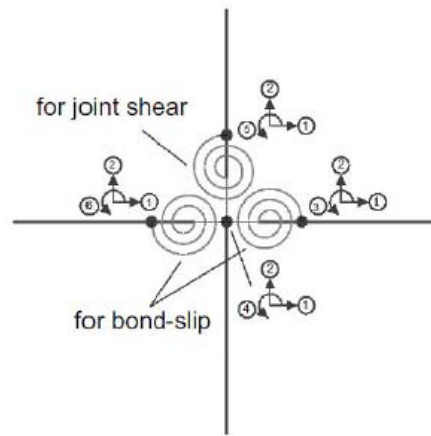
Από τους Fillipou et al (1983 & 1988), προτείνεται ένα μοντέλο κόμβου το οποίο αποτελείται από δύο στρωφικά ελατήρια συνδεδεμένα με ένα απείρως άκαμπτο μέλος (Σχήμα 2.26).



Σχήμα 2.26. Μοντέλο κόμβου Fillipou et al (1983, 1988)

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ελατηρίων προκύπτουν από μία υπολογιστική διαδικασία η οποία λαμβάνει υπόψη τη γεωμετρία του κόμβου, την ποιότητα των υλικών και τη διάταξη των οπλισμών στον κόμβο (Fillipou et al, 1983). Το μοντέλο είναι εύκολο στην εφαρμογή του και δίνει αποτελέσματα τα οποία βρίσκονται σε συμφωνία με πειραματικά δεδομένα. Παρ' όλα αυτά, σημαντικό μειονέκτημα είναι το γεγονός πως το μοντέλο δεν λαμβάνει υπόψη τη διαγώνια διατμητική ρηγμάτωση του πυρήνα του κόμβου (Sharma et al, 2011a).

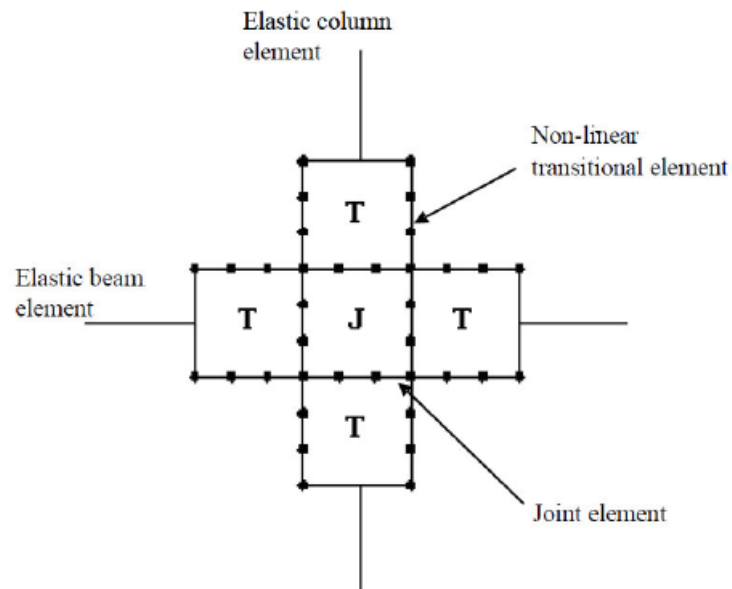
Από τους Bidia & Ghobarah (1999), προτείνεται ένα μοντέλο όπου ο κόμβος προσομοιώνεται με τρία στρωφικά ελατήρια, δύο για την ολίσθηση των διαμήκων ράβδων όπλισης της δοκού και ένα για την διατμητική αντοχή του κόμβου (Σχήμα 2.27).



Σχήμα 2.27. Μοντέλο κόμβου Biddah & Ghobarah (1999)

Πραγματοποίησαν ανελαστικές δυναμικές αναλύσεις σε επίπεδα πλαίσια δύο κτιρίων, ένα τριώροφο και ένα εννιαώροφο και σύγκριναν τη σεισμική απόκριση των πλαισίων με την απόκρισή τους χωρίς τη χρήση του μοντέλου, δηλαδή με άκαμπτους κόμβους. Το συμπέρασμα ήταν πως, λαμβάνοντας υπόψη τη διατμητική παραμόρφωση του κόμβου και την ολίσθηση των οπλισμών, τα πλαίσια παρουσιάζουν σημαντικά μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις ορόφων (Sharma et al, 2011a).

Οι Elmorsi et al (2000), πρότειναν ένα μοντέλο όπου τα συντρέχοντα στοιχεία (δοκοί και υποστυλώματα) προσομοιώνονται με ελαστικά μέλη που συνδέονται με τον κόμβο διαμέσου μη γραμμικών μεταβατικών μελών και ο πυρήνας του κόμβου προσομοιώνεται με ένα πολυκομβικό στοιχείο (Σχήμα 2.28).

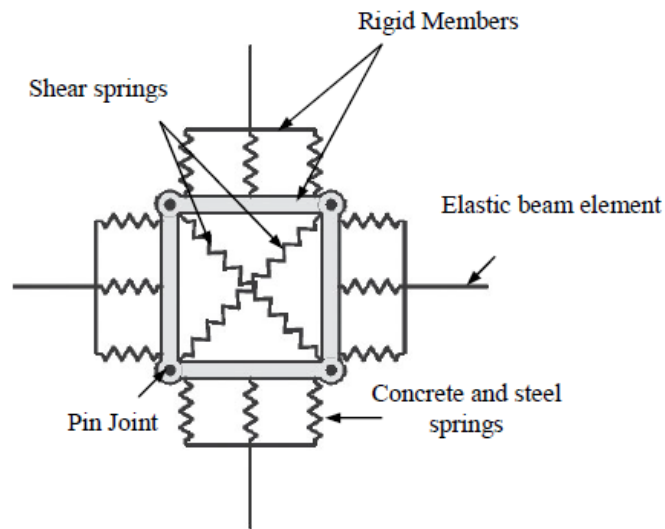


Σχήμα 2.28. Μοντέλο κόμβου Elmorsi et al (2000)

Με την υιοθέτηση του μοντέλου αυτού είναι δυνατός ο συνυπολογισμός της συμπεριφοράς του κόμβου δοκών – υποστυλωμάτων σε σχέση με τις ποιότητες των υλικών (σκυρόδεμα και

χάλυβας οπλισμού) και το φαινόμενο της ολίσθησης των ράβδων οπλισμού (Sharma et al, 2011a).

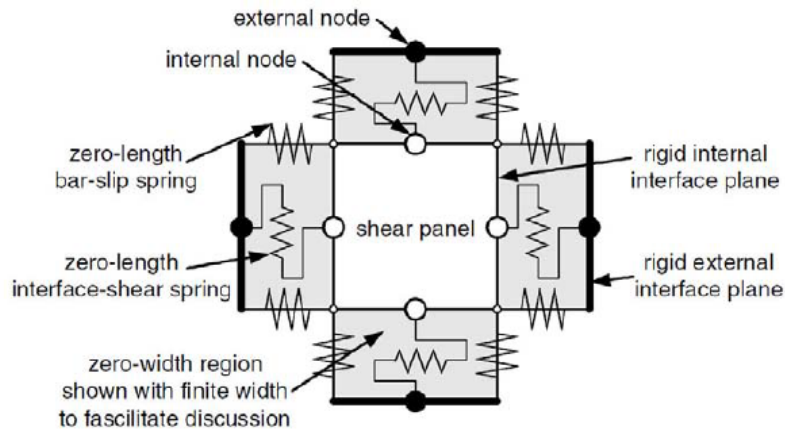
Οι Youssef and Ghobarah (2001) πρότειναν ένα πολυελατηριακό μοντέλο αποτελούμενο από δεκαέξι διατμητικά ελατήρια (Σχήμα 2.29).



Σχήμα 2.29. Μοντέλο κόμβου Youssef & Ghobarah (2001)

Τα δύο από αυτά συνδέουν τις διαγώνιους του σώματος του κόμβου προσομοιώνοντας τη διατμητική παραμόρφωση του πυρήνα του κόμβου και τα υπόλοιπα τοποθετούνται περιμετρικά του στοιχείου του κόμβου προς τα συντρέχοντα μέλη, προσομοιώνοντας τους λοιπούς τρόπους ανελαστικής συμπεριφοράς του συστήματος, ενώ η σύνδεση με τα ελαστικά μέλη των δοκών και των υποστυλωμάτων γίνεται μέσω άκαμπτων μελών. Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης μοντελοποίησης έγκειται στο ότι θα πρέπει να βρεθούν οι καταστατικές σχέσεις που περιγράφουν τη μηχανική συμπεριφορά κάθε ελατηρίου, χωρίς να είναι βέβαιο πως είναι δυνατό να βρεθούν, γεγονός που περιορίζει σημαντικά την εφαρμογή του (Sharma et al, 2011a).

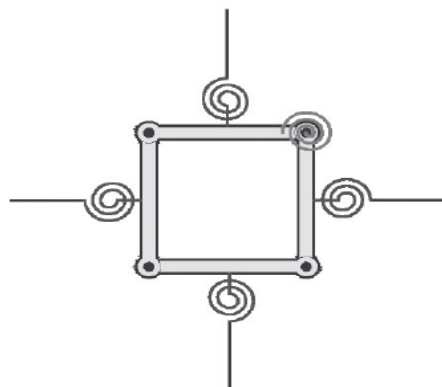
Οι Lowes & Altoontash (2003) προτείνουν ένα μοντέλο το οποίο αποτελείται από τέσσερα στοιχεία – κόμβους με δώδεκα βαθμούς ελευθερίας και το οποίο μπορεί να συμπεριλάβει τους μηχανισμούς τριών ανελαστικών παραμορφώσεων του κόμβου σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση (Σχήμα 2.30).



Σχήμα 2.30. Προτεινόμενο μοντέλο κόμβου Lowes & Altoontash (2003)

Οκτώ διατμητικά ελατήρια μηδενικού μήκους προσομοιώνουν την ολίσθηση των ράβδων οπλισμού της δοκού και του υποστυλώματος, το στοιχείο του κόμβου (panel zone element) με ένα στροφικό ελατήριο μηδενικού μήκους προσομοιώνει τη διατμητική παραμόρφωση του πυρήνα του κόμβου και τέσσερα διατμητικά ελατήρια μηδενικού μήκους προσομοιώνουν τις διατμητικές παραμορφώσεις περιμετρικά του πυρήνα. Το μειονέκτημα και αυτού του μοντέλου έγκειται στο ότι θα πρέπει να βρεθούν οι καταστατικές σχέσεις που περιγράφουν τη μηχανική συμπεριφορά κάθε ελατηρίου, χρησιμοποιώντας θεωρητικά μοντέλα διαθέσιμα στη βιβλιογραφία και πειραματικά δεδομένα. Επίσης, η έρευνα των μελετητών περιορίστηκε σε κόμβους με διατμητικό οπλισμό (συνδετήρες) στο σώμα τους, γεγονός που το καθιστά ακατάλληλο για εφαρμογή σε κόμβους πλαισίων που έχουν διαστασιοποιηθεί για μη σεισμικά φορτία (Sharma et al, 2011a).

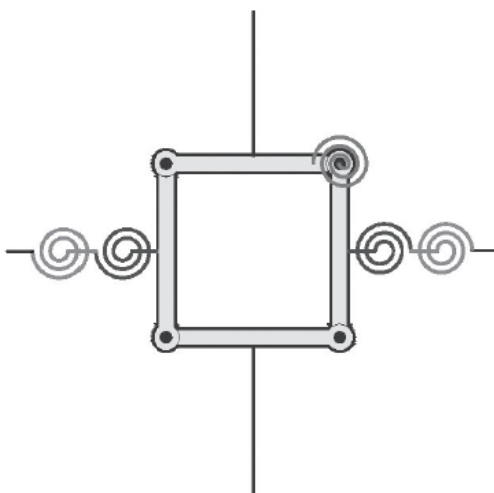
Ο Altoontash (2004) τροποποίησε το προηγούμενο μοντέλο των Lowes & Altoontash (2003) θεωρώντας ένα στοιχείο κόμβου (panel zone element) με ένα στροφικό ελατήριο μηδενικού μήκους που προσομοιώνει τη διατμητική παραμόρφωση του πυρήνα του κόμβου και το οποίο συνδέεται περιμετρικά με τα συντρέχοντα μέλη μέσω τεσσάρων στροφικών ελατηρίων μηδενικού μήκους, προσομοιώνοντας το φαινόμενο της ολίσθησης των ράβδων του διαμήκους οπλισμού (Σχήμα 2.31).



Σχήμα 2.31. Τροποποιημένο μοντέλο κόμβου Altoontash (2003)

Όπως στο μοντέλο των Lowes & Altoontash (2003) έτσι και σε αυτή την περίπτωση υφίσταται δυσκολία στον καθορισμό των καταστατικών σχέσεων των ελατηρίων ενώ η έρευνα δεν επεκτάθηκε σε κόμβους πλαισίων που έχουν διαστασιολογηθεί για μη σεισμικά φορτία (Sharma et al, 2011a).

Οι Shin & LaFave (2004), προσομοίωσαν το σώμα του κόμβου με τέσσερα περιμετρικά άκαμπτα στοιχεία και τη σύνδεση με τις δοκούς με δύο στροφικά ελατήρια σε σειρά, θεωρώντας πως τα υποστυλώματα είναι άκαμπτα συνδεδεμένα με τον κόμβο (Σχήμα 2.32). Όπως γίνεται ευκόλως αντιληπτό, το μοντέλο αναφέρεται σε κόμβους πλαισίων με πλάστιμη συμπεριφορά, το οποίο είναι χαρακτηριστικό των κόμβων που έχουν διαστασιολογηθεί με νεότερους κανονισμούς (Sharma et al, 2011a).



Σχήμα 2.32. Μοντέλο κόμβου Shin & LaFave (2004)

2.4 Συμπεράσματα επί της βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που παρατέθηκε στις προηγούμενες ενότητες, είναι φανερό πως η επιστημονική κοινότητα εδώ και αρκετές δεκαετίες ασχολείται σοβαρά με τη μελέτη της συμπεριφοράς των κόμβων δοκού – υποστυλώματος σε πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα, κυρίως λόγω των παρατηρήσεων των τύπων των βλαβών που έχουν λάβει χώρα σε κτίρια μετά από ένα σεισμικό γεγονός. Πληθώρα πειραματικών δεδομένων μας προσδιορίζουν την αναμενόμενη πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος και μας ωθούν στην ανάπτυξη αναλυτικών μοντέλων που θα προβλέπουν κατά μία έννοια τη συμπεριφορά αυτή, ξεφεύγοντας από το στερεότυπο του να θεωρούνται οι κόμβοι ως άκαμπτοι κατά τη διενέργεια αντισεισμικών μελετών κτιρίων (Favvata et al, 2008).

Αξίζει να σημειωθεί πως, η σωστή εκτίμηση της αντοχής και της παραμόρφωσης ενός κόμβου μπορεί να είναι κρίσιμη στην περίπτωση αποτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς ενός ολόκληρου κτιρίου (Pampanin et al, 2002). Η πληροφορία αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε κτίρια που έχουν μελετηθεί με παλαιότερους κανονισμούς (προ 1985 για την Ελλάδα), οι οποίοι διαστασιολογούσαν τα πλαίσια κυρίως για στατικά μη σεισμικά φορτία και βεβαίως δεν

παρείχαν κατασκευαστικές διατάξεις όπλισης με τις οποίες θα εξασφαλιζόταν μία πλάστιμη συμπεριφορά του δομήματος και θα αποφευγόταν η ψαθυρή αστοχία του κόμβου.

Από τη μελέτη των δημοσιεύσεων σχετικών εργασιών και πειραματικών δεδομένων, προκύπτουν τα χαρακτηριστικά εκείνα στοιχεία (σχέση αντοχής – παραμόρφωσης, ιδιότητες ελατηρίων, αναμενόμενη συμπεριφορά στοιχείων κ.ά.) που μπορούν να εισαχθούν σε μοντέλα προσομοίωσης, παρέχοντας πιο συντηρητική αλλά και πιο ρεαλιστική αποτίμηση των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Δυστυχώς, στη βιβλιογραφία δεν υπάρχουν αρκετές μελέτες και στοιχεία που να αφορούν κόμβους σε πλαίσια οπλισμένα με λείους χάλυβες (κύριο χαρακτηριστικό των παλαιότερων κτιρίων) και κατ' επέκταση είναι περιορισμένα τα αναλυτικά μοντέλα προσομοίωσης της πραγματικής συμπεριφοράς των κόμβων σε σεισμικά φορτία που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση αυτή. Επιπλέον, είναι περιορισμένες και οι έρευνες που αφορούν εσωτερικούς κόμβους, πιθανώς λόγω της καλύτερης συμπεριφοράς τους στη σεισμική φόρτιση που τους καθιστά λιγότερο κρίσιμους από τους εξωτερικούς.

Συνοψίζοντας τα ανωτέρω και προκειμένου στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας να διερευνηθεί η επιρροή των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά υφιστάμενων κατασκευών, θα δοθεί έμφαση στα παλαιότερα κτίρια που έχουν κατασκευασθεί πριν τη δεκαετία του '80 στην Ελλάδα. Στις ενότητες που ακολουθούν θα γίνει μία προσπάθεια ανάπτυξης ενός μοντέλου προσομοίωσης της πραγματικής συμπεριφοράς των κόμβων – τόσο εξωτερικών όσο και εσωτερικών – βασιζόμενο σε υφιστάμενες μελέτες και έρευνες από τη βιβλιογραφία, το οποίο στη συνέχεια θα εφαρμοστεί σε μοντέλα σεισμικής αποτίμησης πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα και θα εξαχθούν τα σχετικά συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 3

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν αρκετά μοντέλα προσομοίωσης κόμβων που απαντώνται στη βιβλιογραφία, καθώς και μοντέλα πρόβλεψης της διατμητικής αντοχής τους. Εξετάζοντας τα διάφορα αυτά μοντέλα και συγκεκριμένα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, το πεδίο εφαρμογής τους, τους τυχόν περιορισμούς τους και λαμβάνοντας υπόψη πως στην παρούσα διπλωματική εργασία θα διερευνηθεί η επιρροή των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά υφιστάμενων κατασκευών, μπορούμε να καταλήξουμε στο καταλληλότερο μοντέλο προσομοίωσης. Με δεδομένο πως η έρευνα θα επικεντρωθεί σε παλαιότερα κτίρια που έχουν διαστασιολογηθεί για μη σεισμικά κυρίως φορτία (προ 1985 για την Ελλάδα), με οπλισμό από λείους χάλυβες και λαμβάνοντας υπόψη πως το επιθυμητό είναι το επιλεγόμενο μοντέλο να είναι απλό, ακριβές και εύκολα εφαρμόσιμο στα εμπορικά διαθέσιμα προγράμματα, επιλέχθηκε το μοντέλο των Sharma et al (2011a), σύμφωνα με το οποίο ο κόμβος προσομοιώνεται με τρία ελατήρια, ένα στροφικό στη δοκό και δύο διατμητικά στα συντρέχοντα υποστυλώματα (Σχήμα 2.18).

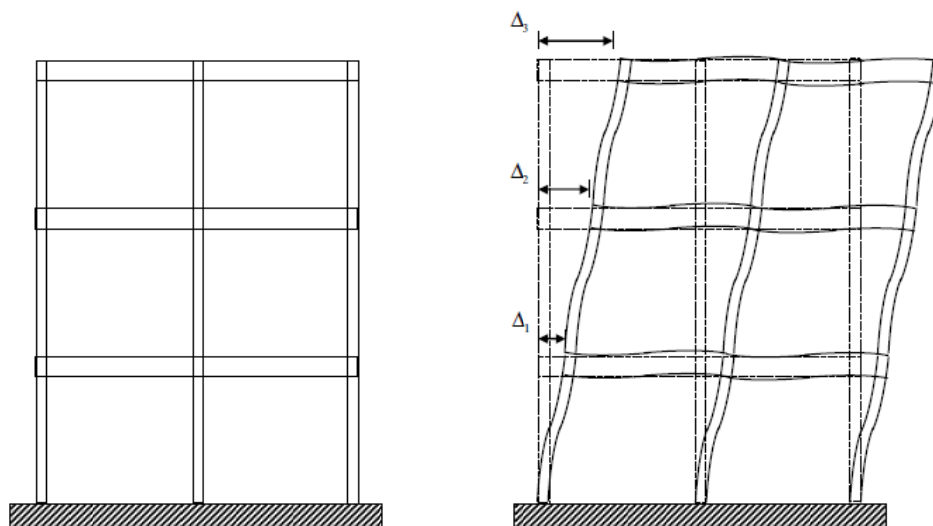
Για την εκτίμηση της αναμενόμενης διατμητικής αντοχής των κόμβων επιλέχθηκε το τροποποιημένο μοντέλο του Priestley (1997) από τους Pampanin et al (2002), με στοιχεία από άλλες σχετικές μελέτες (Genesio, 2012), (Pampanin et al, 2003) και (Akguzel & Pampanin, 2012). Όσον αφορά στον τρόπο υπολογισμού των ελατηριακών χαρακτηριστικών του μοντέλου, επιλέχθηκε η αναλυτική μεθοδολογία του Yiguc (2015), η οποία επεκτάθηκε προκειμένου να εφαρμοστεί και στους λοιπούς κόμβους που θα πρέπει να προσομοιωθούν (εσωτερικοί κόμβοι και εξωτερικοί κόμβοι τελευταίας στάθμης τύπου L και T).

Στις επόμενες ενότητες θα γίνει αναλυτική παρουσίαση του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων καθώς και του τρόπου υπολογισμού των δεδομένων που περιγράφουν την ανελαστική συμπεριφορά του κόμβου και θα εισαχθούν στο πρόγραμμα ανελαστικής ανάλυσης.

3.2 Περιγραφή προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης

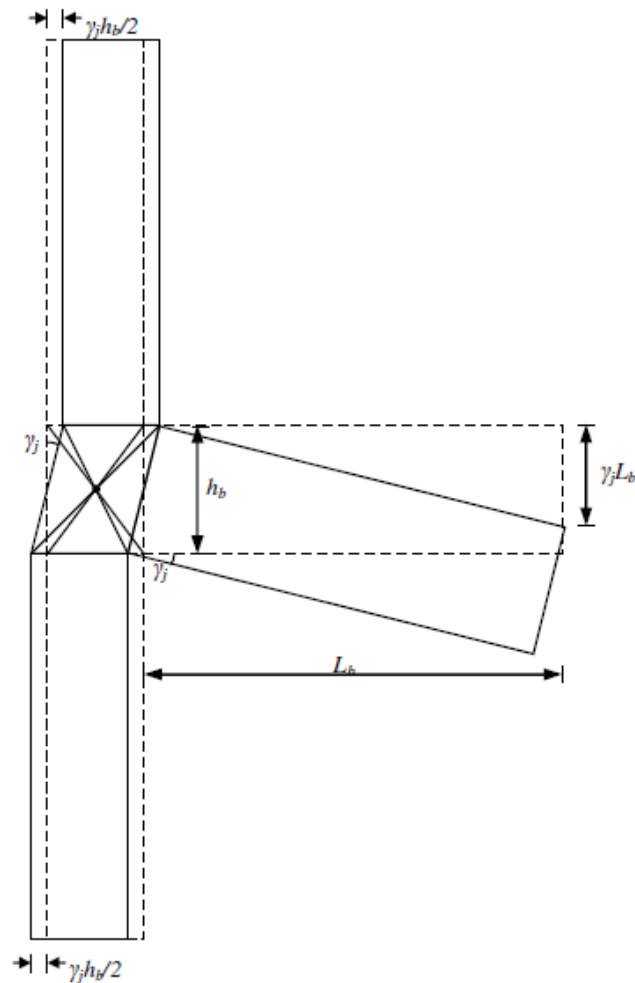
3.2.1 Βασικές αρχές μοντέλου

Προκειμένου να κατανοηθεί η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά του κόμβου δοκού – υποστυλώματος υπό σεισμικά φορτία και να βρεθεί ο καταλληλότερος τρόπος προσομοίωσης των μηχανισμών που τη διέπουν, οι Sharma et al (2011a) ποσοτικοποίησαν τη διατμητική και στροφική παραμόρφωση που παρατηρείται σε έναν κόμβο κατά την οριζόντια μετατόπιση που προκαλείται από το σεισμό. Έτσι, από την τυπική μορφή παραμόρφωσης ενός πλαισίου λόγω σεισμού (Σχήμα 3.1) και την οριζόντια μετακίνηση Δ_i του κάθε ορόφου, προσδιόρισαν την κατανομή της παραμόρφωσης σε εξωτερικό και εσωτερικό κόμβο του πλαισίου και συγκεκριμένα σε ένα τμήμα που εκτείνεται μέχρι το μέσο του ανοίγματος της δοκού και το μέσο ύψος των υποστυλωμάτων άνω και κάτω του κόμβου.



Σχήμα 3.1. Τυπική μορφή παραμορφωμένου πλαισίου λόγω σεισμού (Sharma, 2013)

Όσον αφορά στον εξωτερικό κόμβο (Σχήμα 3.2), η οριζόντια μετακίνηση Δ_i του ορόφου προκαλεί μία οριζόντια διατμητική παραμόρφωση γ_j στον κόμβο. Εξαιτίας αυτής της διατμητικής παραμόρφωσης, προκαλείται στο υποστύλωμα μία σχετική διατμητική μετατόπιση ίση προς $\gamma_j h_b$, όπου h_b το ύψος της δοκού. Η μετατόπιση αυτή μπορεί να μοιραστεί στο τμήμα του υποστυλώματος άνω και κάτω του κόμβου με τιμή $\Delta_c = \gamma_j h_b / 2$. Σημειώνεται πως η τιμή αυτής της παραμόρφωσης είναι επιπλέον κάθε άλλης διατμητικής παραμόρφωσης του υποστυλώματος λόγω εξωτερικών φορτίων. Επίσης, εξαιτίας της διατμητικής παραμόρφωσης γ_j του κόμβου, προκαλείται μία γωνιακή παραμόρφωση γ_j της δοκού, συνέπεια της οποίας είναι μία κατακόρυφη μετατόπιση της άνω παρειάς της δοκού ίση προς $\Delta_b = \gamma_j L_b$, όπου L_b το μήκος του μισού ανοίγματος της δοκού. Σημειώνεται και πάλι πως η τιμή αυτής της παραμόρφωσης είναι επιπλέον κάθε άλλης γωνιακής παραμόρφωσης της δοκού λόγω εξωτερικών καμπτικών φορτίων (Sharma, 2013).

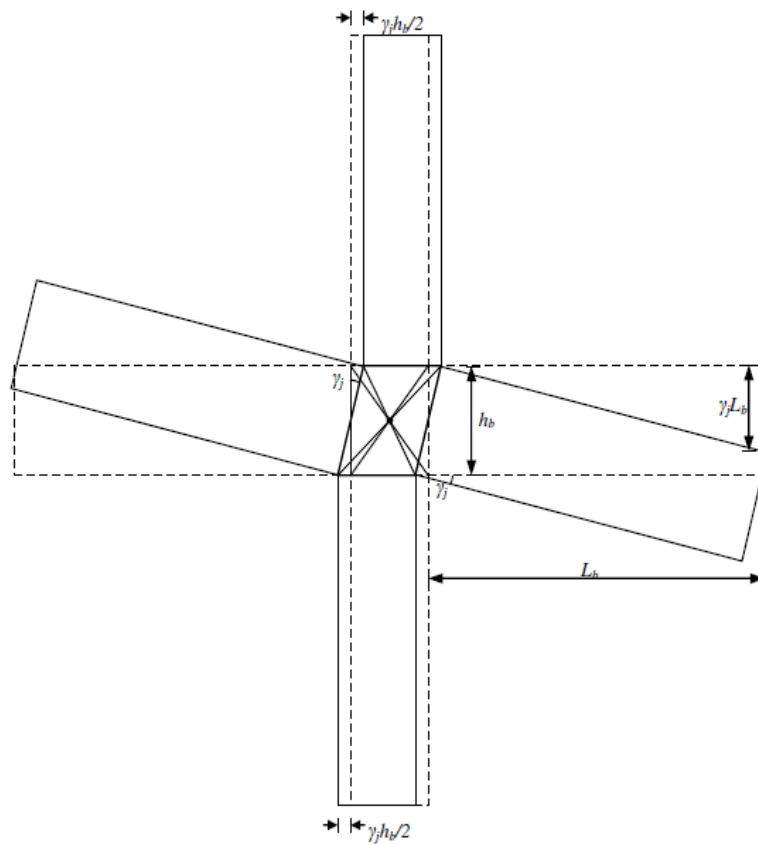


Σχήμα 3.2. Περιγραφή παραμορφώσεων εξωτερικού κόμβου (Sharma, 2013)

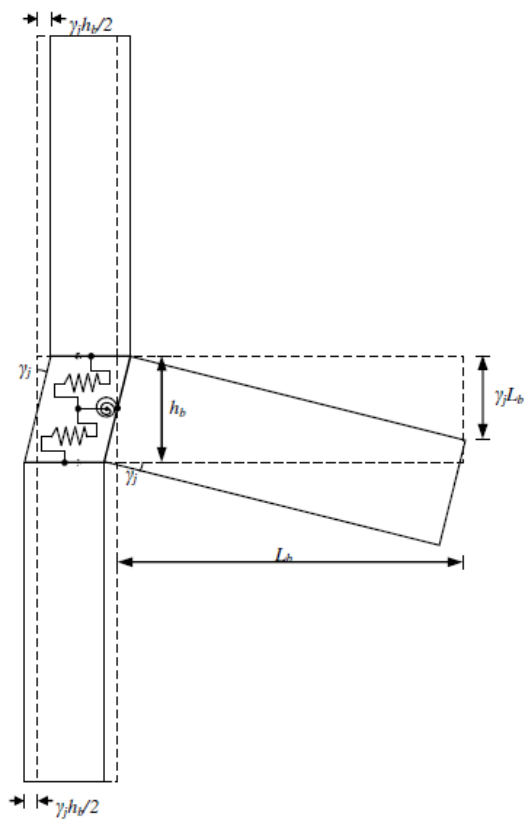
Αναλογικά με τα ανωτέρω, μπορούν να περιγραφούν και οι παραμορφώσεις που προκαλούνται σε έναν εσωτερικό κόμβο εξαιτίας της γωνιακής παραμόρφωσης γ_j αυτού λόγω σεισμού (Σχήμα 3.3).

3.2.2 Μοντελοποίηση παραμόρφωσης κόμβου

Ως εκ τούτου γίνεται αντιληπτό πως, η πραγματική συμπεριφορά του κόμβου μπορεί να περιγραφεί μέσω των τοπικών παραμορφώσεων στον κόμβο και τις δυνάμεις που τις προκαλούν. Έτσι, σύμφωνα με τους Sharma et al (2013), η συμπεριφορά του κόμβου όταν αυτός υπόκειται σε σεισμικά φορτία μπορεί να προσομοιωθεί με δύο διατμητικά ελατήρια στην άνω και κάτω παρειά του κόμβου προς τα συντρέχοντα υποστυλώματα και ένα στροφικό ελατήριο προ της πλευρά της δοκού (Σχήμα 3.4). Τα διατμητικά ελατήρια περιγράφουν τη συμπεριφορά του κόμβου λόγω της οριζόντιας διατμητικής παραμόρφωσης γ_j που αντιστοιχεί σε μία οριζόντια μετατόπιση Δ_c , ενώ το στροφικό ελατήριο περιγράφει τη συμπεριφορά του κόμβου λόγω της γωνιακής παραμόρφωσης γ_j που αντιστοιχεί σε μία κατακόρυφη βύθιση Δ_b .



Σχήμα 3.3. Περιγραφή παραμορφώσεων εσωτερικού κόμβου (Sharma, 2013)



Σχήμα 3.4. Σχηματική απεικόνιση της μοντελοποίησης της παραμόρφωσης του κόμβου (Sharma, 2013)

3.2.3 Προσδιορισμός ελατηριακών χαρακτηριστικών

Για να εφαρμοστούν τα ανωτέρω σε εμπορικά διαθέσιμα προγράμματα ανελαστικών αναλύσεων, θα πρέπει να καθορισθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ελατηρίων. Έτσι, για τα διατμητικά ελατήρια θα πρέπει να σχηματιστούν διαγράμματα μεταβολής της ασκούμενης τέμνουσας στο υποστύλωμα V_c σε σχέση με την οριζόντια μετατόπιση Δ_c , ενώ για το στροφικό ελατήριο θα πρέπει να σχηματιστεί το διάγραμμα μεταβολής της εφαρμοζόμενης καμπτικής ροπής στη δοκό M_b σε σχέση με τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j .

Μόλις προσδιοριστούν τα ανωτέρω σχετικά διαγράμματα, μπορεί να γίνει εφαρμογή του μοντέλου στο στατικό μοντέλο του προγράμματος επίλυσης, ούτως ώστε να ληφθεί υπόψη και η ανελαστική συμπεριφορά του ίδιου του κόμβου εκτός από αυτή των μελών του φορέα. Οι διατιθέμενοι τρόποι για να αναπαραχθούν τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τρεις: με χρήση πειραματικών δεδομένων σε κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων, με χρήση αριθμητικών αναλύσεων με πεπερασμένα στοιχεία ή με αναλυτικό υπολογισμό βασισμένο στη μηχανική των κόμβων και στην ισορροπία των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτόν (Sharma, 2013). Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκε ο προσδιορισμός των ελατηριακών χαρακτηριστικών με αναλυτικό υπολογισμό, καθώς όπως θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα επιτρέπει τον υπολογισμό τους με απλό αλλά αρκετά ακριβή τρόπο και επιπλέον επιτρέπει τη γενίκευση της μεθόδου για εφαρμογή σε πληθώρα πλαισίων.

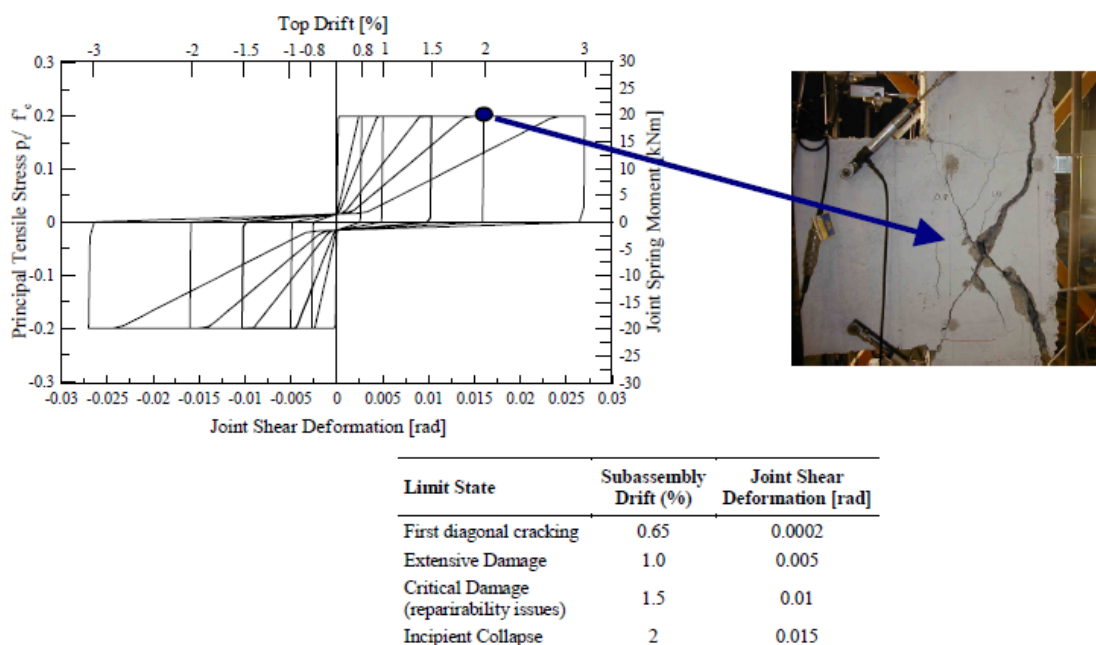
Το πρώτο βήμα για την εκκίνηση της διαδικασίας αναλυτικού υπολογισμού των ελατηριακών χαρακτηριστικών, εκτός βεβαίως από την κατανόηση της μηχανικής του κόμβου και των σχέσεων που περιγράφουν την ισορροπία δυνάμεων σε αυτόν, είναι ο προσδιορισμός του μοντέλου βάσει του οποίου θα γίνει η πρόβλεψη της διατμητικής αντοχής του πυρήνα του κόμβου σε σχέση με την παραμόρφωσή του. Λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική βιβλιογραφία, επιλέχθηκε η τιμή της κύριας εφελκυστικής τάσης p_t ως το κρίσιμο μέγεθος που θα μας καθορίσει την πραγματική ανελαστική συμπεριφορά του κόμβου δοκού – υποστυλώματος.

3.2.4 Εκτίμηση διατμητικής αντοχής κόμβου

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του παρόντος κεφαλαίου, για την εκτίμηση της αναμενόμενης διατμητικής αντοχής του κόμβου επιλέχθηκε το τροποποιημένο μοντέλο του Priestley (1997) από τους Pampanin et al (2002), με στοιχεία από άλλες σχετικές μελέτες [Genesio (2012), Pampanin et al (2003) και Akguzel & Pampanin (2012)]. Η επιλογή αυτή δικαιολογείται κυρίως από το γεγονός ότι η πρόταση που έκαναν για τη μορφή των διαγραμμάτων $p_t - \gamma_j$ έχει επαληθευτεί από αρκετούς ερευνητές τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πειραματικό επίπεδο και επιπλέον επειδή το συγκεκριμένο μοντέλο μας παρέχει στοιχεία που αφορούν κόμβους σε πλαίσια σκυροδέματος οπλισμένα με λείους χάλυβες, χαρακτηριστικό το οποίο καθορίζει τα παλαιότερα κτίρια που είναι διαστασιολογημένα για μη σεισμικά κυρίως φορτία (βλ. ενότητα 2.2). Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί πως και οι Sharma et al (2011a), στο μοντέλο των οποίων θα βασιστούμε για τη διερεύνηση της επιρροής των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών, χρησιμοποίησαν στην έρευνά τους τα ίδια μοντέλα εκτίμησης της διατμητικής αντοχής των κόμβων.

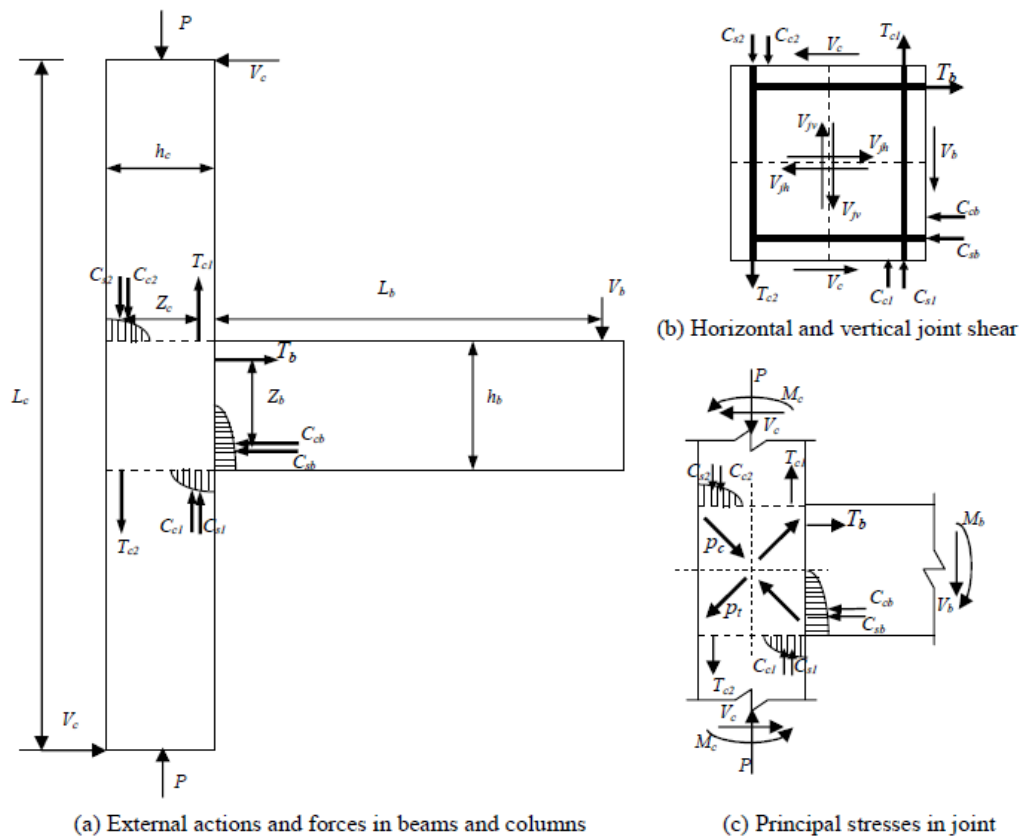
3.2.5 Αναλυτικός υπολογισμός ελατηριακών χαρακτηριστικών

Με δεδομένη τη σχέση μεταξύ της διατμητικής αντοχής του κόμβου και της παραμόρφωσής του, δηλαδή το γράφημα που παρουσιάζει τη μεταβολή της κύριας εφελκυστικής τάσης p_t σε συνάρτηση με τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j του κόμβου, το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των κρίσιμων σημείων της καμπύλης. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να καθοριστούν τα ζεύγη τιμών της κύριας εφελκυστικής τάσης και της γωνιακής παραμόρφωσης που αντιστοιχούν στα κρίσιμα σημεία της συμπεριφοράς του κόμβου, δηλαδή στο σημείο όπου εμφανίζεται η πρώτη διατμητική ρωγμή στο σώμα του κόμβου (1st diagonal joint cracking) και στο σημείο όπου λαμβάνουν χώρα εκτεταμένες ρωγμές (peak load), πέραν του οποίου αρχίζει μία απότομη γραμμική μείωση της αντοχής του κόμβου μέχρι την ολική αστοχία (Σχήμα 2.14 και Σχήμα 3.5).

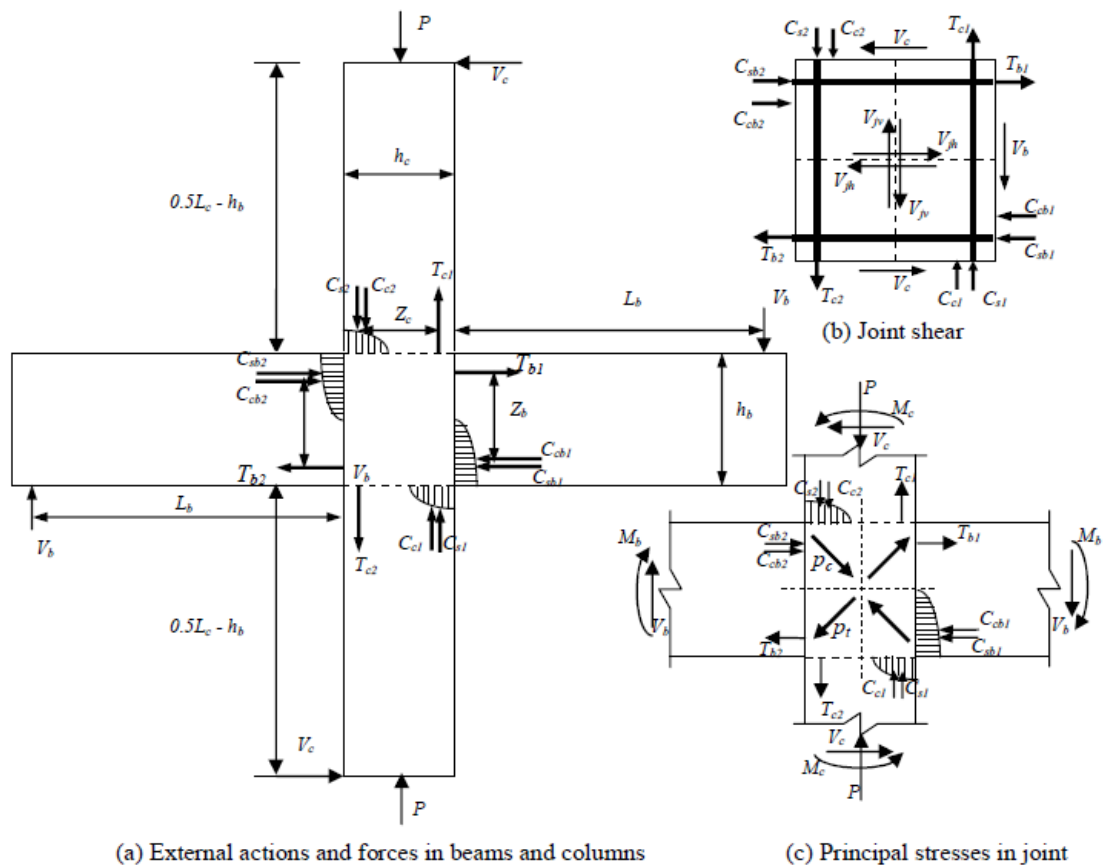


Σχήμα 3.5. Οριακές καταστάσεις εξωτερικού κόμβου συναρτήσει της γωνιακής παραμόρφωσης (Rampranin et al, 2003)

Οι Sharma et al (2009) ανέπτυξαν ένα αναλυτικό μοντέλο υπολογισμού των ελατηριακών χαρακτηριστικών, το οποίο βασίζεται στην ισορροπία δυνάμεων στον κόμβο λόγω σεισμικής φόρτισης, τόσο για εξωτερικούς (Σχήμα 3.6) όσο για εσωτερικούς κόμβους (Σχήμα 3.7). Οι αναλυτικοί τύποι που χρησιμοποιούνται βασίζονται σε προγενέστερες μελέτες (Tsonos, 2005) και (Park & Paulay, 1975) και υπολογίζουν τη σχέση μεταξύ της ασκούμενης τέμνουσας στο υποστύλωμα V_c με την οριζόντια μετατόπιση Δ_c και τη σχέση μεταξύ της εφαρμοζόμενης καμπτικής ροπής στη δοκό M_b με τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j . Η όλη διαδικασία είναι σχετικά πολύπλοκη καθώς διαφοροποιείται ανάλογα με το εάν υπάρχει ή όχι αξονικό φορτίο στο υποστύλωμα, απαιτεί την εύρεση του διαγράμματος καμπτικής ροπής δοκού M_b σε σχέση με την αναπτυσσόμενη εφελκυστική δύναμη T_b που ασκείται στον εφελκυσμένο διαμήκη οπλισμό της δοκού, ενώ απαιτεί μία επαναληπτική διαδικασία σύγκλισης της αρχικά υποτιθέμενης τιμής T_b , μέσω της οποίας βρίσκουμε κατόπιν αντιστοίχισης τις επιθυμητές τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών.



Σχήμα 3.6. Μηχανισμός δυνάμεων σε εξωτερικό κόμβο λόγω σεισμού (Sharma et al, 2009)



Σχήμα 3.7. Μηχανισμός δυνάμεων σε εσωτερικό κόμβο λόγω σεισμού (Sharma et al, 2009)

Εξαιτίας των ανωτέρω και όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του παρόντος κεφαλαίου, για τον τρόπο υπολογισμού των ελατηριακών χαρακτηριστικών του μοντέλου, επιλέχθηκε η αναλυτική μεθοδολογία του Yiguo (2015), η οποία επεκτάθηκε προκειμένου να εφαρμοστεί και στους λοιπούς κόμβους που θα πρέπει να προσομοιωθούν (εσωτερικοί κόμβοι και εξωτερικοί κόμβοι τελευταίας στάθμης τύπου L και T). Η όλη τυπολογία παρουσιάστηκε στο (Σχήμα 2.15) και με δεδομένα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κόμβου, τις χαρακτηριστικές αντοχές των υλικών, το αξονικό φορτίο του υποστυλώματος και τη σχέση μεταξύ της κύριας εφελκυστικής τάσης με τη γωνιακή παραμόρφωση, εφαρμόζοντας μία αναδιάταξη των τύπων, μπορούμε να υπολογίσουμε τη σχέση μεταξύ της ασκούμενης τέμνουσας στο υποστύλωμα V_c με την οριζόντια μετατόπιση Δ_c και τη σχέση μεταξύ της εφαρμοζόμενης καμπτικής ροπής στη δοκό M_b με τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j , στοιχεία απαραίτητα για τον καθορισμό της τριγραμμικής καμπύλης προσδιορισμού της ανελαστικής συμπεριφοράς των ελατηρίων.

3.2.6 Τυπολόγιο μοντέλου Yiguo (2015) για εξωτερικό κόμβο

Σύμφωνα με το (Σχήμα 2.15) η ονομαστική οριζόντια διατμητική τάση v_{jh} είναι ίση με

$$v_{jh} = V_{jh} / (b_j \cdot h_c) \quad (3.1)$$

όπου V_{jh} η οριζόντια διατμητική δύναμη στον κόμβο

b_j το πλάτος του κόμβου (ίσο με το πλάτος της δοκού b)

h_c το ύψος του υποστυλώματος.

Με αναδιάταξη της (3.1) λαμβάνουμε την οριζόντια διατμητική δύναμη στον κόμβο V_{jh}

$$V_{jh} = v_{jh} \cdot b_j \cdot h_c \quad (3.2)$$

Η κύρια εφελκυστική τάση p_t είναι ίση με

$$p_t = -\frac{f_v}{2} + R = -\frac{f_v}{2} + \sqrt{\left(\frac{f_v}{2}\right)^2 + v_{jh}^2} \quad (3.3)$$

όπου $f_v = N_v/A_e$ η τάση στον κόμβο εξαιτίας του αξονικού φορτίου του υποστυλώματος N_v

Επιλύοντας την (3.3) ως προς v_{jh} έχουμε

$$v_{jh} = \sqrt{p_t^2 + p_t f_v} \quad (3.4)$$

Αντικαθιστώντας στην (3.2) την (3.4) και την f_v , λαμβάνοντας ως $A_e = b_j \cdot h_c$ έχουμε

$$V_{jh} = b_j h_c \sqrt{p_t^2 + p_t \frac{N_v}{b_j h_c}} \quad (3.5)$$

Από το (Σχήμα 2.15) οι τέμνουσες V_c και V_b και η ροπή M_b είναι ίσες προς

$$V_c = \frac{V_{jh}}{\left[\frac{l_c}{l_b j d} \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right) - 1 \right]} \quad (3.6)$$

$$V_b = \frac{V_c l_c}{l_b} \quad (3.7)$$

$$M_b = V_b \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right) \quad (3.8)$$

όπου l_c και l_b , τα μήκη σύμφωνα με το (Σχήμα 2.16)

και το jd θεωρείται προσεγγιστικά ίσο προς $0,90d$.

Από το (Σχήμα 3.2) έχουμε

$$\Delta_c = \gamma_j \cdot h_b / 2 \quad (3.9)$$

Έτσι, από τις εξισώσεις (3.6), (3.9), (3.8) και γνωρίζοντας τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j που αντιστοιχεί στην κύρια εφελκυστική τάση p_t για κάθε κρίσιμο σημείο σύμφωνα με το (Σχήμα 2.14), έχουμε στη διάθεσή μας όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών, δηλαδή τα ζεύγη τιμών της ασκούμενης τέμνουσας στο υποστύλωμα V_c με την οριζόντια μετατόπιση Δ_c και της εφαρμοζόμενης καμπτικής ροπής στη δοκό M_b με τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j , στοιχεία απαραίτητα για τον καθορισμό της τριγωνικής καμπύλης προσδιορισμού της ανελαστικής συμπεριφοράς των ελατηρίων.

3.2.7 Τυπολόγιο μοντέλου Yigüe (2015) για εσωτερικό κόμβο

Στην περίπτωση εσωτερικού κόμβου, λαμβάνοντας υπόψη πως στις εξισώσεις ισορροπίας ο μοχλοβραχίονας του ζεύγους V_b (Σχήμα 3.7) είναι ίσος με $2l_b$ (όπου l_b η απόσταση της V_b από το μέσο του υποστυλώματος), οι ανωτέρω εξισώσεις τροποποιούνται ως εξής:

$$V_c = \frac{V_{jh}}{\left[\frac{l_c}{2l_b j d} \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right) - 1 \right]} \quad (3.10)$$

$$V_b = \frac{V_c l_c}{2l_b} \quad (3.11)$$

Κατά τα λοιπά ισχύουν οι εξισώσεις (3.8) και (3.9), οπότε είναι γνωστά τα ζεύγη τιμών V_c - Δ_c και M_b - γ_j για τον καθορισμό της τριγωναμικής καμπύλης προσδιορισμού της ανελαστικής συμπεριφοράς των ελατηρίων.

3.2.8 Τυπολόγιο μοντέλου Yiyue (2015) για εξωτερικό κόμβο τύπου L

Στην περίπτωση εξωτερικού κόμβου τύπου L, λαμβάνοντας υπόψη πως στις εξισώσεις ισορροπίας ο μοχλοβραχίονας της V_c (Σχήμα 3.6) είναι ίσος με $l_c/2$, οι ανωτέρω εξισώσεις τροποποιούνται ως εξής:

$$V_c = \frac{V_{jh}}{\left[\frac{l_c}{2l_b j d} \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right) - 1 \right]} \quad (3.12)$$

$$V_b = \frac{V_c l_c}{2l_b} \quad (3.13)$$

Κατά τα λοιπά ισχύουν οι εξισώσεις (3.8) και (3.9), οπότε είναι γνωστά τα ζεύγη τιμών V_c - Δ_c και M_b - γ_j για τον καθορισμό της τριγωναμικής καμπύλης προσδιορισμού της ανελαστικής συμπεριφοράς των ελατηρίων.

3.2.9 Τυπολόγιο μοντέλου Yiyue (2015) για εξωτερικό κόμβο τύπου T

Στην περίπτωση εξωτερικού κόμβου τύπου T, λαμβάνοντας υπόψη πως στις εξισώσεις ισορροπίας ο μοχλοβραχίονας της V_c (Σχήμα 3.6) είναι ίσος με $l_c/2$ και ο μοχλοβραχίονας του ζεύγους V_b (Σχήμα 3.7) είναι ίσος με $2l_b$, οι ανωτέρω εξισώσεις τροποποιούνται ως εξής:

$$V_c = \frac{V_{jh}}{\left[\frac{l_c}{4l_b j d} \left(l_b - \frac{h_c}{2} \right) - 1 \right]} \quad (3.14)$$

$$V_b = \frac{V_c l_c}{4l_b} \quad (3.15)$$

Κατά τα λοιπά ισχύουν οι εξισώσεις (3.8) και (3.9), οπότε είναι γνωστά τα ζεύγη τιμών V_c - Δ_c και M_b - γ_j για τον καθορισμό της τριγωναμικής καμπύλης προσδιορισμού της ανελαστικής συμπεριφοράς των ελατηρίων.

3.3 Συνοπτική επισκόπηση και πλεονεκτήματα του μοντέλου προσομοίωσης

Όπως έγινε κατανοητό από την ενότητα (3.2), το προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιεί έναν περιορισμένο αριθμό ελατηρίων (ένα στροφικό στο δοκό και δύο διατμητικά στο υποστύλωμα στην περίπτωση εξωτερικού κόμβου), σε αντίθεση με άλλα προτεινόμενα μοντέλα στη βιβλιογραφία, τα οποία χρησιμοποιούν είτε πολλαπλά ελατήρια είτε εξειδικευμένα στοιχεία που προσομοιώνουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πυρήνα του κόμβου, χωρίς πάντα να είναι εφικτό να υπολογιστούν με προσιτό τρόπο τα δεδομένα εκείνα που περιγράφουν τους καταστατικούς νόμους των στοιχείων προσομοίωσης. Το γεγονός αυτό, δηλαδή της σχετικής απλότητας του μοντέλου, το καθιστά πρακτικό, υπολογιστικά μη απαγορευτικό, ακριβές και εφαρμόσιμο σε αρκετές περιπτώσεις (Sharma, 2013), κάτι που αποτελεί το βασικότερο ίσως πλεονέκτημά του.

Το προτεινόμενο μοντέλο βασίζεται στην παραδοχή πως το κριτήριο της κύριας εφελκυστικής τάσης p_t είναι το πιο κατάλληλο σε σχέση με τα λοιπά προτεινόμενα από τη βιβλιογραφία (μοντέλα διατμητικής αντοχής βασισμένα στη θεωρία της κατανομής των δυνάμεων μέσω δικτυωμάτων εντός του κόμβου ή μοντέλα που βασίζονται στην οριζόντια διατμητική τάση, κ.ά.), αφού είναι απλό, ακριβές, μπορεί να τύχει γενικευμένης εφαρμογής και αποτελεί μία λογική βάση πρόβλεψης της αστοχίας του κόμβου (Sharma, 2013), επιβεβαιωμένη με αρκετά πειράματα και αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων.

Συνοψίζοντας, το μοντέλο προσομοίωσης της πραγματικής ανελαστικής συμπεριφοράς των κόμβων δοκού – υποστυλώματος πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα που υιοθετείται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας και προτείνεται για χρήση, έχει ως βάση το μοντέλο των Sharma et al (2011a) (Σχήμα 3.4), με τη διαφορά πως επιλέγεται μία τροποποιημένη εκδοχή της μεθοδολογίας του Yiyoue (2015) για τον αναλυτικό υπολογισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα χρησιμοποιηθούν, η οποία και επεκτάθηκε και σε άλλους τύπους κόμβων. Μία ακόμα ουσιώδης διαφοροποίηση είναι πως οι Sharma et al (2011a) ασχολήθηκαν σε πρώτη φάση μόνο με εξωτερικούς κόμβους (παρόλο που περιέγραψαν το πώς η μεθοδολογία τους μπορεί να εφαρμοστεί και σε εσωτερικούς κόμβους), αλλά και το γεγονός πως η εφαρμογή του μοντέλου τους περιορίστηκε σε πλαίσια οπλισμένα με χάλυβες με νευρώσεις.

Η ανάγκη για τη διερεύνηση της επιρροής των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά υφιστάμενων κατασκευών, με έμφαση στις πιο ευάλωτες από αυτές (κτίρια προ 1985 για την Ελλάδα, διαστασιολογημένα για μη σεισμικά κυρίως φορτία και οπλισμό από λείους χάλυβες), οδήγησε στην υιοθέτηση αυτού του μοντέλου προσομοίωσης με τις αναγκαίες τροποποιήσεις και επεκτάσεις.

Κεφάλαιο 4

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

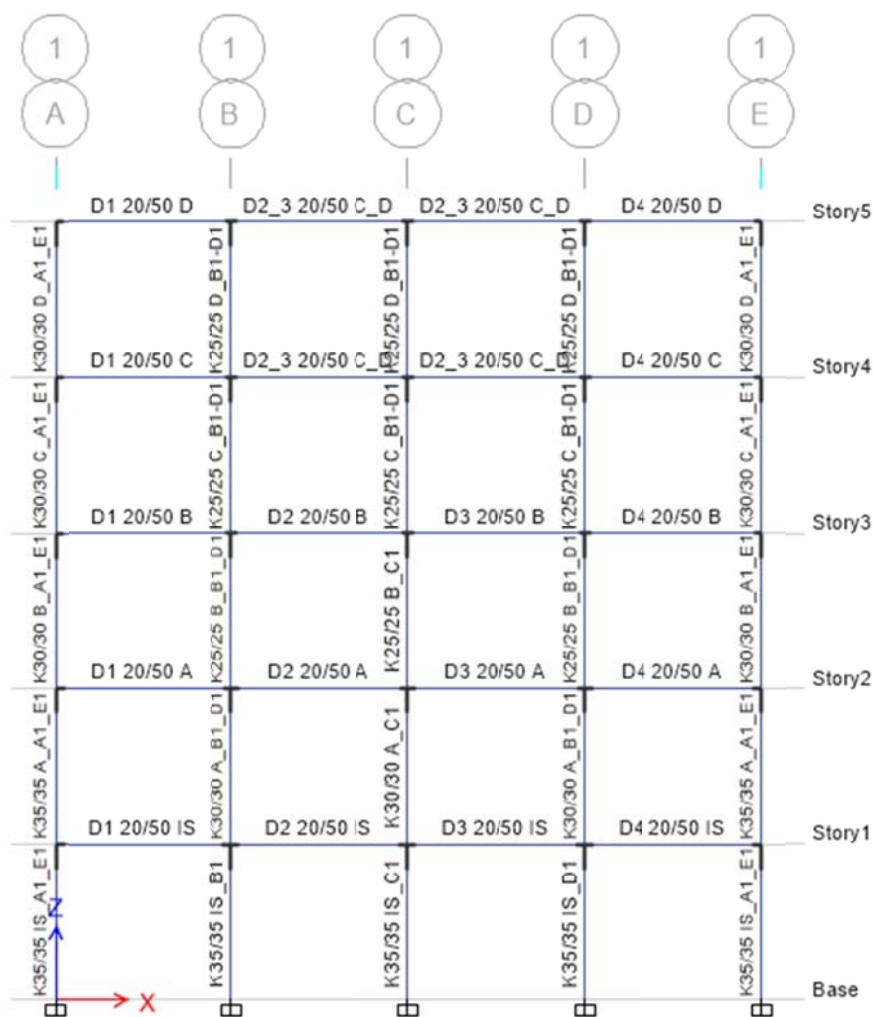
Αφού προηγήθηκε η αναλυτική παρουσίαση του προτεινόμενου μοντέλου, στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή της εφαρμογής του στην αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς μίας πολυώροφης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ειδικότερα, αφού παρουσιαστεί η κατασκευή της οποίας θα γίνει αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς της, με και χωρίς την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, θα ακολουθήσει μία πρώτη ανάλυση μόνο με τα κατακόρυφα φορτία, έτσι ώστε να ληφθούν τα αξονικά φορτία των υποστυλωμάτων από το συνδυασμό $g+0,30q$. Ακολούθως, αφού επιλεγούν οι καμπύλες εκτίμησης της αναμενόμενης διατμητικής αντοχής των κόμβων, θα υπολογιστούν αναλυτικά τα ελατηριακά χαρακτηριστικά των στοιχείων του μοντέλου, τα οποία και θα εισαχθούν στο πρόγραμμα ανελαστικής ανάλυσης. Τέλος, περιγράφεται ο τρόπος εφαρμογής του μοντέλου στο λογισμικό ανελαστικής ανάλυσης.

4.2 Περιγραφή της κατασκευής

Η κατασκευή η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της επιρροής των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι το επίπεδο πλαίσιο (Σχήμα 4.1) ενός πενταώροφου κτιρίου κύριας χρήσης κατοικίας ή γραφείων. Η επιλογή της διερεύνησης ενός πλαισίου αντί ενός χωρικού μοντέλου κατά την πρώτη εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης, έγινε κυρίως διότι στην περίπτωση του πλαισίου είναι πιο εύκολη η ποιοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, δεν υπεισέρχονται παράμετροι εγκάρσιας ακαμψίας σε σχέση με τη διεύθυνση της φόρτισης (για παράδειγμα στην ανελαστική στατική ανάλυση) και ο τρόπος επίλυσης με επίπεδα πλαίσια είναι συμβατός με τον τρόπο επίλυσης των κτιρίων για την εξεταζόμενη περίοδο (προ του 1985). Ένας επιπλέον λόγος είναι πως στη βιβλιογραφία, τόσο σε πειραματικό όσο και σε θεωρητικό επίπεδο, τα μοντέλα διερεύνησης της αντοχής και της συμπεριφοράς των κόμβων είναι επίπεδα (δύο διαστάσεων, 2D), ενώ λίγα μοντέλα αφορούν σε χωρική προσομοίωση αυτών.

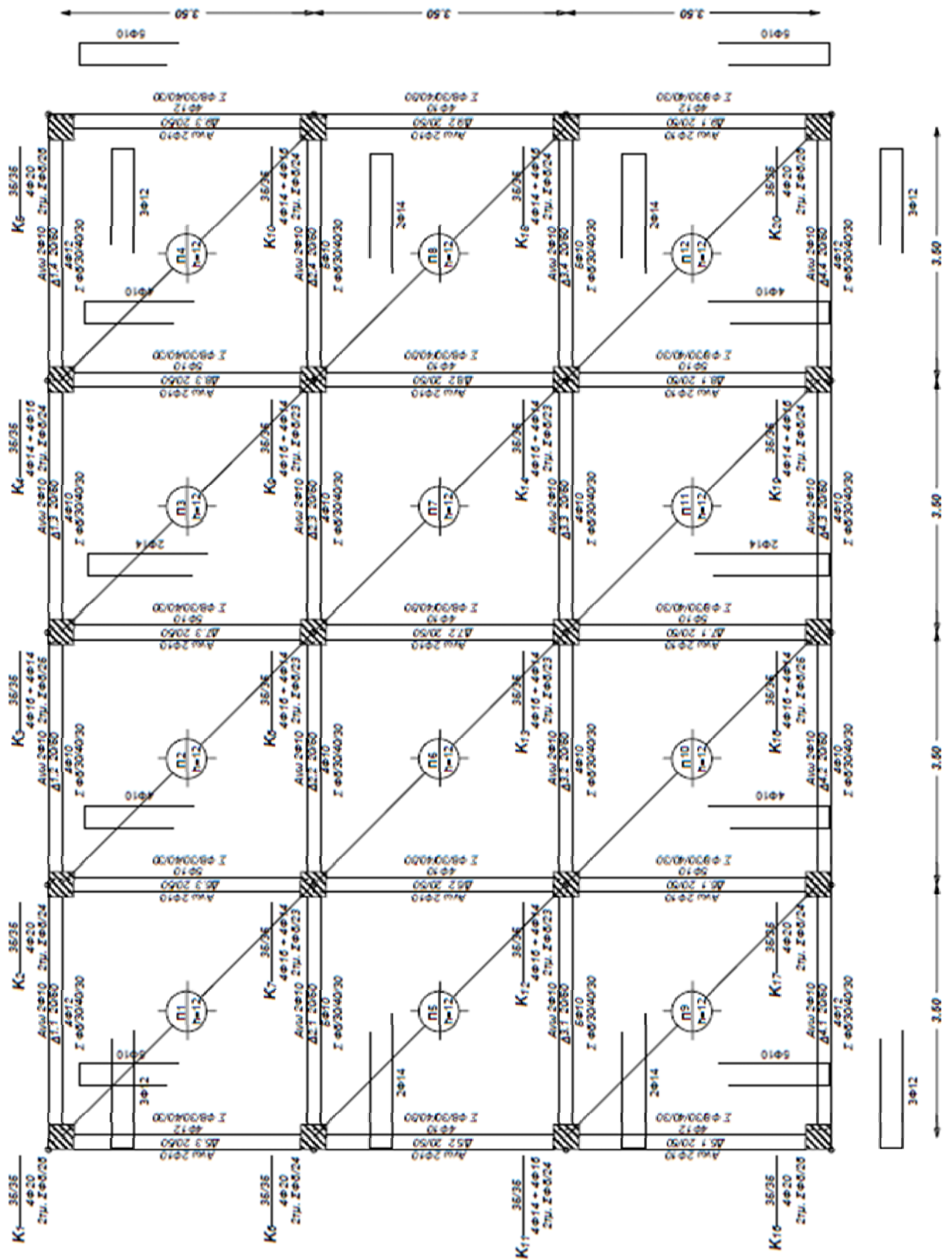
Πρόκειται για κτίριο της περιόδου της δεκαετίας του '60, το οποίο έχει διαστασιολογηθεί σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959 (Β.Δ. 19-02-1959), τον κανονισμό σκυροδέματος του 1954 (Β.Δ. 18-02-1954) και τον κανονισμό φορτίσεων του 1945 (Β.Δ. 10-12-

1945). Το κτίριο έχει κάτοψη τεσσάρων επί τριών φατνωμάτων ανοίγματος 3,50m και στις δύο διευθύνσεις και ύψος ορόφων ίσο προς 3,00m. Το σκυρόδεμα είναι κατηγορίας B160 και ο χάλυβας ποιότητας StI χωρίς νευρώσεις.

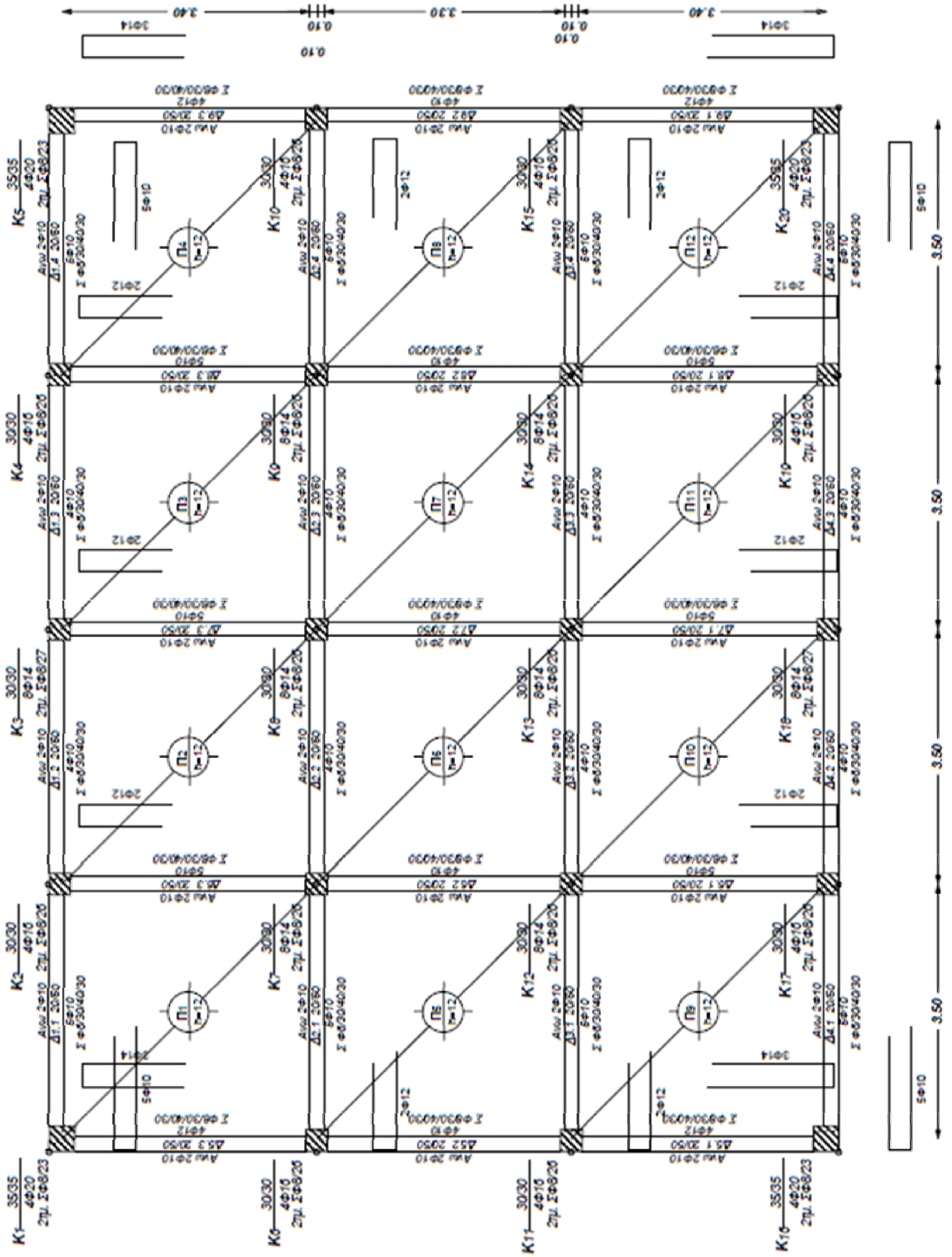


Σχήμα 4.1. Επίπεδο πλαίσιο στον άξονα 1 (ακραίο)

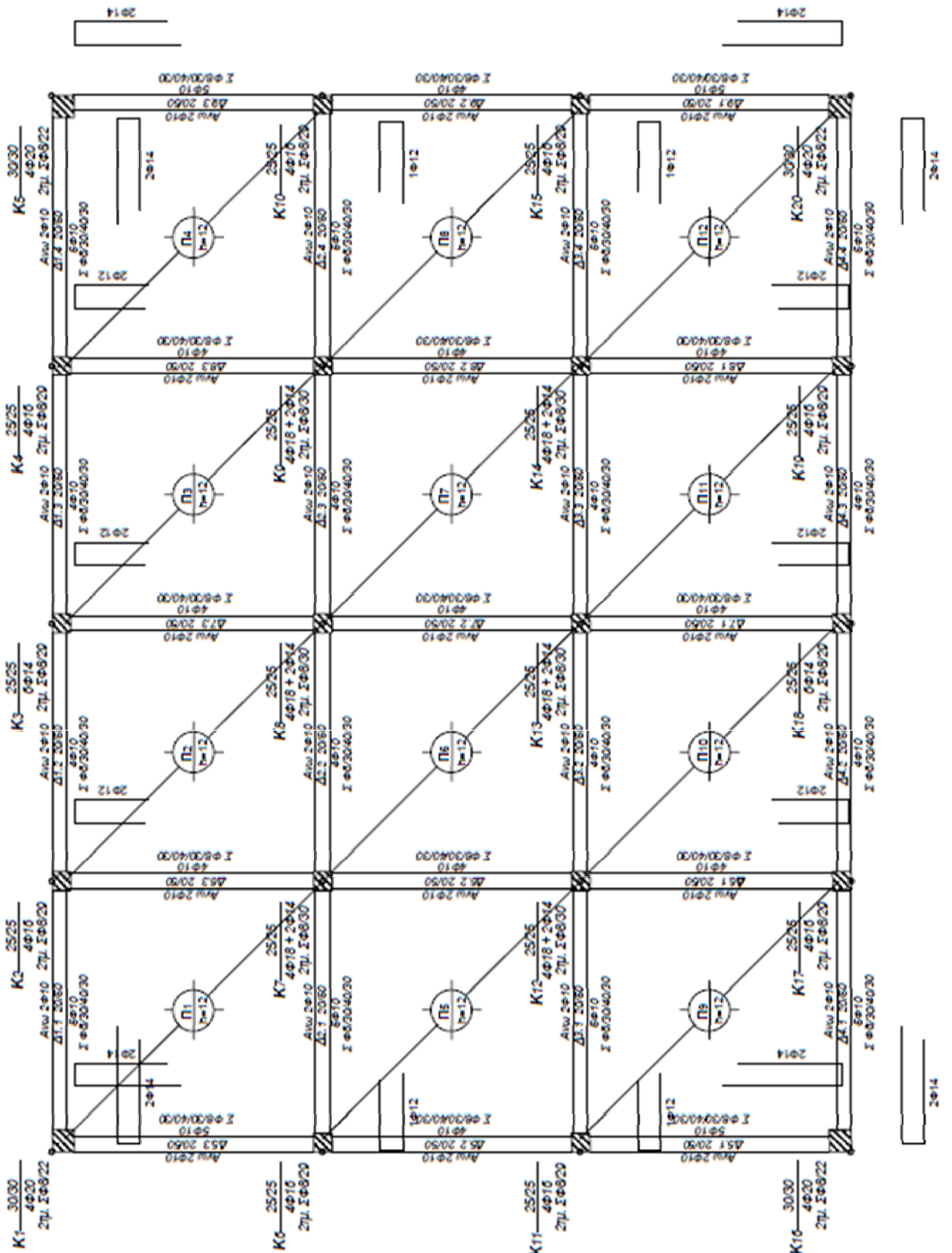
Τα μόνιμα φορτία είναι ίσα προς $1,50\text{KN/m}^2$ για την επικάλυψη και $1,00\text{KN/m}^2$ για τις εσωτερικές τοιχοποιίες, ενώ στις περιμετρικές δοκούς των ορόφων (πλην της τελευταίας στάθμης) έχει υπολογισθεί γραμμικό φορτίο $9,00\text{KN/m}$ λόγω τοιχοποιίας ($3,60\text{KN/m}^2$ με ύψος τοίχου 2,50m). Τα κινητά φορτία είναι γενικά ίσα προς $2,00\text{KN/m}^2$ σε όλους τους ορόφους. Τέλος, το σεισμικό φορτίο έχει υπολογισθεί με συντελεστή $\varepsilon=0,04$ (σεισμικότητα περιοχής I και έδαφος κατηγορίας σεισμικής επικινδυνότητας α). Οι ξυλότυποι του κτιρίου με τους αντίστοιχους οπλισμούς παρουσιάζονται στα επόμενα σχήματα (Σχήμα 4.2, Σχήμα 4.3, Σχήμα 4.4, Σχήμα 4.5 & Σχήμα 4.6).



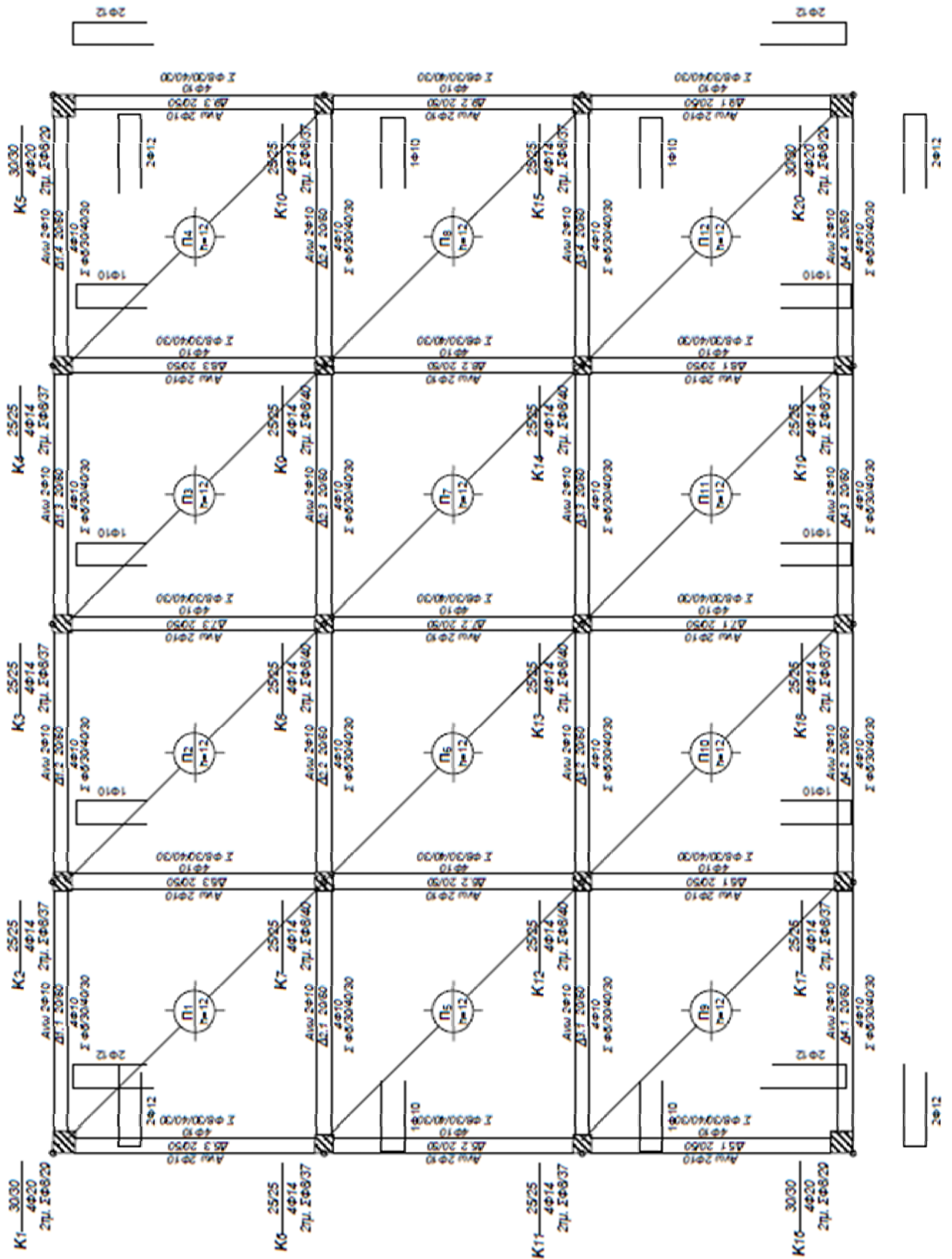
Σχίμα 4.2. Ξυλότοπος 1^{ης} στάθμης (Ρεπαπής, 2007)



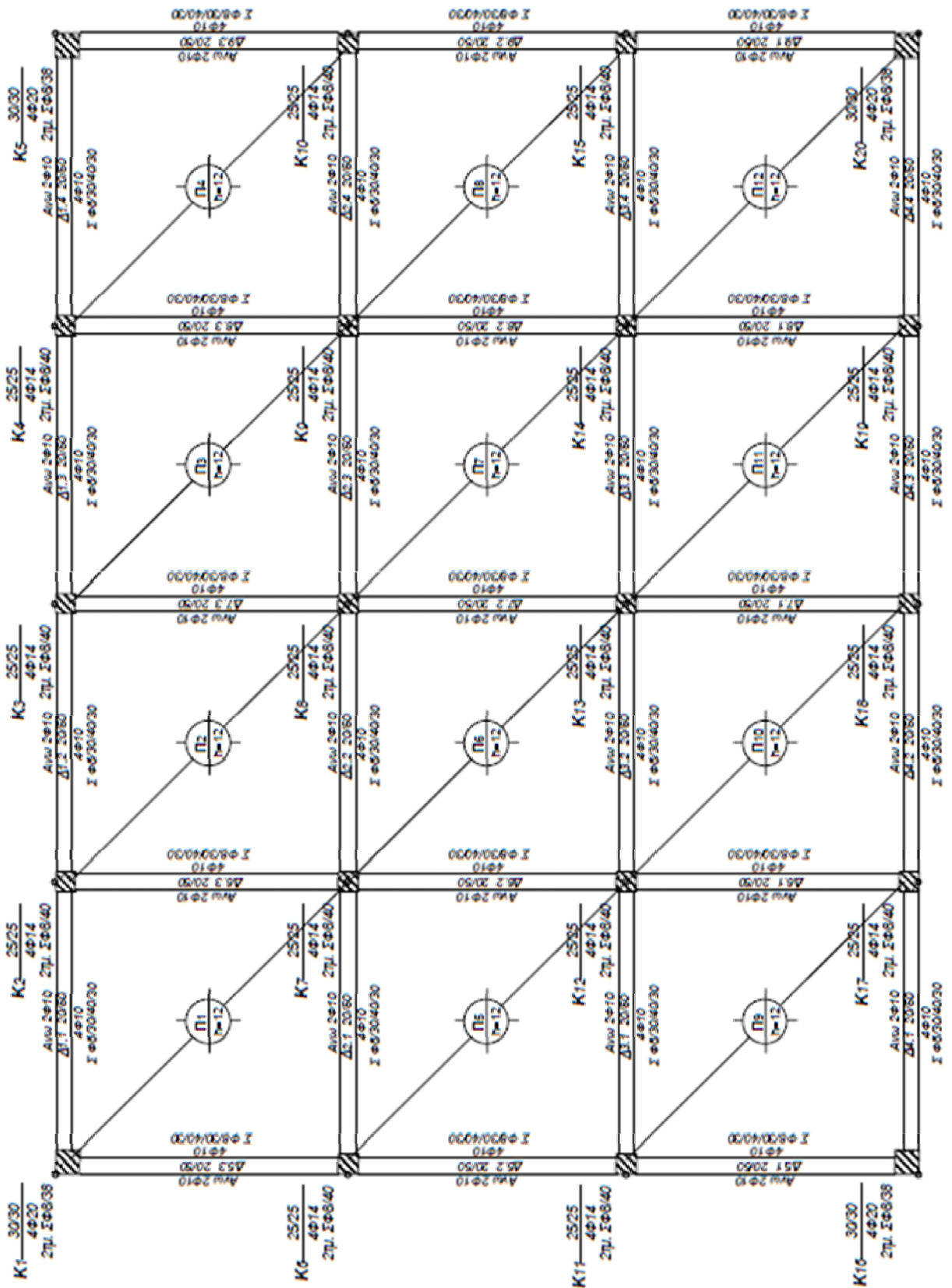
Σχήμα 4.3. Ξυλότοπος 2^{ης} στάθμης (Ρεπαπής, 2007)



Σχήμα 4.4. Ξυλότυπος 3^{ης} στάθμης (Ρεπαπής, 2007)

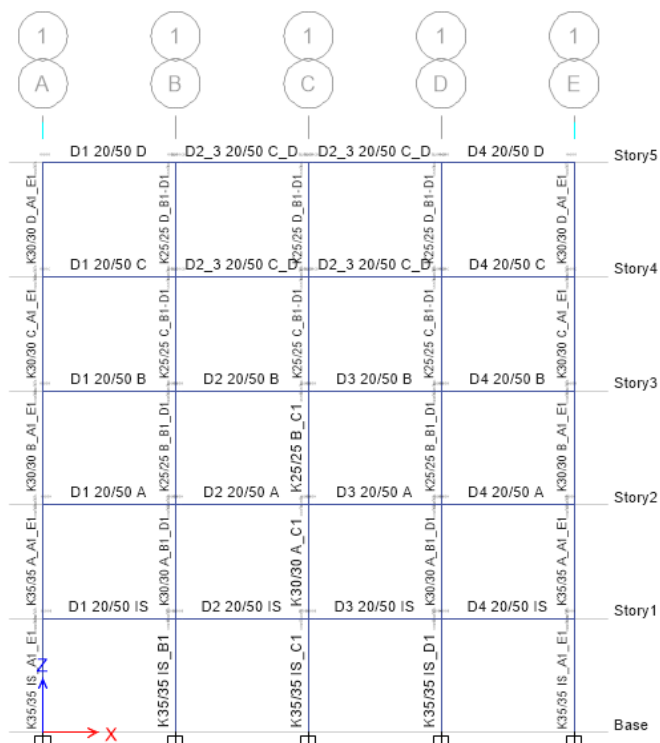


Σχήμα 4.5. Ξυλότοπος 4^{ης} στάθμης (Ρεπαπής, 2007)

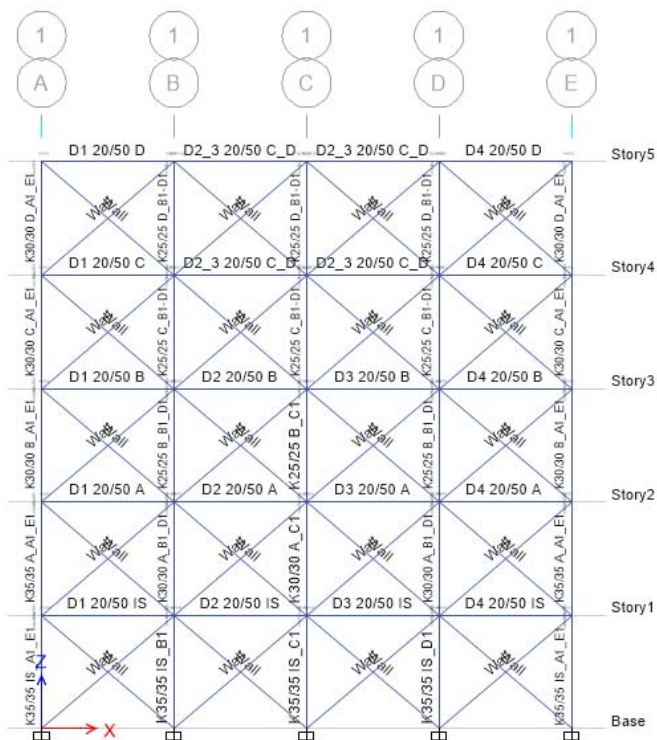


Σχήμα 4.6. Ξυλότοπος 5^{ης} στάθμης (Ρεπαπής, 2007)

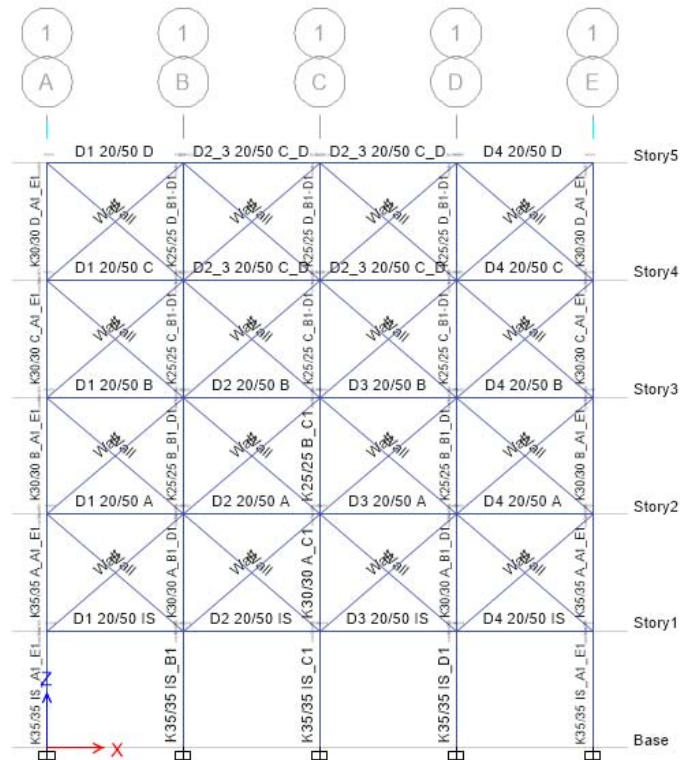
Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η ανωτέρω κατασκευή θα εξετασθεί σε τρεις μορφές – εκδοχές της: (i) πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις – bare frame (Σχήμα 4.7), (ii) πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις – infilled frame (Σχήμα 4.8) και (iii) πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο – pilotis (Σχήμα 4.9).



Σχήμα 4.7. Πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις (bare frame)

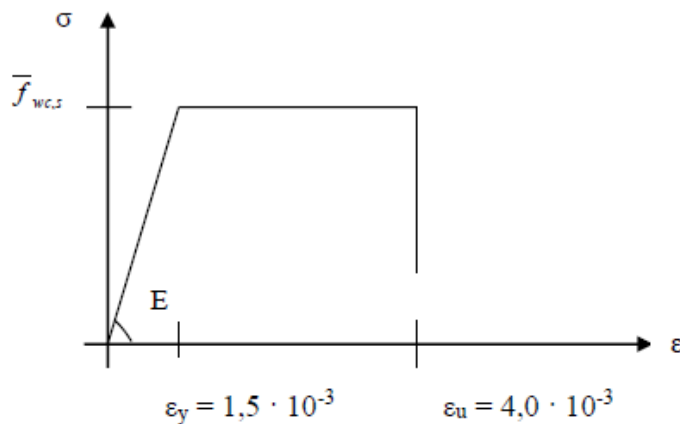


Σχήμα 4.8. Πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις (infilled frame)



Σχήμα 4.9. Πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο (pilotis)

Στα πλαίσια (ii) και (iii) ελήφθησαν υπόψη άοπλες περιμετρικές τοιχοπληρώσεις πάχους 0,25m και θλιπτικής αντοχής 2,50MPa. Η προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων έγινε σύμφωνα με τα οριζόμενα στην παράγραφο 7.4 του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2017) και συγκεκριμένα με τη χρήση δύο διαγώνιων ράβδων μισής δυστένειας που μπορούν να παραλάβουν μόνο αξονικό – θλιπτικό φορτίο, μιας και η αντοχή της τοιχοποιίας σε εφελκυσμό αγνοείται. Ο μηχανισμός θραύσης της τοιχοπλήρωσης προσομοιώθηκε με την εισαγωγή μίας πλαστικής άρθρωσης σε κάθε διαγώνιο ράβδο, το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων της οποίας ακολουθεί το σχετικό διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων ισοδύναμης θλιβόμενης διαγώνιας ράβδου άοπλης τοιχοπλήρωσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Σχήμα 4.10).



Σχήμα 4.10. Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων ισοδύναμης θλιβόμενης ράβδου (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2017)

4.3 Αξονικά φορτία από τον συνδυασμό g+0,30q

Όπως περιγράφηκε στην ενότητα (3.2.5) για τον αναλυτικό υπολογισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών του μοντέλου προσομοίωσης, εκτός των γεωμετρικών δεδομένων των κόμβων και της ποιότητας των υλικών, είναι απαραίτητο να προσδιορισθούν και τα αξονικά φορτία των υποστυλωμάτων N_v . Αυτό θα γίνει μέσω μίας πρώτης επίλυσης του συνδυασμού g+0,30q για τα κατακόρυφα φορτία. Η επίλυση του πλαισίου έγινε με το πρόγραμμα ETABS της εταιρείας CSI, ένα λογισμικό για την ανάλυση και τον σχεδιασμό κτιριακών κατασκευών.

Τα μέλη του φορέα προσομοιώθηκαν με ραβδωτά στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστικότητας στα άκρα, στα οποία η διαρροή λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα σε ολόκληρη τη διατομή μόλις τα εντατικά μεγέθη της διατομής ικανοποιήσουν το κριτήριο διαρροής (Παπαδρακάκης, 2003) και οι κόμβοι δοκών – υποστυλωμάτων θεωρήθηκαν ως άκαμπτοι. Από την ανάλυση αυτή προέκυψαν τα αξονικά φορτία N_v των υποστυλωμάτων, που θα χρησιμοποιηθούν στα επόμενα βήματα για τον υπολογισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών των στοιχείων των κόμβων (Πίνακας 4.1).

N_v (KN)	ισόγειο	α' όροφος	β' όροφος	γ' όροφος	δ' όροφος
K_A1	200,76	159,36	117,54	78,24	38,30
K_B1	409,69	324,39	241,97	161,39	81,73
K_C1	394,51	312,94	233,38	155,67	77,41
K_D1	409,69	324,39	241,97	161,39	81,73
K_E1	200,76	159,36	117,54	78,24	38,30

Πίνακας 4.1. Αξονικά φορτία υποστυλωμάτων N_v από τον συνδυασμό g+0,30q

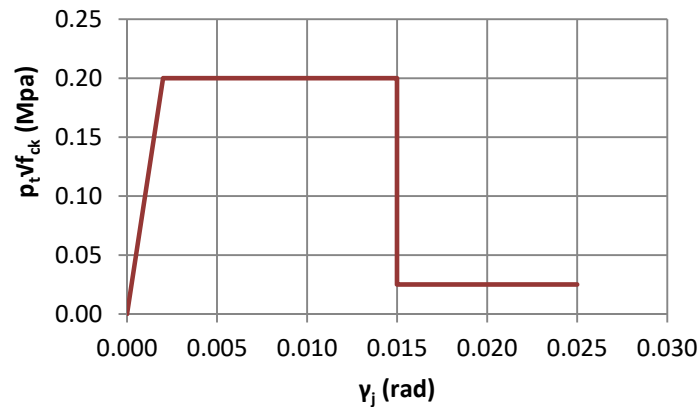
4.4 Εκτίμηση διατμητικής αντοχής κόμβου

Επόμενο βήμα για την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης είναι η εύρεση των καμπύλων εκτίμησης – πρόβλεψης της διατμητικής αντοχής του κόμβου, δηλαδή ο καθορισμός των κρίσιμων τιμών της ανελαστικής συμπεριφοράς αυτού. Λαμβάνοντας υπόψη όσα αναπτύχθηκαν σχετικά σε προηγούμενες ενότητες (2.2) και (3.2.4), θα γίνει μία προσπάθεια εκτίμησης της διατμητικής αντοχής του κόμβου, πρώτα για εξωτερικό και μετά για εσωτερικό κόμβο.

4.4.1 Ανελαστική συμπεριφορά εξωτερικού κόμβου

Σύμφωνα με την θεώρηση των Pampanin et al (2002), Pampanin et al (2003) και Akgezul & Pampanin (2012) στους εξωτερικούς κόμβους (τύπου T σε ενδιάμεση στάθμη και τύπου L στην τελευταία στάθμη), μία τιμή της κύριας εφελκυστικής τάσης p_i ίση προς $0,20\sqrt{f_c}$ πρέπει να θεωρηθεί ως ένα άνω όριο για την πρώτη διαγώνια ρωγμή στον κόμβο, η οποία συμβαίνει σε μία γωνιακή παραμόρφωση γ_j της τάξης των $0,002\text{rad}$. Η τιμή αυτή μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά

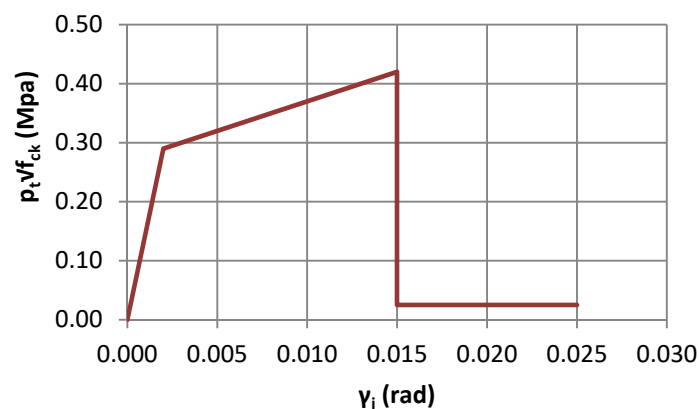
σταθερή μέχρι τα 0,015rad (Σχήμα 2.10 & Σχήμα 2.8), όπου είναι το όριο της αρχόμενης κατάρρευσης του πυρήνα του κόμβου με σημαντική αποδιοργάνωση αυτού (Σχήμα 4.11).



Σχήμα 4.11. Μεταβολή της κύριας εφελκυστικής τάσης p_t ως προς τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j (εξωτερικοί κόμβοι)

4.4.2 Ανελαστική συμπεριφορά εσωτερικού κόμβου

Όσον αφορά στους εσωτερικούς κόμβους, από τη θεωρία των Pampanin et al (2003), μία τιμή της κύριας εφελκυστικής τάσης p_t ίση προς $0,29\sqrt{f_c}$ πρέπει να θεωρηθεί ως το όριο για την πρώτη διαγώνια ρωγμή στον κόμβο, η οποία συμβαίνει σε μία γωνιακή παραμόρφωση γ_j της τάξης των 0,002rad. Μετά την πρώτη ρωγμή, μπορεί να θεωρηθεί πως είναι δυνατή η ανάπτυξη μίας επιπλέον αντοχής του κόμβου, κυρίως λόγω του τρόπου όπλισης των εσωτερικών κόμβων όπου οι διαμήκεις ράβδοι των δοκών και των υποστυλωμάτων διαπερνούν το σώμα του και αγκυρώνουν εκατέρωθεν του κόμβου. Η μέγιστη τιμή της διατμητικής αντοχής σε όρους κύριας εφελκυστικής τάσης p_t μπορεί να ληφθεί ίση προς $0,42\sqrt{f_c}$ και λαμβάνει χώρα μέχρι μία τιμή γωνιακής παραμόρφωσης γ_j ίση προς 0,015rad, όπου και πάλι θεωρείται πως είναι το όριο της αρχόμενης κατάρρευσης του πυρήνα του κόμβου με σημαντική αποδιοργάνωση αυτού (Σχήμα 4.12).



Σχήμα 4.12. Μεταβολή της κύριας εφελκυστικής τάσης p_t ως προς τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j (εσωτερικοί κόμβοι και εξωτερικοί κόμβοι τελευταίας στάθμης τύπου T)

4.4.3 Ανελαστική συμπεριφορά εξωτερικού κόμβου τελευταίας στάθμης τύπου T

Λαμβάνοντας υπόψη κυρίως τη μορφή της όπλισης των κόμβων αυτών, θεωρήθηκε πως μπορούν και αυτοί να αναπτύξουν μεγαλύτερη τιμή διατμητικής αντοχής σε σχέση με τους ακραίους εξωτερικούς κόμβους ενδιάμεσων σταθμών μέχρι την πρώτη ρωγμή στα $0,002\text{rad}$, καθώς και να επιδείξουν περαιτέρω αύξηση αυτής μέχρι το όριο της αρχόμενης κατάρρευσης του κόμβου στα $0,015\text{rad}$. Κατά συνέπεια, η ανελαστική συμπεριφορά των εξωτερικών κόμβων τύπου T στην τελευταία στάθμη μπορεί να θεωρηθεί ίδια με αυτή στο Σχήμα 4.12.

4.5 Αναλυτικός υπολογισμός ελατηριακών χαρακτηριστικών

4.5.1 Εισαγωγή

Έχοντας γνωστά τα γραφήματα που απεικονίζουν την ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (ενότητα 4.4) του πλαισίου καθώς και τα αξονικά φορτία των υποστυλωμάτων από την ανάλυση για το συνδυασμό $g+0,30q$ (ενότητα 4.3), το επόμενο βήμα είναι ο αναλυτικός υπολογισμός των ελατηριακών χαρακτηριστικών. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν υπολογιστικά φύλλα εργασίας σε σχετικό λογισμικό, με το οποίο υπολογίστηκαν τα ζεύγη τιμών $V_c - \Delta_c$ και $M_b - \gamma_j$ για κάθε κόμβο του πλαισίου, καθώς και οι τιμές αυτών έτσι όπως θα εισαχθούν στο λογισμικό ανελαστικής ανάλυσης ETABS.

4.5.2 Κόμβοι ισογείου

4.5.2.1 Ακραίοι εξωτερικοί κόμβοι ισογείου (άξονες A1 & E1)

Εισάγοντας στο υπολογιστικό φύλλο τα γεωμετρικά δεδομένα του κόμβου (ύψος/πλάτος δοκού, ύψος/πλάτος υποστυλώματος, επικάλυψη οπλισμών), τις απαραίτητες διαστάσεις του πλαισίου (απόσταση μεταξύ των υποστυλωμάτων, ύψος ορόφου), την τιμή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος f_c , το αξονικό φορτίο του υποστυλώματος N_v και τα χαρακτηριστικά ζεύγη τιμών $p_i - \gamma_j$ σύμφωνα με το (Σχήμα 4.11), υπολογίζονται αυτόματα τα ζεύγη τιμών της ασκούμενης τέμνουσας στο υποστύλωμα V_c με την οριζόντια μετατόπιση Δ_c (για τα διατμητικά ελατήρια) και της εφαρμοζόμενης καμπτικής ροπής στη δοκό M_b με τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j (για το στροφικό ελατήριο).

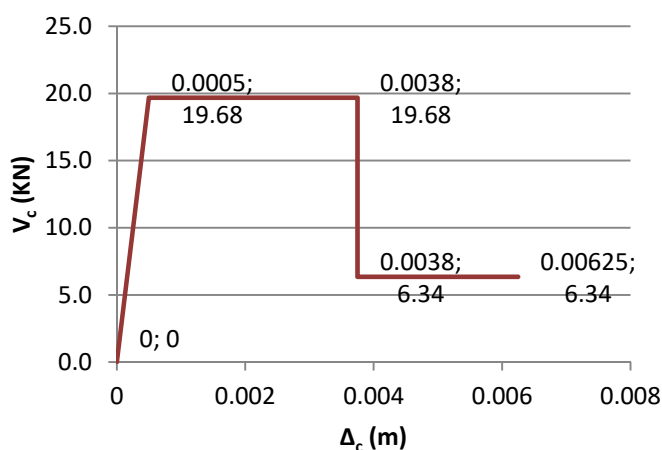
Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν σύμφωνα με το τυπολόγιο που αναπτύχθηκε στην ενότητα (3.2.6). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.2) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στροφικού ελατηρίου, ενώ στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.13) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.14) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

Τέλος, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών, όπως θα εισαχθούν στο λογισμικό. Συγκεκριμένα, το διατμητικό και το στροφικό ελατήριο θα προσομοιωθούν στο ETABS ως πλαστικές αρθρώσεις (hinges) διάτμησης (V_2) και ροπής (M_3). Επειδή στο ETABS

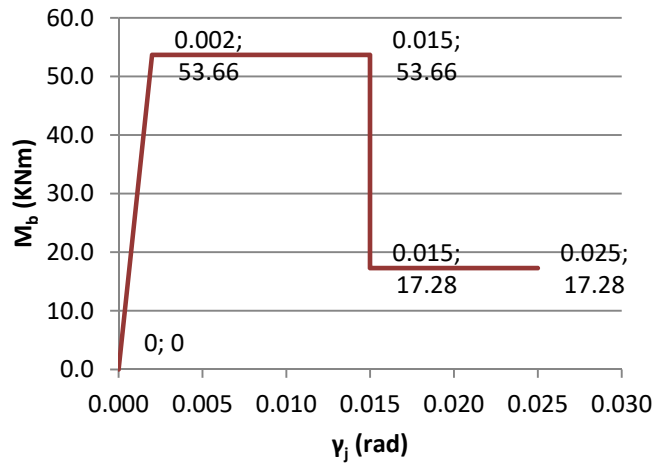
οι ανελαστικές παράμετροι που προσδιορίζουν τη συμπεριφορά της πλαστικής άρθρωσης δίνονται μετά την ελαστική περιοχή (Σχήμα 4.15), στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.3) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο λογισμικό.

joint (0.20√fck)		joint (0.20√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	1,43	a (=h _b /h _c)	1,43	a (=h _b /h _c)	1,43
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	0,69	p _{t,a} =1 (MPa)	0,69	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	692,82	p _{t,a} (KN/m ²)	692,82	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _c (m ²)	0,07	A _c (m ²)	0,07	A _c (m ²)	0,07
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	109,95	V _{jh} (KN)	109,95	V _{jh} (KN)	35,41
V _c (KN)	19,68	V _c (KN)	19,68	V _c (KN)	6,34
V _b (KN)	30,67	V _b (KN)	30,67	V _b (KN)	9,88
M _b (KNm)	53,66	M _b (KNm)	53,66	M _b (KNm)	17,28
T (KN)	129,62	T (KN)	129,62	T (KN)	41,75
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	19,68	V _c (KN)	19,68	V _c (KN)	6,34
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	53,66	M _b (KNm)	53,66	M _b (KNm)	17,28
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

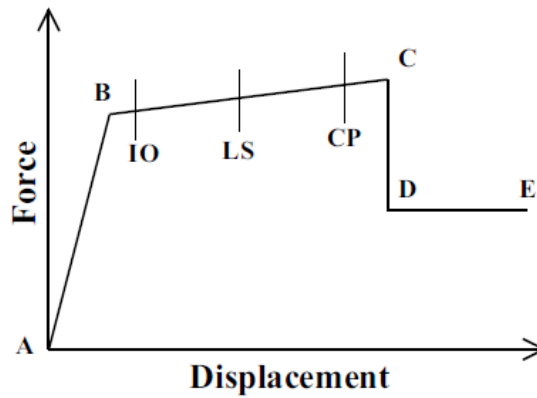
Πίνακας 4.2. Ελατηριακά χαρακτηριστικά ακραίων εξωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες A1 & E1)



Σχήμα 4.13. Γράφημα V_c – Δ_c διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες A1 & E1)



Σχήμα 4.14. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες A1 & E1)



Σχήμα 4.15. Μορφή καμπύλης πλαστικής άρθρωσης στο ETABS. Η ίδια μορφή ισχύει και για ροπή-στρωφή (CSI Analysis Reference Manual, 2016)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,00	3,25
D	0,322	3,25
E	0,322	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,00	0,0130
D	0,322	0,0130
E	0,322	0,0230

Πίνακας 4.3. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στρωφικού (BEAM) ελατηρίου ισογείου (άξονες A1 & E1)

4.5.2.2 Εσωτερικοί κόμβοι ισογείου (άξονες B1 & D1)

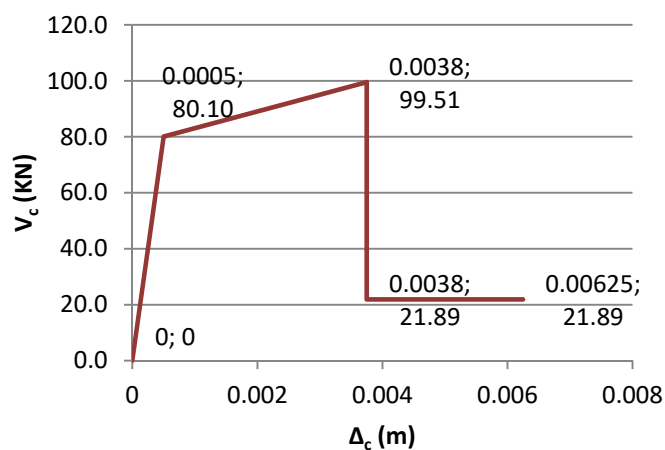
Εισάγοντας στο υπολογιστικό φύλλο τα γεωμετρικά δεδομένα του κόμβου, τις απαραίτητες διαστάσεις του πλαισίου, την τιμή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος f_{ck} , το αξονικό φορτίο του υποστυλώματος N_v και τα χαρακτηριστικά ζεύγη τιμών $p_t - \gamma_j$ σύμφωνα με το (Σχήμα 4.12), υπολογίζονται αυτόματα τα ζεύγη τιμών της ασκούμενης τέμνουσας στο υποστύλωμα V_c με την οριζόντια μετατόπιση Δ_c (για τα διατμητικά ελατήρια) και της εφαρμοζόμενης καμπτικής ροπής στη δοκό M_b με τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j (για το στροφικό ελατήριο).

Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν σύμφωνα με το τυπολόγιο που αναπτύχθηκε στην ενότητα (3.2.7). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.4) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στροφικού ελατηρίου, ενώ στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.16) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.17) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

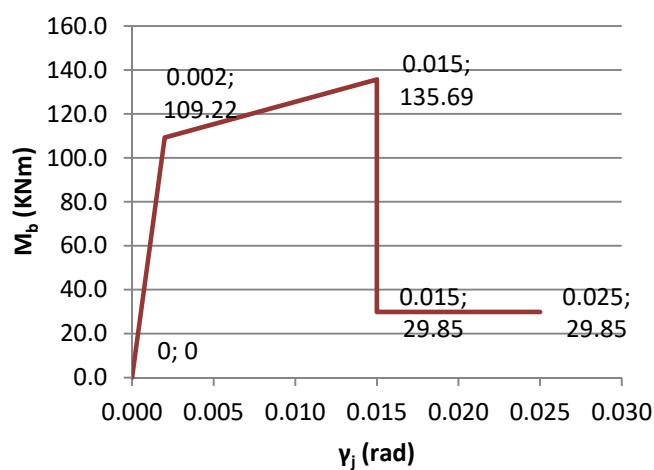
Υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών, που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.5) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.29√fck)		joint (0.42√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	1,43	a (=h _b /h _c)	1,43	a (=h _b /h _c)	1,43
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	1,00	p _{t,a} =1 (MPa)	1,45	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	1004,59	p _{t,a} (KN/m ²)	1454,92	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _c (m ²)	0,07	A _c (m ²)	0,07	A _c (m ²)	0,07
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	183,73	V _{jh} (KN)	228,25	V _{jh} (KN)	50,20
V _c (KN)	80,10	V _c (KN)	99,51	V _c (KN)	21,89
V _b (KN)	62,41	V _b (KN)	77,54	V _b (KN)	17,05
M _b (KNm)	109,22	M _b (KNm)	135,69	M _b (KNm)	29,85
T (KN)	263,82	T (KN)	327,75	T (KN)	72,09
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	80,10	V _c (KN)	99,51	V _c (KN)	21,89
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	109,22	M _b (KNm)	135,69	M _b (KNm)	29,85
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.4. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες B1 & D1)



Σχήμα 4.16. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες B1 & D1)



Σχήμα 4.17. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες B1 & D1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,24	3,25
D	0,273	3,25
E	0,273	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,24	0,0130
D	0,273	0,0130
E	0,273	0,0230

Πίνακας 4.5. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες B1 & D1)

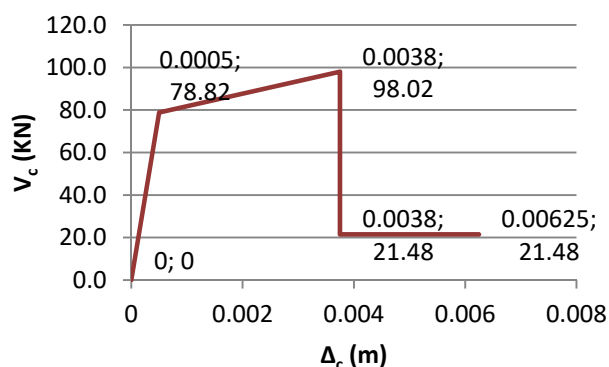
4.5.2.3 Εσωτερικός κόμβος ισογείου (άξονας C1)

Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα (4.5.2.2). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.6) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στρωφικού ελατηρίου και στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.18) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.19) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

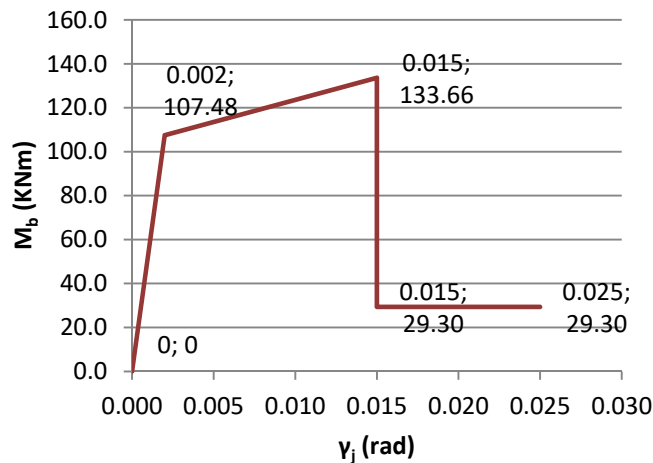
Ακολούθως, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.7) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.29√fck)		joint (0.42√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	1,43	a (=h _b /h _c)	1,43	a (=h _b /h _c)	1,43
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	1,00	p _{t,a} =1 (MPa)	1,45	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	1004,59	p _{t,a} (KN/m ²)	1454,92	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _c (m ²)	0,07	A _c (m ²)	0,07	A _c (m ²)	0,07
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	180,80	V _{jh} (KN)	224,84	V _{jh} (KN)	49,28
V _c (KN)	78,82	V _c (KN)	98,02	V _c (KN)	21,48
V _b (KN)	61,42	V _b (KN)	76,38	V _b (KN)	16,74
M _b (KNm)	107,48	M _b (KNm)	133,66	M _b (KNm)	29,30
T (KN)	259,62	T (KN)	322,85	T (KN)	70,76
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	78,82	V _c (KN)	98,02	V _c (KN)	21,48
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στρωφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	107,48	M _b (KNm)	133,66	M _b (KNm)	29,30
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.6. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικού κόμβου ισογείου (άξονας C1)



Σχήμα 4.18. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου ισογείου (άξονας C1)



Σχήμα 4.19. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου ισογείου (άξονας C1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,24	3,25
D	0,273	3,25
E	0,273	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,24	0,0130
D	0,273	0,0130
E	0,273	0,0230

Πίνακας 4.7. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στρωφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικού κόμβου ισογείου (άξονας C1)

4.5.3 Κόμβοι α' ορόφου

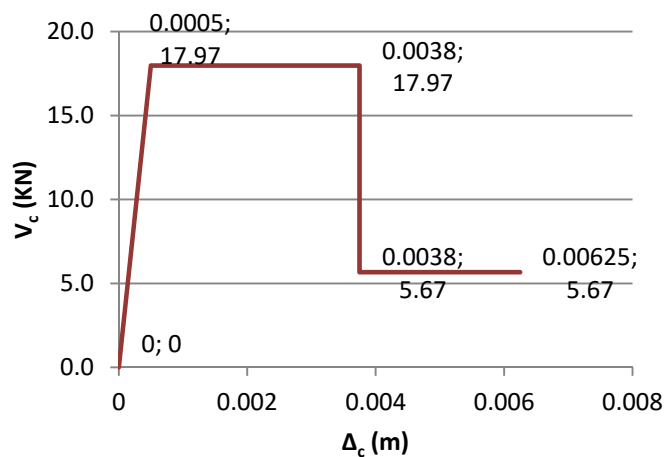
4.5.3.1 Ακραίοι εξωτερικοί κόμβοι α' ορόφου (άξονες A1 & E1)

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία με αυτή των ακραίων εξωτερικών κόμβων ισογείου (ενότητα 4.5.2.1), πραγματοποιούνται όλοι οι αναγκαίοι υπολογισμοί. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.8) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στρωφικού ελατηρίου και στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.20) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.21) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

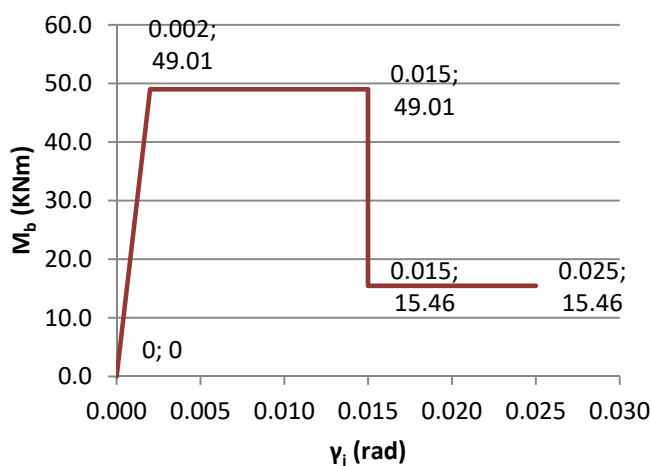
Ακολούθως, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.9) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.20√fck)		joint (0.20√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	1,43	a (=h _b /h _c)	1,43	a (=h _b /h _c)	1,43
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	0,69	p _{t,a} =1 (MPa)	0,69	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	692,82	p _{t,a} (KN/m ²)	692,82	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _e (m ²)	0,07	A _e (m ²)	0,07	A _e (m ²)	0,07
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	100,40	V _{jh} (KN)	100,40	V _{jh} (KN)	31,67
V _c (KN)	17,97	V _c (KN)	17,97	V _c (KN)	5,67
V _b (KN)	28,00	V _b (KN)	28,00	V _b (KN)	8,83
M _b (KNm)	49,01	M _b (KNm)	49,01	M _b (KNm)	15,46
T (KN)	118,37	T (KN)	118,37	T (KN)	37,33
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	17,97	V _c (KN)	17,97	V _c (KN)	5,67
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	49,01	M _b (KNm)	49,01	M _b (KNm)	15,46
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.8. Ελατηριακά χαρακτηριστικά ακραίων εξωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες A1 & E1)



Σχήμα 4.20. Γράφημα V_c - Δ_c διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες A1 & E1)



Σχήμα 4.21. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες A1 & E1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,00	3,25
D	0,315	3,25
E	0,315	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,00	0,0130
D	0,315	0,0130
E	0,315	0,0230

Πίνακας 4.9. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου α' ορόφου (άξονες A1 & E1)

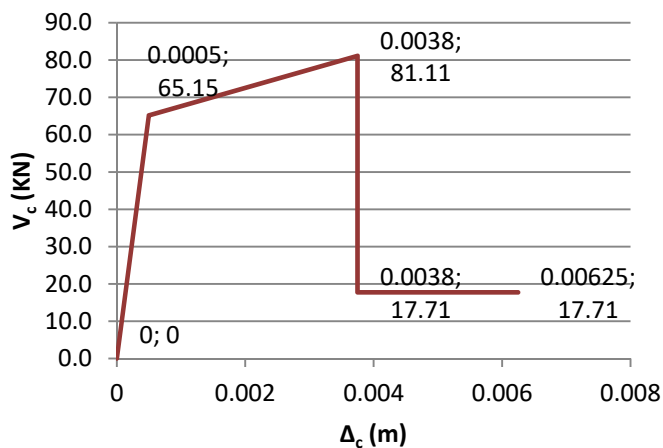
4.5.3.2 Εσωτερικοί κόμβοι α' ορόφου (άξονες B1 & D1)

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία με αυτή των εσωτερικών κόμβων ισογείου (ενότητα 4.5.2.2), πραγματοποιούνται όλοι οι αναγκαίοι υπολογισμοί. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.10) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στροφικού ελατηρίου και στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.22) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.23) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

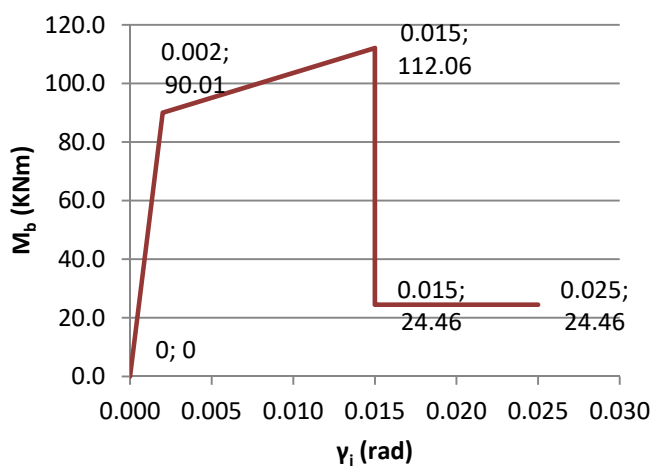
Ακολούθως, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.11) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.29√fck)		joint (0.42√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	1,67	a (=h _b /h _c)	1,67	a (=h _b /h _c)	1,67
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	1,00	p _{t,a} =1 (MPa)	1,00	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	1004,59	p _{t,a} (KN/m ²)	1004,59	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _c (m ²)	0,06	A _c (m ²)	0,06	A _c (m ²)	0,06
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	152,27	V _{jh} (KN)	81,11	V _{jh} (KN)	41,38
V _c (KN)	65,15	V _c (KN)	64,04	V _c (KN)	17,71
V _b (KN)	51,44	V _b (KN)	112,06	V _b (KN)	13,98
M _b (KNm)	90,01	M _b (KNm)	270,69	M _b (KNm)	24,46
T (KN)	217,42	T (KN)	81,11	T (KN)	59,09
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	65,15	V _c (KN)	81,11	V _c (KN)	17,71
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	90,01	M _b (KNm)	112,06	M _b (KNm)	24,46
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.10. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες B1 & D1)



Σχήμα 4.22. Γράφημα V_c – Δ_c διατμητικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες B1 & D1)



Σχήμα 4.23. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες B1 & D1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,24	3,25
D	0,272	3,25
E	0,272	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,24	0,0130
D	0,272	0,0130
E	0,272	0,0230

Πίνακας 4.11. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες B1 & D1)

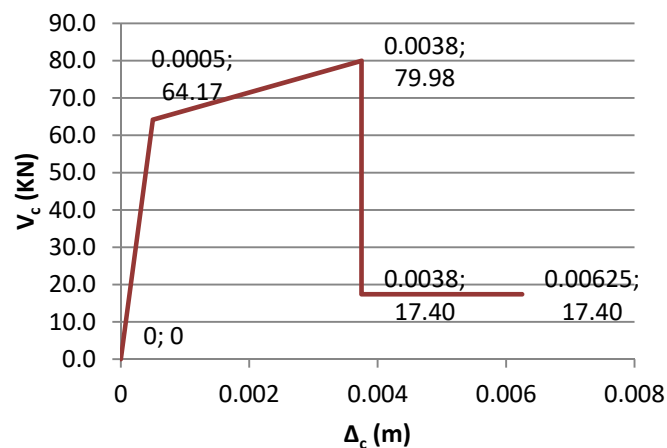
4.5.3.3 Εσωτερικός κόμβος α' ορόφου (άξονας C1)

Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα (4.5.3.2). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.12) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στροφικού ελατηρίου και στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.24) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.25) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

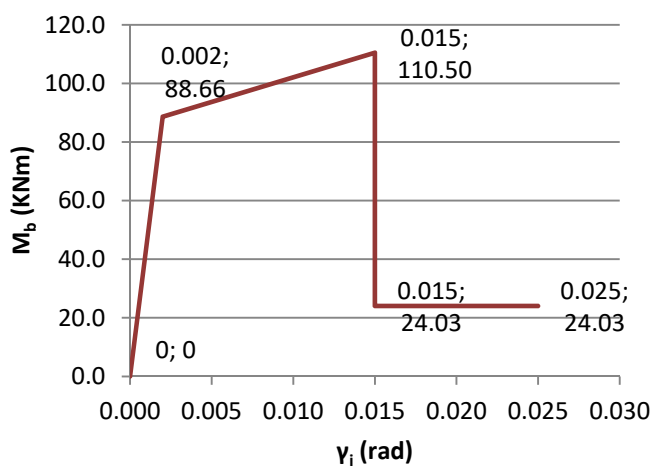
Ακολούθως, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.13) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.29√fck)		joint (0.42√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	1,67	a (=h _b /h _c)	1,67	a (=h _b /h _c)	1,67
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	1,00	p _{t,a} =1 (MPa)	1,00	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	1004,59	p _{t,a} (KN/m ²)	1004,59	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _e (m ²)	0,06	A _e (m ²)	0,06	A _e (m ²)	0,06
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	149,99	V _{jh} (KN)	186,92	V _{jh} (KN)	40,66
V _c (KN)	64,17	V _c (KN)	79,98	V _c (KN)	17,40
V _b (KN)	50,66	V _b (KN)	63,14	V _b (KN)	13,73
M _b (KNm)	88,66	M _b (KNm)	110,50	M _b (KNm)	24,03
T (KN)	214,16	T (KN)	266,90	T (KN)	58,05
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	64,17	V _c (KN)	79,98	V _c (KN)	17,40
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφοϊκό ελατήριο					
M _b (KNm)	88,66	M _b (KNm)	110,50	M _b (KNm)	24,03
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.12. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικού κόμβου α' ορόφου (άξονας C1)



Σχήμα 4.24. Γράφημα V_c – Δ_c διατμητικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου α' ορόφου (άξονας C1)



Σχήμα 4.25. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου α' ορόφου (άξονας C1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,25	3,25
D	0,271	3,25
E	0,271	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,25	0,0130
D	0,271	0,0130
E	0,271	0,0230

Πίνακας 4.13. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικού κόμβου α' ορόφου (άξονας C1)

4.5.4 Κόμβοι β' ορόφου

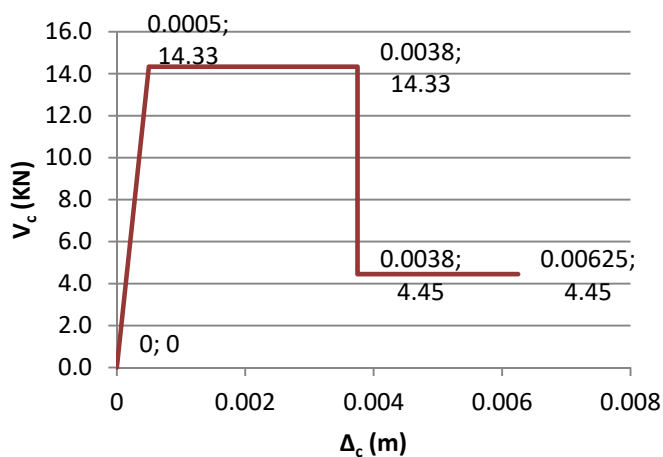
4.5.4.1 Ακραίοι εξωτερικοί κόμβοι β' ορόφου (άξονες A1 & E1)

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία με αυτή των ακραίων εξωτερικών κόμβων ισογείου (ενότητα 4.5.2.1), πραγματοποιούνται όλοι οι αναγκαίοι υπολογισμοί. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.14) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στροφικού ελατηρίου και στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.26) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.27) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

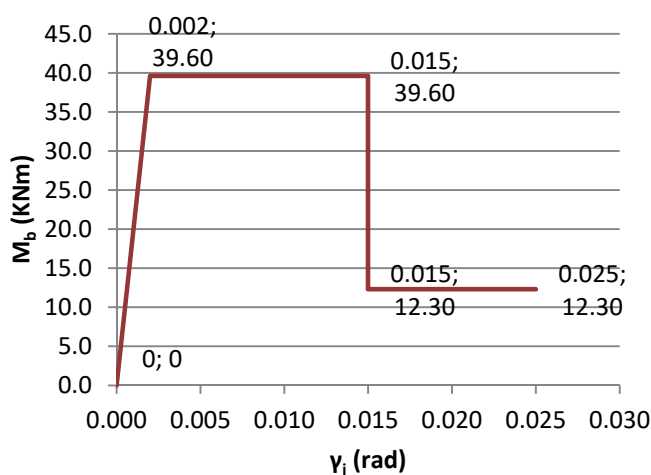
Ακολούθως, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.15) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.20√fck)		joint (0.20√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	1,67	a (=h _b /h _c)	1,67	a (=h _b /h _c)	1,67
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	0,69	p _{t,a} =1 (MPa)	0,69	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	692,82	p _{t,a} (KN/m ²)	692,82	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _e (m ²)	0,06	A _e (m ²)	0,06	A _e (m ²)	0,06
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	81,33	V _{jh} (KN)	81,33	V _{jh} (KN)	25,25
V _c (KN)	14,33	V _c (KN)	14,33	V _c (KN)	4,45
V _b (KN)	22,63	V _b (KN)	22,63	V _b (KN)	7,03
M _b (KNm)	39,60	M _b (KNm)	39,60	M _b (KNm)	12,30
T (KN)	95,66	T (KN)	95,66	T (KN)	29,70
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	14,33	V _c (KN)	14,33	V _c (KN)	4,45
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	39,60	M _b (KNm)	39,60	M _b (KNm)	12,30
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.14. Ελατηριακά χαρακτηριστικά ακραίων εξωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες A1 & E1)



Σχήμα 4.26. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες A1 & E1)



Σχήμα 4.27. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες A1 & E1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,00	3,25
D	0,311	3,25
E	0,311	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,00	0,0130
D	0,311	0,0130
E	0,311	0,0230

Πίνακας 4.15. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου β' ορόφου (άξονες A1 & E1)

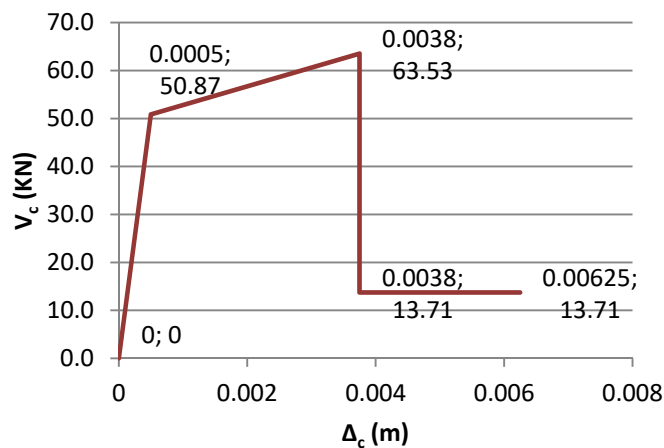
4.5.4.2 Εσωτερικοί κόμβοι β' ορόφου (άξονες B1 & D1)

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία με αυτή των εσωτερικών κόμβων ισογείου (ενότητα 4.5.2.2), πραγματοποιούνται όλοι οι αναγκαίοι υπολογισμοί. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.16) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στροφικού ελατηρίου και στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.28) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.29) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

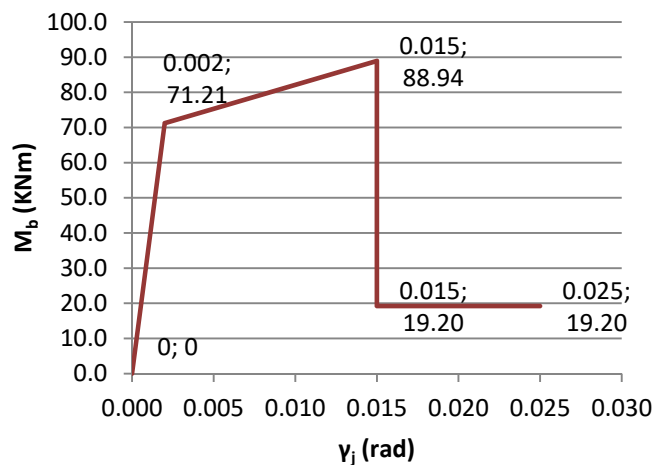
Ακολούθως, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.17) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.29√fck)		joint (0.42√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	2,00	a (=h _b /h _c)	2,00	a (=h _b /h _c)	2,00
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	1,00	p _{t,a} =1 (MPa)	1,45	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	1004,59	p _{t,a} (KN/m ²)	1454,92	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _e (m ²)	0,05	A _e (m ²)	0,05	A _e (m ²)	0,05
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	121,15	V _{jh} (KN)	151,31	V _{jh} (KN)	32,66
V _c (KN)	50,87	V _c (KN)	63,53	V _c (KN)	13,71
V _b (KN)	40,69	V _b (KN)	50,83	V _b (KN)	10,97
M _b (KNm)	71,21	M _b (KNm)	88,94	M _b (KNm)	19,20
T (KN)	172,02	T (KN)	214,84	T (KN)	46,37
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	50,87	V _c (KN)	63,53	V _c (KN)	13,71
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	71,21	M _b (KNm)	88,94	M _b (KNm)	19,20
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.16. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες B1 & D1)



Σχήμα 4.28. Γράφημα V_c – Δ_c διατμητικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες B1 & D1)



Σχήμα 4.29. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες B1 & D1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,25	3,25
D	0,270	3,25
E	0,270	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,25	0,0130
D	0,270	0,0130
E	0,270	0,0230

Πίνακας 4.17. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στρωφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες B1 & D1)

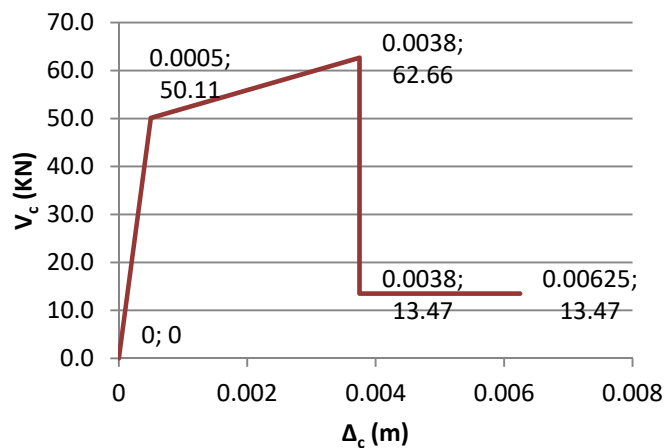
4.5.4.3 Εσωτερικός κόμβος β' ορόφου (άξονας C1)

Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα (4.5.4.2). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.18) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στρωφικού ελατηρίου και στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.30) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.31) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

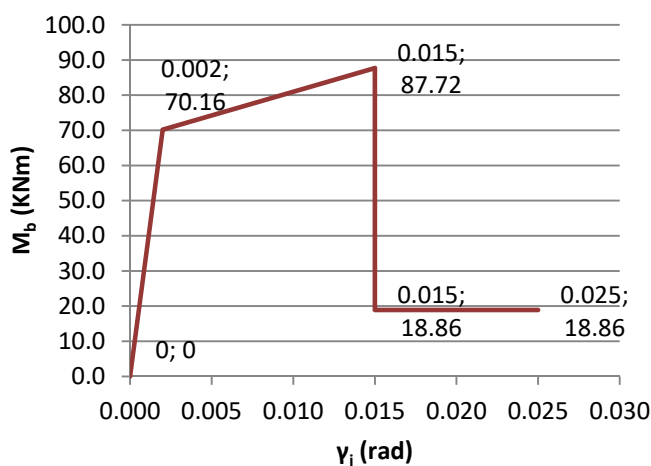
Ακολούθως, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.19) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.29√fck)		joint (0.42√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	2,00	a (=h _b /h _c)	2,00	a (=h _b /h _c)	2,00
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	1,00	p _{t,a} =1 (MPa)	1,45	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	1004,59	p _{t,a} (KN/m ²)	1454,92	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _e (m ²)	0,05	A _e (m ²)	0,05	A _e (m ²)	0,05
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	119,35	V _{jh} (KN)	149,23	V _{jh} (KN)	32,08
V _c (KN)	50,11	V _c (KN)	62,66	V _c (KN)	13,47
V _b (KN)	40,09	V _b (KN)	50,13	V _b (KN)	10,78
M _b (KNm)	70,16	M _b (KNm)	87,72	M _b (KNm)	18,86
T (KN)	169,47	T (KN)	211,89	T (KN)	45,55
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	50,11	V _c (KN)	62,66	V _c (KN)	13,47
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	70,16	M _b (KNm)	87,72	M _b (KNm)	18,86
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.18. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικού κόμβου β' ορόφου (άξονας C1)



Σχήμα 4.30. Γράφημα V_c – Δ_c διατμητικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου β' ορόφου (άξονας C1)



Σχήμα 4.31. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου β' ορόφου (άξονας C1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,25	3,25
D	0,269	3,25
E	0,269	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,25	0,0130
D	0,269	0,0130
E	0,269	0,0230

Πίνακας 4.19. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικού κόμβου β' ορόφου (άξονας C1)

4.5.5 Κόμβοι γ' ορόφου

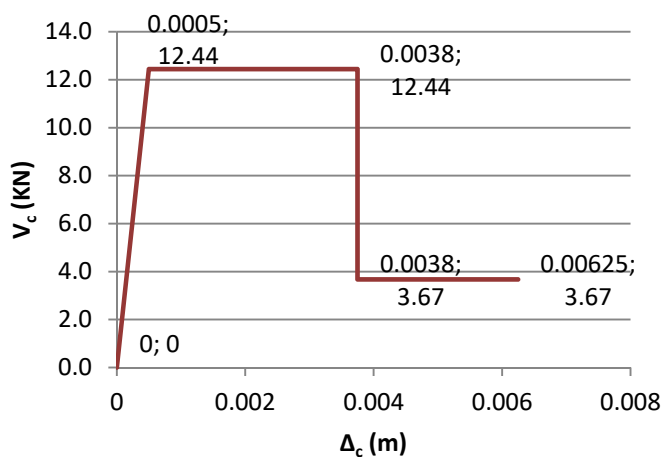
4.5.5.1 Ακραίοι εξωτερικοί κόμβοι γ' ορόφου (άξονες A1 & E1)

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία με αυτή των ακραίων εξωτερικών κόμβων ισογείου (ενότητα 4.5.2.1), πραγματοποιούνται όλοι οι αναγκαίοι υπολογισμοί. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.20) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στροφικού ελατηρίου και στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.32) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.33) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

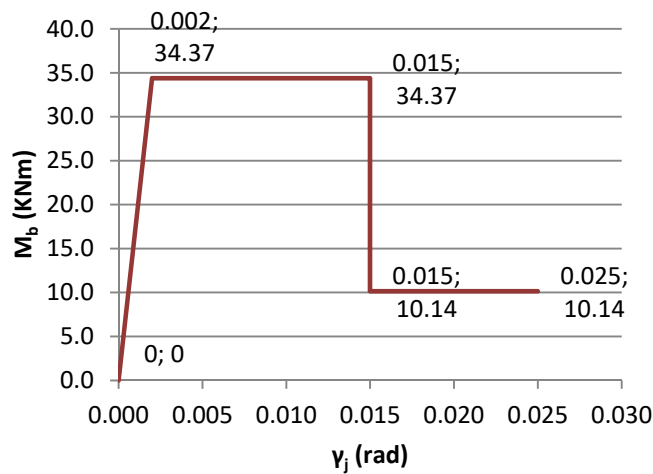
Ακολούθως, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.21) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.20√fck)		joint (0.20√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	1,67	a (=h _b /h _c)	1,67	a (=h _b /h _c)	1,67
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	0,69	p _{t,a} =1 (MPa)	0,69	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	692,82	p _{t,a} (KN/m ²)	692,82	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _c (m ²)	0,06	A _c (m ²)	0,06	A _c (m ²)	0,06
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	70,57	V _{jh} (KN)	70,57	V _{jh} (KN)	20,82
V _c (KN)	12,44	V _c (KN)	12,44	V _c (KN)	3,67
V _b (KN)	19,64	V _b (KN)	19,64	V _b (KN)	5,79
M _b (KNm)	34,37	M _b (KNm)	34,37	M _b (KNm)	10,14
T (KN)	83,01	T (KN)	83,01	T (KN)	24,49
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	12,44	V _c (KN)	12,44	V _c (KN)	3,67
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	34,37	M _b (KNm)	34,37	M _b (KNm)	10,14
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.20. Ελατηριακά χαρακτηριστικά ακραίων εξωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες A1 & E1)



Σχήμα 4.32. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες A1 & E1)



Σχήμα 4.33. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες A1 & E1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,00	3,25
D	0,295	3,25
E	0,295	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,00	0,0130
D	0,295	0,0130
E	0,295	0,0230

Πίνακας 4.21. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου γ' ορόφου (άξονες A1 & E1)

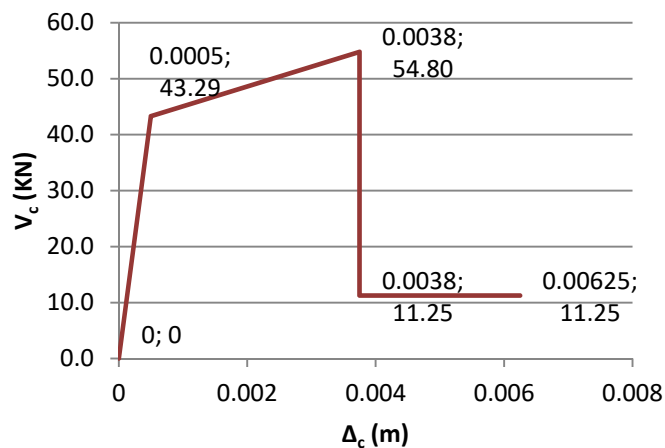
4.5.5.2 Εσωτερικοί κόμβοι γ' ορόφου (άξονες B1 & D1)

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία με αυτή των εσωτερικών κόμβων ισογείου (ενότητα 4.5.2.2), πραγματοποιούνται όλοι οι αναγκαίοι υπολογισμοί. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.22) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στροφικού ελατηρίου και στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.34) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.35) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

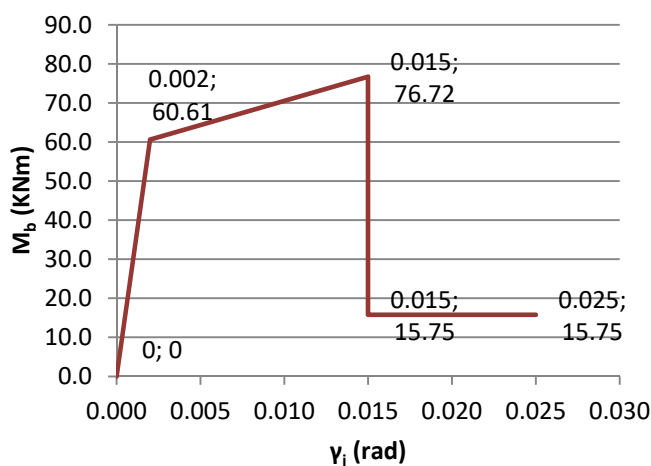
Ακολούθως, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.23) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint ($0.29\sqrt{f_{ck}}$)		joint ($0.42\sqrt{f_{ck}}$)		joint ($0.025\sqrt{f_{ck}}$)	
a ($=h_b/h_c$)	2,00	a ($=h_b/h_c$)	2,00	a ($=h_b/h_c$)	2,00
$k_a (=1/a)$	1,00	$k_a (=1/a)$	1,00	$k_a (=1/a)$	1,00
$p_{t,a}=1$ (MPa)	1,00	$p_{t,a}=1$ (MPa)	1,45	$p_{t,a}=1$ (MPa)	0,09
$p_{t,a}$ (KN/m ²)	1004,59	$p_{t,a}$ (KN/m ²)	1454,92	$p_{t,a}$ (KN/m ²)	86,60
b_j (m)	0,20	b_j (m)	0,20	b_j (m)	0,20
A_e (m ²)	0,05	A_e (m ²)	0,05	A_e (m ²)	0,05
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V_{jh} (KN)	103,10	V_{jh} (KN)	130,51	V_{jh} (KN)	26,79
V_c (KN)	43,29	V_c (KN)	54,80	V_c (KN)	11,25
V_b (KN)	34,63	V_b (KN)	43,84	V_b (KN)	9,00
M_b (KNm)	60,61	M_b (KNm)	76,72	M_b (KNm)	15,75
T (KN)	146,39	T (KN)	185,31	T (KN)	38,04
γ_j (rad)	0,002	γ_j (rad)	0,015	γ_j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V_c (KN)	43,29	V_c (KN)	54,80	V_c (KN)	11,25
Δ_c (m)	0,0005	Δ_c (m)	0,00375	Δ_c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M_b (KNm)	60,61	M_b (KNm)	76,72	M_b (KNm)	15,75
γ_j (rad)	0,002	γ_j (rad)	0,015	γ_j (rad)	0,015

Πίνακας 4.22. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες B1 & D1)



Σχήμα 4.34. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες B1 & D1)



Σχήμα 4.35. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες B1 & D1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,27	3,25
D	0,260	3,25
E	0,260	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,27	0,0130
D	0,260	0,0130
E	0,260	0,0230

Πίνακας 4.23. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες B1 & D1)

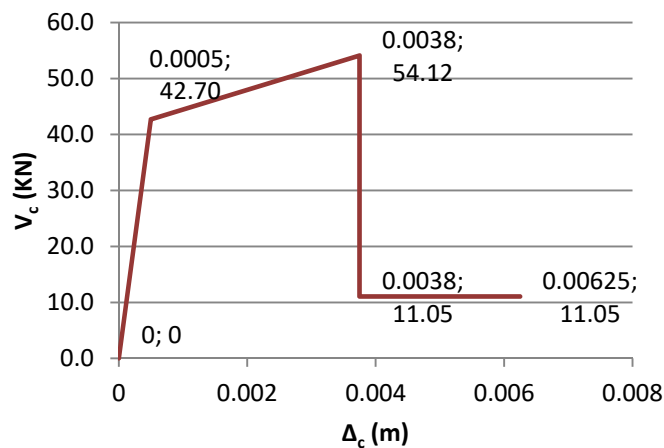
4.5.5.3 Εσωτερικός κόμβος γ' ορόφου (άξονας C1)

Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα (4.5.5.2). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.24) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στροφικού ελατηρίου και στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.36) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.37) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

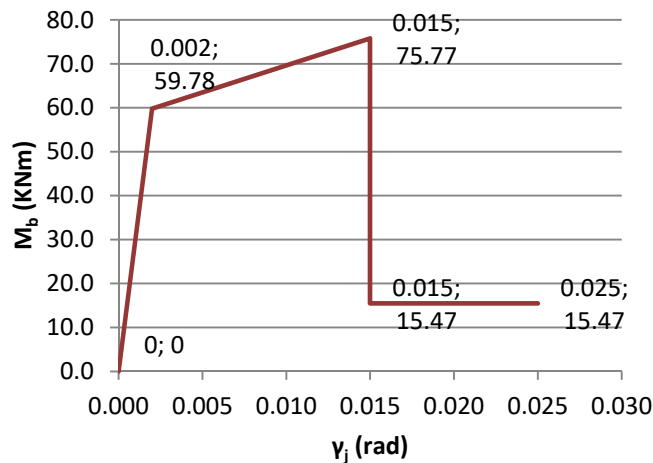
Ακολούθως, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.25) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint ($0.29\sqrt{f_{ck}}$)		joint ($0.42\sqrt{f_{ck}}$)		joint ($0.025\sqrt{f_{ck}}$)	
a ($=h_b/h_c$)	2,00	a ($=h_b/h_c$)	2,00	a ($=h_b/h_c$)	2,00
$k_a (=1/a)$	1,00	$k_a (=1/a)$	1,00	$k_a (=1/a)$	1,00
$p_{t,a}=1$ (MPa)	1,00	$p_{t,a}=1$ (MPa)	1,45	$p_{t,a}=1$ (MPa)	0,09
$p_{t,a}$ (KN/m ²)	1004,59	$p_{t,a}$ (KN/m ²)	1454,92	$p_{t,a}$ (KN/m ²)	86,60
b_j (m)	0,20	b_j (m)	0,20	b_j (m)	0,20
A_e (m ²)	0,05	A_e (m ²)	0,05	A_e (m ²)	0,05
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V_{jh} (KN)	101,70	V_{jh} (KN)	128,90	V_{jh} (KN)	26,32
V_c (KN)	42,70	V_c (KN)	54,12	V_c (KN)	11,05
V_b (KN)	34,16	V_b (KN)	43,30	V_b (KN)	8,84
M_b (KNm)	59,78	M_b (KNm)	75,77	M_b (KNm)	15,47
T (KN)	144,40	T (KN)	183,03	T (KN)	37,37
γ_j (rad)	0,002	γ_j (rad)	0,015	γ_j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V_c (KN)	42,70	V_c (KN)	54,12	V_c (KN)	11,05
Δ_c (m)	0,0005	Δ_c (m)	0,00375	Δ_c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M_b (KNm)	59,78	M_b (KNm)	75,77	M_b (KNm)	15,47
γ_j (rad)	0,002	γ_j (rad)	0,015	γ_j (rad)	0,015

Πίνακας 4.24. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικού κόμβου γ' ορόφου (άξονας C1)



Σχήμα 4.36. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου γ' ορόφου (άξονας C1)



Σχήμα 4.37. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου γ' ορόφου (άξονας C1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,27	3,25
D	0,259	3,25
E	0,259	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,27	0,0130
D	0,259	0,0130
E	0,259	0,0230

Πίνακας 4.25. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στρωφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικού κόμβου γ' ορόφου (άξονας C1)

4.5.6 Κόμβοι δ' ορόφου

4.5.6.1 Ακραίοι εξωτερικοί κόμβοι δ' ορόφου (άξονες A1 & E1)

Εισάγοντας στο υπολογιστικό φύλλο τα γεωμετρικά δεδομένα του κόμβου, τις απαραίτητες διαστάσεις του πλαισίου, την τιμή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος f_{ck} , το αξονικό φορτίο του υποστυλώματος N_v και τα χαρακτηριστικά ζεύγη τιμών $p_i - \gamma_j$ σύμφωνα με το (Σχήμα 4.11), υπολογίζονται αυτόματα τα ζεύγη τιμών της ασκούμενης τέμνουσας στο υποστύλωμα V_c με την οριζόντια μετατόπιση Δ_c (για τα διατμητικά ελατήρια) και της εφαρμοζόμενης καμπτικής ροπής στη δοκό M_b με τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j (για το στρωφικό ελατήριο).

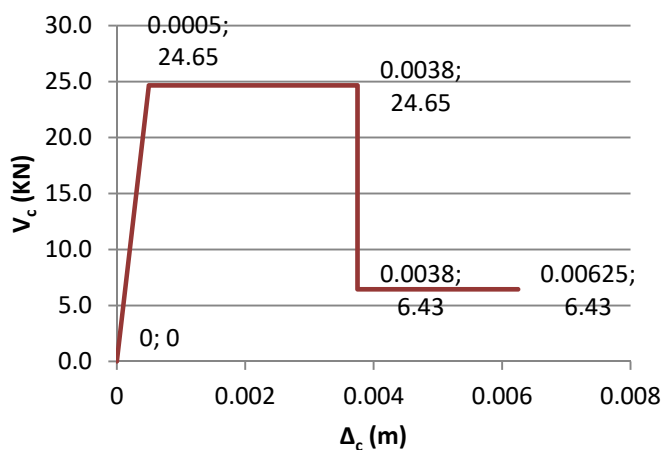
Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν σύμφωνα με το τυπολόγιο που αναπτύχθηκε στην ενότητα (3.2.8). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.26) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί

υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στροφικού ελατηρίου, ενώ στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.38) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.39) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

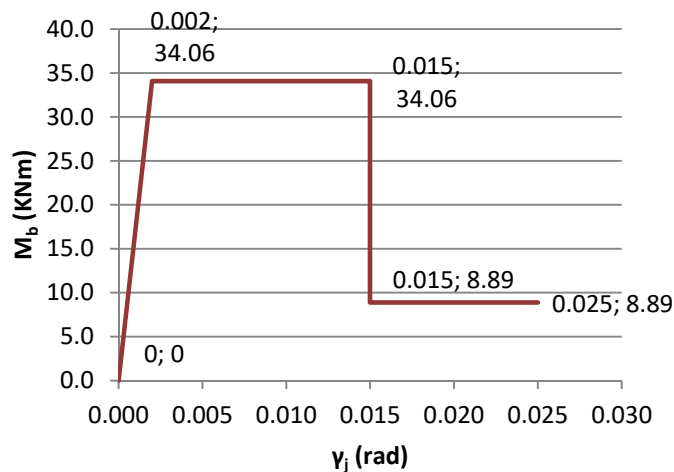
Υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών, που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.27) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.20√fck)		joint (0.20√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	1,67	a (=h _b /h _c)	1,67	a (=h _b /h _c)	1,67
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	0,69	p _{t,a} =1 (MPa)	0,69	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	692,82	p _{t,a} (KN/m ²)	692,82	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _c (m ²)	0,06	A _c (m ²)	0,06	A _c (m ²)	0,06
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	57,62	V _{jh} (KN)	57,62	V _{jh} (KN)	15,03
V _c (KN)	24,65	V _c (KN)	24,65	V _c (KN)	6,43
V _b (KN)	19,46	V _b (KN)	19,46	V _b (KN)	5,08
M _b (KNm)	34,06	M _b (KNm)	34,06	M _b (KNm)	8,89
T (KN)	82,27	T (KN)	82,27	T (KN)	21,47
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	24,65	V _c (KN)	24,65	V _c (KN)	6,43
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	34,06	M _b (KNm)	34,06	M _b (KNm)	8,89
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.26. Ελατηριακά χαρακτηριστικά ακραίων εξωτερικών κόμβων δ' ορόφου (άξονες A1 & E1)



Σχήμα 4.38. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων δ' ορόφου (άξονες A1 & E1)



Σχήμα 4.39. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων δ' ορόφου (άξονες A1 & E1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,00	3,25
D	0,261	3,25
E	0,261	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,00	0,0130
D	0,261	0,0130
E	0,261	0,0230

Πίνακας 4.27. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου δ' ορόφου (άξονες A1 & E1)

4.5.6.2 Εξωτερικοί κόμβοι τύπου T δ' ορόφου (άξονες B1 & D1)

Εισάγοντας στο υπολογιστικό φύλλο τα γεωμετρικά δεδομένα του κόμβου, τις απαραίτητες διαστάσεις του πλαισίου, την τιμή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος f_{ck} , το αξονικό φορτίο του υποστυλώματος N_v και τα χαρακτηριστικά ζεύγη τιμών $p_i - \gamma_j$ σύμφωνα με το (Σχήμα 4.12), υπολογίζονται αυτόματα τα ζεύγη τιμών της ασκούμενης τέμνουσας στο υποστύλωμα V_c με την οριζόντια μετατόπιση Δ_c (για τα διατμητικά ελατήρια) και της εφαρμοζόμενης καμπτικής ροπής στη δοκό M_b με τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j (για το στροφικό ελατήριο).

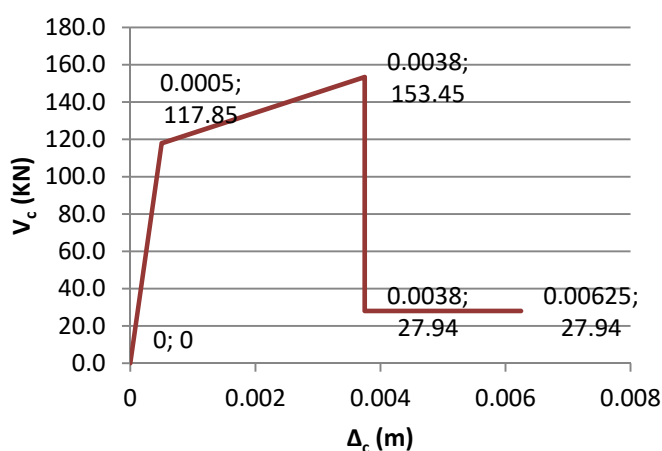
Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν σύμφωνα με το τυπολόγιο που αναπτύχθηκε στην ενότητα (3.2.9). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.28) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού

και του στροφικού ελατηρίου, ενώ στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.40) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.41) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

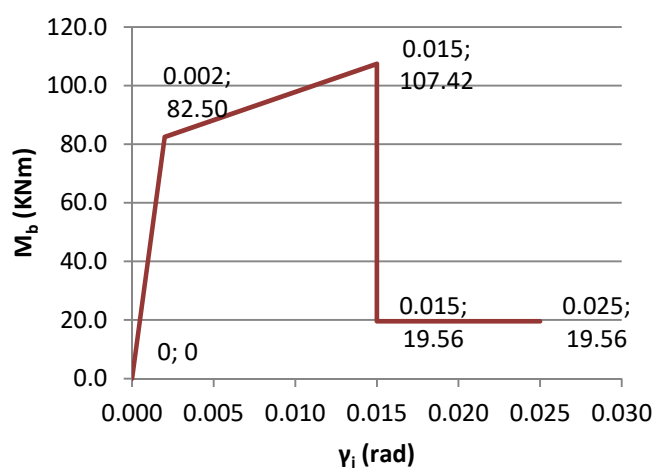
Υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών, που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.29) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.29√fck)		joint (0.42√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	2,00	a (=h _b /h _c)	2,00	a (=h _b /h _c)	2,00
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	1,00	p _{t,a} =1 (MPa)	1,45	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	1004,59	p _{t,a} (KN/m ²)	1454,92	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _e (m ²)	0,05	A _e (m ²)	0,05	A _e (m ²)	0,05
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	81,41	V _{jh} (KN)	106,01	V _{jh} (KN)	19,30
V _c (KN)	117,85	V _c (KN)	153,45	V _c (KN)	27,94
V _b (KN)	47,14	V _b (KN)	61,38	V _b (KN)	11,18
M _b (KNm)	82,50	M _b (KNm)	107,42	M _b (KNm)	19,56
T (KN)	199,27	T (KN)	259,46	T (KN)	47,25
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	117,85	V _c (KN)	153,45	V _c (KN)	27,94
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	82,50	M _b (KNm)	107,42	M _b (KNm)	19,56
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.28. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εξωτερικών κόμβων τύπου T δ' ορόφου (άξονες B1 & D1)



Σχήμα 4.40. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων τύπου T δ' ορόφου (άξονες B1 & D1)



Σχήμα 4.41. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων τύπου T δ' ορόφου (άξονες B1 & D1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,30	3,25
D	0,237	3,25
E	0,237	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,30	0,0130
D	0,237	0,0130
E	0,237	0,0230

Πίνακας 4.29. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικών κόμβων τύπου T δ' ορόφου (άξονες B1 & D1)

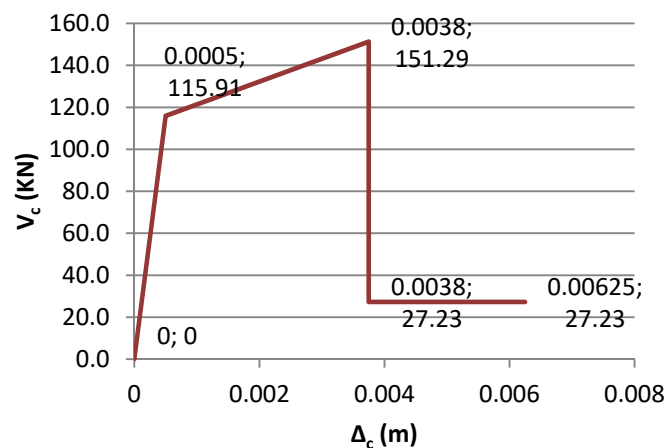
4.5.6.3 Εξωτερικός κόμβος τύπου T δ' ορόφου (άξονας C1)

Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα (4.5.6.2). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.30) παρουσιάζονται οι επιμέρους αναλυτικοί υπολογισμοί και τα τελικά αποτελέσματα των ελατηριακών χαρακτηριστικών του διατμητικού και του στροφικού ελατηρίου και στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα των τιμών $V_c - \Delta_c$ (Σχήμα 4.42) και $M_b - \gamma_j$ (Σχήμα 4.43) για τους συγκεκριμένους κόμβους.

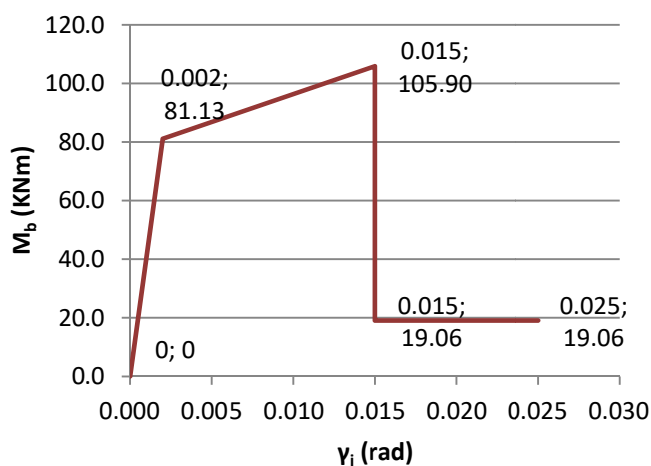
Ακολούθως, υπολογίζονται οι τιμές των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο λογισμικό σύμφωνα με το (Σχήμα 4.15) και τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.31) παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων όπως θα εισαχθούν στο ETABS.

joint (0.29√fck)		joint (0.42√fck)		joint (0.025√fck)	
a (=h _b /h _c)	2,00	a (=h _b /h _c)	2,00	a (=h _b /h _c)	2,00
k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00	k _a (=1/a)	1,00
p _{t,a} =1 (MPa)	1,00	p _{t,a} =1 (MPa)	1,45	p _{t,a} =1 (MPa)	0,09
p _{t,a} (KN/m ²)	1004,59	p _{t,a} (KN/m ²)	1454,92	p _{t,a} (KN/m ²)	86,60
b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20	b _j (m)	0,20
A _e (m ²)	0,05	A _e (m ²)	0,05	A _e (m ²)	0,05
jd (m)	0,414	jd (m)	0,414	jd (m)	0,414
V _{jh} (KN)	80,07	V _{jh} (KN)	104,51	V _{jh} (KN)	18,81
V _c (KN)	115,91	V _c (KN)	151,29	V _c (KN)	27,23
V _b (KN)	46,36	V _b (KN)	60,52	V _b (KN)	10,89
M _b (KNm)	81,13	M _b (KNm)	105,90	M _b (KNm)	19,06
T (KN)	195,98	T (KN)	255,80	T (KN)	46,05
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015
Διατμητικό ελατήριο					
V _c (KN)	115,91	V _c (KN)	151,29	V _c (KN)	27,23
Δ _c (m)	0,0005	Δ _c (m)	0,00375	Δ _c (m)	0,00375
Στροφικό ελατήριο					
M _b (KNm)	81,13	M _b (KNm)	105,90	M _b (KNm)	19,06
γ _j (rad)	0,002	γ _j (rad)	0,015	γ _j (rad)	0,015

Πίνακας 4.30. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εξωτερικού κόμβου τύπου T δ' ορόφου (άξονας C1)



Σχήμα 4.42. Γράφημα V_c – Δ_c διατμητικού ελατηρίου εξωτερικού κόμβου τύπου T δ' ορόφου (άξονας C1)



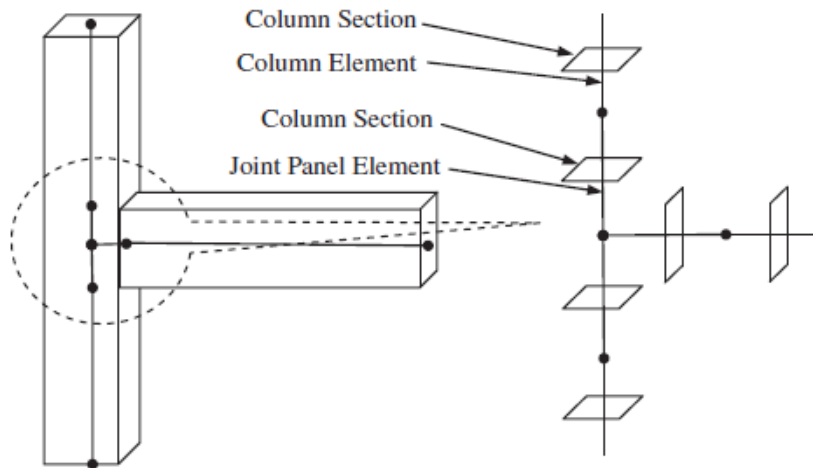
Σχήμα 4.43. Γράφημα $M_b - \gamma_i$ στροφικού ελατηρίου εξωτερικού κόμβου τύπου T δ' ορόφου (άξονας C1)

COL	etabs	
B	1,00	0,00
C	1,31	3,25
D	0,235	3,25
E	0,235	5,75
BEAM	etabs	
B	1,00	0,0000
C	1,31	0,0130
D	0,235	0,0130
E	0,235	0,0230

Πίνακας 4.31. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διαμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικού κόμβου τύπου T δ' ορόφου (άξονας C1)

4.6 Εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης στο λογισμικό

Έχοντας υπολογίσει τα ζεύγη τιμών $V_c - \Delta_c$ και $M_b - \gamma_i$ για κάθε κόμβο του πλαισίου, καθώς και τις τιμές αυτών έτσι όπως θα εισαχθούν στο λογισμικό ανελαστικής ανάλυσης ETABS, ακολουθεί η εισαγωγή του φορέα του πλαισίου στο λογισμικό και η μοντελοποίηση των κόμβων. Τα μέλη του φορέα προσομοιώθηκαν με ραβδωτά στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστικότητας στα άκρα και το καθένα από αυτά χωρίστηκε σε τρία μέρη, ένα μεσαίο που προσομοιώνει το μέλος (δοκό ή υποστύλωμα) και δύο ακραία που προσομοιώνουν το τμήμα του μέλους που αντιστοιχεί στον κόμβο, το τμήμα δηλαδή που αντιστοιχεί στο μισό πλάτος υποστυλώματος ή στο μισό ύψος δοκού του συντρέχοντος μέλους (Σχήμα 4.44).



Σχήμα 4.44. Μοντελοποίηση φορέα στο τμήμα του κόμβου (Sharma et al, 2013)

Σε όλα τα ραβδωτά στοιχεία, τόσο στο τμήμα του μέλους όσο και στο τμήμα του κόμβου, αποδόθηκαν οι ιδιότητες που τους αντιστοιχούν (ποιότητα σκυροδέματος, ποιότητα χάλυβα οπλισμού και τετραγωνικά εκατοστά οπλισμού), βάσει των ξυλοτύπων του κτιρίου. Στη συνέχεια, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η ανελαστική συμπεριφορά των μελών του φορέα, εισήχθησαν στα άκρα κάθε δοκού ή υποστυλώματος πλαστικές αρθρώσεις με αυτόματα υπολογιζόμενες ανελαστικές παραμέτρους (Σχήμα 4.45 & Σχήμα 4.46).

Hinge Property Data for FH1 BEAM - Moment M3

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.025
D-	-0.2	-0.015
C-	-1.1	-0.015
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0.015
D	0.2	0.015
E	0.2	0.025

Symmetric

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment Moment SF Positive: Negative: kN-m

Use Yield Rotation Rotation SF Positive: Negative:

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

	Positive	Negative
<input checked="" type="checkbox"/> Immediate Occupancy	<input type="text" value="0.003"/>	<input type="text" value="-0.003"/>
<input type="checkbox"/> Life Safety	<input type="text" value="0.012"/>	<input type="text" value="-0.012"/>
<input type="checkbox"/> Collapse Prevention	<input type="text" value="0.015"/>	<input type="text" value="-0.015"/>

Show Acceptance Criteria on Plot

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length

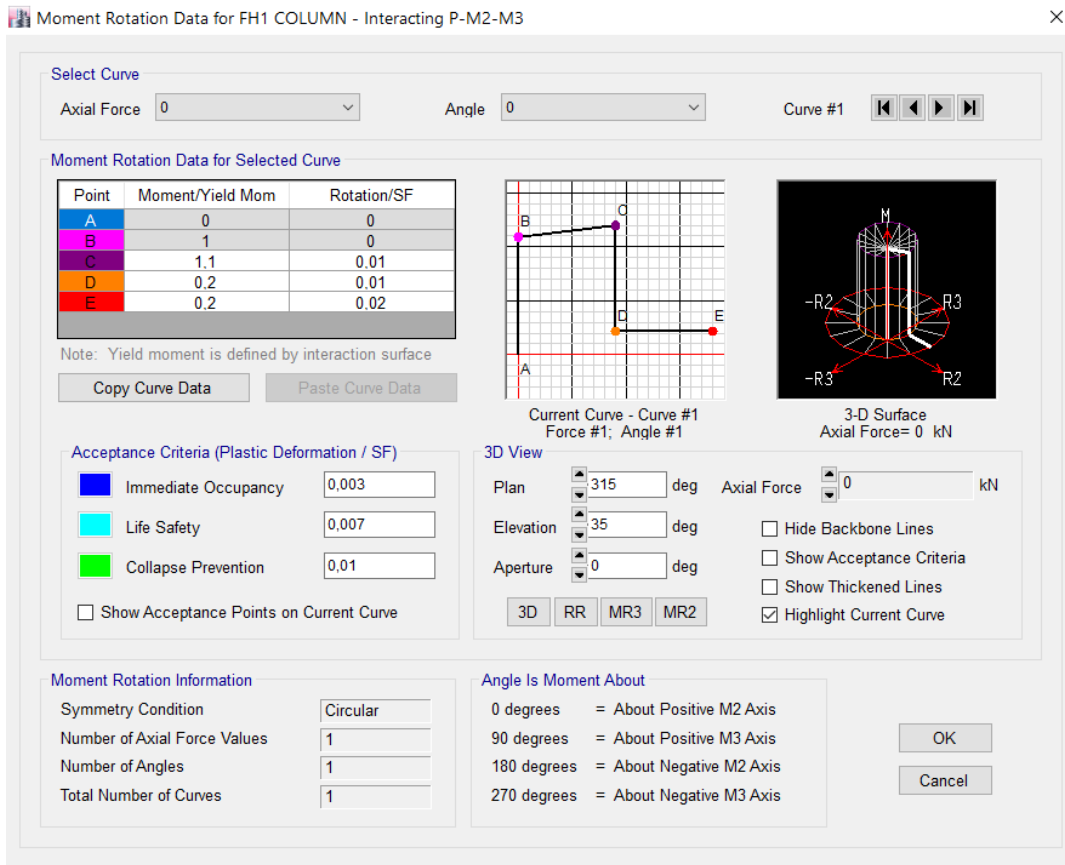
Relative Length

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis

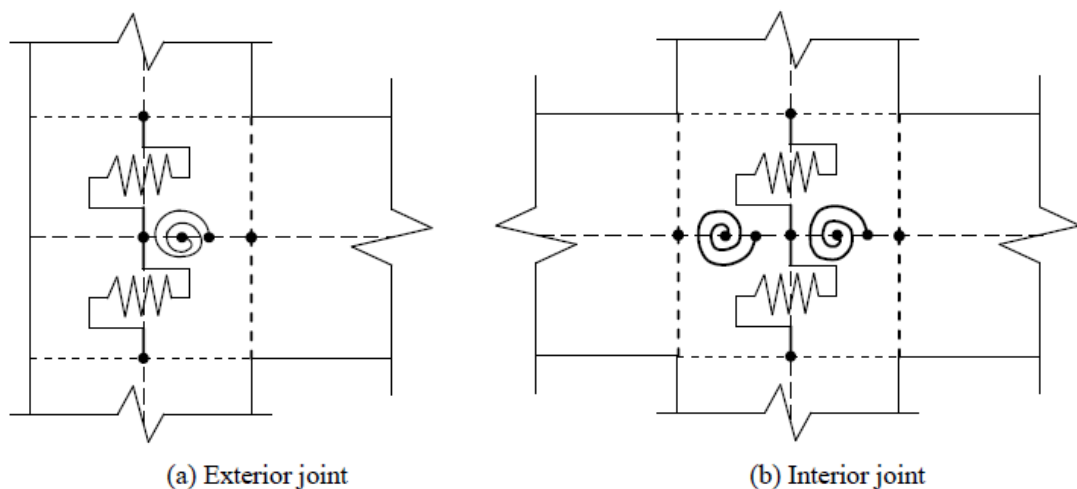
No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Σχήμα 4.45. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης στα άκρα της δοκού



Σχήμα 4.46. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης στα άκρα του υποστυλώματος

Το επόμενο βήμα είναι η προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς των τμημάτων των μελών που απαρτίζουν το σώμα του κόμβου. Για να γίνει αυτό, ορίζονται πλαστικές αρθρώσεις στο μέσο του μήκους των τμημάτων των δοκών και των υποστυλωμάτων που αποτελούν τμήμα του κόμβου, σύμφωνα με τη φιλοσοφία του προτεινόμενου μοντέλου (Σχήμα 4.47).



Σχήμα 4.47. Στροφικά και διατμητικά ελατήρια σε εξωτερικό (α) και εσωτερικό κόμβο (β) (Sharma et al, 2014)

Οι πλαστικές αυτές αρθρώσεις, ανάλογα με το τμήμα του κόμβου που αφορούν, λαμβάνουν τις ανελαστικές τους ιδιότητες από τα ελατηριακά χαρακτηριστικά κάθε κόμβου, όπως αναλυτικά παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα (4.5). Στα σχήματα που ακολουθούν, παρουσιάζονται ενδεικτικά οι ιδιότητες πλαστικών αρθρώσεων τμήματος δοκού και υποστρώματος σε έναν εξωτερικό (Σχήμα 4.48 & Σχήμα 4.49) και έναν εσωτερικό κόμβο του εξεταζόμενου πλαισίου (Σχήμα 4.50 & Σχήμα 4.51).

Hinge Property Data for ext-j-beam-a-A_E - Moment M3

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.315	-0.023
D-	-0.315	-0.013
C-	-1	-0.013
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	0.013
D	0.315	0.013
E	0.315	0.023

Symmetric

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length

Relative Length

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment

Moment SF Positive: Negative: kN-m

Use Yield Rotation

Rotation SF Positive: Negative:

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Immediate Occupancy

Positive: Negative:

Life Safety

Positive: Negative:

Collapse Prevention

Positive: Negative:

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Σχήμα 4.48. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης τμήματος δοκού σε εξωτερικό κόμβο (στροφικό ελατήριο)

Hinge Property Data for ext-j-col-a-A_E - Shear V2

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.315	-5.75
D-	-0.315	-3.25
C-	-1	-3.25
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	3.25
D	0.315	3.25
E	0.315	5.75

Symmetric

Type

Force - Displacement

Stress - Strain

Hinge Length

Relative Length

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force

Force SF Positive: Negative: kN

Use Yield Disp

Disp SF Positive: Negative: mm

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

Immediate Occupancy

Positive: Negative:

Life Safety

Positive: Negative:

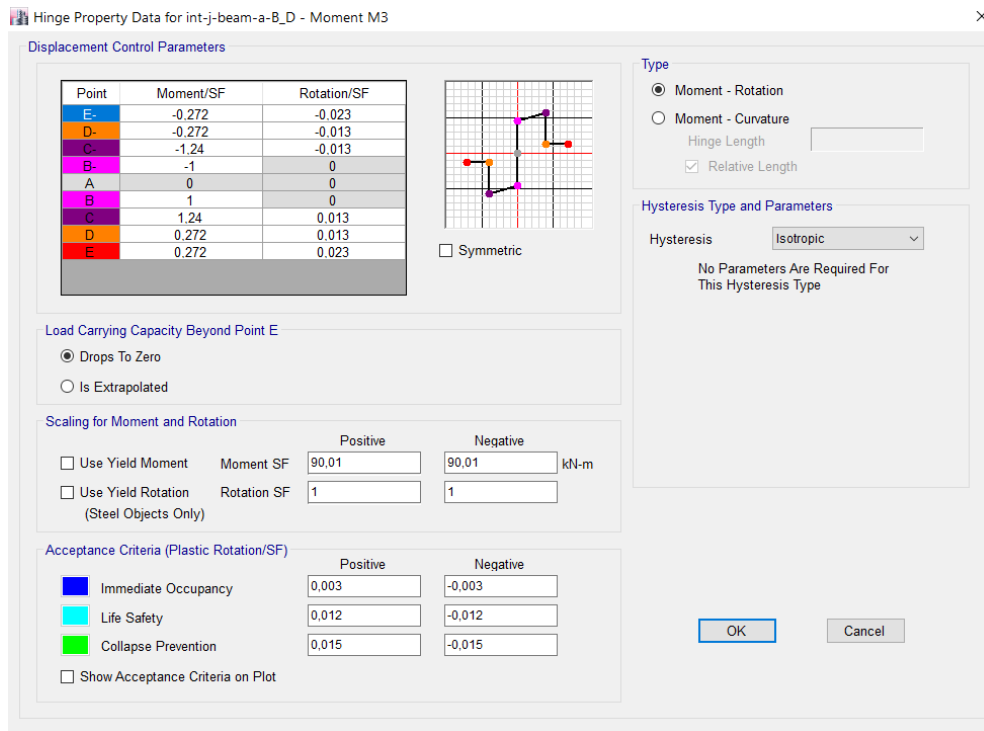
Collapse Prevention

Positive: Negative:

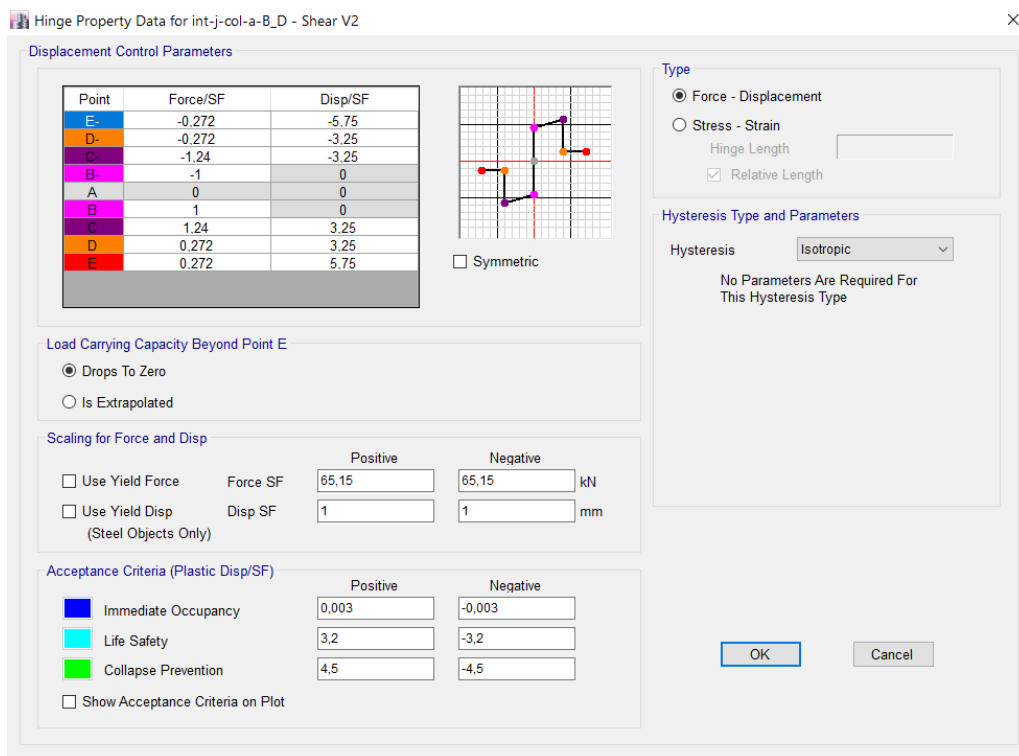
Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Σχήμα 4.49. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης τμήματος υποστρώματος σε εξωτερικό κόμβο (διατμητικό ελατήριο)

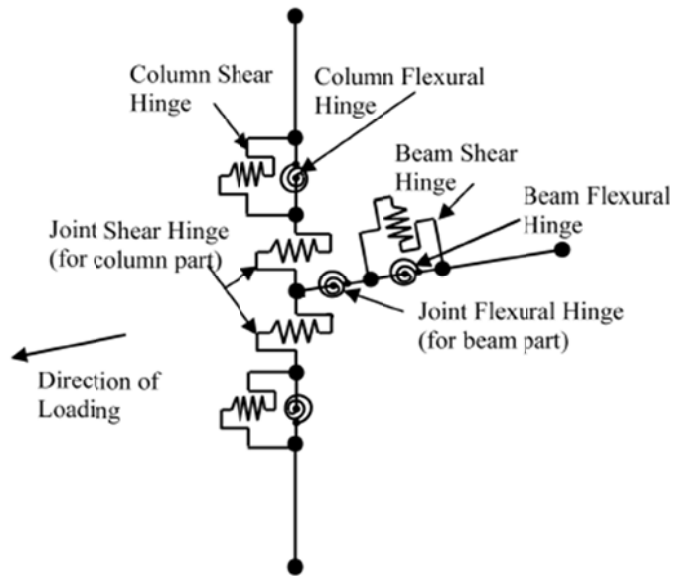


Σχήμα 4.50. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης τμήματος δοκού σε εσωτερικό κόμβο (στροφικό ελατήριο)



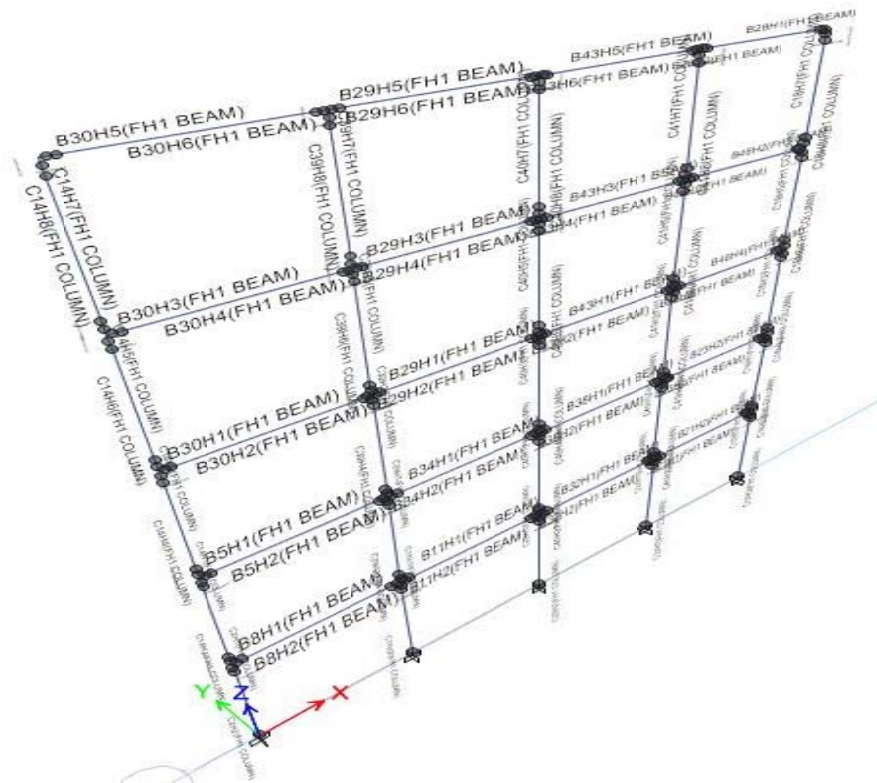
Σχήμα 4.51. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης τμήματος υποστυλώματος σε εσωτερικό κόμβο (διατμητικό ελατήριο)

Με όμοιο τρόπο εισήχθησαν όλες οι πλαστικές αρθρώσεις που προσομοιώνουν την ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων, με τα ελατηριακά χαρακτηριστικά που υπολογίσθηκαν αναλυτικά. Η θεωρητική μορφή ενός εξωτερικού κόμβου με τα διατμητικά και τα στροφικά ελατήρια, τόσο του κόμβου όσο και των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 4.52).

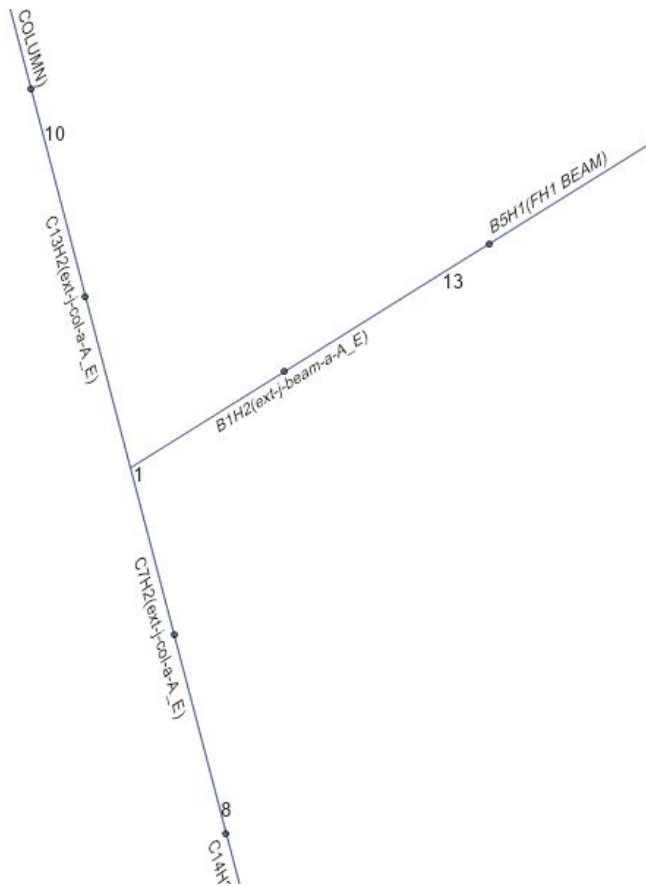


Σχήμα 4.52. Θεωρητική μορφή εξωτερικού κόμβου (τροποποίηση από Sharma et al, 2011b)

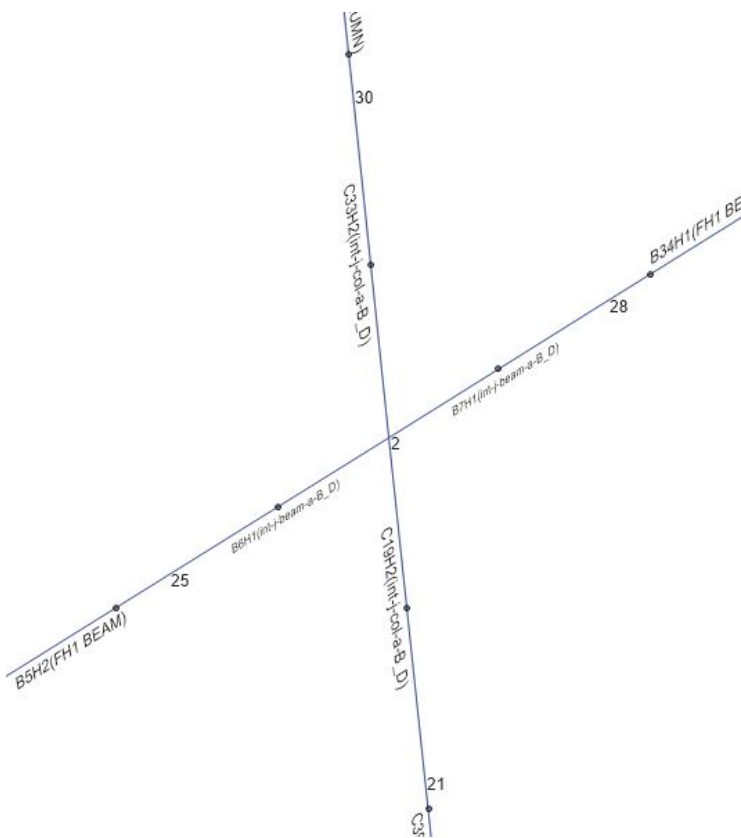
Τέλος, στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται η συνολική εικόνα του πλαισίου με τις πλαστικές αρθρώσεις και οι λεπτομέρειες δύο εξωτερικών και δύο εσωτερικών κόμβων.



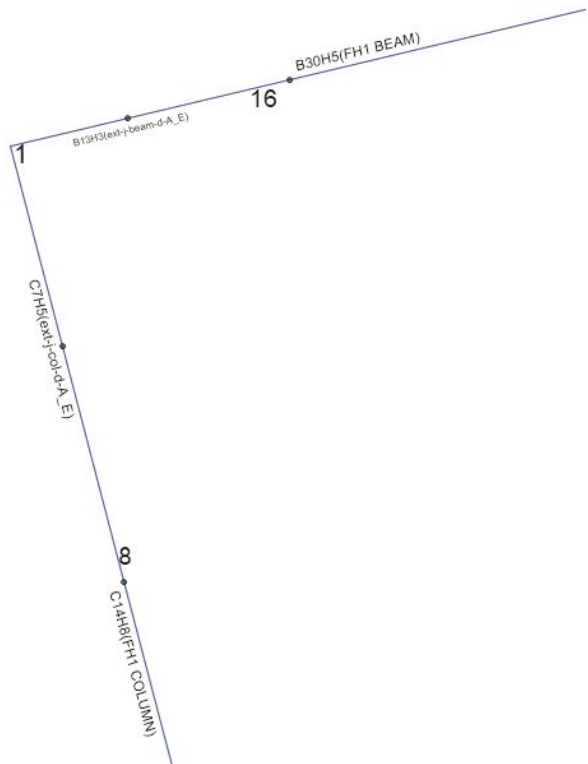
Σχήμα 4.53. Συνολική εικόνα πλαισίου με τις πλαστικές αρθρώσεις



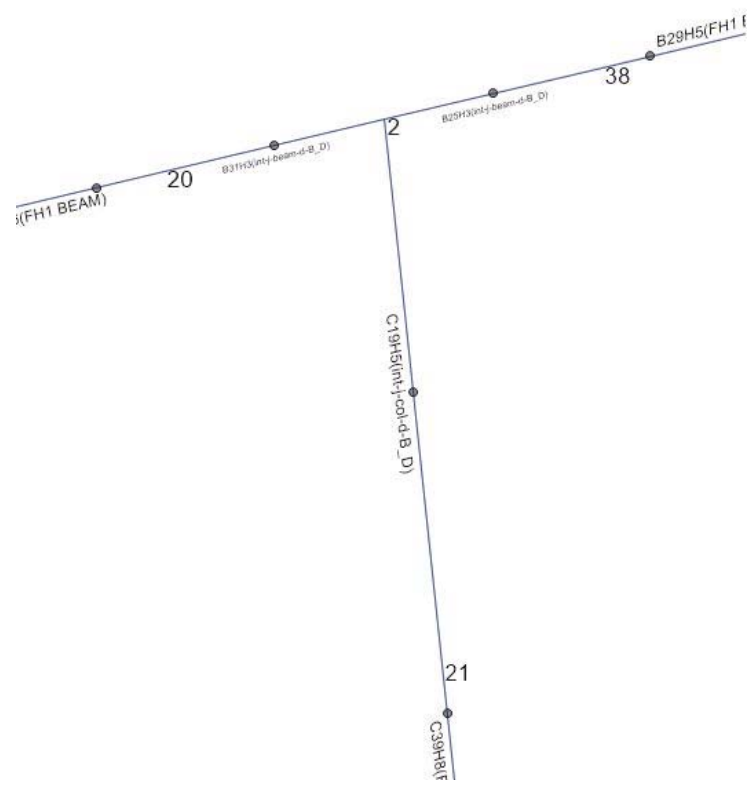
Σχήμα 4.54. Λεπτομέρεια μοντέλου εξωτερικού κόμβου ενδιάμεσου ορόφου



Σχήμα 4.55. Λεπτομέρεια μοντέλου εσωτερικού κόμβου ενδιάμεσου ορόφου



Σχήμα 4.56. Λεπτομέρεια μοντέλου εξωτερικού κόμβου δ' ορόφου



Σχήμα 4.57. Λεπτομέρεια μοντέλου εξωτερικού κόμβου τύπου T δ' ορόφου

4.7 Συνοπτική επισκόπηση επί της εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης

Στο παρόν κεφάλαιο έγινε αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης της πραγματικής συμπεριφοράς των κόμβων σε σεισμική καταπόνηση. Ειδικότερα, αφού παρουσιάστηκε το επίπεδο πλαίσιο (στις τρεις μορφές – εκδοχές του) που θα αποτελέσει την κατασκευή επί της οποίας θα γίνει η σχετική διερεύνηση, υπολογίστηκαν τα αξονικά φορτία των υποστυλωμάτων που είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών, έγινε αναλυτικός υπολογισμός των τιμών των ανελαστικών παραμέτρων που περιγράφουν την πραγματική συμπεριφορά των στοιχείων του κόμβου και τέλος, περιγράφηκε η εισαγωγή και η μοντελοποίηση των κόμβων μέσω των πλαστικών αρθρώσεων με τα χαρακτηριστικά ζεύγη τιμών $V_c - \Delta_c$ και $M_b - \gamma_j$ για κάθε κόμβο του πλαισίου.

Η όλη διαδικασία της εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης είναι αρκετά αναλυτική και χρονοβόρα, καθώς επιβάλλεται η μοντελοποίηση της ανελαστικής συμπεριφοράς σε όλους τους κόμβους χωριστά, με λίγες μόνο ομαδοποιήσεις ανάλογα με τη συμμετρικότητα του φορέα και των φορτίων που του επιβάλλονται. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, στόχος του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων είναι η όσο το δυνατό πιο απλή και κατανοητή μορφή του, η δυνατότητα εφαρμογής του σε εμπορικά προγράμματα για ευρεία χρήση από τους μελετητές, ενώ παράλληλα να είναι αρκετά ακριβές ως προς την αναμενόμενη – τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά – συμπεριφορά των κόμβων.

Προκειμένου να διερευνηθεί η επιρροή των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, στα επόμενα κεφάλαια θα ακολουθήσει μία σειρά συγκριτικών ανελαστικών αναλύσεων (στατικών και δυναμικών) για το εξεταζόμενο πλαίσιο χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης και θα ληφθούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών.

Κεφάλαιο 5

ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

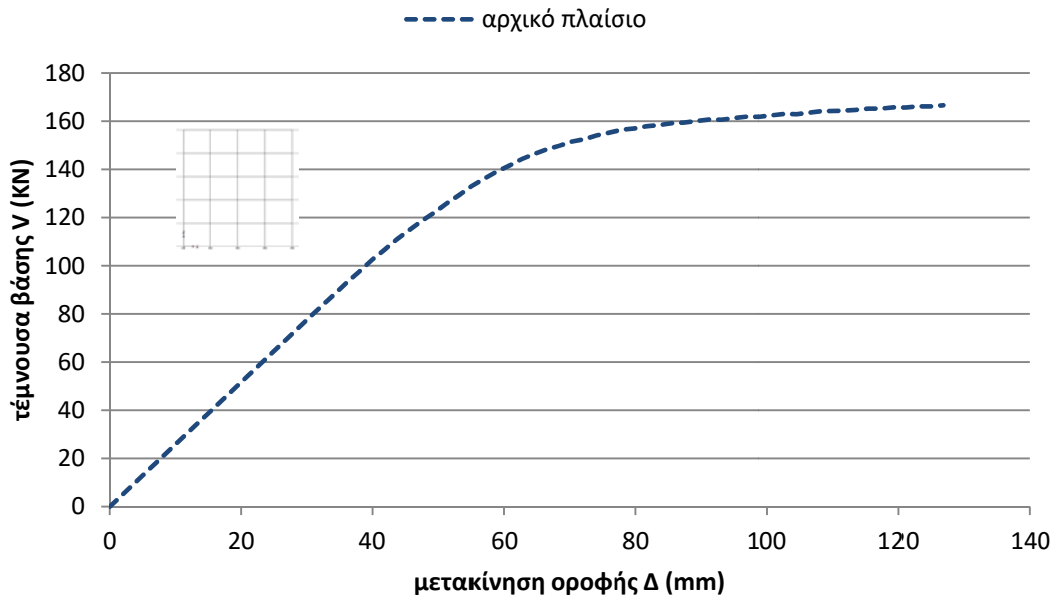
5.1 Εισαγωγή

Το πρώτο βήμα για τη διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς του εξεταζόμενου πλαισίου είναι η διενέργεια στατικών ανελαστικών αναλύσεων στο αρχικό πλαίσιο, δηλαδή σε αυτό χωρίς τα στοιχεία προσομοίωσης των κόμβων. Επόμενο βήμα είναι η πραγματοποίηση αντίστοιχων αναλύσεων στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων και τέλος, η εξαγωγή αποτελεσμάτων των αναλύσεων αυτών για σύγκριση με αυτά του αρχικού μοντέλου. Στις υποενότητες που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των στατικών ανελαστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στις τρεις εκδοχές του εξεταζόμενου πλαισίου, με και χωρίς το προσομοίωμα των κόμβων, καθώς και τα συγκριτικά αποτελέσματα από τις αναλύσεις. Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκαν στατικές ανελαστικές αναλύσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής σε όλα τα πλαίσια, ενώ για το πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις έγιναν επιπλέον αναλύσεις με ορθογωνική και τριγωνική κατανομή του επιβαλλόμενου φορτίου. Σημειώνεται πως, σε όλες τις στατικές ανελαστικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, δεν υπήρξε περιορισμός στη μέγιστη μετακίνηση οροφής, αλλά επιδίωξη ήταν η επίτευξη της μέγιστης δυνατής κάθε φορά μετακίνησης οροφής στην οποία θα τερμάτιζε η ανάλυση, λόγω δημιουργίας μηχανισμού ή λόγω αδυναμίας περαιτέρω αριθμητικής σύγκλισης. Κατά συνέπεια, το τελικό βήμα της ανάλυσης για το οποίο παρουσιάζονται τα σχετικά αποτελέσματα, είναι εκείνο στο οποίο το λογισμικό αυτόματα τερμάτισε την ανάλυση.

5.2 Στατική ανελαστική ανάλυση πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής

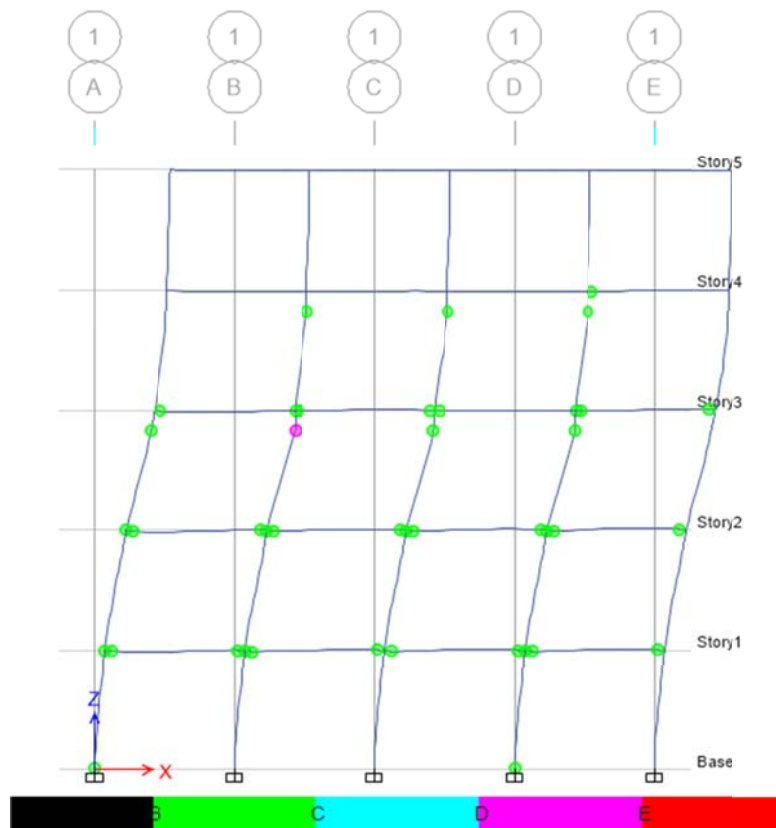
5.2.1 Αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις

Από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ETABS για το αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις, λαμβάνονται τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V και χαράσσεται η αντίστοιχη καμπύλη αντίστασης (pushover) (Σχήμα 5.1). Η μέγιστη μετακίνηση οροφής προσδιορίστηκε στα 125mm και αντιστοιχεί σε τέμνουσα βάσης 165KN περίπου. Η ιδιοπερίοδος του πλαισίου υπολογίστηκε στα 1,194sec.



Σχήμα 5.1. Καμπύλη αντίστασης αρχικού πλαισίου (ιδιομορφική ανάλυση)

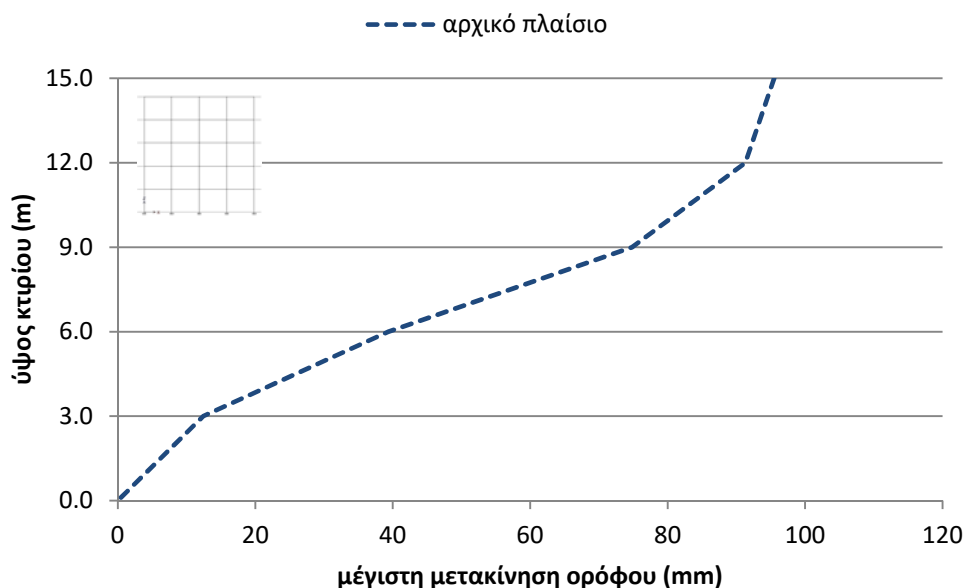
Από τη στατική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 5.2).



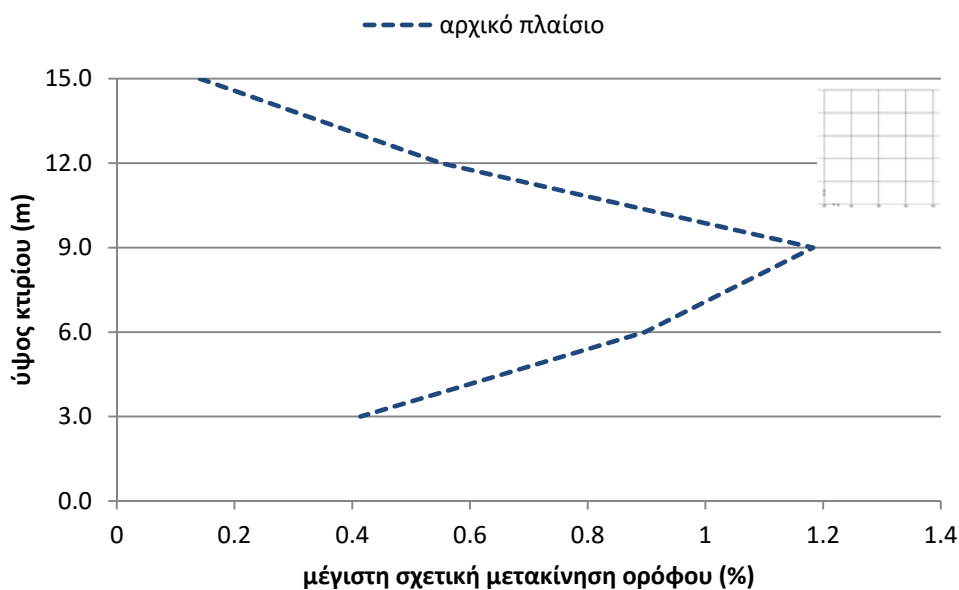
Σχήμα 5.2. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Παρατηρώντας το Σχήμα 5.2, βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα σχεδόν όλων των δοκών μέχρι και τη στάθμη 3 (β' όροφο), στη βάση και στην κορυφή του πρώτου υποστυλώματος (άξονας Α), στη βάση του υποστυλώματος ισογείου στον άξονα D και στην κορυφή αρκετών υποστυλωμάτων της στάθμης 3 και της στάθμης 4.

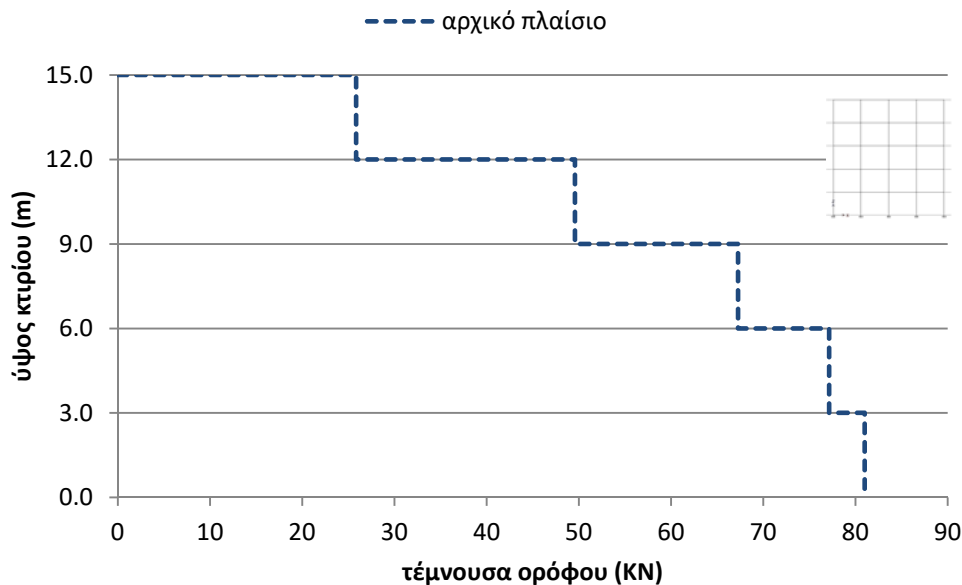
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.3), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.4) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.5), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής.



Σχήμα 5.3. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



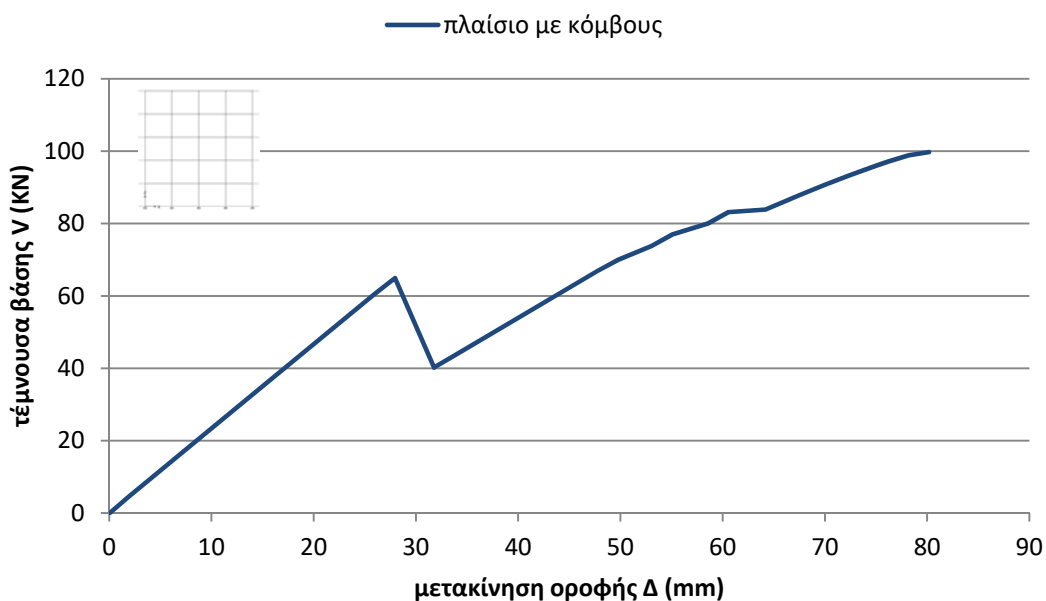
Σχήμα 5.4. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 5.5. Τέμνουσα ορόφων (αρχικό πλαίσιο)

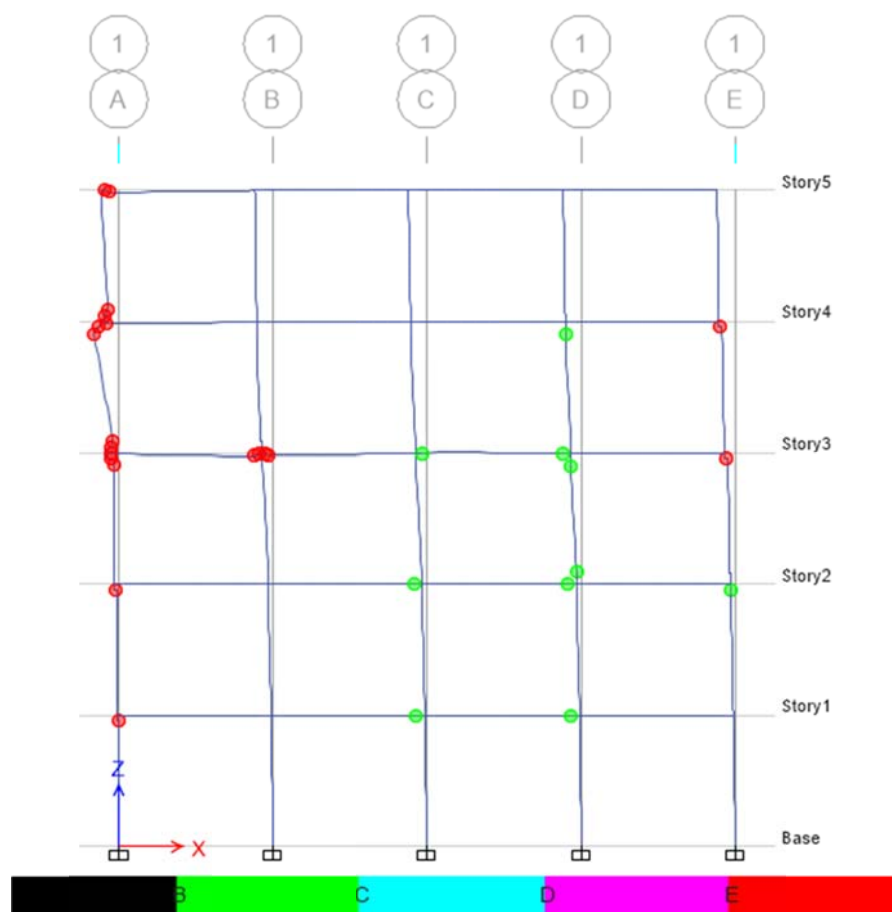
5.2.2 Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων χωρίς τοιχοπληρώσεις

Στη συνέχεια, από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ETABS για το πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων χωρίς τοιχοπληρώσεις, λαμβάνονται τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V και χαράσσεται η αντίστοιχη καμπύλη αντίστασης (pushover) (Σχήμα 5.6). Η μέγιστη μετακίνηση οροφής προσδιορίστηκε στα 80mm και αντιστοιχεί σε τέμνουσα βάσης 100kN περίπου. Η ιδιοπερίοδος του πλαισίου υπολογίστηκε στα 1,294sec.



Σχήμα 5.6. Καμπύλη αντίστασης πλαισίου με κόμβους (ιδιομορφική ανάλυση)

Από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 5.7).

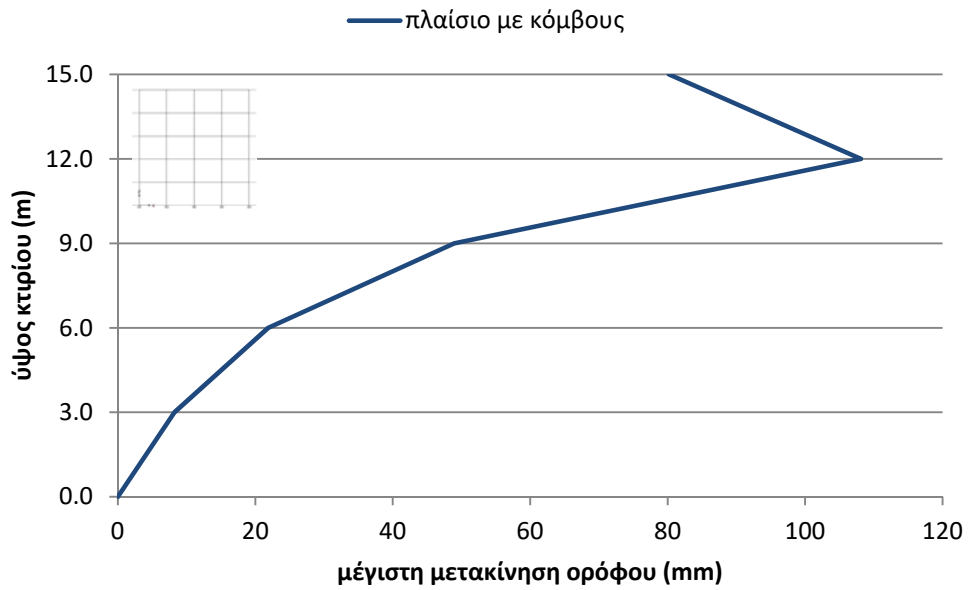


Σχήμα 5.7. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

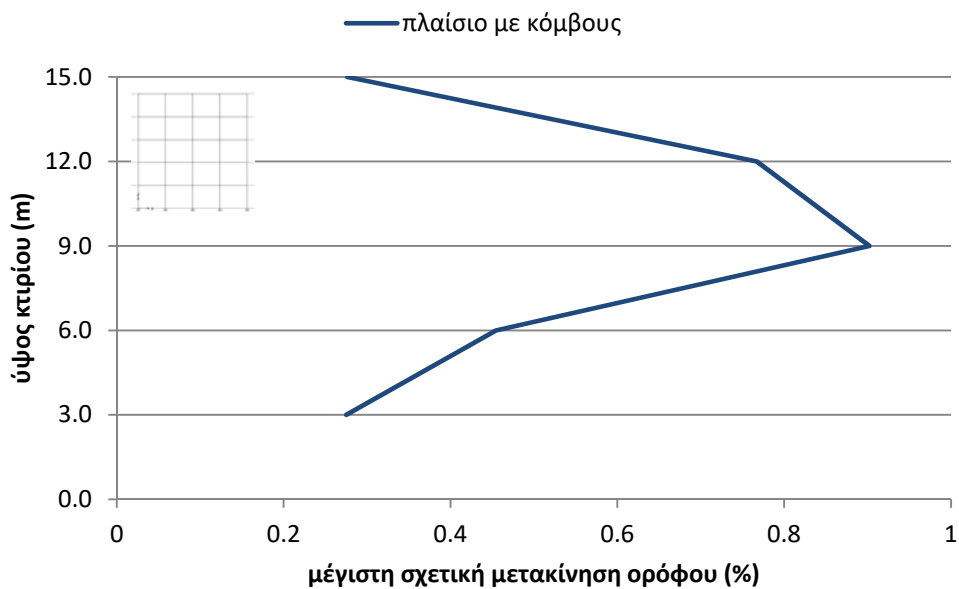
Παρατηρώντας το Σχήμα 5.7, βλέπουμε πως στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης στην περίπτωση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των δοκών στους άξονες C και D μέχρι και την τρίτη στάθμη και στα άκρα του υποστυλώματος στον άξονα D στην τρίτη και τέταρτη στάθμη. Έτσι, στους εσωτερικούς αυτούς κόμβους του πλαισίου, οι δοκοί και τα υποστυλώματα αστοχούν πριν από τους κόμβους. Αντίθετα, στους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων, οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς. Τέλος, ο εσωτερικός κόμβος στον άξονα B της τρίτης στάθμης αστοχεί και αυτός πριν τα συντρέχοντα μέλη, πιθανώς λόγω και της γειτνίασής του με το υποστύλωμα στον άξονα A της τέταρτης στάθμης το οποίο αστοχεί στη βάση και την κορυφή του και προφανώς δημιουργείται ένα είδος τοπικού μηχανισμού αστάθειας.

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.8), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.9) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα

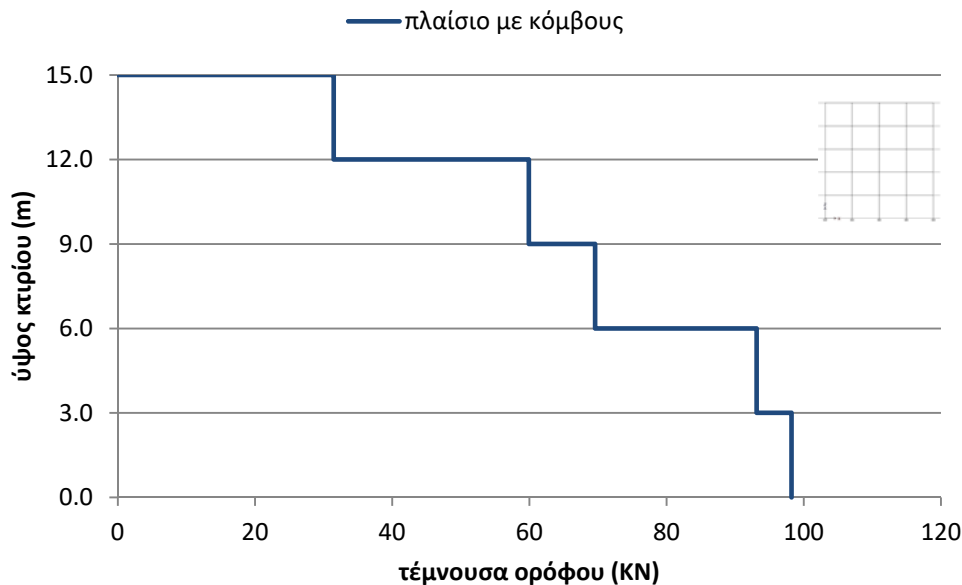
5.10), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων βάσει της πρώτης ιδιομορφής.



Σχήμα 5.8. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)



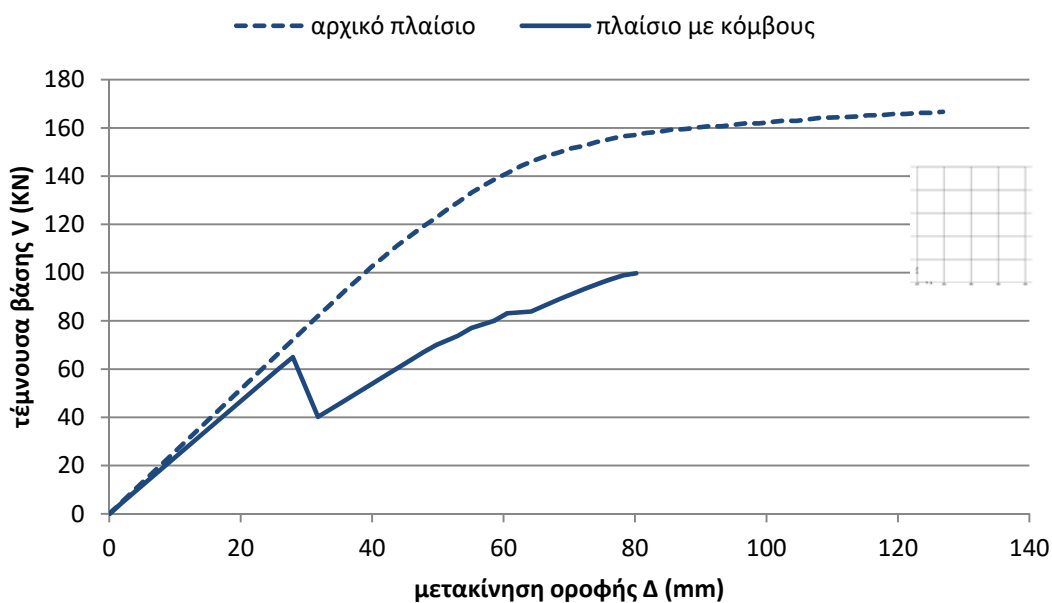
Σχήμα 5.9. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)



Σχήμα 5.10. Τέμνουσα ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)

5.2.3 Συγκριτικά αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής

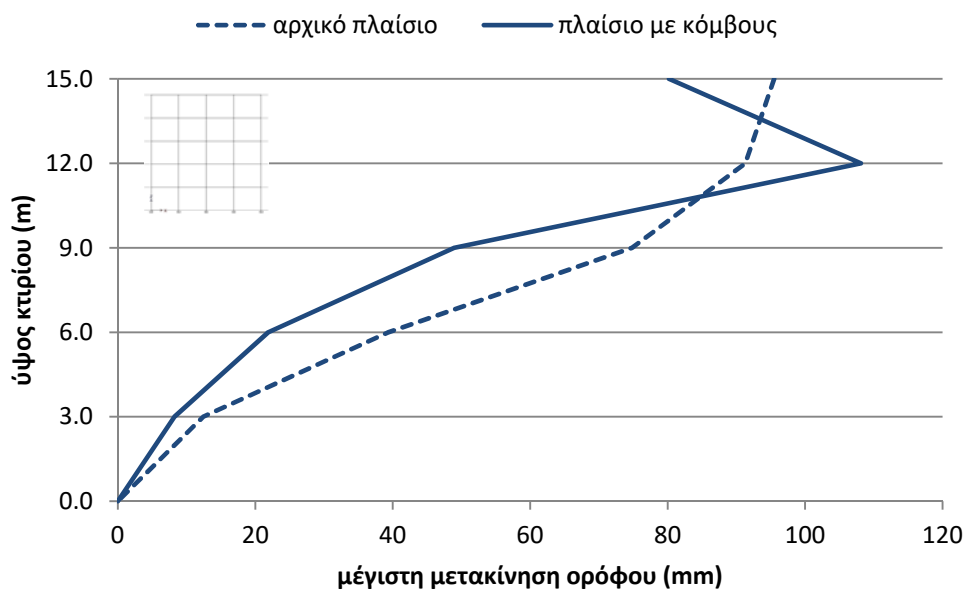
Από τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V από τα δύο πλαίσια χωρίς τοιχοπληρώσεις (το αρχικό και αυτό με τη μοντελοποίηση των κόμβων), χαράσσονται οι καμπύλες αντίστασης (pushover) που αντιστοιχούν στις δύο στατικές ανελαστικές αναλύσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής (Σχήμα 5.11).



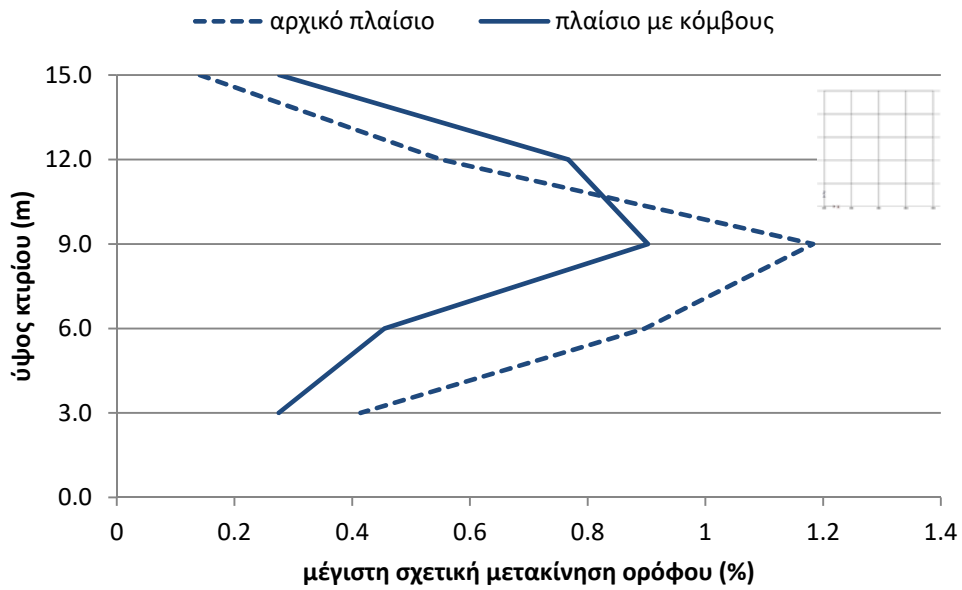
Σχήμα 5.11. Σύγκριση καμπυλών αντίστασης (ιδιομορφική ανάλυση)

Από το Σχήμα 5.11 γίνεται φανερό πως στην περίπτωση που θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), η εκτιμώμενη αντοχή του πλαισίου υπερεκτιμάται, ενώ όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), η εκτιμώμενη αντοχή του πλαισίου είναι πιο συντηρητική και σύμφωνα με τους μελετητές πιο κοντά στην πειραματική άρα και στην πραγματική (Sharma et al, 2011a). Ειδικότερα, η αντοχή του πλαισίου υπερεκτιμάται κατά 56% σε όρους μετακινήσεων και κατά 60% σε όρους δυνάμεων. Επιπλέον, στην περίπτωση εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρείται πως η ανάλυση σταμάτησε σε μικρότερη μετακίνηση οροφής του πλαισίου, γεγονός που δικαιολογείται από την εκτεταμένη αστοχία των εξωτερικών κόμβων του πλαισίου και το σχηματισμό τοπικού μηχανισμού αστάθειας (Σχήμα 5.7).

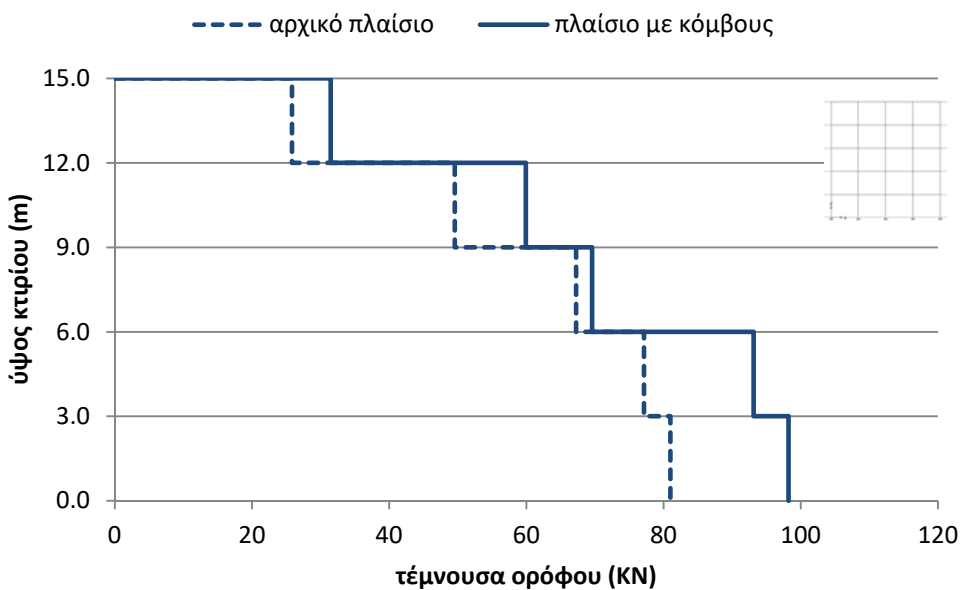
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.12), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.13) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.14), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής για το αρχικό πλαίσιο σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων.



Σχήμα 5.12. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)



Σχήμα 5.13. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)



Σχήμα 5.14. Συγκριτικό διάγραμμα τεμνουσών ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)

Από το Σχήμα 5.12 και το Σχήμα 5.13 γίνεται φανερό πως στη στάθμη 4 (ύψος 12,0m), στην περίπτωση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρούνται μεγαλύτερες μετακινήσεις σε σχέση με το αρχικό μοντέλο (άκαμπτοι κόμβοι), πιθανά οφειλόμενες στο σχηματισμό τοπικού μηχανισμού αστάθειας στο εξωτερικό υποστύλωμα του άξονα Α, λόγω αστοχίας του σώματος των κόμβων στη βάση και στην κορυφή του.

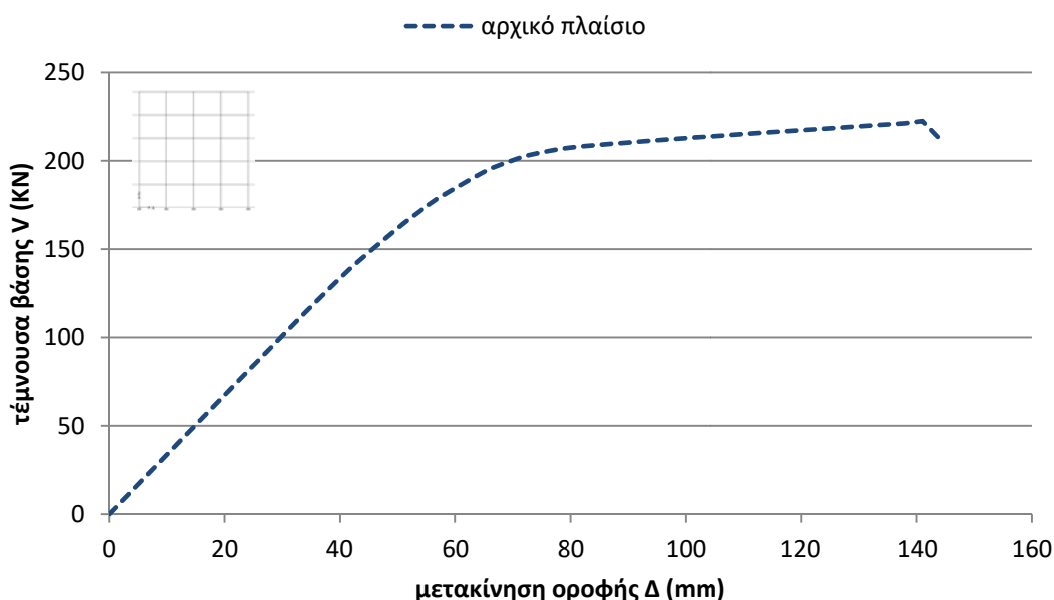
Από τα ανωτέρω προκύπτει το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση που θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), όχι μόνο υπερεκτιμάται η αντοχή του πλαισίου, αλλά διαφοροποιείται σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους),

παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

5.3 Στατική ανελαστική ανάλυση πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει φορτίου ορθογωνικής κατανομής

5.3.1 Αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις

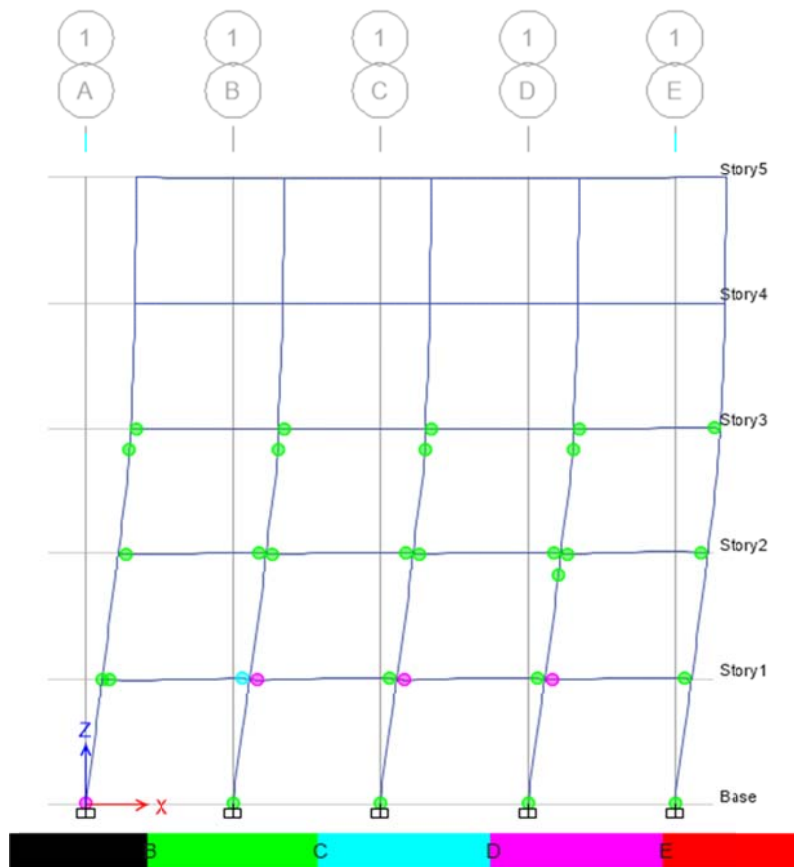
Από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει ορθογωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ETABS για το αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις, λαμβάνονται τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V και χαράσσεται η αντίστοιχη καμπύλη αντίστασης (pushover) (Σχήμα 5.15). Η μέγιστη μετακίνηση οροφής προσδιορίστηκε στα 141mm και αντιστοιχεί σε τέμνουσα βάσης 222KN περίπου.



Σχήμα 5.15. Καμπύλη αντίστασης αρχικού πλαισίου (ορθογωνική κατανομή)

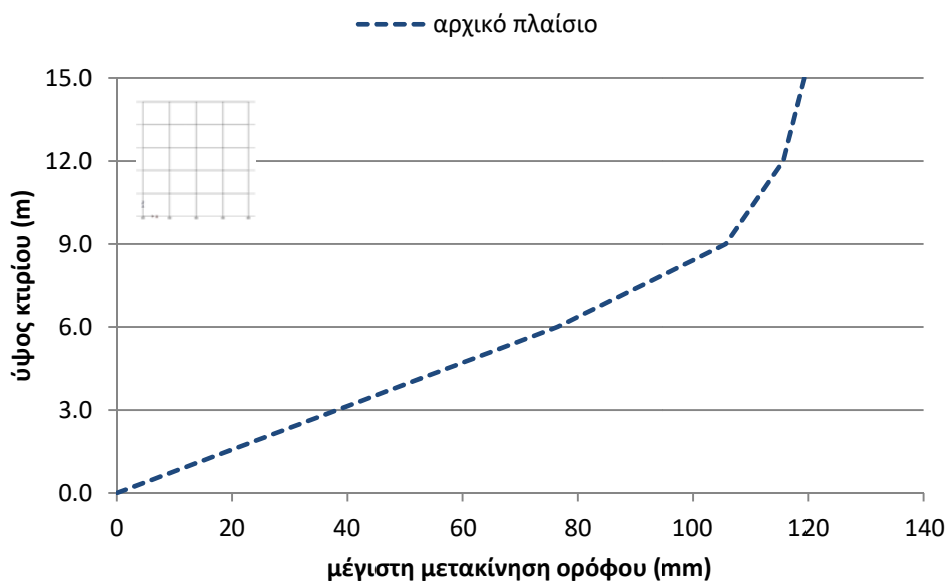
Από τη στατική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 5.16).

Παρατηρώντας το Σχήμα 5.16, βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα σχεδόν όλων των δοκών μέχρι και τη στάθμη 3 (β' όροφο), στη βάση όλων των υποστυλωμάτων ισογείου, στην κορυφή του υποστυλώματος στον άξονα D της δεύτερης στάθμης και στην κορυφή σχεδόν όλων των υποστυλωμάτων της τρίτης στάθμης.

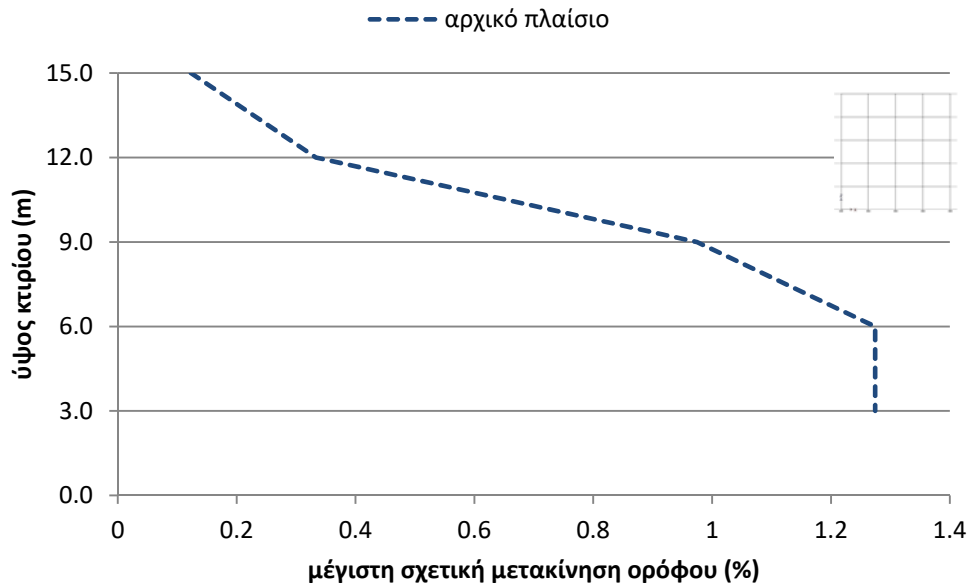


Σχήμα 5.16. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

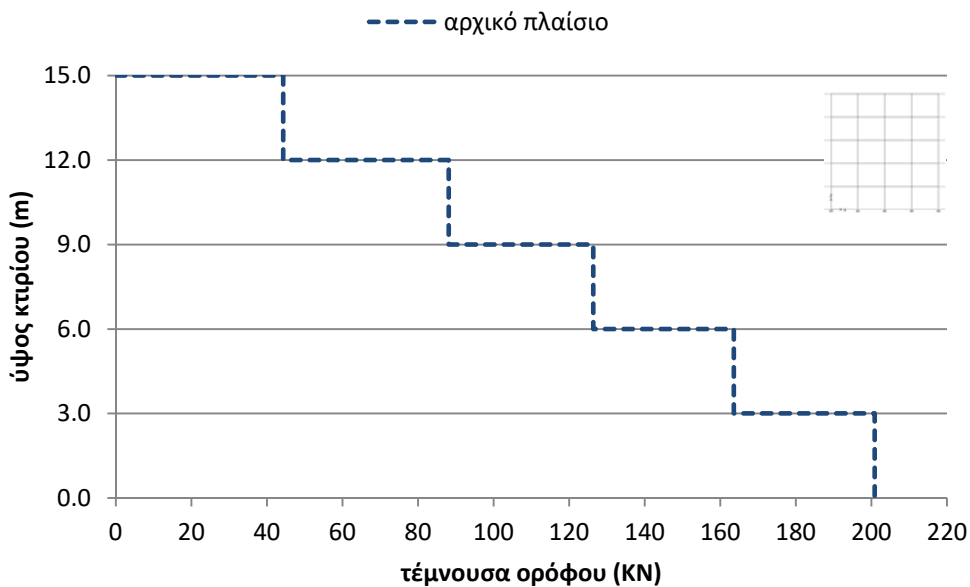
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.17), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.18) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.19), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει ορθογωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου.



Σχήμα 5.17. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 5.18. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)

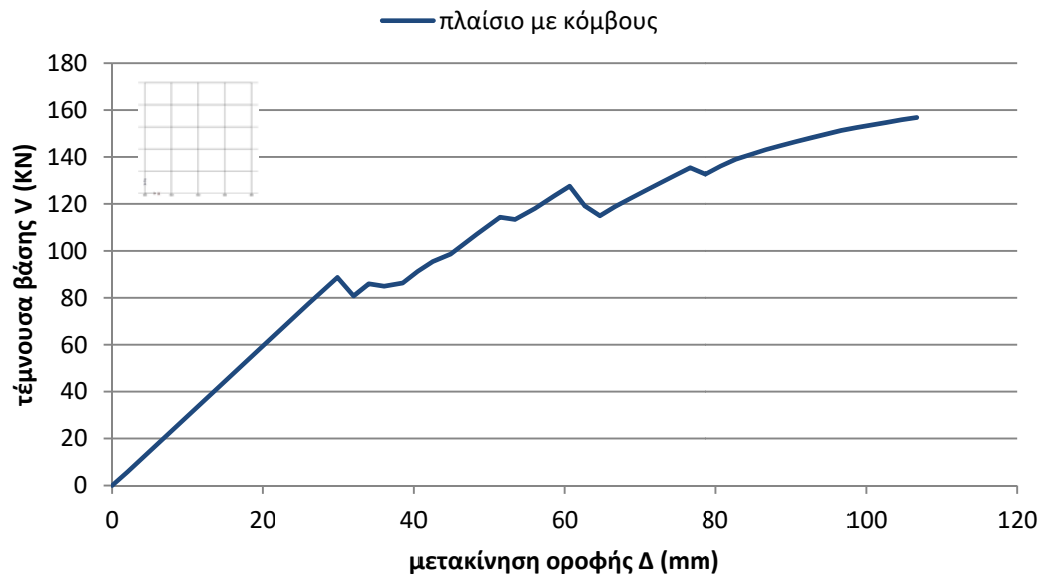


Σχήμα 5.19. Τέμνουσα ορόφων (αρχικό πλαίσιο)

5.3.2 Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων χωρίς τοιχοπληρώσεις

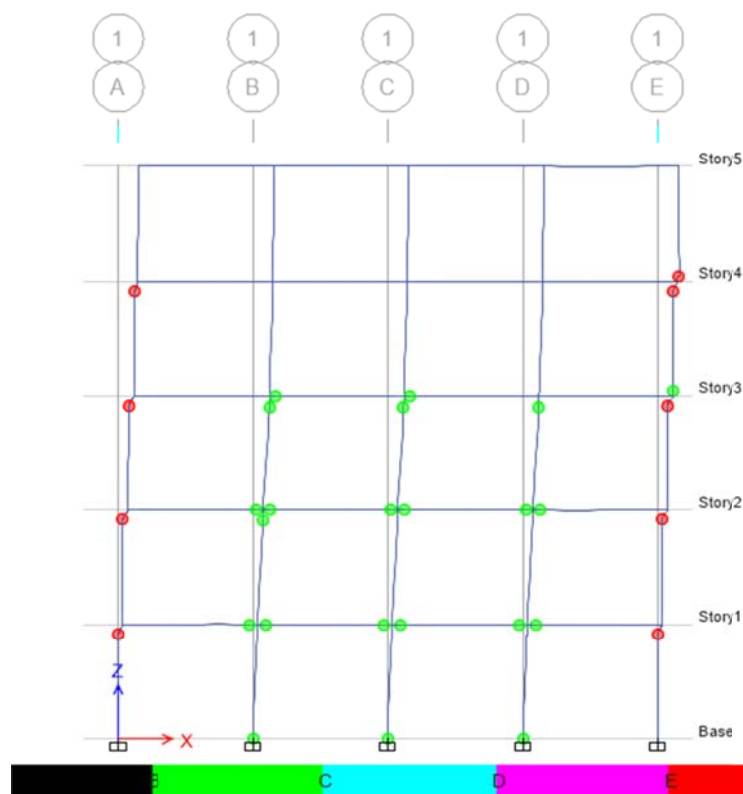
Στη συνέχεια, από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει ορθογωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ETABS για το πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, λαμβάνονται τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V και χαράσσεται η αντίστοιχη καμπύλη αντίστασης (Σχήμα 5.20). Η μέγιστη

μετακίνηση οροφής προσδιορίστηκε στα 106mm και αντιστοιχεί σε τέμνουσα βάσης 157KN περίπου.



Σχήμα 5.20. Καμπύλη αντίστασης πλαισίου με κόμβους (ορθογωνική κατανομή)

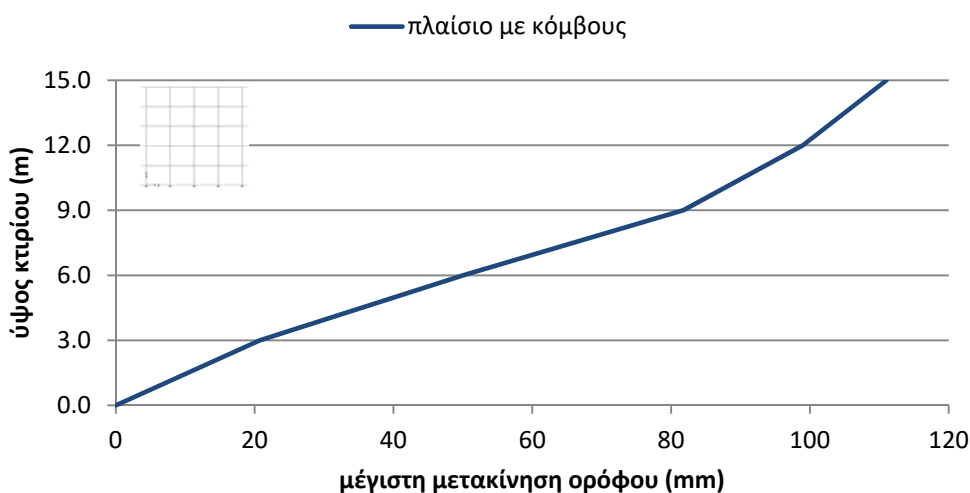
Από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει ορθογωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 5.21).



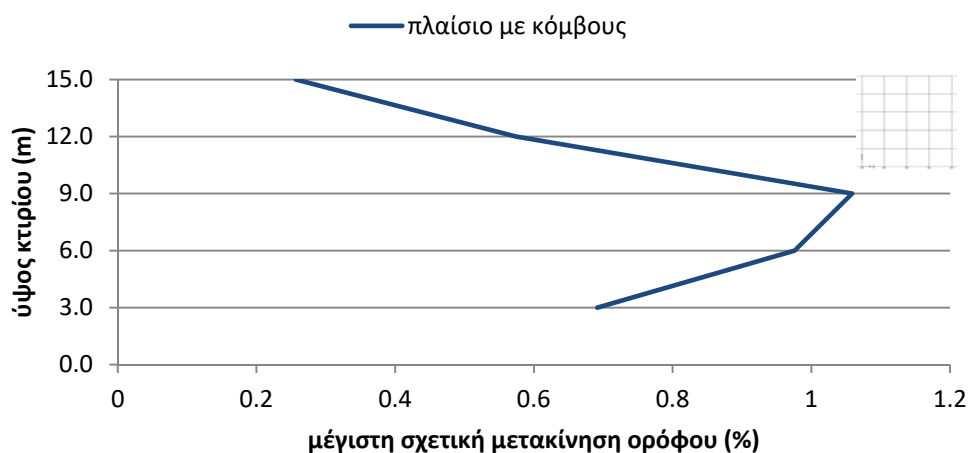
Σχήμα 5.21. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Παρατηρώντας το Σχήμα 5.21, βλέπουμε πως στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης στην περίπτωση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα δοκών και υποστυλωμάτων στους εσωτερικούς κόμβους των τριών πρώτων σταθμών, καθώς και στη βάση των τριών εσωτερικών υποστυλωμάτων ισογείου. Όπως και στην περίπτωση της στατικής ανελαστικής ανάλυσης βάσει της πρώτης ιδιομορφής, στους εσωτερικούς αυτούς κόμβους του πλαισίου οι δοκοί και τα υποστυλώματα αστοχούν πριν από τους κόμβους. Αντίθετα, στους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων από την πρώτη μέχρι και την τέταρτη στάθμη, οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.

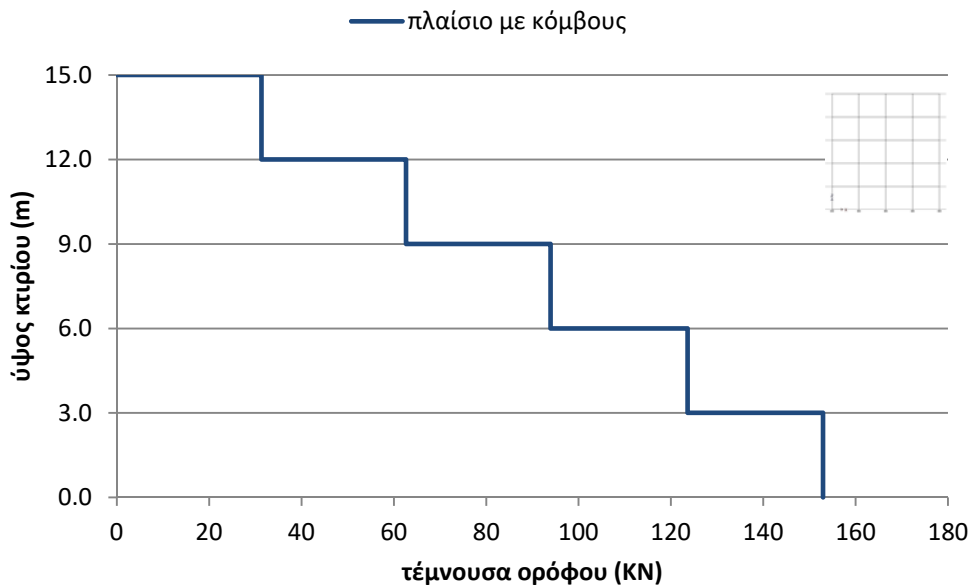
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.22), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.23) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.24), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων βάσει ορθογωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου.



Σχήμα 5.22. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)



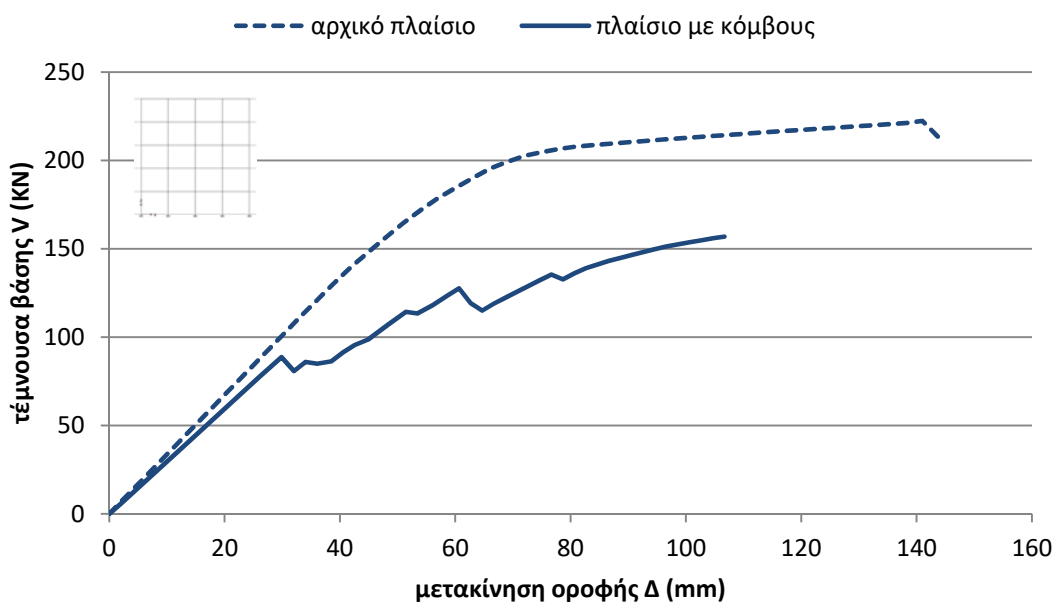
Σχήμα 5.23. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)



Σχήμα 5.24. Τέμνουσα ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)

5.3.3 Συγκριτικά αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει φορτίου ορθογωνικής κατανομής

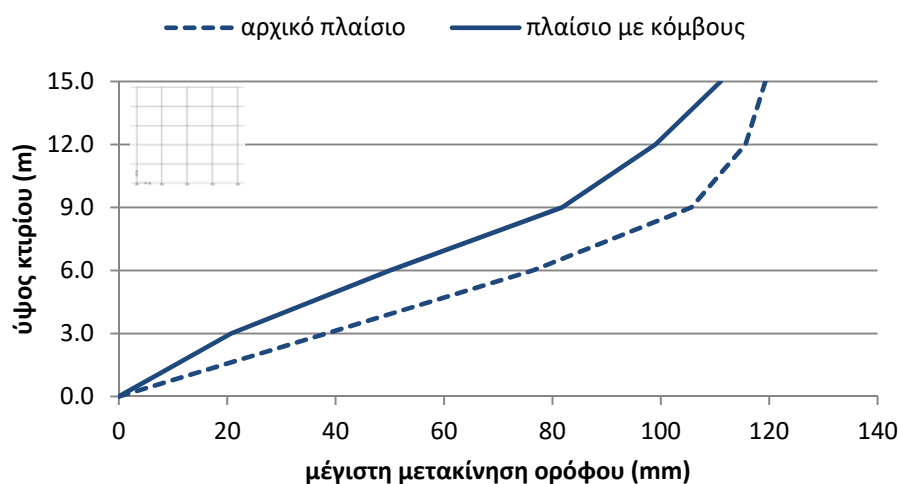
Από τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V από τα δύο πλαίσια χωρίς τοιχοπληρώσεις (το αρχικό και αυτό με τη μοντελοποίηση των κόμβων), χαράσσονται οι καμπύλες αντίστασης (pushover) που αντιστοιχούν στις δύο στατικές ανελαστικές αναλύσεις βάσει ορθογωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου (Σχήμα 5.25).



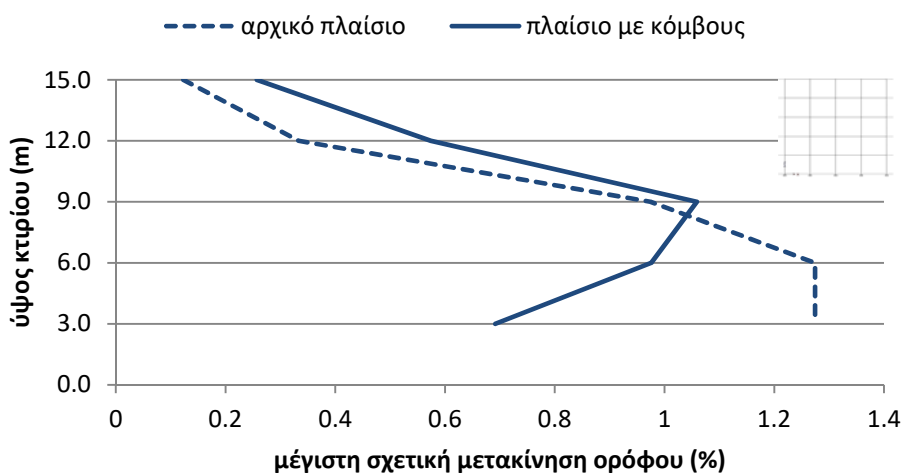
Σχήμα 5.25. Σύγκριση καμπυλών αντίστασης (ορθογωνική κατανομή)

Από το Σχήμα 5.25 γίνεται για ακόμα μία φορά φανερό πως στην περίπτωση που θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), η εκτιμώμενη αντοχή του πλαισίου υπερεκτιμάται, ενώ όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), η εκτιμώμενη αντοχή του πλαισίου είναι πιο συντηρητική. Ειδικότερα, η αντοχή του πλαισίου υπερεκτιμάται κατά 32% σε όρους μετακινήσεων και κατά 41% σε όρους δυνάμεων. Επιπλέον, στην περίπτωση εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρείται πως η ανάλυση σταμάτησε σε μικρότερη μετακίνηση οροφής του πλαισίου, γεγονός που δικαιολογείται από την εκτεταμένη αστοχία των εξωτερικών κόμβων του πλαισίου και το σχηματισμό τοπικών μηχανισμών αστάθειας (Σχήμα 5.21).

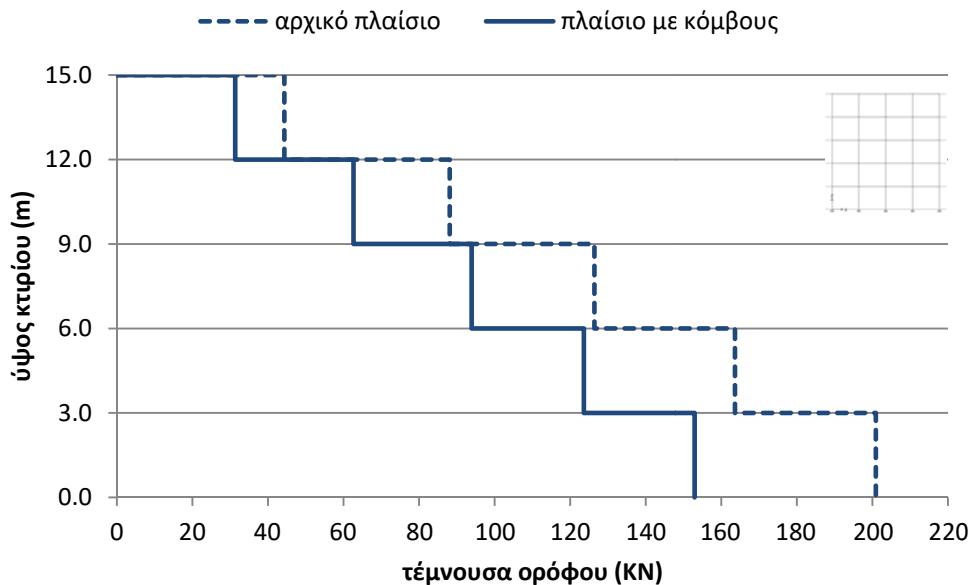
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.26), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.27) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.28), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει ορθογωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου για το αρχικό πλαίσιο σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων.



Σχήμα 5.26. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων (ορθογωνική κατανομή)



Σχήμα 5.27. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων (ορθογωνική κατανομή)



Σχήμα 5.28. Συγκριτικό διάγραμμα τέμνουσών ορόφων (ορθογωνική κατανομή)

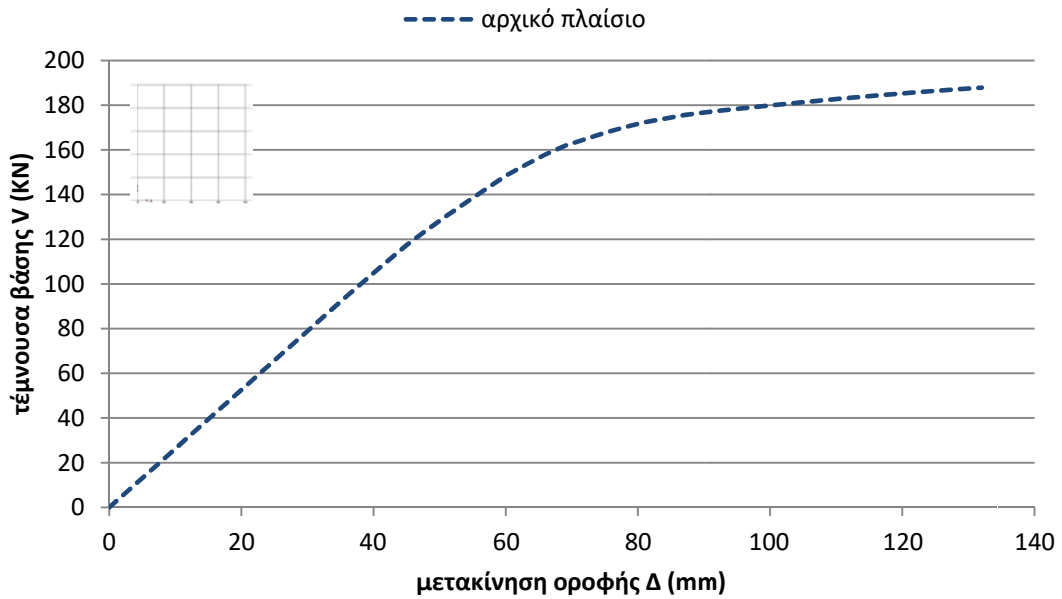
Από το Σχήμα 5.27 γίνεται φανερό πως από τη στάθμη 3 και άνω, στην περίπτωση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρούνται μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις ορόφου σε σχέση με το αρχικό μοντέλο (άκαμπτοι κόμβοι), πιθανά οφειλόμενες στο σχηματισμό τοπικών μηχανισμών αστάθειας στα εξωτερικά υποστυλώματα, λόγω αστοχίας του πυρήνα όλων των εξωτερικών κόμβων στις τέσσερις πρώτες στάθμες.

Όπως και στην προηγούμενη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής, έτσι και στην περίπτωση της ορθογωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου, προκύπτει το συμπέρασμα πως, όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), όχι μόνο υπερεκτιμάται η αντοχή του πλαισίου, αλλά διαφοροποιείται σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

5.4 Στατική ανελαστική ανάλυση πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει φορτίου τριγωνικής κατανομής

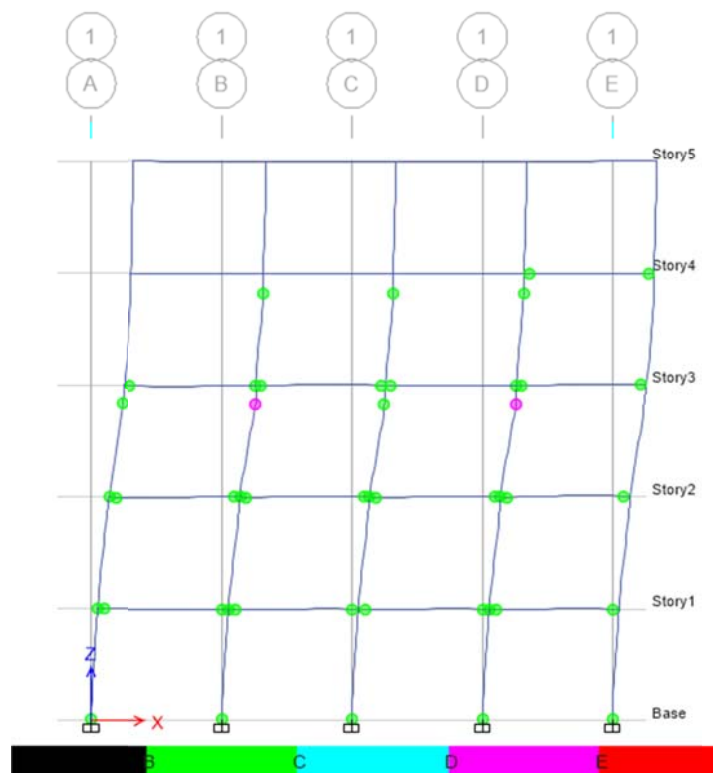
5.4.1 Αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις

Από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει τριγωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ETABS για το αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις, λαμβάνονται τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V και χαράσσεται η αντίστοιχη καμπύλη αντίστασης (pushover) (Σχήμα 5.29). Η μέγιστη μετακίνηση οροφής προσδιορίστηκε στα 132mm και αντιστοιχεί σε τέμνουσα βάση 188KN περίπου.



Σχήμα 5.29. Καμπύλη αντίστασης αρχικού πλαισίου (τριγωνική κατανομή)

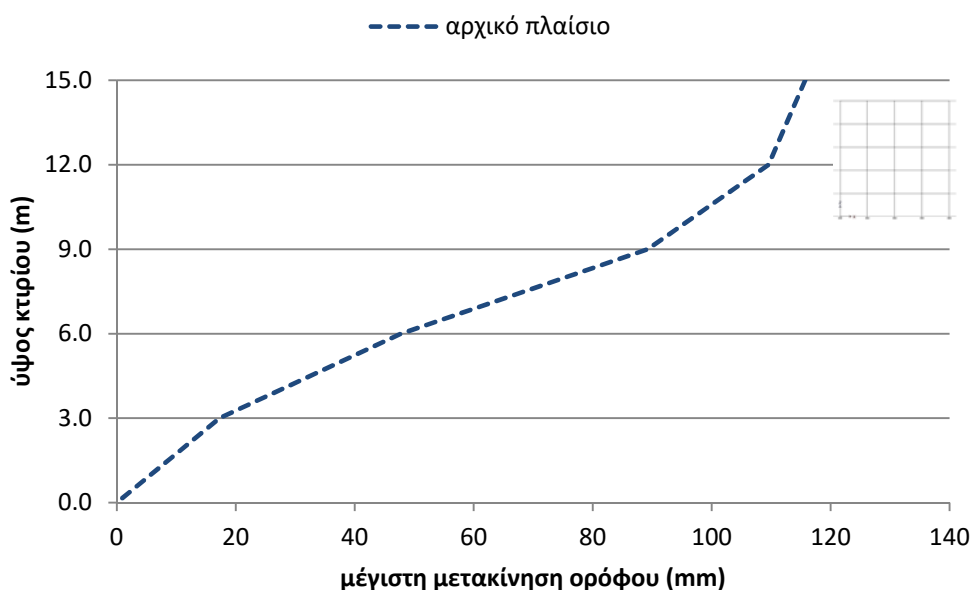
Από τη στατική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 5.30).



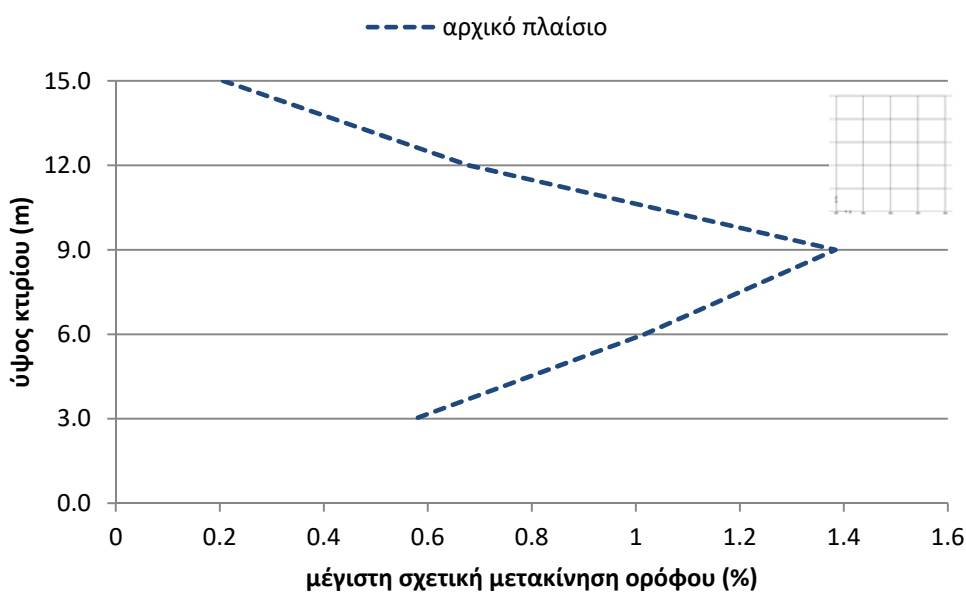
Σχήμα 5.30. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Παρατηρώντας το Σχήμα 5.30, βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα σχεδόν όλων των δοκών μέχρι και τη στάθμη 3, στη βάση όλων των υποστυλωμάτων ισογείου, και στην κορυφή των περισσότερων υποστυλωμάτων της τρίτης και τέταρτης στάθμης.

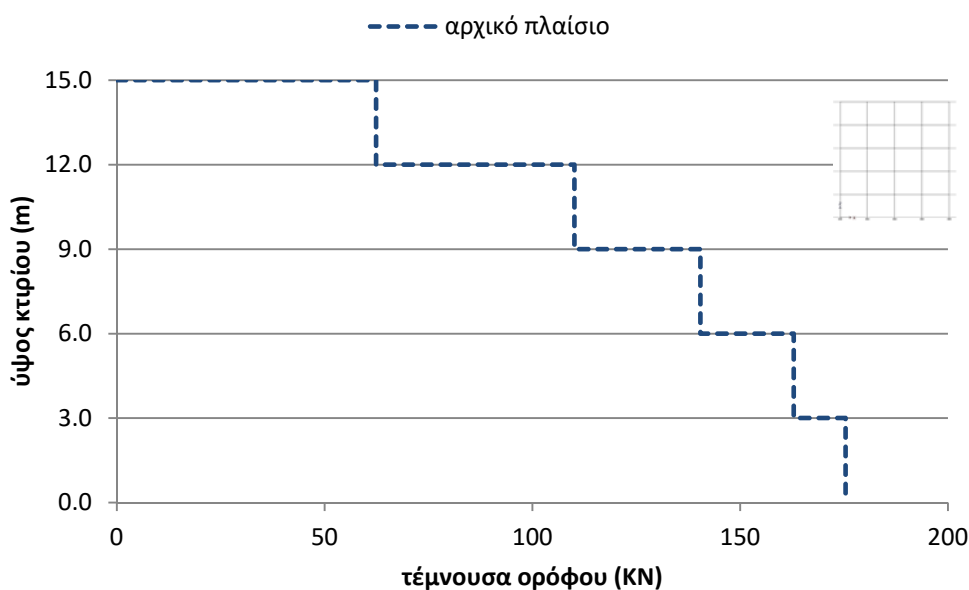
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.31), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.32) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.33), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει τριγωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου.



Σχήμα 5.31. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



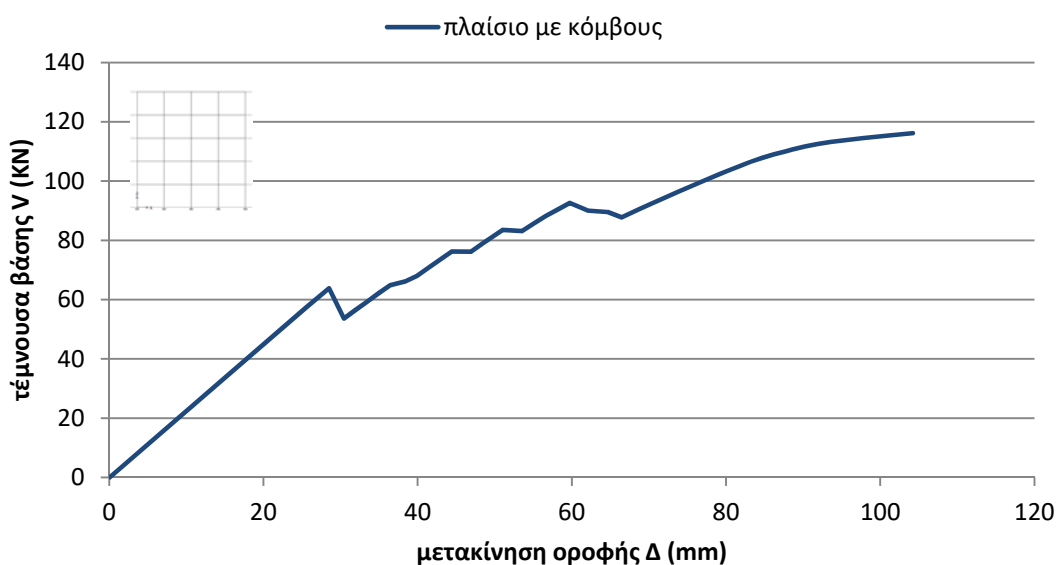
Σχήμα 5.32. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 5.33. Τέμνουσα ορόφων (αρχικό πλαίσιο)

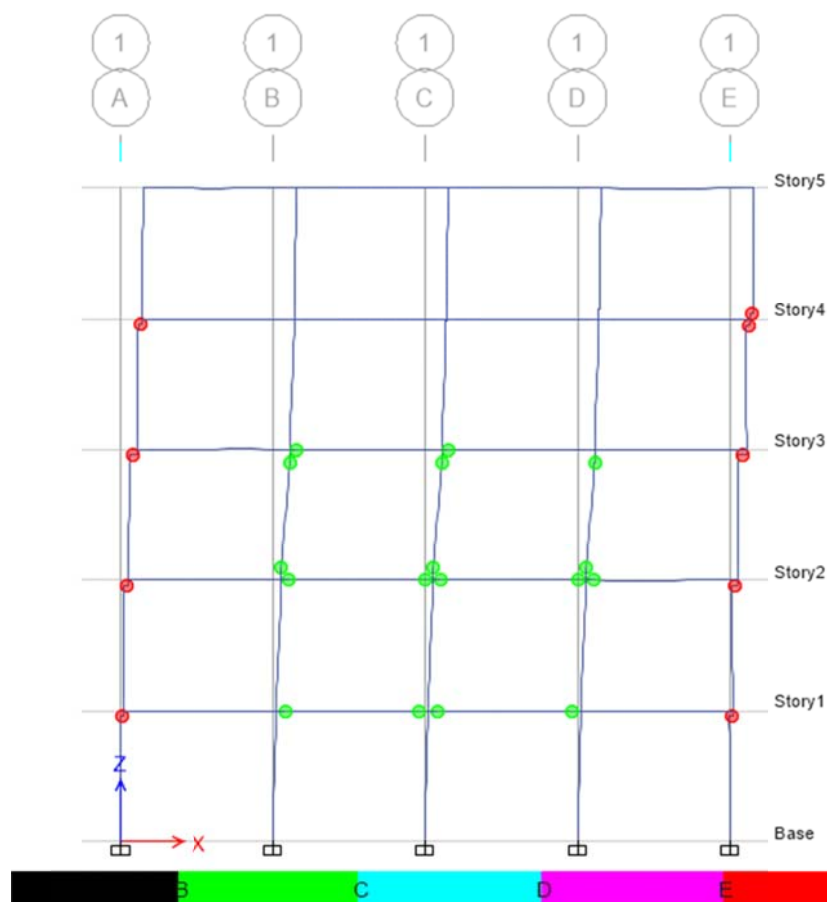
5.4.2 Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων χωρίς τοιχοπληρώσεις

Στη συνέχεια, από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει τριγωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ETABS για το πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, λαμβάνονται τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V και χαράσσεται η αντίστοιχη καμπύλη αντίστασης (Σχήμα 5.34). Η μέγιστη μετακίνηση οροφής προσδιορίστηκε στα 103mm και αντιστοιχεί σε τέμνουσα βάσης 116kN περίπου.



Σχήμα 5.34. Καμπύλη αντίστασης πλαισίου με κόμβους (τριγωνική κατανομή)

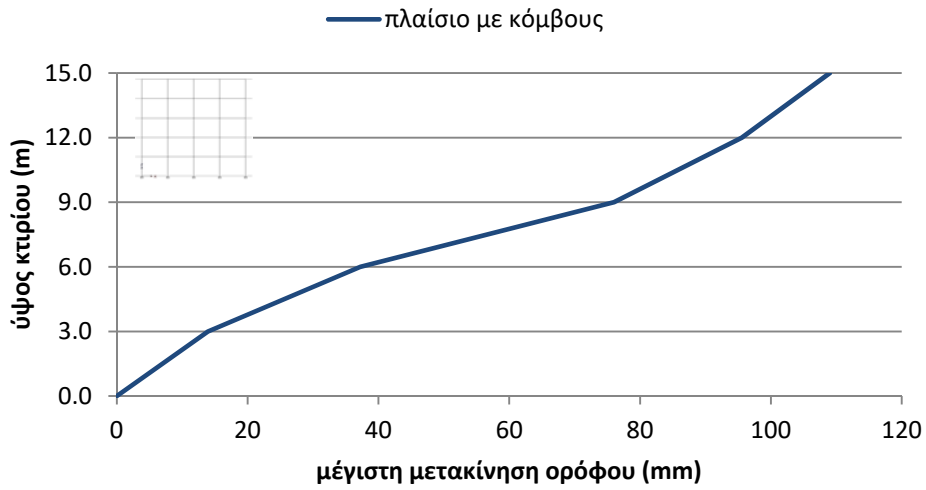
Από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει τριγωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 5.35).



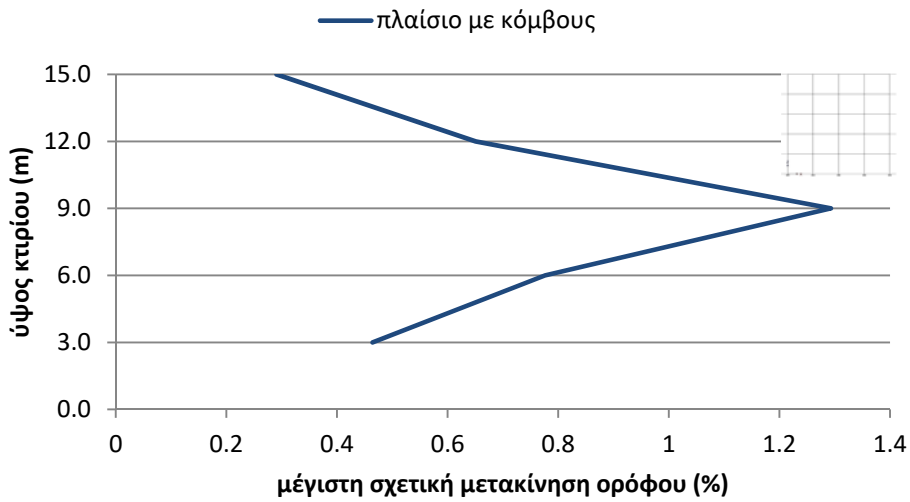
Σχήμα 5.35. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Παρατηρώντας το Σχήμα 5.35, βλέπουμε πως στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης στην περίπτωση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε άκρα δοκών και υποστυλωμάτων στους εσωτερικούς κόμβους των τριών πρώτων σταθμών. Όπως και στην περίπτωση της στατικής ανελαστικής ανάλυσης βάσει της πρώτης ιδιομορφής, στους εσωτερικούς αυτούς κόμβους του πλαισίου οι δοκοί και τα υποστυλώματα αστοχούν πριν από τους κόμβους. Αντίθετα, στους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων από την πρώτη μέχρι και την τέταρτη στάθμη, οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.

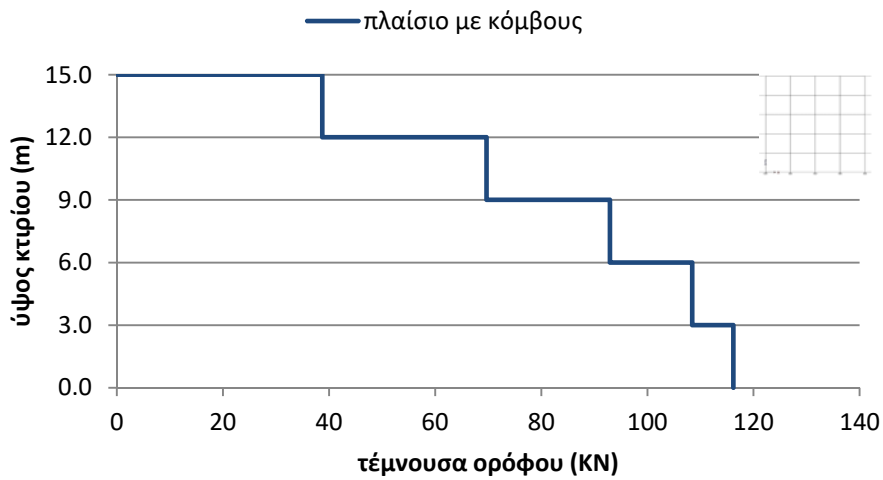
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.36), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.37) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.38), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων βάσει τριγωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου.



Σχήμα 5.36. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)



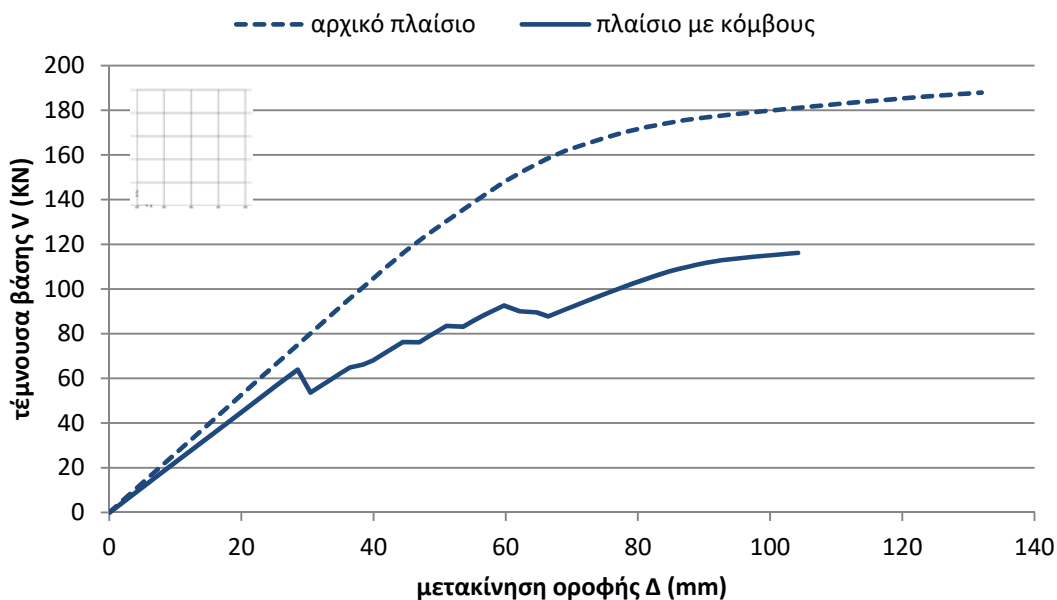
Σχήμα 5.37. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)



Σχήμα 5.38. Τέμνουσα ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)

5.4.3 Συγκριτικά αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις βάσει φορτίου τριγωνικής κατανομής

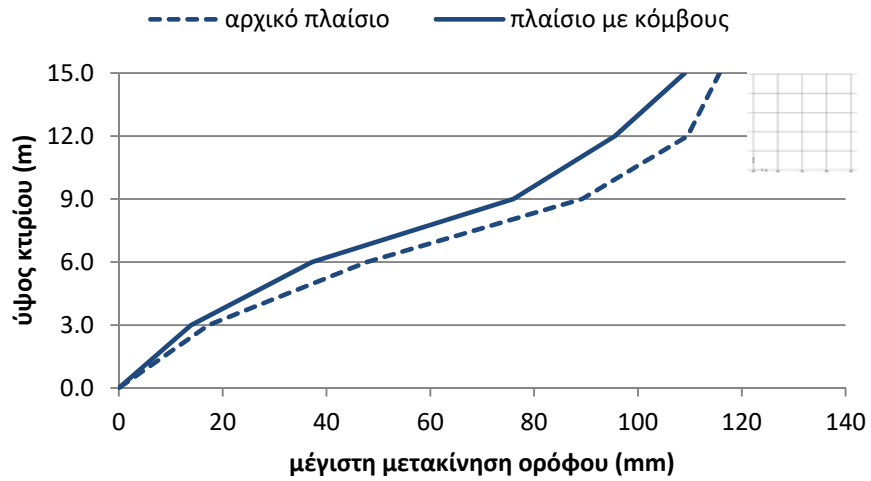
Από τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V από τα δύο πλαίσια χωρίς τοιχοπληρώσεις (το αρχικό και αυτό με τη μοντελοποίηση των κόμβων), χαράσσονται οι καμπύλες αντίστασης (pushover) που αντιστοιχούν στις δύο στατικές ανελαστικές αναλύσεις βάσει τριγωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου (Σχήμα 5.39).



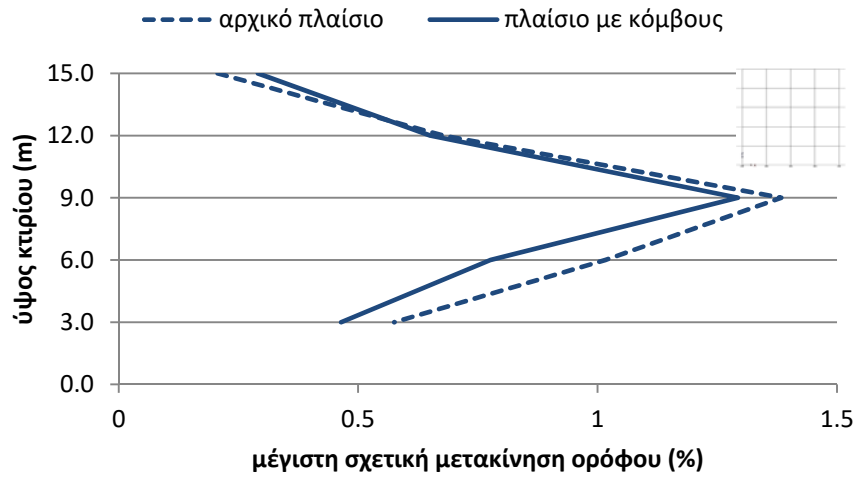
Σχήμα 5.39. Σύγκριση καμπυλών αντίστασης (τριγωνική κατανομή)

Από το Σχήμα 5.39 γίνεται για ακόμα μία φορά φανερό πως στην περίπτωση που θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), η εκτιμώμενη αντοχή του πλαισίου υπερεκτιμάται, ενώ όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), η εκτιμώμενη αντοχή του πλαισίου είναι πιο συντηρητική. Ειδικότερα, η αντοχή του πλαισίου υπερεκτιμάται κατά 28% σε όρους μετακινήσεων και κατά 62% σε όρους δυνάμεων. Επιπλέον, στην περίπτωση εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρείται πως η ανάλυση σταμάτησε σε μικρότερη μετακίνηση οροφής του πλαισίου, γεγονός που δικαιολογείται από την εκτεταμένη αστοχία των εξωτερικών κόμβων του πλαισίου και το σχηματισμό τοπικών μηχανισμών αστάθειας (Σχήμα 5.35).

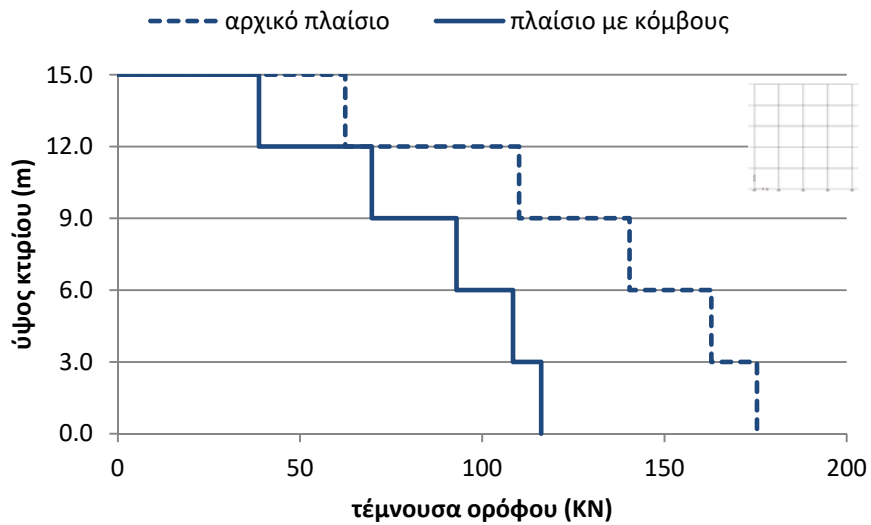
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.40), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.41) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.42), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει τριγωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου για το αρχικό πλαίσιο σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων.



Σχήμα 5.40. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων (τριγωνική κατανομή)



Σχήμα 5.41. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων (τριγωνική κατανομή)



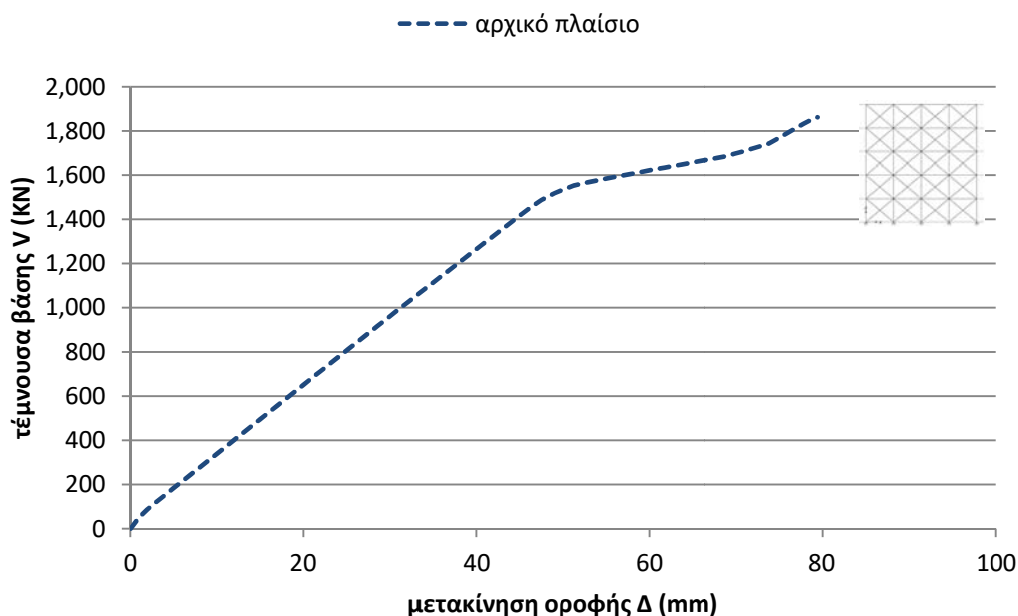
Σχήμα 5.42. Συγκριτικό διάγραμμα τεμνουσών ορόφων (τριγωνική κατανομή)

Από τα ανωτέρω συγκριτικά διαγράμματα των μετακινήσεων, παρατηρείται πως το αρχικό πλαίσιο (άκαμπτοι κόμβοι) παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές απόλυτων αλλά και σχετικών μετακινήσεων σε σχέση με το πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων. Παρόλα αυτά και στην περίπτωση και της τριγωνικής κατανομής του επιβαλλόμενου φορτίου, προκύπτει το συμπέρασμα πως, όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), όχι μόνο υπερεκτιμάται η αντοχή του πλαισίου, αλλά διαφοροποιείται σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

5.5 Στατική ανελαστική ανάλυση πλαισίου με τοιχοπληρώσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής

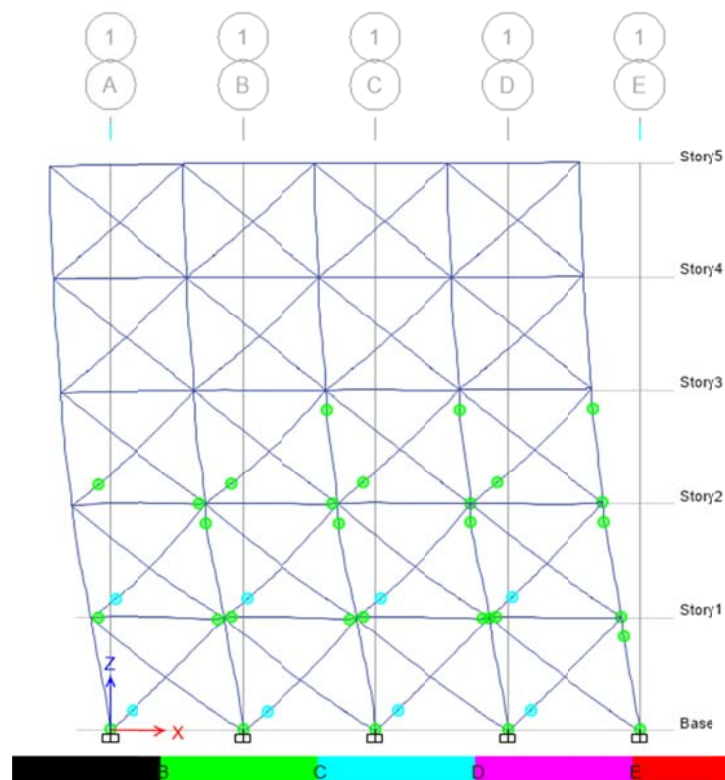
5.5.1 Αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις

Από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ETABS για το αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις, λαμβάνονται τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V και χαράσσεται η αντίστοιχη καμπύλη αντίστασης (pushover) (Σχήμα 5.43). Η μέγιστη μετακίνηση οροφής προσδιορίστηκε στα 80mm και αντιστοιχεί σε τέμνουσα βάσης 1862KN περίπου. Η ιδιοπερίοδος του πλαισίου υπολογίστηκε στα 0,302sec.



Σχήμα 5.43. Καμπύλη αντίστασης αρχικού πλαισίου (ιδιομορφική ανάλυση)

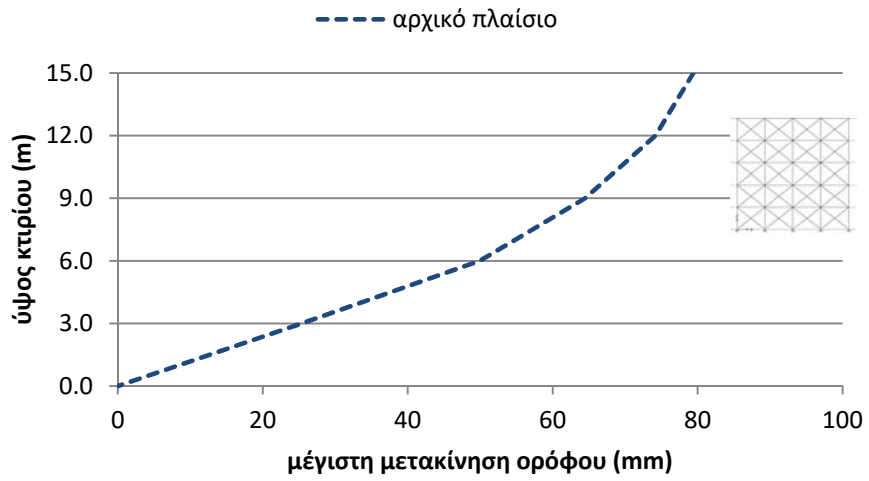
Από τη στατική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 5.44).



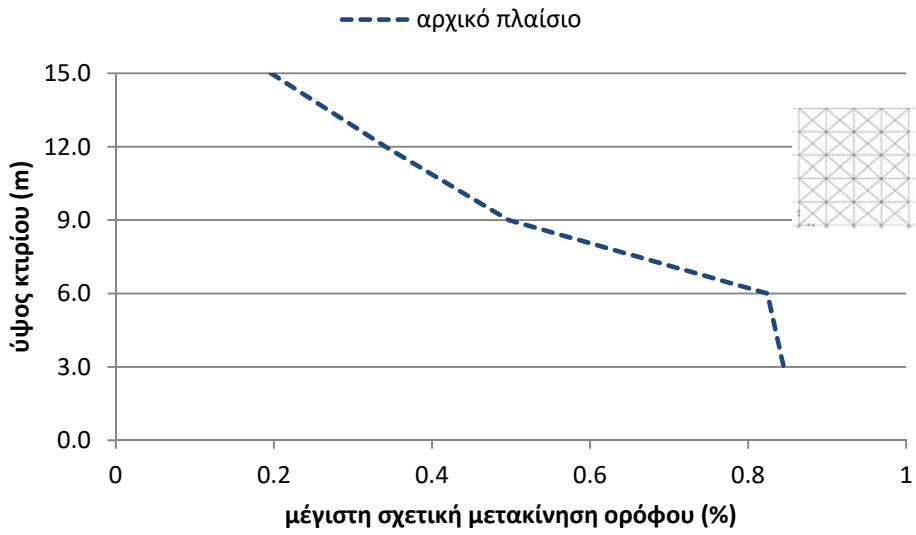
Σχήμα 5.44. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Παρατηρώντας το Σχήμα 5.44, βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα όλων των δοκών της πρώτης στάθμης, στις δύο από τις τέσσερις δοκούς της δεύτερης στάθμης, στη βάση όλων των υποστυλωμάτων ισογείου, στην κορυφή και τη βάση του υποστυλώματος στον άξονα E στις τρεις πρώτες στάθμες και στην κορυφή των υποστυλωμάτων στους άξονες C & D στη δεύτερη και τρίτη στάθμη. Επίσης, σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε όλες τις τοιχοποιίες των τριών πρώτων σταθμών.

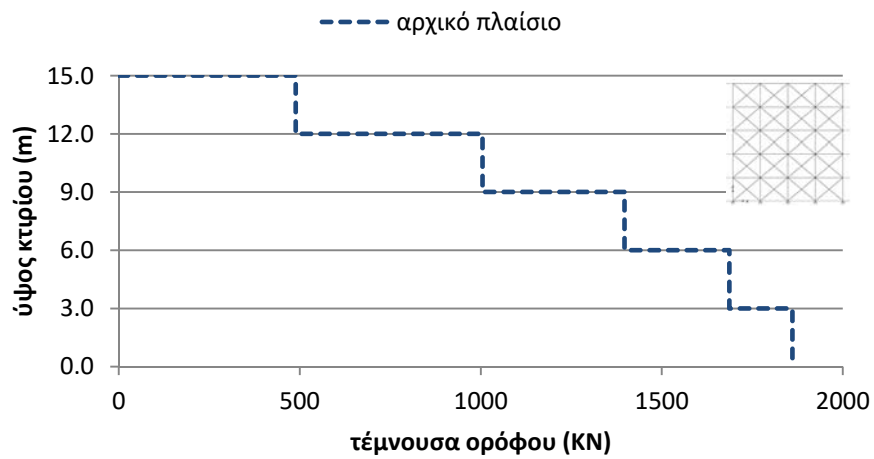
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.45), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.46) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.47), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής.



Σχήμα 5.45. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



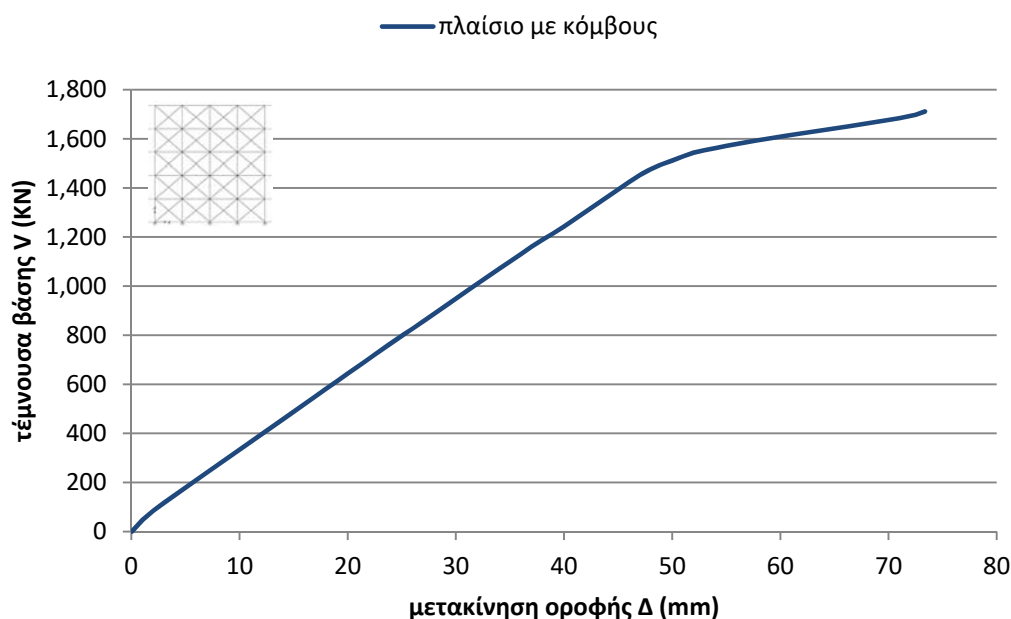
Σχήμα 5.46. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 5.47. Τέμνουσα ορόφων (αρχικό πλαίσιο)

5.5.2 Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις

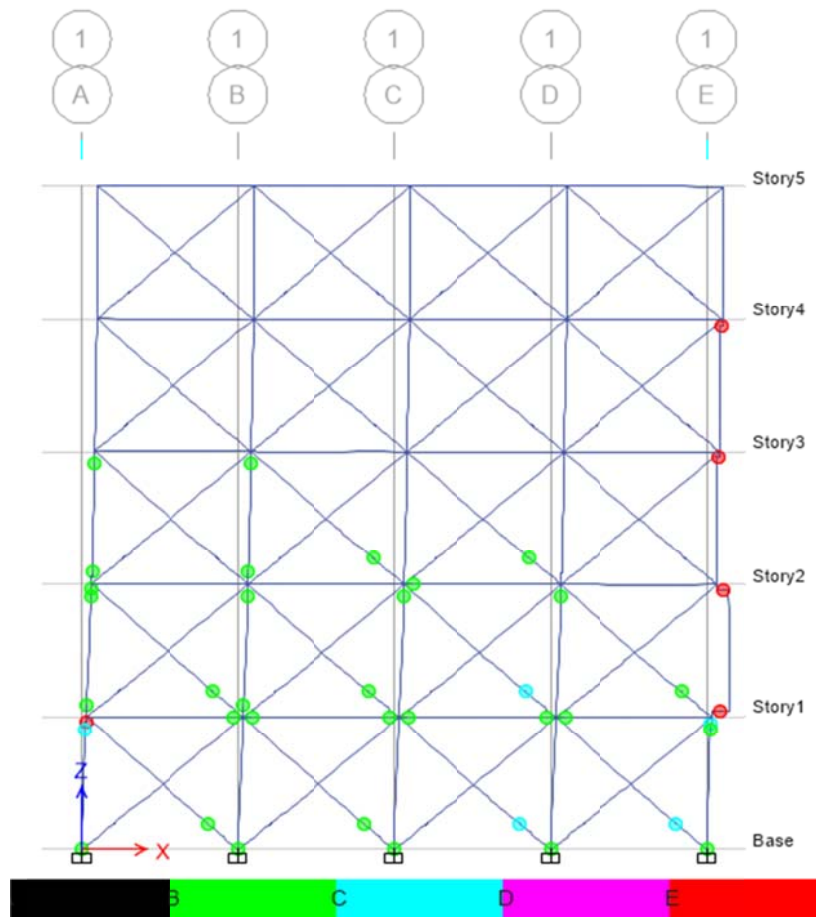
Στη συνέχεια, από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ETABS για το πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις, λαμβάνονται τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V και χαράσσεται η αντίστοιχη καμπύλη αντίστασης (pushover) (Σχήμα 5.48). Η μέγιστη μετακίνηση οροφής προσδιορίστηκε στα 73mm και αντιστοιχεί σε τέμνουσα βάσης 1711KN περίπου.



Σχήμα 5.48. Καμπύλη αντίστασης πλαισίου με κόμβους (ιδιομορφική ανάλυση)

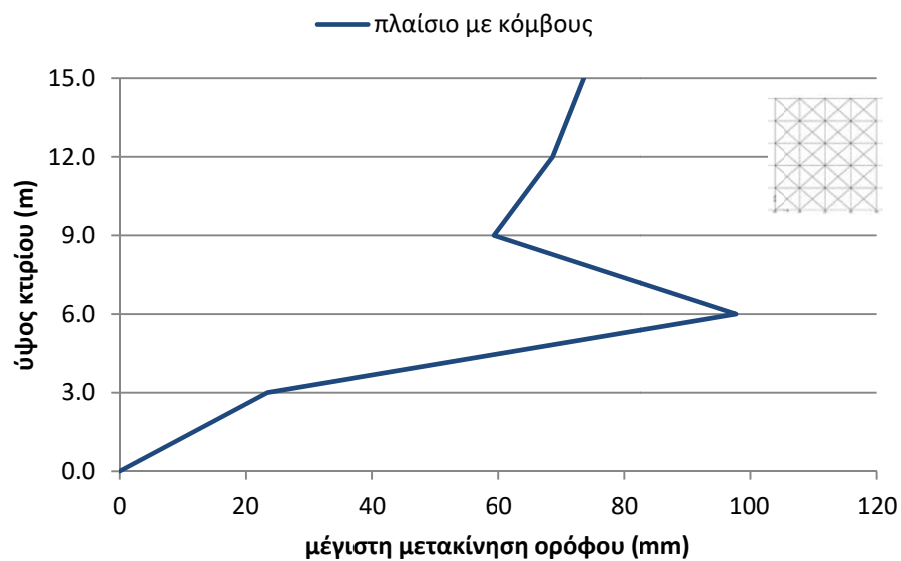
Από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 5.49).

Παρατηρώντας το Σχήμα 5.49, βλέπουμε πως στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης στην περίπτωση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των δοκών στους άξονες C, D και E της πρώτης στάθμης, στη βάση όλων των υποστυλωμάτων ισογείου, στη βάση και στην κορυφή των υποστυλωμάτων στους άξονες A και B μέχρι και την τρίτη στάθμη και στην κορυφή των μεσαίων υποστυλωμάτων της δεύτερης στάθμης. Επίσης, δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στους εξωτερικούς κόμβους μέχρι και την τέταρτη στάθμη. Έτσι, στους εσωτερικούς αυτούς κόμβους του πλαισίου, οι δοκοί και τα υποστυλώματα αστοχούν πριν από τους κόμβους. Αντίθετα, στους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων, οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς. Τέλος, σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε όλες σχεδόν τις τοιχοποιίες των τριών πρώτων σταθμών.

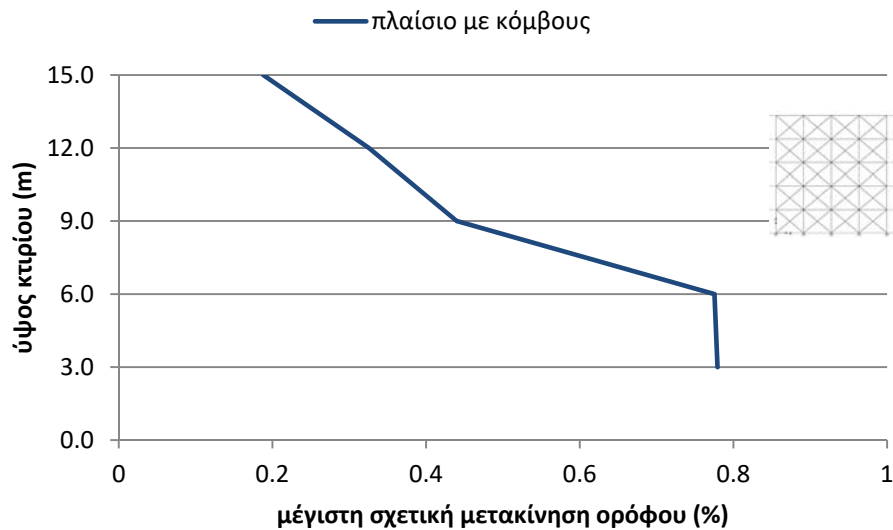


Σχήμα 5.49. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

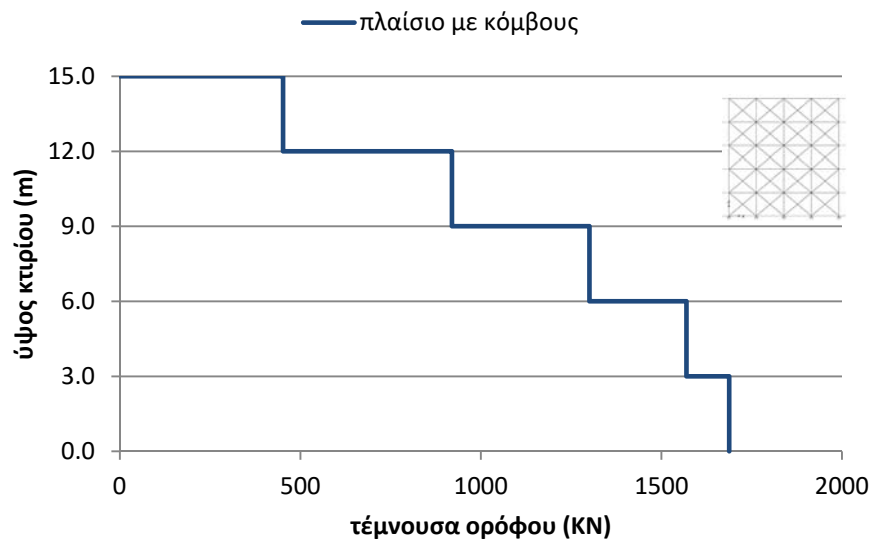
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.50), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.51) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.52), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων βάσει της πρώτης ιδιομορφής.



Σχήμα 5.50. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)



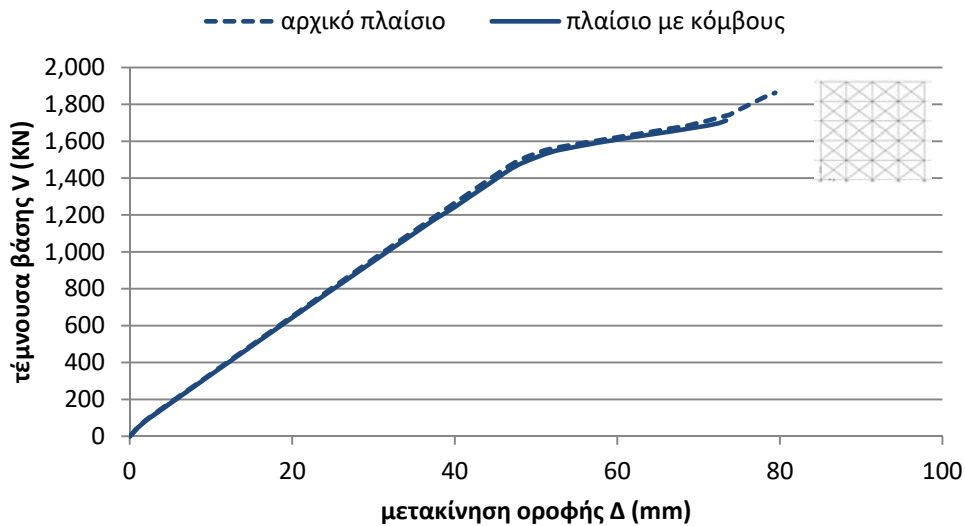
Σχήμα 5.51. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)



Σχήμα 5.52. Τέμνουσα ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)

5.5.3 Συγκριτικά αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων πλαισίου με τοιχοπληρώσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής

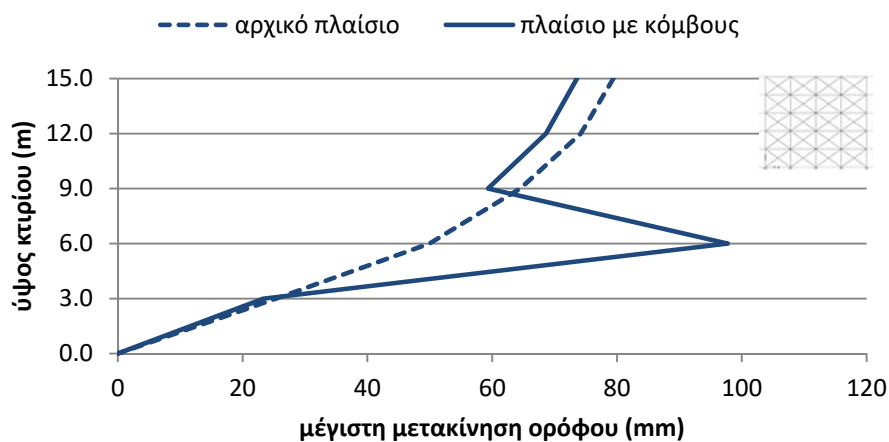
Από τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V από τα δύο πλαίσια με τοιχοπληρώσεις (το αρχικό και αυτό με τη μοντελοποίηση των κόμβων), χαράσσονται οι καμπύλες αντίστασης (pushover) που αντιστοιχούν στις δύο στατικές ανελαστικές αναλύσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής (Σχήμα 5.53).



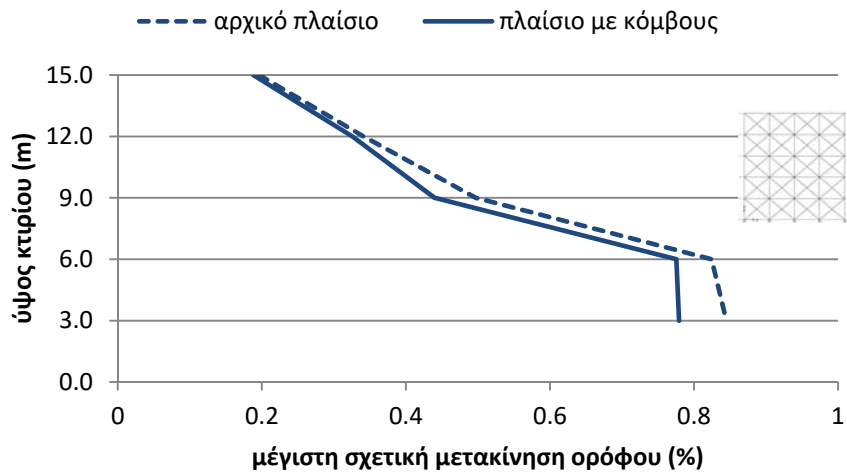
Σχήμα 5.53. Σύγκριση καμπυλών αντίστασης (ιδιομορφική ανάλυση)

Από το Σχήμα 5.53 γίνεται φανερό πως στην περίπτωση του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις, είτε θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο) είτε ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), η εκτιμώμενη αντοχή του πλαισίου δεν μεταβάλλεται σημαντικά. Ειδικότερα, η αντοχή του πλαισίου υπερεκτιμάται κατά 10% σε όρους μετακινήσεων και κατά 9% σε όρους δυνάμεων. Συμπεραίνεται λοιπόν πως, στην περίπτωση του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις, προσδίδεται στο πλαίσιο αρκετή πρόσθετη ακαμψία ικανή να υπερκαλύψει την όποια αρνητική επίδραση της συμπεριφοράς των κόμβων στην καθολική αντοχή του πλαισίου.

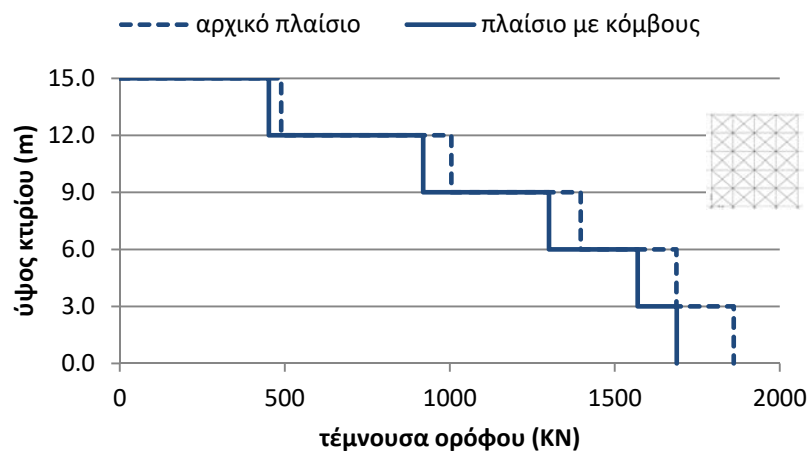
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.54), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.55) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.56), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής για το αρχικό πλαίσιο σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων.



Σχήμα 5.54. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)



Σχήμα 5.55. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)



Σχήμα 5.56. Συγκριτικό διάγραμμα τεμνουσών ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)

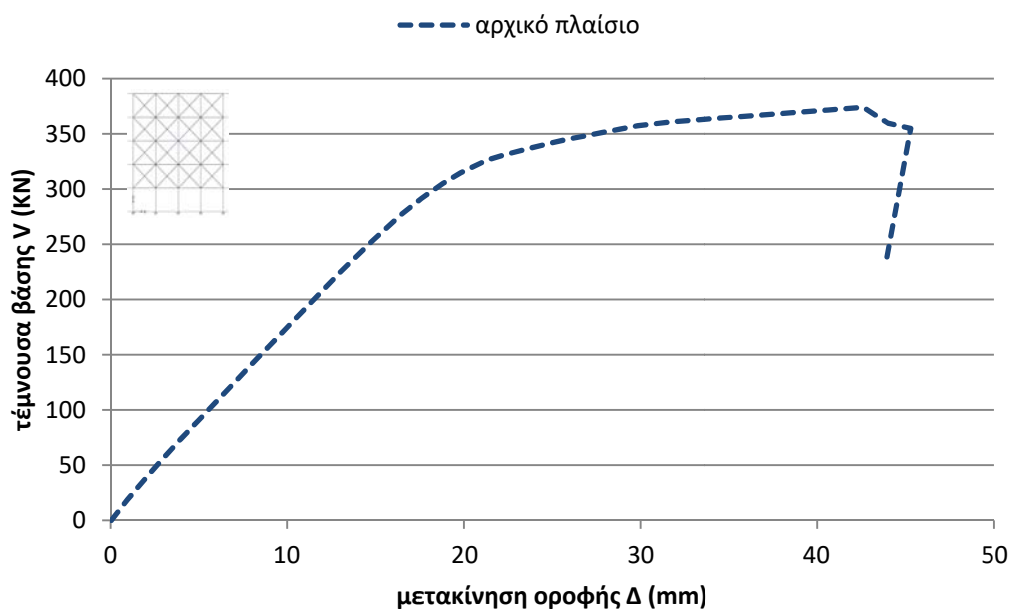
Από το Σχήμα 5.55 γίνεται αντιληπτό πως η συμπεριφορά του πλαισίου δεν μεταβάλλεται με την εφαρμογή ή μη του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, καθώς δεν μεταβάλλονται ουσιωδώς οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων, οι οποίες είναι και κύρια υπεύθυνες για τη διαφορεική μετατόπιση των κόμβων οροφής και βάσης σε κάθε στάθμη προκαλώντας βλάβες στα μέλη του φορέα. Η μεγάλη απόκλιση της τάξης του 50% στη μέγιστη μετακίνηση της δεύτερης στάθμης που παρατηρείται στο Σχήμα 5.54, οφείλεται στο σχηματισμό τοπικού μηχανισμού αστάθειας στο εξωτερικό υποστύλωμα του άξονα Ε, λόγω αστοχίας του σώματος των κόμβων στη βάση και στην κορυφή του (Σχήμα 5.49).

Από τα ανωτέρω προκύπτει το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις, η εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων δεν μεταβάλλει σημαντικά την εκτιμώμενη αντοχή του πλαισίου, αλλά διαφοροποιείται και πάλι σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

5.6 Στατική ανελαστική ανάλυση πλαισίου με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο

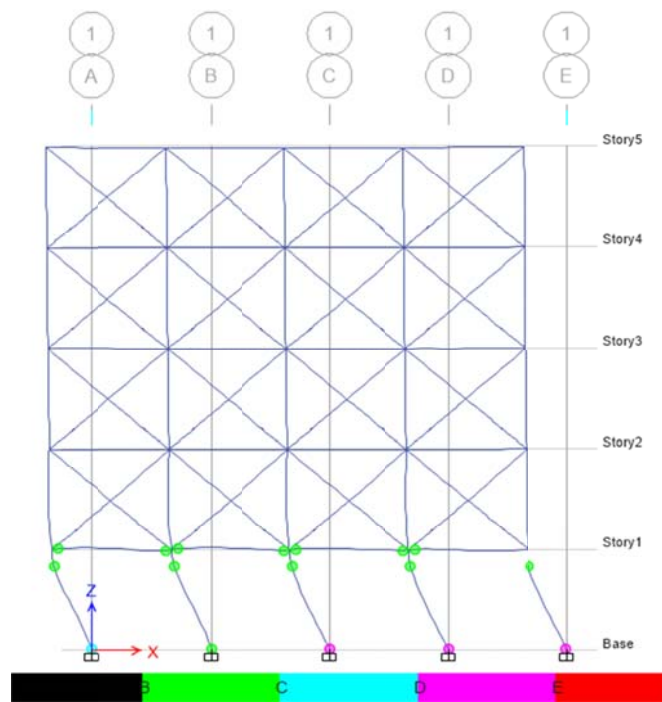
5.6.1 Αρχικό πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο

Από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ETABS για το αρχικό πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, λαμβάνονται τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V και χαράσσεται η αντίστοιχη καμπύλη αντίστασης (pushover) (Σχήμα 5.57). Η μέγιστη τέμνουσα βάσης προσδιορίστηκε στα 355KN περίπου και αντιστοιχεί σε μετακίνηση οροφής 45mm. Η ιδιοπερίοδος του πλαισίου υπολογίστηκε στα 0,597sec.



Σχήμα 5.57. Καμπύλη αντίστασης αρχικού πλαισίου (ιδιομορφική ανάλυση)

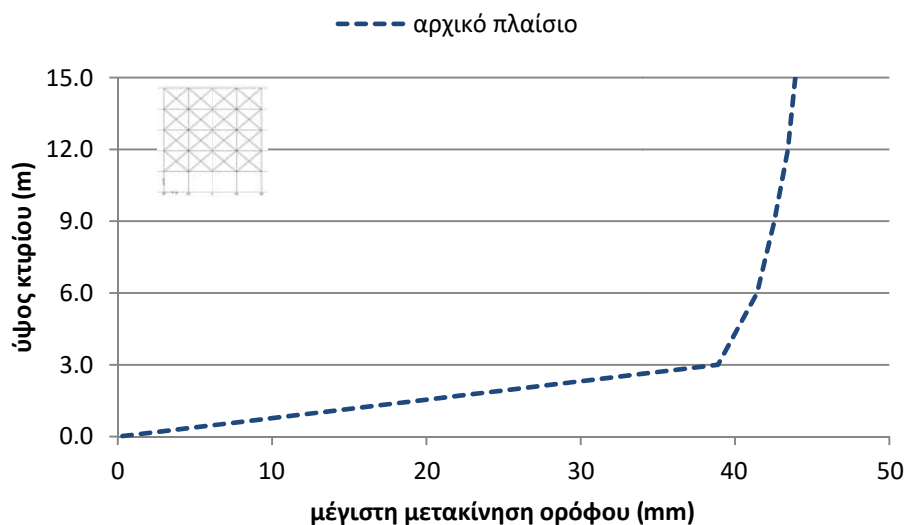
Από τη στατική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 5.58).



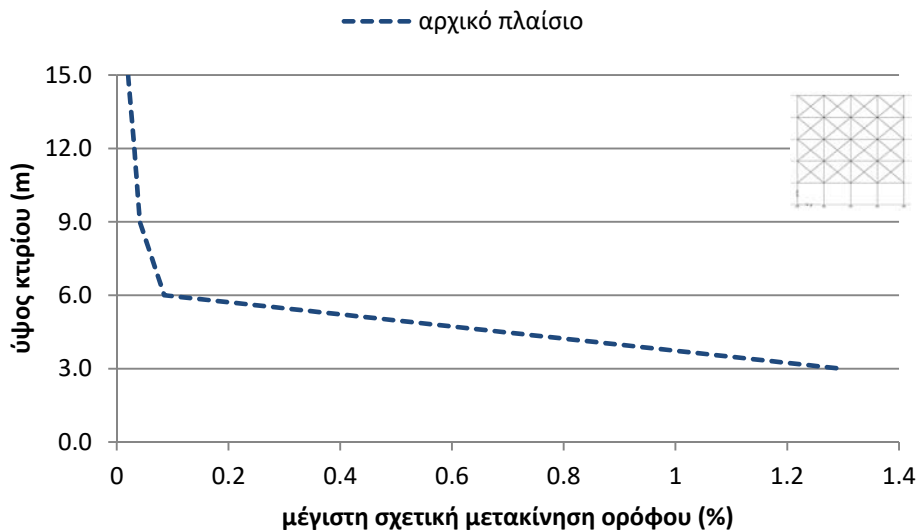
Σχήμα 5.58. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Παρατηρώντας το Σχήμα 5.58, βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα σχεδόν όλων των δοκών της πρώτης στάθμης και στη βάση και την κορυφή όλων των υποστλωμάτων ισογείου. Αξίζει να σημειωθεί πως δεν σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις στις τοιχοποιίες.

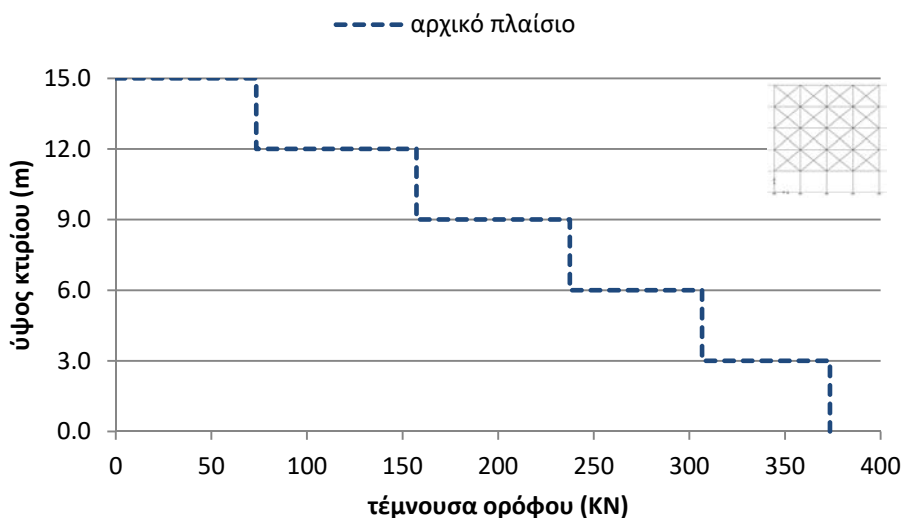
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.59), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.60) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.61), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής.



Σχήμα 5.59. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 5.60. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



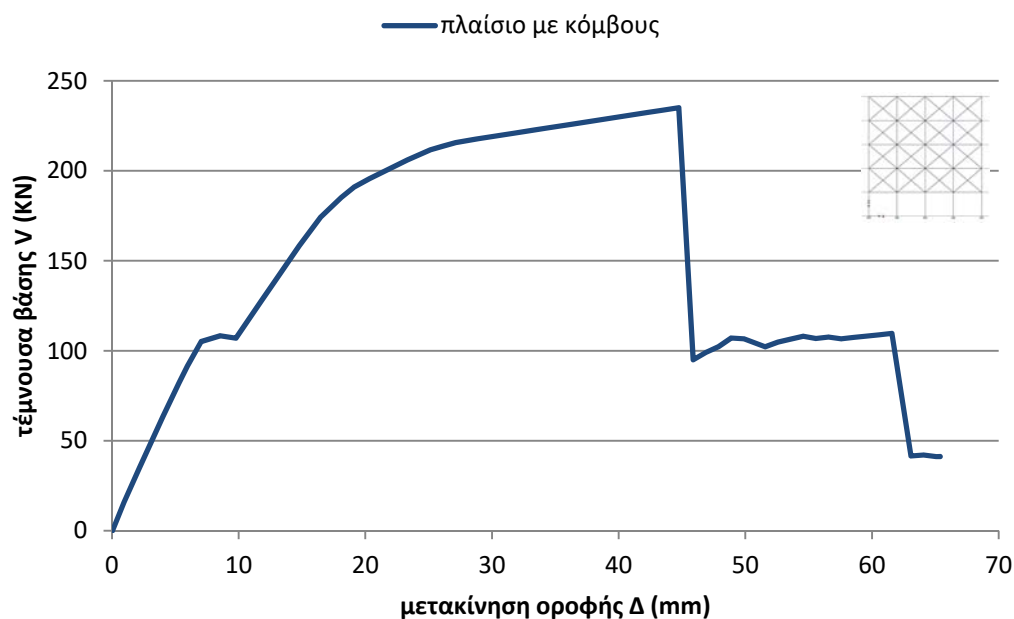
Σχήμα 5.61. Τέμνουσα ορόφων (αρχικό πλαίσιο)

Από το Σχήμα 5.59 και το Σχήμα 5.60 παρατηρείται πως οι όποιες σχετικές μετακινήσεις του πλαισίου περιορίζονται στην οροφή ισόγειου, λόγω απουσία τοιχοπληρώσεων στη στάθμη αυτή, γεγονός που αιτιολογεί την απουσία ανάπτυξης πλαστικών αρθρώσεων – άρα και βλαβών – στα μέλη του φορέα στις επόμενες στάθμες (Σχήμα 5.58).

5.6.2 Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο

Στη συνέχεια, από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ETABS για το πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, λαμβάνονται τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V και χαράσσεται η αντίστοιχη καμπύλη αντίστασης (pushover)

(Σχήμα 5.62). Η μέγιστη τέμνουσα βάσης προσδιορίστηκε στα 235KN περίπου και αντιστοιχεί σε μετακίνηση οροφής 45mm. Η ιδιοπερίοδος του πλαισίου υπολογίσθηκε στα 0,663sec.

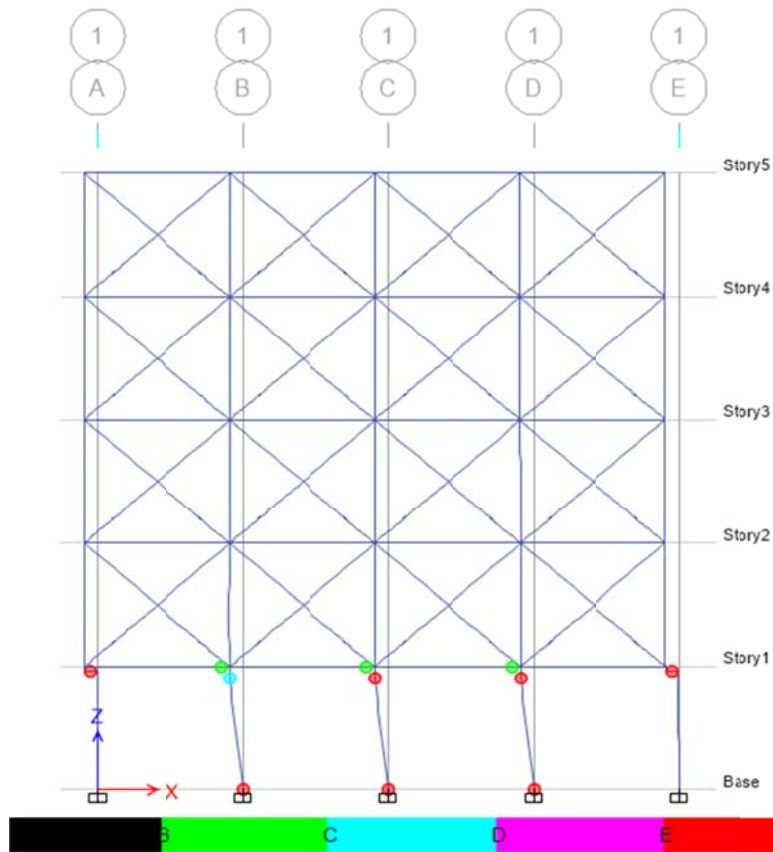


Σχήμα 5.62. Καμπύλη αντίστασης πλαισίου με κόμβους (ιδιομορφική ανάλυση)

Όπως φαίνεται από τη σχετική καμπύλη αντίστασης, η ανάλυση προχώρησε και μετά το σημείο μέγιστης τέμνουσας βάσης με απότομη μείωση αυτής, παρουσιάζοντας περαιτέρω μετακίνηση οροφής έως τα 62mm που αντιστοιχεί όμως σε τέμνουσα βάσης ίση προς 110KN περίπου.

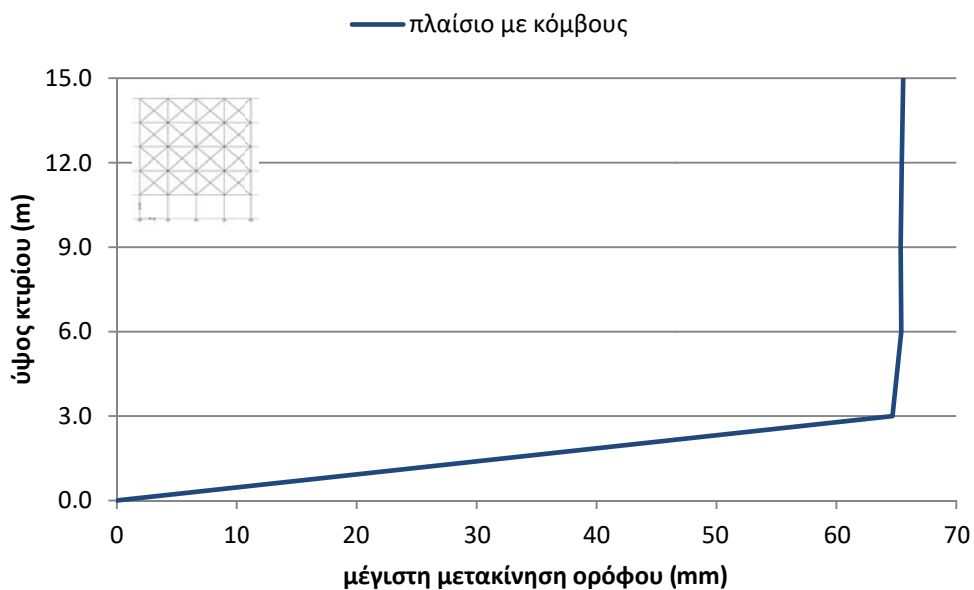
Από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 5.63).

Παρατηρώντας το Σχήμα 5.63, βλέπουμε πως στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης στην περίπτωση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των δοκών στους άξονες C, D και E της πρώτης στάθμης και στη βάση και την κορυφή των τριών μεσαίων υποστυλωμάτων ισογείου. Επίσης, δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στους εξωτερικούς κόμβους της πρώτης στάθμης. Έτσι, στους εσωτερικούς κόμβους ισογείου του πλαισίου, οι δοκοί και τα υποστυλώματα αστοχούν πριν από τους κόμβους. Αντίθετα, στους εξωτερικούς κόμβους ισογείου του πλαισίου δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων, οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς. Τέλος, δεν σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις στις τοιχοποιίες.

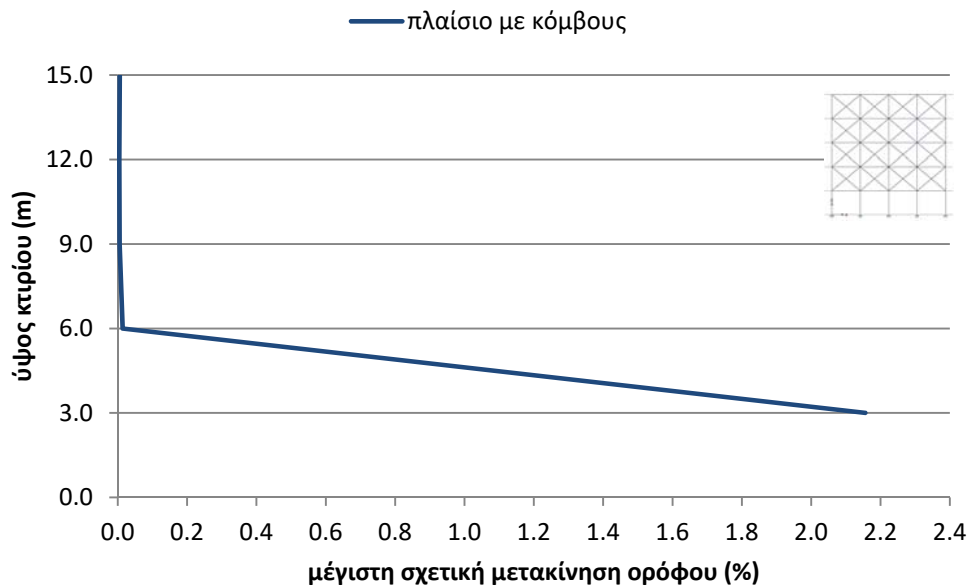


Σχήμα 5.63. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.64), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.65) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.66), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων βάσει της πρώτης ιδιομορφής.

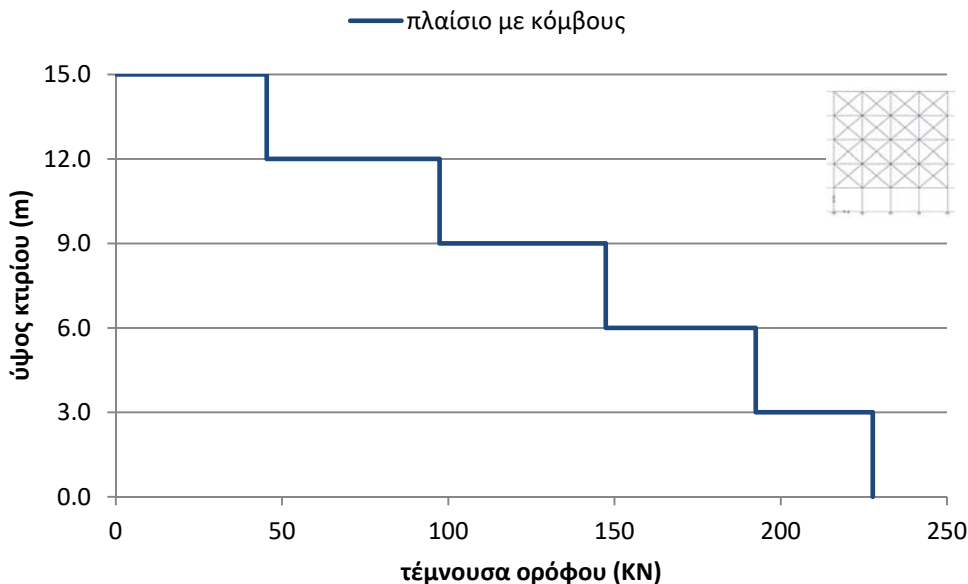


Σχήμα 5.64. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)



Σχήμα 5.65. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)

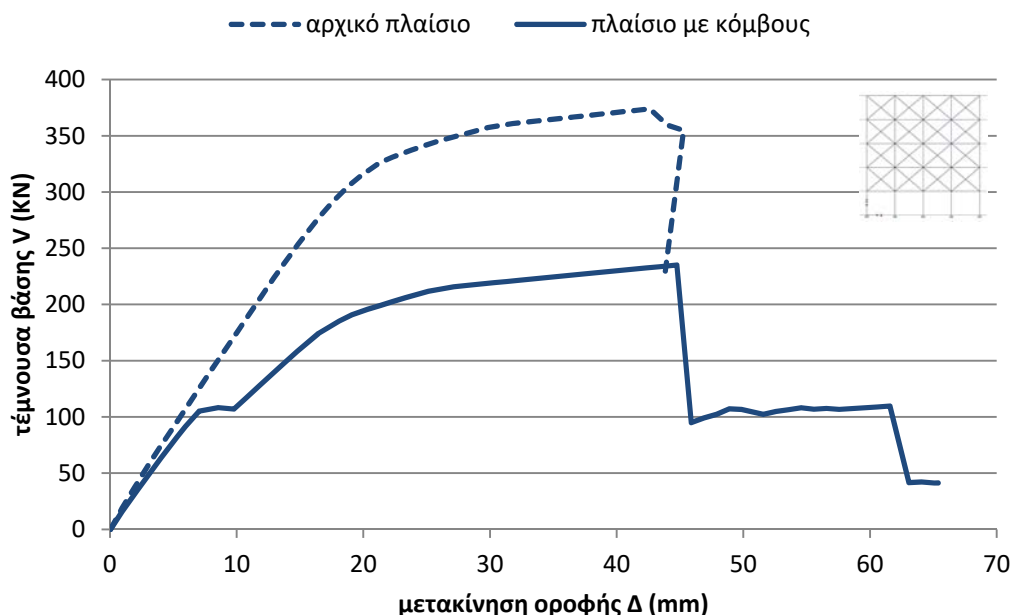
Όπως και στην περίπτωση της στατικής ανελαστικής ανάλυσης του αρχικού πλαισίου με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, από το Σχήμα 5.64 και το Σχήμα 5.65 παρατηρείται πως οι όποιες σχετικές μετακινήσεις του πλαισίου περιορίζονται στην οροφή ισόγειου, λόγω απουσία τοιχοπληρώσεων στη στάθμη αυτή, γεγονός που αιτιολογεί την απουσία ανάπτυξης πλαστικών αρθρώσεων – άρα και βλαβών – στα μέλη του φορέα στις επόμενες στάθμες (Σχήμα 5.63).



Σχήμα 5.66. Τέμνουσα ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)

5.6.3 Συγκριτικά αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων πλαισίου με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο βάσει της πρώτης ιδιομορφής

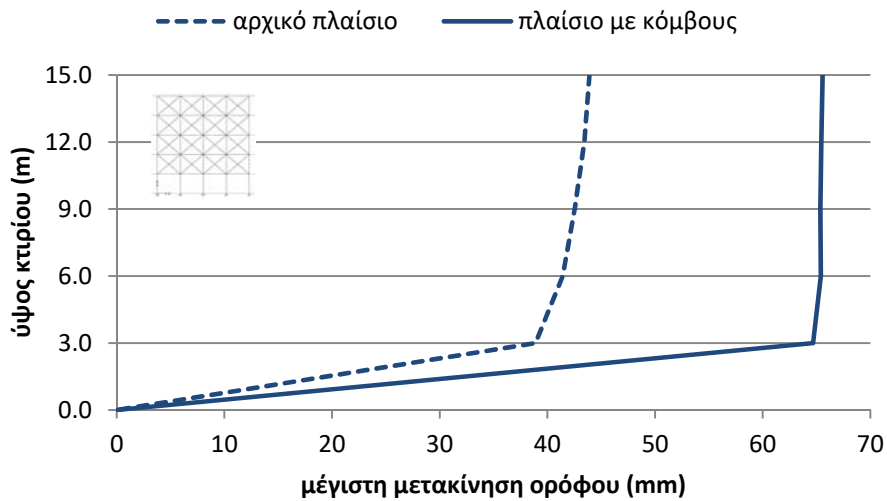
Από τα ζεύγη τιμών μετακίνησης οροφής Δ – τέμνουσας βάσης V από τα δύο πλαίσια με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο (το αρχικό και αυτό με τη μοντελοποίηση των κόμβων), χαράσσονται οι καμπύλες αντίστασης (pushover) που αντιστοιχούν στις δύο στατικές ανελαστικές αναλύσεις βάσει της πρώτης ιδιομορφής (Σχήμα 5.67).



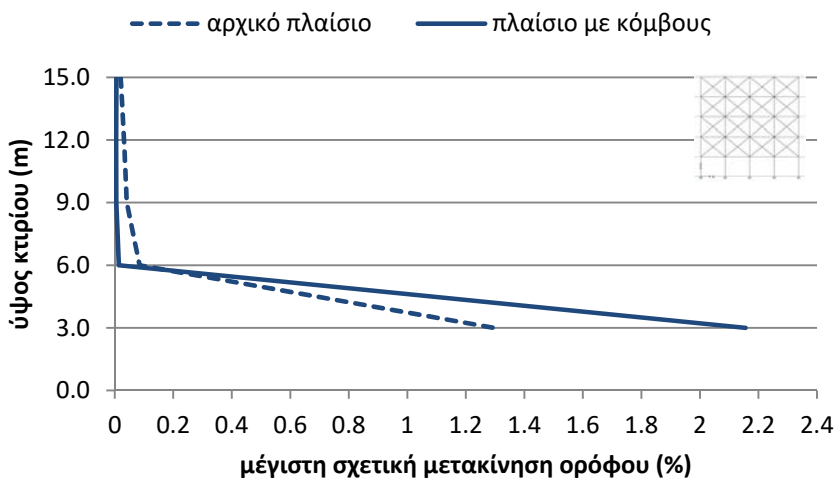
Σχήμα 5.67. Σύγκριση καμπυλών αντίστασης (ιδιομορφική ανάλυση)

Από το Σχήμα 5.67 γίνεται φανερό πως στην περίπτωση που θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), η εκτιμώμενη αντοχή του πλαισίου υπερεκτιμάται, ενώ όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), η εκτιμώμενη αντοχή του πλαισίου είναι πιο συντηρητική. Ειδικότερα, η αντοχή του πλαισίου υπερεκτιμάται κατά 51% σε όρους δυνάμεων, ενώ σε όρους μετακινήσεων οι δύο αναλύσεις πρακτικά συμπίπτουν.

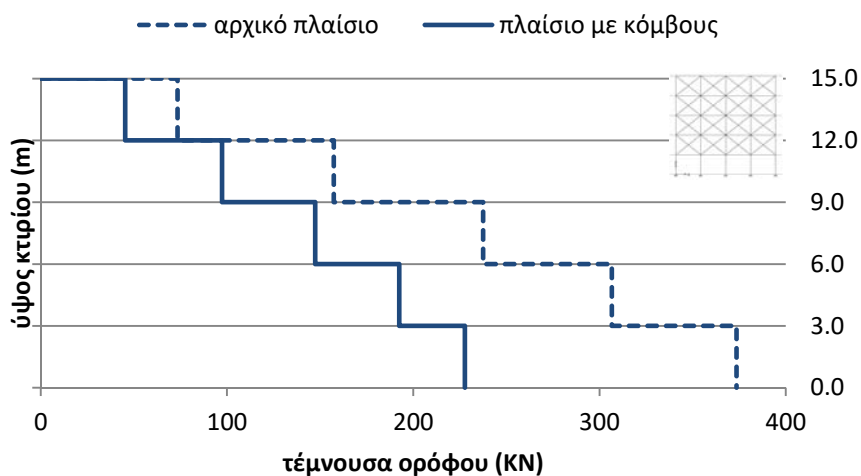
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.68), η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 5.69) και η τέμνουσα κάθε ορόφου (Σχήμα 5.70), όπως προέκυψαν από τη στατική ανελαστική ανάλυση βάσει της πρώτης ιδιομορφής για το αρχικό πλαίσιο σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων.



Σχήμα 5.68. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)



Σχήμα 5.69. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)



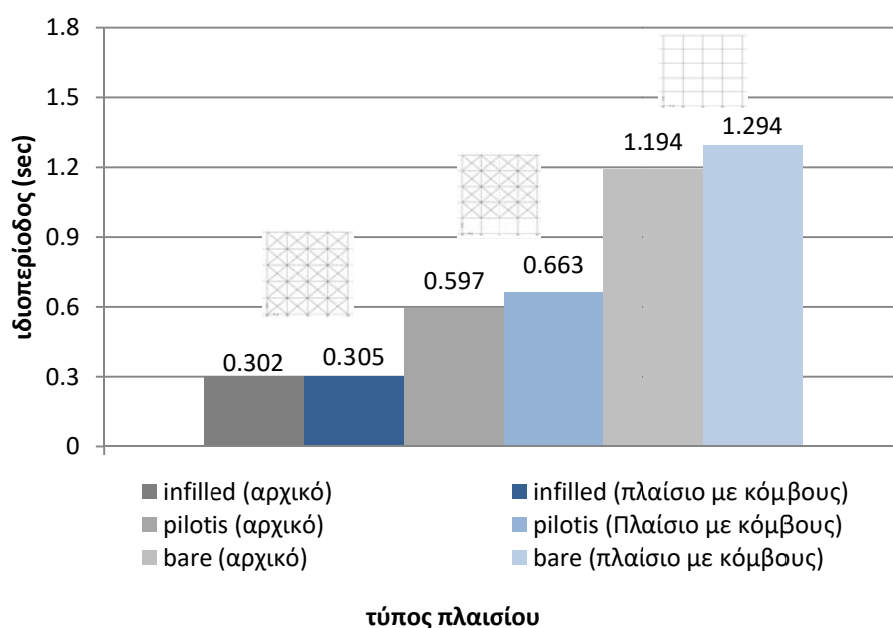
Σχήμα 5.70. Συγκριτικό διάγραμμα τεμνουσών ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)

Από το Σχήμα 5.68 και το Σχήμα 5.69 γίνεται φανερό πως, στην περίπτωση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρούνται μεγαλύτερες μετακινήσεις σε σχέση με το αρχικό μοντέλο (άκαμπτοι κόμβοι), πιθανά οφειλόμενες στο σχηματισμό τοπικού μηχανισμού αστάθειας στα εξωτερικά υποστυλώματα ισογείου, λόγω αστοχίας του σώματος των κόμβων στην κορυφή τους.

Από τα ανωτέρω προκύπτει το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση που θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), όχι μόνο υπερεκτιμάται η αντοχή του πλαισίου, αλλά διαφοροποιείται κυρίως το είδος και η θέση των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

5.7 Συνοπτική επισκόπηση αποτελεσμάτων στατικών ανελαστικών αναλύσεων

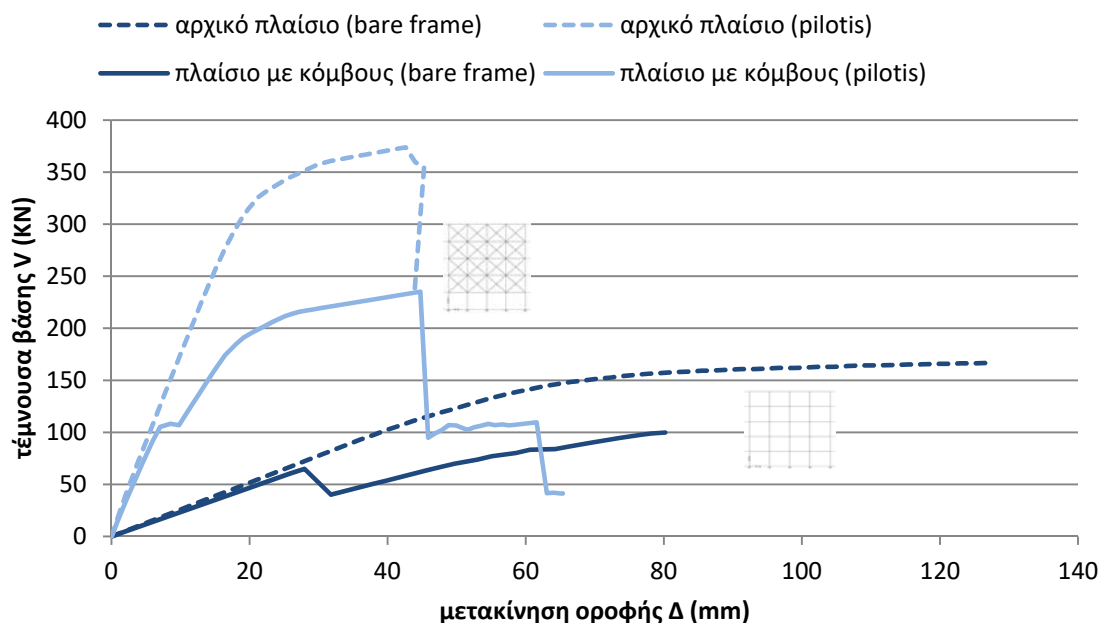
Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των στατικών ανελαστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στις τρεις εκδοχές – μορφές του εξεταζόμενου πλαισίου (χωρίς τοιχοπληρώσεις, με τοιχοπληρώσεις και με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο), χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, προκύπτουν κάποιες χρήσιμες για την περαιτέρω αξιολόγηση του μοντέλου διαπιστώσεις. Αναφορικά με την ιδιοπερίοδο του κάθε πλαισίου όπως υπολογίσθηκε από τις ιδιομορφικές αναλύσεις, συγκρίνοντας το κάθε πλαίσιο για την περίπτωση με ή χωρίς το μοντέλο των κόμβων (Σχήμα 5.71), παρατηρούμε πως δεν προκύπτει σημαντική διαφοροποίηση αυτής και μάλιστα τηρείται σε γενικές γραμμές η μεταξύ τους αναλογία.



Σχήμα 5.71. Συγκριτικό διάγραμμα ιδιοπεριόδων πλαισίων

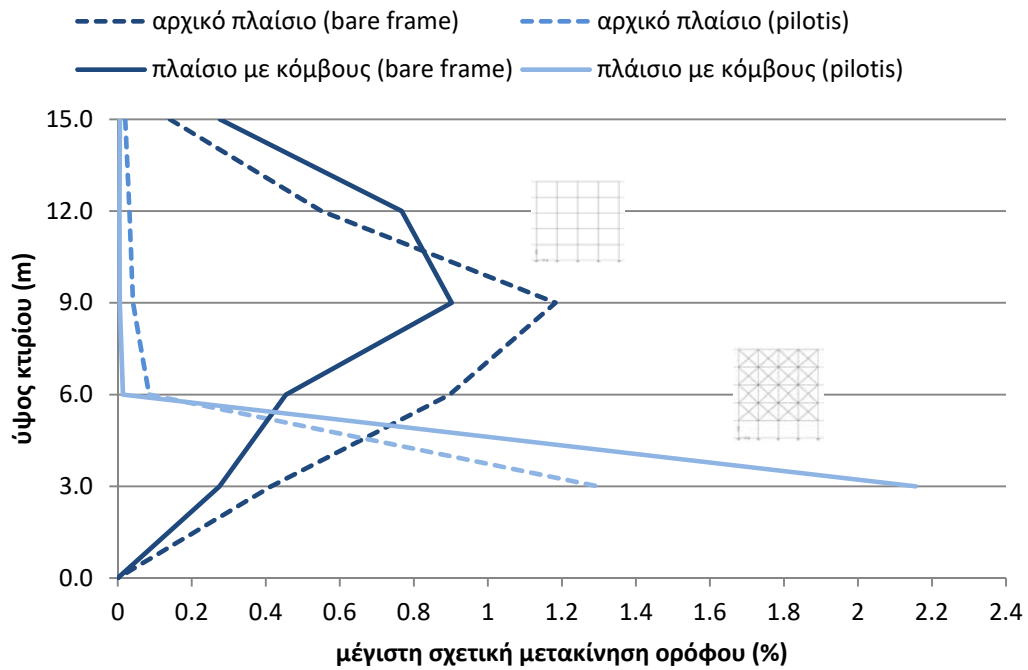
Αυτό σημαίνει πως, το ίδιο πλαίσιο με ή χωρίς το προτεινόμενο μοντέλο των κόμβων, διατηρεί τα περιοδικά του χαρακτηριστικά και άρα δεν αλλοιώνεται η δυσκαμψία του ταλαντωτή. Έτσι, η όποια διαφορετική συμπεριφορά του πλαισίου αναφορικά με την εκτιμώμενη αντοχή του και τις μέγιστες αναμενόμενες μετακινήσεις οροφής, είναι συνέπεια αποκλειστικά και μόνο του είδους, του πλήθους και της θέσης των προσδοκώμενων βλαβών που λαμβάνουν χώρα στο φορέα κατά την ανάλυση. Κατά συνέπεια, η αλληλουχία των διαφορετικών αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στα μέλη του φορέα, είναι αυτή που καθορίζει την καθολική του συμπεριφορά και τις μέγιστες αναμενόμενες αντοχές του. Το γεγονός αυτό καθιστά απολύτως συγκρίσιμα τα αποτελέσματα μεταξύ των αναλύσεων με και χωρίς την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης της συμπεριφοράς των κόμβων και αξιόπιστα για εξαγωγή συμπερασμάτων.

Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις, η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων οδηγεί στο συμπέρασμα πως η εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης δεν επηρέασε την καθολική του συμπεριφορά, αφού η καμπύλη αντίστασης παρέμεινε πρακτικά αμετάβλητη (Σχήμα 5.53). Από τη σύγκριση των καμπυλών αντίστασης των άλλων δύο εκδοχών του εξεταζόμενου πλαισίου (Σχήμα 5.72), με και χωρίς το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, λαμβάνοντας υπόψη και τις τιμές των ιδιοπεριόδων τους (Σχήμα 5.71), προκύπτει πως η καθολική συμπεριφορά των πλαισίων είναι ποιοτικά ορθή, αφού το πλαίσιο με τη μεγαλύτερη ιδιοπερίοδο (πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις) αναμένεται να παρουσιάσει μεγαλύτερες μετακινήσεις για μικρότερες τιμές τέμνουσας βάσης λόγω μικρότερης δυσκαμψίας από το πλαίσιο με τη μικρότερη ιδιοπερίοδο άρα και μεγαλύτερη δυσκαμψία (πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο).



Σχήμα 5.72. Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών αντίστασης

Το ίδιο συμπέρασμα, ως προς την ποιοτικά ορθή καθολική συμπεριφορά του πλαισίου, προκύπτει και από το συγκριτικό διάγραμμα των μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων (Σχήμα 5.73).



Σχήμα 5.73. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων

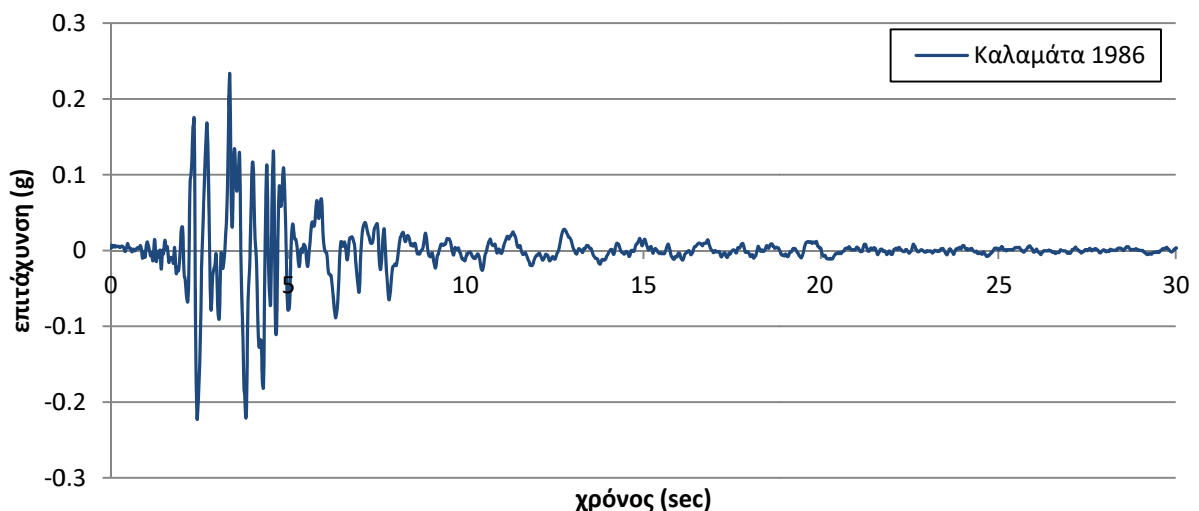
Από τα ανωτέρω προκύπτει συνολικά το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση που θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), όχι μόνο υπερεκτιμάται εν γένει η αντοχή του πλαισίου, αλλά διαφοροποιείται σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλάισιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους. Η υπερεκτίμηση της αντοχής του πλαισίου αγγίζει ακόμα και το 56% σε όρους μετακινήσεων οροφής ή το 65% σε όρους δυνάμεων (τέμνουσα βάσης).

Κεφάλαιο 6

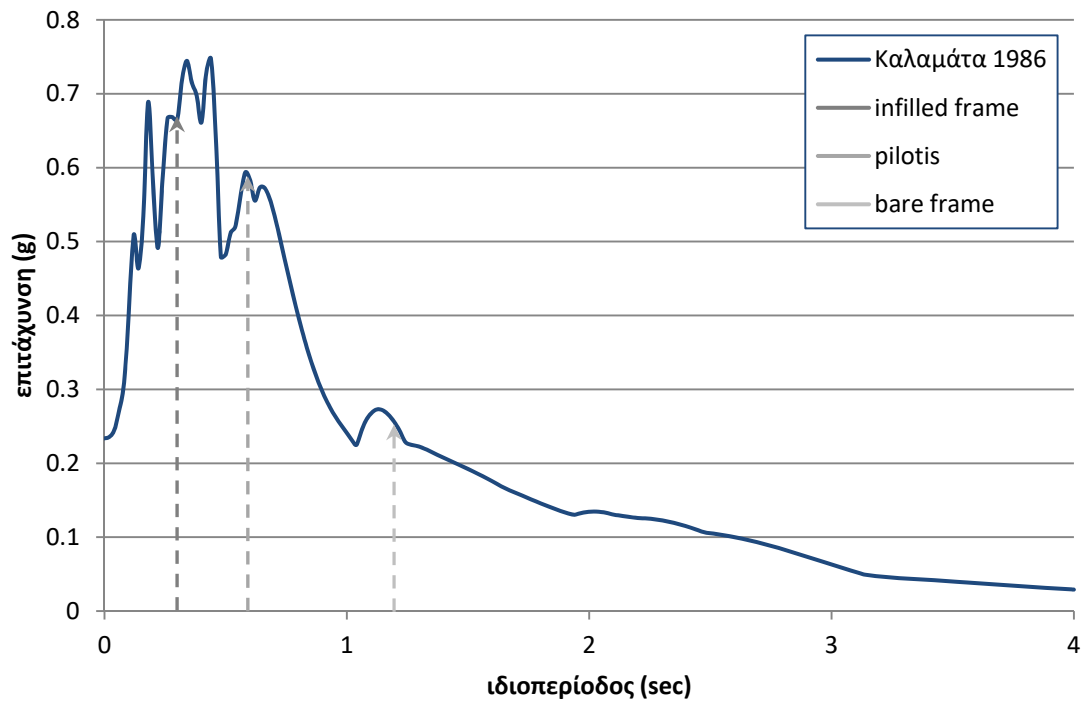
ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

6.1 Εισαγωγή

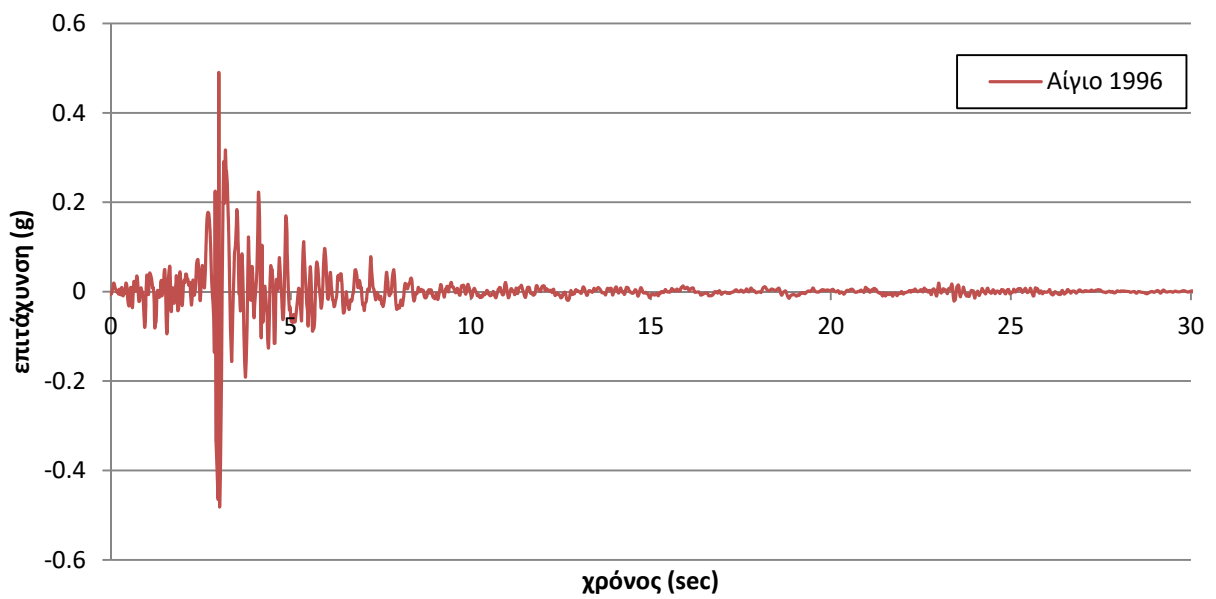
Στις υποενότητες που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων (αναλύσεις χρονοϊστορίας) που πραγματοποιήθηκαν στις τρεις εκδοχές του εξεταζόμενου πλαισίου, με και χωρίς το προσομοίωμα των κόμβων, καθώς και τα συγκριτικά αποτελέσματα από τις αναλύσεις. Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκαν τρεις δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις με τα επιταχυνσιογραφήματα των σεισμών της Καλαμάτας (1986), του Αιγίου (1996) και του Friuli (1976) σε όλα τα πλαίσια, με το λογισμικό ETABS. Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται τα επιταχυνσιογραφήματα των σεισμικών καταγραφών και τα αντίστοιχα φάσματα, επί των οποίων σημειώνονται οι τιμές των εδαφικών επιταχύνσεων που αντιστοιχούν στην ιδιοπερίοδο κάθε πλαισίου, όπως αυτές προσδιορίστηκαν από τις στατικές ανελαστικές αναλύσεις.



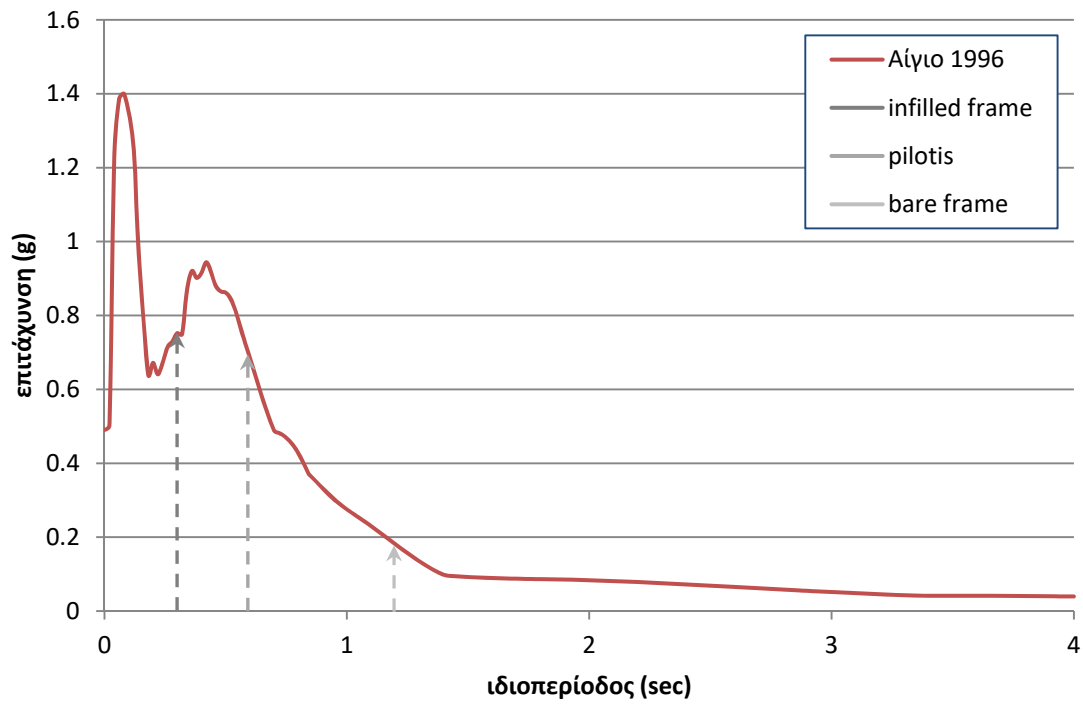
Σχήμα 6.1. Επιταχυνσιογράφημα σεισμού Καλαμάτας (1986)



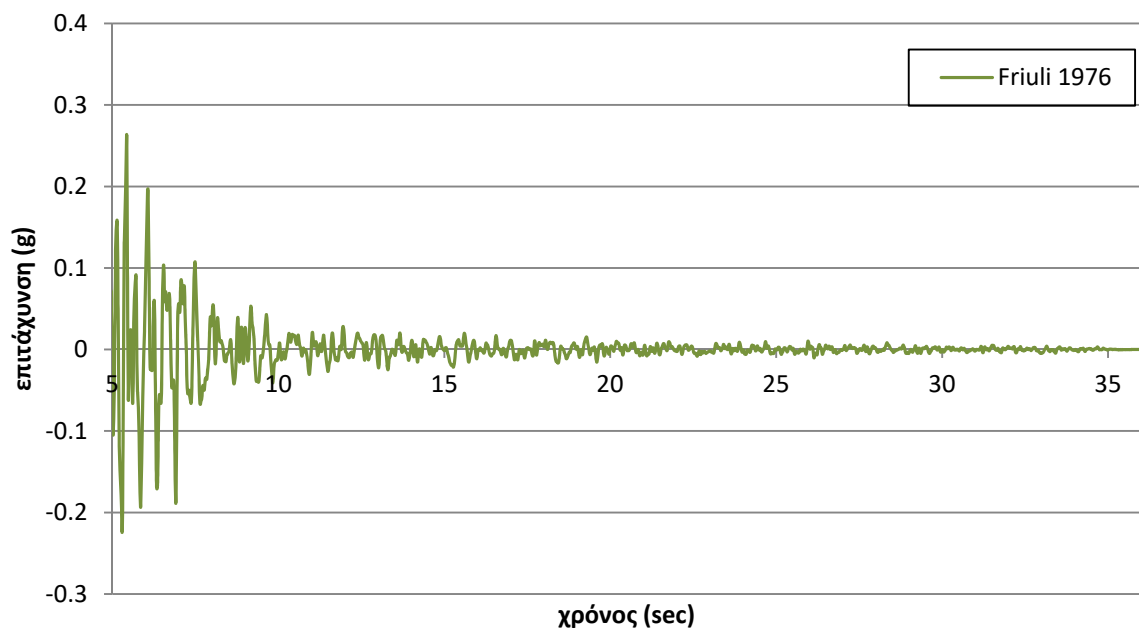
Σχήμα 6.2. Φάσμα επιταχύνσεων σεισμού Καλαμάτας (1986) & ιδιοπερίοδοι πλαισίων



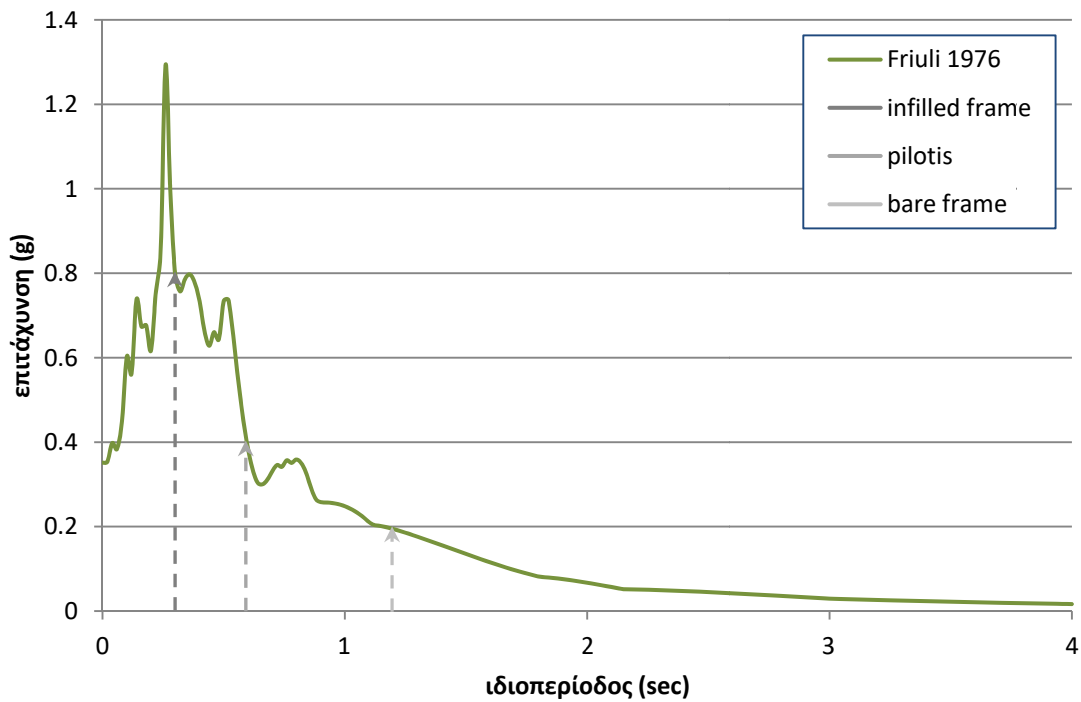
Σχήμα 6.3. Επιταχυνσιογράφημα σεισμού Αιγίου (1996)



Σχήμα 6.4. Φάσμα επιταχύνσεων σεισμού Αγίου (1996) & ιδιοπερίοδοι πλαισίων



Σχήμα 6.5. Επιταχυνσιογράφημα σεισμού Friuli (1976)



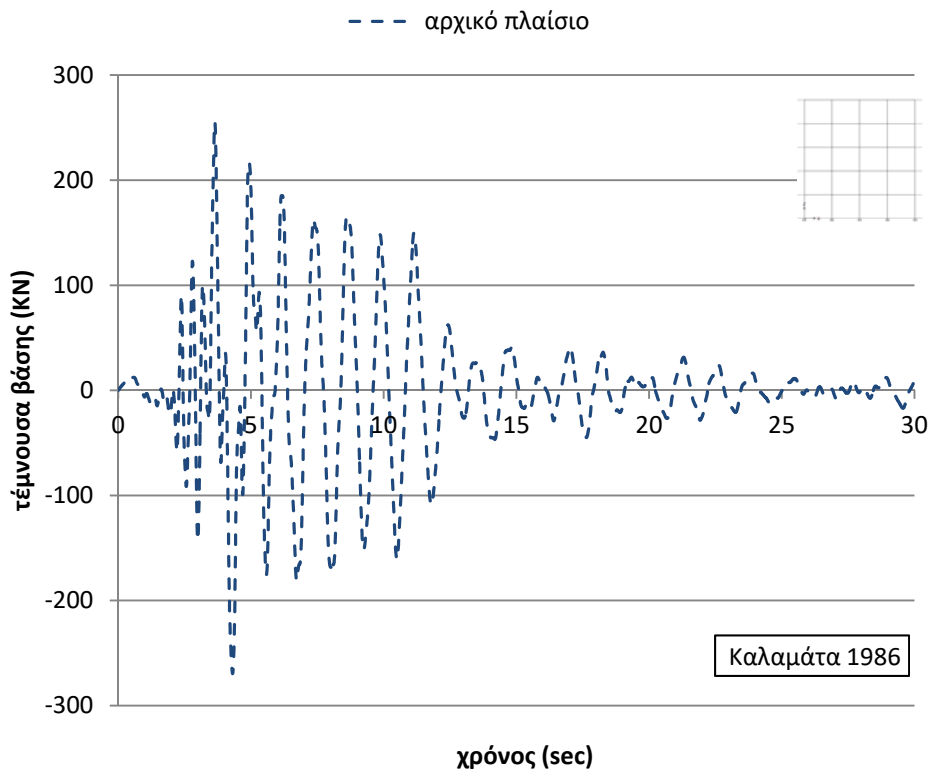
Σχήμα 6.6. Φάσμα επιταχύνσεων σεισμού Friuli (1976) & ιδιοπερίοδοι πλαισίων

6.2 Δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις με το σεισμό της Καλαμάτας

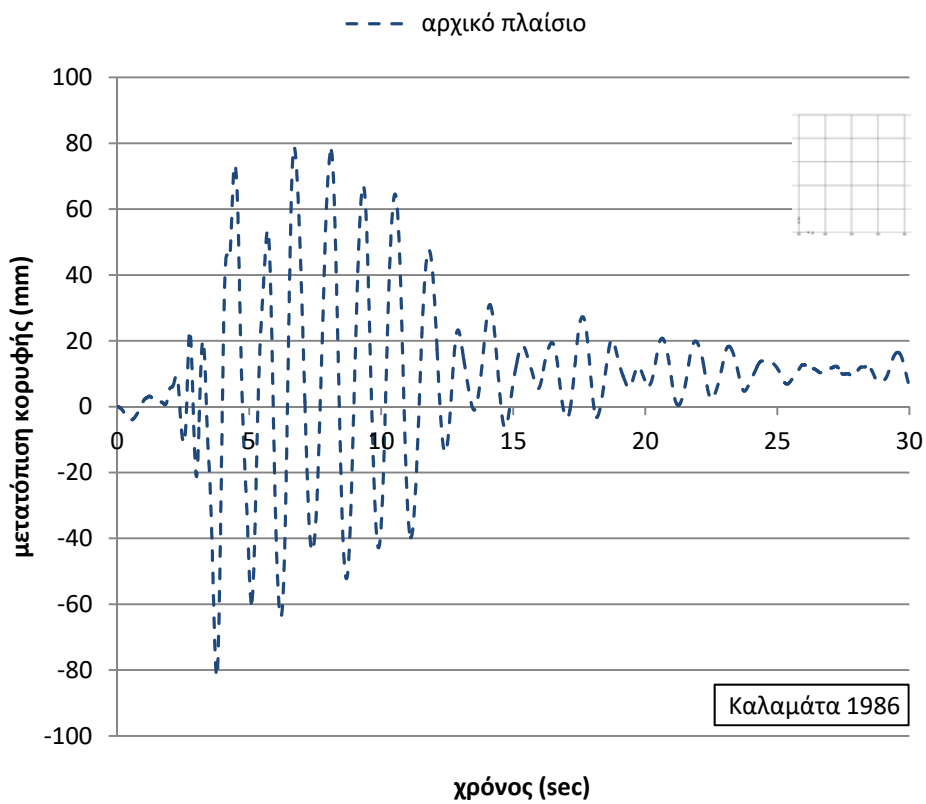
Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας στις τρεις εκδοχές του εξεταζόμενου πλαισίου, με και χωρίς το προσομοίωμα των κόμβων, καθώς και τα συγκριτικά αποτελέσματα από τις αναλύσεις.

6.2.1 Αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις

Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας που πραγματοποιήθηκε στο αρχικό πλαίσιο (χωρίς τη μοντελοποίηση των κόμβων) χωρίς τοιχοπληρώσεις, προκύπτουν τα διαγράμματα μεταβολής της τέμνουσας βάσης και της μετατόπισης κορυφής του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (Σχήμα 6.7 & Σχήμα 6.8).

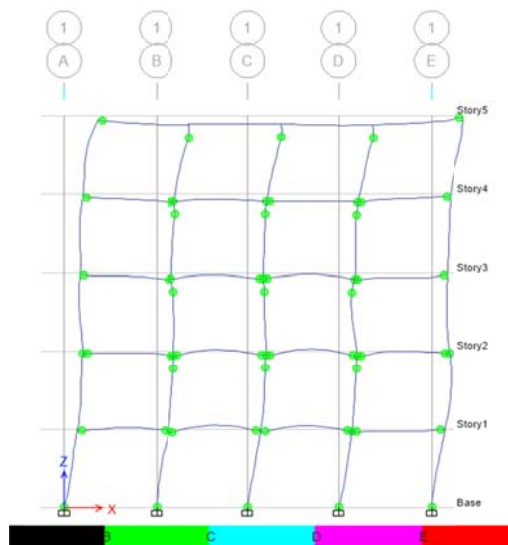


Σχήμα 6.7. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 6.8. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (αρχικό πλαίσιο)

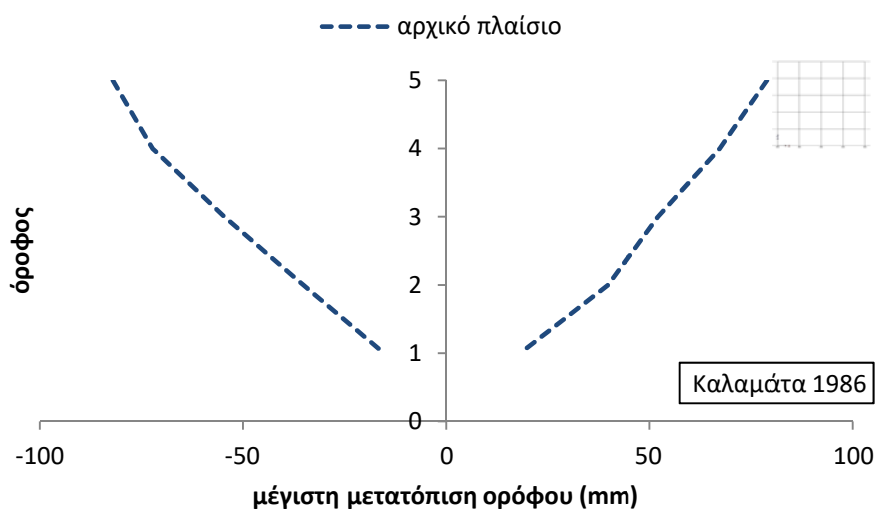
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.9).



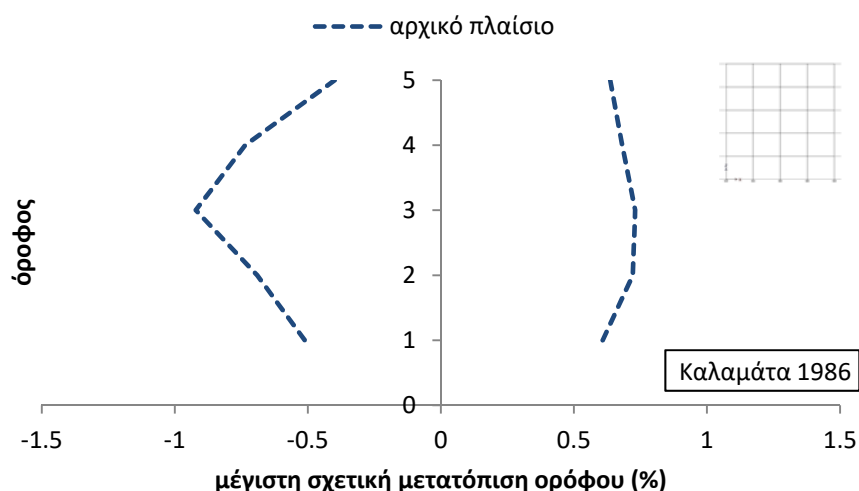
Σχήμα 6.9. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.9 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε όλα σχεδόν τα άκρα των δοκών μέχρι και την τέταρτη στάθμη, στα εξωτερικά άκρα των ακραίων δοκών της πέμπτης στάθμης, στη βάση των ακραίων υποστυλωμάτων της δεύτερης στάθμης, στη βάση όλων των υποστυλωμάτων ισογείου και στην κορυφή όλων των μεσαίων υποστυλωμάτων (άξονες B έως και D) από τη δεύτερη μέχρι και την τελευταία στάθμη.

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.10) και η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.11), όπως προέκυψαν από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας.



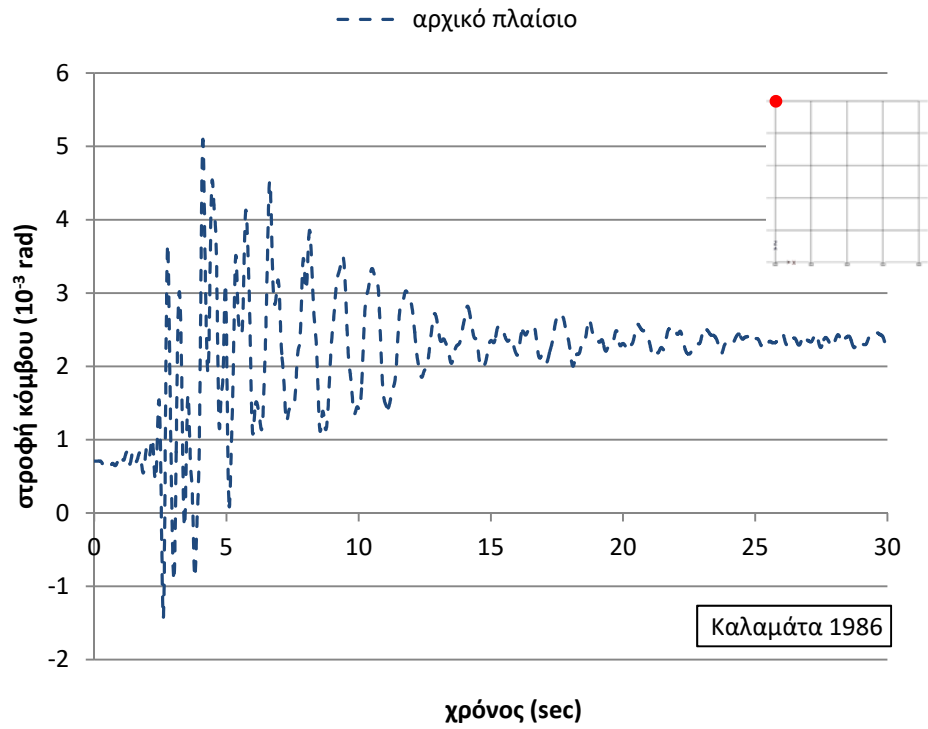
Σχήμα 6.10. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



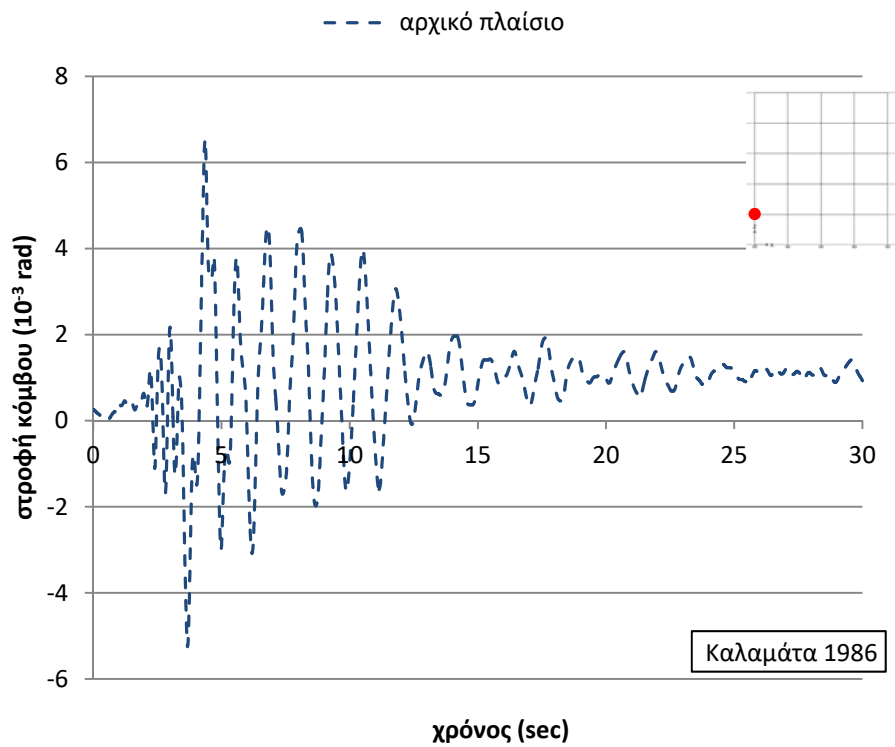
Σχήμα 6.11. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)

Από το ανωτέρω διάγραμμα (Σχήμα 6.11) παρατηρείται πως οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις παρατηρούνται στην τρίτη στάθμη, παρασύροντας την υπερκείμενη και την υποκείμενη στάθμη, γεγονός που δικαιολογεί την ανάπτυξη πληθώρας πλαστικών αρθρώσεων, άρα και βλαβών στα άκρα δοκών και υποστυλωμάτων, από τη δεύτερη μέχρι και την τέταρτη στάθμη (Σχήμα 6.9).

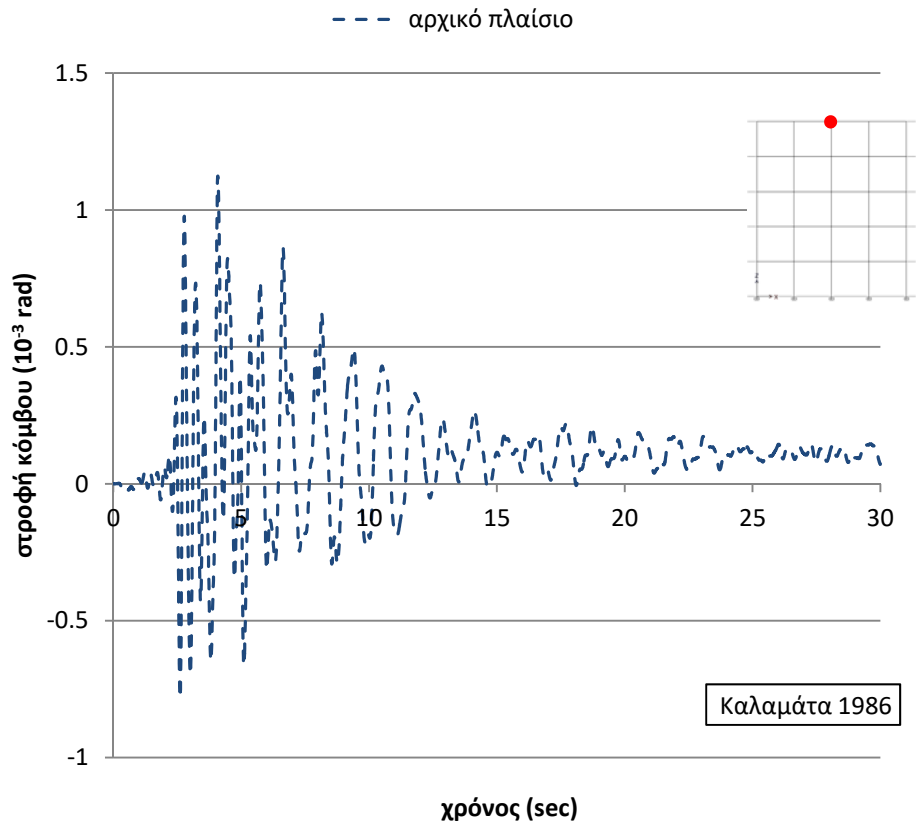
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο, από τα οποία προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη συμπεριφορά των κόμβων αυτών κατά τη σεισμική διέγερση με το επιλεγμένο επιταχυνσιογράφημα. Ειδικότερα, οι κόμβοι που επιλέχθηκαν είναι ο αριστερός ακραίος της πέμπτης (κόμβος st5j1) και πρώτης στάθμης (κόμβος st1j1) και ο μεσαίος της πέμπτης (κόμβος st5j3) και πρώτης στάθμης (κόμβος st1j3). Σύμφωνα με όσα αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 3 αναφορικά με τον τρόπο παραμόρφωσης των κόμβων κατά την επιβολή σεισμικού φορτίου, η στροφή που παρατηρείται στο σημείο του κόμβου είναι ενδεικτική για τις βλάβες που θα αναπτυχθούν σε αυτόν και επομένως θα χρησιμοποιηθούν τα διαγράμματα αυτά για σύγκριση με τα αντίστοιχα διαγράμματα του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης της συμπεριφοράς των κόμβων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.



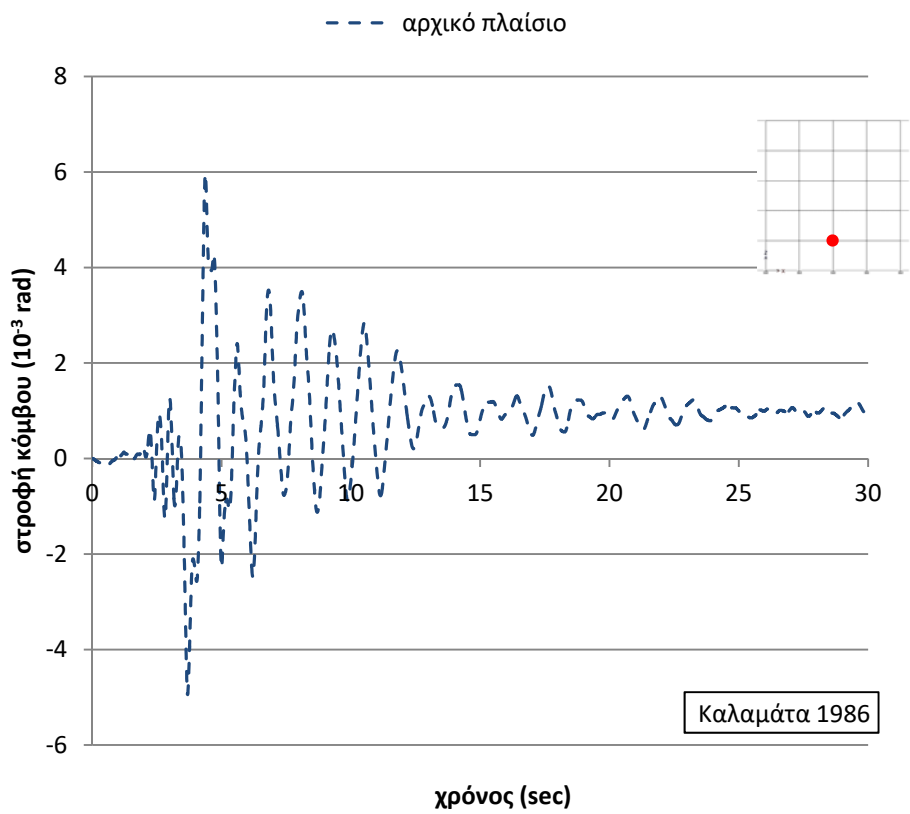
Σχήμα 6.12. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j1 (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 6.13. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j1 (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 6.14. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j3 (αρχικό πλαίσιο)

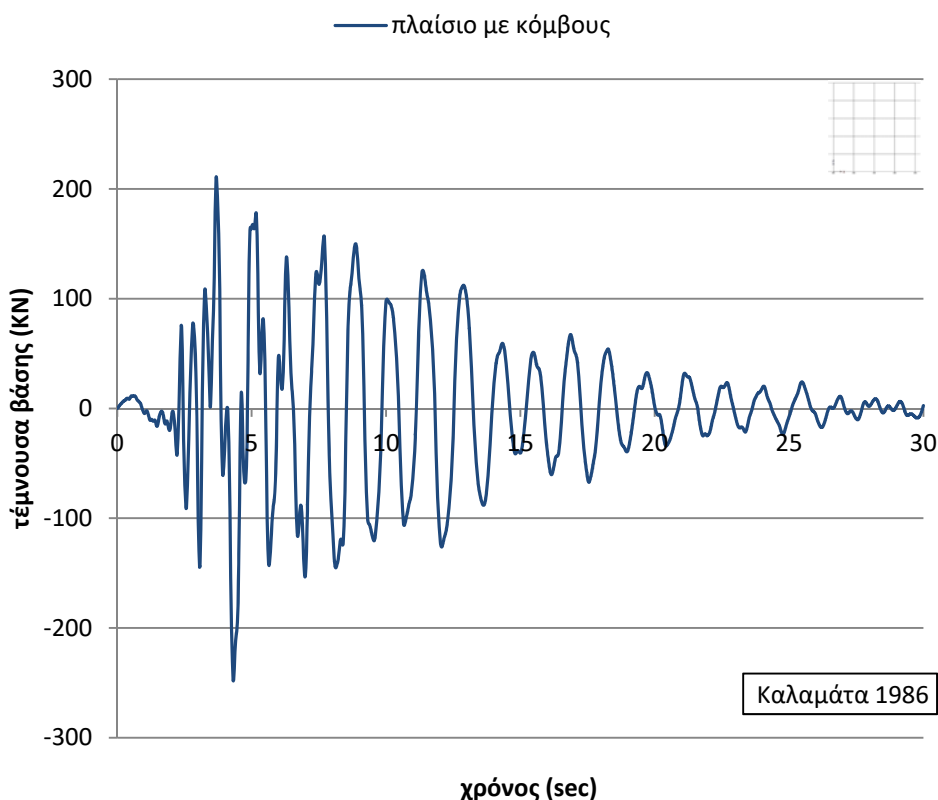


Σχήμα 6.15. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j3 (αρχικό πλαίσιο)

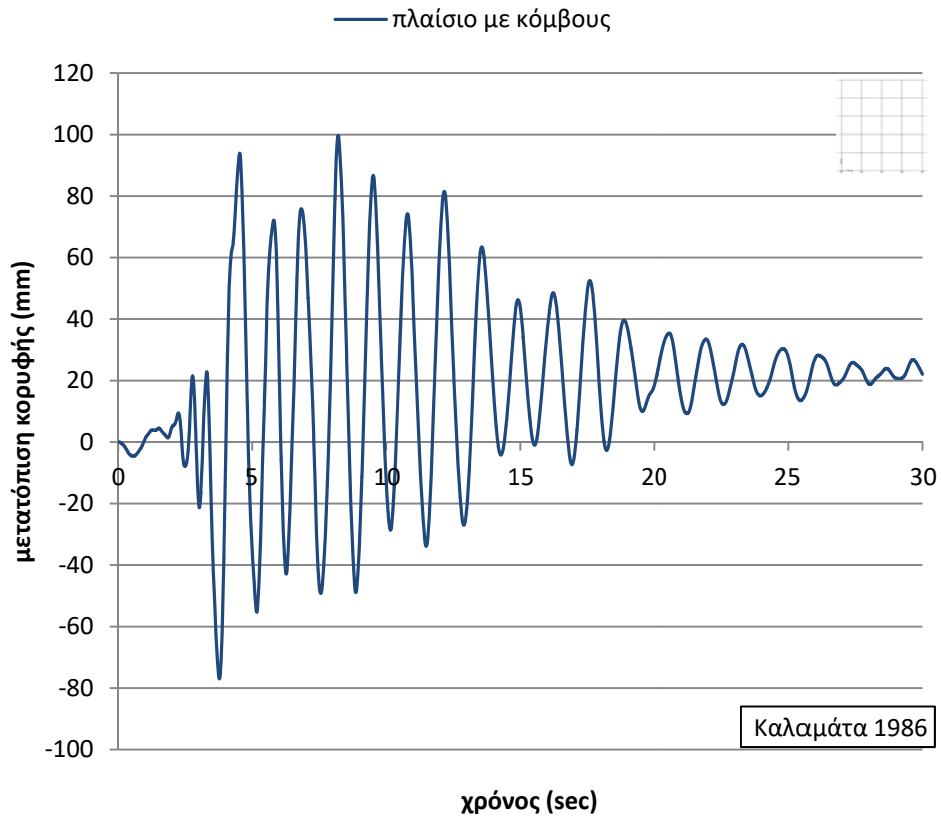
Από τα προηγούμενα σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, παρατηρείται πως οι κόμβοι st5j1 (Σχήμα 6.12), st1j1 (Σχήμα 6.13) και st1j3 (Σχήμα 6.15) παρουσιάζουν μεγαλύτερες στροφές από τον κόμβο st5j3 (Σχήμα 6.14), γεγονός που δικαιολογεί τη μη ανάπτυξη πλαστικής άρθρωσης στα άκρα των δοκών του μεσαίου κόμβου της τελευταίας στάθμης, σε αντίθεση με τους άλλους τρεις κόμβους στους οποίους αναπτύσσονται πλαστικές αρθρώσεις – άρα και βλάβες – στα άκρα των συντρεχόντων δοκών (Σχήμα 6.9).

6.2.2 Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων χωρίς τοιχοπληρώσεις

Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων χωρίς τοιχοπληρώσεις, προκύπτουν τα διαγράμματα μεταβολής της τέμνουσας βάσης και της μετατόπισης κορυφής του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (Σχήμα 6.16 & Σχήμα 6.17).

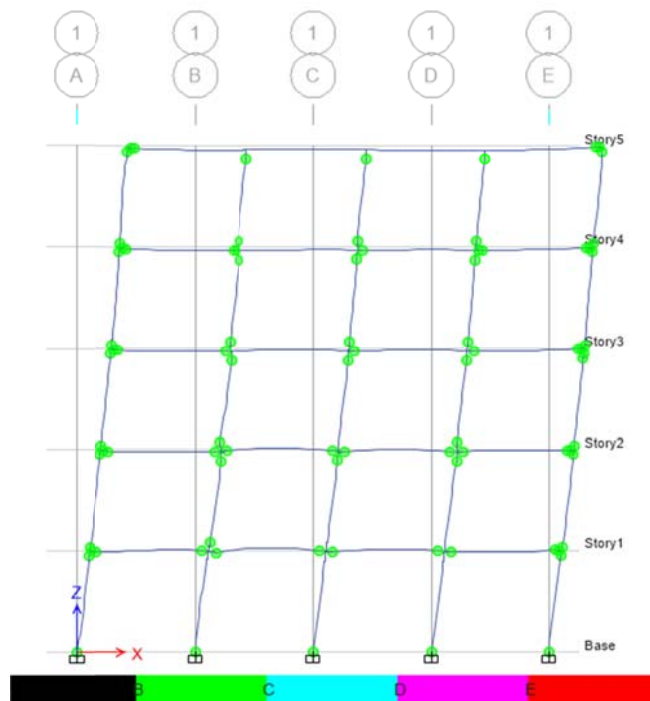


Σχήμα 6.16. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)



Σχήμα 6.17. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

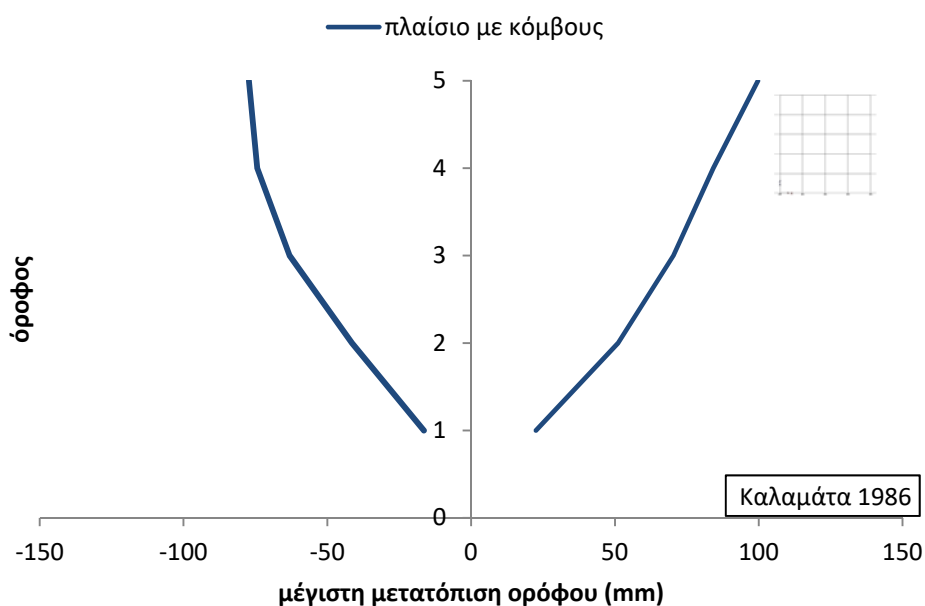
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων χωρίς τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.18).



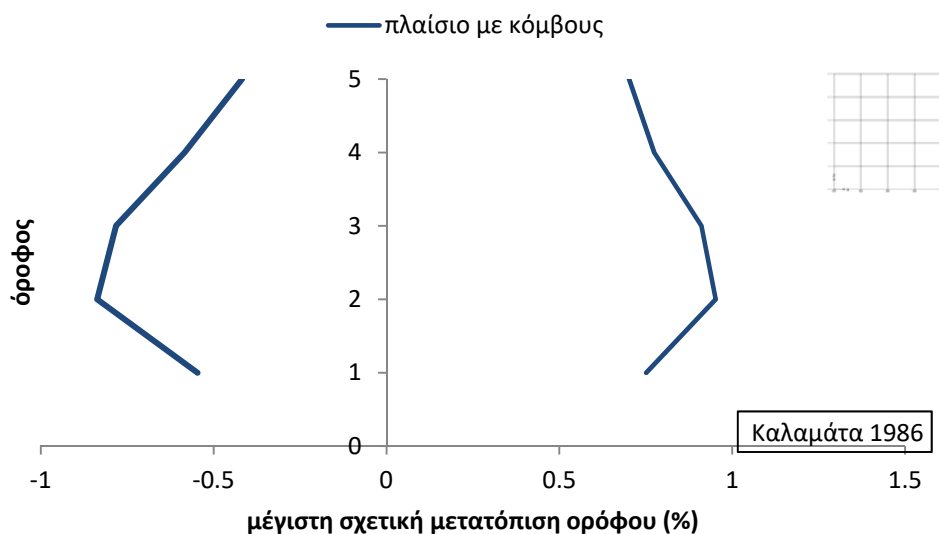
Σχήμα 6.18. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.18 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα δοκών και υποστυλωμάτων όλων των εσωτερικών κόμβων εκτός της πέμπτης στάθμης όπου αστοχούν μόνο οι κορυφές των τριών μεσαίων υποστυλωμάτων, καθώς και στη βάση όλων των υποστυλωμάτων ισογείου. Αντίθετα, σε όλους τους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.19) και η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.20), όπως προέκυψαν από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας.



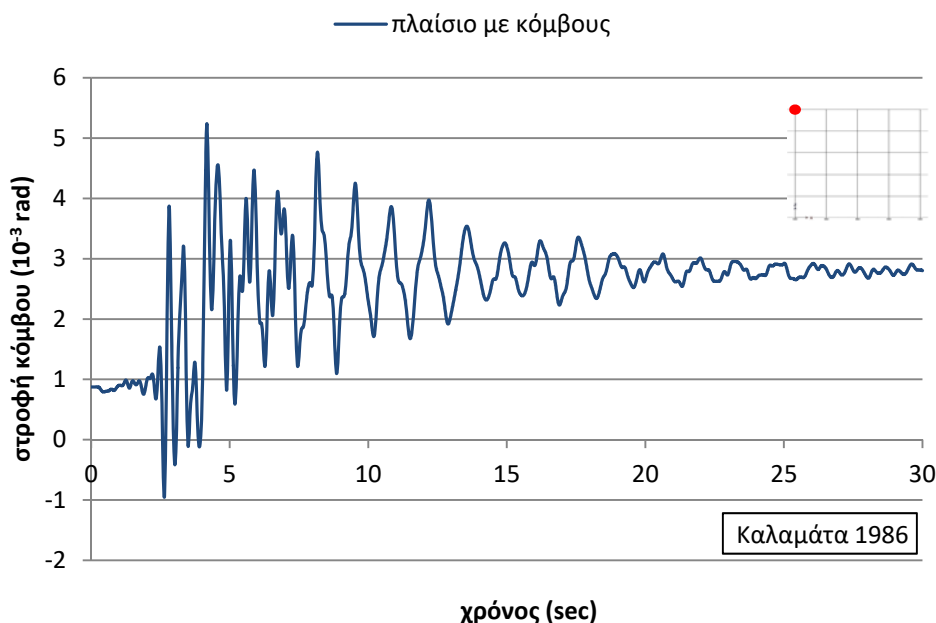
Σχήμα 6.19. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)



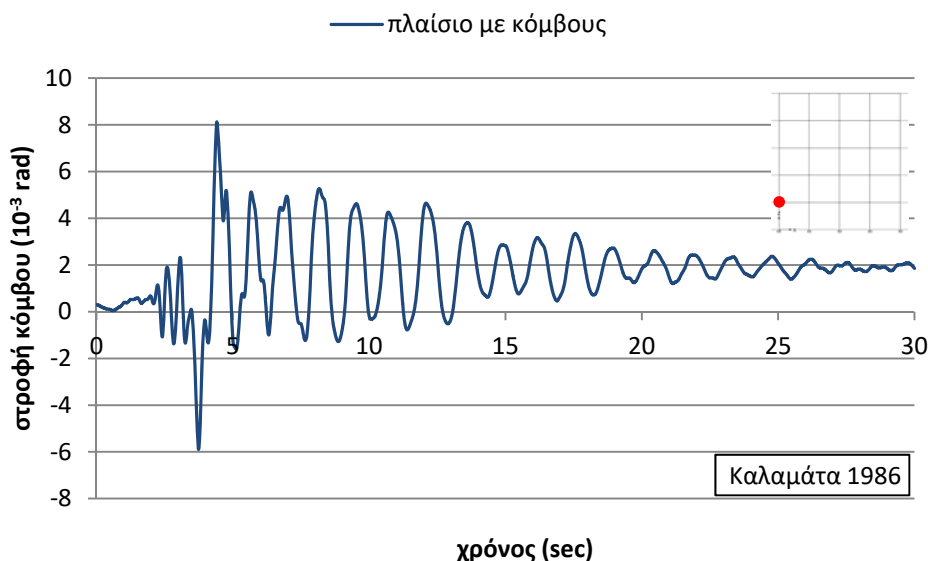
Σχήμα 6.20. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Από το ανωτέρω διάγραμμα (Σχήμα 6.20) παρατηρείται πως οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις παρατηρούνται στη δεύτερη και τρίτη στάθμη, παρασύροντας τις υπερκείμενες και υποκείμενες στάθμες, γεγονός που δικαιολογεί την ανάπτυξη πληθώρας πλαστικών αρθρώσεων, άρα και βλαβών στα άκρα δοκών και υποστυλωμάτων, σε όλες τις στάθμες (Σχήμα 6.18).

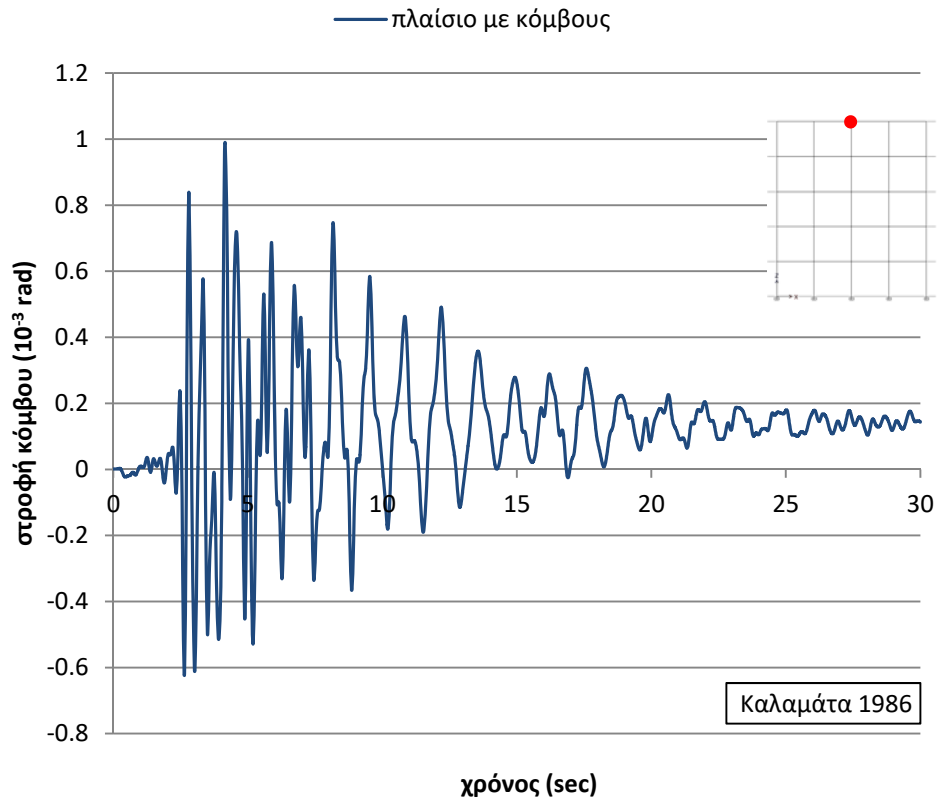
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3), από τα οποία προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη συμπεριφορά των κόμβων αυτών κατά τη σεισμική διέγερση με το επιλεγμένο επιταχυνσιογράφημα. Τα διαγράμματα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για σύγκριση με τα αντίστοιχα διαγράμματα του πλαισίου χωρίς το μοντέλο προσομοίωσης της συμπεριφοράς των κόμβων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.



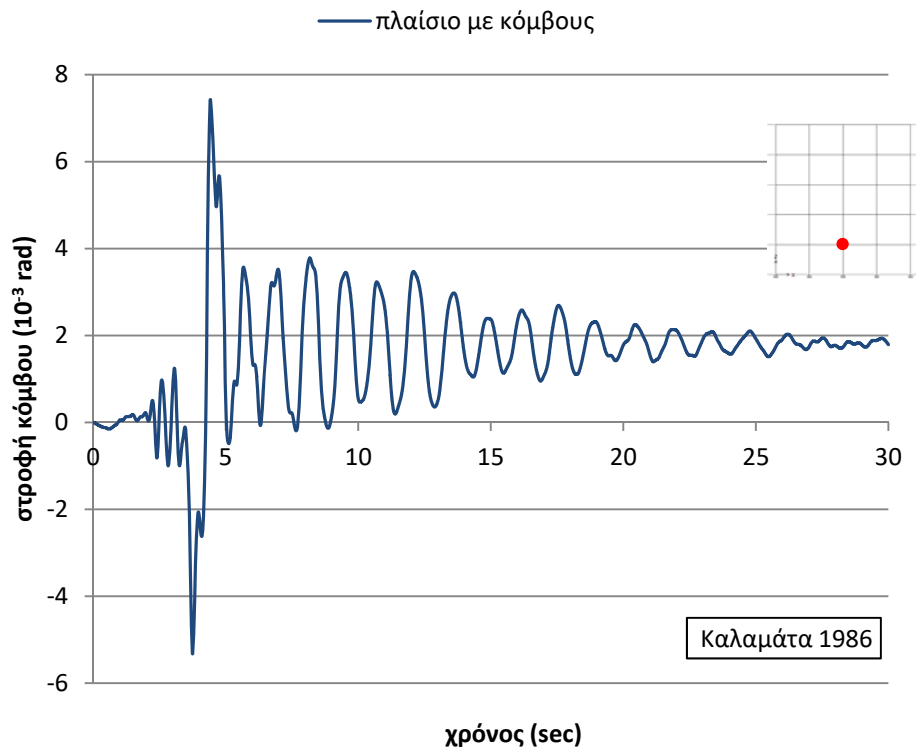
Σχήμα 6.21. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j1 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)



Σχήμα 6.22 Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j1 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)



Σχήμα 6.23. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου $st5j3$ (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

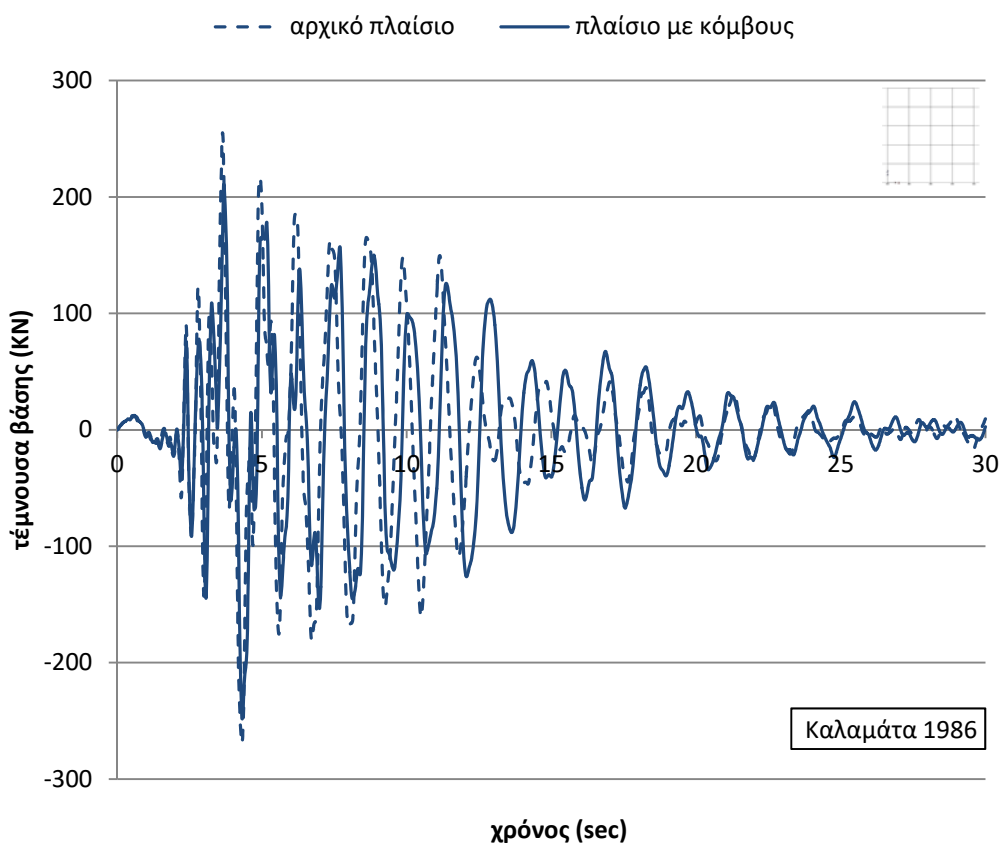


Σχήμα 6.24. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου $st1j3$ (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

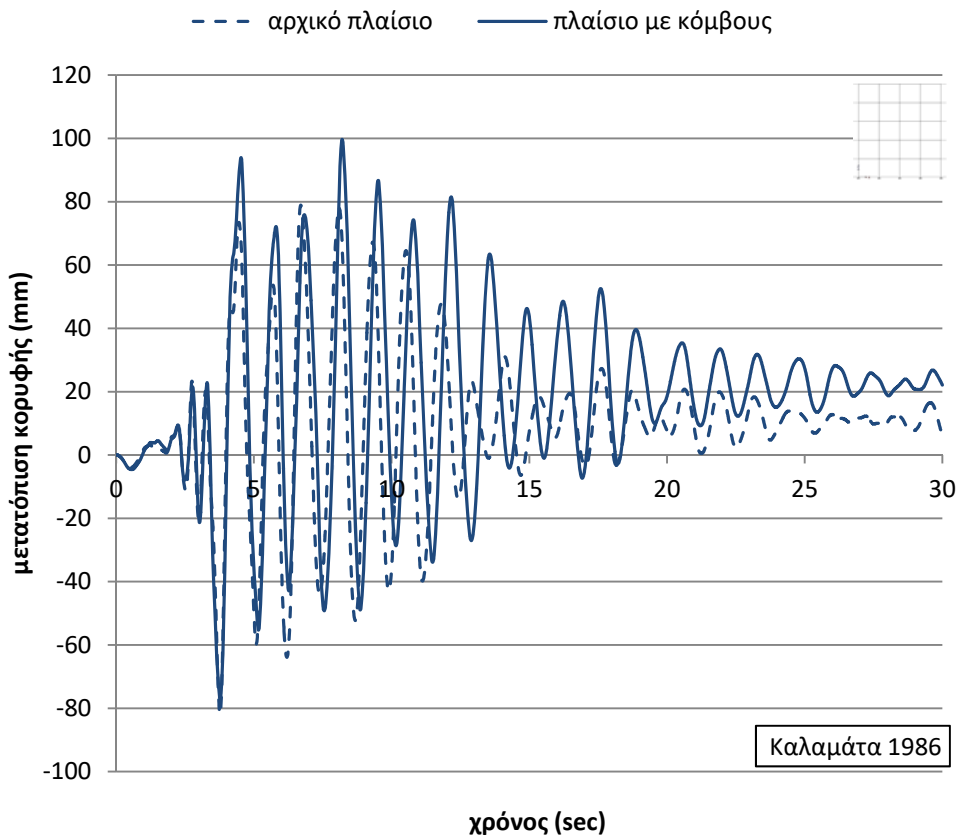
Από τα προηγούμενα σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, παρατηρείται πως οι κόμβοι st5j1 (Σχήμα 6.21), st1j1 (Σχήμα 6.22) και st1j3 (Σχήμα 6.24) παρουσιάζουν μεγαλύτερες στροφές από τον κόμβο st5j3 (Σχήμα 6.23), γεγονός που δικαιολογεί τη μη ανάπτυξη πλαστικής άρθρωσης στα άκρα των δοκών του μεσαίου κόμβου της τελευταίας στάθμης, σε αντίθεση με τους άλλους τρεις κόμβους στους οποίους αναπτύσσονται πλαστικές αρθρώσεις – άρα και βλάβες – στα άκρα των συντρεχόντων δοκών (κόμβος st1j3) καθώς και στο σώμα των εξωτερικών κόμβων (κόμβοι st5j1 και st1j1), με μεγαλύτερη στροφική παραμόρφωση στον ακραίο εξωτερικό κόμβο της πέμπτης στάθμης (Σχήμα 6.18).

6.2.3 Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό της Καλαμάτας για το πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις

Προκειμένου να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων του πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις (χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων) για το σεισμό της Καλαμάτας, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω γραφήματα.

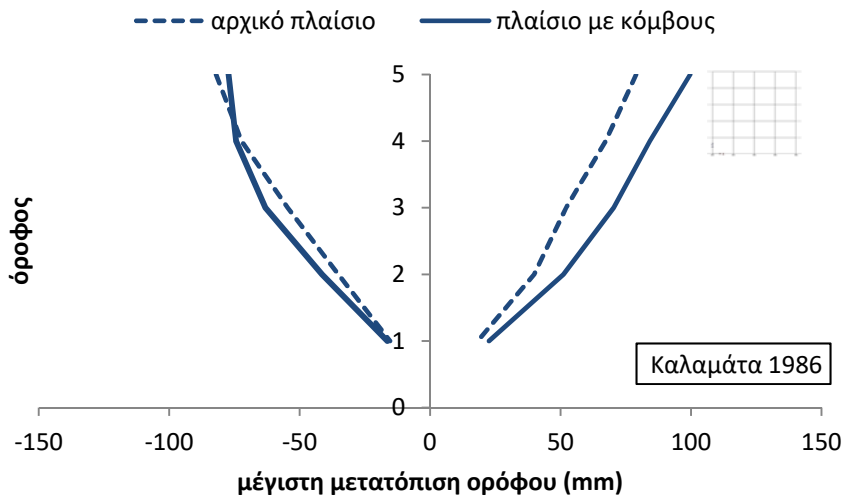


Σχήμα 6.25. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάρσης

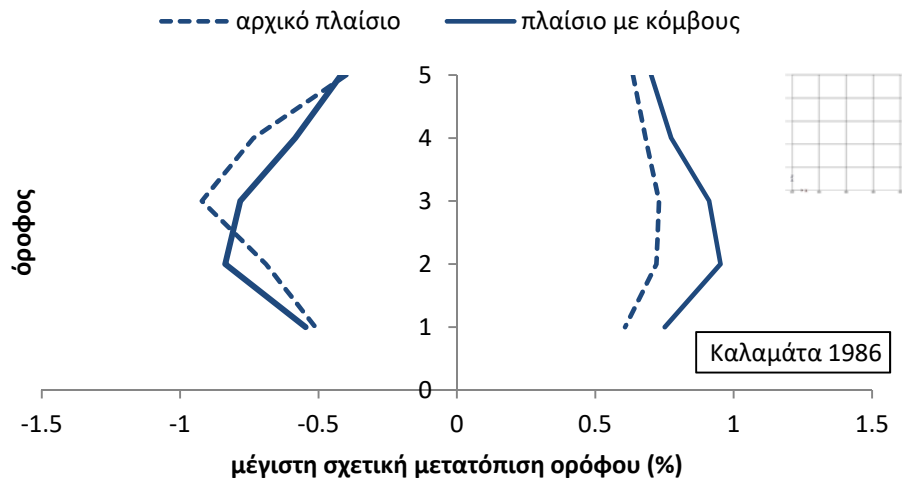


Σχήμα 6.26. Συγκριτικό διάγραμμα χρονιοϊστορίας μετατόπισης κορυφής

Από τα συγκριτικά διαγράμματα της τέμνουσας βάσης (Σχήμα 6.25) και της μετατόπισης κορυφής (Σχήμα 6.26) σε συνάρτηση με το χρόνο, εξάγεται το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου, παρατηρούνται μεγαλύτερες μετατοπίσεις στην κορυφή του πλαισίου καθώς και μεγαλύτερη κατ' απόλυτη τιμή παραμένουσας παραμόρφωσης, περίξ της οποίας πραγματοποιείται η ταλάντωση του πλαισίου (Σχήμα 6.26).

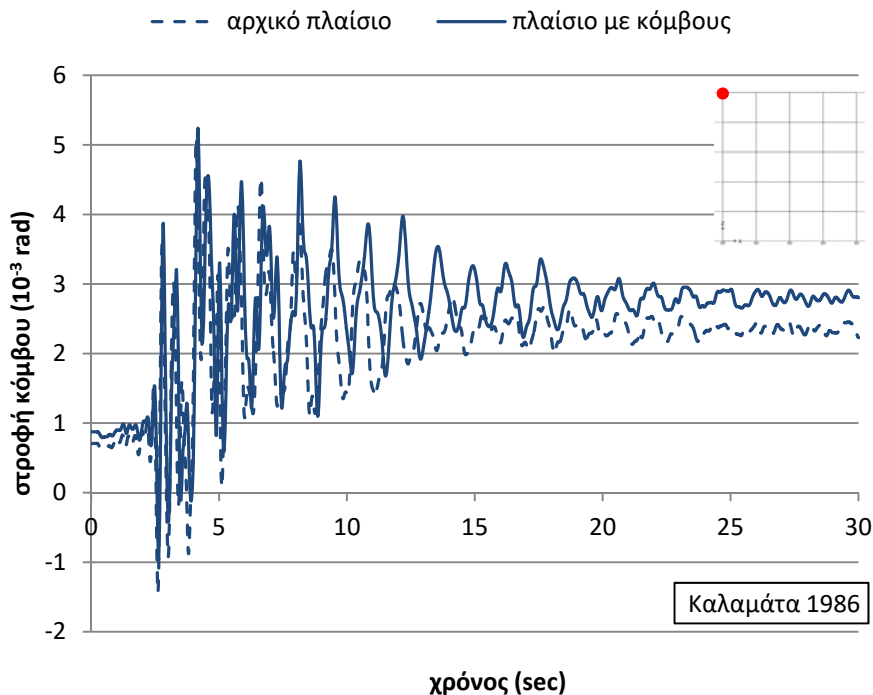


Σχήμα 6.27. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων

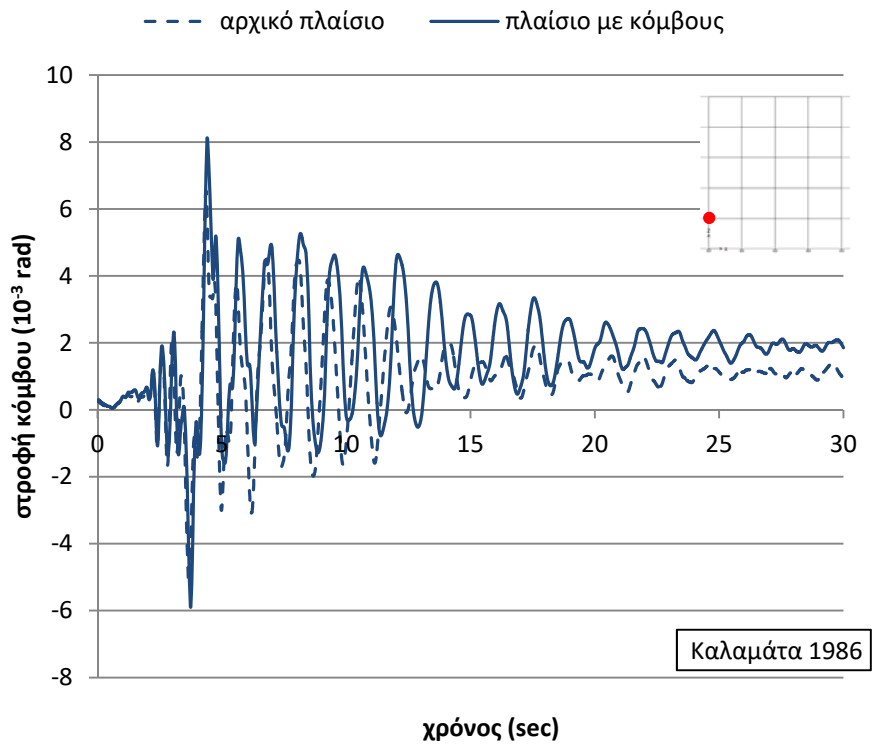


Σχήμα 6.28. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων

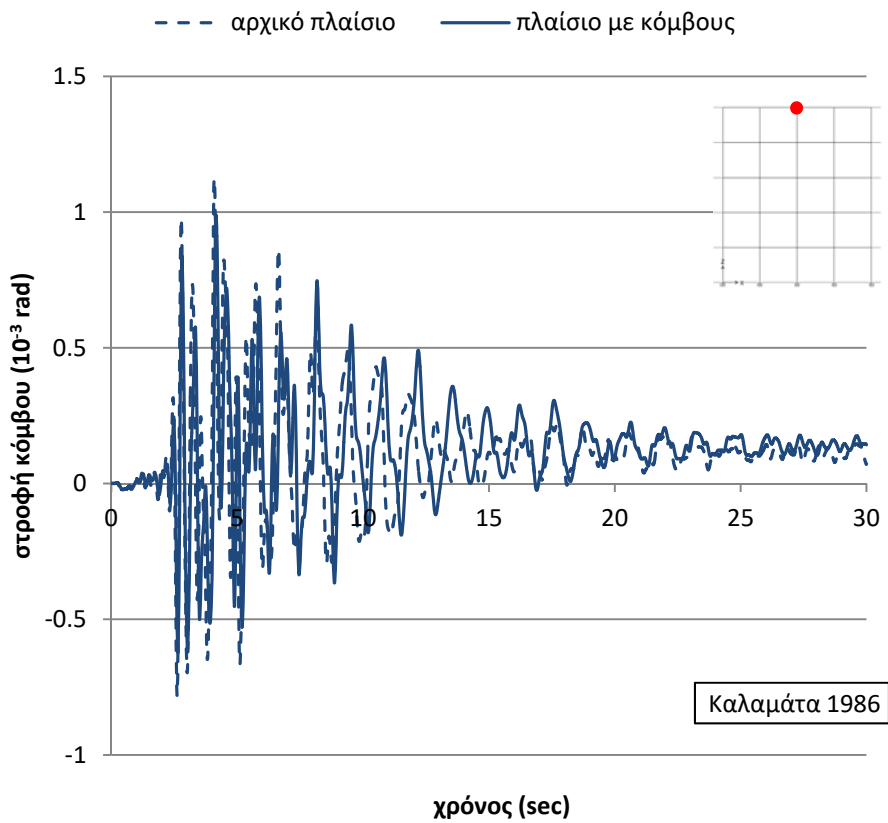
Από τα προηγούμενα συγκριτικά διαγράμματα των μέγιστων (Σχήμα 6.27) και των σχετικών μέγιστων (Σχήμα 6.28) μετατοπίσεων ορόφων, συμπεραίνεται πως με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρούνται μεγαλύτερες μετακινήσεις, γεγονός που δικαιολογεί και την εκτεταμένη ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων σε όλο τον φορέα (Σχήμα 6.18).



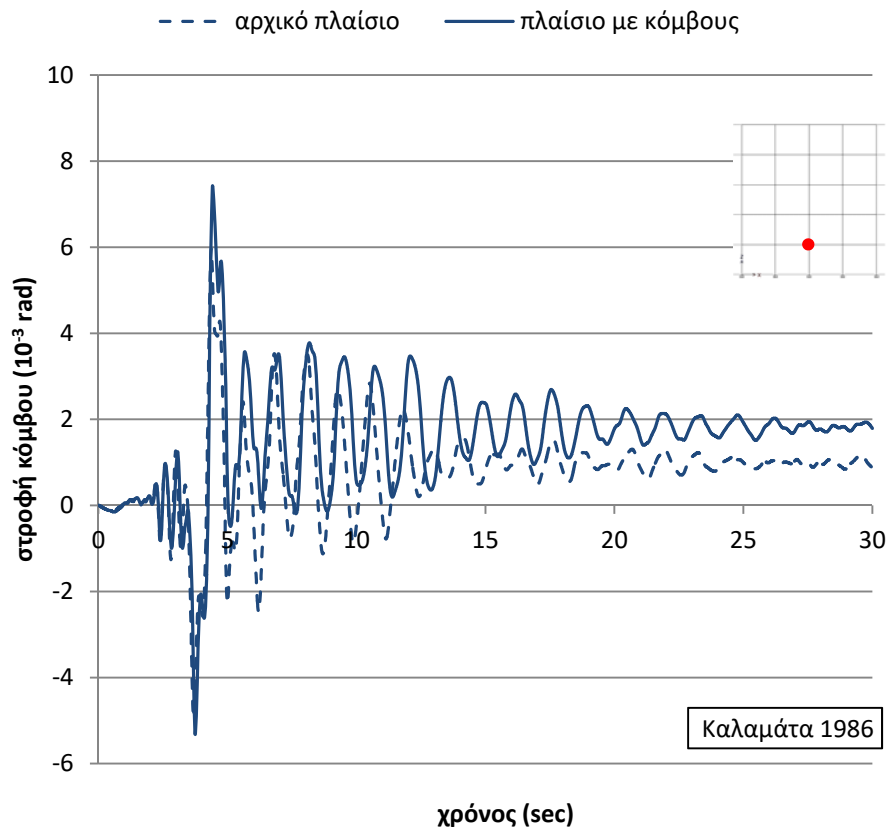
Σχήμα 6.29. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1



Σχήμα 6.30. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου $st1j1$



Σχήμα 6.31. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου $st5j3$



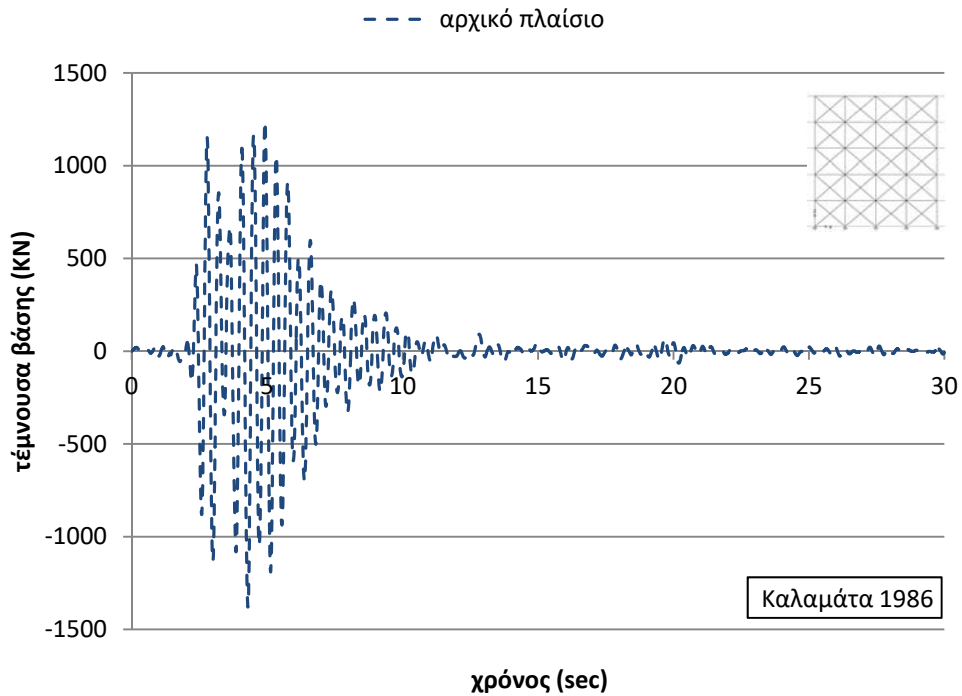
Σχήμα 6.32. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3

Από τα ανωτέρω σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, συμπεραίνεται πως στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματικά ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης, οι κόμβοι st5j1 (Σχήμα 6.29), st1j1 (Σχήμα 6.30) και st1j3 (Σχήμα 6.32) παρουσιάζουν μεγαλύτερες στροφές σε σχέση με το αρχικό μοντέλο χωρίς την μοντελοποίηση των κόμβων, καθώς και μεγαλύτερη παραμένουσα στροφική παραμόρφωση, με μεγαλύτερη αυτή στον ακραίο εξωτερικό κόμβο της πέμπτης στάθμης. Επιπλέον, οι εξωτερικοί κόμβοι εμφανίζουν μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στροφικής παραμόρφωσης, γεγονός που δικαιολογεί την εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων – άρα και βλαβών αστοχίας – τόσο στα άκρα δοκών και υποστρωμάτων όσο και στον πυρήνα των εξωτερικών κόμβων (Σχήμα 6.18). Αντίθετα, η στροφική παραμόρφωση του εσωτερικού μεσαίου κόμβου st5j3 στην πέμπτη στάθμη (Σχήμα 6.31) είναι πρακτικά μηδενική και στις δύο αναλύσεις (χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων), δικαιολογώντας απόλυτα τη μη ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στο σώμα του κόμβου αλλά και στα άκρα των συντρεχόντων δοκών (Σχήμα 6.18).

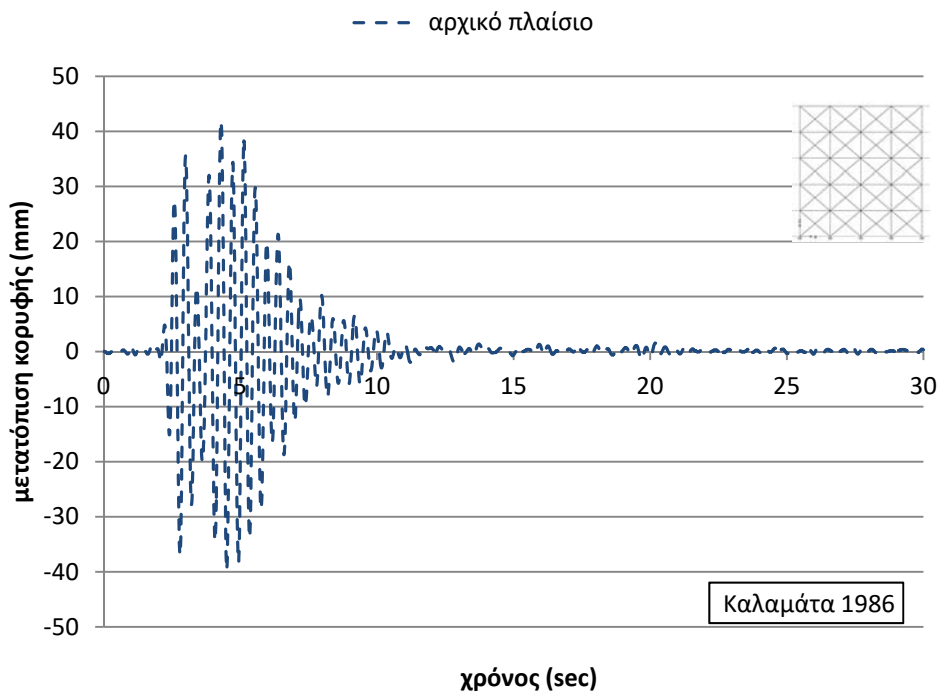
Συμπερασματικά, από τα ανωτέρω συγκριτικά διαγράμματα και σχήματα, προκύπτει πως όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), διαφοροποιείται σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

6.2.4 Αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις

Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας που πραγματοποιήθηκε στο αρχικό πλαίσιο (χωρίς τη μοντελοποίηση των κόμβων) με τοιχοπληρώσεις, προκύπτουν τα διαγράμματα μεταβολής της τέμνουσας βάσης και της μετατόπισης κορυφής του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (Σχήμα 6.33 & Σχήμα 6.34).

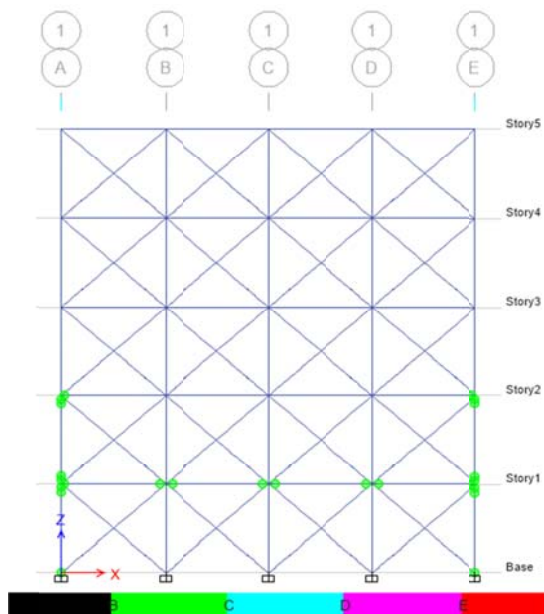


Σχήμα 6.33. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 6.34. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (αρχικό πλαίσιο)

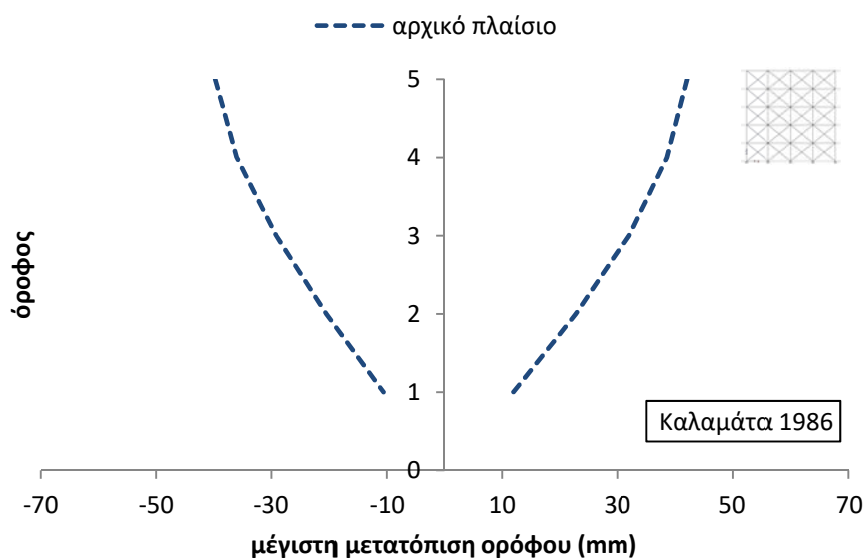
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.35).



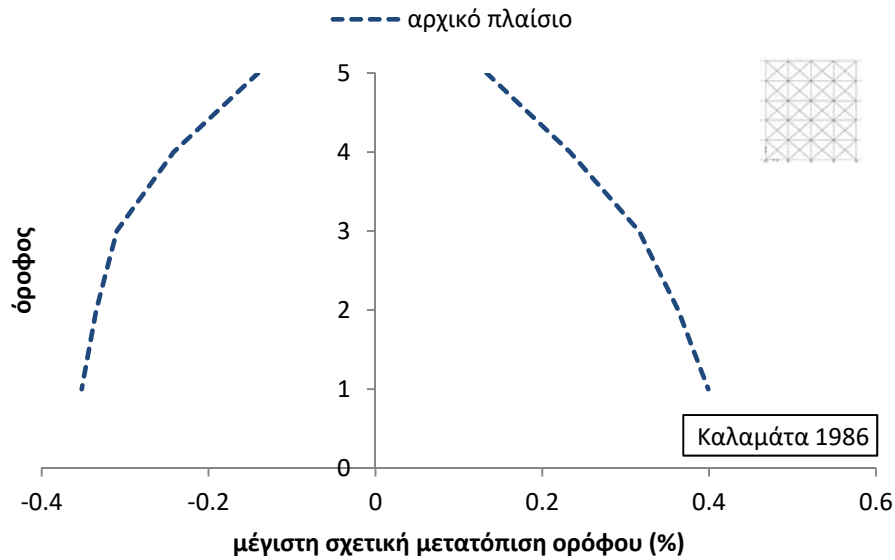
Σχήμα 6.35. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.35 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε όλα τα άκρα των δοκών της πρώτης στάθμης, στα εξωτερικά άκρα των ακραίων δοκών της δεύτερης στάθμης και στην κορυφή και τη βάση των ακραίων υποστυλωμάτων των δύο πρώτων σταθμών.

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.36) και η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.37), όπως προέκυψαν από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας.



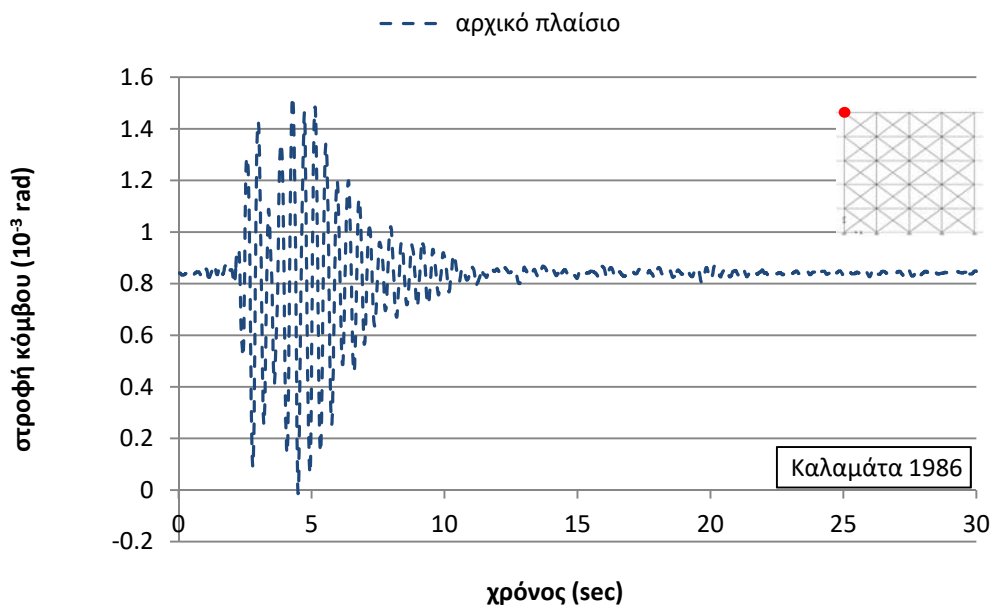
Σχήμα 6.36. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



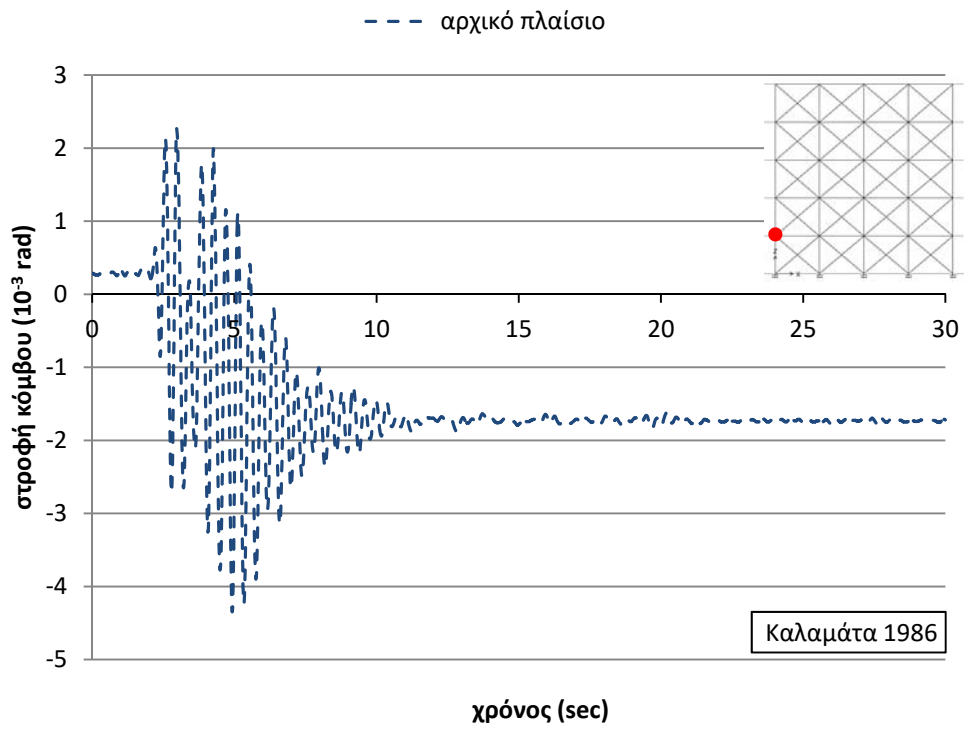
Σχήμα 6.37. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)

Από το ανωτέρω διάγραμμα (Σχήμα 6.37) παρατηρείται πως οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις παρατηρούνται στην πρώτη στάθμη, με σταδιακή μείωση προς τις υπερκείμενες στάθμες, γεγονός που δικαιολογεί την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων, άρα και βλαβών στα άκρα δοκών και υποστυλωμάτων, στις δύο πρώτες στάθμες (Σχήμα 6.35).

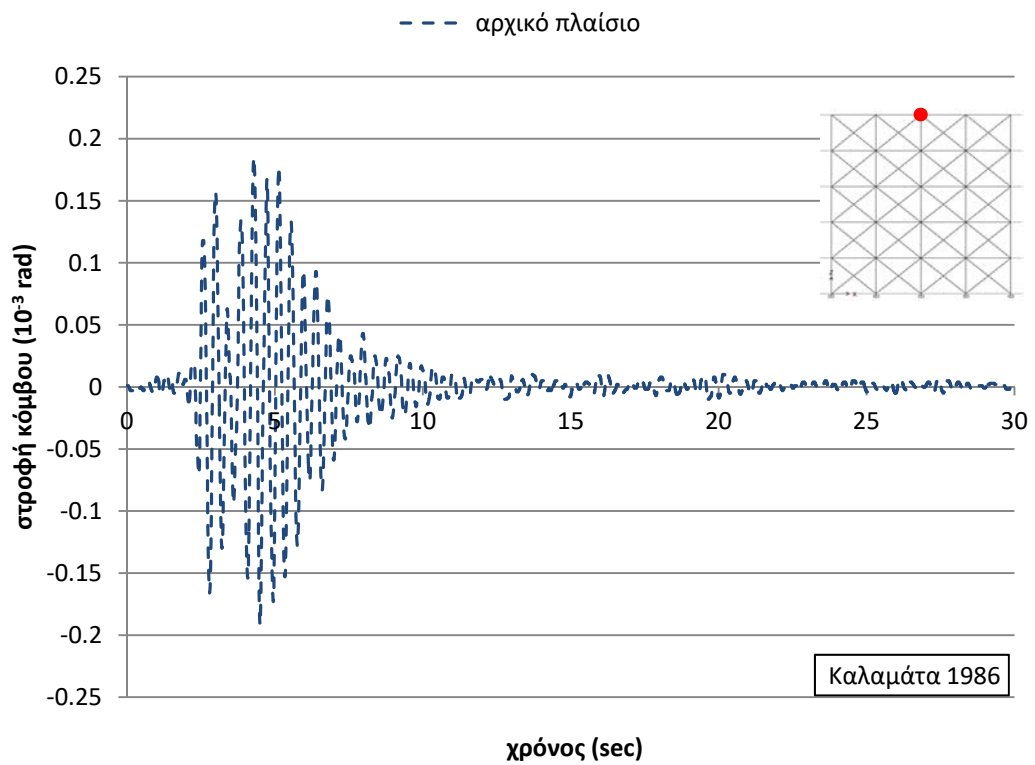
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3), από τα οποία προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη συμπεριφορά των κόμβων αυτών κατά τη σεισμική διέγερση με το επιλεγμένο επιταχυνσιογράφημα. Τα διαγράμματα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για σύγκριση με τα αντίστοιχα διαγράμματα του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης της συμπεριφοράς των κόμβων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.



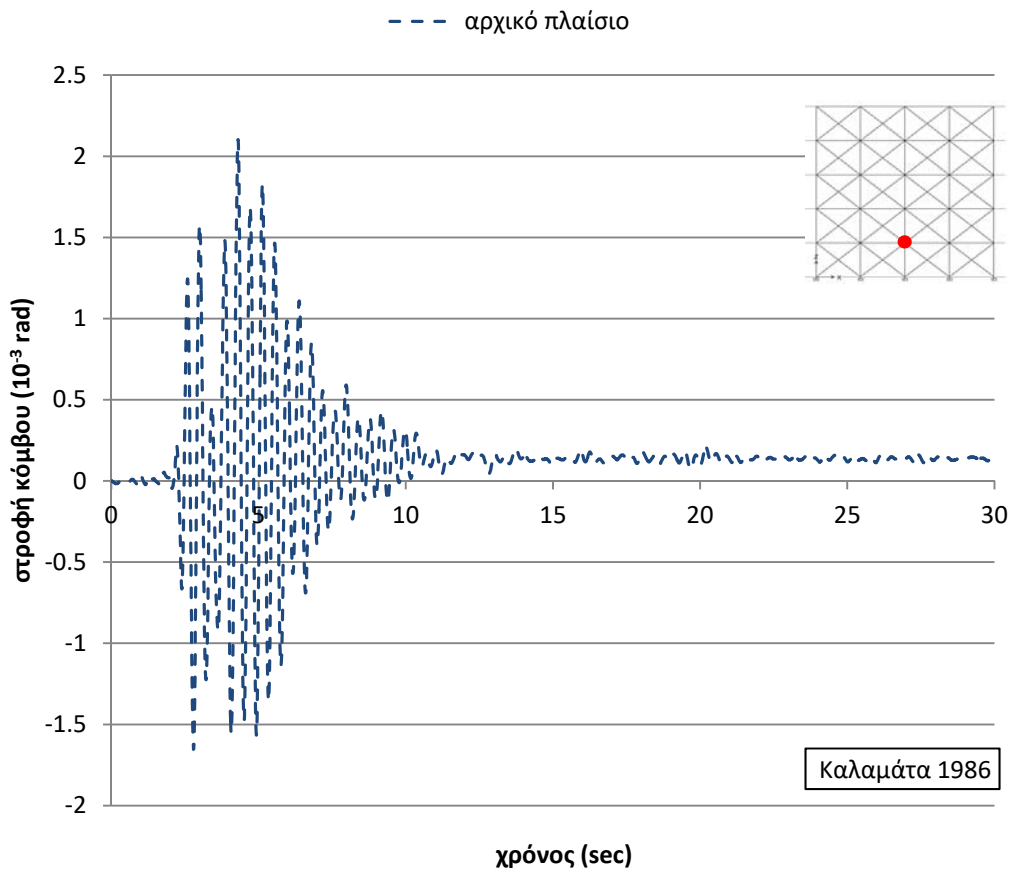
Σχήμα 6.38. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j1 (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 6.39. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j1 (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 6.40. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j3 (αρχικό πλαίσιο)

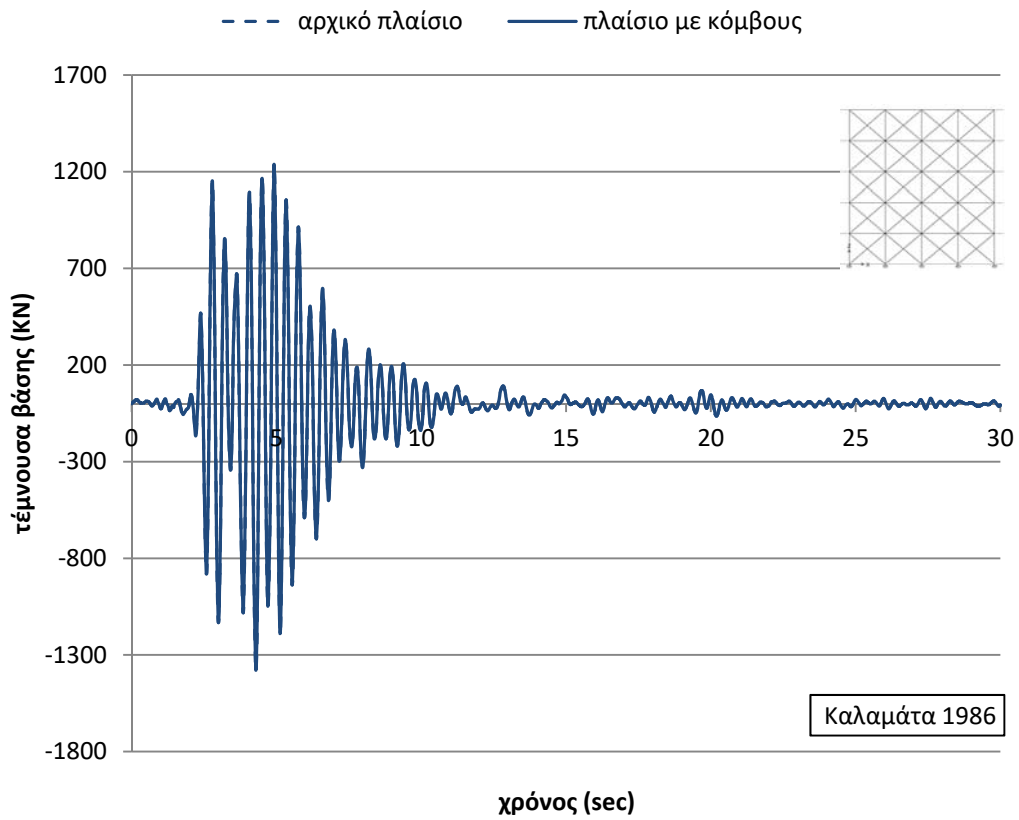


Σχήμα 6.41. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j3 (αρχικό πλαίσιο)

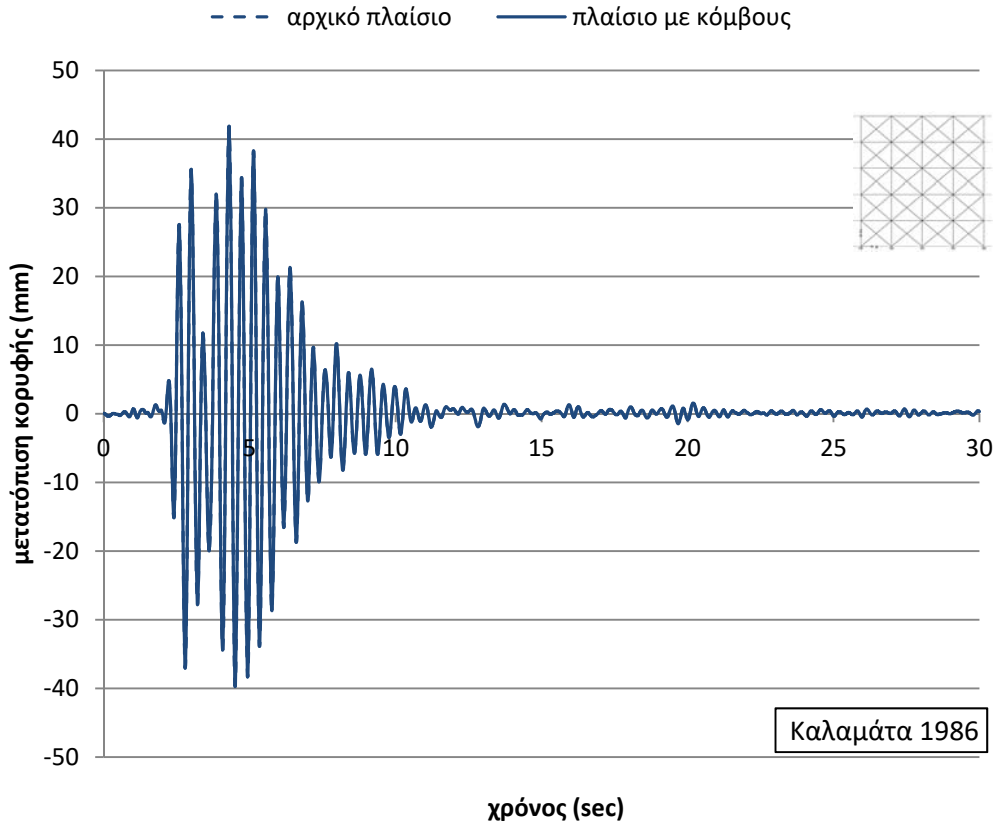
Από τα προηγούμενα σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, παρατηρείται πως οι κόμβοι st5j3 (Σχήμα 6.40) και st1j3 (Σχήμα 6.41) παρουσιάζουν πρακτικά μηδενική στροφή, ενώ οι κόμβοι st1j1 (Σχήμα 6.39) και st5j1 (Σχήμα 6.38) παρουσιάζουν μεγαλύτερες στροφικές παραμορφώσεις, με τον τελευταίο να εμφανίζει μεγάλη αρχική στροφική παραμόρφωση. Τα ανωτέρω δικαιολογούν την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα δοκών και υποστυλωμάτων στον ακραίο εξωτερικό κόμβο της πρώτης στάθμης και τη μη ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στους υπόλοιπους (Σχήμα 6.35).

6.2.5 Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις

Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις, προκύπτουν τα διαγράμματα μεταβολής της τέμνουσας βάσης και της μετατόπισης κορυφής του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (Σχήμα 6.42 & Σχήμα 6.43).

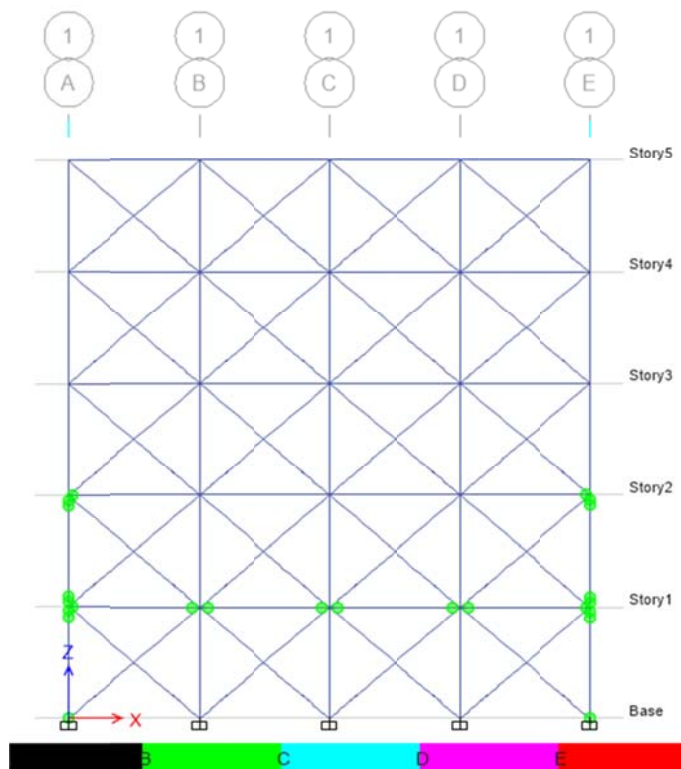


Σχήμα 6.42. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)



Σχήμα 6.43. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

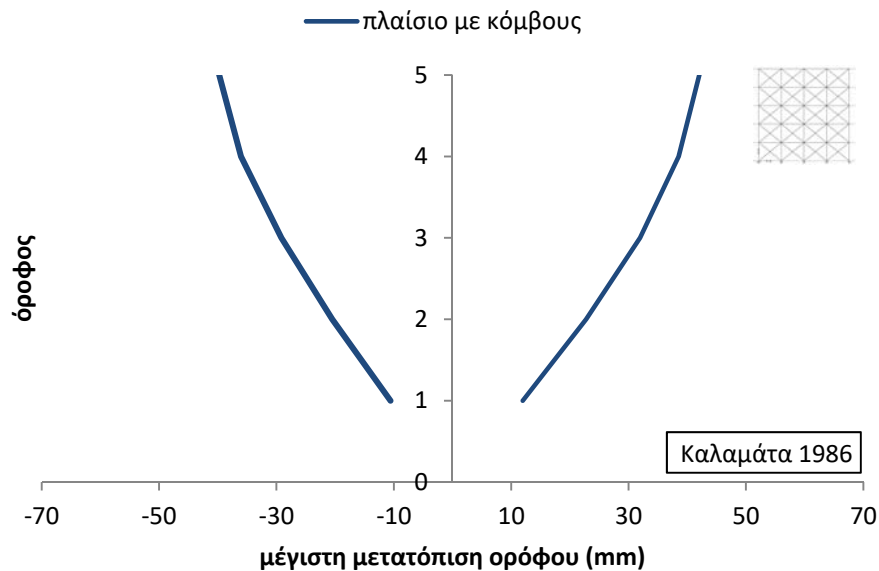
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.44).



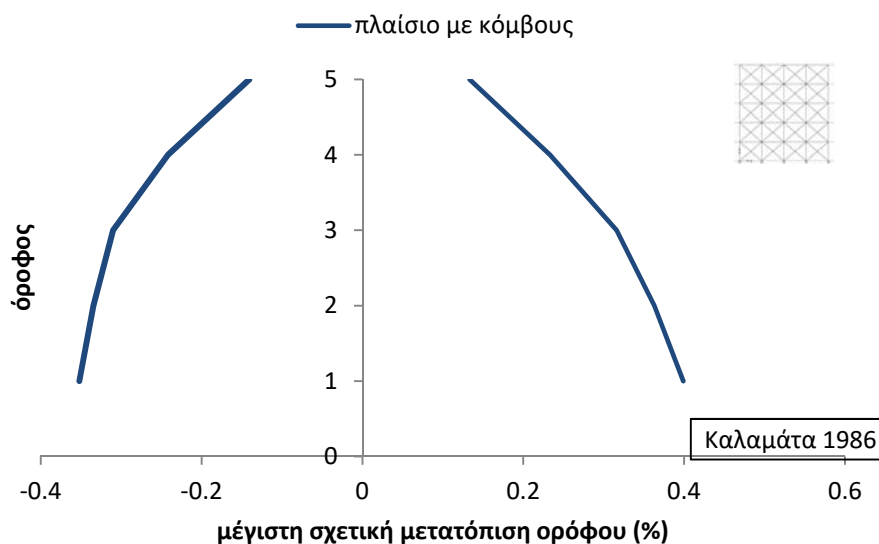
Σχήμα 6.44. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.44 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των δοκών όλων των εσωτερικών κόμβων της πρώτης στάθμης, εκτός των ακραίων εξωτερικών δοκών, καθώς και στη βάση και την κορυφή των ακραίων υποστυλωμάτων της πρώτης και δεύτερης στάθμης. Αντίθετα, στους ακραίους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου στην πρώτη και δεύτερη στάθμη δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.45) και η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.46), όπως προέκυψαν από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας.



Σχήμα 6.45. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

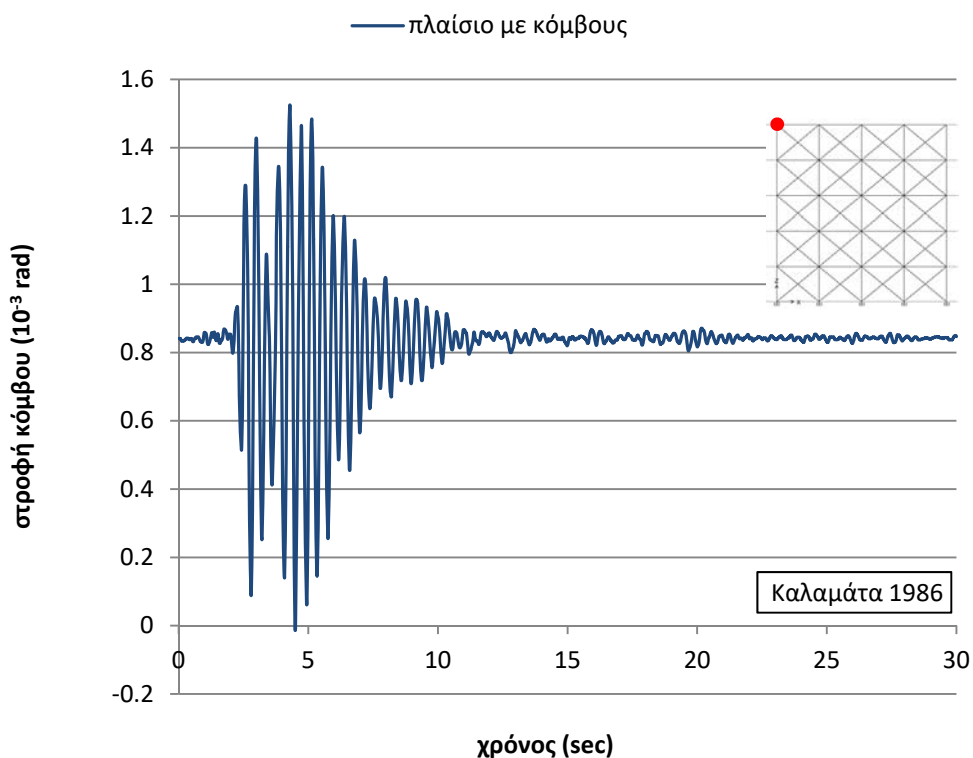


Σχήμα 6.46. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

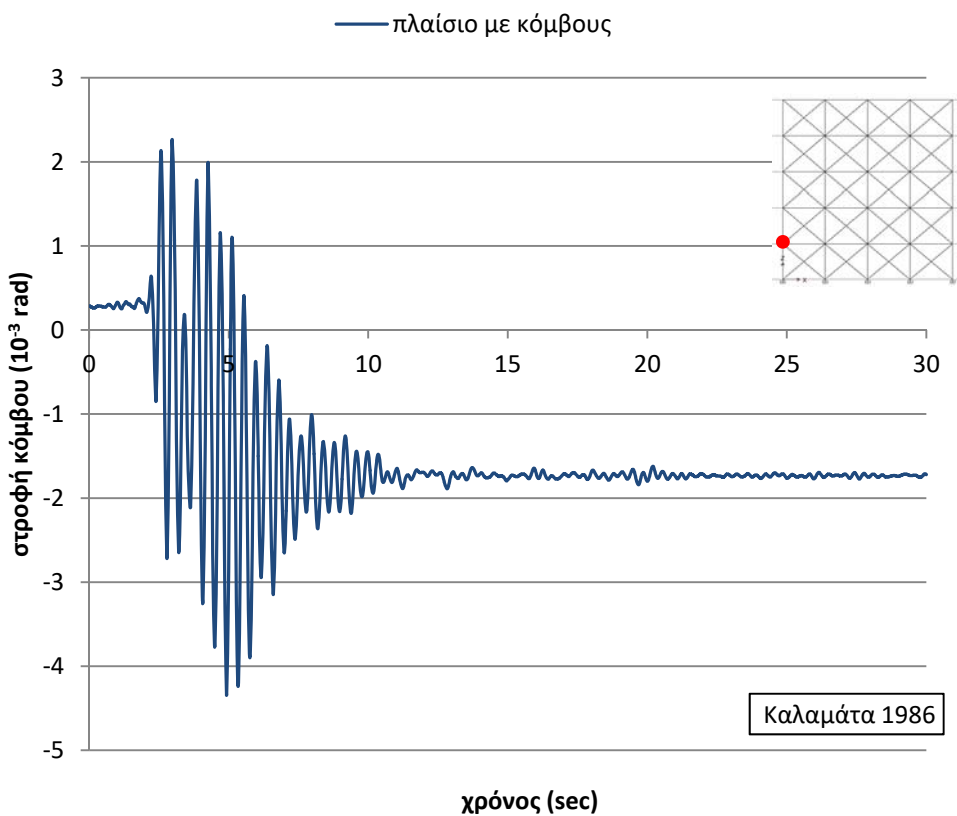
Από το ανωτέρω διάγραμμα (Σχήμα 6.46) παρατηρείται πως οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις παρατηρούνται στην πρώτη στάθμη, με σταδιακή μείωση προς τις υπερκείμενες στάθμες, γεγονός που δικαιολογεί την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων, άρα και βλαβών στα άκρα δοκών, υποστλωμάτων και στο σώμα των εξωτερικών κόμβων στις δύο πρώτες στάθμες (Σχήμα 6.44).

Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3), από τα οποία προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη συμπεριφορά των κόμβων αυτών κατά τη σεισμική διέγερση με το επιλεγμένο επιταχυνσιογράφημα. Τα διαγράμματα αυτά

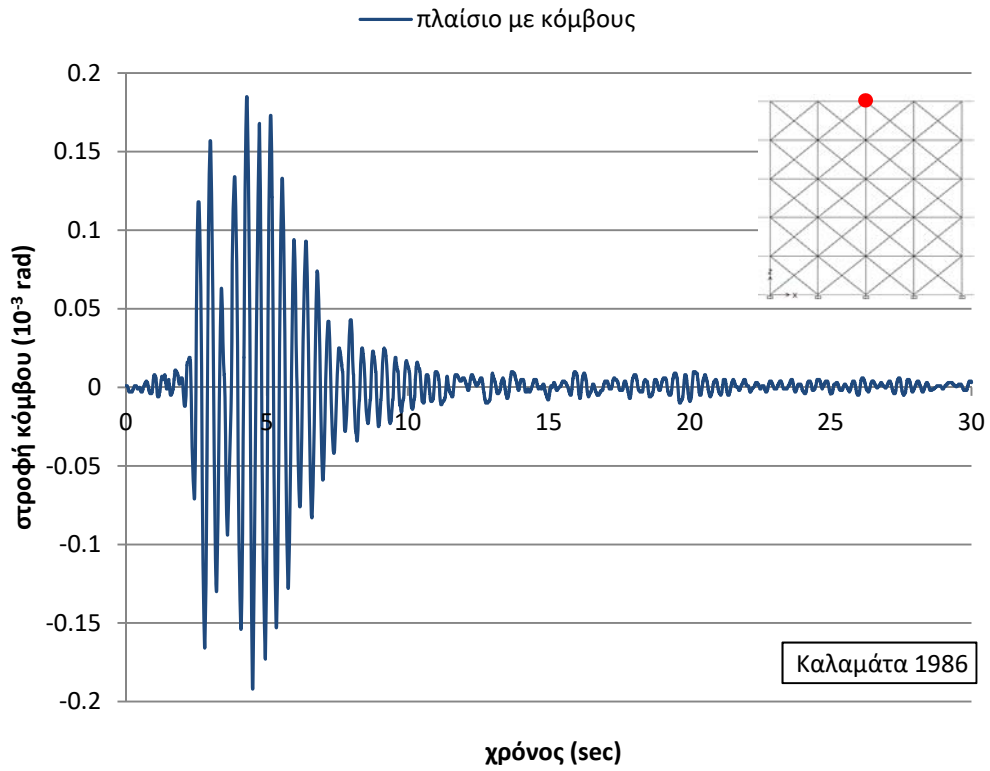
θα χρησιμοποιηθούν για σύγκριση με τα αντίστοιχα διαγράμματα του πλαισίου χωρίς το μοντέλο προσομοίωσης της συμπεριφοράς των κόμβων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.



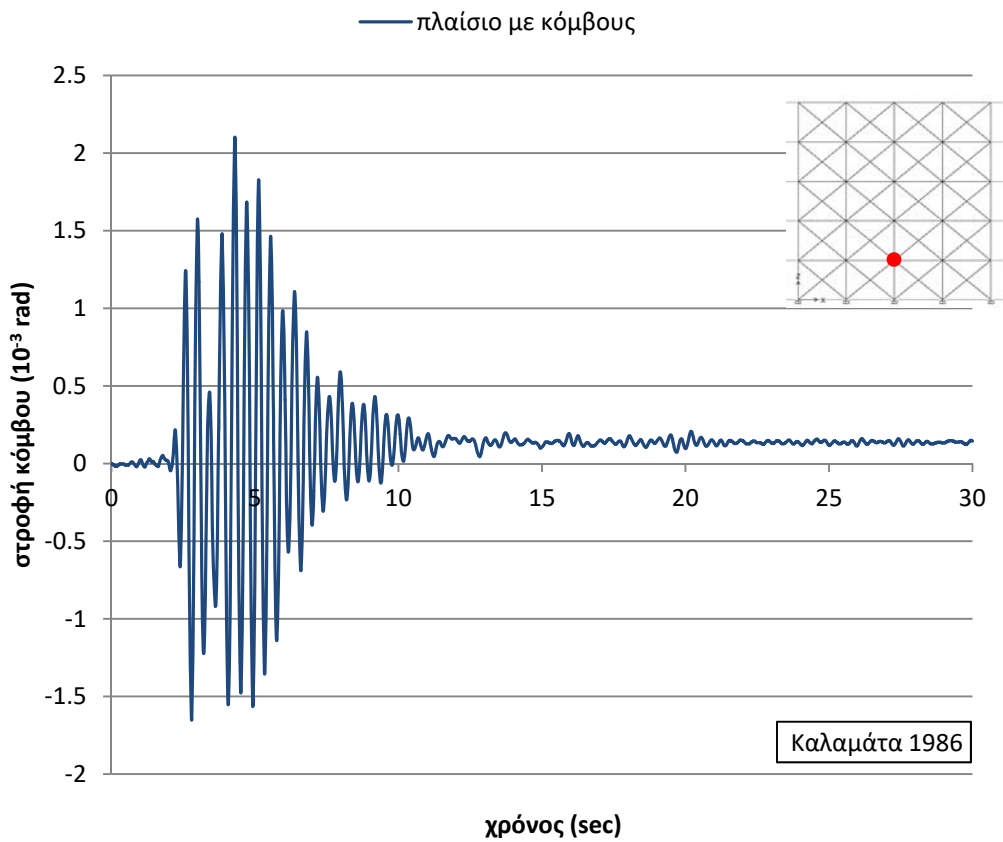
Σχήμα 6.47. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου *st5j1* (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)



Σχήμα 6.48. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου *st1j1* (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)



Σχήμα 6.49. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου *st5j3* (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

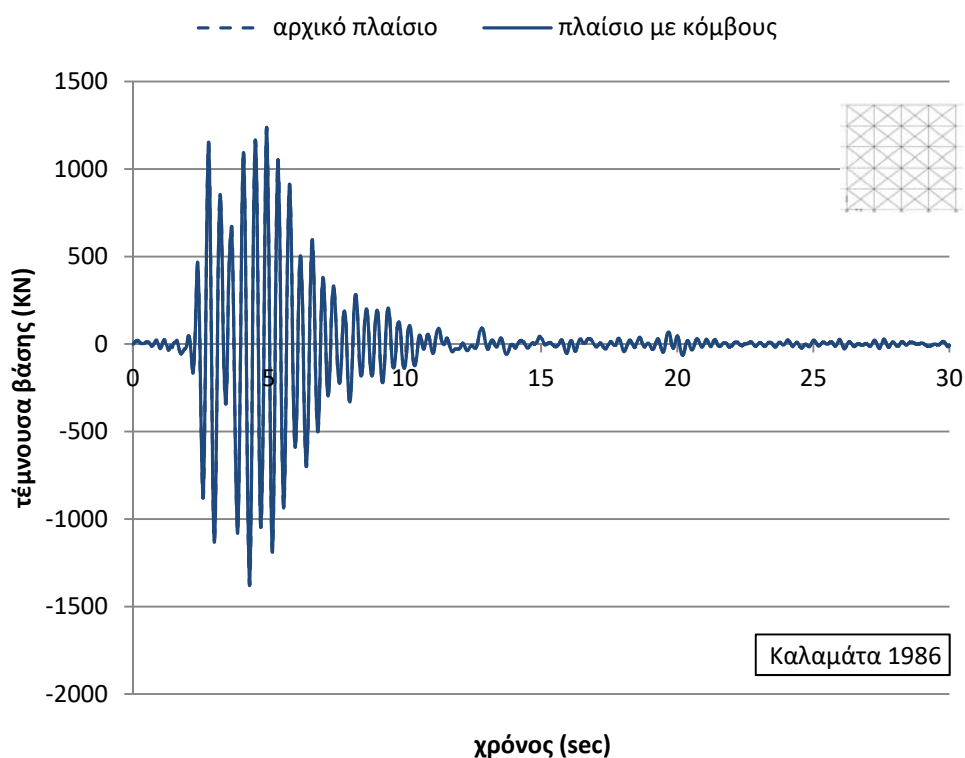


Σχήμα 6.50. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου *st1j3* (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

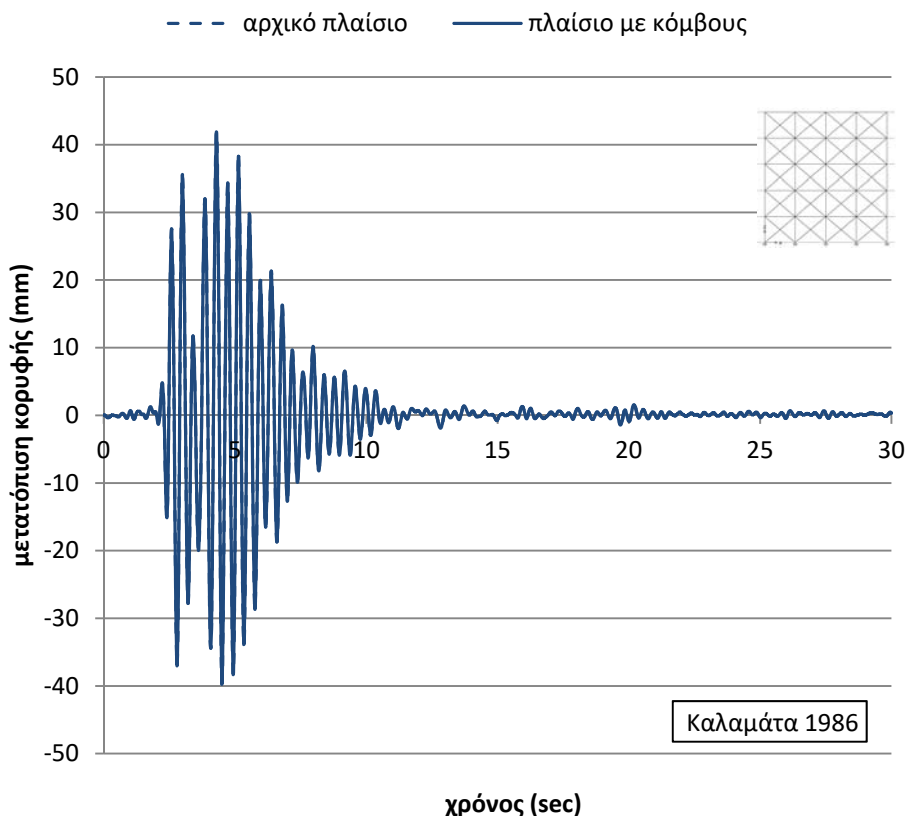
Από τα προηγούμενα σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, παρατηρείται πως οι κόμβοι st5j3 (Σχήμα 6.49) και st1j3 (Σχήμα 6.50) παρουσιάζουν πρακτικά μηδενική στροφή, ενώ οι κόμβοι st1j1 (Σχήμα 6.48) και st5j1 (Σχήμα 6.47) παρουσιάζουν μεγαλύτερες στροφικές παραμορφώσεις, με τον τελευταίο να εμφανίζει μεγάλη αρχική στροφική παραμόρφωση. Τα ανωτέρω δικαιολογούν το γεγονός πως στους εξωτερικούς κόμβους της πρώτης και δεύτερης στάθμης αναπτύσσονται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων, ενώ στους εσωτερικούς κόμβους της πρώτης στάθμης αστοχούν τα άκρα των δοκών (Σχήμα 6.44).

6.2.6 Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό της Καλαμάτας για το πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις

Προκειμένου να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις (χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων) για το σεισμό της Καλαμάτας, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω γραφήματα.

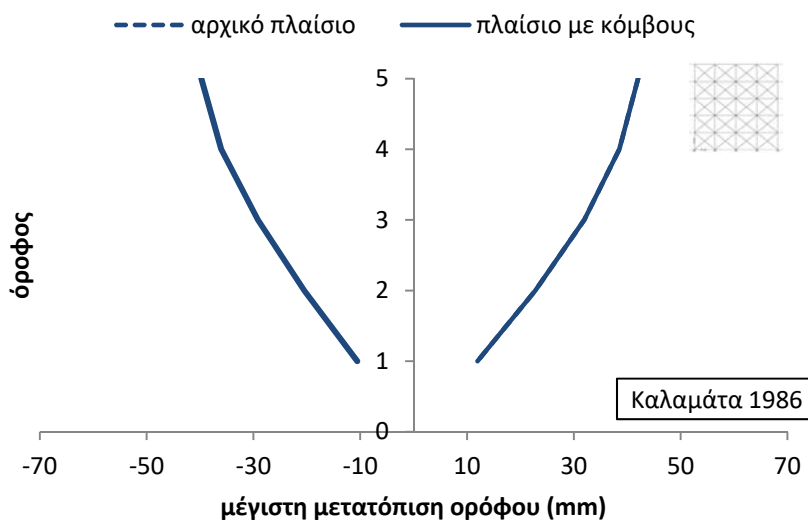


Σχήμα 6.51. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης

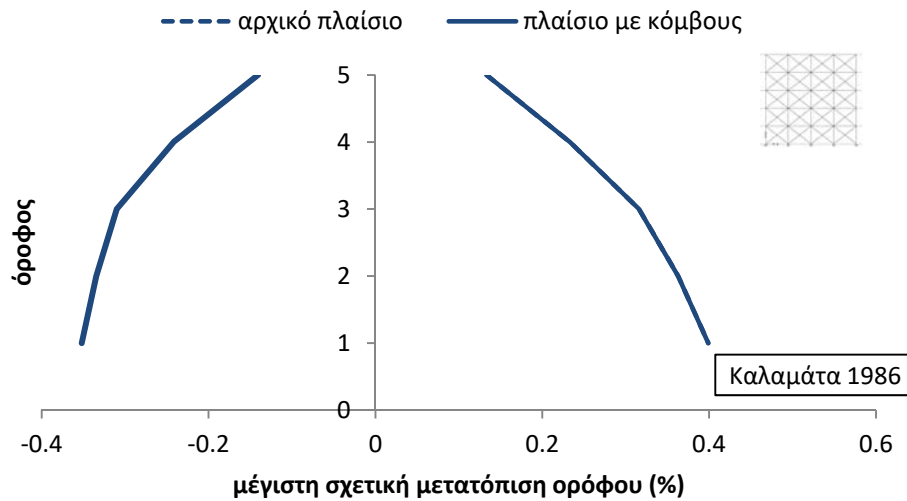


Σχήμα 6.52. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής

Από τα συγκριτικά διαγράμματα της τέμνουσας βάσης (Σχήμα 6.51) και της μετατόπισης κορυφής (Σχήμα 6.52) σε συνάρτηση με το χρόνο, εξάγεται το συμπέρασμα πως, είτε ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου είτε όχι, δεν διαφοροποιείται η συνολική απόκριση του πλαισίου. Το ίδιο ακριβώς συμπέρασμα προκύπτει και από τα επόμενα συγκριτικά διαγράμματα των μέγιστων (Σχήμα 6.53) και των σχετικών μέγιστων (Σχήμα 6.54) μετατοπίσεων ορόφων, καθώς δεν μεταβάλλονται οι μετατοπίσεις μεταξύ του αρχικού πλαισίου και του πλαισίου με τους κόμβους.

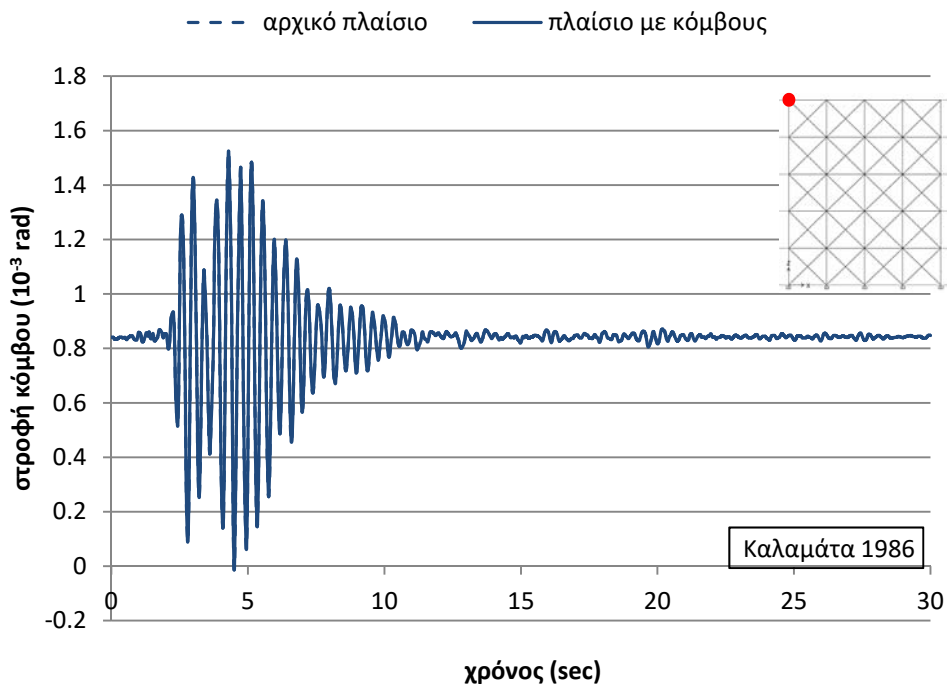


Σχήμα 6.53. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων

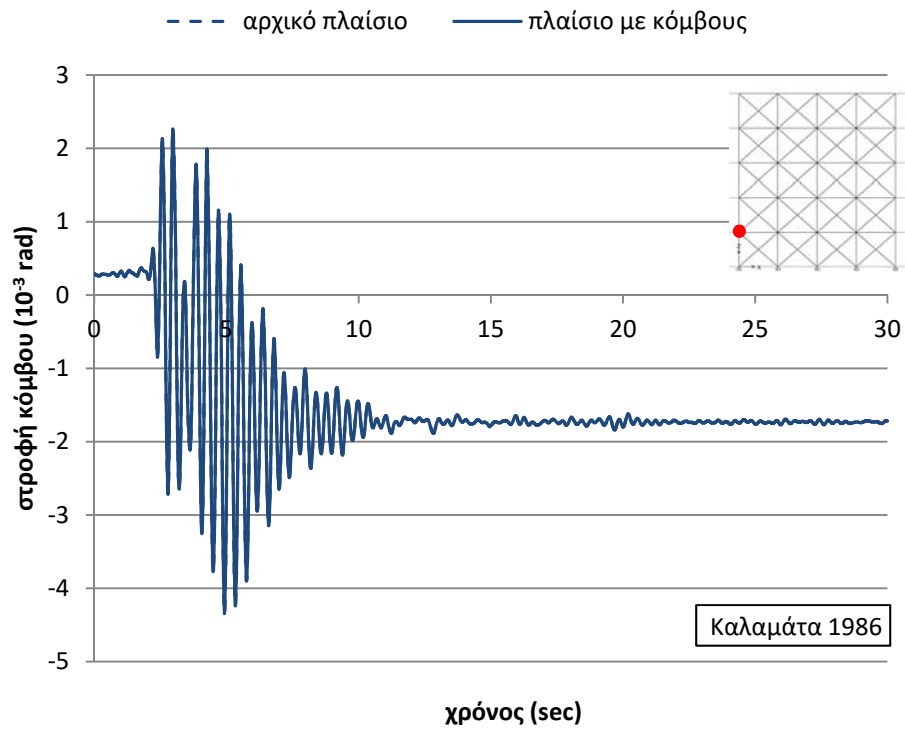


Σχήμα 6.54. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων

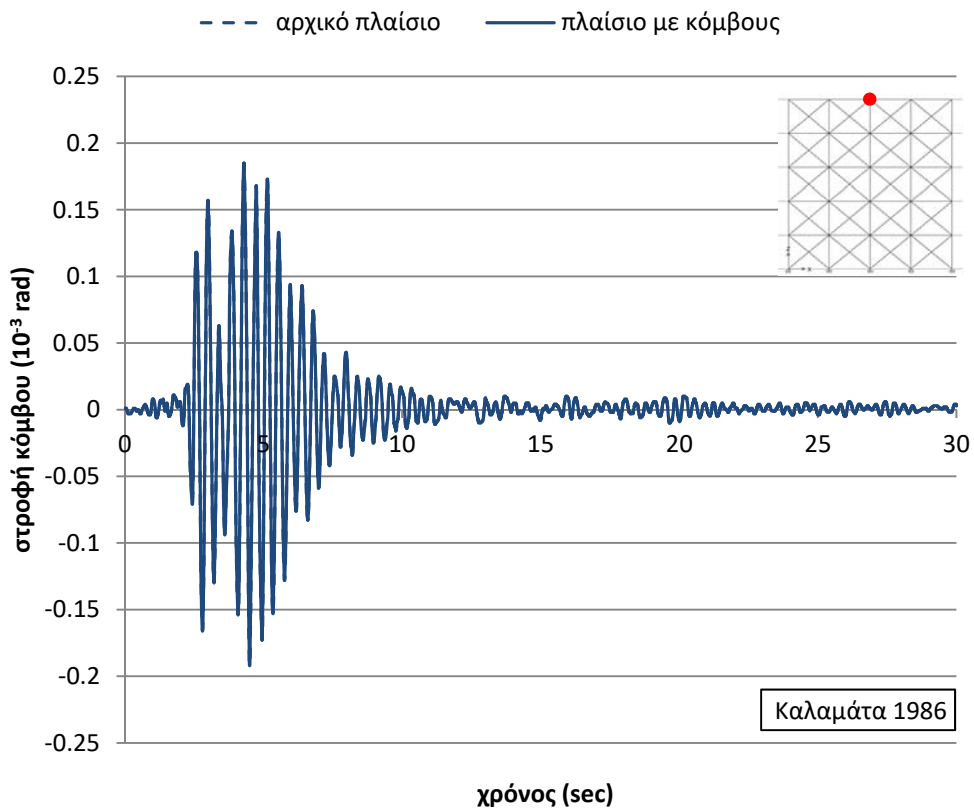
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3).



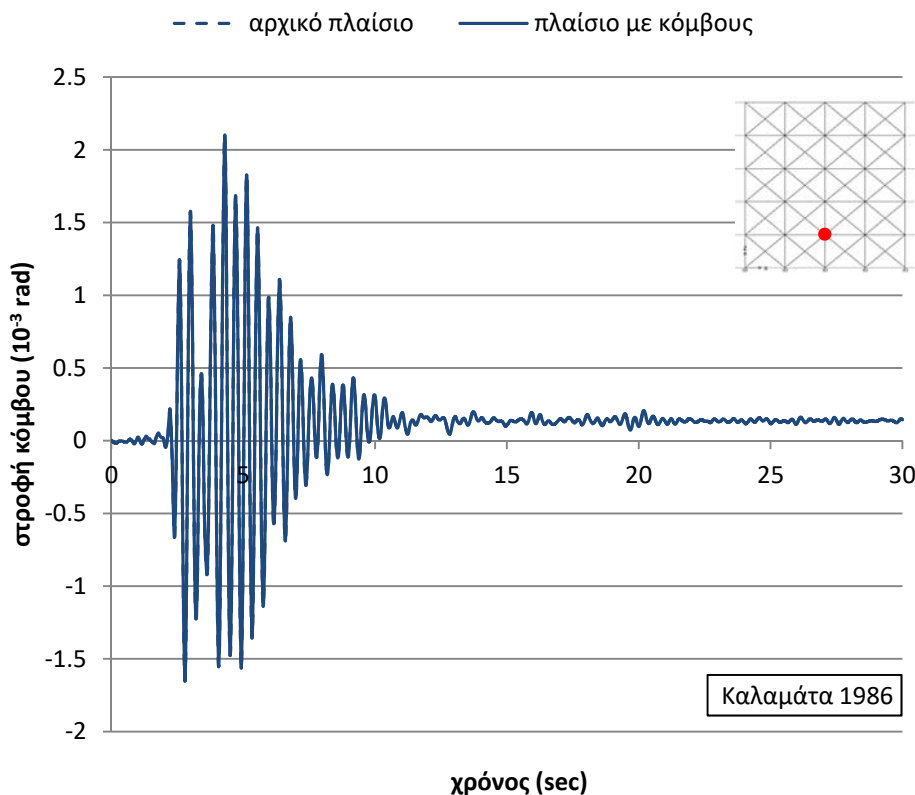
Σχήμα 6.55. Συγκριτικό διάγραμμα χρονιοστορίας στροφής κόμβου st5j1



Σχήμα 6.56. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου *st1j1*



Σχήμα 6.57. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου *st5j3*



Σχήμα 6.58. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3

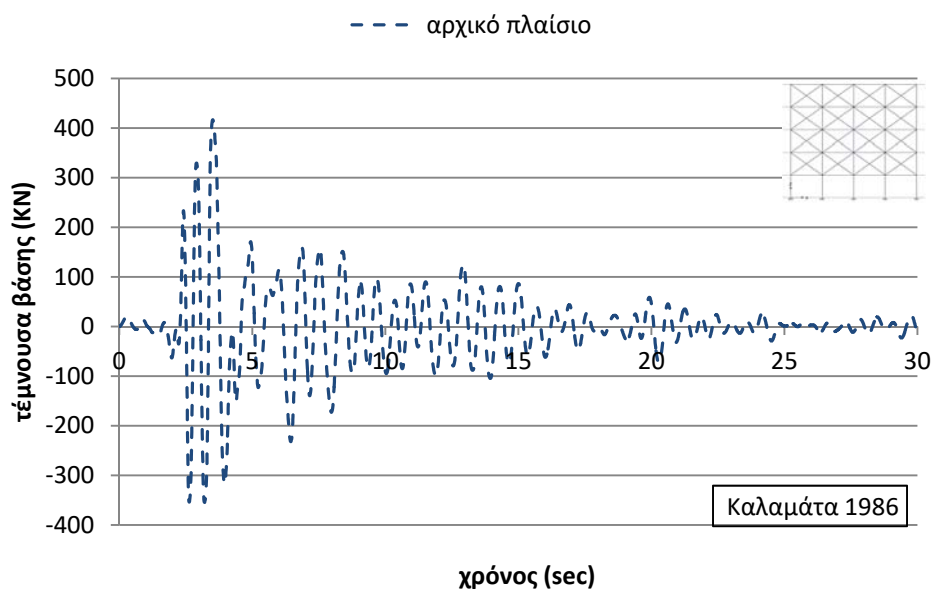
Από τα ανωτέρω σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, συμπεραίνεται και πάλι πως, η εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων δεν διαφοροποιεί τη συνολική σεισμική συμπεριφορά του πλαισίου, καθώς δεν μεταβάλλονται οι στροφικές παραμορφώσεις των εξεταζόμενων κόμβων μεταξύ του αρχικού πλαισίου και του πλαισίου με τους κόμβους. Επιπλέον, παρατηρώντας το Σχήμα 6.35 και το Σχήμα 6.44 με την εικόνα των αναπτυσσόμενων κάθε φορά πλαστικών αρθρώσεων κατά τη σεισμική διέγερση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας, βλέπουμε πως και στις δύο περιπτώσεις – δηλαδή χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων – οι βλάβες περιορίζονται στις δύο πρώτες στάθμες και ιδιαίτερα στους εξωτερικούς κόμβους. Παρόλα αυτά, γίνεται απολύτως σαφές πως, στην περίπτωση εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης, διαφοροποιείται σημαντικά το είδος των αστοχιών για τους εξωτερικούς κόμβους στους οποίους δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – με αποτέλεσμα οι κόμβοι αυτοί να αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.

Συμπερασματικά, από τα ανωτέρω συγκριτικά διαγράμματα και σχήματα, προκύπτει πως όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), διαφοροποιείται σημαντικά μόνο το είδος των τοπικών αστοχιών και όχι το πλήθος και η θέση τους, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο στους εξωτερικούς κόμβους να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα πως, στην

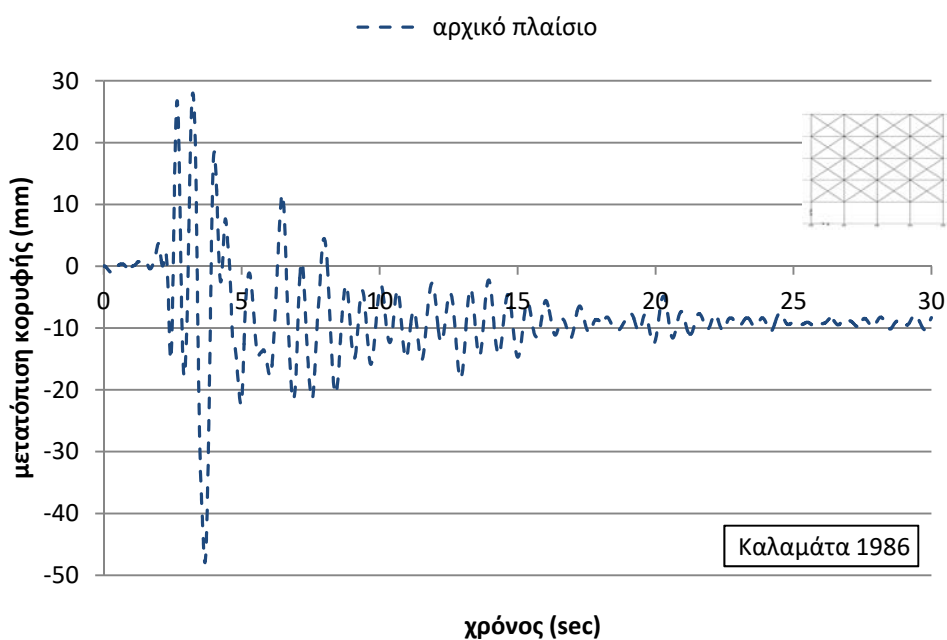
περίπτωση του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις, προσδίδεται στο πλαίσιο αρκετή πρόσθετη ακαμψία ικανή να υπερκαλύψει την όποια αρνητική επίδραση της συμπεριφοράς των κόμβων στην καθολική αντοχή του πλαισίου.

6.2.7 Αρχικό πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο

Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας που πραγματοποιήθηκε στο αρχικό πλαίσιο (χωρίς τη μοντελοποίηση των κόμβων) με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, προκύπτουν τα διαγράμματα μεταβολής της τέμνουσας βάσης και της μετατόπισης κορυφής του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (Σχήμα 6.59 & Σχήμα 6.60).

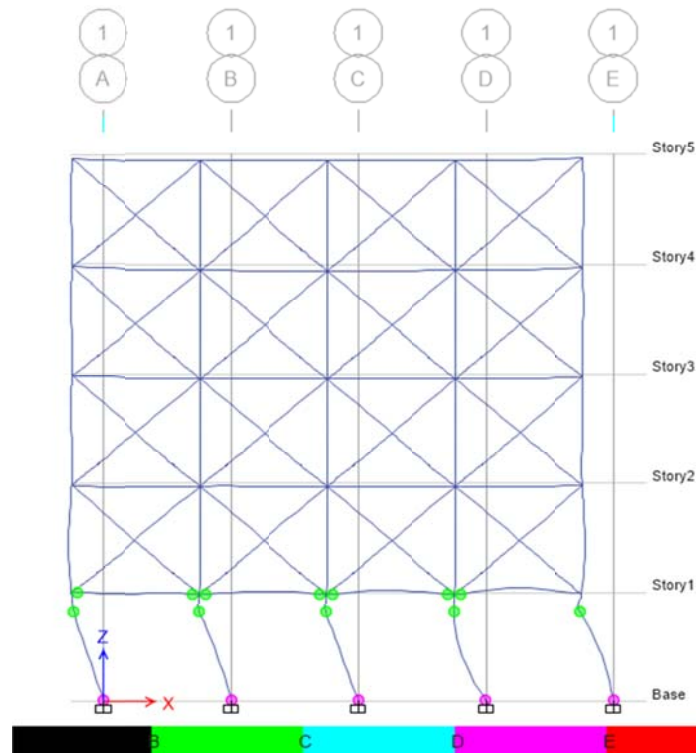


Σχήμα 6.59. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 6.60. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (αρχικό πλαίσιο)

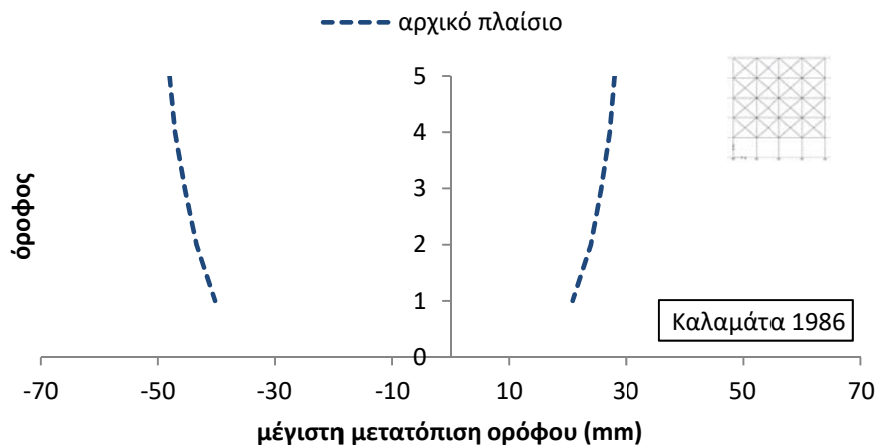
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.61).



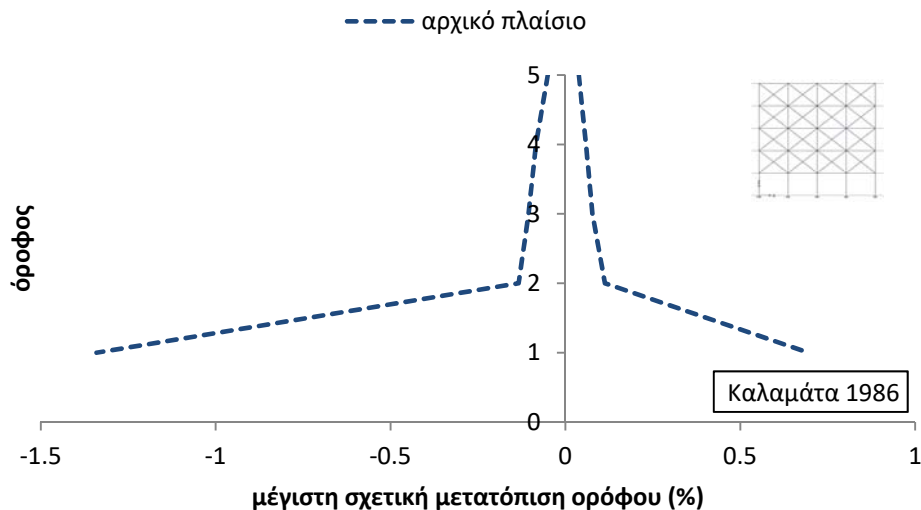
Σχήμα 6.61. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.61 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε όλα σχεδόν τα άκρα των δοκών της πρώτης στάθμης, καθώς και στη βάση και την κορυφή όλων των υποστυλωμάτων ισογείου.

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.62) και η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.63), όπως προέκυψαν από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας.



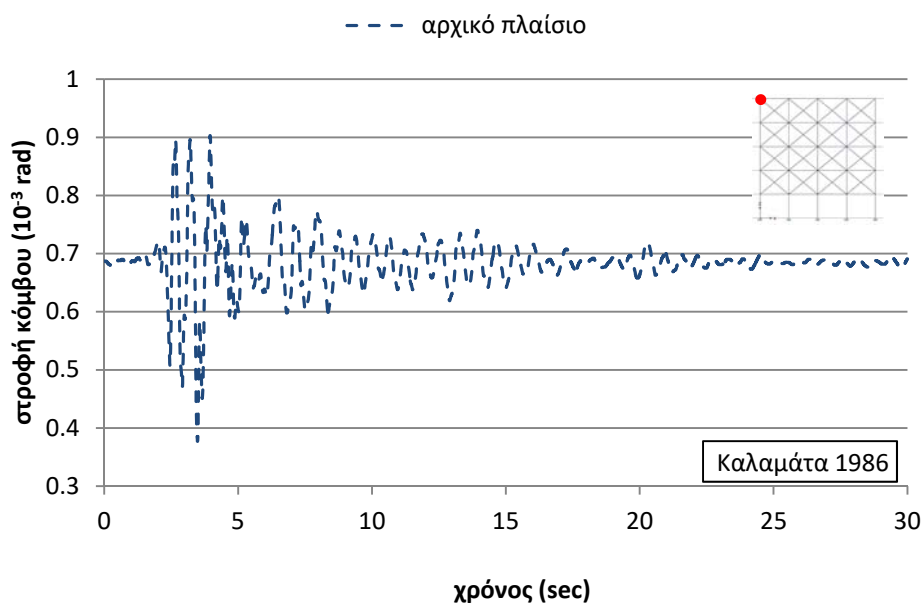
Σχήμα 6.62. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)



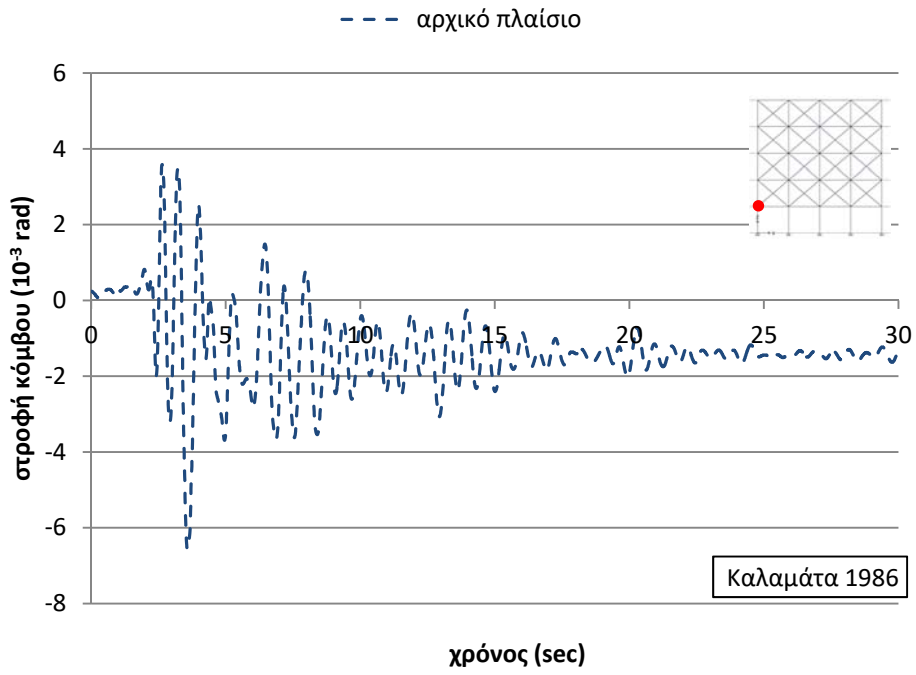
Σχήμα 6.63. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)

Από το ανωτέρω διάγραμμα (Σχήμα 6.63) παρατηρείται πως οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις παρατηρούνται στην πρώτη στάθμη (ισόγειο), με απότομη μείωση από τη δεύτερη στάθμη και άνω, γεγονός που δικαιολογεί την ανάπτυξη πληθώρας πλαστικών αρθρώσεων, άρα και βλαβών στα άκρα δοκών και υποστυλωμάτων, στην πρώτη στάθμη (Σχήμα 6.61).

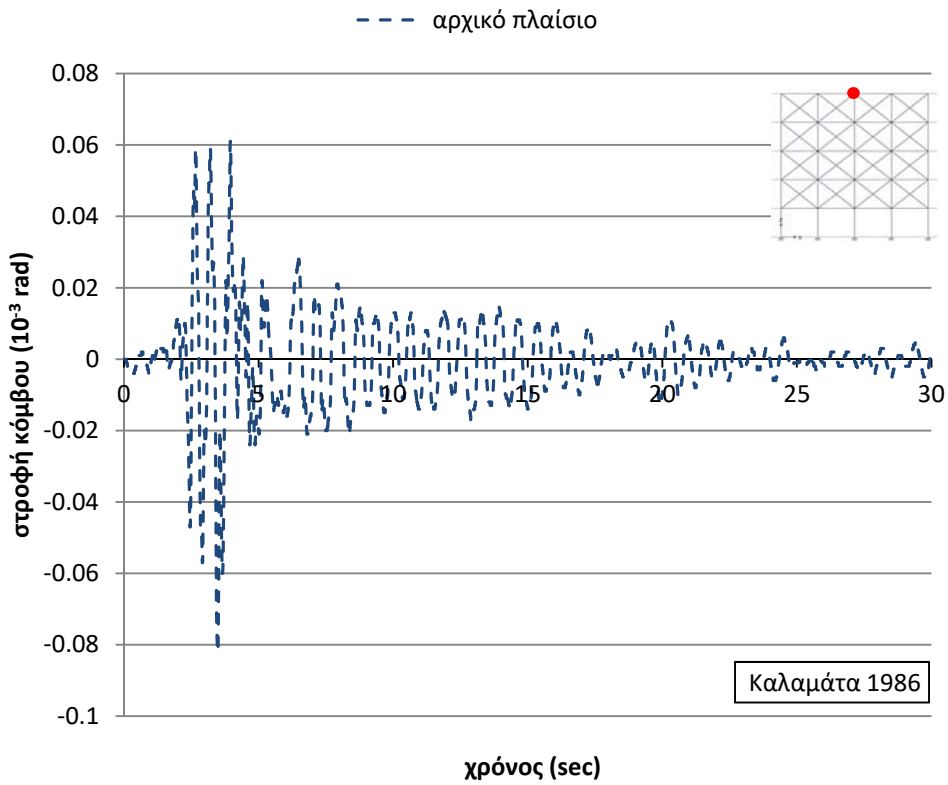
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3), από τα οποία προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη συμπεριφορά των κόμβων αυτών κατά τη σεισμική διέγερση με το επιλεγμένο επιταχυνσιογράφημα. Τα διαγράμματα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για σύγκριση με τα αντίστοιχα διαγράμματα του πλαισίου χωρίς το μοντέλο προσομοίωσης της συμπεριφοράς των κόμβων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.



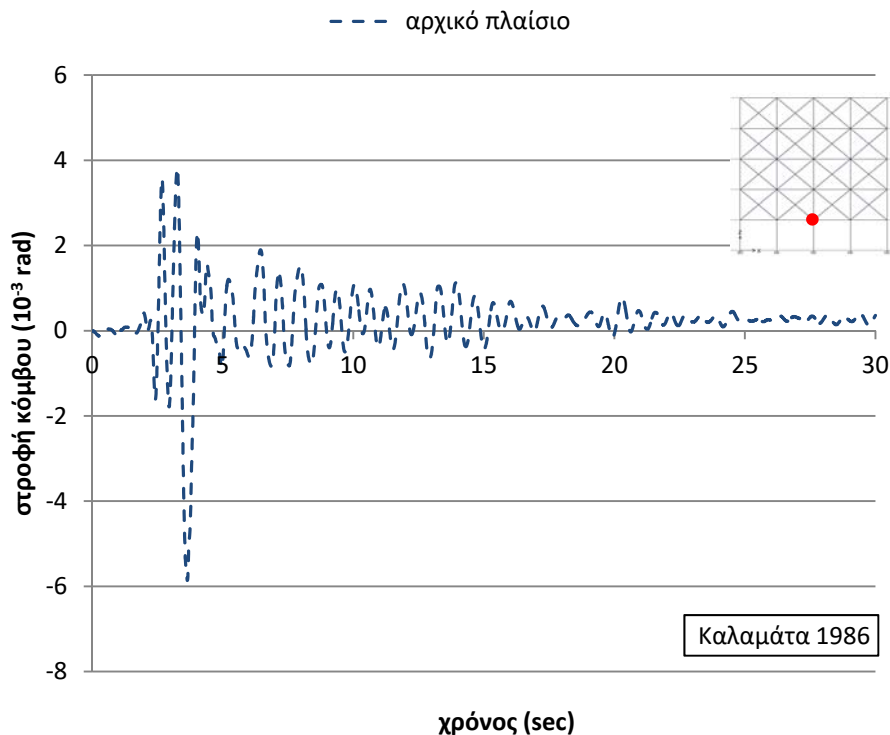
Σχήμα 6.64. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j1 (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 6.65. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j1 (αρχικό πλαίσιο)



Σχήμα 6.66. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j3 (αρχικό πλαίσιο)

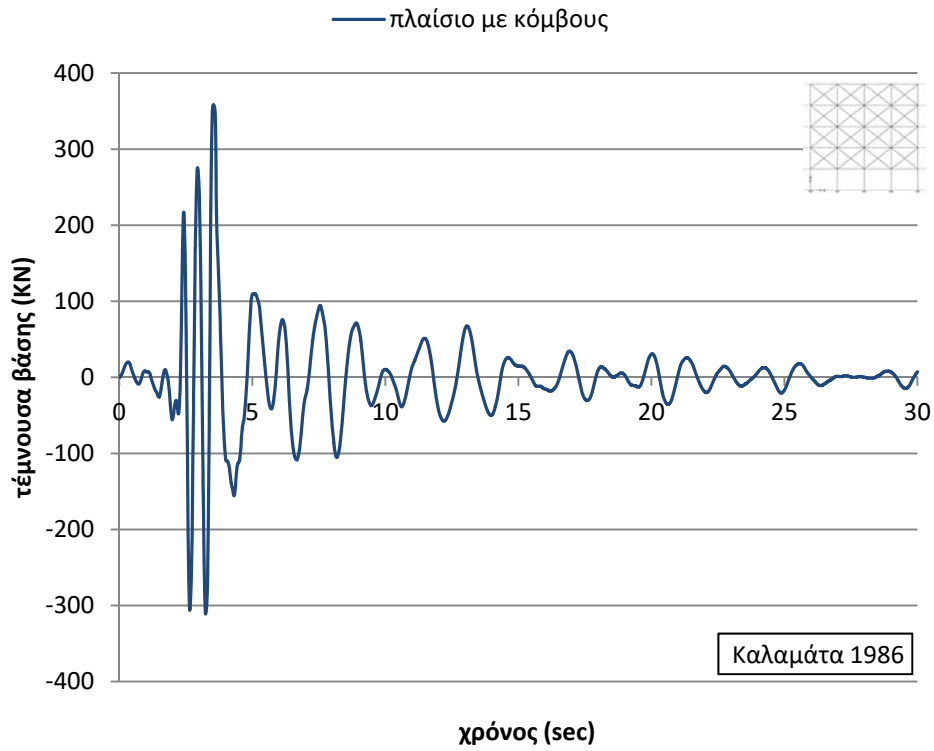


Σχήμα 6.67. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j3 (αρχικό πλαίσιο)

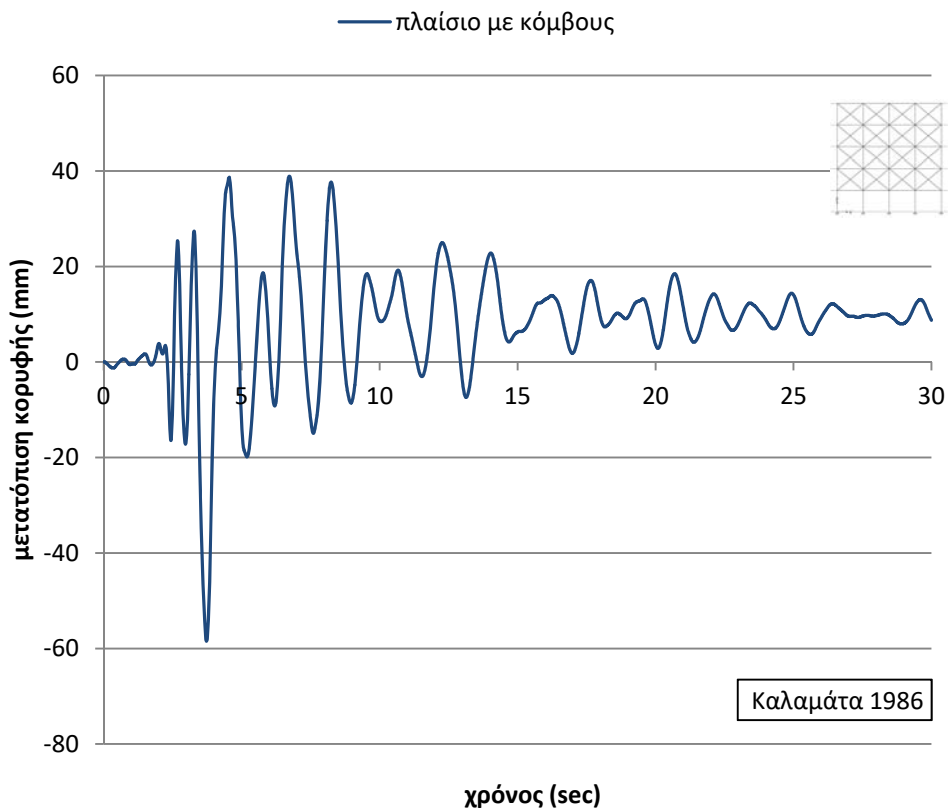
Από τα προηγούμενα σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, παρατηρείται πως οι κόμβοι st5j3 (Σχήμα 6.66) και st1j3 (Σχήμα 6.67) παρουσιάζουν πρακτικά μηδενική στροφή, ενώ οι κόμβοι st1j1 (Σχήμα 6.65) και st5j1 (Σχήμα 6.64) παρουσιάζουν μεγαλύτερες στροφικές παραμορφώσεις, με τον τελευταίο να εμφανίζει μεγάλη αρχική στροφική παραμόρφωση. Τα ανωτέρω δικαιολογούν την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα δοκών και υποστυλωμάτων στον ακραίο εξωτερικό κόμβο της πρώτης στάθμης (Σχήμα 6.61).

6.2.8 Πλαίσιο με μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο

Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, προκύπτουν τα διαγράμματα μεταβολής της τέμνουσας βάσης και της μετατόπισης κορυφής του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (Σχήμα 6.68 & Σχήμα 6.69).

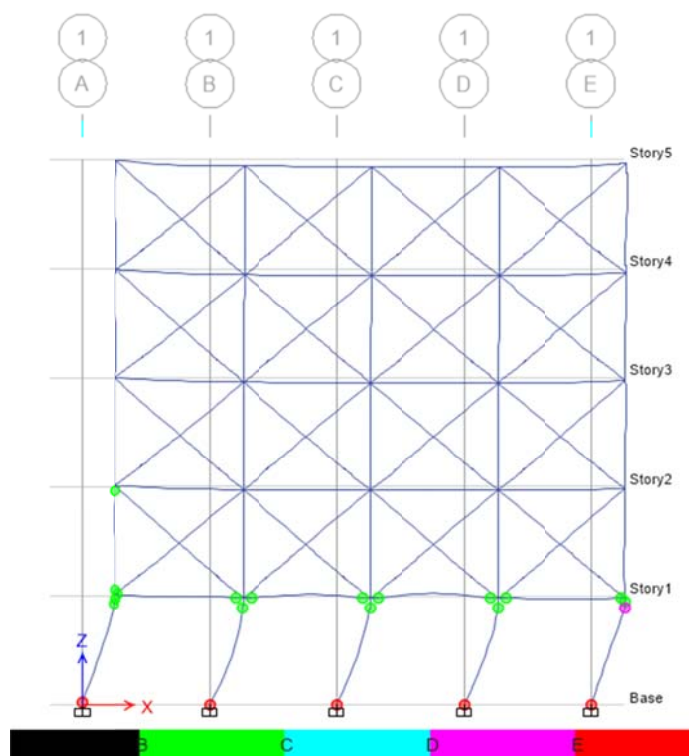


Σχήμα 6.68. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)



Σχήμα 6.69. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

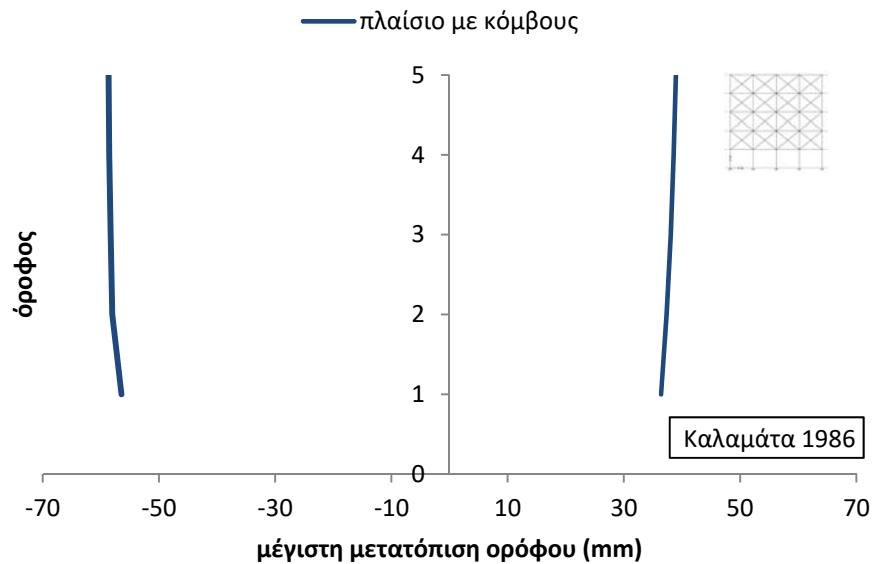
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.70).



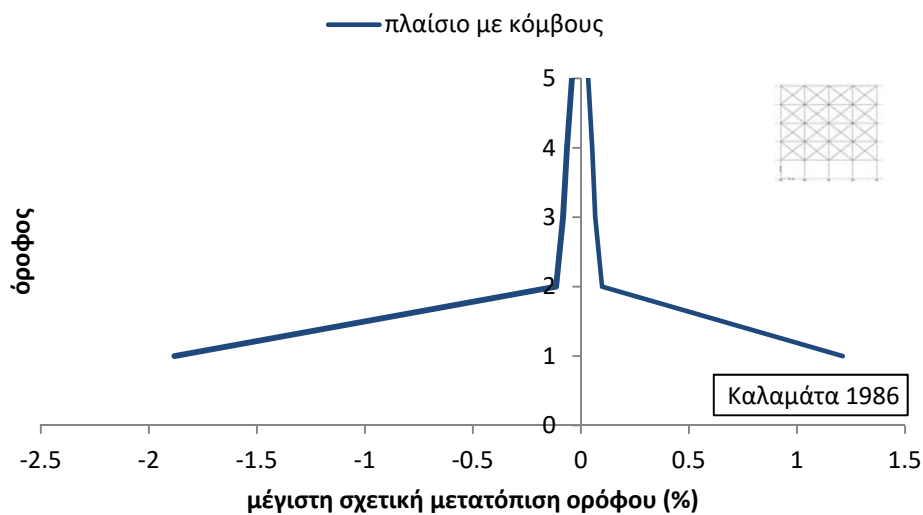
Σχήμα 6.70. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.70 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των δοκών όλων των εσωτερικών κόμβων της πρώτης στάθμης, εκτός των ακραίων εξωτερικών δοκών, καθώς και στη βάση και την κορυφή όλων των υποστυλωμάτων της πρώτης στάθμης. Αντίθετα, στους ακραίους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου στην πρώτη στάθμη δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέγιστη μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.71) και η μέγιστη σχετική μετακίνηση των ορόφων (Σχήμα 6.72), όπως προέκυψαν από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Καλαμάτας.



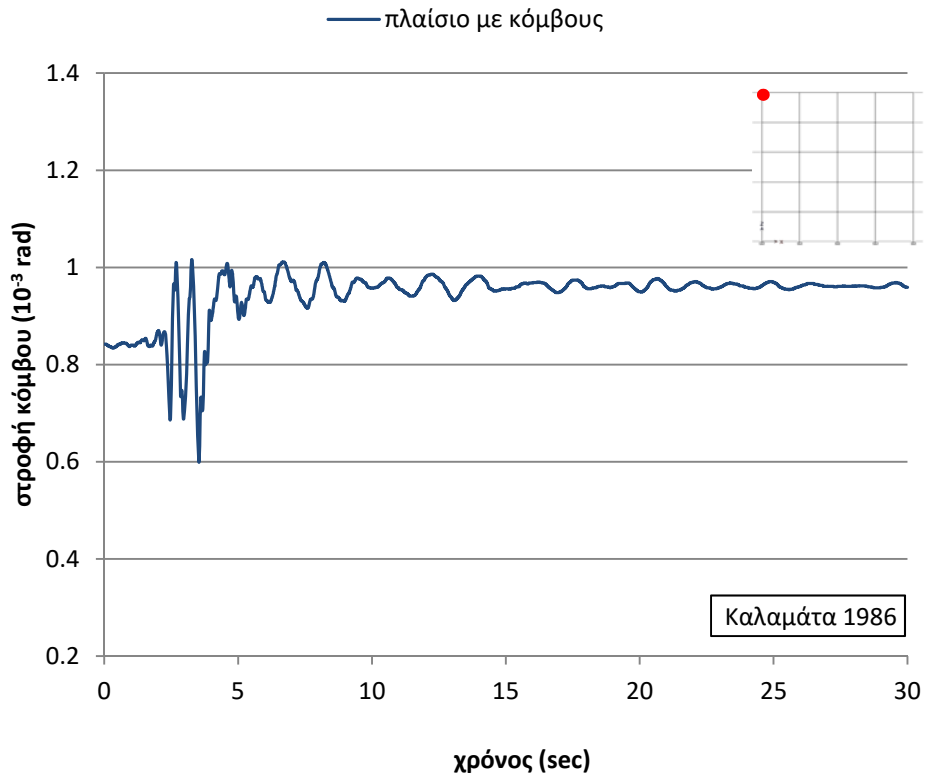
Σχήμα 6.71. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)



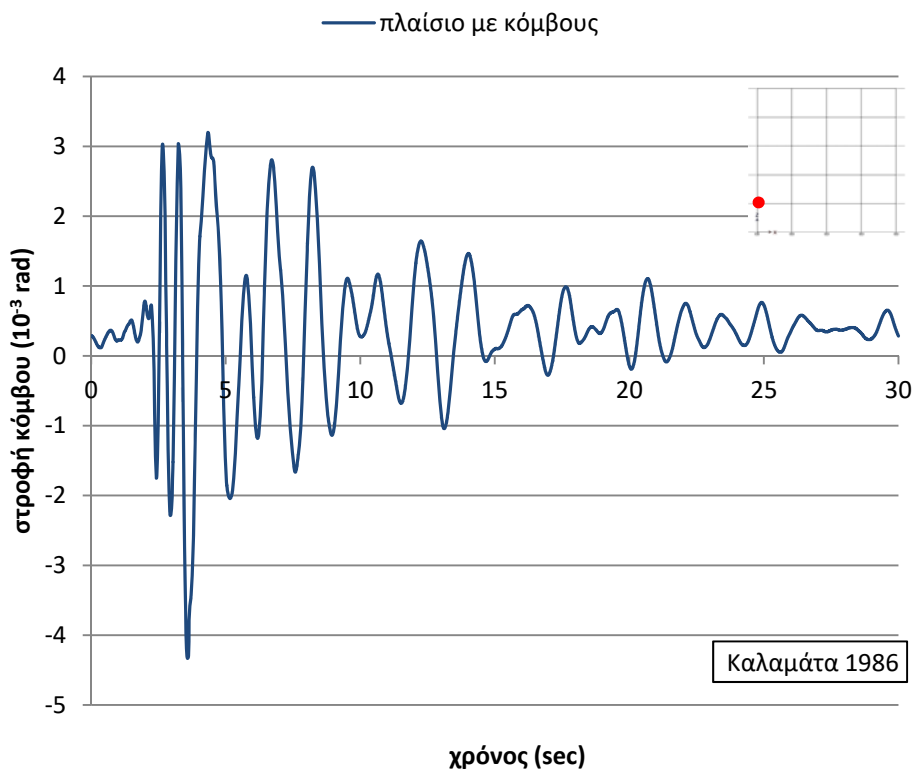
Σχήμα 6.72. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Από το ανωτέρω διάγραμμα (Σχήμα 6.72) παρατηρείται πως οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις παρατηρούνται στην πρώτη στάθμη (ισόγειο), με απότομη μείωση από τη δεύτερη στάθμη και άνω, γεγονός που δικαιολογεί την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων, άρα και βλαβών στα άκρα δοκών, υποστυλωμάτων και στο σώμα των εξωτερικών κόμβων στην πρώτη στάθμη (Σχήμα 6.70).

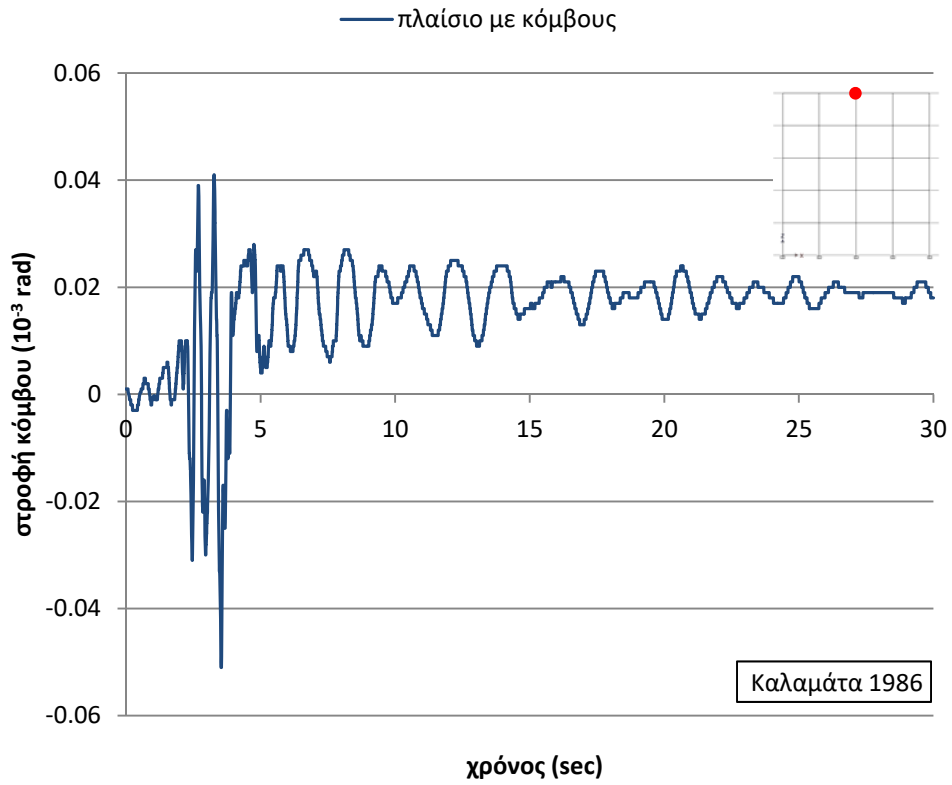
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3), από τα οποία προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη συμπεριφορά των κόμβων αυτών κατά τη σεισμική διέγερση με το επιλεγμένο επιταχυνσιογράφημα. Τα διαγράμματα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για σύγκριση με τα αντίστοιχα διαγράμματα του πλαισίου χωρίς το μοντέλο προσομοίωσης της συμπεριφοράς των κόμβων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.



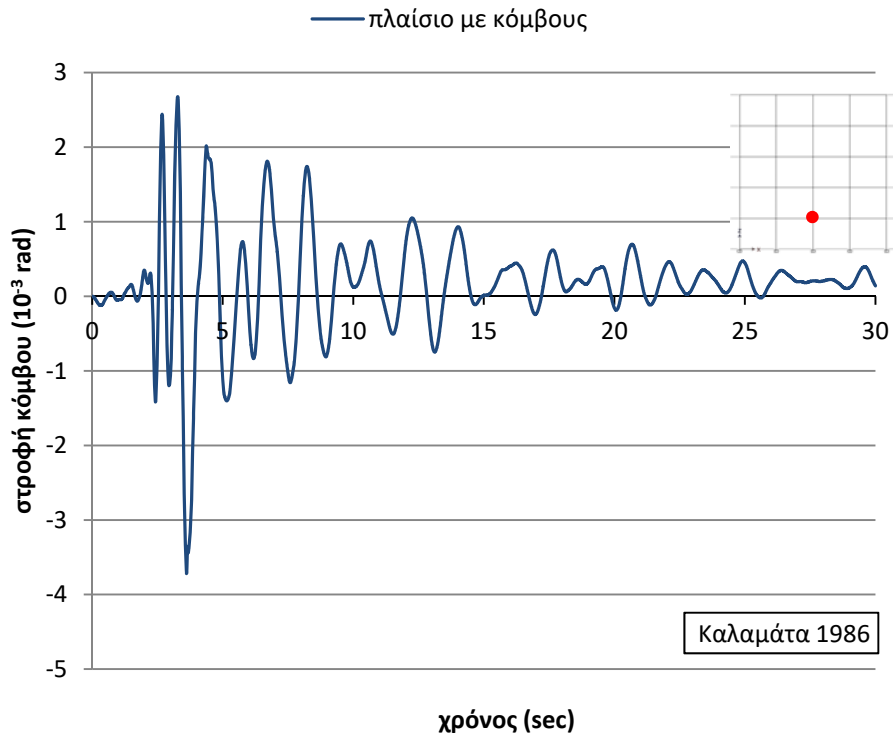
Σχήμα 6.73. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου *st5j1* (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)



Σχήμα 6.74. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου *st1j1* (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)



Σχήμα 6.75. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου *st5j3* (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

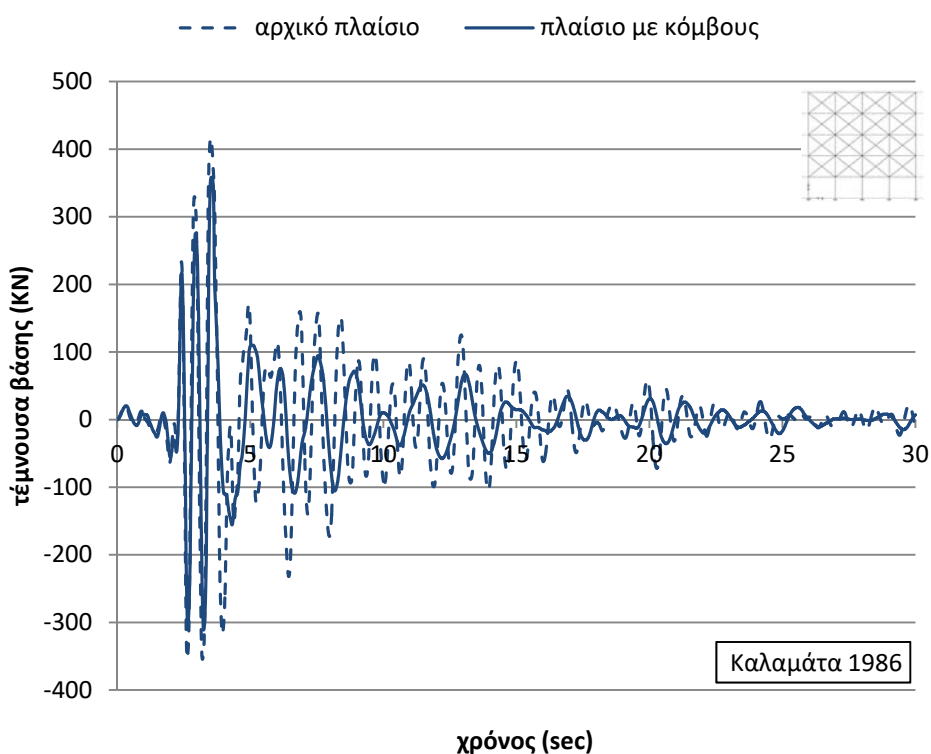


Σχήμα 6.76. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου *st1j3* (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

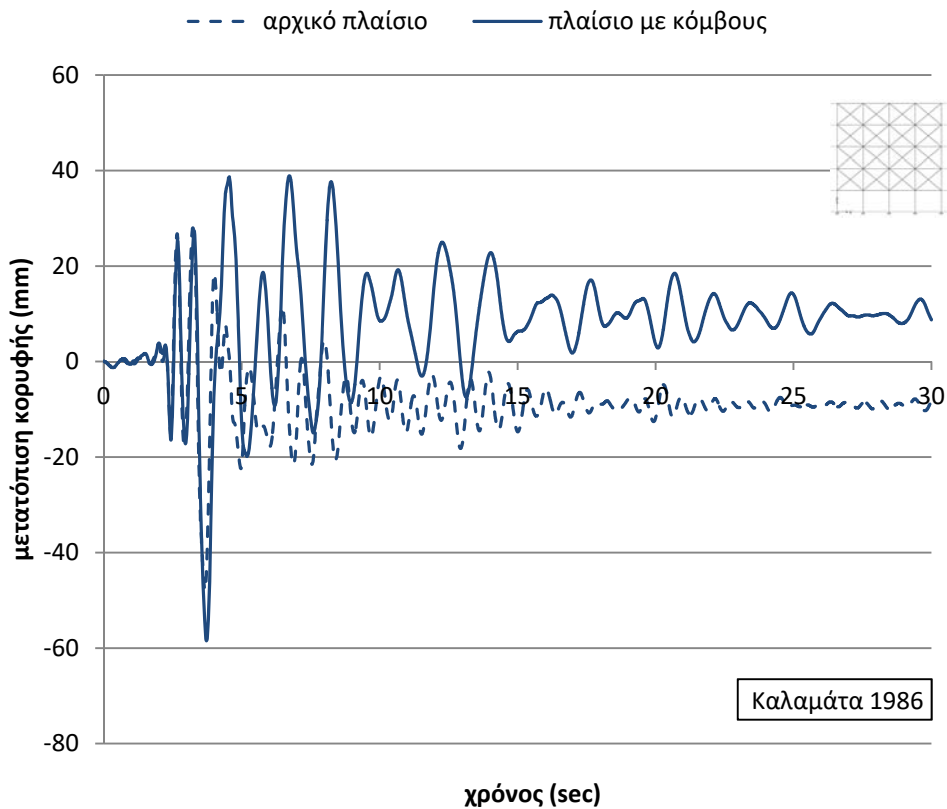
Από τα προηγούμενα σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, παρατηρείται πως οι κόμβοι st5j3 (Σχήμα 6.75) και st1j3 (Σχήμα 6.76) παρουσιάζουν πρακτικά μηδενική στροφή, ενώ οι κόμβοι st1j1 (Σχήμα 6.74) και st5j1 (Σχήμα 6.73) παρουσιάζουν μεγαλύτερες στροφικές παραμορφώσεις, με τον τελευταίο να εμφανίζει μεγάλη αρχική στροφική παραμόρφωση. Τα ανωτέρω δικαιολογούν το γεγονός πως στους εξωτερικούς κόμβους της πρώτης στάθμης αναπτύσσονται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων, ενώ στους εσωτερικούς κόμβους της πρώτης στάθμης αστοχούν τα άκρα των δοκών και των υποστυλωμάτων (Σχήμα 6.70).

6.2.9 Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό της Καλαμάτας για το πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο

Προκειμένου να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων του πλαισίου με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο (χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων) για το σεισμό της Καλαμάτας, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω γραφήματα.

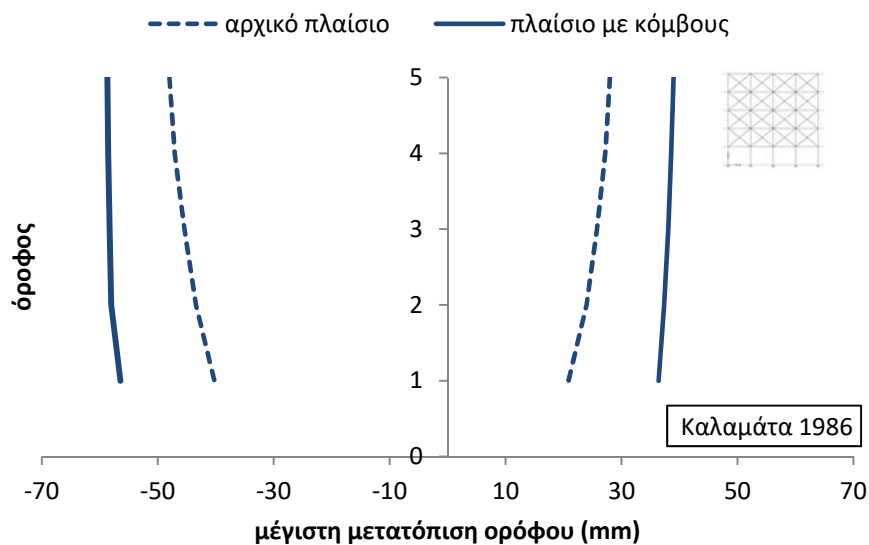


Σχήμα 6.77. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης

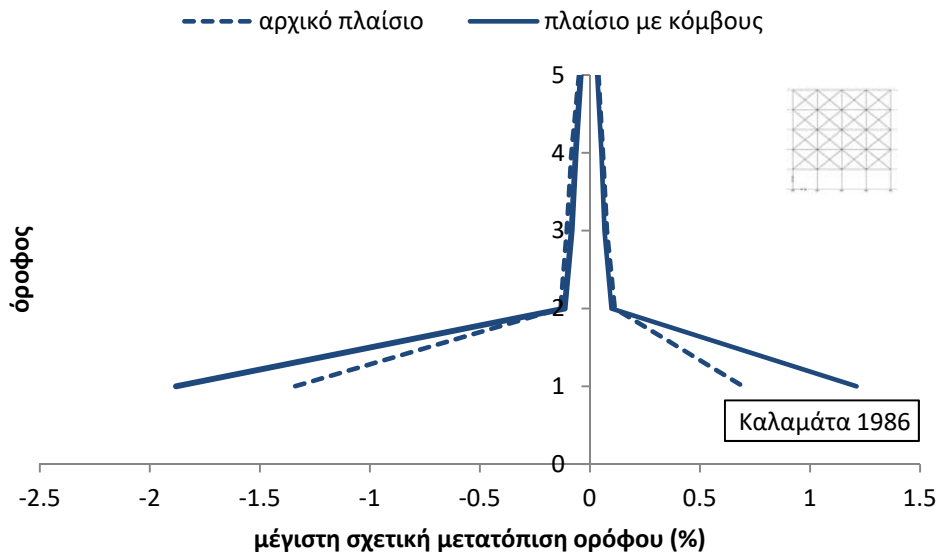


Σχήμα 6.78. Συγκριτικό διάγραμμα χρονιοϊστορίας μετατόπισης κορυφής

Από τα συγκριτικά διαγράμματα της τέμνουσας βάσης (Σχήμα 6.77) και της μετατόπισης κορυφής (Σχήμα 6.78) σε συνάρτηση με το χρόνο, εξάγεται το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου, παρατηρούνται μεγαλύτερες μετατοπίσεις στην κορυφή του πλαισίου καθώς και μεγαλύτερη κατ' απόλυτη τιμή παραμένουσας παραμόρφωσης, περίξ της οποίας πραγματοποιείται η ταλάντωση του πλαισίου (Σχήμα 6.78).

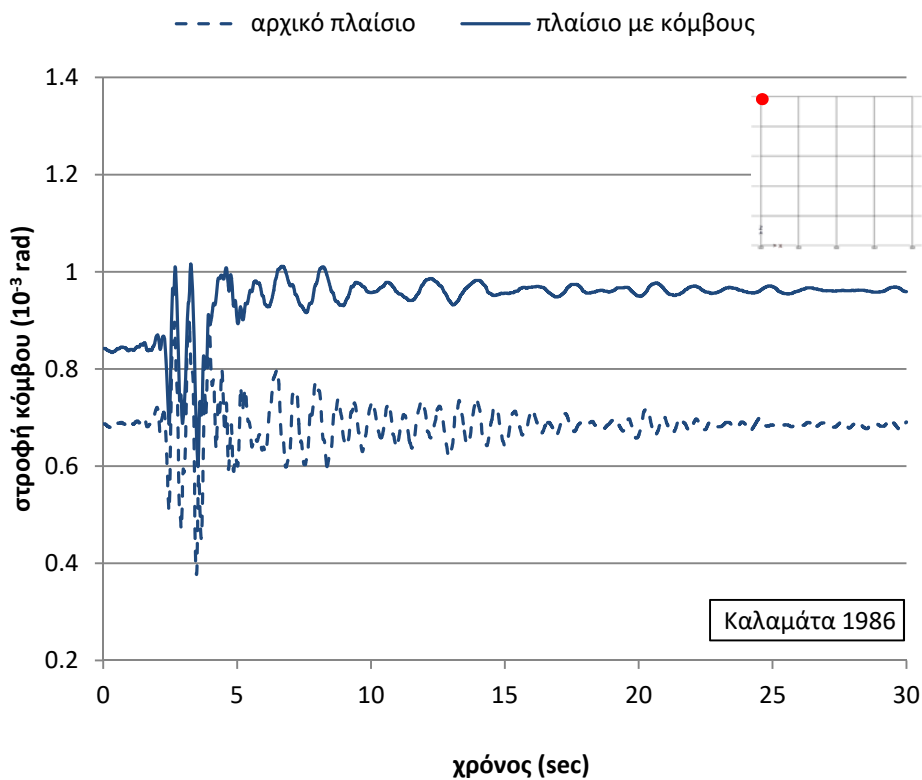


Σχήμα 6.79. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων

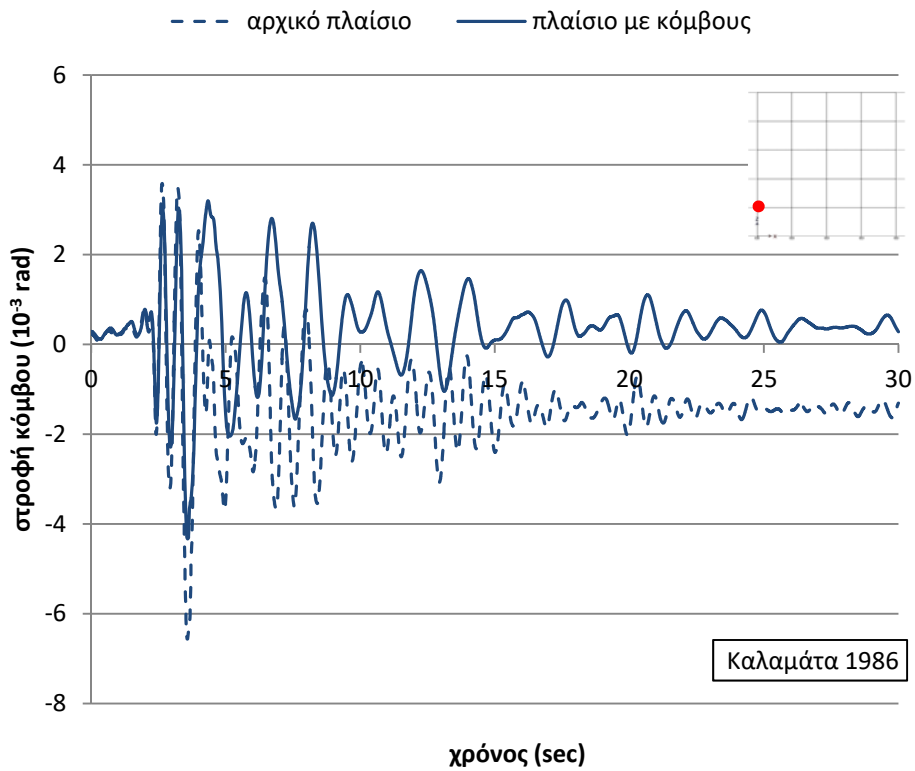


Σχήμα 6.80. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων

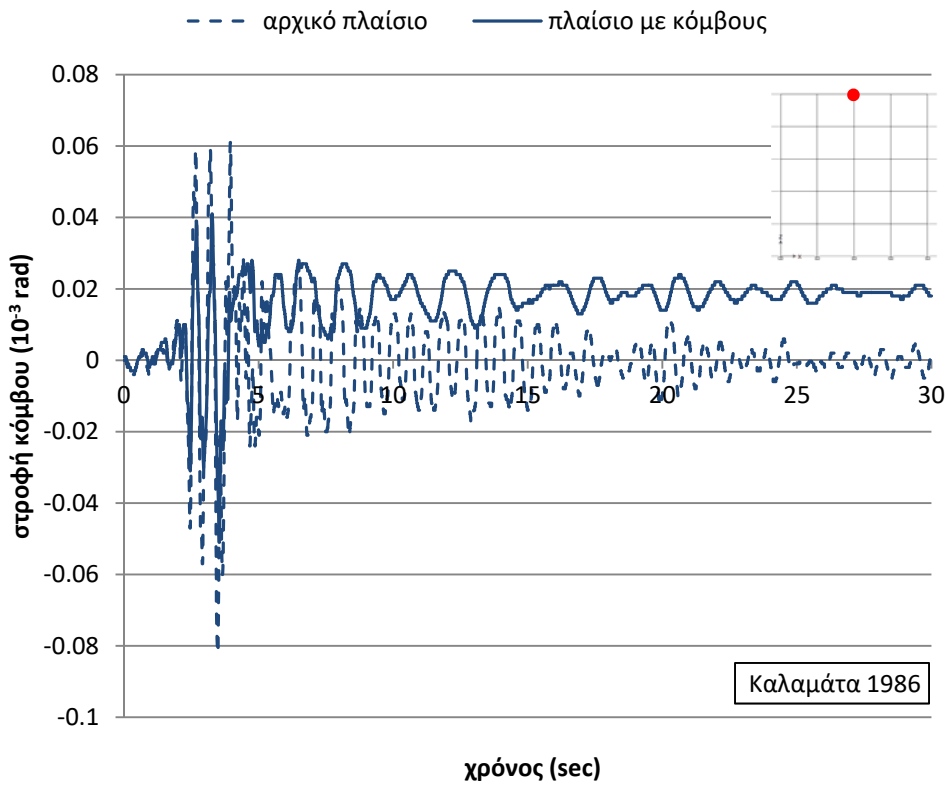
Από τα προηγούμενα συγκριτικά διαγράμματα των μέγιστων (Σχήμα 6.79) και των σχετικών μέγιστων (Σχήμα 6.80) μετατοπίσεων ορόφων, συμπεραίνεται πως με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρούνται μεγαλύτερες μετακινήσεις και μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις στην πρώτη στάθμη με απότομη μείωση στις υπερκείμενες στάθμες, γεγονός που δικαιολογεί και την εκτεταμένη ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων σε όλα τα στοιχεία (δοκούς, υποστυλώματα και κόμβοι) του ισογείου (Σχήμα 6.70).



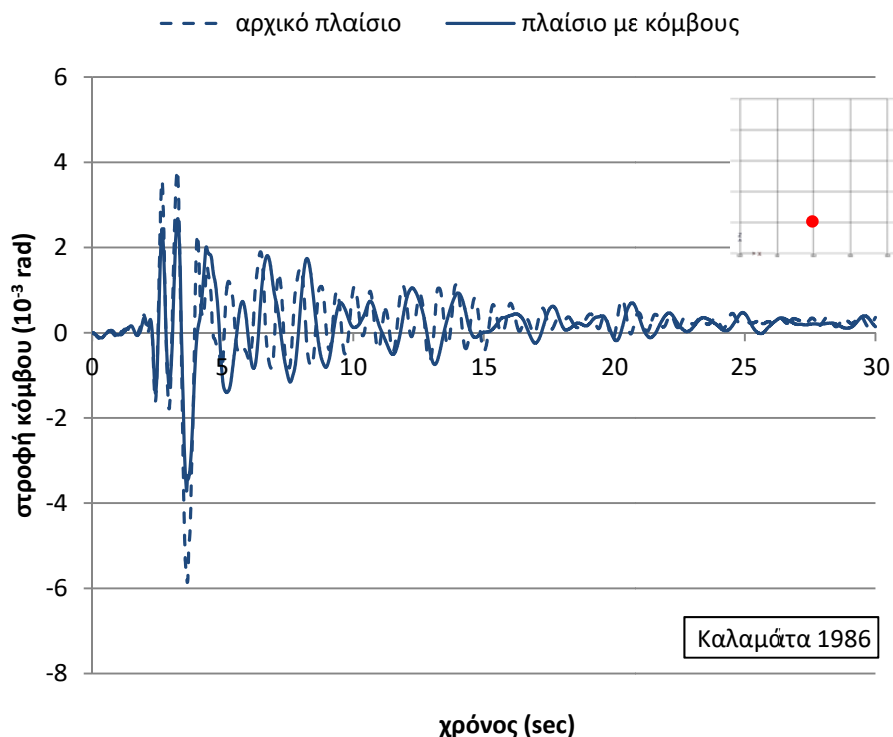
Σχήμα 6.81. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1



Σχήμα 6.82. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου $st1j1$



Σχήμα 6.83. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου $st5j3$



Σχήμα 6.84. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3

Από τα ανωτέρω σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, συμπεραίνεται πως στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματικά ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης, οι κόμβοι st5j1 (Σχήμα 6.81) και st5j3 (Σχήμα 6.83) παρουσιάζουν μεγαλύτερες στροφές σε σχέση με το αρχικό μοντέλο χωρίς την μοντελοποίηση των κόμβων, καθώς και μεγαλύτερη παραμένουσα στροφική παραμόρφωση. Ο κόμβος st1j3 (Σχήμα 6.84) παρουσιάζει πρακτικά την ίδια στροφική συμπεριφορά, ενώ ο κόμβος st1j1 (Σχήμα 6.82) παρουσιάζει μεγαλύτερες στροφές στο αρχικό πλαίσιο (χωρίς το μοντέλο των κόμβων), πιθανώς λόγω δημιουργίας τοπικού μηχανισμού στο ακραίο υποστύλωμα της πρώτης και δεύτερης στάθμης στην περίπτωση του πλαισίου με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων (Σχήμα 6.70).

Συμπερασματικά, από τα ανωτέρω συγκριτικά διαγράμματα και σχήματα, προκύπτει πως όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), διαφοροποιείται σημαντικά το είδος των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

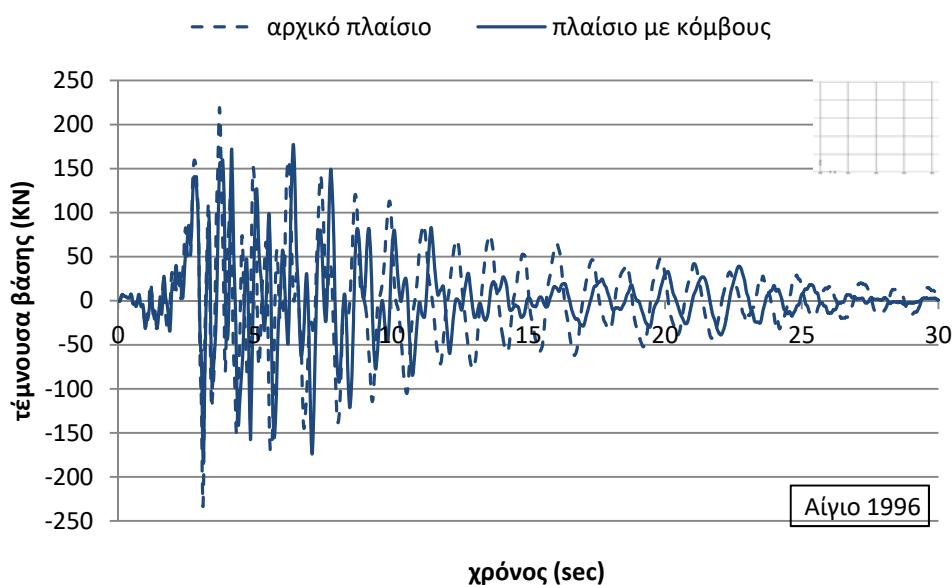
6.3 Δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις με το σεισμό του

Προκειμένου να διερευνηθεί περαιτέρω η επιρροή των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα πραγματοποιήθηκαν δυναμικές αναλύσεις και με το σεισμό του Αιγίου. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι ίδια με αυτή τις προηγούμενης ενότητας, ενώ για χάρη συντομίας, στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζονται

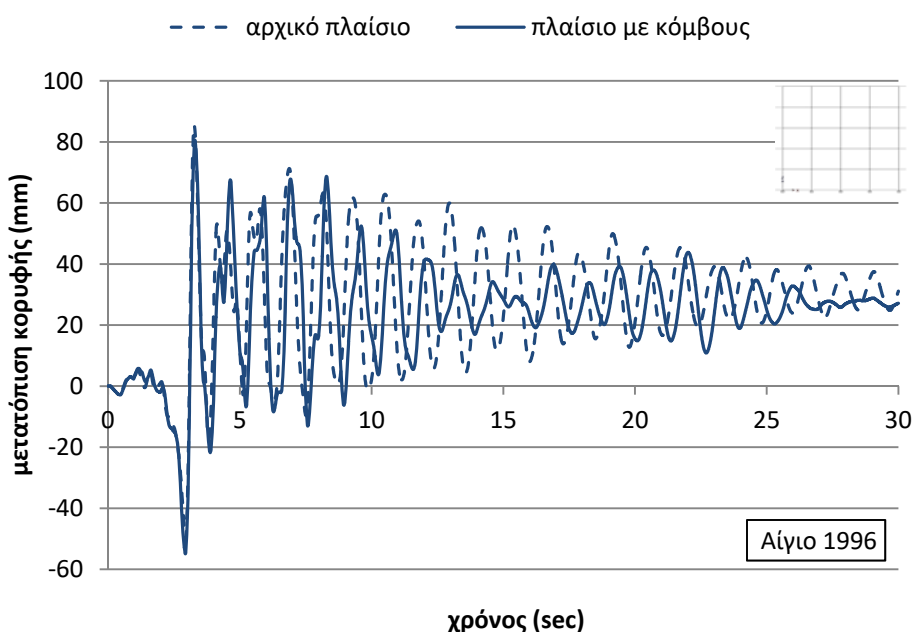
αναλυτικά μόνο τα συγκριτικά αποτελέσματα των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού του Αιγίου στις τρεις εκδοχές του εξεταζόμενου πλαισίου, με και χωρίς το προσομοίωμα των κόμβων.

6.3.1 Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Αιγίου για το πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις

Προκειμένου να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων του πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις (χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων) για το σεισμό του Αιγίου, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω γραφήματα.



Σχήμα 6.85. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης

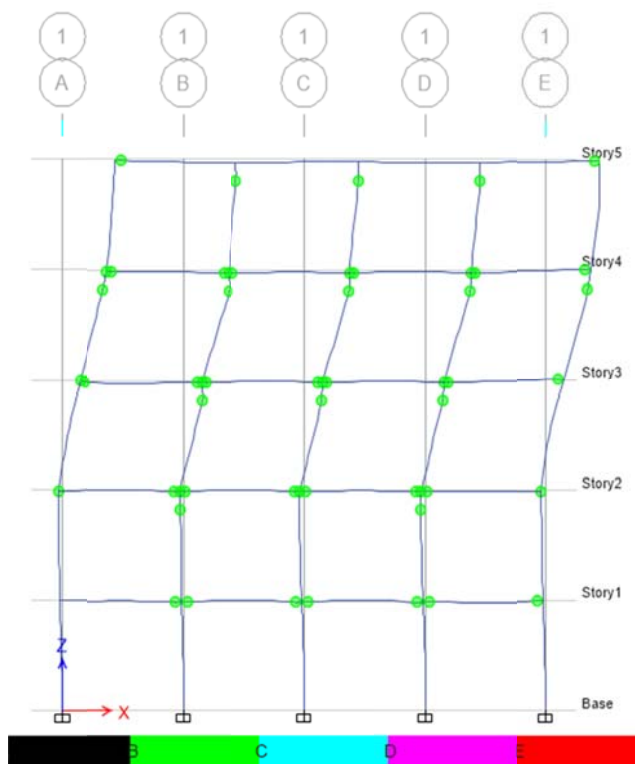


Σχήμα 6.86. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής

Από τα συγκριτικά διαγράμματα της τέμνουσας βάσης (Σχήμα 6.85) και της μετατόπισης κορυφής (Σχήμα 6.86) σε συνάρτηση με το χρόνο, παρατηρείται πως, στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου, παρατηρούνται μικρότερες μετατοπίσεις στην κορυφή του πλαισίου καθώς και περίπου ίση κατ' απόλυτη τιμή παραμένουσας παραμόρφωσης, περίξ της οποίας πραγματοποιείται η ταλάντωση του πλαισίου (Σχήμα 6.86).

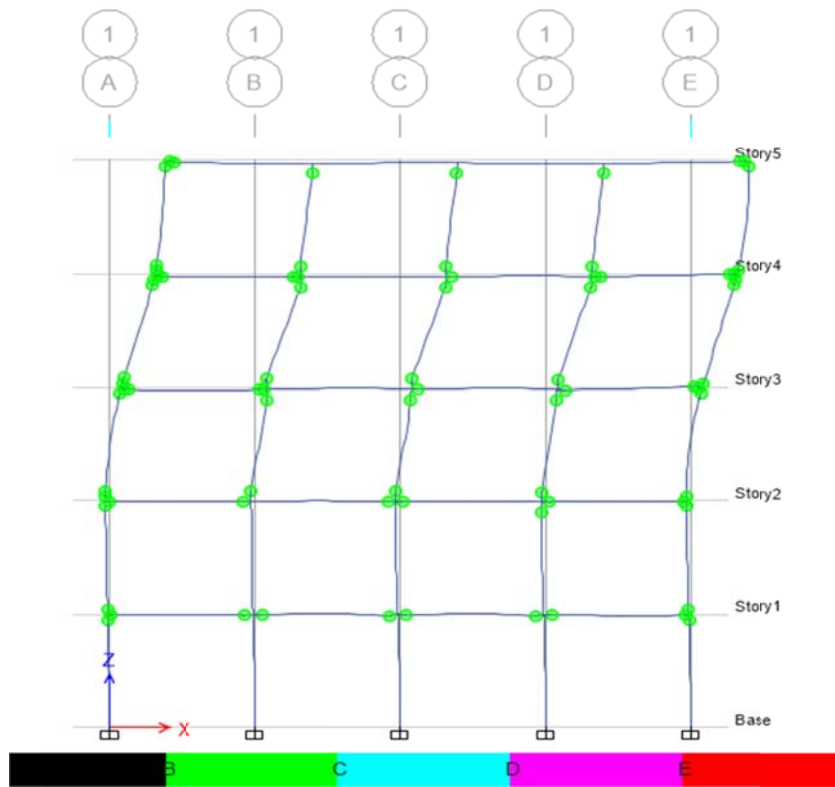
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.87).

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.87 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε όλα σχεδόν τα άκρα των δοκών μέχρι και την τέταρτη στάθμη, στα εξωτερικά άκρα των ακραίων δοκών της τρίτης, τέταρτης και πέμπτης στάθμης, στη βάση των ακραίων υποστυλωμάτων της τρίτης και τέταρτης στάθμης, καθώς και στη βάση και την κορυφή όλων των μεσαίων υποστυλωμάτων (άξονες B έως και D) από τη δεύτερη μέχρι και την τελευταία στάθμη.



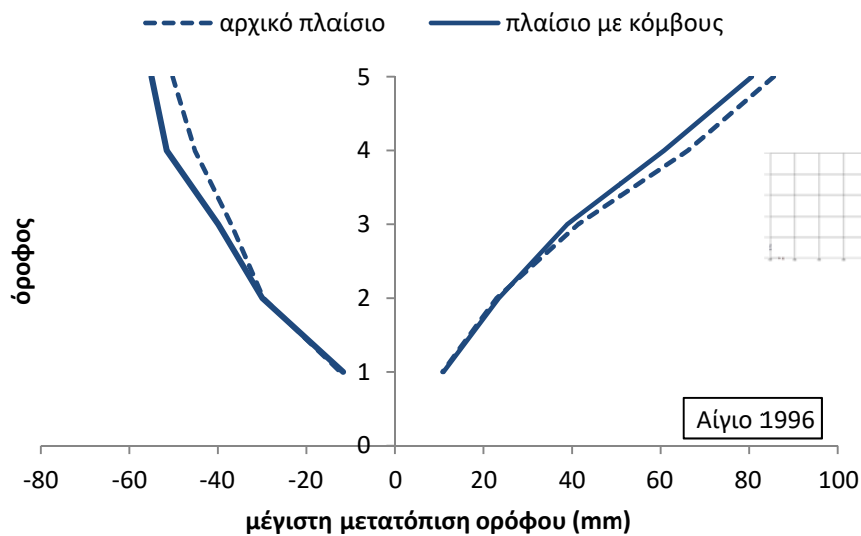
Σχήμα 6.87. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.88).

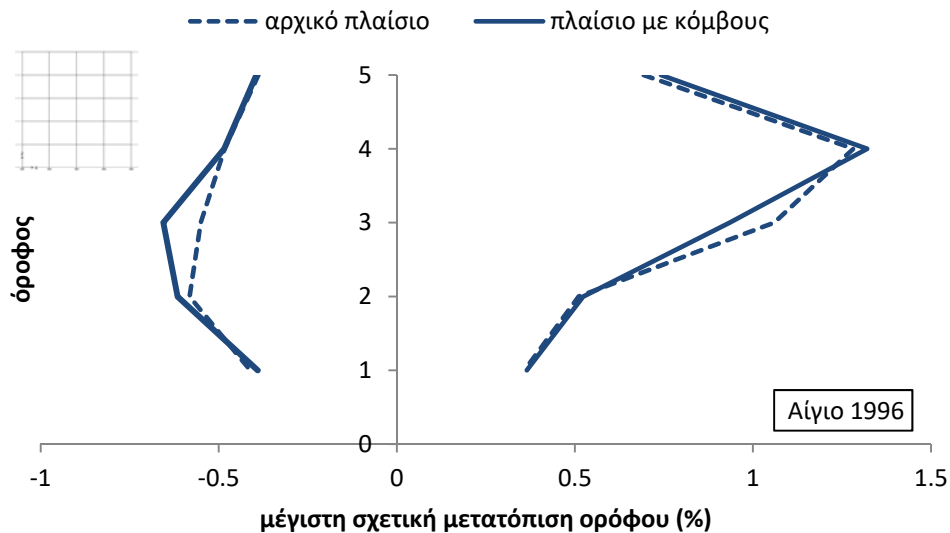


Σχήμα 6.88. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.88 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα περισσότερα άκρα δοκών και υποστυλωμάτων όλων των εσωτερικών κόμβων εκτός της πέμπτης στάθμης όπου αστοχούν μόνο οι κορυφές των τριών μεσαίων υποστυλωμάτων, καθώς και στο σώμα των κόμβων τρίτης και τέταρτης στάθμης στους άξονες B και D. Αντίθετα, σε όλους τους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.



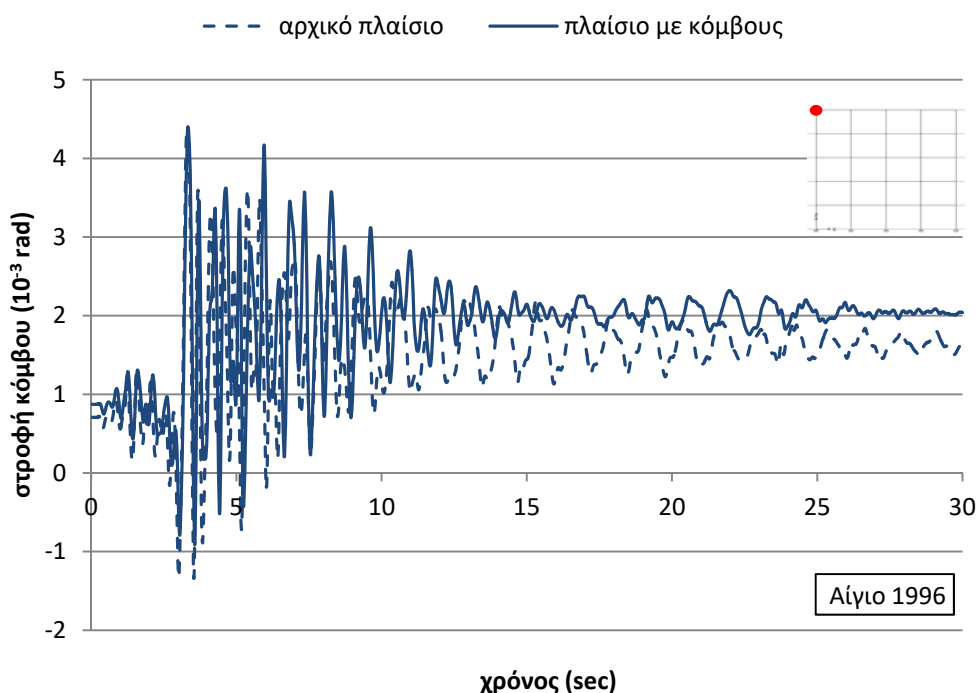
Σχήμα 6.89. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων



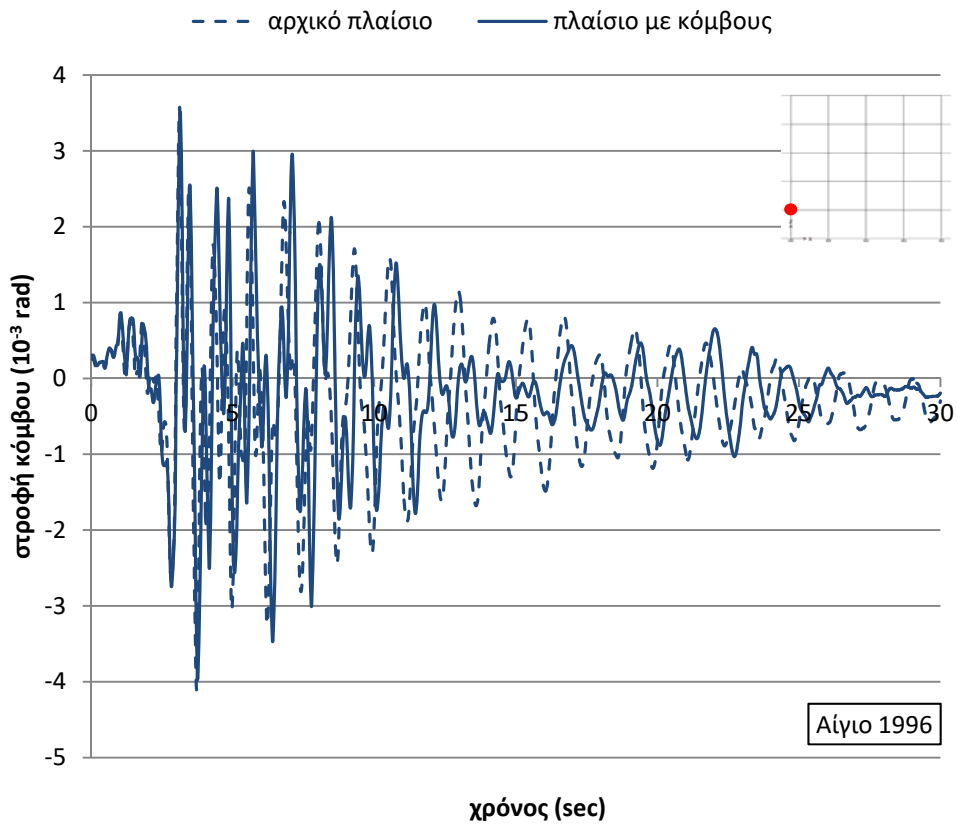
Σχήμα 6.90. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων

Από τα προηγούμενα συγκριτικά διαγράμματα των μέγιστων (Σχήμα 6.89) και των σχετικών μέγιστων (Σχήμα 6.90) μετατοπίσεων ορόφων, συμπεραίνεται πως με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρούνται εν γένει μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις, γεγονός που δικαιολογεί και την ανάπτυξη περισσότερων πλαστικών αρθρώσεων σε όλο τον φορέα (Σχήμα 6.88).

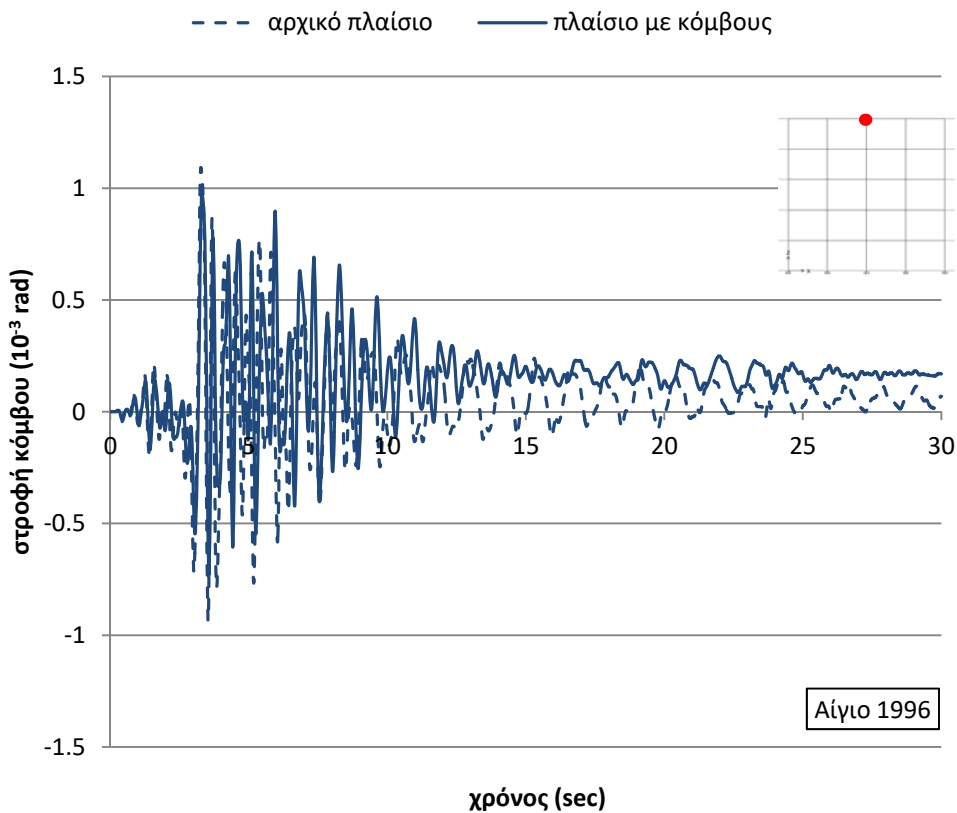
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3).



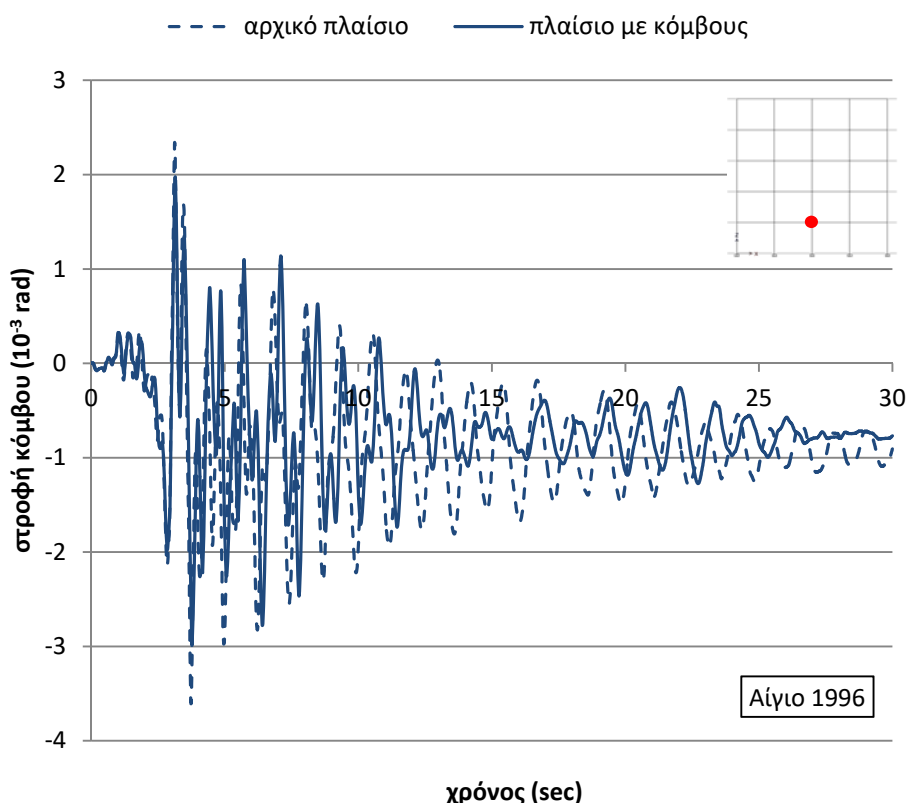
Σχήμα 6.91. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1



Σχήμα 6.92. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1



Σχήμα 6.93. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3



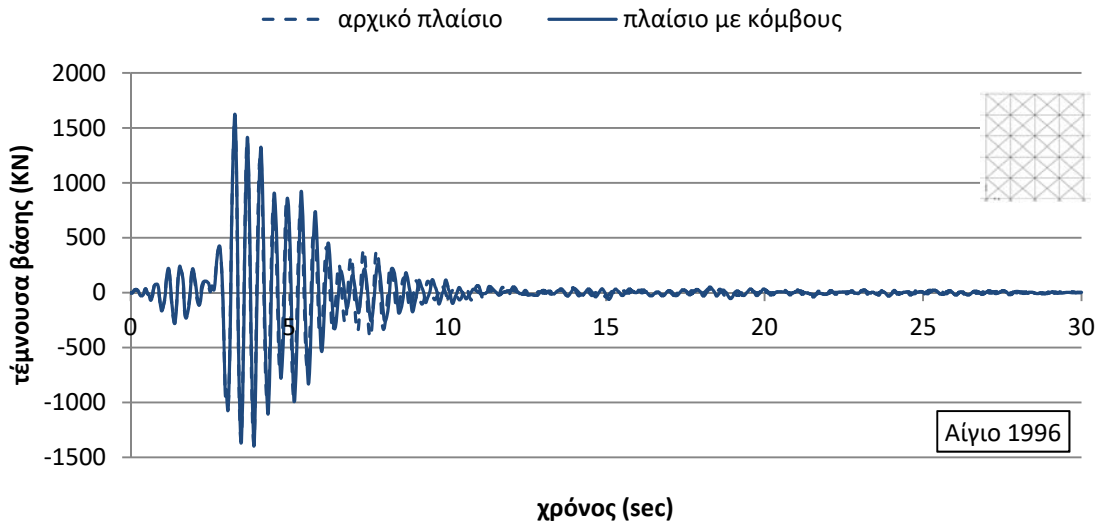
Σχήμα 6.94. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3

Από τα ανωτέρω σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, συμπεραίνεται πως στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματικά ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης, οι κόμβοι st5j1 (Σχήμα 6.91) και st5j3 (Σχήμα 6.93) παρουσιάζουν μεγαλύτερες στροφές σε σχέση με το αρχικό μοντέλο χωρίς την μοντελοποίηση των κόμβων, καθώς και μεγαλύτερη παραμένουσα στροφική παραμόρφωση, με μεγαλύτερη αυτή στον ακραίο εξωτερικό κόμβο της πέμπτης στάθμης. Αντίθετα, οι κόμβοι st1j1 (Σχήμα 6.92) και st1j3 (Σχήμα 6.94) παρουσιάζουν πρακτικά τις ίδιες στροφικές παραμορφώσεις και στις δύο περιπτώσεις, δικαιολογώντας σε μεγάλο βαθμό τις αναπτυσσόμενες κάθε φορά πλαστικές αρθρώσεις. Παρόλα αυτά, συγκρίνοντας την εικόνα των πλαστικών αρθρώσεων που αναπτύσσονται στο πλαίσιο χωρίς (Σχήμα 6.87) και με το μοντέλο προσομοίωσης (Σχήμα 6.88), εξάγεται το συμπέρασμα πως στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματική συμπεριφορά των κόμβων, διαφοροποιούνται αισθητά οι αναπτυσσόμενες πλαστικές αρθρώσεις, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

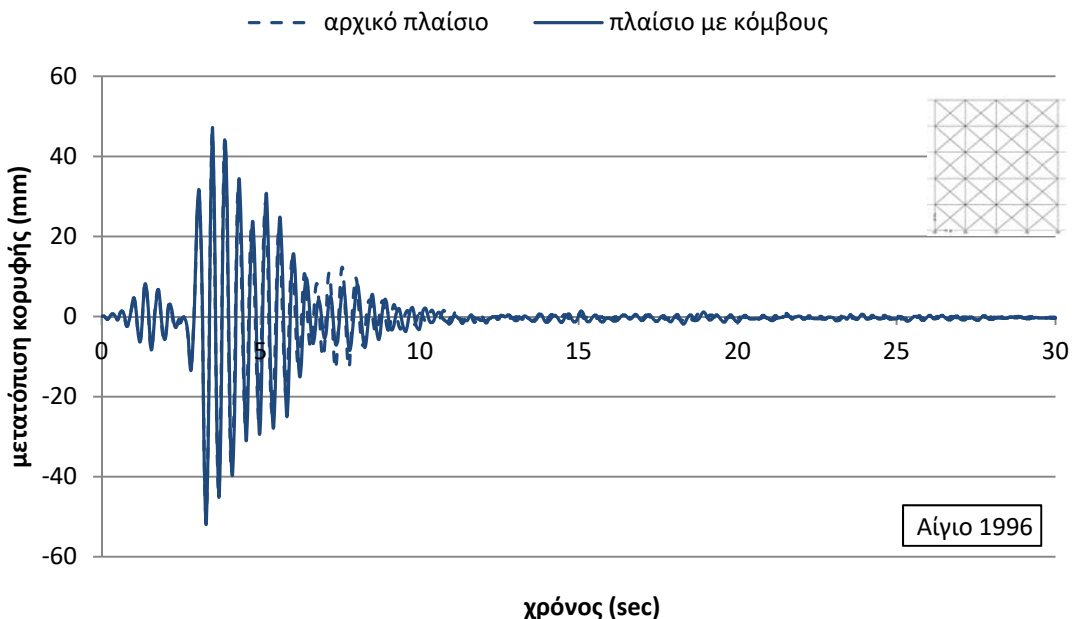
Συμπερασματικά, από τα ανωτέρω συγκριτικά διαγράμματα και σχήματα, προκύπτει πως όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), διαφοροποιείται σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους αλλά και σε ορισμένους εσωτερικούς κόμβους.

6.3.2 Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Αίγιου για το πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις

Προκειμένου να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις (χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων) για το σεισμό του Αίγιου, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω γραφήματα.



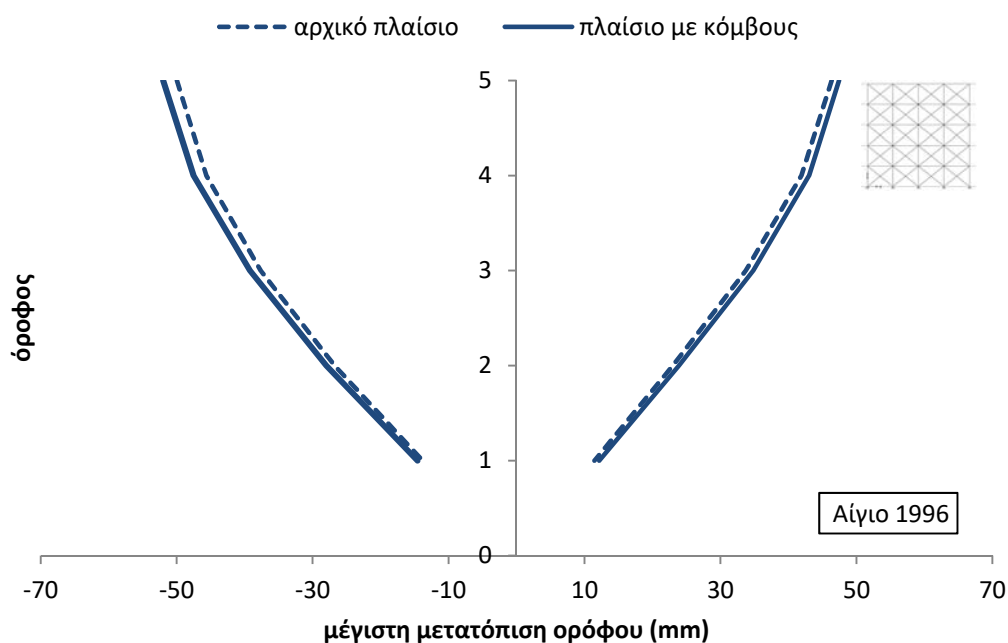
Σχήμα 6.95. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης



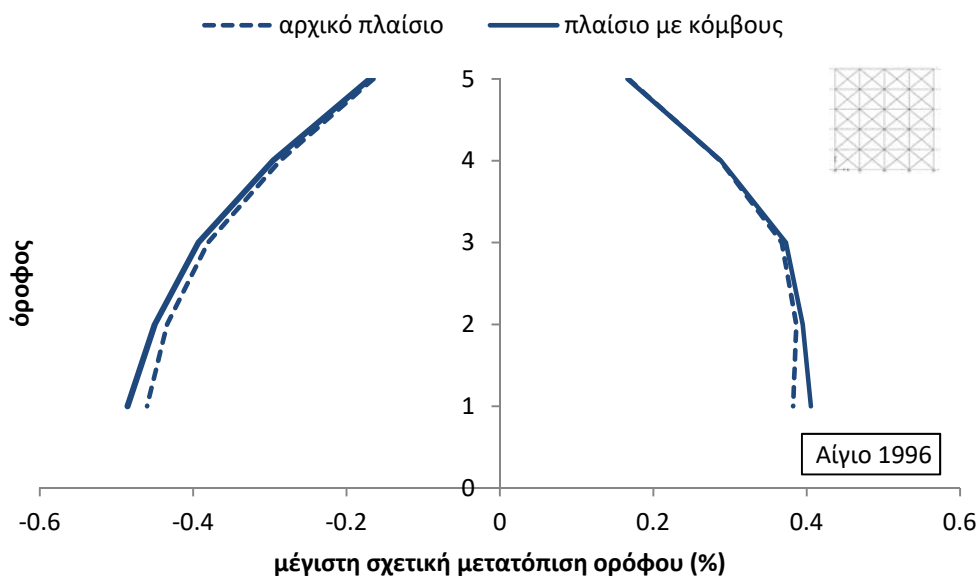
Σχήμα 6.96. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής

Από τα συγκριτικά διαγράμματα της τέμνουσας βάσης (Σχήμα 6.95) και της μετατόπισης κορυφής (Σχήμα 6.96) σε συνάρτηση με το χρόνο, εξάγεται το συμπέρασμα πως, είτε ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου είτε όχι, δεν διαφοροποιείται η συνολική απόκριση του πλαισίου. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει ουσιαστικά και από τα επόμενα συγκριτικά διαγράμματα των

μέγιστων (Σχήμα 6.97) και των σχετικών μέγιστων (Σχήμα 6.98) μετατοπίσεων ορόφων, καθώς οι μετατοπίσεις μεταξύ του αρχικού πλαισίου και του πλαισίου με τους κόμβους μεταβάλλονται σε μικρό ποσοστό.

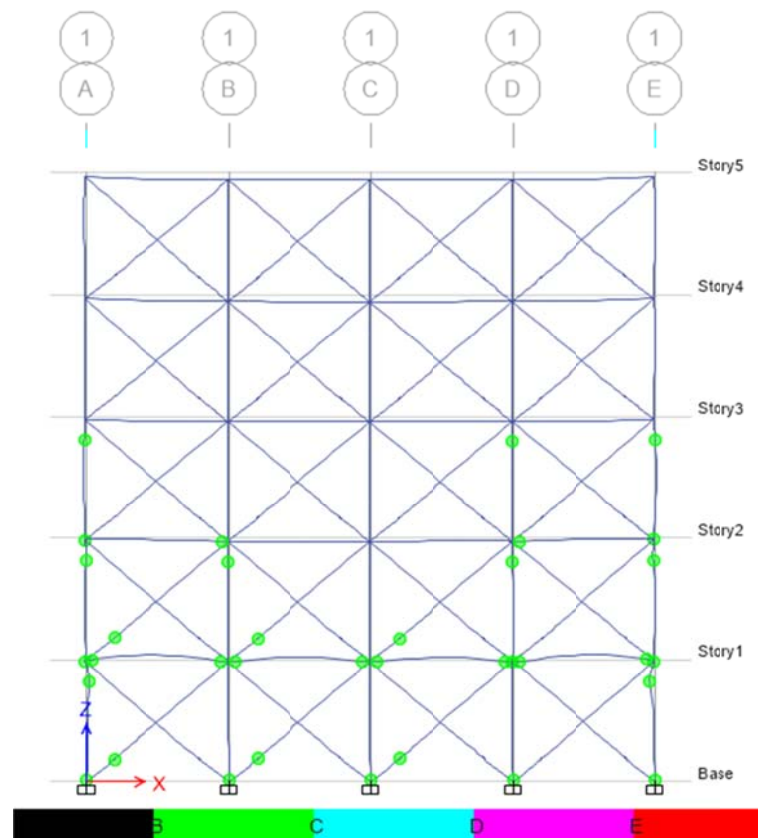


Σχήμα 6.97. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων



Σχήμα 6.98. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων

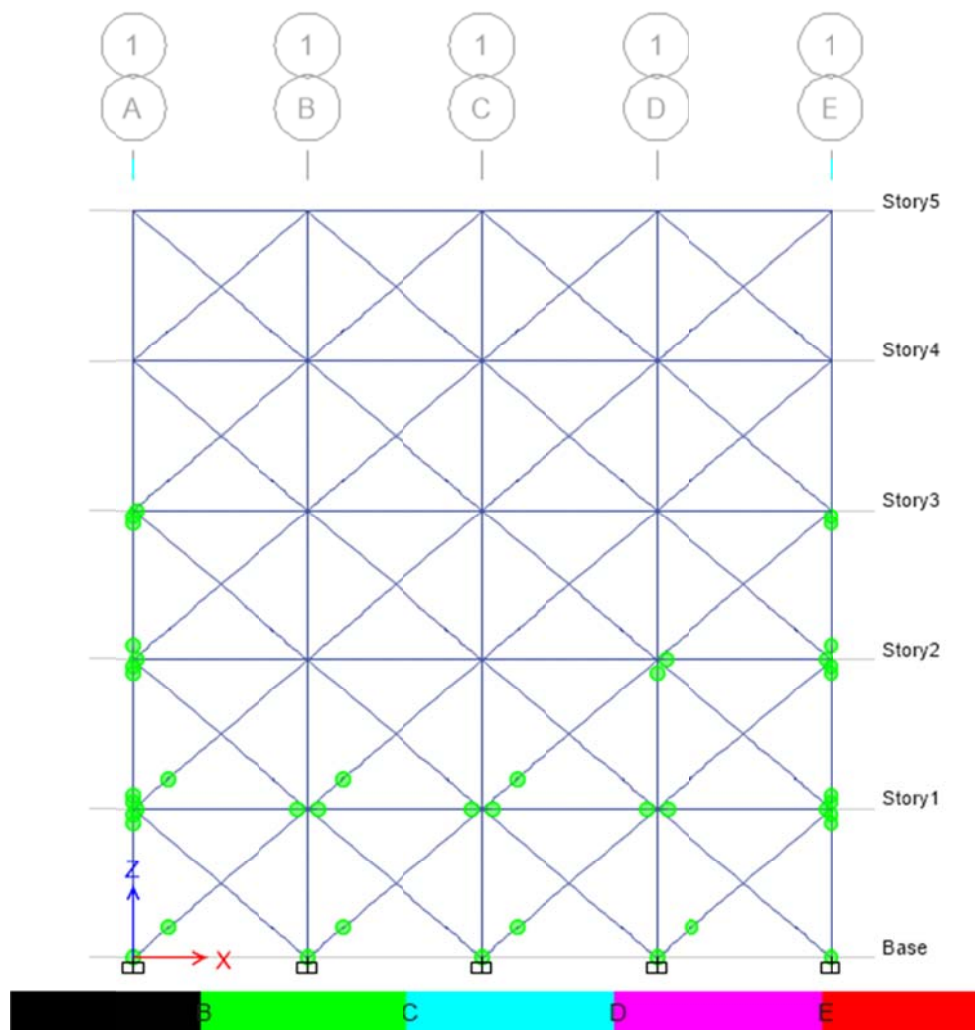
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.99).



Σχήμα 6.99. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.99 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε όλα τα άκρα των δοκών της πρώτης στάθμης, στα άκρα των ακραίων δοκών της δεύτερης στάθμης, στη βάση και στην κορυφή όλων των υποστυλωμάτων της πρώτης και δεύτερης στάθμης και στα τρία από τα πέντε υποστυλώματα της τρίτης στάθμης. Επιπλέον, αναπτύσσονται πλαστικές αρθρώσεις, άρα και βλάβες, στα στοιχεία των τοιχοπληρώσεων της πρώτης και δεύτερης στάθμης.

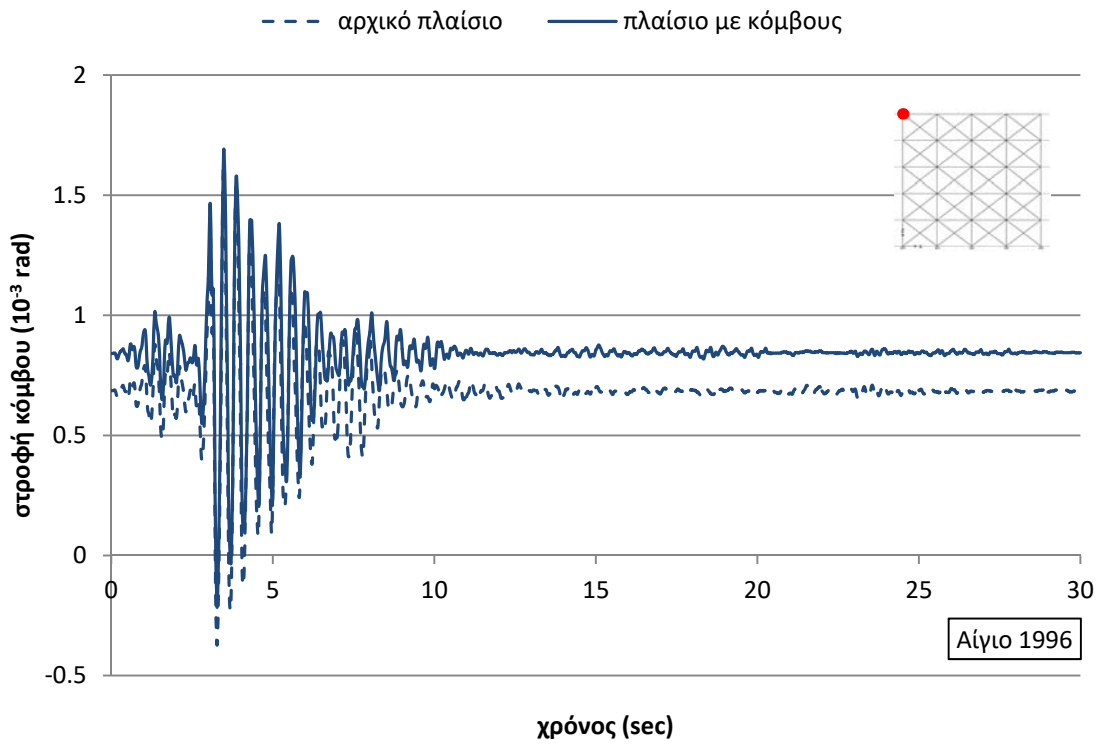
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.100).



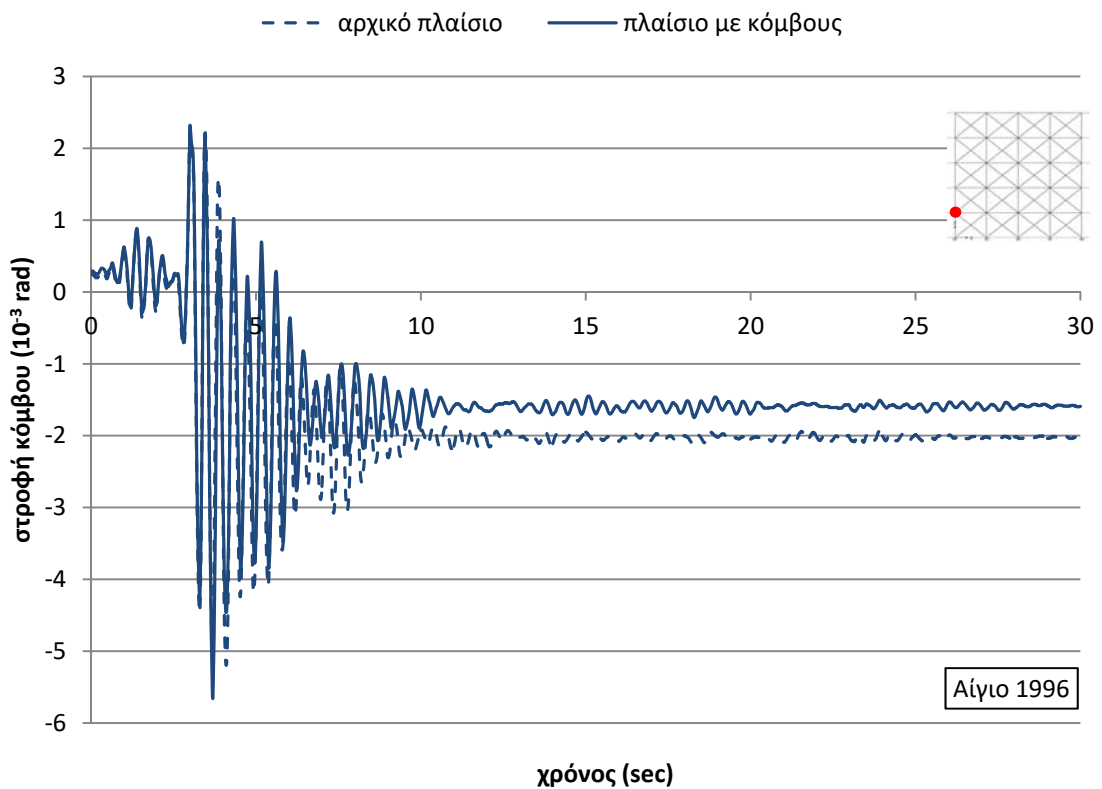
Σχήμα 6.100. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.100 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των δοκών όλων των εσωτερικών κόμβων της πρώτης στάθμης, στη βάση όλων των υποστυλωμάτων ισογείου, καθώς και στη βάση και την κορυφή των ακραίων υποστυλωμάτων της πρώτης και δεύτερης στάθμης. Αντίθετα, στους ακραίους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου στις τρεις πρώτες στάθμες, δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς. Επιπλέον, αναπτύσσονται πλαστικές αρθρώσεις, άρα και βλάβες, στα στοιχεία των τοιχοπληρώσεων της πρώτης και δεύτερης στάθμης.

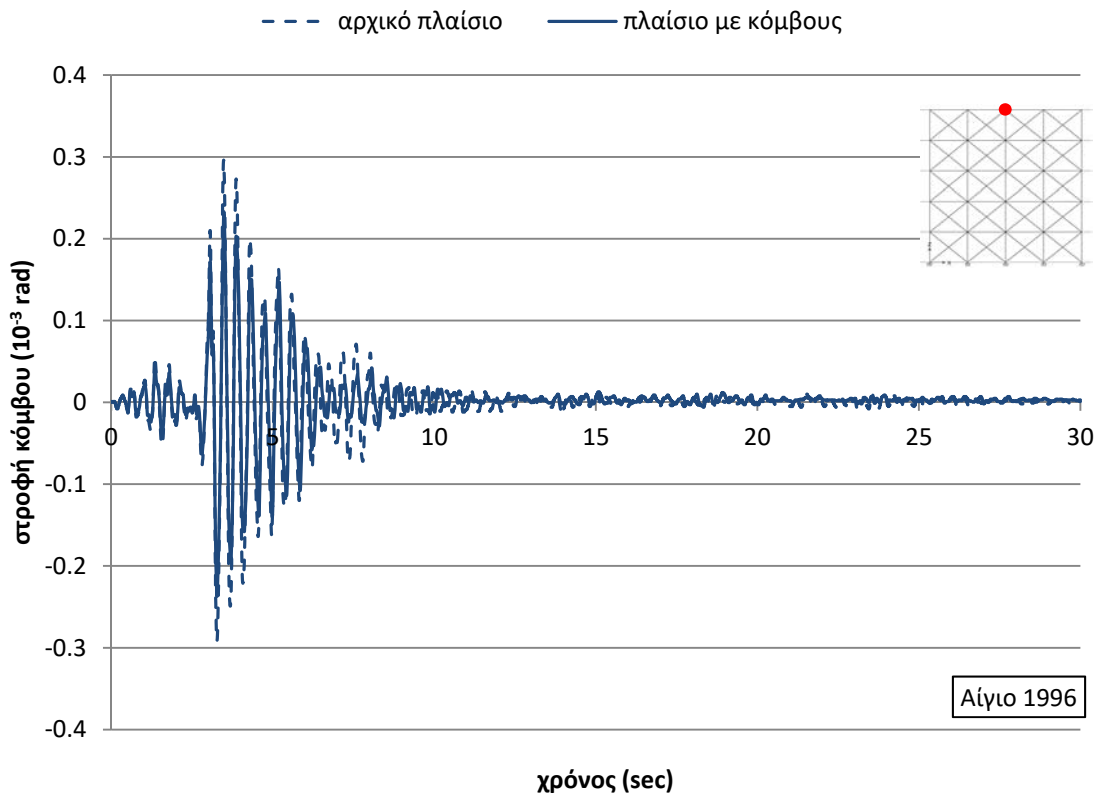
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3).



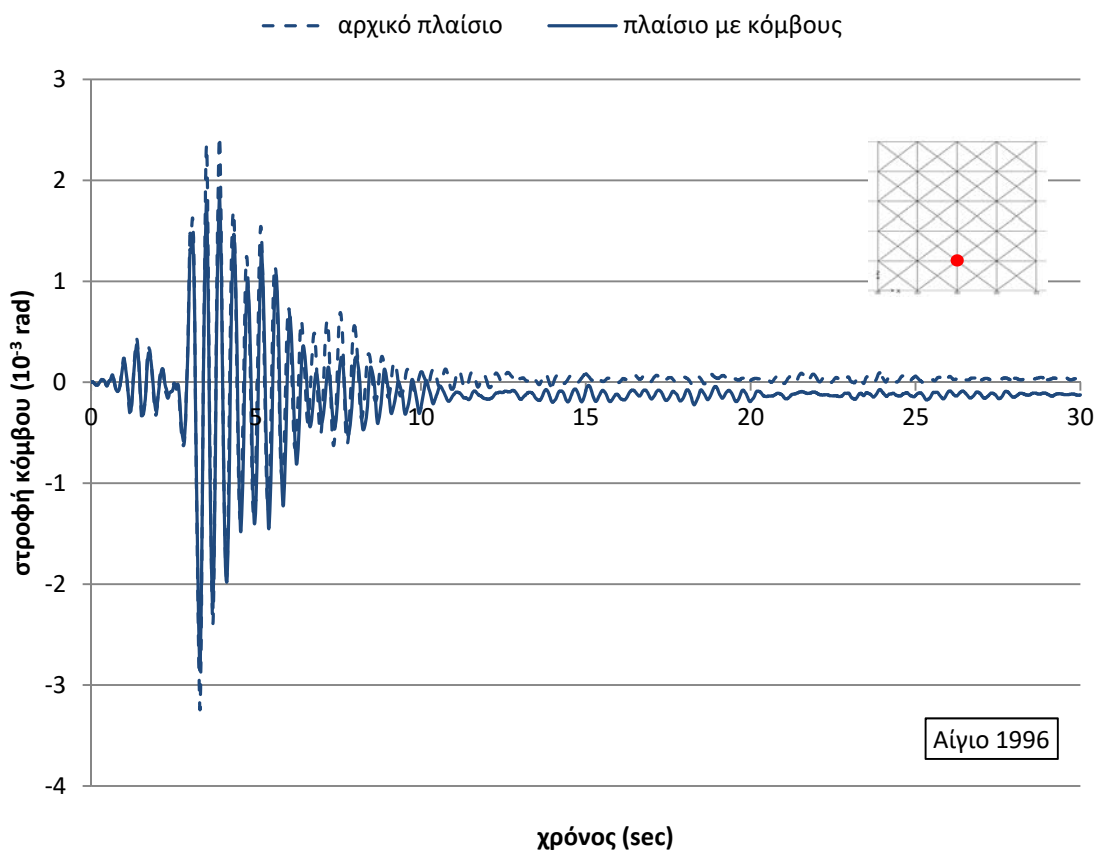
Σχήμα 6.101. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1



Σχήμα 6.102. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1



Σχήμα 6.103. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3



Σχήμα 6.104. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3

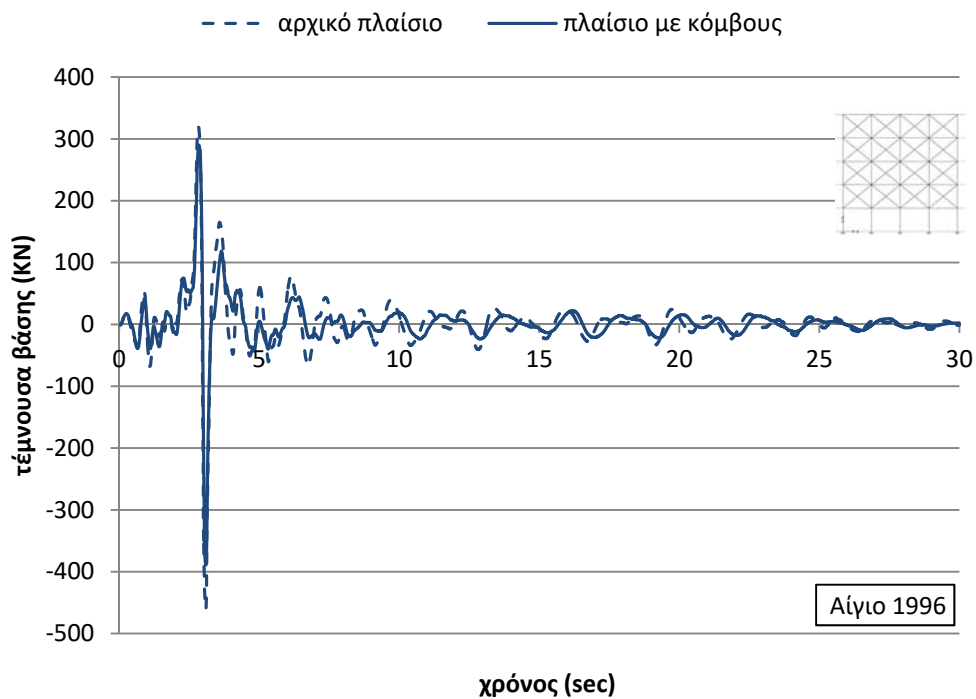
Από τα ανωτέρω σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, συμπεραίνεται και πάλι πως, η εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων δεν διαφοροποιεί τη συνολική σεισμική συμπεριφορά του πλαισίου, καθώς δεν μεταβάλλονται ουσιωδώς οι μέγιστες στροφικές παραμορφώσεις των εξεταζόμενων κόμβων μεταξύ του αρχικού πλαισίου και του πλαισίου με τους κόμβους (Σχήμα 6.103 & Σχήμα 6.104). Οι όποιες διαφορές παρατηρούνται αφορούν στην παραμένουσα στροφική παραμόρφωση (Σχήμα 6.101 & Σχήμα 6.102). Επιπλέον, παρατηρώντας το Σχήμα 6.99 και το Σχήμα 6.100 με την εικόνα των αναπτυσσόμενων κάθε φορά πλαστικών αρθρώσεων κατά τη σεισμική διέγερση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού του Αιγίου, βλέπουμε πως και στις δύο περιπτώσεις – δηλαδή χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων – οι βλάβες περιορίζονται στις τρεις πρώτες στάθμες και ιδιαίτερα στους εξωτερικούς κόμβους. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης, διαφοροποιείται σημαντικά το είδος των αστοχιών για τους εξωτερικούς κόμβους στους οποίους δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – με αποτέλεσμα οι κόμβοι αυτοί να αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.

Συμπερασματικά, από τα ανωτέρω συγκριτικά διαγράμματα και σχήματα, προκύπτει πως όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), διαφοροποιείται σημαντικά μόνο το είδος των τοπικών αστοχιών και όχι το πλήθος και η θέση τους, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο στους εξωτερικούς κόμβους να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις, προσδίδεται στο πλαίσιο αρκετή πρόσθετη ακαμψία ικανή να υπερκαλύψει την όποια αρνητική επίδραση της συμπεριφοράς των κόμβων στην καθολική αντοχή του πλαισίου.

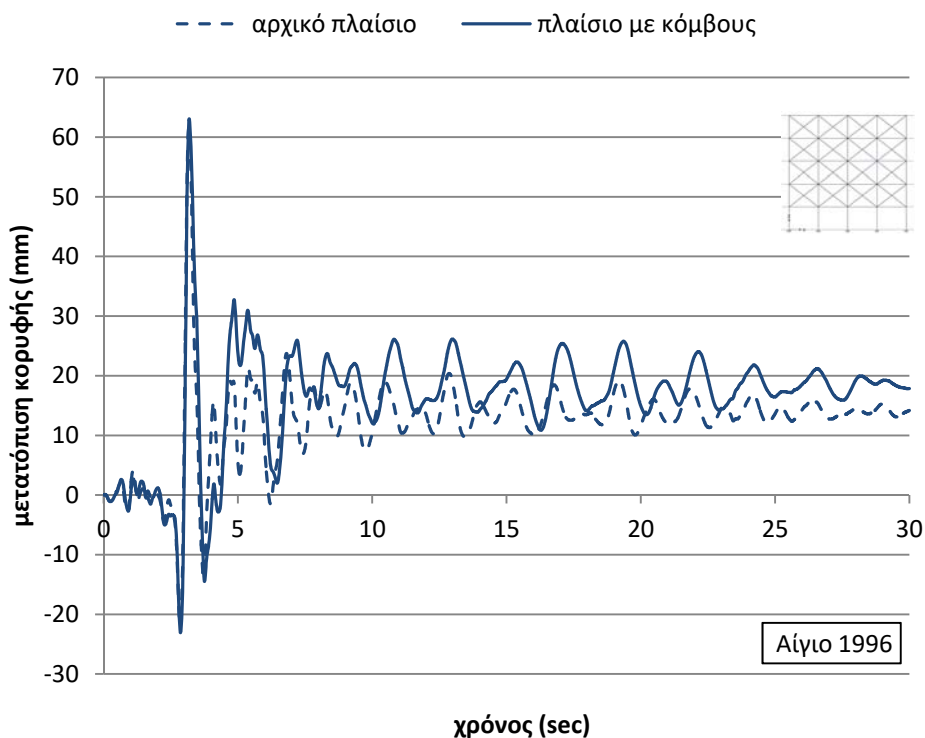
6.3.3 Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Αιγίου για το πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο

Προκειμένου να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων του πλαισίου με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο (χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων) για το σεισμό του Αιγίου, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω γραφήματα.

Από τα συγκριτικά διαγράμματα της τέμνουσας βάσης (Σχήμα 6.105) και της μετατόπισης κορυφής (Σχήμα 6.106) σε συνάρτηση με το χρόνο, εξάγεται το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου, παρατηρούνται μεγαλύτερες μετατοπίσεις στην κορυφή του πλαισίου καθώς και μεγαλύτερη κατ' απόλυτη τιμή παραμένουσας παραμόρφωσης, περίξ της οποίας πραγματοποιείται η ταλάντωση του πλαισίου (Σχήμα 6.106).

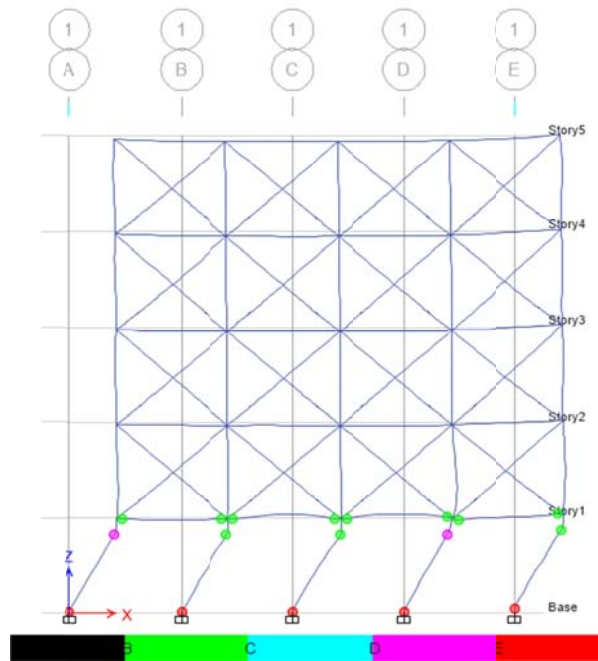


Σχήμα 6.105. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης



Σχήμα 6.106. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής

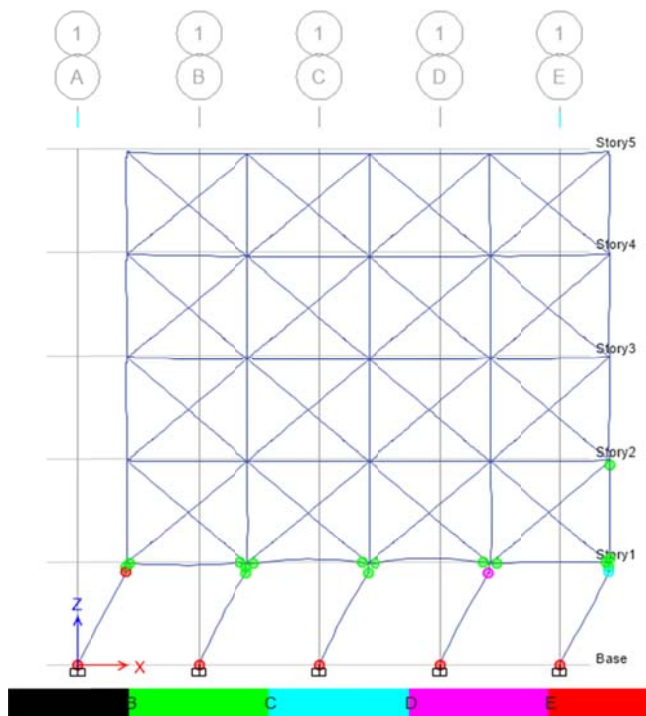
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.107).



Σχήμα 6.107. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

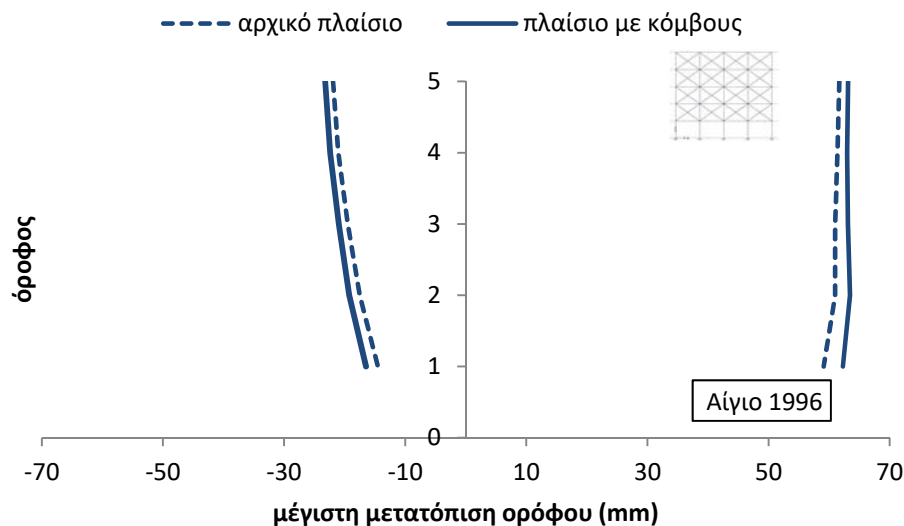
Παρατηρώντας το Σχήμα 6.107 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε όλα τα άκρα των δοκών της πρώτης στάθμης, καθώς και στη βάση και την κορυφή όλων των υποστυλωμάτων ισογείου.

Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.108).

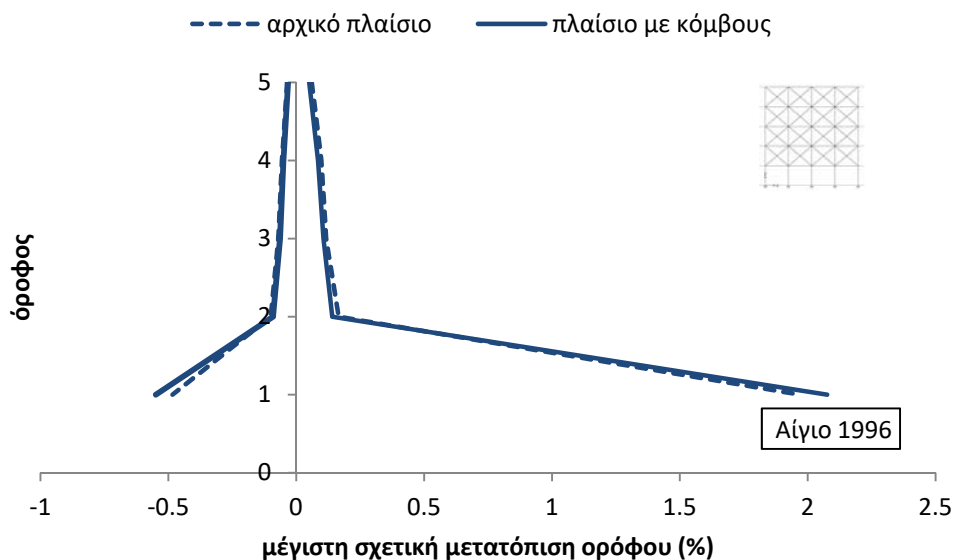


Σχήμα 6.108. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.108 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των δοκών όλων των εσωτερικών κόμβων της πρώτης στάθμης, εκτός των ακραίων εξωτερικών δοκών, καθώς και στη βάση και την κορυφή όλων των υποστυλωμάτων της πρώτης στάθμης. Αντίθετα, στους ακραίους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου στην πρώτη στάθμη δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.



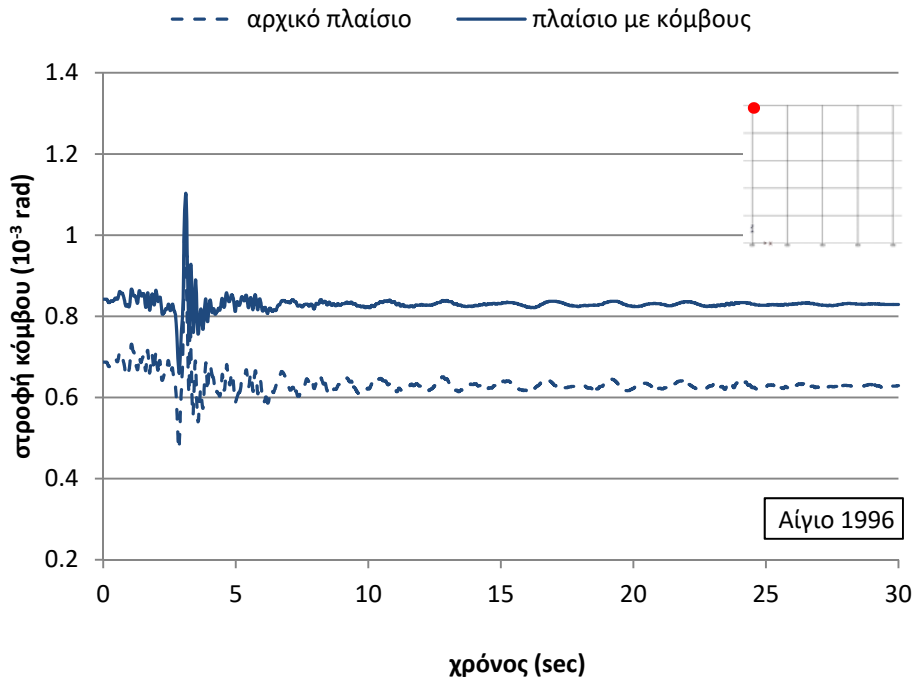
Σχήμα 6.109. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων



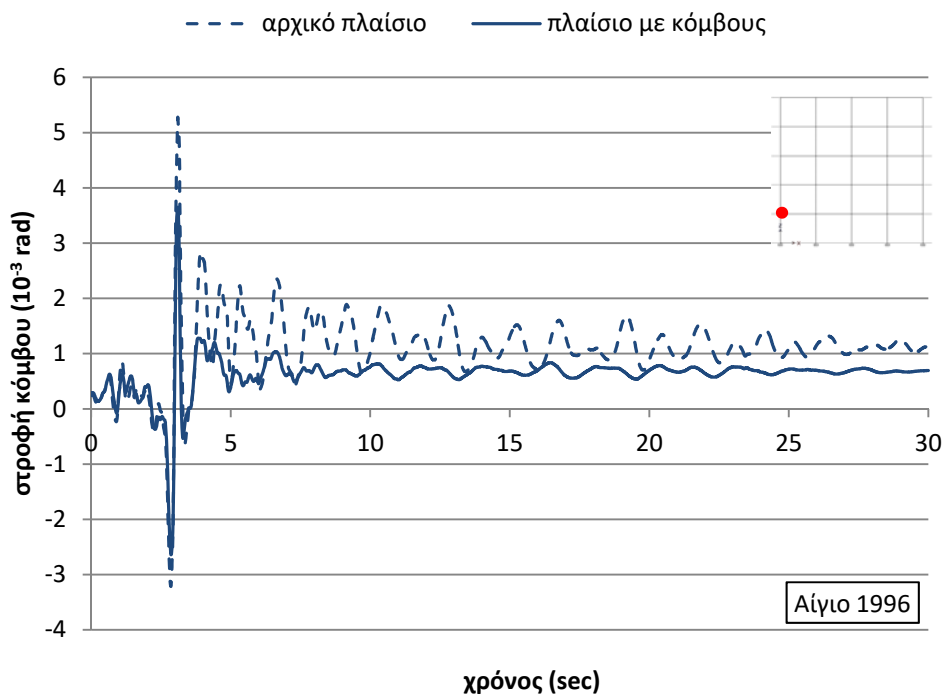
Σχήμα 6.110. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων

Από τα προηγούμενα συγκριτικά διαγράμματα των μέγιστων (Σχήμα 6.109) και των σχετικών μέγιστων (Σχήμα 6.110) μετατοπίσεων ορόφων, συμπεραίνεται πως με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρούνται ελαφρώς μεγαλύτερες μετακινήσεις και μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις.

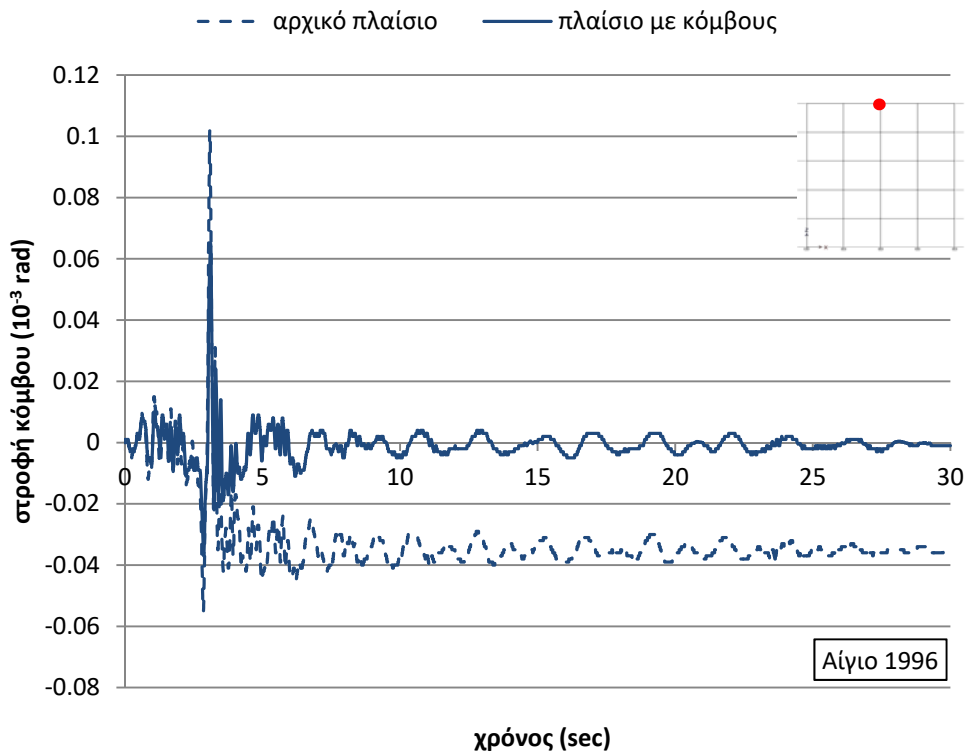
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3).



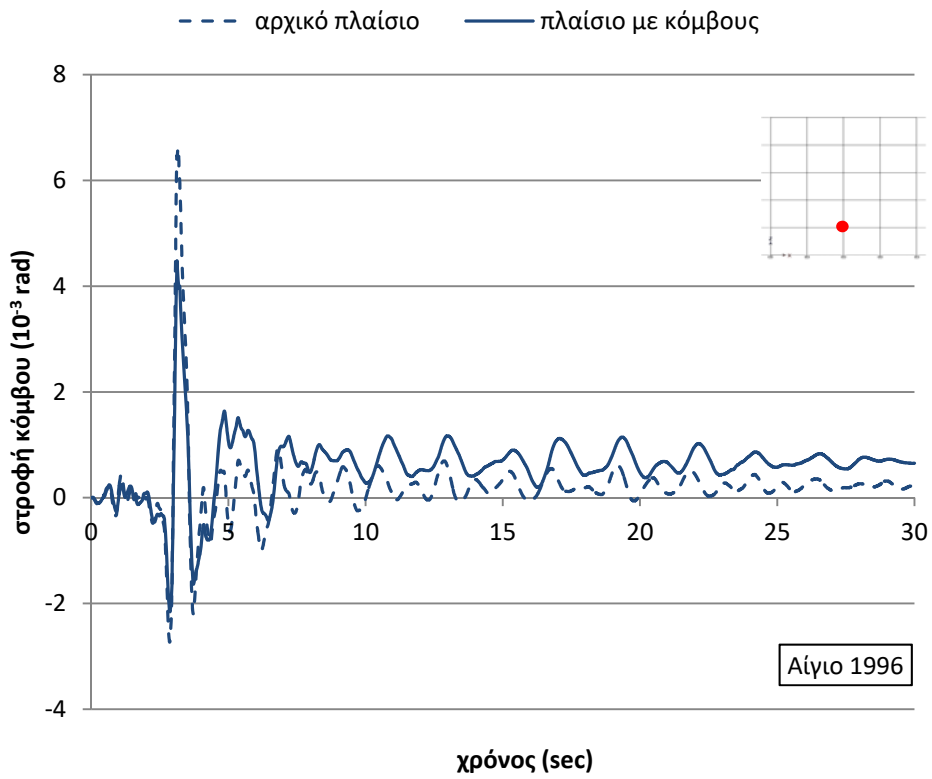
Σχήμα 6.111. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1



Σχήμα 6.112. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1



Σχήμα 6.113. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3



Σχήμα 6.114. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3

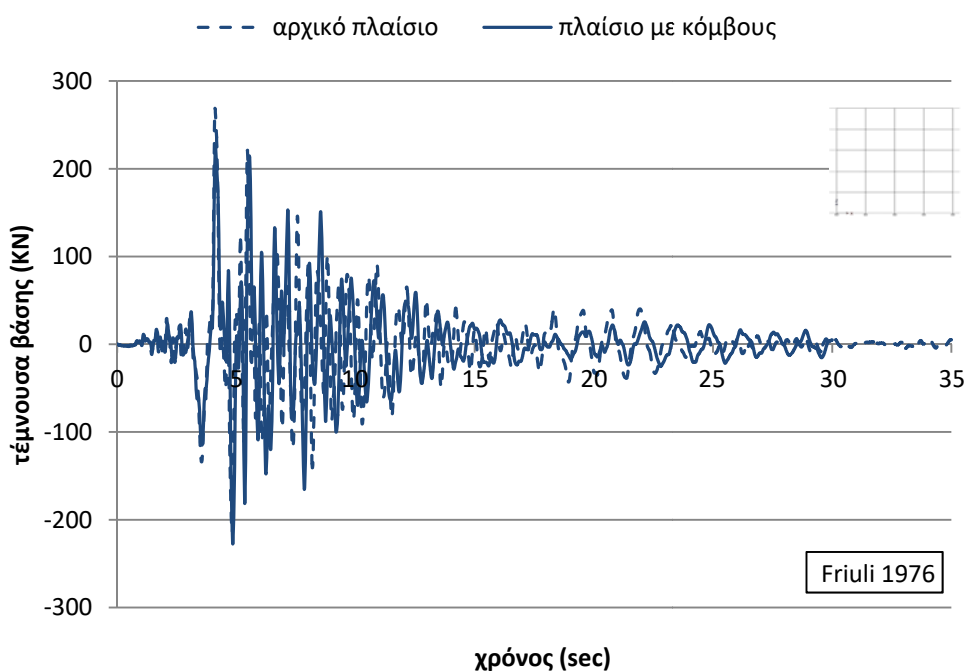
Από τα ανωτέρω σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, συμπεραίνεται πως στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματικά ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης, οι κόμβοι st5j1 (Σχήμα 6.111) και st1j3 (Σχήμα 6.114) παρουσιάζουν μεγαλύτερες στροφές σε σχέση με το αρχικό μοντέλο χωρίς την μοντελοποίηση των κόμβων. Ο κόμβος st5j3 (Σχήμα 6.113) παρουσιάζει πρακτικά την ίδια στροφική συμπεριφορά, ενώ ο κόμβος st1j1 (Σχήμα 6.112) παρουσιάζει μικρότερες στροφές στο αρχικό πλαίσιο (χωρίς το μοντέλο των κόμβων).

Συμπερασματικά, από τα ανωτέρω συγκριτικά διαγράμματα και σχήματα, προκύπτει πως όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), διαφοροποιείται σημαντικά το είδος των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

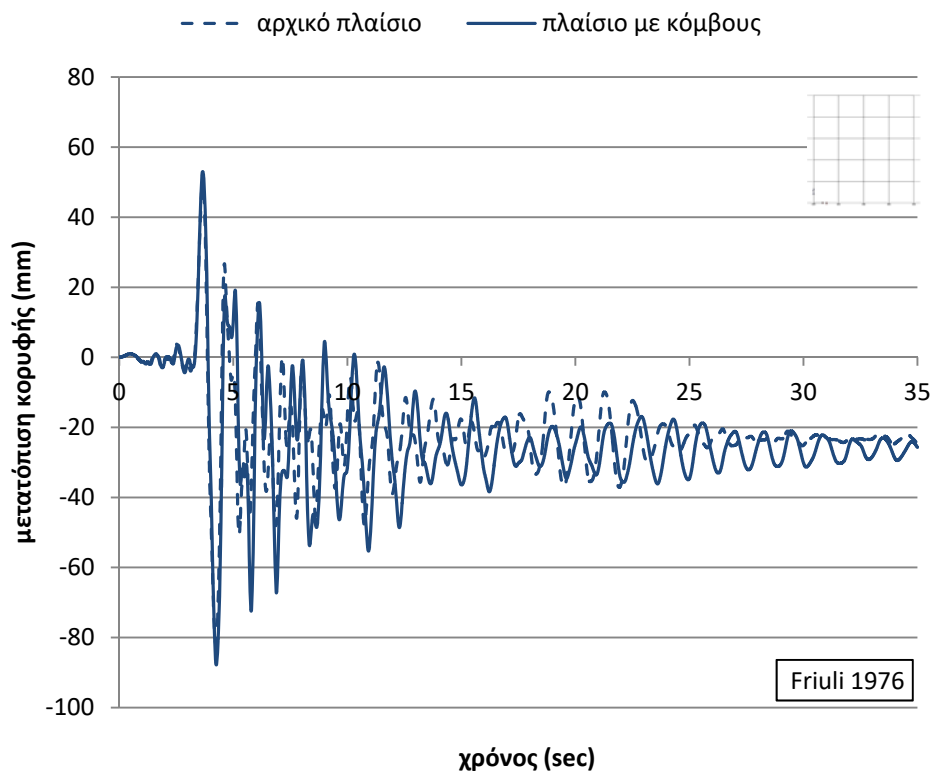
6.4 Δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις με το σεισμό του Friuli

6.4.1 Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Friuli για το πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις

Προκειμένου να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων του πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις (χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων) για το σεισμό του Friuli, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω γραφήματα.



Σχήμα 6.115. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης

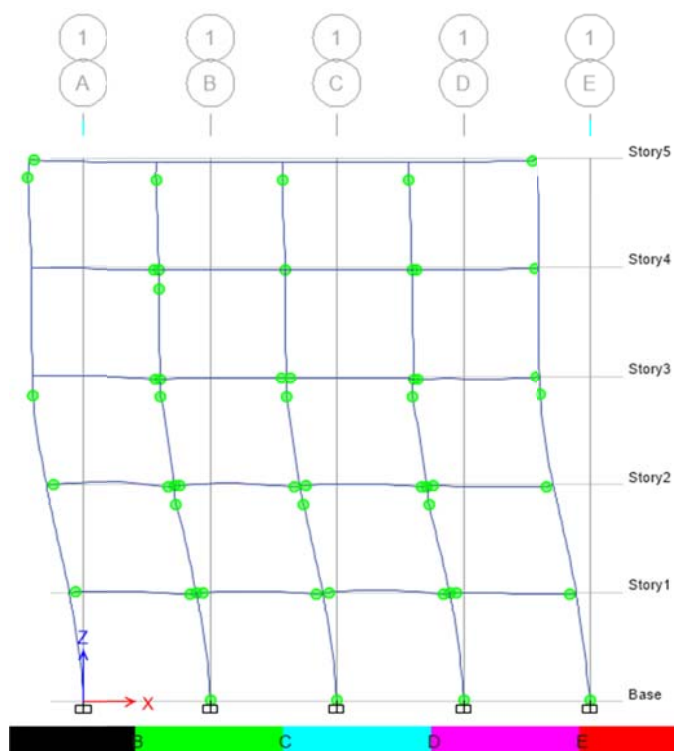


Σχήμα 6.116. Συγκριτικό διάγραμμα ιστορίας μετατόπισης κορυφής

Από τα συγκριτικά διαγράμματα της τέμνουσας βάσης (Σχήμα 6.115) και της μετατόπισης κορυφής (Σχήμα 6.116) σε συνάρτηση με το χρόνο, παρατηρείται πως, στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου, παρατηρούνται μεγαλύτερες μετατοπίσεις στην κορυφή του πλαισίου καθώς και μεγαλύτερη απόλυτη τιμή παραμένουσας παραμόρφωσης, περίξ της οποίας πραγματοποιείται η ταλάντωση του πλαισίου (Σχήμα 6.116).

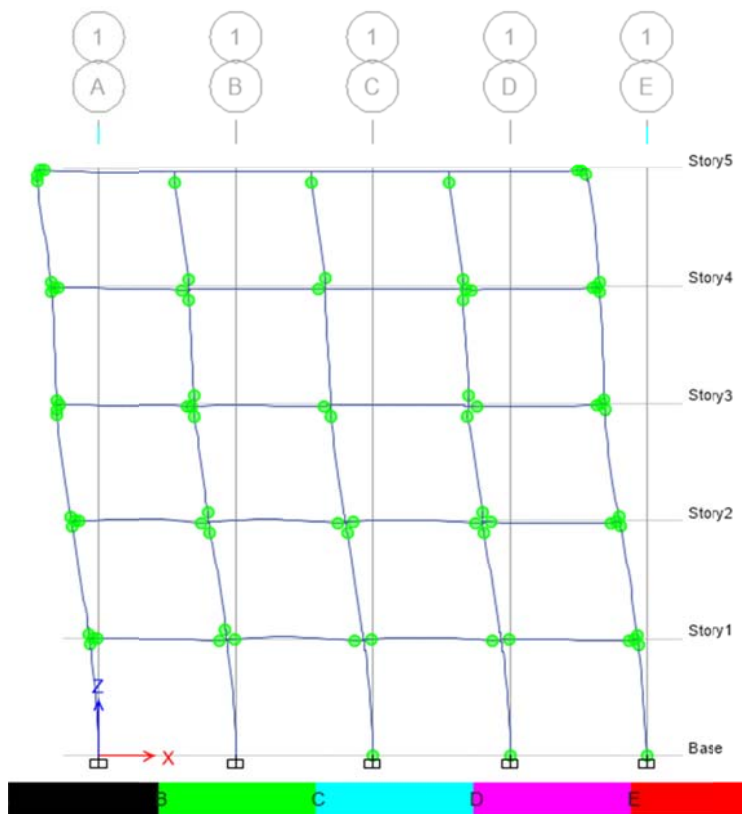
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.117).

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.117 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε όλα τα άκρα των δοκών της πρώτης και δεύτερης στάθμης, στα εσωτερικά άκρα των δοκών της τρίτης και τέταρτης στάθμης, στα εξωτερικά άκρα των ακραίων δοκών της τελευταίας στάθμης, στη βάση των τεσσάρων από τα πέντε υποστυλώματα ισογείου, στην κορυφή όλων των υποστυλωμάτων της τρίτης στάθμης και στην κορυφή αρκετών υποστυλωμάτων των υπόλοιπων σταθμών πλην του ισογείου.



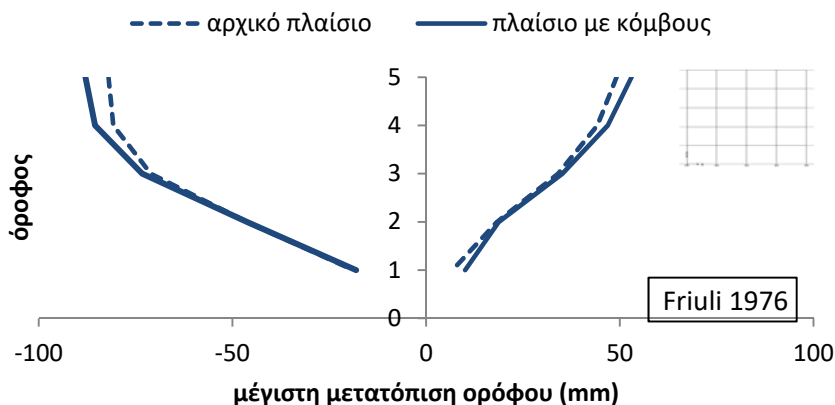
Σχήμα 6.117. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.118).

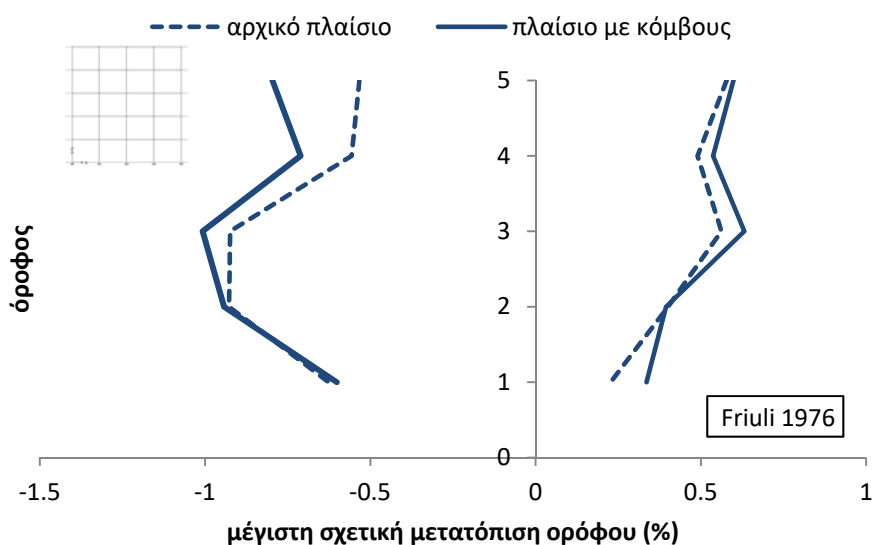


Σχήμα 6.118. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.118 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα περισσότερα άκρα δοκών και υποστυλωμάτων όλων των εσωτερικών κόμβων εκτός της πέμπτης στάθμης όπου αστοχούν μόνο οι κορυφές των τεσσάρων από τα πέντε υποστυλώματα. Αντίθετα, σε όλους τους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.



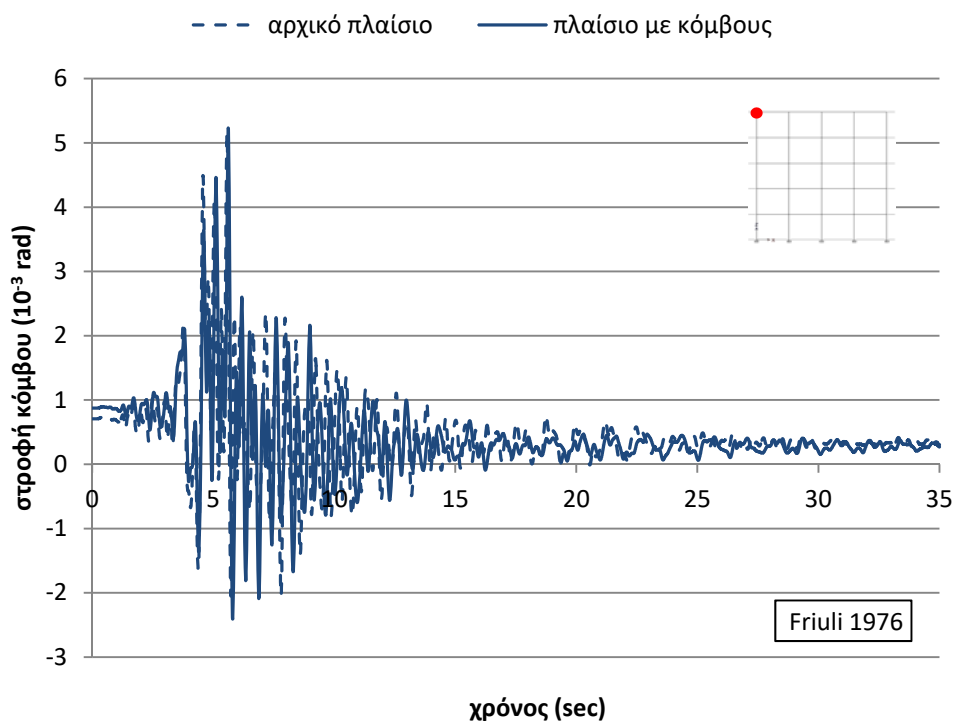
Σχήμα 6.119. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων



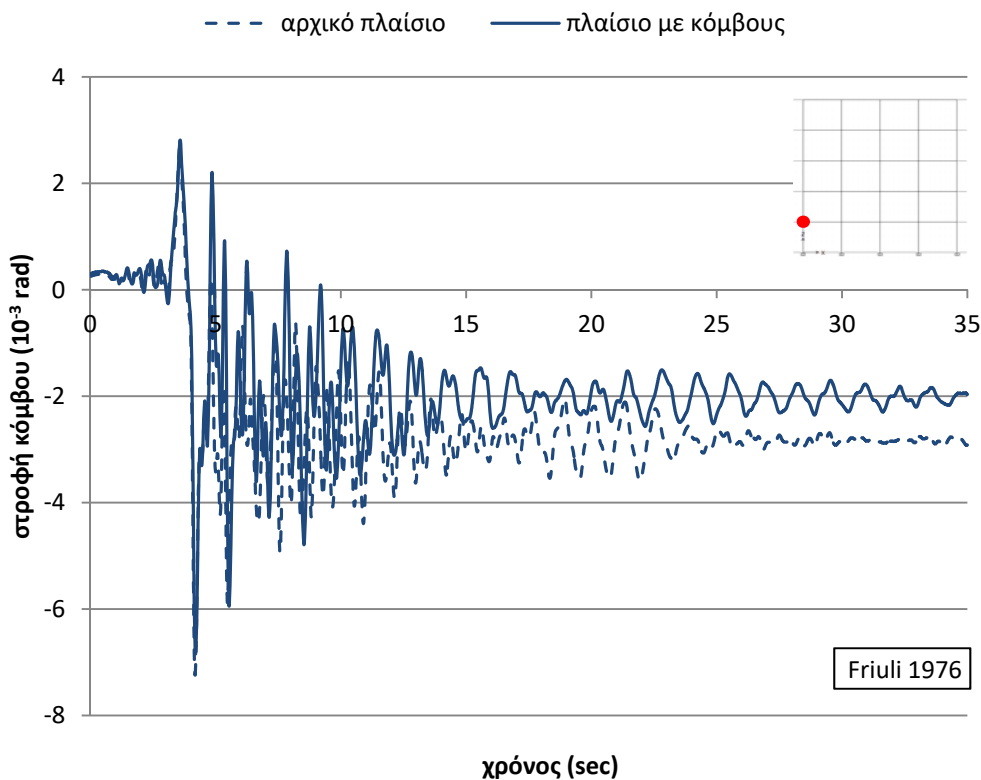
Σχήμα 6.120. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων

Από τα προηγούμενα συγκριτικά διαγράμματα των μέγιστων (Σχήμα 6.119) και των σχετικών μέγιστων (Σχήμα 6.120) μετατοπίσεων ορόφων, συμπεραίνεται πως με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρούνται μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις, γεγονός που δικαιολογεί και την ανάπτυξη περισσότερων πλαστικών αρθρώσεων σε όλο τον φορέα (Σχήμα 6.118).

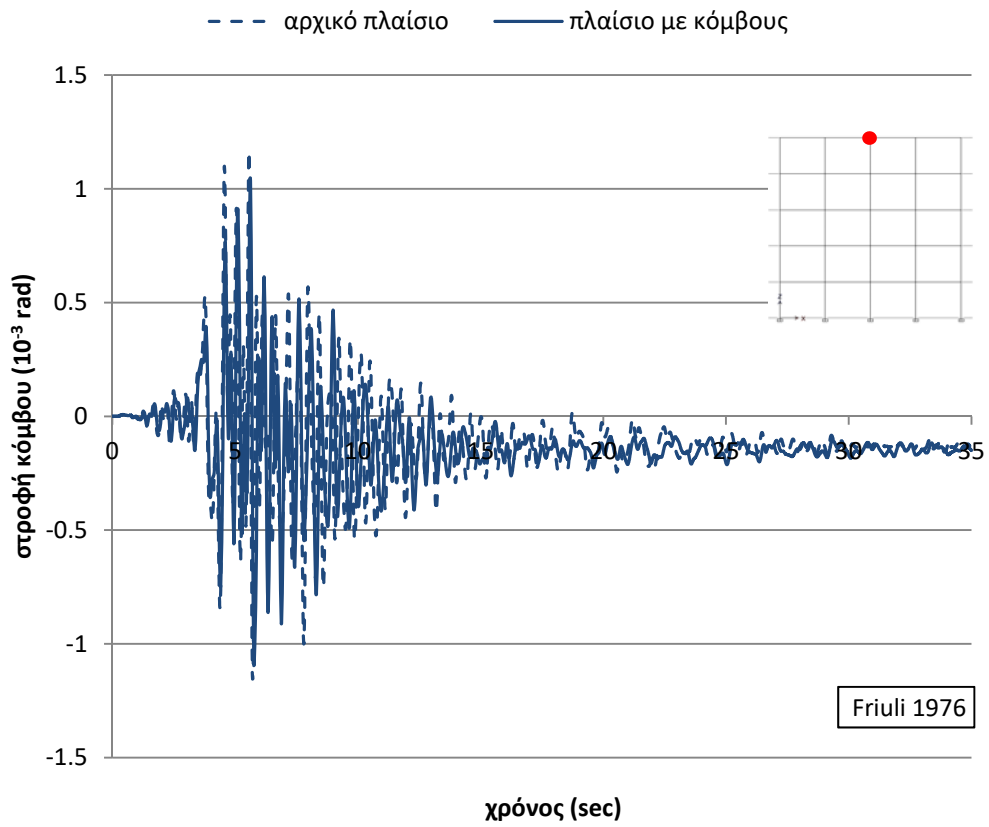
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3).



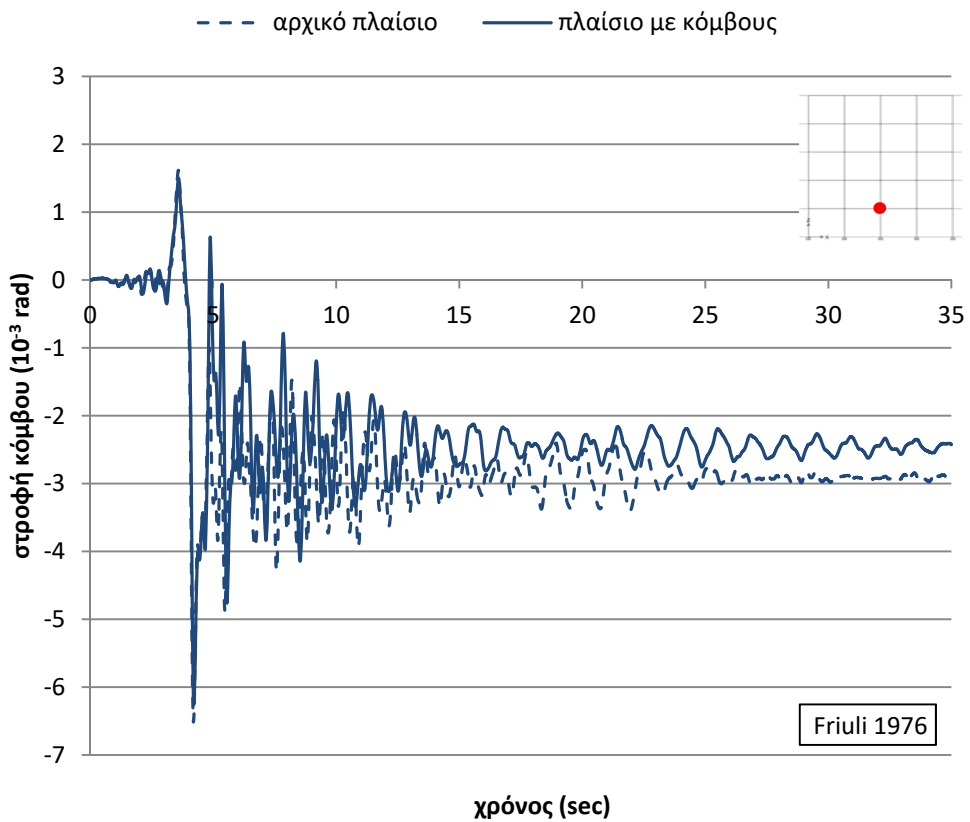
Σχήμα 6.121. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1



Σχήμα 6.122. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1



Σχήμα 6.123. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3



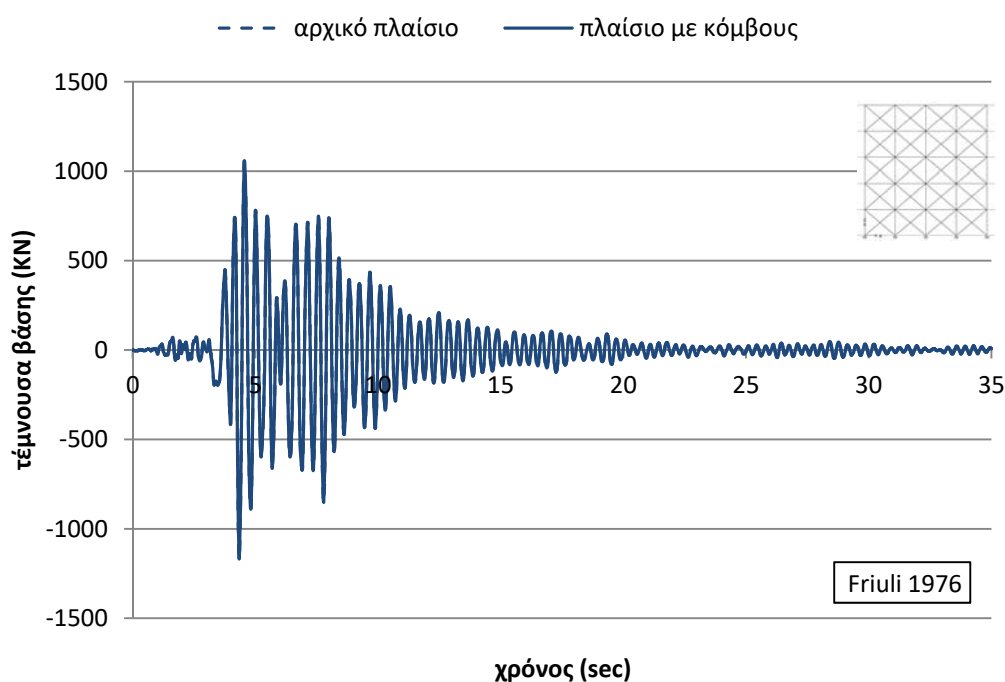
Σχήμα 6.124. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3

Από τα ανωτέρω σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, συμπεραίνεται πως στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματικά ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης, οι κόμβοι st5j1 (Σχήμα 6.121) και st5j3 (Σχήμα 6.123) παρουσιάζουν μικρότερες στροφές σε σχέση με το αρχικό μοντέλο χωρίς την μοντελοποίηση των κόμβων. Αντίθετα, οι κόμβοι st1j1 (Σχήμα 6.122) και st1j3 (Σχήμα 6.124) παρουσιάζουν πρακτικά τις ίδιες στροφικές παραμορφώσεις και στις δύο περιπτώσεις. Παρόλα αυτά, συγκρίνοντας την εικόνα των πλαστικών αρθρώσεων που αναπτύσσονται στο πλαίσιο χωρίς (Σχήμα 6.117) και με το μοντέλο προσομοίωσης (Σχήμα 6.118), εξάγεται το συμπέρασμα πως στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματική συμπεριφορά των κόμβων, διαφοροποιούνται αισθητά οι αναπτυσσόμενες πλαστικές αρθρώσεις, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

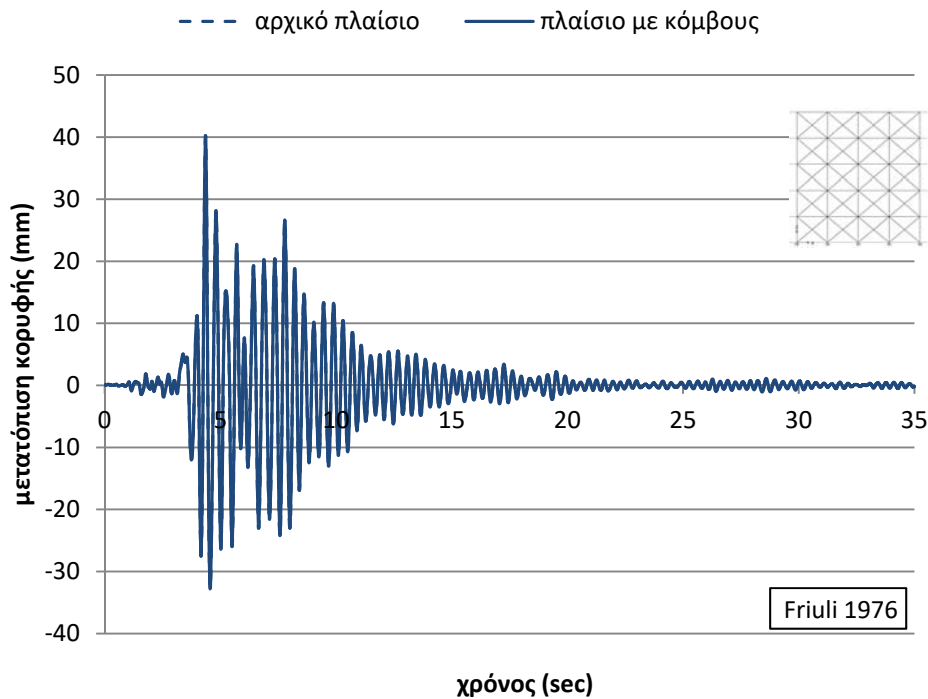
Συμπερασματικά, από τα ανωτέρω συγκριτικά διαγράμματα και σχήματα, προκύπτει πως όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), διαφοροποιείται σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους αλλά και σε ορισμένους εσωτερικούς κόμβους.

6.4.2 Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Friuli για το πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις

Προκειμένου να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις (χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων) για το σεισμό του Friuli, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω γραφήματα.

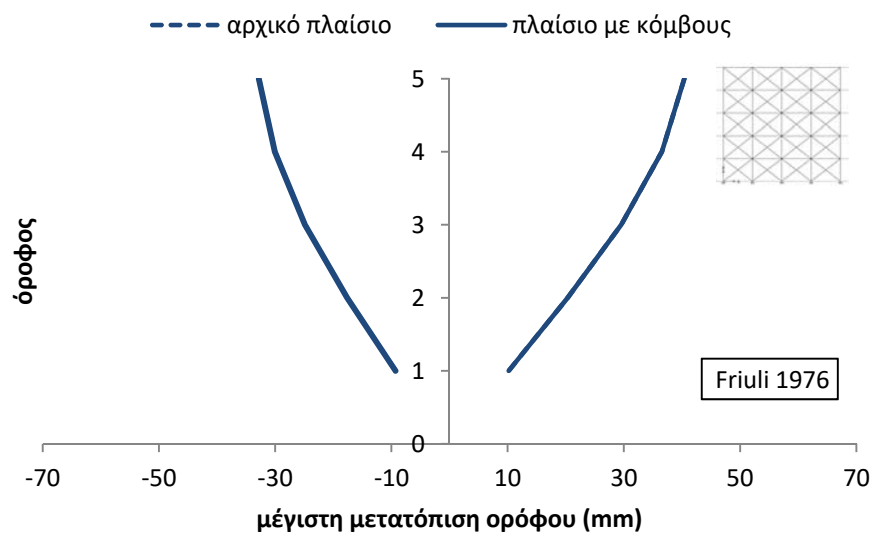


Σχήμα 6.125. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης

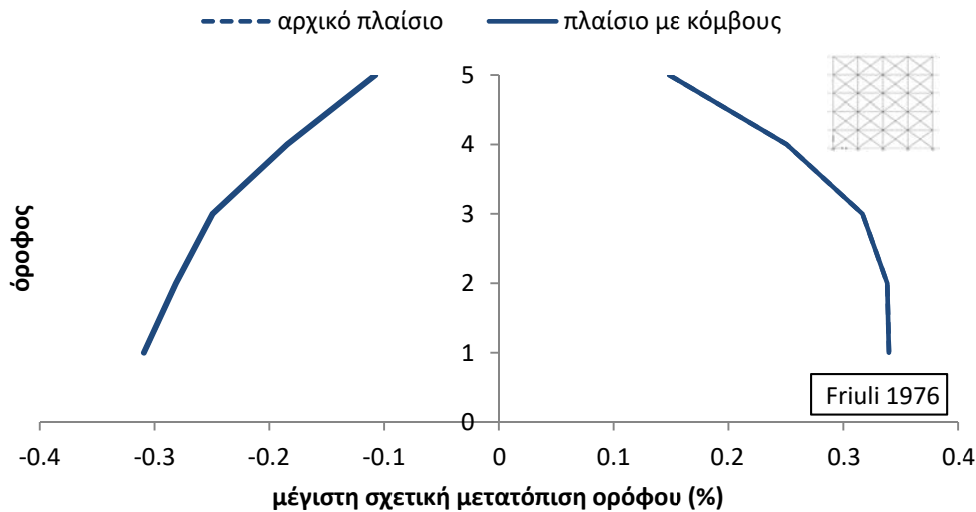


Σχήμα 6.126. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής

Από τα συγκριτικά διαγράμματα της τέμνουσας βάσης (Σχήμα 6.125) και της μετατόπισης κορυφής (Σχήμα 6.126) σε συνάρτηση με το χρόνο, εξάγεται το συμπέρασμα πως, είτε ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου είτε όχι, δεν διαφοροποιείται η συνολική απόκριση του πλαισίου. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει ουσιαστικά και από τα επόμενα συγκριτικά διαγράμματα των μέγιστων (Σχήμα 6.127) και των σχετικών μέγιστων (Σχήμα 6.128) μετατοπίσεων ορόφων, καθώς οι μετατοπίσεις μεταξύ του αρχικού πλαισίου και του πλαισίου με τους κόμβους μεταβάλλονται σε μικρό ποσοστό.

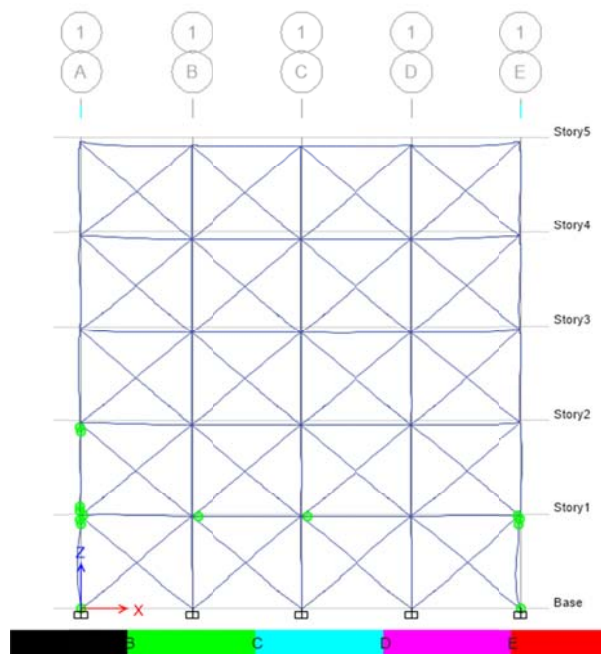


Σχήμα 6.127. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων



Σχήμα 6.128. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων

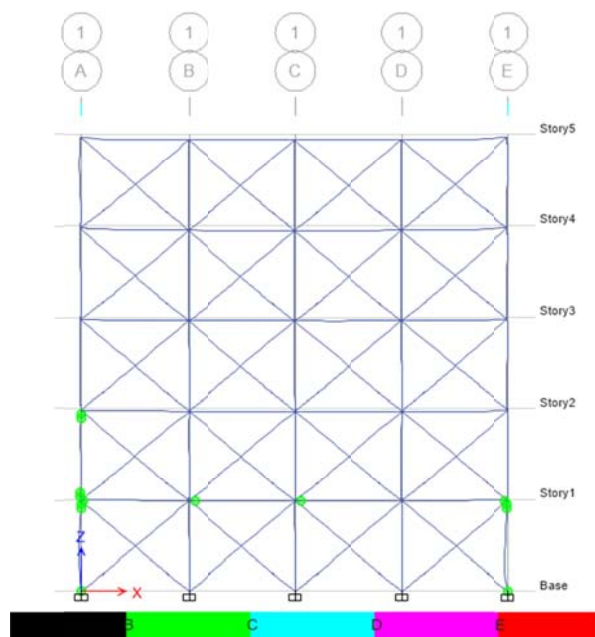
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.129).



Σχήμα 6.129. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.129 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε αρκετά άκρα των δοκών της πρώτης στάθμης, καθώς και στη βάση και στην κορυφή των ακραίων υποστλωμάτων της πρώτης και δεύτερης στάθμης. Επιπλέον, δεν αναπτύσσονται πλαστικές αρθρώσεις, άρα και βλάβες, στα στοιχεία των τοιχοπληρώσεων.

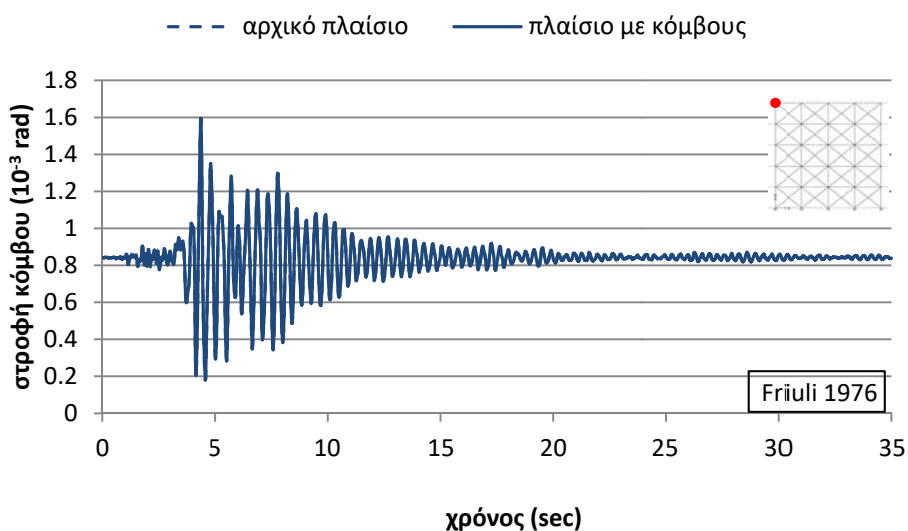
Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.130).



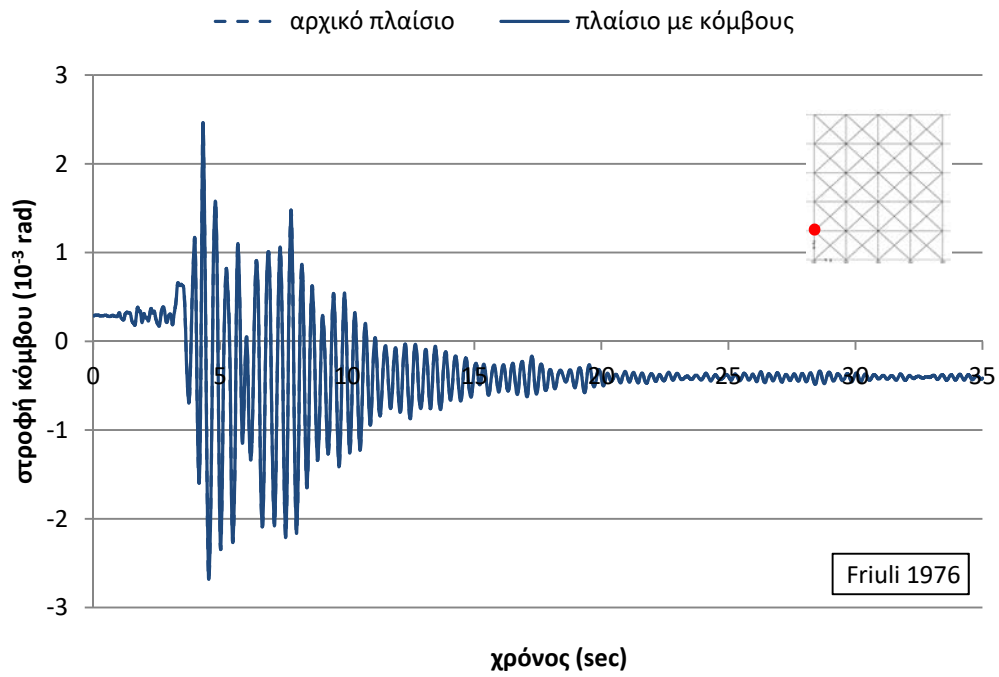
Σχήμα 6.130. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.130 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις σε δύο άκρα εσωτερικών δοκών της πρώτης στάθμης, στη βάση των δύο ακραίων υποστυλωμάτων ισογείου και στο σώμα τριών ακραίων εξωτερικών κόμβων (ισόγειο και δεύτερη στάθμη). Έτσι, στους ακραίους αυτούς εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου, δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς. Τέλος, δεν αναπτύσσονται πλαστικές αρθρώσεις, άρα και βλάβες, στα στοιχεία των τοιχοπληρώσεων.

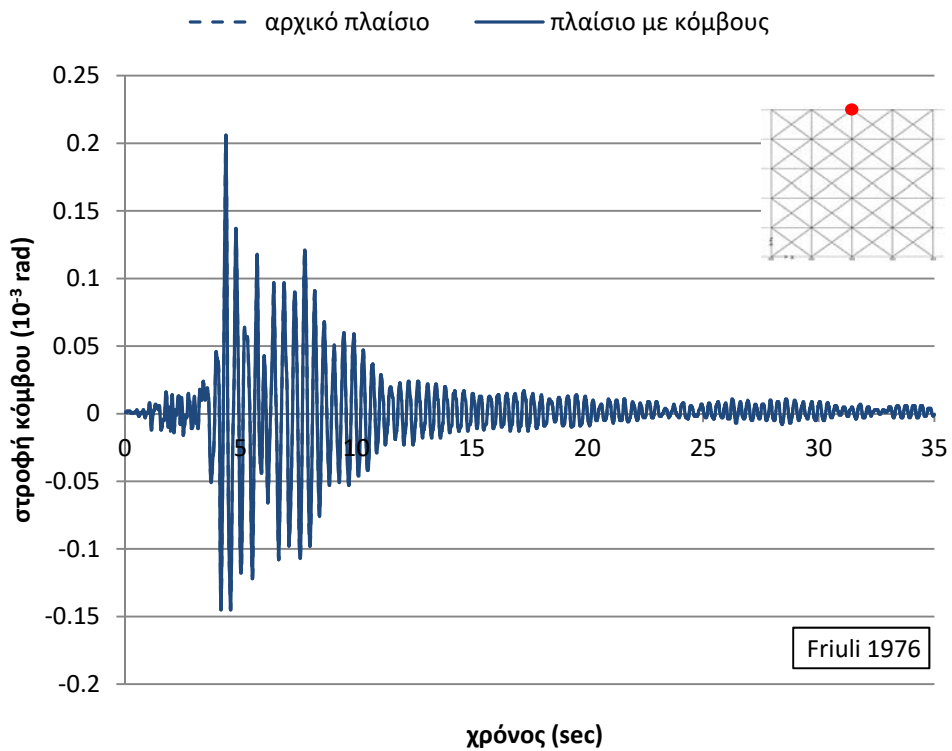
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3).



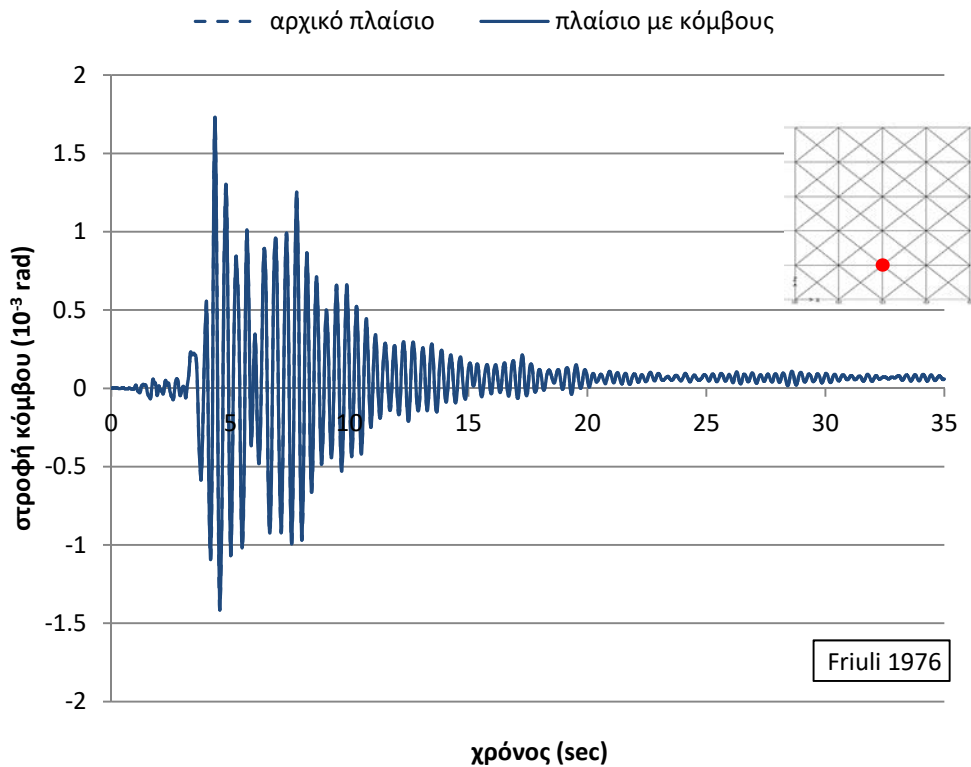
Σχήμα 6.131. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1



Σχήμα 6.132. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1



Σχήμα 6.133. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3



Σχήμα 6.134. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3

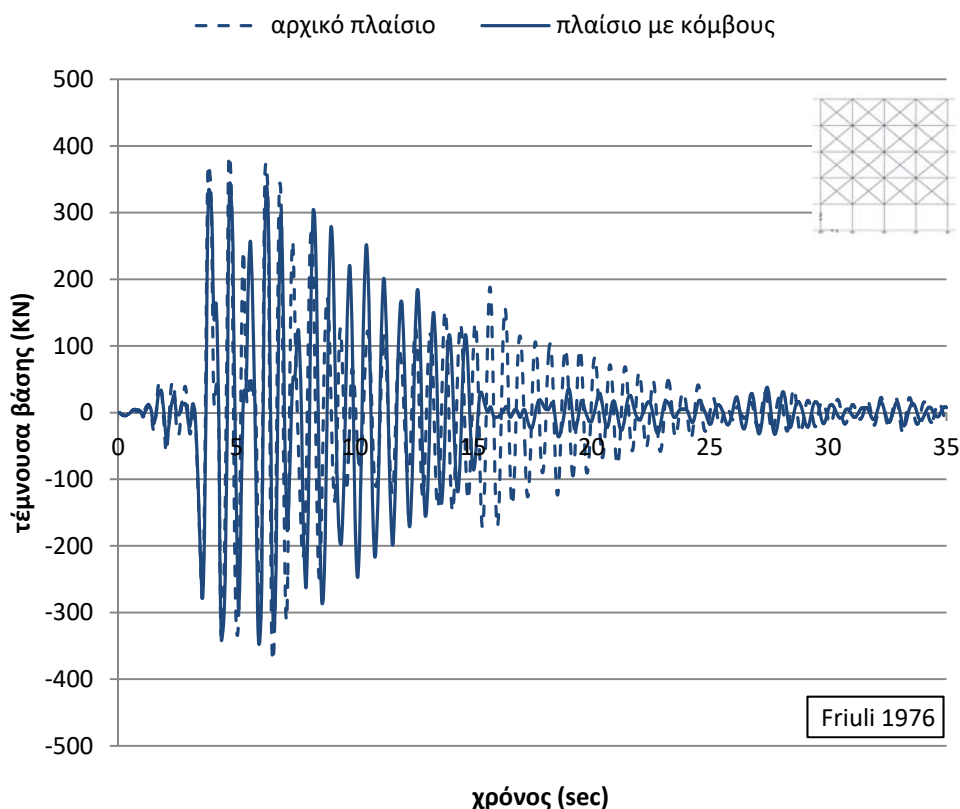
Από τα ανωτέρω σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, συμπεραίνεται και πάλι πως, η εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων δεν διαφοροποιεί τη συνολική σεισμική συμπεριφορά του πλαισίου, καθώς δεν μεταβάλλονται ουσιωδώς οι μέγιστες στροφικές παραμορφώσεις των εξεταζόμενων κόμβων μεταξύ του αρχικού πλαισίου και του πλαισίου με τους κόμβους. Επιπλέον, παρατηρώντας το Σχήμα 6.129 και το Σχήμα 6.130 με την εικόνα των αναπτυσσόμενων κάθε φορά πλαστικών αρθρώσεων κατά τη σεισμική διέγερση με το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού του Friuli, βλέπουμε πως και στις δύο περιπτώσεις – δηλαδή χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων – οι βλάβες περιορίζονται στις δύο πρώτες στάθμες και ιδιαίτερα στους εξωτερικούς κόμβους. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης, διαφοροποιείται σημαντικά το είδος των αστοχιών για τους εξωτερικούς κόμβους στους οποίους δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – με αποτέλεσμα οι κόμβοι αυτοί να αστοχούν διατημητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.

Συμπερασματικά, από τα ανωτέρω συγκριτικά διαγράμματα και σχήματα, προκύπτει πως όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), διαφοροποιείται σημαντικά το είδος των τοπικών αστοχιών και όχι το πλήθος και η θέση τους, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο στους εξωτερικούς κόμβους να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις, προσδίδεται στο πλαίσιο αρκετή πρόσθετη

ακαμψία ικανή να υπερκαλύψει την όποια αρνητική επίδραση της συμπεριφοράς των κόμβων στην καθολική αντοχή του πλαισίου.

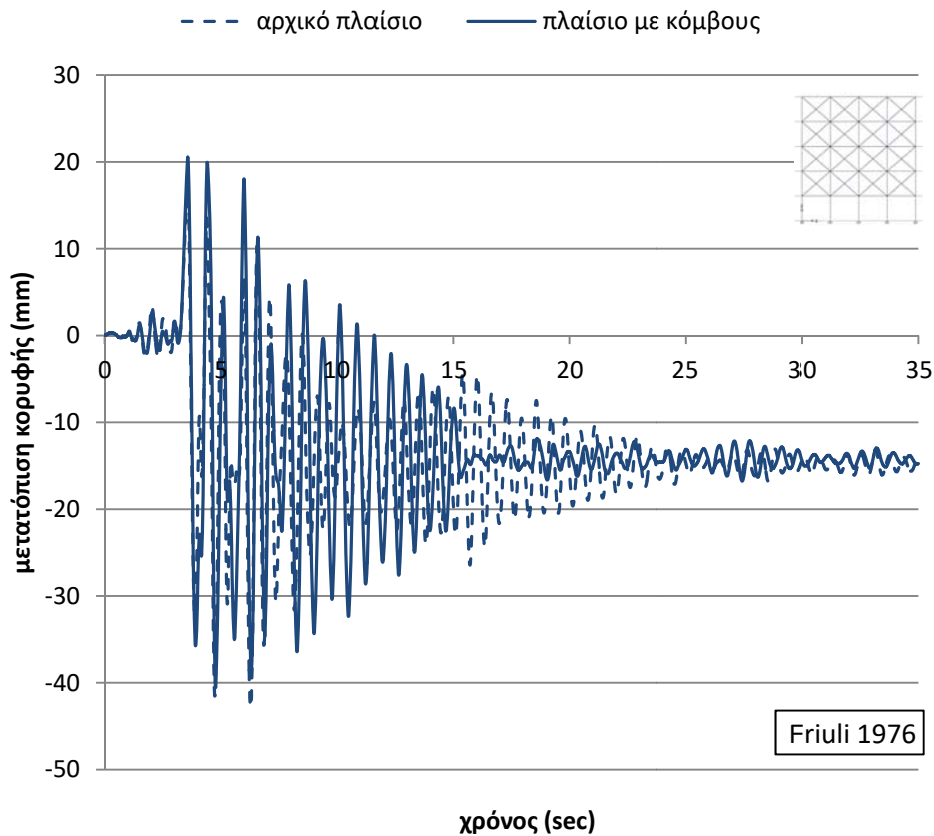
6.4.3 Συγκριτικά αποτελέσματα δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων με το σεισμό του Friuli για το πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο

Προκειμένου να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων του πλαισίου με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο (χωρίς και με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων) για το σεισμό του Friuli, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω γραφήματα.



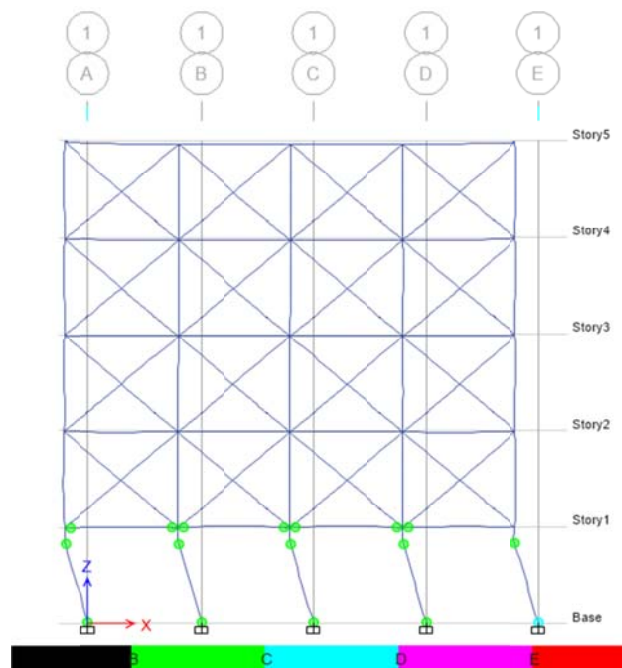
Σχήμα 6.135. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης

Από τα συγκριτικά διαγράμματα της τέμνουσας βάσης (Σχήμα 6.135) και της μετατόπισης κορυφής (Σχήμα 6.136) σε συνάρτηση με το χρόνο, εξάγεται το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου, παρατηρούνται μεγαλύτερες μετατοπίσεις στην κορυφή του πλαισίου, κυρίως στα πρώτα κρίσιμα δευτερόλεπτα της σεισμικής διέγερσης.



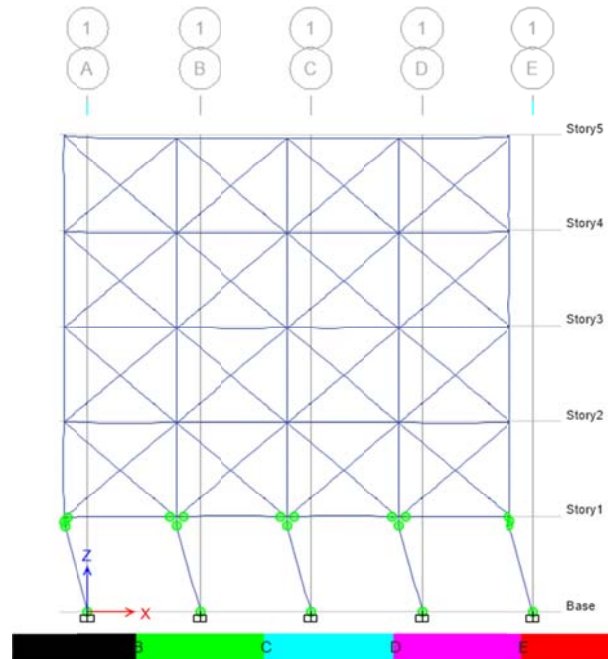
Σχήμα 6.136. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής

Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο αρχικό πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.137).



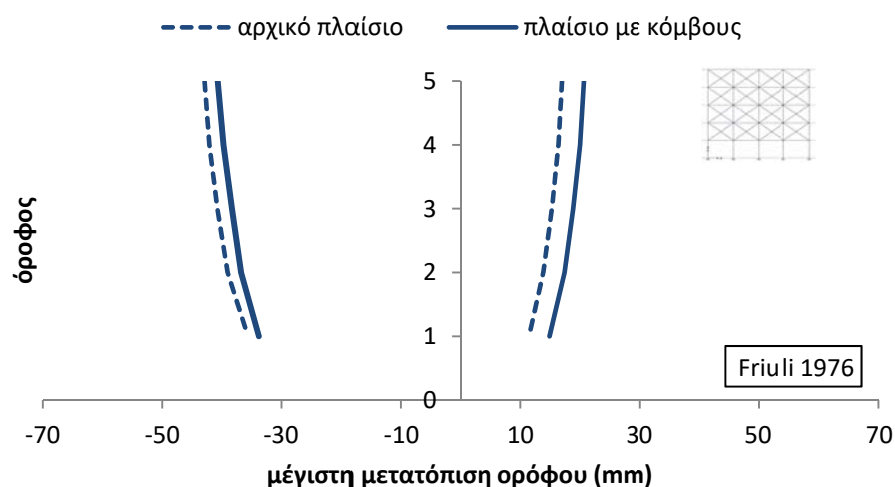
Σχήμα 6.137. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.137 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις σχεδόν σε όλα τα άκρα των δοκών της πρώτης στάθμης, καθώς και στη βάση και την κορυφή όλων των υποστυλωμάτων ισογείου. Από τη δυναμική ανελαστική ανάλυση στο πλαίσιο με το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων με τοιχοπληρώσεις, η εικόνα των αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στο τελικό βήμα της ανάλυσης είναι αυτή του επόμενου σχήματος (Σχήμα 6.138).

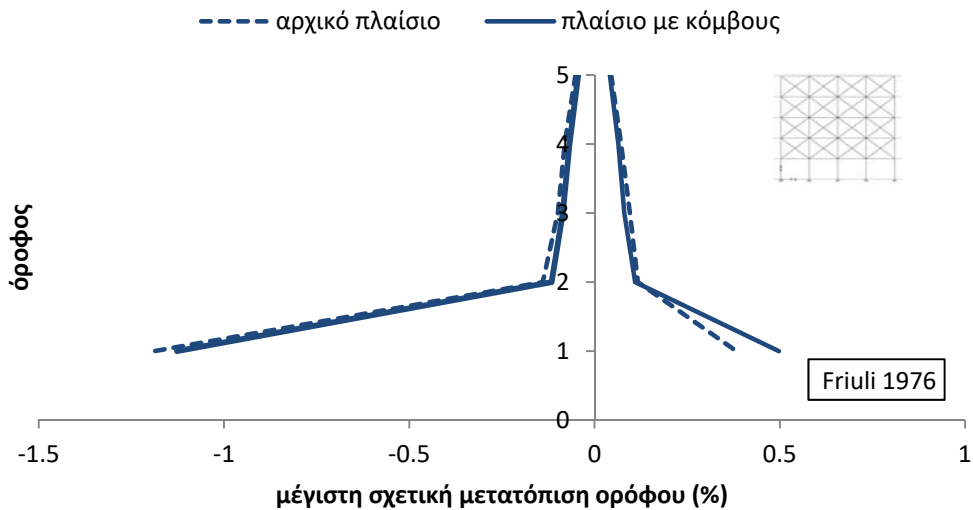


Σχήμα 6.138. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.138 βλέπουμε πως εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των δοκών όλων των εσωτερικών κόμβων της πρώτης στάθμης, εκτός των ακραίων εξωτερικών δοκών, καθώς και στη βάση και την κορυφή όλων των υποστυλωμάτων της πρώτης στάθμης. Αντίθετα, στους ακραίους εξωτερικούς κόμβους του πλαισίου στην πρώτη στάθμη δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων, οι οποίοι και αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.



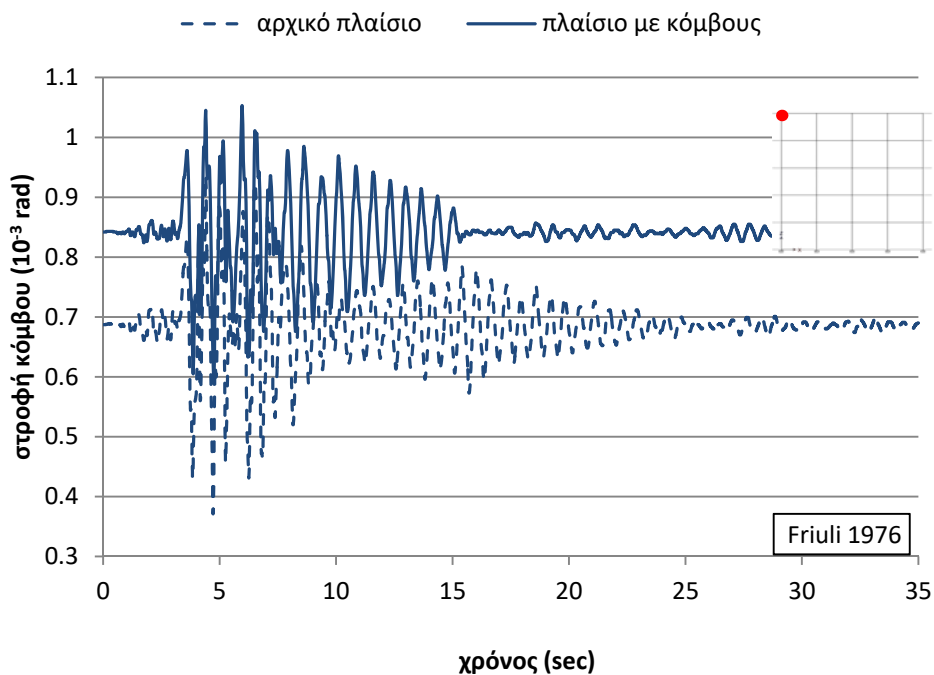
Σχήμα 6.139. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων



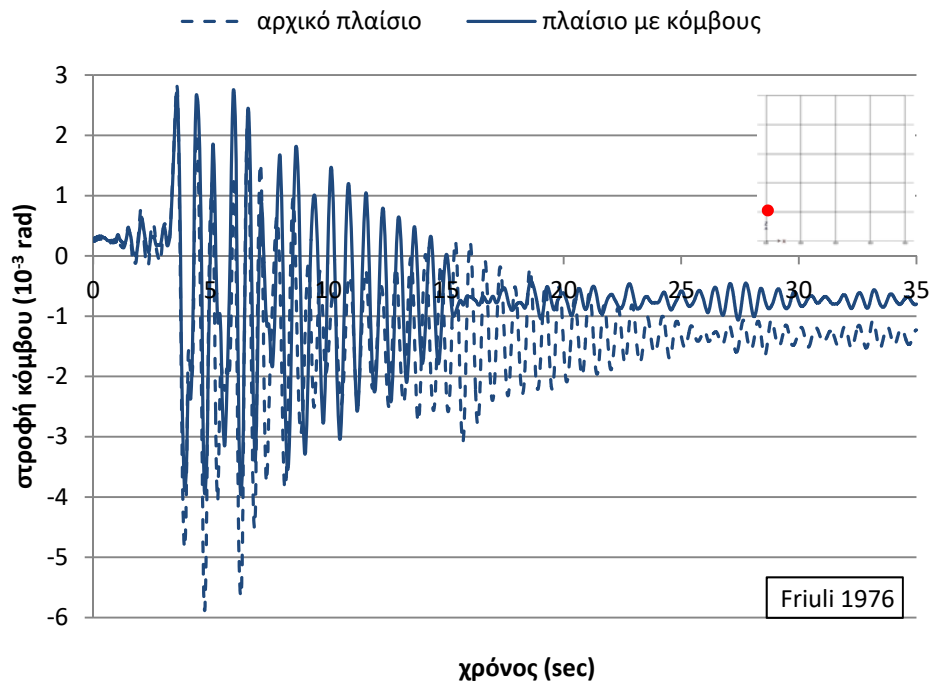
Σχήμα 6.140. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων

Από τα προηγούμενα συγκριτικά διαγράμματα των μέγιστων (Σχήμα 6.139) και των σχετικών μέγιστων (Σχήμα 6.140) μετατοπίσεων ορόφων, συμπεραίνεται πως με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρούνται ελαφρώς μεγαλύτερες μετακινήσεις και μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις.

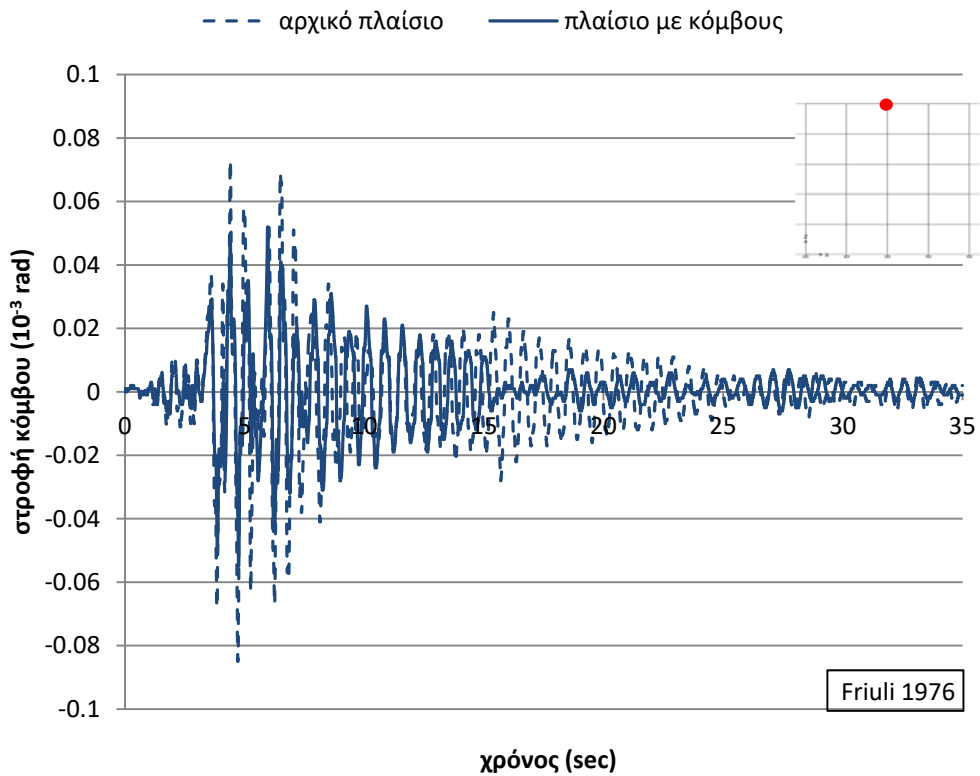
Στα επόμενα σχήματα παρατίθενται η μεταβολή της στροφής τεσσάρων επιλεγμένων κόμβων του πλαισίου σε συνάρτηση με το χρόνο (κόμβος st5j1, κόμβος st1j1, κόμβος st5j3 και κόμβος st1j3).



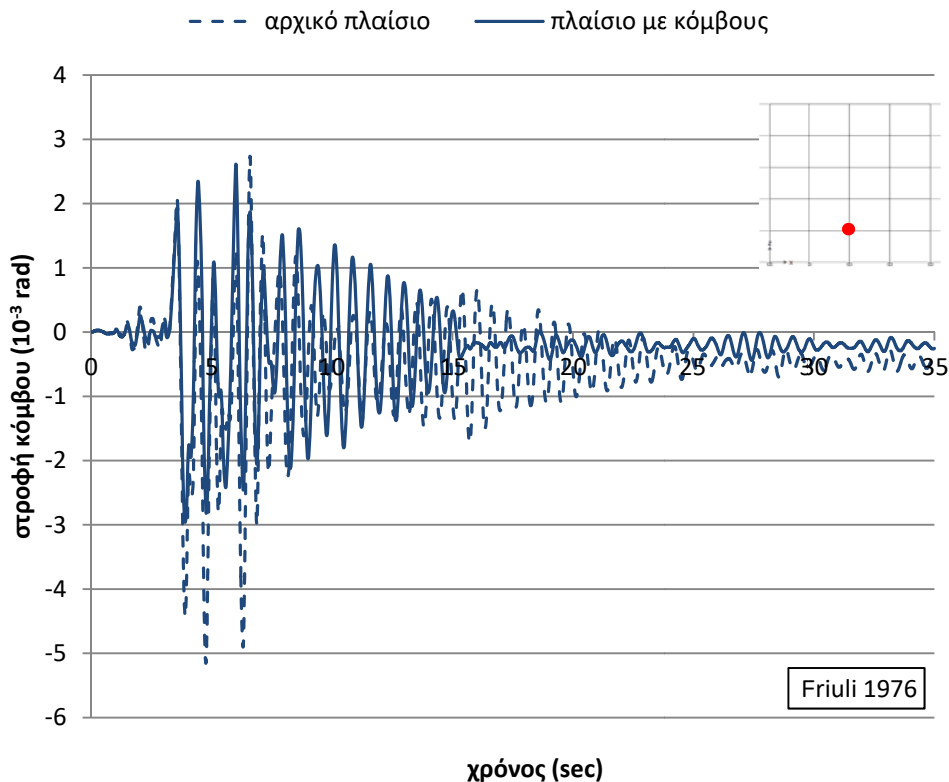
Σχήμα 6.141. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1



Σχήμα 6.142. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1



Σχήμα 6.143. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3



Σχήμα 6.144. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3

Από τα ανωτέρω σχήματα με τα διαγράμματα μεταβολής της στροφής των κόμβων σε συνάρτηση με το χρόνο, συμπεραίνεται πως στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η πραγματικά ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης, οι κόμβοι st5j1 (Σχήμα 6.141) και st1j3 (Σχήμα 6.144) παρουσιάζουν μεγαλύτερες στροφές σε σχέση με το αρχικό μοντέλο χωρίς την μοντελοποίηση των κόμβων. Αντίθετα, οι κόμβοι st5j3 (Σχήμα 6.143) και st1j1 (Σχήμα 6.142) παρουσιάζουν πρακτικά την ίδια στροφική συμπεριφορά.

Συμπερασματικά, από τα ανωτέρω συγκριτικά διαγράμματα και σχήματα, προκύπτει πως όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), διαφοροποιείται σημαντικά το είδος των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

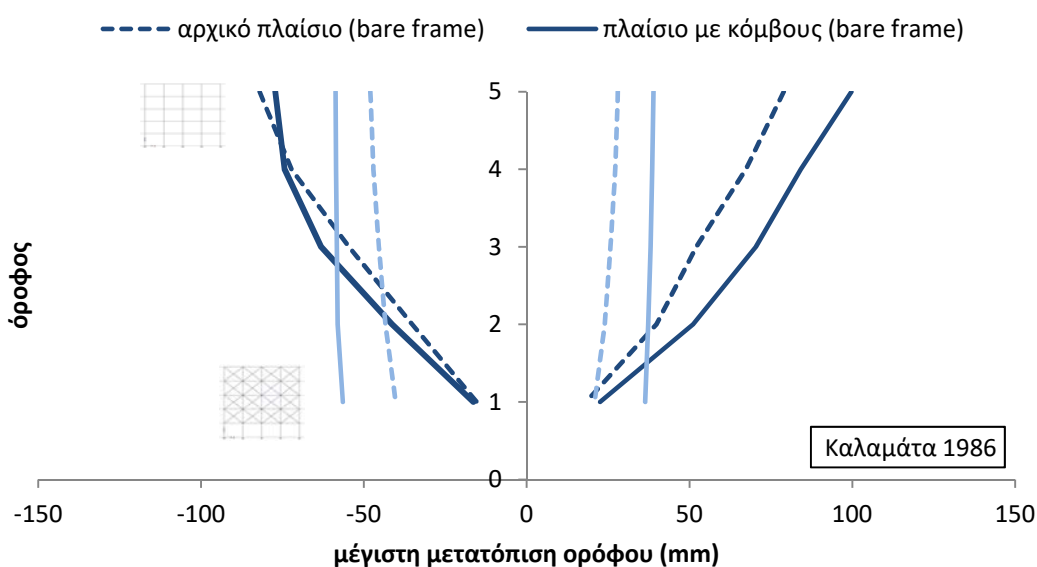
6.5 Συνοπτική επισκόπηση αποτελεσμάτων δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στις τρεις εκδοχές – μορφές του εξεταζόμενου πλαισίου (χωρίς τοιχοπληρώσεις, με τοιχοπληρώσεις και με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο), χωρίς και με

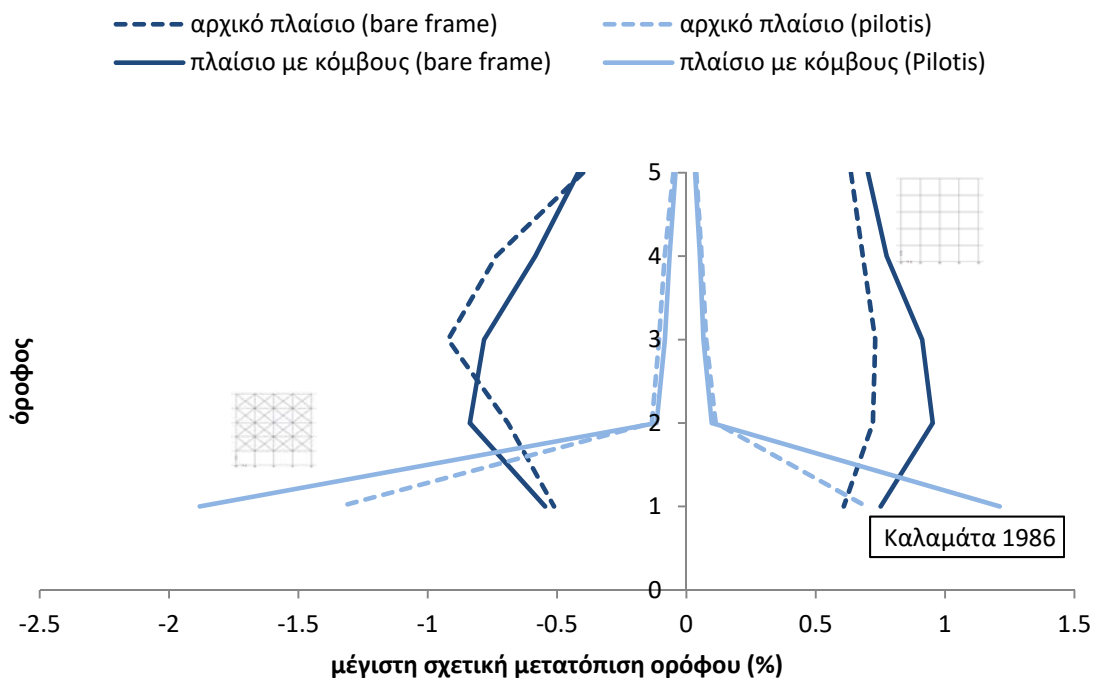
το μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, προκύπτουν χρήσιμες διαπιστώσεις, επιπλέον αυτών που αναλύθηκαν στην ενότητα 5.7.

Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις, η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων οδηγεί στο συμπέρασμα πως η εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης δεν επηρεάζει την καθολική συμπεριφορά του πλαισίου, αφού δεν μεταβάλλονται ουσιωδώς οι μέγιστες μετατοπίσεις κορυφής, ούτε και οι στρωφικές παραμορφώσεις των κόμβων που εξετάστηκαν. Επιπλέον, οι όποιες αστοχίες στα μέλη του φορέα, περιορίζονται στις τρεις πρώτες στάθμες και ιδιαίτερα στους εξωτερικούς κόμβους. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις, προσδίδεται στο πλαίσιο αρκετή πρόσθετη ακαμψία ικανή να υπερκαλύψει την όποια αρνητική επίδραση της συμπεριφοράς των κόμβων στην καθολική αντοχή του πλαισίου. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης, διαφοροποιείται σημαντικά το είδος των αστοχιών για τους εξωτερικούς κόμβους στους οποίους δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – με αποτέλεσμα οι κόμβοι αυτοί να αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς.

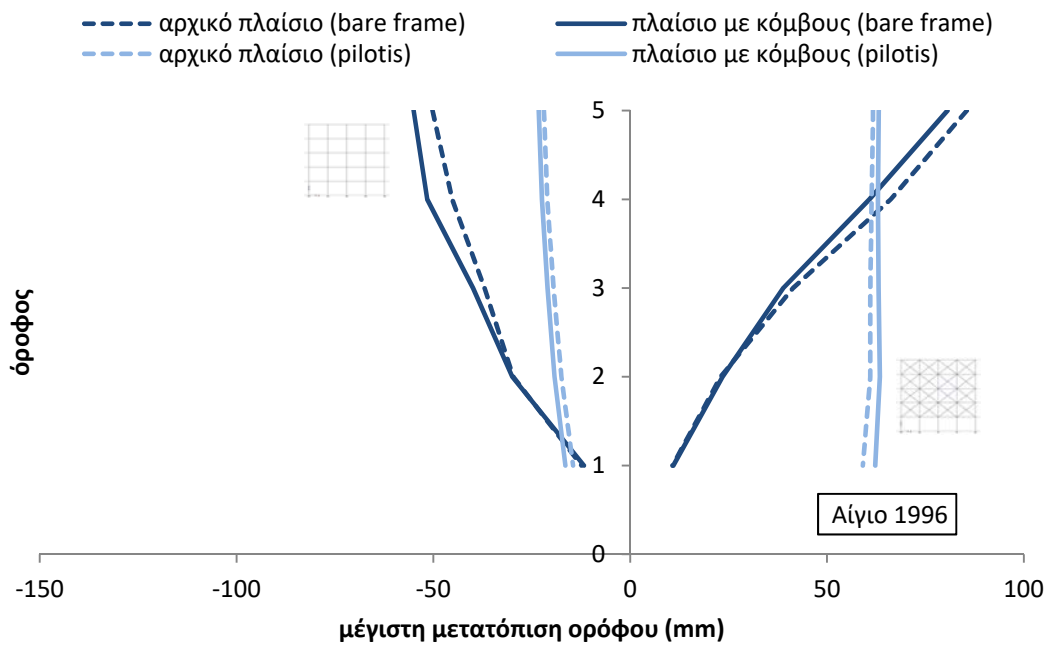
Όσον αφορά στις δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις και στο πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, από τα συγκριτικά διαγράμματα των μέγιστων (Σχήμα 6.145, Σχήμα 6.147 & Σχήμα 6.149) και των σχετικών μέγιστων (Σχήμα 6.146, Σχήμα 6.148 & Σχήμα 6.150) μετατοπίσεων ορόφων, συμπεραίνεται πως με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρούνται εν γένει μεγαλύτερες απόλυτες και σχετικές μετακινήσεις ορόφων, γεγονός που δικαιολογεί και την ανάπτυξη περισσότερων πλαστικών αρθρώσεων σε όλο τον φορέα στην περίπτωση του πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις. Στην περίπτωση του πλαισίου με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, οι μεγαλύτερες μετακινήσεις προκαλούν υψηλότερου επιπέδου βλάβες στους κόμβους και στα μέλη του ισόγειου.



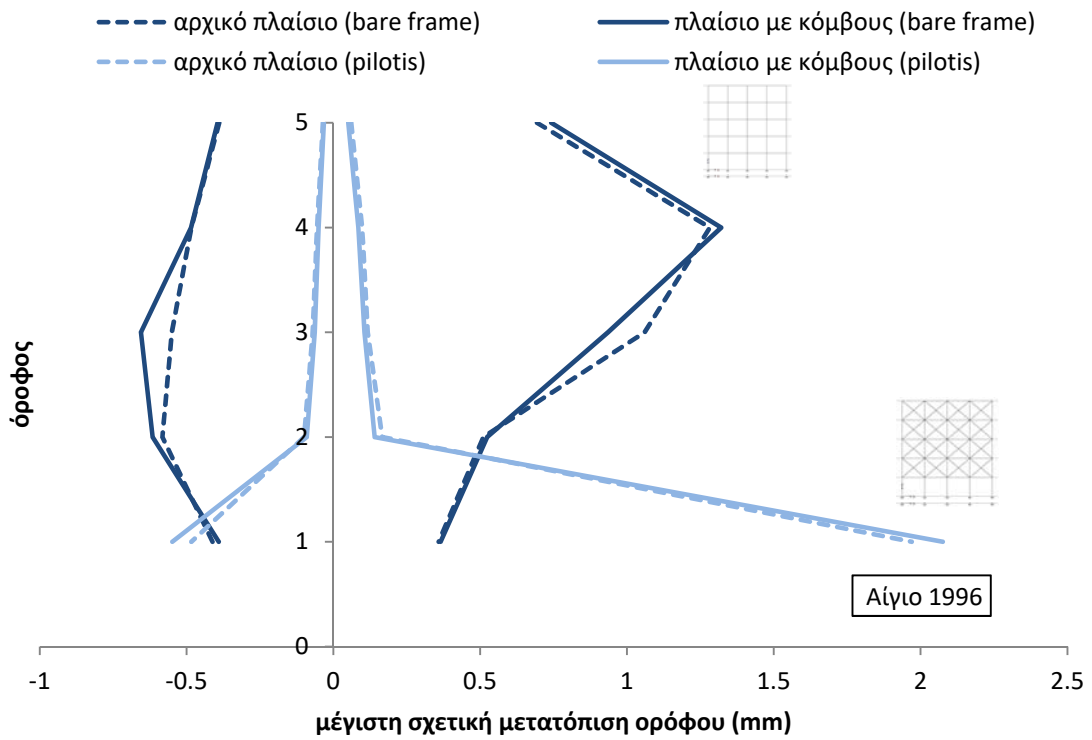
Σχήμα 6.145. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό της Καλαμάτας



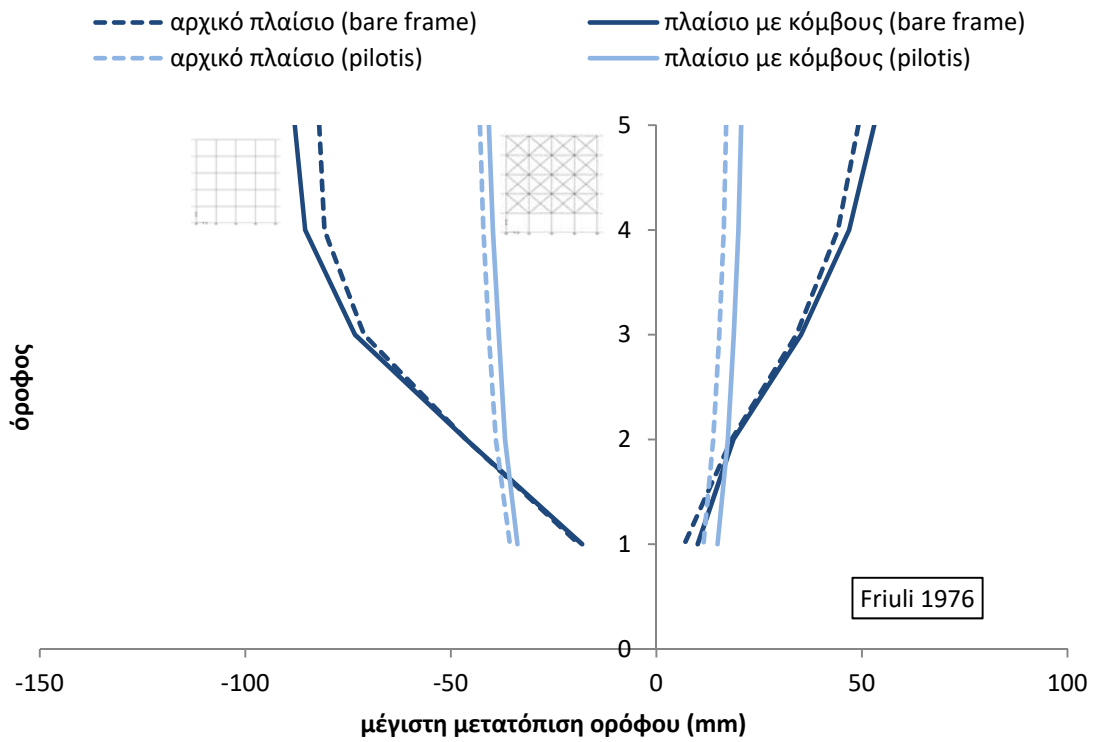
Σχήμα 6.146. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό της Καλαμάτας



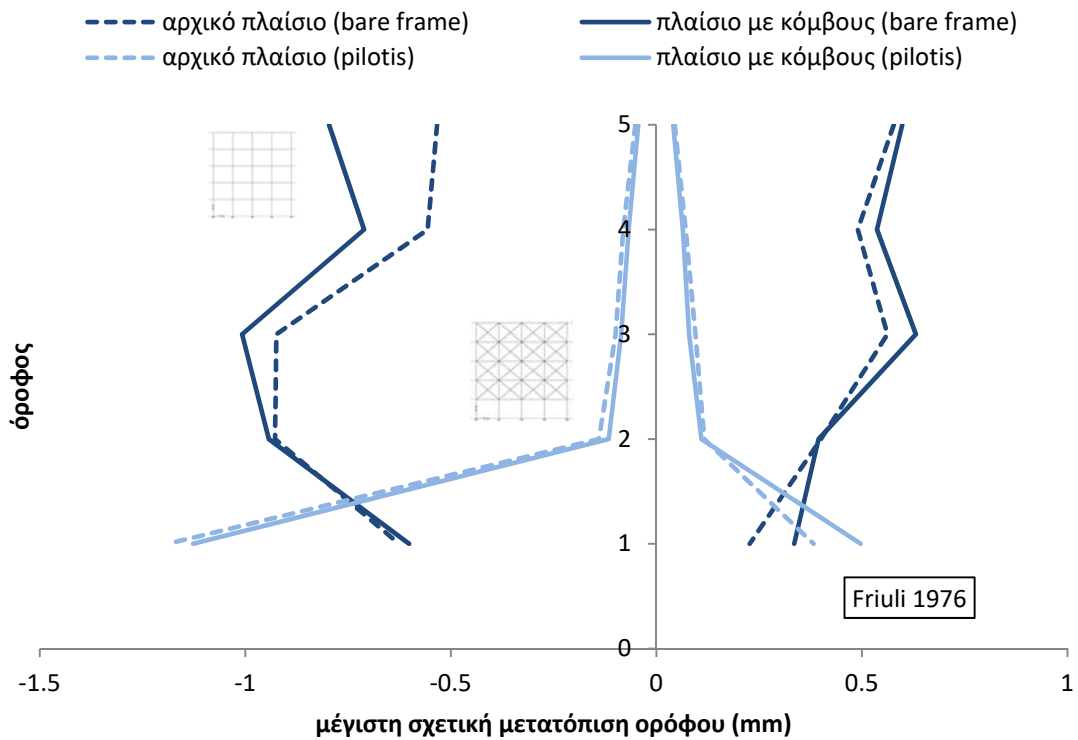
Σχήμα 6.147. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό του Αιγίου



Σχήμα 6.148. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό του Αιγίου



Σχήμα 6.149. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό του Friuli



Σχήμα 6.150. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό του Friuli

Από τα ανωτέρω προκύπτει συνολικά το συμπέρασμα πως, όταν θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), διαφοροποιείται σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους.

Κεφάλαιο 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής των κόμβων δοκού - υποστυλώματος στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, με έμφαση στα κτίρια που έχουν μελετηθεί με παλαιότερους κανονισμούς (προ 1985 για την Ελλάδα). Τα κτίρια της περιόδου αυτής έχουν διαστασιολογηθεί κυρίως για στατικά μη σεισμικά φορτία, χωρίς κατασκευαστικές διατάξεις όπλισης με τις οποίες θα εξασφαλιζόταν μία πλάστιμη συμπεριφορά του δομήματος και θα αποφευγόταν η ψαθυρή αστοχία του κόμβου.

Μετά από έρευνα στη διεθνή κυρίως αλλά και στην εγχώρια βιβλιογραφία, διαπιστώθηκε πως το εν λόγω αντικείμενο απασχολεί έντονα την επιστημονική κοινότητα, με πληθώρα θεωρητικών και πειραματικών ερευνών. Οι περισσότερες θεωρητικές έρευνες χρησιμοποιούν πολύπλοκα μοντέλα (πολυελατηριακά μοντέλα, πεπερασμένα στοιχεία κ.ά.) τα οποία εστιάζουν κάθε φορά σε διάφορες παραμέτρους επιρροής της συμπεριφοράς του κόμβου (αντοχή πυρήνα σκυροδέματος, ολίσθηση ράβδων οπλισμού κ.ά.), ενώ συνήθως δεν μπορούν να τύχουν ευρείας εφαρμογής στα εμπορικά διαθέσιμα προγράμματα στατικών αναλύσεων. Επιπλέον, δεν υφίστανται αρκετές έρευνες που να εξετάζουν την επιρροή των κόμβων στη συνολική συμπεριφορά του κτιρίου, με ακόμα λιγότερες από αυτές να αφορούν σε παλαιότερα κτίρια, τα οποία μειονεκτούν αντικειμενικά σε σχέση με τα νεότερα. Σε πειραματικό επίπεδο, υπάρχει πληθώρα δεδομένων για εξωτερικούς και εσωτερικούς κόμβους, κατασκευασμένους με ή χωρίς αντισεισμικές διατάξεις, τα οποία βεβαίως εξετάζουν την τοπική και όχι την καθολική συμπεριφορά.

Στο πλαίσιο αυτό, προτείνεται ένα αναλυτικό μοντέλο προσομοίωσης της πραγματικής ανελαστικής συμπεριφοράς των κόμβων δοκού – υποστυλώματος φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα, βασισμένο στο μοντέλο των Sharma et al (2011a) (Σχήμα 3.4), με τη διαφορά πως επιλέγεται μία τροποποιημένη εκδοχή της μεθοδολογίας του Yiyue (2015) για τον αναλυτικό υπολογισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών που θα χρησιμοποιηθούν, η οποία επεκτάθηκε και σε άλλους τύπους κόμβων (εξωτερικούς, εσωτερικούς, ακραίους μορφής L ή μορφής T).

Η τροποποιημένη αναλυτική μεθοδολογία εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών των στοιχείων του μοντέλου και εισήχθησαν στο πρόγραμμα ανελαστικής

ανάλυσης, με το οποίο έγιναν στατικές και δυναμικές αναλύσεις προκειμένου να διερευνηθεί η επιρροή των κόμβων στην καθολική συμπεριφορά της κατασκευής.

Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των διερευνητικών ανελαστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα ETABS. Πιο συγκεκριμένα, εξάγονται συμπεράσματα ως προς την επιρροή των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών, κατόπιν στατικών ανελαστικών αναλύσεων στις τρεις εκδοχές του εξεταζόμενου πλαισίου (χωρίς τοιχοπληρώσεις, με τοιχοπληρώσεις, με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο) και μετά από δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις (αναλύσεις χρονοϊστορίας) με τα επιταχυνσιογραφήματα των σεισμικών καταγραφών της Καλαμάτας, του Αιγίου και του Friuli.

7.2 Σύνοψη συμπερασμάτων

Από τις στατικές ανελαστικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο εξεταζόμενο πλαίσιο και στις τρεις εκδοχές του, προέκυψε το πρωταρχικό συμπέρασμα πως το ίδιο πλαίσιο με ή χωρίς το προτεινόμενο μοντέλο των κόμβων, διατηρεί τα περιοδικά του χαρακτηριστικά και άρα δεν αλλοιώνεται η δυσκαμψία του ταλαντωτή (Σχήμα 5.71). Έτσι, η όποια διαφορετική συμπεριφορά του πλαισίου αναφορικά με την εκτιμώμενη αντοχή του και τις μέγιστες αναμενόμενες μετακινήσεις οροφής, είναι συνέπεια αποκλειστικά και μόνο του είδους, του πλήθους και της θέσης των προσδοκώμενων βλαβών που λαμβάνουν χώρα στο φορέα κατά την ανάλυση. Κατά συνέπεια, η αλληλουχία των διαφορετικών αναπτυσσόμενων πλαστικών αρθρώσεων στα μέλη του φορέα, είναι αυτή που καθορίζει την καθολική του συμπεριφορά και τις μέγιστες αναμενόμενες αντοχές του. Αυτό σημαίνει πως, το προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων, είναι καταρχάς αξιόπιστο και δύναται να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την επιρροή των κόμβων στην καθολική σεισμική απόκριση της κατασκευής, κατόπιν σύγκρισης των αποτελεσμάτων των αναλύσεων με και χωρίς την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης.

Από τις στατικές ανελαστικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις, η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων οδηγεί στο συμπέρασμα πως η εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης δεν επηρέασε την καθολική του συμπεριφορά, αφού η καμπύλη αντίστασης παρέμεινε πρακτικά αμετάβλητη (Σχήμα 5.53). Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις, προσδίδεται στο πλαίσιο αρκετή πρόσθετη ακαμψία ικανή να υπερκαλύψει την όποια αρνητική επίδραση της συμπεριφοράς των κόμβων στην καθολική αντοχή του πλαισίου. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης, διαφοροποιείται σημαντικά το είδος των αστοχιών κυρίως για τους εξωτερικούς κόμβους, στους οποίους δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστρωμάτων – με αποτέλεσμα οι κόμβοι αυτοί να αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστρώματα και δοκούς.

Όσον αφορά στις άλλες δύο εκδοχές του εξεταζόμενου πλαισίου (πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις και πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο), από τις στατικές ανελαστικές αναλύσεις

που πραγματοποιήθηκαν, εξάγεται το συμπέρασμα πως στην περίπτωση που θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου ως άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο), όχι μόνο υπερεκτιμάται εν γένει η αντοχή του πλαισίου, αλλά διαφοροποιείται σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, καθώς όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων (πλαίσιο με κόμβους), παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους. Η υπερεκτίμηση της αντοχής του πλαισίου αγγίζει ακόμα και το 56% σε όρους μετακινήσεων οροφής ή το 65% σε όρους δυνάμεων (τέμνουσα βάση) (ενότητα 5.7).

Από τις δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις παρατηρείται πως, η εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης, δεν επηρεάζει την καθολική συμπεριφορά του πλαισίου, αφού δεν μεταβάλλονται ουσιωδώς οι μέγιστες μετατοπίσεις κορυφής (Σχήμα 6.52, Σχήμα 6.96 & Σχήμα 6.126), ούτε και οι στροφικές παραμορφώσεις των κόμβων που εξετάστηκαν (ενότητες 6.2.6, 6.3.2 & 6.4.2). Επιπλέον, οι όποιες αστοχίες στα μέλη του φορέα, περιορίζονται στις τρεις πρώτες στάθμες και ιδιαίτερα στους εξωτερικούς κόμβους. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα πως, στην περίπτωση του πλαισίου με τοιχοπληρώσεις, προσδίδεται στο πλαίσιο αρκετή πρόσθετη ακαμψία ικανή να υπερκαλύψει την όποια αρνητική επίδραση της συμπεριφοράς των κόμβων στην καθολική αντοχή του πλαισίου. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης, διαφοροποιείται σημαντικά το είδος των αστοχιών για τους εξωτερικούς κόμβους στους οποίους δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στο σώμα των κόμβων – τόσο στο τμήμα που αντιστοιχεί στις δοκούς όσο και στο τμήμα των υποστυλωμάτων – με αποτέλεσμα οι κόμβοι αυτοί να αστοχούν διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς (ενότητα 6.5).

Όσον αφορά στο πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις και στο πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, παρατηρώντας τα συγκριτικά διαγράμματα των μέγιστων (Σχήμα 6.145, Σχήμα 6.147 & Σχήμα 6.149) και των σχετικών μέγιστων (Σχήμα 6.146, Σχήμα 6.148 & Σχήμα 6.150) μετατοπίσεων ορόφων από τις δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, συμπεραίνεται πως με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, παρατηρούνται εν γένει μεγαλύτερες απόλυτες και σχετικές μετακινήσεις ορόφων, γεγονός που δικαιολογεί και την ανάπτυξη περισσότερων πλαστικών αρθρώσεων σε όλο τον φορέα στην περίπτωση του πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις. Στην περίπτωση του πλαισίου με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, οι βλάβες περιορίζονται στη στάθμη του ισογείου και οι μεγαλύτερες μετακινήσεις προκαλούν υψηλότερου επιπέδου βλάβες στους κόμβους και στα μέλη της στάθμης αυτής (ενότητα 6.5), λόγω εκδήλωσης φαινομένου μαλακού ορόφου.

Συνοψίζοντας, το προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιεί έναν περιορισμένο αριθμό ελατηρίων (ένα στροφικό στο δοκό και δύο διατμητικά στο υποστύλωμα στην περίπτωση εξωτερικού κόμβου), σε αντίθεση με άλλα προτεινόμενα μοντέλα στη βιβλιογραφία, τα οποία χρησιμοποιούν είτε πολλαπλά ελατήρια είτε εξειδικευμένα στοιχεία που προσομοιώνουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πυρήνα του κόμβου, χωρίς πάντα να είναι εφικτό να υπολογιστούν με προσιτό τρόπο τα δεδομένα εκείνα που περιγράφουν τους καταστατικούς νόμους των στοιχείων προσομοίωσης. Επίσης, με την τροποποιημένη εκδοχή της μεθοδολογίας του Yiyoue (2015) για τον αναλυτικό υπολογισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών που

χρησιμοποιούνται στο μοντέλο προσομοίωσης, καθίσταται ευκολότερος ο τρόπος υπολογισμού τους και επιπλέον είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του και σε άλλου είδους κόμβους, πλην των εξωτερικών κόμβων ενδιάμεσων ορόφων. Το γεγονός αυτό, δηλαδή της σχετικής απλότητας του μοντέλου, το καθιστά πρακτικό, υπολογιστικά μη απαγορευτικό, ακριβές και εφαρμόσιμο σε αρκετές περιπτώσεις, κάτι που αποτελεί το βασικότερο ίσως πλεονέκτημά του.

Τέλος, αναφορικά με το κυρίως αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας που είναι η διερεύνηση της επιρροής των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών, προέκυψαν αρκετά χρήσιμα συμπεράσματα. Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια (Κεφάλαιο 5 & Κεφάλαιο 6), η εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων διαφοροποίησε σημαντικά τόσο την καθολική όσο και την τοπική συμπεριφορά της εξεταζόμενης κατασκευής. Ειδικότερα, στην περίπτωση που θεωρηθούν οι κόμβοι του πλαισίου άκαμπτοι (αρχικό πλαίσιο χωρίς το μοντέλο προσομοίωσης), υπερεκτιμάται σε μεγάλο βαθμό η συνολική αντοχή του πλαισίου ενώ αναμένονται και μεγαλύτερες μετακινήσεις οροφής. Επίσης, μειώνεται σημαντικά το πλήθος των τοπικών αστοχιών. Αντίθετα, όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων με την υιοθέτηση και εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης (πλαίσιο με κόμβους), η συνολική αντοχή του πλαισίου προκύπτει πιο συντηρητική αλλά και πιο ρεαλιστική, καθώς προσεγγίζει την πειραματική. Επιπλέον, με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων, διαφοροποιείται σημαντικά το είδος, το πλήθος και η θέση των τοπικών αστοχιών, επηρεάζοντας σημαντικά τις θέσεις των πιθανών ενισχυτικών επεμβάσεων στο φορέα καθώς και το είδος των ενισχύσεων. Έτσι, οι τοπικές αστοχίες είναι εν γένει περισσότερες ή σε διαφορετικές θέσεις, ενώ παρατηρείται το φαινόμενο να προηγείται η αστοχία του σώματος του κόμβου από αυτή των μελών που συντρέχουν σε αυτόν, κυρίως στους εξωτερικούς κόμβους. Η συμπεριφορά των εσωτερικών κόμβων, ως αντικειμενικά πιο ισχυρών λόγω του σπλισμού που διέρχεται από τον πυρήνα τους και πρακτικά αγκυρώνεται πέραν των κρίσιμων διατομών των στοιχείων που συντρέχουν σε αυτόν, δεν διαφοροποιείται σημαντικά καθώς ο πυρήνας τους αποδεικνύεται αρκετά ισχυρός και με μεγαλύτερη αντοχή από αυτή των εξωτερικών κόμβων. Ακόμα όμως και σε αυτή την περίπτωση, αναπτύσσονται περισσότερες πλαστικές αρθρώσεις στα συντρέχοντα δοκάρια και υποστυλώματα, από ότι να είχαν θεωρηθεί οι κόμβοι ως πλήρως άκαμπτοι.

7.3 Περαιτέρω έρευνα

Η διερεύνηση της επιρροής των κόμβων στη σεισμική συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών από σπλισμένο σκυρόδεμα, όπως πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, κατέληξε σε χρήσιμα συμπεράσματα τόσο αναφορικά με την καθολική και τοπική συμπεριφορά των πλαισίων και των μελών του όσο και με τη δυνατότητα εφαρμογής του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων σε εμπορικά διαθέσιμα προγράμματα. Παρόλα αυτά, τα σχετικά συμπεράσματα προσφέρονται ως μία επαρκή αφετηρία για περαιτέρω διερεύνηση του αντικειμένου, εξέλιξη και βελτίωση του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης της πραγματικής συμπεριφοράς των κόμβων.

Όσον αφορά στο προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης των κόμβων και ειδικότερα στον προσδιορισμό των ελατηριακών χαρακτηριστικών των στοιχείων του μοντέλου, μπορεί να διερευνηθεί η υιοθέτηση άλλων θεωρητικών προσεγγίσεων εκτίμησης της διατμητικής αντοχής του κόμβου, βασισμένων ακόμα και σε πειραματικά δεδομένα που υφίστανται στη βιβλιογραφία (π.χ. Καραγιάννης κ.ά, 2003). Επιπλέον, μπορεί να εξετασθεί ο τρόπος εφαρμογής του μοντέλου σε τρισδιάστατους φορείς και να διερευνηθεί η αντικειμενική του αξιοπιστία, όπως έγινε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

Αναφορικά με τη διερεύνηση της επιρροής των κόμβων στη συμπεριφορά υφιστάμενων κατασκευών, μέσω εφαρμογής του προτεινόμενου μοντέλου, μπορούν να πραγματοποιηθούν επιπλέον αναλύσεις σε διαφορετικά είδη πλαισίων, διαφόρων χρονικών περιόδων κατασκευής, καθώς και σε αντίστοιχους τρισδιάστατους φορείς. Οι επιπλέον ανελαστικές αναλύσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με χρήση πληθώρας διαφορετικών σεισμικών καταγραφών, τα αποτελέσματα των οποίων θα συμπληρώσουν τα αποτελέσματα της παρούσας και θα χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω σύγκριση και εξαγωγή συμπερασμάτων. Επίσης, μπορεί να εξετασθεί η επιρροή συγκεκριμένων εδαφικών χαρακτηριστικών που λαμβάνονται υπόψη για τον αντισεισμικό υπολογισμό, υπό το πρίσμα της θεώρησης της πραγματικής ανελαστικής συμπεριφοράς των κόμβων.

Τέλος, για τη διενέργεια των ανελαστικών αναλύσεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα προγράμματα στατικής ανάλυσης (είτε πιο εξειδικευμένα για ερευνητική χρήση, είτε άλλα ευρέως διαθέσιμα εμπορικά προγράμματα), έτσι ώστε να διευρυνθεί η εξέταση της εφαρμογής του μοντέλου και τα αποτελέσματα της διερεύνησης της συμπεριφοράς των κόμβων.

7.4 Επίλογος

Η διερεύνηση της επιρροής της πραγματικής ανελαστικής συμπεριφοράς των κόμβων στη σεισμική απόκριση των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, έδειξε ότι είναι αρκετά σημαντική και υπολογίσιμη, καθώς επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό – τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά – τα αποτελέσματα των αναλύσεων αποτίμησης φέρουσας ικανότητας. Η προσομοίωση των κόμβων γίνεται με ένα προτεινόμενο μοντέλο ικανό να προσεγγίσει την πραγματική συμπεριφορά του πυρήνα των κόμβων δοκού – υποστύλωματος, το οποίο είναι σχετικά απλό, υπολογιστικά μη απαγορευτικό, ακριβές και εφαρμόσιμο πρακτικά σε κάθε είδους κόμβο. Τα κτίρια που έχουν κατασκευασθεί με παλαιότερους κανονισμούς (προ 1985 για την Ελλάδα), διαστασιολογημένα για μη σεισμικά κυρίως φορτία, με οπλισμό από λείους χάλυβες και χωρίς αντισεισμική διάταξη των οπλισμών, είναι εξ ορισμού πιο ευάλωτα στη σεισμική καταπόνηση. Οι τοιχοπληρώσεις επηρεάζουν και αυτές σημαντικά την καθολική σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών και γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στις μελέτες αποτίμησης, ιδίως όταν επιδρούν αρνητικά (για παράδειγμα με τη δημιουργία μαλακού ορόφου). Τα πλήρως τοιχοπληρωμένα εξωτερικά φατνώματα των πλαισίων προσδίδουν στο πλαίσιο αρκετή πρόσθετη ακαμψία ικανή να υπερκαλύψει την όποια αρνητική επίδραση της συμπεριφοράς των κόμβων στην καθολική αντοχή του πλαισίου. Η υιοθέτηση του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης των κόμβων έδειξε πως, στην περίπτωση που ληφθεί

υπόψη η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά των κόμβων, η σεισμική αποτίμηση των κατασκευών οδηγεί σε πιο συντηρητικά αλλά και πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν αγνοείται η επιρροή των κόμβων και θεωρούνται ως άκαμπτοι, η υπερεκτίμηση της αντοχής του πλαισίου αγγίζει ακόμα και το 56% σε όρους μετακινήσεων οροφής ή το 65% σε όρους δυνάμεων (τέμνουσα βάση). Οι εσωτερικοί κόμβοι, λόγω της θέσης και της φύσης τους, είναι πιο ισχυροί και εν γένει δεν αστοχούν πριν από τα μέλη που συντρέχουν σε αυτούς. Αντίθετα, οι εξωτερικοί κόμβοι – κυρίως λόγω της ανεπαρκούς όπλισής τους και της εσφαλμένης ή μη αγκύρωσης των οπλισμών που εισέρχονται στον πυρήνα τους – αποτελούν αδύναμο σημείο των εξεταζόμενων κατασκευών, καθώς το σώμα των κόμβων αυτών αστοχεί διατμητικά πριν από τα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς, γεγονός που επιβεβαιώνεται από πληθώρα παρατηρήσεων αστοχιών σε αντίστοιχες κατασκευές μετά από έντονα κυρίως σεισμικά γεγονότα.

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1.1. Αστοχία κόμβου στο σεισμό της Καλαμάτας (Καραγιάννης, 2008).....	1
Σχήμα 1.2. Αστοχία κόμβου στο σεισμό του Αιγίου (Καραγιάννης, 2008)	2
Σχήμα 1.3. Αστοχία κόμβου στο σεισμό της Αθήνας (Καραγιάννης, 2008).....	3
Σχήμα 2.1. Διάκριση τύπων κόμβων κατά Priestley, 1997.....	8
Σχήμα 2.2. Προτεινόμενη μεταβολή κύριας εφελκυστικής τάσης κατά Priestley, 1997.....	8
Σχήμα 2.3. Συμπεριφορά κόμβου μορφής L (Pampanin et al, 2002).....	9
Σχήμα 2.4. Συμπεριφορά κόμβου μορφής T (Pampanin et al, 2002).....	9
Σχήμα 2.5. Συμπεριφορά εσωτερικού κόμβου (Pampanin et al, 2002)	9
Σχήμα 2.6. Καμπύλη μεταβολής αντοχής κόμβου εξωτερικών κόμβων (Pampanin et al, 2002).....	10
Σχήμα 2.7. Καμπύλες μεταβολής $p_t - \gamma_j$ (Akguzel & Pampanin, 2012).....	10
Σχήμα 2.8. Καμπύλες διατμητικής αντοχής εξωτερικού και εσωτερικού κόμβου (Pampanin et al, 2003).....	11
Σχήμα 2.9. Συμπεριφορά εξωτερικού κόμβου (προ δεκαετίας '70) σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση (αριστερά) και διάγραμμα διατμητικής αντοχής – γωνιακής παραμόρφωσης κόμβου (δεξιά) από Genesio (2012).....	11
Σχήμα 2.10. Επιρροή της αντοχής σκυροδέματος στην αντοχή του κόμβου (Genesio, 2012).....	12
Σχήμα 2.11. Επιρροή του ποσοστού οπλισμού της δοκού στην αντοχή του κόμβου (Genesio, 2012)	12
Σχήμα 2.12. Επιρροή του ποσοστού οπλισμού του υποστύλωματος στην αντοχή του κόμβου (Genesio, 2012).....	12
Σχήμα 2.13. Επιρροή του λόγου h_b/h_c στην αντοχή του κόμβου (Genesio, 2012)	12
Σχήμα 2.14. Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος κύριας εφελκυστικής τάσης – διατμητικής παραμόρφωσης κόμβου (Genesio, 2012).....	13
Σχήμα 2.15. Αναλυτική διαδικασία υπολογισμού φέρουσας ικανότητας του κόμβου (Yiyue, 2015).....	14
Σχήμα 2.16. Σχηματική απεικόνιση της ισορροπίας δυνάμεων σε εξωτερικό κόμβο (αριστερά), θεωρία του κύκλου του Mohr για τον υπολογισμό της κύριας εφελκυστικής τάσης (κέντρο) και δυνάμεις στον πυρήνα του κόμβου (δεξιά) (Yiyue, 2015).....	14
Σχήμα 2.17. Μοντέλο προσομοίωσης (a) και σχηματική απεικόνιση της περιβάλλουσας τάσεων – παραμορφώσεων του πυρήνα του κόμβου (b) (Risi et al, 2017).....	15

Σχήμα 2.18. Σχηματική απεικόνιση μοντέλου προσομοίωσης (a) και μοντελοποίηση του κόμβου στην ανάλυση αποτίμησης (b) (Sharma et al, 2011a).....	16
Σχήμα 2.19. Θεωρητική σχέση μεταξύ κύριας εφελκυστικής τάσης και στροφικής παραμόρφωσης κόμβου για αγκύρωση διαμήκους ραβδωτού οπλισμού εντός του σώματος του κόμβου (Sharma et al, 2011a).....	16
Σχήμα 2.20. Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο με στροφικό ελατήριο (Pampanin et al, 2003).....	17
Σχήμα 2.21. Σχηματική απεικόνιση πλαστικών αρθρώσεων μελών και πυρήνα κόμβου και γραφική σύγκριση διαγραμμάτων pushover (Sharma et al, 2013).....	18
Σχήμα 2.22. Προτεινόμενο μοντέλο κόμβου Ning (2016).....	18
Σχήμα 2.23. Σχηματική απεικόνιση μοντέλου Omid & Behnamfar (2015)	19
Σχήμα 2.24. Απεικόνιση αναλυτικού μοντέλου (a) και περιβάλλουσα ροπής - στροφής στροφικού ελατηρίου (b) (Favvata et al, 2008).....	20
Σχήμα 2.25. Προτεινόμενο μοντέλο κόμβου Peizhou et al (2016).....	20
Σχήμα 2.26. Μοντέλο κόμβου Fillipou et al (1983, 1988).....	21
Σχήμα 2.27. Μοντέλο κόμβου Biddah & Ghobarah (1999).....	22
Σχήμα 2.28. Μοντέλο κόμβου Elmorsi et al (2000).....	22
Σχήμα 2.29. Μοντέλο κόμβου Youssef & Ghobarah (2001).....	23
Σχήμα 2.30. Προτεινόμενο μοντέλο κόμβου Lowes & Altoontash (2003)	24
Σχήμα 2.31. Τροποποιημένο μοντέλο κόμβου Altoontash (2003).....	24
Σχήμα 2.32. Μοντέλο κόμβου Shin & LaFave (2004).....	25
Σχήμα 3.1. Τυπική μορφή παραμορφωμένου πλαισίου λόγω σεισμού (Sharma, 2013).....	28
Σχήμα 3.2. Περιγραφή παραμορφώσεων εξωτερικού κόμβου (Sharma, 2013)	29
Σχήμα 3.3. Περιγραφή παραμορφώσεων εσωτερικού κόμβου (Sharma, 2013)	30
Σχήμα 3.4. Σχηματική απεικόνιση της μοντελοποίησης της παραμόρφωσης του κόμβου (Sharma, 2013).....	30
Σχήμα 3.5. Οριακές καταστάσεις εξωτερικού κόμβου συναρτήσει της γωνιακής παραμόρφωσης (Pampanin et al, 2003)	32
Σχήμα 3.6. Μηχανισμός δυνάμεων σε εξωτερικό κόμβο λόγω σεισμού (Sharma et al, 2009).....	33
Σχήμα 3.7. Μηχανισμός δυνάμεων σε εσωτερικό κόμβο λόγω σεισμού (Sharma et al, 2009).....	33
Σχήμα 4.1. Επίπεδο πλαίσιο στον άξονα 1 (ακραίο).....	40
Σχήμα 4.2. Ξυλότυπος 1 ^{ης} στάθμης (Ρεπαπής, 2007)	41
Σχήμα 4.3. Ξυλότυπος 2 ^{ης} στάθμης (Ρεπαπής, 2007)	42

Σχήμα 4.4. Ξυλότυπος 3 ^{ης} στάθμης (Ρεπαπής, 2007)	43
Σχήμα 4.5. Ξυλότυπος 4 ^{ης} στάθμης (Ρεπαπής, 2007)	44
Σχήμα 4.6. Ξυλότυπος 5 ^{ης} στάθμης (Ρεπαπής, 2007)	45
Σχήμα 4.7. Πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις (bare frame).....	46
Σχήμα 4.8. Πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις (infilled frame)	46
Σχήμα 4.9. Πλαίσιο με απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο (pilotis)	47
Σχήμα 4.10. Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων ισοδύναμης θλιβόμενης ράβδου (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2017).....	47
Σχήμα 4.11. Μεταβολή της κύριας εφελκυστικής τάσης p_i ως προς τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j (εξωτερικοί κόμβοι)	49
Σχήμα 4.12. Μεταβολή της κύριας εφελκυστικής τάσης p_i ως προς τη γωνιακή παραμόρφωση γ_j (εσωτερικοί κόμβοι και εξωτερικοί κόμβοι τελευταίας στάθμης τύπου T).....	49
Σχήμα 4.13. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες A1 & E1).....	51
Σχήμα 4.14. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες A1 & E1).....	52
Σχήμα 4.15. Μορφή καμπύλης πλαστικής άρθρωσης στο ETABS. Η ίδια μορφή ισχύει και για ροπή-στροφή (CSI Analysis Reference Manual, 2016).....	52
Σχήμα 4.16. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες B1 & D1).....	54
Σχήμα 4.17. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες B1 & D1).....	54
Σχήμα 4.18. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου ισογείου (άξονας C1).....	55
Σχήμα 4.19. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου ισογείου (άξονας C1).....	56
Σχήμα 4.20. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	57
Σχήμα 4.21. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	58
Σχήμα 4.22. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	59
Σχήμα 4.23. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	60

Σχήμα 4.24. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου α' ορόφου (άξονας C1)	61
Σχήμα 4.25. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου α' ορόφου (άξονας C1)	62
Σχήμα 4.26. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	63
Σχήμα 4.27. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	64
Σχήμα 4.28. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	65
Σχήμα 4.29. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	66
Σχήμα 4.30. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου β' ορόφου (άξονας C1)	67
Σχήμα 4.31. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου β' ορόφου (άξονας C1)	68
Σχήμα 4.32. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	69
Σχήμα 4.33. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	70
Σχήμα 4.34. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	71
Σχήμα 4.35. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	72
Σχήμα 4.36. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου γ' ορόφου (άξονας C1)	73
Σχήμα 4.37. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εσωτερικού κόμβου γ' ορόφου (άξονας C1)	74
Σχήμα 4.38. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων δ' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	75
Σχήμα 4.39. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων δ' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	76
Σχήμα 4.40. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εξωτερικών κόμβων τύπου T δ' ορόφου (άξονες B1 & D1)	77
Σχήμα 4.41. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στρωφικού ελατηρίου εσωτερικών κόμβων τύπου T δ' ορόφου (άξονες B1 & D1)	78

Σχήμα 4.42. Γράφημα $V_c - \Delta_c$ διατμητικού ελατηρίου εξωτερικού κόμβου τύπου T δ' ορόφου (άξονας C1).....	79
Σχήμα 4.43. Γράφημα $M_b - \gamma_j$ στροφικού ελατηρίου εξωτερικού κόμβου τύπου T δ' ορόφου (άξονας C1).....	80
Σχήμα 4.44. Μοντελοποίηση φορέα στο τμήμα του κόμβου (Sharma et al, 2013).....	81
Σχήμα 4.45. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης στα άκρα της δοκού.....	81
Σχήμα 4.46. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης στα άκρα του υποστυλώματος.....	82
Σχήμα 4.47. Στροφικά και διατμητικά ελατήρια σε εξωτερικό (α) και εσωτερικό κόμβο (β) (Sharma et al, 2014).....	82
Σχήμα 4.48. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης τμήματος δοκού σε εξωτερικό κόμβο (στροφικό ελατήριο).....	83
Σχήμα 4.49. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης τμήματος υποστυλώματος σε εξωτερικό κόμβο (διατμητικό ελατήριο).....	83
Σχήμα 4.50. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης τμήματος δοκού σε εσωτερικό κόμβο (στροφικό ελατήριο).....	84
Σχήμα 4.51. Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης τμήματος υποστυλώματος σε εσωτερικό κόμβο (διατμητικό ελατήριο).....	84
Σχήμα 4.52. Θεωρητική μορφή εξωτερικού κόμβου (τροποποίηση από Sharma et al, 2011b).....	85
Σχήμα 4.53. Συνολική εικόνα πλαισίου με τις πλαστικές αρθρώσεις.....	85
Σχήμα 4.54. Λεπτομέρεια μοντέλου εξωτερικού κόμβου ενδιάμεσου ορόφου.....	86
Σχήμα 4.55. Λεπτομέρεια μοντέλου εσωτερικού κόμβου ενδιάμεσου ορόφου.....	86
Σχήμα 4.56. Λεπτομέρεια μοντέλου εξωτερικού κόμβου δ' ορόφου.....	87
Σχήμα 4.57. Λεπτομέρεια μοντέλου εξωτερικού κόμβου τύπου T δ' ορόφου.....	87
Σχήμα 5.1. Καμπύλη αντίστασης αρχικού πλαισίου (ιδιομορφική ανάλυση).....	90
Σχήμα 5.2. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	90
Σχήμα 5.3. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	91
Σχήμα 5.4. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	91
Σχήμα 5.5. Τέμνουσα ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	92
Σχήμα 5.6. Καμπύλη αντίστασης πλαισίου με κόμβους (ιδιομορφική ανάλυση).....	92
Σχήμα 5.7. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	93
Σχήμα 5.8. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	94
Σχήμα 5.9. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	94

Σχήμα 5.10. Τέμνουσα ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	95
Σχήμα 5.11. Σύγκριση καμπυλών αντίστασης (ιδιομορφική ανάλυση).....	95
Σχήμα 5.12. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)	96
Σχήμα 5.13. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)	97
Σχήμα 5.14. Συγκριτικό διάγραμμα τεμνουσών ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)	97
Σχήμα 5.15. Καμπύλη αντίστασης αρχικού πλαισίου (ορθογωνική κατανομή).....	98
Σχήμα 5.16. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	99
Σχήμα 5.17. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	99
Σχήμα 5.18. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	100
Σχήμα 5.19. Τέμνουσα ορόφων (αρχικό πλαίσιο)	100
Σχήμα 5.20. Καμπύλη αντίστασης πλαισίου με κόμβους (ορθογωνική κατανομή)	101
Σχήμα 5.21. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	101
Σχήμα 5.22. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)	102
Σχήμα 5.23. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	102
Σχήμα 5.24. Τέμνουσα ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	103
Σχήμα 5.25. Σύγκριση καμπυλών αντίστασης (ορθογωνική κατανομή)	103
Σχήμα 5.26. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων (ορθογωνική κατανομή).....	104
Σχήμα 5.27. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων (ορθογωνική κατανομή)	104
Σχήμα 5.28. Συγκριτικό διάγραμμα τεμνουσών ορόφων (ορθογωνική κατανομή).....	105
Σχήμα 5.29. Καμπύλη αντίστασης αρχικού πλαισίου (τριγωνική κατανομή).....	106
Σχήμα 5.30. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	106
Σχήμα 5.31. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	107
Σχήμα 5.32. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	107
Σχήμα 5.33. Τέμνουσα ορόφων (αρχικό πλαίσιο)	108
Σχήμα 5.34. Καμπύλη αντίστασης πλαισίου με κόμβους (τριγωνική κατανομή)	108
Σχήμα 5.35. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	109
Σχήμα 5.36. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους)	110
Σχήμα 5.37. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	110

Σχήμα 5.38. Τέμνουσα ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	110
Σχήμα 5.39. Σύγκριση καμπυλών αντίστασης (τριγωνική κατανομή).....	111
Σχήμα 5.40. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων (τριγωνική κατανομή).....	112
Σχήμα 5.41. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων (τριγωνική κατανομή).....	112
Σχήμα 5.42. Συγκριτικό διάγραμμα τεμνουσών ορόφων (τριγωνική κατανομή).....	112
Σχήμα 5.43. Καμπύλη αντίστασης αρχικού πλαισίου (ιδιομορφική ανάλυση).....	113
Σχήμα 5.44. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	114
Σχήμα 5.45. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	115
Σχήμα 5.46. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	115
Σχήμα 5.47. Τέμνουσα ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	115
Σχήμα 5.48. Καμπύλη αντίστασης πλαισίου με κόμβους (ιδιομορφική ανάλυση).....	116
Σχήμα 5.49. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	117
Σχήμα 5.50. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	117
Σχήμα 5.51. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	118
Σχήμα 5.52. Τέμνουσα ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	118
Σχήμα 5.53. Σύγκριση καμπυλών αντίστασης (ιδιομορφική ανάλυση).....	119
Σχήμα 5.54. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση).....	119
Σχήμα 5.55. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση).....	120
Σχήμα 5.56. Συγκριτικό διάγραμμα τεμνουσών ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση).....	120
Σχήμα 5.57. Καμπύλη αντίστασης αρχικού πλαισίου (ιδιομορφική ανάλυση).....	121
Σχήμα 5.58. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	122
Σχήμα 5.59. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	122
Σχήμα 5.60. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	123
Σχήμα 5.61. Τέμνουσα ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	123
Σχήμα 5.62. Καμπύλη αντίστασης πλαισίου με κόμβους (ιδιομορφική ανάλυση).....	124
Σχήμα 5.63. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	125
Σχήμα 5.64. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	125
Σχήμα 5.65. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	126

Σχήμα 5.66. Τέμνουσα ορόφων (πλαίσιο με κόμβους).....	126
Σχήμα 5.67. Σύγκριση καμπυλών αντίστασης (ιδιομορφική ανάλυση).....	127
Σχήμα 5.68. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)	128
Σχήμα 5.69. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)	128
Σχήμα 5.70. Συγκριτικό διάγραμμα τεμνουσών ορόφων (ιδιομορφική ανάλυση)	128
Σχήμα 5.71. Συγκριτικό διάγραμμα ιδιοπεριόδων πλαισίων	129
Σχήμα 5.72. Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών αντίστασης	130
Σχήμα 5.73. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων	131
Σχήμα 6.1. Επιταχυνσιογράφημα σεισμού Καλαμάτας (1986)	133
Σχήμα 6.2. Φάσμα επιταχύνσεων σεισμού Καλαμάτας (1986) & ιδιοπερίοδοι πλαισίων.....	134
Σχήμα 6.3. Επιταχυνσιογράφημα σεισμού Αιγίου (1996)	134
Σχήμα 6.4. Φάσμα επιταχύνσεων σεισμού Αιγίου (1996) & ιδιοπερίοδοι πλαισίων	135
Σχήμα 6.5. Επιταχυνσιογράφημα σεισμού Friuli (1976)	135
Σχήμα 6.6. Φάσμα επιταχύνσεων σεισμού Friuli (1976) & ιδιοπερίοδοι πλαισίων	136
Σχήμα 6.7. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (αρχικό πλαίσιο).....	137
Σχήμα 6.8. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (αρχικό πλαίσιο).....	137
Σχήμα 6.9. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	138
Σχήμα 6.10. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο)	138
Σχήμα 6.11. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	139
Σχήμα 6.12. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j1 (αρχικό πλαίσιο)	140
Σχήμα 6.13. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j1 (αρχικό πλαίσιο)	140
Σχήμα 6.14. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j3 (αρχικό πλαίσιο)	141
Σχήμα 6.15. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j3 (αρχικό πλαίσιο)	141
Σχήμα 6.16. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)	142
Σχήμα 6.17. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)	143
Σχήμα 6.18. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	143
Σχήμα 6.19. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)	144
Σχήμα 6.20. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)	144
Σχήμα 6.21. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j1 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)	145
Σχήμα 6.22 Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j1 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)	145

Σχήμα 6.23. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j3 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)	146
Σχήμα 6.24. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j3 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων)	146
Σχήμα 6.25. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης	147
Σχήμα 6.26. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής	148
Σχήμα 6.27. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων	148
Σχήμα 6.28. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων	149
Σχήμα 6.29. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1	149
Σχήμα 6.30. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1	150
Σχήμα 6.31. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3	150
Σχήμα 6.32. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3	151
Σχήμα 6.33. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (αρχικό πλαίσιο).....	152
Σχήμα 6.34. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (αρχικό πλαίσιο).....	152
Σχήμα 6.35. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	153
Σχήμα 6.36. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	153
Σχήμα 6.37. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	154
Σχήμα 6.38. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j1 (αρχικό πλαίσιο).....	154
Σχήμα 6.39. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j1 (αρχικό πλαίσιο).....	155
Σχήμα 6.40. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j3 (αρχικό πλαίσιο).....	155
Σχήμα 6.41. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j3 (αρχικό πλαίσιο).....	156
Σχήμα 6.42. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	157
Σχήμα 6.43. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	157
Σχήμα 6.44. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	158
Σχήμα 6.45. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	159
Σχήμα 6.46. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	159
Σχήμα 6.47. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j1 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	160
Σχήμα 6.48. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j1 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	160
Σχήμα 6.49. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j3 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	161
Σχήμα 6.50. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j3 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	161
Σχήμα 6.51. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης	162
Σχήμα 6.52. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής.....	163
Σχήμα 6.53. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων	163

Σχήμα 6.54. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων	164
Σχήμα 6.55. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1	164
Σχήμα 6.56. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1	165
Σχήμα 6.57. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3	165
Σχήμα 6.58. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3	166
Σχήμα 6.59. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (αρχικό πλαίσιο).....	167
Σχήμα 6.60. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (αρχικό πλαίσιο).....	167
Σχήμα 6.61. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	168
Σχήμα 6.62. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	168
Σχήμα 6.63. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (αρχικό πλαίσιο).....	169
Σχήμα 6.64. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j1 (αρχικό πλαίσιο).....	169
Σχήμα 6.65. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j1 (αρχικό πλαίσιο).....	170
Σχήμα 6.66. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j3 (αρχικό πλαίσιο).....	170
Σχήμα 6.67. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j3 (αρχικό πλαίσιο).....	171
Σχήμα 6.68. Χρονοϊστορία τέμνουσας βάσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	172
Σχήμα 6.69. Χρονοϊστορία μετατόπισης κορυφής (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	172
Σχήμα 6.70. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	173
Σχήμα 6.71. Μέγιστη μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	174
Σχήμα 6.72. Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	174
Σχήμα 6.73. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j1 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	175
Σχήμα 6.74. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j1 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	175
Σχήμα 6.75. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st5j3 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	176
Σχήμα 6.76. Χρονοϊστορία στροφής κόμβου st1j3 (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	176
Σχήμα 6.77. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης.....	177
Σχήμα 6.78. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής.....	178
Σχήμα 6.79. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων	178
Σχήμα 6.80. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων	179
Σχήμα 6.81. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1	179
Σχήμα 6.82. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1	180
Σχήμα 6.83. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3	180
Σχήμα 6.84. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3	181

Σχήμα 6.85. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης.....	182
Σχήμα 6.86. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής.....	182
Σχήμα 6.87. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	183
Σχήμα 6.88. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	184
Σχήμα 6.89. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων.....	184
Σχήμα 6.90. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων.....	185
Σχήμα 6.91. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1.....	185
Σχήμα 6.92. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1.....	186
Σχήμα 6.93. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3.....	186
Σχήμα 6.94. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3.....	187
Σχήμα 6.95. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης.....	188
Σχήμα 6.96. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής.....	188
Σχήμα 6.97. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων.....	189
Σχήμα 6.98. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων.....	189
Σχήμα 6.99. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	190
Σχήμα 6.100. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	191
Σχήμα 6.101. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1.....	192
Σχήμα 6.102. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1.....	192
Σχήμα 6.103. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3.....	193
Σχήμα 6.104. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3.....	193
Σχήμα 6.105. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης.....	195
Σχήμα 6.106. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής.....	195
Σχήμα 6.107. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	196
Σχήμα 6.108. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	196
Σχήμα 6.109. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων.....	197
Σχήμα 6.110. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων.....	197
Σχήμα 6.111. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1.....	198
Σχήμα 6.112. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1.....	198
Σχήμα 6.113. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3.....	199
Σχήμα 6.114. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3.....	199

Σχήμα 6.115. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης.....	200
Σχήμα 6.116. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής.....	201
Σχήμα 6.117. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	202
Σχήμα 6.118. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	202
Σχήμα 6.119. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων.....	203
Σχήμα 6.120. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων.....	203
Σχήμα 6.121. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1.....	204
Σχήμα 6.122. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1.....	204
Σχήμα 6.123. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3.....	205
Σχήμα 6.124. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3.....	205
Σχήμα 6.125. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης.....	206
Σχήμα 6.126. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής.....	207
Σχήμα 6.127. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων.....	207
Σχήμα 6.128. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων.....	208
Σχήμα 6.129. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	208
Σχήμα 6.130. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων).....	209
Σχήμα 6.131. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1.....	209
Σχήμα 6.132. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1.....	210
Σχήμα 6.133. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3.....	210
Σχήμα 6.134. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3.....	211
Σχήμα 6.135. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας τέμνουσας βάσης.....	212
Σχήμα 6.136. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας μετατόπισης κορυφής.....	213
Σχήμα 6.137. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (αρχικό πλαίσιο).....	213
Σχήμα 6.138. Πλαστικές αρθρώσεις στο τελικό βήμα της ανάλυσης (πλαίσιο με μοντέλο κόμβων.....	214
Σχήμα 6.139. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων ορόφων.....	214
Σχήμα 6.140. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων.....	215
Σχήμα 6.141. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j1.....	215
Σχήμα 6.142. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j1.....	216
Σχήμα 6.143. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st5j3.....	216
Σχήμα 6.144. Συγκριτικό διάγραμμα χρονοϊστορίας στροφής κόμβου st1j3.....	217

Σχήμα 6.145. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό της Καλαμάτας	218
Σχήμα 6.146. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό της Καλαμάτας.....	219
Σχήμα 6.147. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό του Αιγίου	219
Σχήμα 6.148. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό του Αιγίου	220
Σχήμα 6.149. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό του Friuli.....	220
Σχήμα 6.150. Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων για το σεισμό του Friuli	221

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 4.1. Αξονικά φορτία υποστυλωμάτων N_v από τον συνδυασμό $g+0,30q$	48
Πίνακας 4.2. Ελατηριακά χαρακτηριστικά ακραίων εξωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες A1 & E1).....	51
Πίνακας 4.3. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου ισογείου (άξονες A1 & E1).....	52
Πίνακας 4.4. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες B1 & D1).....	53
Πίνακας 4.5. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικών κόμβων ισογείου (άξονες B1 & D1).....	54
Πίνακας 4.6. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικού κόμβου ισογείου (άξονας C1).....	55
Πίνακας 4.7. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικού κόμβου ισογείου (άξονας C1).....	56
Πίνακας 4.8. Ελατηριακά χαρακτηριστικά ακραίων εξωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	57
Πίνακας 4.9. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου α' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	58
Πίνακας 4.10. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	59
Πίνακας 4.11. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικών κόμβων α' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	60
Πίνακας 4.12. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικού κόμβου α' ορόφου (άξονας C1).....	61
Πίνακας 4.13. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικού κόμβου α' ορόφου (άξονας C1).....	62
Πίνακας 4.14. Ελατηριακά χαρακτηριστικά ακραίων εξωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	63
Πίνακας 4.15. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου β' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	64
Πίνακας 4.16. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	65
Πίνακας 4.17. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικών κόμβων β' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	66
Πίνακας 4.18. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικού κόμβου β' ορόφου (άξονας C1).....	67

Πίνακας 4.19. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικού κόμβου β' ορόφου (άξονας C1).....	68
Πίνακας 4.20. Ελατηριακά χαρακτηριστικά ακραίων εξωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	69
Πίνακας 4.21. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου γ' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	70
Πίνακας 4.22. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	71
Πίνακας 4.23. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικών κόμβων γ' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	72
Πίνακας 4.24. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εσωτερικού κόμβου γ' ορόφου (άξονας C1).....	73
Πίνακας 4.25. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικού κόμβου γ' ορόφου (άξονας C1).....	74
Πίνακας 4.26. Ελατηριακά χαρακτηριστικά ακραίων εξωτερικών κόμβων δ' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	75
Πίνακας 4.27. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου δ' ορόφου (άξονες A1 & E1).....	76
Πίνακας 4.28. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εξωτερικών κόμβων τύπου T δ' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	77
Πίνακας 4.29. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικών κόμβων τύπου T δ' ορόφου (άξονες B1 & D1).....	78
Πίνακας 4.30. Ελατηριακά χαρακτηριστικά εξωτερικού κόμβου τύπου T δ' ορόφου (άξονας C1).....	79
Πίνακας 4.31. Τιμές ανελαστικών παραμέτρων διατμητικού (COL) και στροφικού (BEAM) ελατηρίου εσωτερικού κόμβου τύπου T δ' ορόφου (άξονας C1).....	80

Βιβλιογραφία – Αναφορές

- Akguzel U., Pampanin S. (2012).** *Assessment and design procedure for the seismic retrofit of reinforced concrete beam-column joints using FRP composite materials*, Journal of Composites for Construction, Vol. 16(1), pp. 21-34.
- Altoontash A. (2004).** *Simulation and damage models for performance assessment of reinforced concrete beam-column joints*. Ph.D. dissertation. Stanford (CA): Department of Civil and Environment Engineering. Stanford University.
- Biddah A, Ghobarah A. (1999).** *Modelling of shear deformation and bond slip in reinforced concrete joints*, Structural Engineering and Mechanics, Vol. 7(4), pp. 413-432.
- Celik O.C. and Ellingwood E.R. (2008).** *Modelling beam-column joints in fragility assessment of gravity load designed reinforced concrete frames*, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 12, pp. 357–381.
- Computers and Structures Inc. (2016).** *CSI Analysis reference manual for SAP2000, ETABS, SAFE and CSiBridge*, ISO# GEN062708M1 Rev.15, Berkeley, California, USA.
- Cotsovos D. (2013).** *Cracking of RC beam/column joints: Implications for the analysis of frame-type structures*, Engineering Structures, Vol. 52, pp. 131–139.
- Elmorsi M, Kianoush MR, Tso WK (2000).** *Modeling bond-slip deformations in reinforced concrete beam-column joints*, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 27, pp. 490–505.
- ETABS (2016).** *Integrated Analysis Design and Drafting of Building Systems Design* [Computer software], CSi Computers and Structures, Inc.
- Favvata M. J., Izzuddin B. A., Karayannis C. (2008).** *Modelling exterior beam-column joints for seismic analysis of RC frame structures*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 37, pp. 1527–1548.
- Fillipou FC, Popov EP, Bertero VV (1983).** *Effects of bond deterioration on hysteretic behaviour of reinforced concrete joints*, Earthquake Engineering Research Center report no. UCB/EERC-83/19, UC Berkeley, California.
- Filippou FC, Issa A. (1988).** *Nonlinear analysis of reinforced concrete frames under cyclic load reversals*, Earthquake Engineering Research Center report UCB/EERC-88/12, UC Berkeley, California.

- Genesio G. (2012).** *Seismic Assessment of RC Exterior Beam- Column Joints and Retrofit with Haunches Using Post-Installed Anchors*, PhD Thesis, Institute for Materials in Construction, University of Stuttgart.
- Karayannis C., Sideris K., Economou C. (1995).** *Response of repaired RC exterior joints under cyclic loading*, 5th SECED Conf. On European Seismic Design Practice Research and Application, London. Proc. Balkema, pp. 285-292.
- Karayannis C., Chalioris C., Sideris K. (1998).** *Effectiveness of RC Beam-Column connection repair using epoxy resin injections*, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 2, No. 2, pp. 217-240.
- Karayannis Ch., Favvata M., Kakaletsis D.J. (2011).** *Seismic behaviour of infilled and pilotis RC frame structures with beam-column joint degradation effect*, Engineering Structures, Vol. 33, pp. 2821–2831.
- Lowes LN, Altoontash A. (2003).** *Modeling reinforced-concrete beam-column joints subjected to cyclic loading*, Journal of Structural Engineering, ASCE 2003, pp.1686–1697.
- Magenes G., Pampanin S. (2004).** *Seismic response of gravity-load design frames with masonry infills*, proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, paper No. 4004.
- Masi A., Santarsiero G., Lignola G. P., Verderame G. M. (2013).** *Study of the seismic behavior of external RC beam-column joints through experimental tests and numerical simulations*, Engineering Structures, Vol. 52, pp. 207–219.
- Mushtaq A., Khan S. A., Gabriel H. F., Haider S. (2015).** *Seismic vulnerability assessment of deficient RC structures with bar pullout and joint shear degradation*, Advances in Civil engineering, Vol. 2015, article I.D. 537405, 10 pages, Hindawi Publishing Corporation.
- Ning Chao-Lie, Bo Yu, Bing Li (2016).** *Beam-Column Joint Model for Nonlinear Analysis of Non-Seismically Detailed Reinforced Concrete Frame*, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 20, pp. 476–502, retrieved from www.researchgate.net (September 2018).
- Omidi M., Behnamfar F. (2015).** *A numerical model for simulation of RC beam-column connections*, Engineering Structures, Vol. 88, pp. 51–73.
- Pampanin S., Calvi G.M., Moratti M. (2002).** *Seismic behaviour of r.c. beam-column joints designed for gravity loads*, proceedings of 12th European Conference on Earthquake Engineering, Paper Reference 726, London, England.
- Pampanin S., Magenes G., Carr. A. (2003).** *Modelling of shear hinge mechanism in poorly detailed rc beam-column joints*, proceedings of the fib Symposium Concrete Structures in Seismic Regions, Athens, paper m. 171.

- Park R., Paulay T. (1975).** *Reinforced concrete structures*, Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York, U.S.A..
- Peizhou Z., Shuang H., Jinping O. (2016).** *A beam–column joint element for analysis of reinforced concrete frame structures*, *Engineering Structures*, Vol. 118, pp. 125–136.
- Priestley M. J. N. (1997).** *Displacement-based seismic assessment of reinforced concrete buildings*, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 157-192.
- Ricci P., Maria Teresa De Risi, Verderame G. M., Manfredi G. (2016).** *Experimental tests of unreinforced exterior beam–column joints with plain bars*, *Engineering Structures*, Vol. 118, pp. 178–194.
- Risi Maria Teresa D., Ricci P., Verderame G. M. (2017).** *Modelling exterior unreinforced beam-column joints in seismic analysis of non-ductile RC frames*, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 46, pp. 899-923.
- Risi Maria Teresa D., Verderame G. M. (2017).** *Experimental assessment and numerical modelling of exterior non-conforming beam-column joints with plain bars*, *Engineering Structures*, Vol. 150, pp. 115–134.
- Sharma A., Reddy G.R., Vaze K.K., Ghosh A.K., Kushwaha H.S. (2009).** *Joint model to simulate inelastic shear behavior of poorly detailed exterior and interior beam-column connections reinforced with deformed bars under seismic excitations*, Reactor Safety Division, HS & EG and Rolf Eligehausen Institute of Materials in Construction, University of Stuttgart, Germany, Bhabha Atomic Research Centre Mumbai, India.
- Sharma A., Eligehausen R., Reddy G.R. (2011a).** *A new model to simulate joint shear behavior of poorly detailed beam–column connections in RC structures under seismic loads, Part I: Exterior joints*, *Engineering Structures*, Vol. 33, pp. 1034–1051.
- Sharma A., Reddy G.R., Eligehausen R., Vaze K.K. (2011b).** *Experimental and analytical investigation on seismic behavior of RC framed structure by pushover method*, *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 39, No. 1.
- Sharma A. (2013).** *Seismic Behavior and Retrofitting of RC Frame Structures with Emphasis on Beam-Column Joints – Experiments and Numerical Modeling*, PhD Thesis, Faculty of Civil and Environmental Engineering, University of Stuttgart.
- Sharma A., Reddy G.R., Vaze K.K., Eligehausen R. (2013).** *Pushover experiment and analysis of a full scale non-seismically detailed RC structure*, *Engineering Structures*, Vol. 46, pp. 218–233.
- Sharma A., Eligehausen R., Reddy G.R. (2013).** *Corrigendum to ‘A new model to simulate joint shear behavior of poorly detailed beam–column connections in RC structures under*

seismic loads, Part I: Exterior joints' [Eng. Struct. 33 (3) (2011) 1034–1051], Engineering Structures, Vol. 56, p. 116.

Sharma A., Eligehausen R., Hofmann J. (2014). *Influence of joint modeling on seismic evaluation of non-seismically designed rc frame structures*, proceedings of Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul, August 25-29, retrieved from www.researchgate.net (September 2018).

Shin M, LaFave JM. (2004). *Testing and modelling for cyclic joint shear deformations in RC beam–column connections*, proceedings of the 13th world conference on earthquake engineering, paper no. 0301.

Tsonos A. G. (2005). *Cyclic load behavior of reinforced concrete beam-column subassemblies of modern structures*, Earthquake Resistant Engineering Structures, Vol. 439, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 81.

Yiyue Chen (2015). *Evaluation of Simplified Seismic Vulnerability Assessment Procedures for Reinforced Concrete Buildings*, Master Thesis, University of Canterbury, Department of Civil and Natural Resources Engineering, New Zealand.

Youssef M, Ghobarah A. (2001). *Modelling of RC beam–column joints and structural walls*, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 5(1), pp. 93–111.

B.Δ. (10-12-1954). *Περί Κανονισμού Φορτίσεων Δομικών Έργων*, ΦΕΚ 325 Α/31-12-1945.

B.Δ. (18-02-1954). *Περί Κανονισμού δια την Μελέτην και Εκτέλεσιν Οικοδομικών Έργων εξ Ωπλισμένου Σκυροδέματος*, ΦΕΚ 160 Α/26-07-1954.

B.Δ. (19-02-1959). *Περί Αντισεισμικού Κανονισμού Οικοδομικών Έργων*, ΦΕΚ 36 Α/26-02-1959.

ΚΑΝ.ΕΠΕ. (2017). *Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα (2^η Αναθεώρηση)*, ΦΕΚ 2984 Β/30-08-2017.

Καραγιάννης Χρ. (2008). *Σχεδιασμός Κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού*, εκδόσεις ΣΟΦΙΑ, Θεσσαλονίκη.

Καραγιάννης Χρ., Σιρκελής Γ., Χαλιορής Κ., Μαυροειδής Π. (2003). *Ακράιοι κόμβοι Ω.Σ. με σπειροειδείς οπλισμούς*, Πειραματική διερεύνηση, 14ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως, Πρακτικά Τόμος Α, σελ. 343-353.

Καραγιάννης Χρ., Σιρκελής Γ. (2003). *Ακράιοι κόμβοι Ω.Σ. με σπειροειδείς οπλισμούς. Δείκτες βλάβης και αξιολόγηση πειραματικών αποτελεσμάτων*, 14ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως, Πρακτικά Τόμος Α, σελ. 332-342.

Κίρτας Εμμ. & Παναγόπουλος Γ. (2015). *Προσομοίωση Κατασκευών σε Προγράμματα Ηλεκτρονικού Υπολογιστή - Εφαρμογές με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP*

2000, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, ISBN: 978-960-603-227, ανακτημένο από <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/1607?locale=el> (2018, Σεπτέμβριος).

Κωτσοβός Δημ., Κωτσοβός Γερ. (2008). *Ρηγματώση κόμβων δοκών/υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα: Επιπτώσεις στον αντισεισμικό σχεδιασμό και στην ανάλυση κατασκευών*, πρακτικά 3ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5–7 Νοεμβρίου, Άρθρο1788.

Παπαδρακάκης Μ. (2003). *Μαθήματα Στατικής V – Πλαστική Ανάλυση Ραβδωτών Φορέων – Σύγχρονες Μέθοδοι*, ΕΜΠ, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών.

Ρεπαπής Κωνσταντίνος (2007). *Αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα*, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.